

Εφαρμογή εργαλείων ποιότητας στη βιομηχανία παραγωγής βιοκαυσίμων

Παρθένα Ιντζεβίδου, Δινοπούλου Βάγια, Σταμπουλής Κωνσταντίνος,
Κυράτσης Παναγιώτης

Τμήμα Βιομηχανικού Σχεδιασμού
Τ.Ε.Ι. Δυτικής Μακεδονίας

p_intzevidou@yahoo.gr; dinop@teikoz.gr; kstampo@gmail.com;
pkyratsis@teikoz.gr

Περίληψη

Η ανάγκη ενεργειακής ανεξαρτησίας από το εισαγόμενο πετρέλαιο και οι ευεργετικές επιπτώσεις εναλλακτικών προτάσεων σε τομείς περιβαλλοντικούς, οικονομικούς και διαχειριστικούς, είναι παράμετροι ιδιαίτερα σημαντικές στις μέρες μας. Ελκυστική εναλλακτική πρόταση αποτελεί το βιοντίζελ, το οποίο χρησιμοποιούμενο τόσο αυτούσιο όσο και σε διάφορες αναλογίες σε μίγματα με το συμβατικό ντίζελ, αποτελεί άριστο υποκατάστατό του. Οι προδιαγραφές για την παραγωγή του είναι ιδιαίτερα αυστηρές και αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ανάγκη για αυστηρή τήρησή τους κατά την προμήθεια και επεξεργασία των α' υλών. Η χρήση εργαλείων ποιότητας, δηλαδή οργανωτικών και αναλυτικών τεχνικών, που βοηθούν στην πρόληψη ή στην επίλυση πιθανών τρώπων αποτυχιών, μπορούν να εφαρμοσθούν επιτυχώς κατά το σχεδιασμό των διαφόρων διαδικασιών που εμπλέκονται στην παραγωγή και τον ποιοτικό έλεγχο των βιοκαυσίμων.

Η παρούσα εργασία, προσεγγίζει και εφαρμόζει μία συστηματοποιημένη μεθοδολογία ανάλυσης των πιθανών τρώπων αποτυχίας, των πιθανών αιτιών και των αποτελεσμάτων τους, κατά την παραγωγική διαδικασία του βιοντίζελ (*Process Failure Mode and Effect Analysis - PFMEA*). Οι πιθανοί τρόποι αποτυχίας αξιολογούνται, βάσει της κρισιμότητάς τους, της πιθανότητας εμφάνισής τους και της πιθανότητας ανίχνευσής τους και υπολογίζεται ο Αριθμός Προτεραιότητας Κινδύνου - ΑΠΚ (*Risk Priority Number*). Για κάθε πιθανό τρόπο αστοχίας προτείνονται κατάλληλες διορθωτικές ενέργειες. Με την εφαρμογή των ενεργειών αυτών ο ΑΠΚ μειώνεται σημαντικά, με αποτέλεσμα την βελτίωση της ποιότητας σχεδιασμού των διεργασιών. Επιπλέον εργαλεία ποιότητας όπως τα διαγράμματα αιτίου-αποτελέσματος, διάγραμμα ροής της παραγωγικής διεργασίας και εφαρμογή του καταγισμού ιδεών, αποτελούν σημαντικά βοηθήματα στην συνολική προσέγγιση του θέματος.

Λέξεις - κλειδιά: Εργαλεία Ποιότητας, Σχεδιασμός διεργασιών, Ανάλυση των πιθανών τρώπων αποτυχίας διεργασιών και των αποτελεσμάτων τους (PFMEA), Βιοκαύσιμα.

JEL Classification Codes: L65, P28, O33, Q27, Q42

Εισαγωγή

Η αυξανόμενη χρήση των βιοκαυσίμων, αποτελεί μία ελπιδοφόρα εναλλακτική λύση στο συμπλήρωμα του ενεργειακού ισοζυγίου (Pahl, 2008). Με την ονομασία βιοκαύσιμα, χαρακτηρίζονται όλα τα αέρια και υγρά καύσιμα που παράγονται από βιολογικές μάζες (βιομάζες). Ως βιομάζα, χαρακτηρίζεται το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα προϊόντων, που προέρχονται από τις γεωργικές, τις δασοκομικές και συναφείς βιομηχανικές δραστηριότητες, τα αστικά λύματα και τα απορρίμματα (Fangrui and Milford, 1999). Τα δύο σημαντικότερα είδη βιοκαυσίμων, η αιθανόλη και το βιοντίζελ, αντικαθιστούν πλήρως τα συμβατικά καύσιμα ή αναμιγνύονται με αυτά σε διάφορες αναλογίες (Shahid and Jamal, 2008,

Demirbas, 2008, Basha et al., 2009). Επιπλέον, δίνει τη δυνατότητα στις χώρες, να ικανοποιήσουν τις δεσμεύσεις του πρωτοκόλλου του Κιότο, στα πλαίσια της προσπάθειας μείωσης των αερίων του θερμοκηπίου. Η ανάγκη για τη χρήση εναλλακτικών καυσίμων έναντι του πετρελαίου και των προϊόντων του, ενθαρρύνει ένα σχέδιο προώθησης όλων των εναλλακτικών καυσίμων στον τομέα των μεταφορών και όχι μόνο. Τα τελευταία χρόνια, αναπτύσσεται ραγδαία η παραγωγή των βιοκαυσίμων τόσο στις ΗΠΑ όσο και στην Ευρώπη (House of Commons Environmental Audit Committee, 2008, Worldwatch Institute, 2006).

Τον Μάιο του 2003, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή υιοθέτησε την Οδηγία 2003/30/ΕΚ, σχετικά με την προώθηση της χρήσης βιοκαυσίμων ή άλλων ανανεώσιμων καυσίμων για τις μεταφορές. Η Οδηγία, θέτει συγκεκριμένο ελάχιστο ποσοστό βιοκαυσίμων σε αντικατάσταση του ντίζελ και της βενζίνης, όπου ορίζεται το ελάχιστο ποσοστό βιοκαυσίμων που θα αντικαταστήσει το συμβατικό ντίζελ και έχει ισχύ από το 2005. Τα προτεινόμενα ποσοστά είναι 2% για το 2005 και 5.75% για το 2010. Τα κράτη μέλη, οφείλουν να πάρουν μέτρα –με προτεινόμενο εργαλείο τα πολυετή προγράμματα αποφορολόγησης- για την επίτευξη των στόχων αυτών. Η θέσπιση του προτύπου EN 14214 και η τροποποίηση του EN 590 του συμβατικού ντίζελ, επιτρέπει την ανάμιξη μέχρι 5%. Παράλληλα, προετοιμάζεται και το πρότυπο της βιοαιθανόλης. Υπάρχει μια αλματώδης ανάπτυξη της παραγωγής και χρήσης βιοκαυσίμων στην Ε.Ε., σαν συνέπεια της οδηγίας. Ήδη έχει εκδοθεί νέο Σχέδιο Οδηγίας, που αφορά στις Ανανεώσιμες Πηγές, και προωθεί τη σύνδεση των ενισχύσεων των βιοκαυσίμων με πιστοποιητικά αειφορίας τους. Η νέα οδηγία αναμένεται να ενσωματωθεί στις εθνικές νομοθεσίες το 2009.

