

2^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Εναλλακτικών Καυσίμων και Βιοκαυσίμων (Μάρτιος του 2007)

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΠΙΛΟΤΙΚΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΙΟΝΤΙΖΕΛ

Β. Καλοϊδάς, N. Μπαράκος, Σ. Πασιάς, N. Παπαγιαννάκος*

Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο - Σχολή Χημικών Μηχανικών - Τομέας ΙΙ
Μονάδα Μηχανικής Διεργασιών Υδρογονανθράκων και Βιοκαυσίμων
Ηρώων Πολυτεχνείου 9 - 157 80 Ζωγράφος - Αθήνα.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η αυξανόμενη κατανάλωση βιοκαυσίμων απαιτεί τη συνεχιζόμενη έρευνα για την αποτελεσματική παραγωγή τους, προσαρμοσμένη στις τοπικά διαθέσιμες πρώτες ύλες και στις τοπικές συνθήκες χρήσης. Οι πιλοτικές μονάδες γενικής χρήσης παρέχουν σημαντικές πληροφορίες για την κλιμάκωση μεγέθους και την παραγωγή επαρκών ποσοτήτων πειραματικών προϊόντων. Με σκοπό την εφαρμοσμένη έρευνα στην παραγωγή βιοντίζελ από ελληνικές πρώτες ύλες και την δοκιμή των προϊόντων σε εργαστηριακές και πραγματικές συνθήκες σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε πιλοτική μονάδα παραγωγής βιοντίζελ μέσης δυναμικότητας 200 kg/day. Η πιλοτική μονάδα έχει χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή περισσότερων από 25 βαρέλια βιοντίζελ τα οποία πληρούν τις ευρωπαϊκές προδιαγραφές EN14214 και έχουν διατεθεί στα ελληνικά διυλιστήρια, σε ινστιτούτα και άλλους ενδιαφερόμενους. Οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιήθηκαν ήσαν βαμβακέλαιο, ηλιέλαιο, σογιέλαιο, κραμβέλαιο κ.ά. Στην εργασία αυτή παρουσιάζονται στοιχεία από τον σχεδιασμό, τη λειτουργία και τα οικονομικά της μονάδας. Οι προοπτικές χρήσης της μονάδας εστιάζονται στην διερεύνηση νέων πρώτων υλών και αξιοποίησης αποβλήτων για παραγωγή βιοντίζελ, καθώς και στην ανάπτυξη νέων διεργασιών παραγωγής που βελτιώνουν το κόστος παραγωγής του βιοντίζελ.

ABSTRACT

The growing consumption of biofuels demands a constant research in their effective production, customized to the local available feedstocks and to local usage conditions. General purpose pilot plants provide significant information for scale up purposes and for the production of sufficient quantities of experimental products. There was designed and constructed a biodiesel production pilot plant of capacity 200 kg/day, with target the applied research in biodiesel production derived from Greek feedstock and his testing into laboratory and real conditions. The pilot unit has been already used for the production over 25 barrels of biodiesel that fulfill the European Standards EN14214, and have dispensed to Greek oil

* Corresponding author: Phone: +30-210-7723239,
Fax: +30-210-7723240, E-mail: npap@central.ntua.gr

refineries, institutes and other interested. The feedstocks that were used were cottonseed oil, sunflower oil, soybean oil, rapeseed oil etc. In this study are provided data from the design, the operation and the economics of the unit. The usage prospects of the unit are focusing into the research of new feed stocks and the exploitation of wastes for the production of biodiesel, as well as for the development of new production process that will improve the biodiesel production cost.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η χρήση πιλοτικών μονάδων αποσκοπεί στη διερεύνηση παραγωγής πειραματικών προϊόντων και δειγμάτων σε πραγματικές συνθήκες για τον έλεγχο των ιδιοτήτων τους και την κλιμάκωση μεγέθους. Οι πιλοτικές μονάδες στοχεύουν στην αξιολόγηση της δυνατότητας χρήσης νέων πρώτων υλών, στη βελτίωση της ποιότητας των προϊόντων, στη μείωση του κόστους παραγωγής, στην ασφάλεια του προσωπικού και στον έλεγχο ή την ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Επίσης, στοχεύουν στη συλλογή δεδομένων σχεδιασμού, στην επίλυση προβλημάτων κλιμάκωσης μεγέθους και στην εξοικείωση με τη λειτουργία και την εκπαίδευση του προσωπικού. Τέλος, ένας από τους κύριους στόχους των πιλοτικών μονάδων αποτελεί ο έλεγχος εφικτότητας και αξιοποίησης διεργασιών.