Τα βιοκαύσιμα στην Ελλάδα

Στα πλαίσια της εναρμόνισης των κρατών-μελών της Ε.Ε με την κοινοτική οδηγία, η Ελλάδα καλείται να δραστηριοποιηθεί στον τομέα της παραγωγής εναλλακτικών καυσίμων-βιοκαυσίμων (συμπεριλαμβανομένου και του βιοντίζελ). Η νέα πραγματικότητα, απαιτεί κοινή στρατηγική, ενιαία, άμεση και αποτελεσματική αντιμετώπιση, από την πλευρά των εμπλεκόμενων στην παραγωγή και χρήση βιοκαυσίμων (εταιρείες και Πολιτεία). Για πρώτη φορά η Ελληνική Νομοθεσία, θέσπισε νομικό πλαίσιο για τα βιοκαύσιμα με τροποποίηση του ν.3054/2002 και ψήφιση του Ν.3423/2005. Ο Ν.3423/2005, προωθεί τα βιοκαύσιμα ως ΑΠΕ (Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας), ενσωματώνει την Κοινοτική Οδηγία και υιοθετεί τα πρότυπα. Παράλληλα με τον Ν.3340/2005 προβλέφθηκε ειδικό φορολογικό καθεστώς τριετούς ισχύος για τη διάθεση ορισμένης ποσότητας βιοκαυσίμων στην αγορά.

Στόχος της πολιτικής ηγεσίας, των παραγόντων αγοράς και του αγροτικού κόσμου, είναι τα βιοκαύσιμα που θα διακινηθούν στην ελληνική αγορά, να προέρχονται από εγχώρια εργοστάσια, τα οποία θα χρησιμοποιούν εγχώρια α' ύλη. Βάσει οικονομικών αποτελεσμάτων και λαμβάνοντας υπ' όψιν τις κλιματολογικές συνθήκες, εγκαταλελειμμένες γαίες και εδάφη, όπου καλλιεργούνται δημητριακά, αποτελούν τις βασικές υποψήφιες γαίες για καλλιέργεια ενεργειακών φυτών. Η ενεργειακή γεωργία, μπορεί να προσφέρει δυνατότητες διασφάλισης ευνοϊκότερων οικονομικών αποτελεσμάτων, για ορισμένες κατηγορίες παραγωγών, και να συμβάλλει στη μετατροπή του κλίματος εγκατάλειψης του πρωτογενούς τομέα και της υπαίθρου (Αγερίδης και Χρήστου, 2006). Ωστόσο, επειδή έγιναν φανερά τα μελλοντικά οφέλη της παραγωγής εγχώριων βιοκαυσίμων, πολλές επιχειρήσεις, έχουν αναλάβει πρωτοβουλία να δημιουργήσουν μονάδες παραγωγής βιοκαυσίμων (Ν.3299/2004).

Τα φυτικά έλαια, είναι η βασική α' ύλη για την παραγωγή του βιοντίζελ και προέρχεται από διάφορους σπόρους ή, κυρίως στη Δ. Ευρώπη, από τα υπολείμματα της επεξεργασίας του ελαιοκάρπου. Στον υπόλοιπο κόσμο, μεγαλύτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα έλαια από ηλιάνθους, σόγια, καρύδες και καρπούς φοινικόδεντρων (Sharma et al, 2008). Για την ικανοποίηση του προτύπου, χρειάζεται σχετικά καθαρή α' ύλη (έλαια χαμηλής οξύτητας), κάτι που αυξάνει σημαντικά το κόστος του παραγόμενου βιοντίζελ και οφείλεται κατά 70% στο κόστος της α' ύλης. Το κόστος των βιοκαυσίμων α' γενιάς είναι υψηλό, η δε τεχνολογία παραγωγής τους πολύ ανεπτυγμένη, οπότε δεν αναμένονται βελτιώσεις ικανές να μειώσουν το κόστος. Η παραγωγή βιοκαυσίμων, θα είναι οικονομικά συμφέρουσα εάν οι τιμές του πετρελαίου παραμείνουν σε επίπεδο υψηλό (Demirbas, 2009, Drapcho, 2008).

Προοπτικές

Σύμφωνα με εκτιμήσεις, το συναλλαγματικό όφελος από την παραγωγή βιοκαυσίμων στη χώρα μας, ως και το 2012, θα φθάσει τα 170 εκατ. Ευρώ, το κέρδος από τη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα υπολογίζεται σε 35 εκατ. Ευρώ, το κέρδος από τις νέες θέσεις εργασίας σε 4,5 εκατ. Ευρώ, ενώ οι μελλοντικές επιδοτήσεις, μπορεί να φθάσουν ως και τα 22 εκατ. Ευρώ. Με τους ίδιους υπολογισμούς, το αγροτικό εισόδημα που θα παράγεται από την καλλιέργεια ενεργειακών φυτών, θα φθάνει ετησίως τα 300 εκατ. Ευρώ και λόγω των υψηλών αποδόσεων που έχουν ορισμένα ενεργειακά φυτά, τα κέρδη από τις καλλιέργειες, θα φθάνουν ετησίως τα 10000 Ευρώ ανά στρέμμα (Μπεζεργιάννη και Καζαντζή 2007).

Ειδικότερα για τη χώρα μας, μία εθνική πολιτική παραγωγής βιοκαυσίμων, προσεκτικά σχεδιασμένη και με συνέπεια εφαρμοσμένη, με τη μορφή τεχνολογικής πλατφόρμας ανά περιφέρεια, θα μπορούσε να συνεισφέρει στη διαμόρφωση ανταγωνιστικής τεχνολογίας παραγωγής βιοκαυσίμων και θα επιτάχυνε τον ρυθμό εισροής των βιοκαυσίμων στην ελληνική αγορά. Η εφαρμογή προηγμένων τεχνολογιών, η διαχείριση α' υλών καλής ποιότητας, η εφαρμογή αυστηρών ποιοτικών ελέγχων στις α' ύλες και στο τελικό προϊόν, και οι υλικοτεχνικές υποδομές των μονάδων, δημιουργούν ευνοϊκότερες συνθήκες προσέγγισης σε καλύτερο ποιοτικά προϊόν (Γιαννοπολίτης, 2006, Χρήστου κ.α. 2006).

Παρά το υπάρχον προηγμένο τεχνολογικό υπόβαθρο, σε αρκετές περιπτώσεις δημιουργούνται προβλήματα στην παραγωγή βιοκαυσίμων, κυρίως εξαιτίας της ποιότητας των α' υλών. Για το λόγο αυτό προτείνεται η χρήση εργαλείων ποιότητας, τα οποία θα ανιχνεύσουν και θα διορθώσουν πιθανές αστοχίες, θα προλάβουν κάποιες άλλες και θα υποδείξουν τρόπους με τους οποίους θα αποφευχθούν πιθανά σφάλματα κατά την παραγωγή. Το πλάνο των υποδείξεων, θα βοηθήσει στην καλύτερη οργάνωση της διεργασίας, ώστε να αποφεύγονται προβλήματα σε σχέση με την ποιότητα. Με γνώμονα όλα τα παραπάνω, στη συνέχεια παρουσιάζεται μία μεθοδολογία, που ενσωματώνει εργαλεία ποιότητας και προσεγγίζει συστηματικά τη διεργασία παραγωγής βιοντίζελ, καταγράφει τις αστοχίες και τα αποτελέσματά τους, και υποδεικνύει ενέργειες τέτοιες που θα διευκολύνουν την διεργασία.

Ανάλυση των τρόπων αποτυχίας και των αποτελεσμάτων τους

Η αποφυγή αστοχιών κατά την διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας και η επισήμανσή τους πριν αυτές προκύψουν, θα βοηθήσουν στην καλύτερη και γρηγορότερη ροή της παραγωγής και θα επισημάνουν πιθανές αστοχίες ή παραλείψεις, που αφορούν ακόμα και στο σχεδιασμό του προϊόντος. Η

χρήση ενός εργαλείου ποιότητας, όπως το FMEA, εφόσον χρησιμοποιηθεί στον κατάλληλο χρόνο, συνήθως οδηγεί στην αποφυγή πολλών προβλημάτων με μεγάλο κόστος. Η μεθοδολογία, ακολουθεί μία σειρά βημάτων που περιλαμβάνουν στοιχεία για τις μηχανές, τις μεθόδους, τα υλικά, τις μετρήσεις, τους ελέγχους, το περιβάλλον, την εργασία και το πώς το κάθε ένα χωριστά ή σε συνδυασμό με άλλα, μπορεί να δημιουργήσει αστοχία. Για να υλοποιηθεί μία τέτοια ανάλυση, είναι απαραίτητη η χρήση μίας φόρμας συλλογής πληροφοριών στην οποία καταγράφονται τα παρακάτω στοιχεία (Chrysler, et al, 1995, Dale, 1990, SMMT, 1989, Stamatis, 2003):

- Εξάρτημα/Λειτουργία: Συμπληρώνεται με το εξάρτημα ή τη λειτουργία για την οποία γίνεται η ανάλυση.
- Τρόποι Αστοχίας: Αστοχία της διαδικασίας συμβαίνει όταν ένα προϊόν, δεν προστατεύει το χρήστη επαρκώς από κινδύνους ή τραυματισμούς, δεν καταφέρνει να αποδώσει τις προσδοκώμενες λειτουργίες με ασφάλεια (όπως έχουν προσδιοριστεί από τις μηχανικές προδιαγραφές) ή δεν περιορίζει τις συνέπειες που θα μπορούσαν να αποφευχθούν σε περιπτώσεις ατυχήματος.
- Επιπτώσεις αστοχίας: Αποτελούν την καταγραφή του αποτελέσματος, εάν υπάρξει αστοχία.
- Αίτια Αστοχίας: Αποτελούν το πιο ενδιαφέρον μέρος της μελέτης. Συνήθως είναι η ανεπάρκεια της ίδιας της διαδικασίας ή του σχεδιασμού. Ωστόσο ισότιμα επηρεάζουν, η χρήση ακατάλληλων α' υλών, οι πλημμελείς ποιοτικοί έλεγχοι, ο ανεπαρκής μηχανολογικός εξοπλισμός, εξωτερικοί παράγοντες (φυσικά φαινόμενα) και το ανθρώπινο λάθος.
- Τρόποι ελέγχου: δημιουργούν τις προϋποθέσεις ώστε το εξάρτημα ή η λειτουργία να μην αστοχήσουν, και συνεισφέρουν έντονα στο να ανιχνευθούν οι ελλείψεις ή τα λάθη στα πρώιμα στάδια της διαδικασίας. Οι έλεγχοι αυτοί, γίνονται με τη μορφή συντηρήσεων του μηχανολογικού εξοπλισμού, ποιοτικών και εργαστηριακών ελέγχων, οπτικών και ακουστικών ελέγχων (alarm) κ.λπ.
- Κρισιμότητα (Severity-S): Ορίζεται ως η αξιολόγηση της "σοβαρότητας" της επίπτωσης του τρόπου αστοχίας στο προϊόν, στο σύστημα ή στον χρήστη. Γίνεται με τη βοήθεια πινάκων και βαθμολόγησης σε κλίμακα από 1 έως 10. Ενδεικτικά, εάν από μία αστοχία προκύψει μη συμμόρφωση με νόμους, κώδικες και Κοινοτικές οδηγίες ή πρόβλημα ασφάλειας και υγιεινής, τότε προτείνεται η μέγιστη τιμή. Αντίθετα, όταν δεν πρόκειται να υπάρξει καμία επίπτωση, τότε προτείνεται η ελάχιστη. Για κάθε άλλη περίπτωση, προτείνονται οι ενδιάμεσες διαβαθμίσεις.
- Πιθανότητα Εμφάνισης (Occurrence-O): Ορίζεται ως η εκτίμηση της συχνότητας εμφάνισης του τρόπου αστοχίας, λόγω του συγκεκριμένου αιτίου.
- Πιθανότητα Εντοπισμού (Detection-D): Ορίζεται ως η αξιολόγηση της ικανότητας των διαδικασιών ανασκόπησης του τρόπου αστοχίας, πριν συμβεί, και κυρίως την αποτρέπει να φθάσει στον πελάτη. Γίνεται και πάλι με τη βοήθεια πινάκων και αντίστοιχη κλίμακα τιμών από το 1 έως το 10. Ενδεικτικά, εάν η πιθανότητα να εμφανιστεί η αστοχία είναι πάνω από 50% τότε προτείνεται η μέγιστη τιμή. Αντίθετα, όταν η πιθανότητα αυτή είναι κάτω από 1/1.500.000, τότε προτείνεται η ελάχιστη.
- Αριθμός Προτεραιότητας Κινδύνου (Risk Priority Number-RPN): Ορίζεται ως γινόμενο του βαθμού της κρισιμότητας, της πιθανότητας εμφάνισης και της πιθανότητας εντοπισμού. Όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός αυτός, τόσο οι προσπάθειες που πρέπει να γίνουν, ώστε να μειωθεί ο