Η εργαστηριακή ομάδα της Μονάδας Μηχανικής Διεργασιών Υδρογονανθράκων και Βιοκαυσίμων της Σχολής Χημικών Μηχανικών του ΕΜΠ, παράλληλα με την έρευνα, έχει προχωρήσει στο σχεδιασμό και την κατασκευή πιλοτικής μονάδας παραγωγής βιοντίζελ η οποία άρχισε να λειτουργεί το Μάιο του 2005. Πρόκειται για την μοναδική πιλοτική μονάδα παραγωγής βιοντίζελ στην Ελλάδα, η οποία έχει την δυνατότητα να παράγει βιοντίζελ με την κλασική μέθοδο από κάθε είδος ημιραφινρισμένου (αποκκομιωμένου, εξουδερωμένου και ελεύθερου υγρασίας) φυτικού ελαίου.

Η πιλοτική αυτή παραγωγή βιοντίζελ - 200 kg την ημέρα κατά μέσο όρο - ξεκίνησε στα πλαίσια σχετικού ερευνητικού προγράμματος της Γενικής Γραμματείας Έρευνας και Τεχνολογίας (ΓΓΕΤ), στο οποίο συμμετέχουν το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ), το Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών (ΓΠΑ), το Εθνικό Κέντρο Έρευνας και Τεχνολογικής Ανάπτυξης (ΕΚΕΤΑ) στη Θεσσαλονίκη, τα ΕΛΠΕ, η Μότορ Όιλ, η Μινέρβα, οι Μύλοι Σόγιας και η ΔΕΗ, με ανάδοχο του έργου το ΕΜΠ και επιστημονικό υπεύθυνο του έργου τον καθηγητή κ. Νίκο Παπαγιαννάκο.