κίνδυνος είναι μεγαλύτερες. Ανεξάρτητα από τον RPN που προκύπτει, πρέπει να εξετάζεται και κάθε περίπτωση με υψηλή κρισιμότητα.

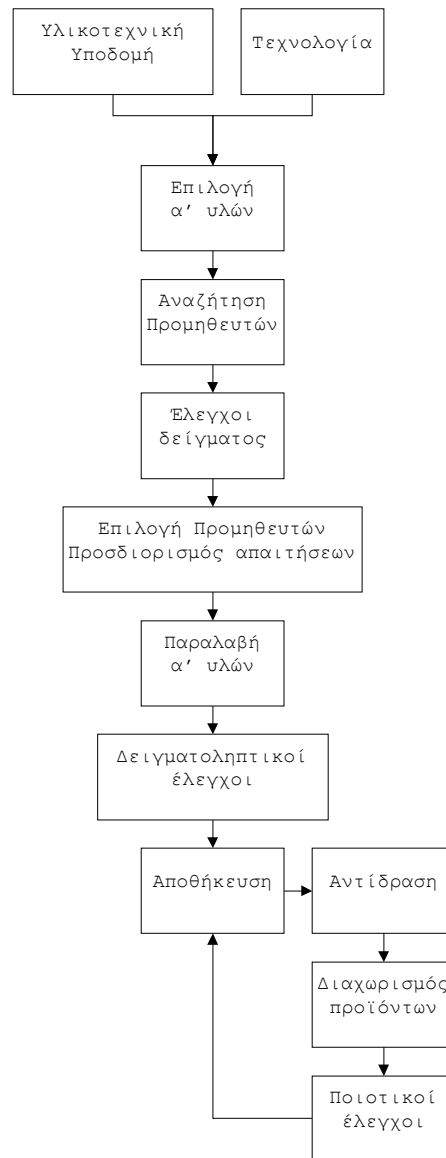
- Προτεινόμενες ενέργειες: Οι τρόποι αστοχίας κατατάσσονται ανάλογα με τον RPN και λαμβάνονται διορθωτικά μέτρα για τις περιπτώσεις με υψηλό RPN καθώς και περιπτώσεις με υψηλή κρισιμότητα (S). Έπειτα από καταγραφή των αποτελεσμάτων, υπολογίζονται εκ νέου όλοι οι δείκτες (S,O,D) και ο Αριθμός Προτεραιότητας Κινδύνου (RPN). Προφανώς, αυτός ο αριθμός που προκύπτει είναι μικρότερος, κάτι που ουσιαστικά δηλώνει τη βελτίωση της ροής της παραγωγικής διαδικασίας.

Εφαρμογή του εργαλείου FMEA στη βιομηχανία βιοκαυσίμων

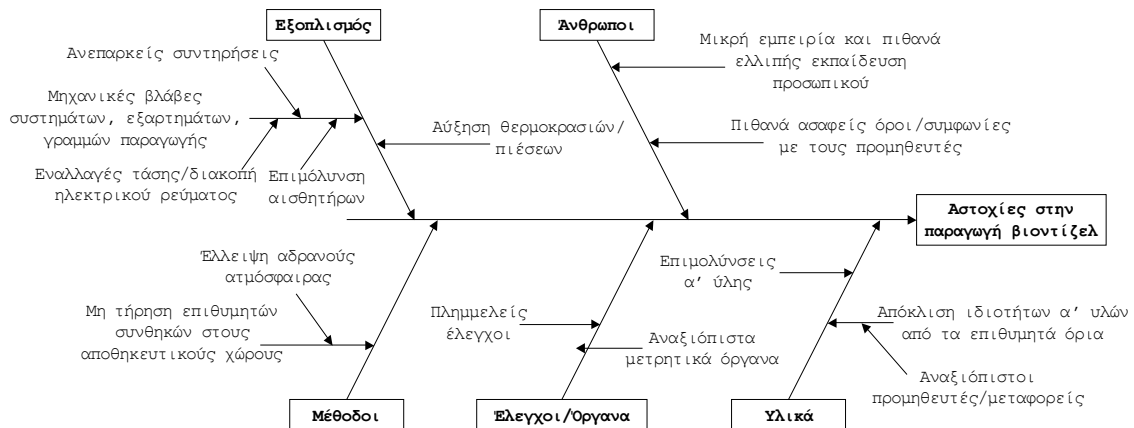
Με τη βοήθεια ενός διαγράμματος ροής (Σχήμα 1), φαίνονται οι εργασίες οι οποίες πρέπει να λάβουν χώρα προκειμένου να ολοκληρωθεί η διεργασία παραγωγής βιοντίζελ με δεδομένη την υλικοτεχνική υποδομή και την τεχνολογία. Το πρώτο βήμα αφορά στην επιλογή α' υλών (έλαια, καταλύτες, αλκοόλη) και ακολουθεί η αναζήτηση προμηθευτών, οι οποίοι θα προμηθεύσουν την μονάδα με τις α' ύλες, σύμφωνα με τις απαιτήσεις του πελάτη/παραγωγού. Ο επιλεγόμενος προμηθευτής, αποδεχόμενος τις απαιτήσεις της παραγωγού μονάδος, υποχρεούται να αποστείλει δείγμα προϊόντος προς επαλήθευση. Παραγωγοί και προμηθευτές, τηρούν τα ορισθέντα από τη Νομοθεσία, τους κώδικες και τις Κοινοτικές οδηγίες περί βιοκαυσίμων.

Η παραλαβή των α' υλών, γίνεται μετά από αυστηρούς δειγματοληπτικούς ελέγχους, τόσο στα εργαστήρια της μονάδος όσο και σε εξωτερικά συνεργαζόμενα εργαστήρια. Ακολουθεί η αποθήκευση των α' υλών σε επιθυμητές συνθήκες (θερμοκρασία, υγρασία κ.λπ.). Σε καθορισμένες συνθήκες, γίνεται η αντίδραση (μετεστεροποίηση), ο διαχωρισμός των προϊόντων και η αποθήκευσή τους, αφού προηγηθεί ποιοτικός έλεγχος και διαπιστωθεί ότι τα προϊόντα είναι εντός των αποδεκτών τεχνικών προδιαγραφών.

Ακολούθως, με στόχο μία πρώτη εξέταση των κυριότερων αιτιών της εμφάνισης προβλημάτων, κατά την διαδικασία παραγωγής βιοντίζελ, χρησιμοποιήθηκε ένα διάγραμμα αιτίου-αποτελέσματος όπου καταγράφονται οι κύριες κατηγορίες των πιθανών αιτιών, που δημιουργούν αστοχίες κατά τη διεργασία. Το διάγραμμα, δίνει τη δυνατότητα μίας συνολικής αξιολόγησης όλων των πιθανών κύριων αιτιών που μπορεί να παρακωλύσουν τη διαδικασία, επιτρέπει την προσέγγιση σε δευτερογενή αίτια και ενθαρρύνει τη διερεύνηση τους σε βάθος (Σχήμα 2).



Διάγραμμα 1: Διάγραμμα ροής της διαδικασίας παραγωγής βιοντίζελ



Διάγραμμα 2: Διάγραμμα αιτίου-αποτελέσματος για αστοχία στην παραγωγή βιοντίζελ

Οι κατηγορίες πιθανών αιτιών είναι ο εξοπλισμός, οι άνθρωποι, οι μέθοδοι, οι έλεγχοι/όργανα και τα υλικά. Ο εντοπισμός των πιθανών αιτιών, που δημιουργούν προβλήματα στη διεργασία και απεικονίζονται στο παραπάνω διάγραμμα (σχήμα 2), διευκολύνει στο να κατηγοριοποιηθούν οι πιθανές αστοχίες:

- στην παραλαβή α' υλών
- στην αποθήκευση α' υλών
- στην αποθήκευση τελικού προϊόντος
- στην αποθήκευση παραπροϊόντος
- στον μηχανολογικό εξοπλισμό και
- στην ασφάλεια της διαδικασίας.

Με βάση αυτή την κατηγοριοποίηση, και με τη βοήθεια του καταγιγισμού ιδεών συμπληρώθηκε η σχετική φόρμα του Process FMEA και αναλύθηκαν οι τρόποι αστοχίας και τα αποτελέσματά τους (Σχήμα 3). Δεν συμπεριλήφθηκαν καθόλου θέματα, που αφορούν στις προδιαγραφές κατασκευής του υλικοτεχνικού εξοπλισμού (αποθήκες, δεξαμενές κ.λπ.) και στο χώρο εγκατάστασής τους, για τα οποία προβλέπει η νομοθεσία και υποχρεωτικά τηρούνται.

Στην φόρμα του PFMEA που συμπληρώθηκε, καταγράφηκαν όλα τα πιθανά αίτια που δημιουργούν αστοχίες κατά τη διαδικασία της παραγωγής. Συμπεριλήφθηκαν και αξιολογήθηκαν οι έλεγχοι, τα υλικά, η αποτελεσματικότητα των μεθόδων και των συστημάτων, καθώς και η επαρκής υποστήριξη του μηχανολογικού εξοπλισμού.

Ένας συχνά χρησιμοποιούμενος τρόπος παρουσίασης των αποτελεσμάτων μιας ανάλυσης FMEA ,για τον εντοπισμό των πιο βασικών από τις αιτίες, είναι το διάγραμμα Pareto. Παρουσιάζει γραφικά τη σχετική συχνότητα ή βαρύτητα των αιτιών, που προκαλούν ένα πρόβλημα, απεικονίζοντας με απλό τρόπο το πόσο σημαντική είναι η επίδραση μίας αιτίας στη δημιουργία του προβλήματος, σε σχέση με τις υπόλοιπες, καθώς και την ποσοστιαία βελτίωση που θα επιφέρει η απαλοιφή της κάθε μίας. Σκοπός της ανάλυσης, είναι να διαχωρίσει τις σημαντικές πλευρές ενός θέματος από τις λιγότερο σημαντικές. Στην προκειμένη περίπτωση, δεν κρίθηκε αναγκαία η χρήση του συγκεκριμένου διαγράμματος, καθώς για κάθε μία από τις αιτίες έχει προταθεί κατάλληλη διορθωτική πρόταση.

Παρατηρώντας τη φόρμα PFMEA, διαπιστώνεται ότι οι πέντε κυριότεροι παράγοντες, συνδέονται με θέματα συνθηκών αποθήκευσης του τελικού προϊόντος και του παραπροϊόντος, την προστασία εξαρτημάτων και μηχανών, την ικανοποίησης προδιαγραφών, και τη διαχείριση των επικίνδυνων α' υλών (μεθανόλη, καταλύτη). Ο κρισιμότερος παράγοντας, συνδέεται με τις συνθήκες αποθήκευσης του βιοντίζελ, που εξασφαλίζουν την οξειδωτική σταθερότητα, ένα μέγεθος ιδιαίτερος κρίσιμο που επηρεάζει την ποιότητα του προϊόντος. Το αμέσως επόμενο ζεύγος παραγόντων, καθορίζει την ικανοποιητική απόδοση του μηχανολογικού εξοπλισμού με τον προγραμματισμό τακτικών και εκτάκτων συντηρήσεων, και τη χρήση συστημάτων προστασίας εξαρτημάτων και μηχανών. Στη συνέχεια, αποτυπώνονται άλλοι δύο παράγοντες, ένας εκ των οποίων αφορά στην συμφωνία της α' ύλης (έλαια) με τις προδιαγραφές και διασφαλίζει την αντίδραση (μετεστεροποίηση) και ο δεύτερος διασφαλίζει τις συνθήκες αποθήκευσης της εύφλεκτης μεθανόλης. Η επόμενη τριάδα παραγόντων, συνδέεται με τον μηχανολογικό εξοπλισμό και τη σωστή συντήρηση εξαρτημάτων και μηχανών, που διασφαλίζουν την ομαλή ροή της

διεργασίας. Ο επόμενος παράγοντας, αφορά στις συνθήκες αποθήκευσης του παραπροϊόντος (γλυκερίνη), ώστε να είναι δυνατή η άντληση και η άμεση διάθεσή του.