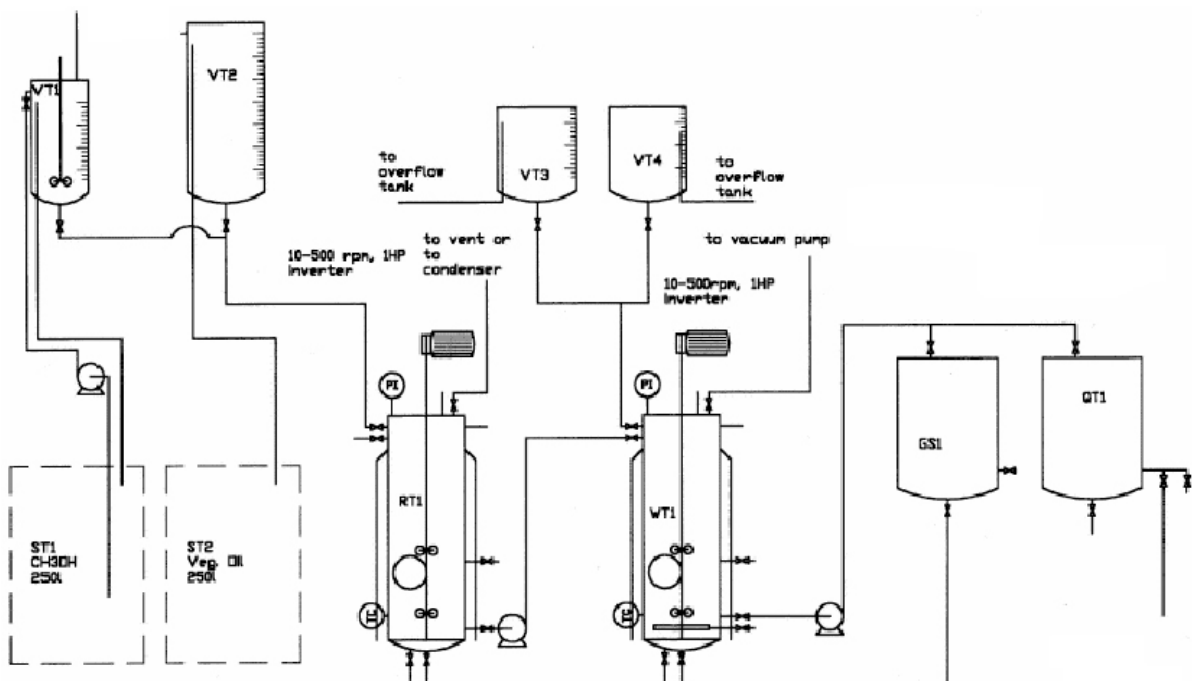
Στόχοι του έργου, το οποίο αναμένεται να ολοκληρωθεί σε λιγότερο από δύο μήνες, υπήρξαν η ανάπτυξη τεχνογνωσίας παραγωγής και διάθεσης βιοντίζελ κυρίως από ελληνικές πρώτες ύλες που είναι διαθέσιμες ή μπορούν να παραχθούν, η δυνατότητα εφαρμογών ευρείας έκτασης του ελληνικού βιοντίζελ και η διερεύνηση της οικονομικότητας και του κόστους παραγωγής βιοντίζελ στην Ελλάδα. Το παραγόμενο στην πιλοτική μονάδα βιοντίζελ χρησιμοποιήθηκε ως πρόσθετο καύσιμο κίνησης στα πλαίσια του έργου και ως πρόσθετο καύσιμο στατικής μονάδας ηλεκτροπαραγωγής της ΔΕΗ. Ως πρώτες ύλες χρησιμοποιήθηκαν εξουδετερωμένο βαμβακέλαιο προερχόμενο από τη Μινέρβα, ραφινρισμένο ηλιέλαιο και σογιέλαιο προερχόμενα από τους Μύλους Σόγιας και ραφινρισμένο κραμβέλαιο από την Ιταλία. Επίσης, το ΓΠΑ πραγματοποίησε πιλοτικές καλλιέργειες ηλίανθου σε διάφορες περιοχές της χώρας μας, ο ελαιούχος σπόρος οδηγήθηκε σε πολυσπορικό σπορευλουργείο και το λάδι που παρήχθη μετατράπηκε σε βιοντίζελ στην πιλοτική μονάδα. Ποσότητες βιοντίζελ (100 lt) στάλθηκαν στο Εργαστήριο Μηχανών Εσωτερικής Καύσης της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών του ΕΠΙΜ για μετρήσεις καυσαερίων και συμπεριφοράς μιγμάτων βιοντίζελ-ντίζελ σε πρότυπες πετρελαιομηχανές. Άλλες ποσότητες (40 lt) στάλθηκαν στο ΕΚΕΤΑ για μετρήσεις σε κινούμενο όχημα. Η ΜΟΤΟΡ ΟΙΛ ανέμιξε βιοντίζελ (5 βαρέλια), που παρήχθη στην πιλοτική μονάδα, με συμβατικό ντίζελ σε ποσοστό 2,5% (βιοντίζελ στο μίγμα) και διέθεσε το μίγμα στα αυτοκίνητά της - βυτιοφόρα διανομής καυσίμων. Τα ΕΛΠΕ ανέμιξαν βιοντίζελ (12 βαρέλια), επίσης από την πιλοτική μονάδα, με συμβατικό ντίζελ σε ποσοστό 2 % v/v (βιοντίζελ στο μίγμα) και προώθησαν το μίγμα (diesel κίνησης - B2), συνολικής ποσότητας 120.000 lt, στην αγορά (τελικούς καταναλωτές) μέσω πρατηρίου υγρών καυσίμων της ΕΚΟ. Όλες οι ιδιότητες του παραγόμενου στην πιλοτική μονάδα βιοντίζελ προσδιορίστηκαν σύμφωνα με τα Ευρωπαϊκά Πρότυπα EN 14214, EN 116 και EN 590 από ένα δίκτυο που ανέπτυξαν οι περισσότεροι φορείς του έργου και όλες οι ιδιότητες πληρούν τις ευρωπαϊκές προδιαγραφές που επιβάλλουν τα πρότυπα αυτά.

Η ΠΙΛΟΤΙΚΗ ΜΟΝΑΔΑ

Η αναγκαιότητα της κατασκευής της συγκεκριμένης πιλοτικής μονάδας παραγωγής βιοντίζελ είναι άμεσα συνδεδεμένη με την αξιολόγηση της δυνατότητας χρήσης πρώτων υλών προσαρμοσμένων στις Ελληνικές συνθήκες, με τροποποιήσεις σε υπάρχουσες μεθόδους παραγωγής βιοντίζελ, με δοκιμές πρώτων υλών σε πραγματικές συνθήκες και με τη διερεύνηση ανάπτυξης νέων μεθόδων παραγωγής βιοντίζελ.