Λειτουργία	Τρόπος Αστοχίας	Επιπτώσεις αστοχίας	S	Αίτια αστοχίας	O	Τρόποι Ελέγχου	D	RPN	Διορθωτική Ενέργεια	S	O	D	RPN
Παραλαβή Ελαίων	Ασυμφωνία με προδιαγραφές	Διαταραχή ισοζυγίου χημικής αντίδρασης και διακοπή παραγωγής	6	Επιμόλυνση α' ύλης	5	Συνοδευτικά πιστοποιητικά προδιαγραφών, σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία μαζί με τα φορτία Επαληθευτικός έλεγχος κατά την άφιξη του βυτίου και εφαρμογή δειγματοληπτικού πλάνου	2	60	Αξιολόγηση προμηθευτών Ανάμιξη ελαίων με ήδη υπάρχοντα στις δεξαμενές Εφαρμογή αυστηρότερου δειγματοληπτικού πλάνου	6	2	1	12
		Προϊόν χαμηλής ποιότητας, παραγωγή παραπροϊόντος σε μεγαλύτερη ποσότητα από το αναμενόμενο Προϊόν εκτός προδιαγραφών	6	Απόκλιση ιδιοτήτων από τα επιθυμητά όρια	5	Συνοδευτικά πιστοποιητικά προδιαγραφών, σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία μαζί με τα φορτία Επαληθευτικός έλεγχος κατά την άφιξη του βυτίου και εφαρμογή δειγματοληπτικού πλάνου	2	60	Αξιολόγηση προμηθευτών Ανάμιξη ελαίων με ήδη υπάρχουσες δεξαμενές Εφαρμογή αυστηρότερου δειγματοληπτικού πλάνου	6	2	1	12
Παραλαβή Μεθανόλης και Sodium Methylate	Ασυμφωνία με προδιαγραφές	Διακοπή παραγωγής, προϊόν χαμηλής απόδοσης/ποιότητας Παραγωγή παραπροϊόντος σε μεγαλύτερο ποσοστό από το αναμενόμενο	6	Ποσοστό υγρασίας εκτός ορίων	3	Εργαστηριακοί έλεγχοι εντός εργοστασίου Αποστολή δείγματος και συνοδευτικών πιστοποιητικών προδιαγραφών μαζί με τα φορτία. Επαληθευτικός έλεγχος κατά την άφιξη του βυτίου.	2	36	Επαναξιολόγηση προμηθευτών. Συστάσεις-διακοπή συνεργασίας Ανάμιξη με ήδη υπάρχουσα μεθανόλη στις δεξαμενές ή αναμονή νέου φορτίου	6	2	1	12

Αποθήκευση μεθανόλης	Θερμοκρασία > 40° C στις δεξαμενές	Ανάφλεξη μεθανόλης στις δεξαμενές σε περίπτωση ύπαρξης φλόγας	10	Υψηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος Ανεπαρκής λειτουργία των συστημάτων διατήρησης επιθυμητής θερμοκρασίας στις δεξαμενές	3	Καθημερινή καταγραφή θερμοκρασίας Αυτόματη λειτουργία ψύξης δεξαμενών και συστημάτων καταιονισμού νερού Έλεγχος ορθής λειτουργίας αυτόματου εξαεριστικού	2	60	Καθημερινός έλεγχος σωστής λειτουργίας συστήματος καταιονισμού νερού-ψύξης των δεξαμενών και καθημερινή χειροκίνητη λειτουργία του Εφεδρικά συστήματα ψύξης δεξαμενών	10	1	2	20
	Μη διατήρηση αδρανούς ατμόσφαιρας	Ανάφλεξη μεθανόλης στις δεξαμενές σε περίπτωση ύπαρξης φλόγας	10	Έλλειψη αζώτου	3	Καθημερινή καταγραφή περιεκτικότητας φιαλών αζώτου	2	60	Προγραμματισμός για αλλαγή/ παραγγελία νέων φιαλών αζώτου	7	2	1	14
Αποθήκευση methylate	Θερμοκρασία στη δεξαμενή < 15° C	Πάγωμα στη δεξαμενή αλλά και στις γραμμές εισόδου από τη δεξαμενή προς τις γραμμές παραγωγής	7	Χαμηλές θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια του χειμώνα, πλημμελείς έλεγχοι θερμοκρασίας	3	Καθημερινή καταγραφή της θερμοκρασίας και αυτόματη ρύθμιση της θέρμανσης της δεξαμενής κατά τη μείωση της θερμοκρασίας	2	42	Καθημερινός έλεγχος της σωστής λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης της δεξαμενής Καθημερινή χειροκίνητη λειτουργία του συστήματος θέρμανσης	7	2	2	28
	Μη διατήρηση αδρανούς ατμόσφαιρας	Αποσύνθεση καταλύτη	7	Έλλειψη αζώτου	3	Καθημερινή καταγραφή της περιεκτικότητας των φιαλών αζώτου	2	42	Επιλογή ελάχιστης ποσότητας που οδηγεί σε αυτόματη παραγγελία αζώτου από προμηθευτές	7	2	1	14

Αποθήκευση βιοντίζελ	Ανάπτυξη θερμοκρασίας στις δεξαμενές	Οξείδωση προϊόντος σε υψηλές θερμοκρασίες	9	Ανάπτυξη υψηλών θερμοκρασιών κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών Μη επαρκείς έλεγχοι θερμοκρασιών	3	Καθημερινή καταγραφή της θερμοκρασίας και μέτρηση οξειδωτικής σταθερότητας Προσθήκη πρόσθετων βελτιωτικών	4	108	Αύξηση των πρόσθετων βελτιωτικών σε περίπτωση παραμονής του προϊόντος σε μη επιθυμητές θερμοκρασίες αποθήκευσης	9	2	4	72
Αποθήκευση γλυκερίνης	Θερμοκρασία στη δεξαμενή < 15° C	Πάγωμα στις δεξαμενές και αδυναμία άντλησης του προϊόντος στα βυτία προς πώληση	5	Χαμηλές θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια του χειμώνα και μη διατήρηση της επιθυμητής θερμοκρασίας στις δεξαμενές	3	Καθημερινή καταγραφή της θερμοκρασίας θέρμανσης των δεξαμενών και των γραμμών προς την αντλία πριν τη φόρτωση	3	45	Διατήρηση της επιθυμητής θερμοκρασίας στις δεξαμενές κατά τη διάρκεια χαμηλών θερμοκρασιών περιβάλλοντος Προειδοποιητικό alarm system για οριακή θερμοκρασία και αυτόματη θέρμανση των σωληνώσεων της γραμμής, δεξαμενές γλυκερίνης/σταθμός φόρτωσης	5	2	2	20
Μηχ/κός εξοπλισμός (αισθητήρες)	Βλάβη αισθητήρων	Διακοπή διεργασίας	8	Μηχ/κή βλάβη (καταστροφή ή επιμόλυνση)	3	Τακτικές συντηρήσεις σύμφωνα με τον κατασκευαστή	2	48	Προγραμματισμένοι έλεγχοι στο μεσοδιάστημα των συντηρήσεων	8	3	1	24
			8	Διακοπή ρεύματος ή εναλλαγή τάσης	5	Καθημερινός έλεγχος ορθής λειτουργίας και επαναφορά (reset)	2	80	Εγκατάσταση alarm system και συστημάτων ελέγχου τάσεως	8	5	1	40

Μηχ/κός εξοπλισμός (αντλίες)	Βλάβη αντλιών	Διακοπή διεργασίας λόγω αδυναμίας άντλησης υλικών από και προς τις γραμμές παραγωγής	8	Μηχ/κή βλάβη (φλάντζες, λιπαντικά, βαλβίδες)	3	Αφαίρεση, διόρθωση ή αντικατάσταση, προσθήκη λιπαντικών	2	48	Προληπτική συντήρηση σύμφωνα με τον κατασκευαστή και καθημερινός έλεγχος του συστήματος αντλιών	8	3	1	24
			8	Εναλλαγή τάσης ή διακοπή ρεύματος	5	Επαναφορά αρχικών συνθηκών (reset)	2	80	Χρήση εφεδρικών αντλιών και αντιτασικών συστημάτων	8	5	1	40
Μηχ/κός εξοπλισμός (σωληνώσεις)	Φραγή σωληνώσεων	Διαρροές και διακοπή διεργασίας	8	Μηχ/κή βλάβη Συστημάτων θέρμανσης/ψύξης	3	Καθημερινός οπτικός έλεγχος του συστήματος	2	48	Συντήρηση σύμφωνα με τον κατασκευαστή Διόρθωση/αντικατάσταση Τακτικός έλεγχος ορθής λειτουργίας	8	3	1	24
Εκφόρτωση μεθανόλης/methylate	Ανάπτυξη θερμοκρασιών > 40° C	Κίνδυνος ανάφλεξης	10	Ανάπτυξη υψηλών θερμοκρασιών κατά τους θερινούς μήνες	1	Χρήση αντλιών αέρα και γείωση βυτίου προς αποφυγήν φαινομένων στατικού ηλεκτρισμού και συνεπώς φωτιάς	2	20	Αυτόματο σύστημα καταιονισμού νερού στις δεξαμενές Υπαρξη συστημάτων πυρασφάλειας Έλεγχος ορθής λειτουργίας συστημάτων αποθήκευσης μεθανόλης/methylate	10	1	1	10
Γραμμές παραγωγής	Ανάπτυξη υψηλών θερμοκρασιών ή πιέσεων	Πιθανός κίνδυνος έκρηξης	10	Αύξηση θερμοκρασίας πέραν του κανονικού και άσκηση πιέσεων λόγω πρόσθετων επιφορτίσεων	1	Σύστημα αυτόματης παύσης λειτουργίας Ενεργοποίηση αντλιών και αντιεκρηκτικών μηχανισμών	2	20	Συστήματα με προδιαγραφές από τον κατασκευαστή για αυτόματη ενεργοποίηση μηχανισμών πυροπροστασίας και αντιεκρηκτικών μηχανισμών	10	1	1	10

Πυρασφάλεια	Κακή λειτουργία συστημάτων πυρόσβεσης	Πρόκληση ατυχημάτων	10	<p>Πλημμελής έλεγχός συστημάτων πυρόσβεσης και πυροπροστασίας</p> <p>Ανθρώπινο λάθος</p> <p>Ελαττωματική κατασκευή εξοπλισμού πυρόσβεσης και πυροπροστασίας</p>	1	<p>Αναγνώμηση εξοπλισμού και έλεγχος ορθής χρήσης ανά τακτά χρονικά διαστήματα</p> <p>Υπαρξη υπεύθυνου τεχνικού ασφαλείας, για την ορθή λειτουργία και συντήρηση των εξοπλισμών και ενημέρωση της διοίκησης για θέματα υγιεινής και ασφάλειας</p>	2	20	<p>Αυστηρή τήρηση των μέτρων πυρασφάλειας, σύμφωνα με την πυροσβεστική υπηρεσία</p> <p>Εκπαίδευση του προσωπικού για περιπτώσεις έκτακτων αναγκών και χρήση Μ.Α.Ρ.</p> <p>Έλεγχος συστημάτων πριν την εγκατάστασή τους.</p>	10	1	1	10
-------------	---------------------------------------	---------------------	----	---	---	---	---	----	---	----	---	---	----

Διάγραμμα 3: Φόρμα FMEA για τη διαδικασία παραγωγής βιοντίζελ

Συμπεράσματα

Η PFMEA είναι μια μεθοδολογία που εφαρμόστηκε αρχικά στην αυτοκινητοβιομηχανία, με στόχο να ανιχνεύσει ή/και να αποφύγει τις πιθανές αστοχίες, ενώ ταυτόχρονα εστίασε στο να υποδείξει τρόπους, με τους οποίους θα αποφευχθούν πιθανά σφάλματα κατά την παραγωγή. Στην παρούσα εργασία προτείνεται μια νέα διεξοδος χρήσης της, στην περιοχή της παραγωγής βιοκαυσίμων. Η μεθοδολογία ομαδοποιεί τις εργασίες και βάσει των αστοχιών που προκύπτουν, της συχνότητας εμφάνισής τους και της κρισιμότητάς τους, αναγνωρίζει και υποδεικνύει την χρησιμότητα των προγραμματισμένων τακτικών συντηρήσεων αλλά και των ενδιάμεσων εκτάκτων. Επίσης, εστιάζει στους ποιοτικούς ελέγχους των α' υλών (ελαίων, μεθανόλης, καταλύτη), στις συνθήκες αποθήκευσής τους και γενικότερα της διαχείρισής τους. Εφιστά την ιδιαίτερη προσοχή στην διαχείριση της μεθανόλης και του καταλύτη, λόγω της υψηλής επικινδυνότητάς τους, ανιχνεύει και διορθώνει πιθανές αστοχίες στα συστήματα και στα μέσα που εξασφαλίζουν την προστασία των εγκαταστάσεων και του ανθρώπινου δυναμικού. Έτσι προτείνονται λεπτομερείς ποιοτικοί έλεγχοι των α' υλών και του τελικού προϊόντος με ταυτόχρονη αυστηρή τήρηση των συνθηκών αποθήκευσής τους.

Η ανίχνευση των πιθανών προβλημάτων που μπορεί να δημιουργηθούν κατά τη διεργασία εξαιτίας της διακύμανσης της ποιότητας των α' υλών, της αναποτελεσματικής ηλεκτρομηχανολογικής υποστήριξης, των ανθρώπινων λαθών, της αναποτελεσματικότητας των ποιοτικών ελέγχων κ.λπ. θα βοηθήσουν στην σημαντική βελτίωση της διαδικασίας. Η μέθοδος PFMEA ανιχνεύει και διαχειρίζεται τις απαιτούμενες πληροφορίες κατά το σχεδιασμό της διεργασίας και βοηθά προς την κατεύθυνση της επίλυσης των προβλημάτων προτού αυτά εμφανιστούν, παρά προς την αντιμετώπισή τους. Οδηγεί στην δημιουργία καταλόγων προτεινόμενων ενεργειών για την βελτίωση της διαδικασίας, ενώ σε συνδυασμό με τη χρήση εργαλείων ποιότητας, συμβάλλει σημαντικά στην βελτίωση του σχεδιασμού συστημάτων παραγωγής.

Βιβλιογραφία

- Αγερίδης, Γ. και Χρήστου, Μ., 2006, "Βιοκαύσιμα και περιβάλλον σε όλο τον κύκλο ζωής", Ηλεκτρονικά πρακτικά διημερίδας ΤΕΕ/ΤΚΜ: Τα Βιοκαύσιμα και ο αναπτυξιακός τους ρόλος στη βιομηχανία και τον αγροτικό τομέα, Θεσσαλονίκη.
- Γιαννοπολίτης, Κ.Ν., 2006, "Ενεργειακές καλλιέργειες και βιοκαύσιμα", Γεωργία-Κτηνοτροφία, 1.
- ΕΛΟΤ EN 14214: 2003 (ΦΕΚ 713/26-5-05 & 1149/17-8-05), "Τεχνικές προδιαγραφές και μέθοδοι ανάλυσης του βιοντίζελ".
- Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και Συμβούλιο, 2003, "Οδηγία 2003/30/ΕΚ σχετικά με την προώθηση της χρήσης βιοκαυσίμων ή άλλων ανανεώσιμων καυσίμων για τις μεταφορές", Επίσημη Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων.
- Μπεζεργιάννη, Σ. και Καζαντζή, Β., 2007, "Τεχνολογική πλατφόρμα Βιοκαυσίμων Θεσσαλίας", 2ο Πανελλήνιο Συνέδριο Εναλλακτικών Καυσίμων και Βιοκαυσίμων, Λίμνη Πλαστήρα.
- Νόμος 3299/2004 (ΦΕΚ 261 Α/23-12-04), "Κίνητρα ιδιωτικών επενδύσεων για την οικονομική ανάπτυξη και την περιφερειακή σύγκλιση", Εφημερίδα της Κυβερνήσεως, Αθήνα.
- Νόμος 3423/2005 (ΦΕΚ 304 Α/13-12-05), "Εισαγωγή στην Ελληνική αγορά των βιοκαυσίμων και των άλλων ανανεώσιμων καυσίμων", Εφημερίδα της Κυβερνήσεως, Αθήνα.
- Χρήστου, Μ., Αλεξοπούλου, Ε., Λυχνάρας, Β. και Νάματοβ, Ε., 2006, "Ενεργειακές καλλιέργειες στον ευρωπαϊκό και ελληνικό χώρο", Ηλεκτρονικά πρακτικά διημερίδας ΤΕΕ/ΤΚΜ: Τα Βιοκαύσιμα και ο

- αναπτυξιακός τους ρόλος στη βιομηχανία και τον αγροτικό τομέα, Θεσσαλονίκη.
- Basha, S.A., Gopal, K.R. and Jebaraj, S., 2009, "A review on Biodiesel production, combustion, emissions and performance", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13, 1628-1634.
- Chrysler Corporation, Ford Motor Company, General Motors Corporation (1995), "Potential Failure Mode and Effect Analysis - Reference Manual".
- Dale, B. and P. Shaw, 1990, "Failure mode and effect analysis in the UK motor industry: a state of the art study", *Quality and Reliability Engineering International*, Vol. 6, 179-188.
- Demirbas, A., 2008, "Biodiesel: A realistic fuel alternative for diesel engines", Springer.
- Demirbas, A., 2009, "Biofuels: Securing the planet's Future energy Needs" (ISBN 978-1-84882-010-4), Springer.
- Drapcho, M.C., N.P. Nhuan and T.H. Walker, 2008, "Biofuels Engineering Process Technology", Mc Graw Hill.
- Fangrui, M. and Milford, A.H., 1999, "Biodiesel production: a review", *Bioresource Technology*, 70, 1-15.
- House of Commons Environmental Audit Committee, 2008, "Are biofuels sustainable?", HC76-1.
- Pahl, G., 2008, "Biodiesel: Growing a new energy economy", Chelsea Green Publishing, 2nd edition.
- Shahid, E.M. and Jamal, Y., 2008, "A review of biodiesel as vehicular fuel", *Renewable and sustainable energy reviews*, 12, 2484-2494.
- Sharma, Y.C., Singh, B. and Upadhyay, S.N., 2008, "Advancement in development and characterization of biodiesel: a review", *Fuel*, 87, 2355-2373.
- Society of Motor Manufacturers and Traders Limited 1989, "Guidelines to Failure Mode and Effect Analysis".
- Stamatis, D.H, 2003, "Failure Mode and Effect Analysis", ASQ Quality Press.
- Worldwatch Institute, 2006, "Biofuels for transportation: Global Potential and Implications for Sustainable Energy and Agriculture" (ISBN: 978-1-84407-422-8), Earthscan, London.