Ο σχεδιασμός της πιλοτικής μονάδας παραγωγής βιοντίζελ βασίστηκε στην κλασική μέθοδο παραγωγής βιοντίζελ. Η κλασική μέθοδος χρησιμοποιεί ως καταλύτες κυρίως τα υδροξείδια του καλίου (KOH) και νατρίου (NaOH) που διαλύονται στη μεθανόλη [1]. Λόγω του συγκεκριμένου καταλύτη οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται στην αντίδραση πρέπει να πληρούν ορισμένες προδιαγραφές. Το φυτικό έλαιο πρέπει να είναι απαλλαγμένο από ελεύθερα λιπαρά οξέα και υγρασία. Τα ελεύθερα λιπαρά οξέα αντιδρούν με τον καταλύτη και σχηματίζονται σαπούνια [2]. Αυτά είναι ανεπιθύμητα στα επόμενα στάδια επεξεργασίας του βιοντίζελ γιατί δυσχεραίνουν την διαδικασία καθαρισμού του. Επίσης, το φυτικό έλαιο και η μεθανόλη θα πρέπει να είναι απαλλαγμένα από υγρασία. Η υγρασία υδρολύει τους εστέρες και σχηματίζει λιπαρά οξέα τα οποία με τη σειρά τους μετατρέπονται σε σαπούνια. Για να μην υπάρχουν ιδιαίτερα προβλήματα κατά τη διαδικασία παραγωγής τα επιθυμητά επίπεδα των ελεύθερων λιπαρών οξέων στην πρώτη ύλη πρέπει να είναι κάτω του 0,5 % κ.β., ενώ το επίπεδο της υγρασίας τόσο στο λάδι όσο στη μεθανόλη κάτω από τα 500 ppm [2].

Τα διάφορα τμήματα της πιλοτικής μονάδας σχεδιάστηκαν στη βάση των δεδομένων ποιότητας που απαιτούνται από την κλασική μέθοδο της ομογενούς βασικής κατάλυσης. Η μονάδα αποτελείται από τέσσερα βασικά τμήματα. Το τμήμα υποδοχής και προετοιμασίας των πρώτων υλών, το τμήμα μετεστεροποίησης, το τμήμα εξευγενισμού του τελικού προϊόντος και το τμήμα αποθήκευσης του βιοντίζελ (Σχήμα 1).



Σχήμα 1. Διάγραμμα ροής πιλοτικής μονάδας. Αποθήκευσης μεθανόλης (ST1) και ελαίου (ST2), προσμέτρηση μεθανόλης, ελαίου, νερού και οξέος (VT1, VT2, VT3 και VT4), αντιδραστήρας μετεστεροποίησης RT1, μονάδα έκπλυσης WT1, δοχεία συλλογής τελικών προϊόντων GS1 και GS2

Το τμήμα υποδοχής και προετοιμασίας των πρώτων υλών αποτελείται από το δοχείο ανάμιξης της μεθανόλης με τον καταλύτη και από τα δοχεία προσμέτρησης του φυτικού ελαίου και του μεθανολικού διαλύματος. Το δοχείο ανάμιξης της μεθανόλης με τον καταλύτη **ST1**, χωρητικότητας 250 lt., είναι κατασκευασμένο από πολυπροπυλένιο και έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να γίνεται ανάμιξη της μεθανόλης με τον καταλύτη χωρίς τη ανάγκη ηλεκτρικού ρεύματος (για λόγους ασφάλειας). Το δοχείο προσμέτρησης του μεθανολικού διαλύματος (ομογενές μίγμα καταλύτη - μεθανόλης) **VT1** (διαστάσεων $\varnothing 250 \text{ mm} \cdot h 500 \text{ mm} \cdot d 2 \text{ mm} = V 25 \text{ lt.}$) είναι κατασκευασμένο από ανοξείδωτο χάλυβα SS316. Το δοχείο προσμέτρησης του φυτικού ελαίου **VT2** (διαστάσεων $\varnothing 250 \text{ mm} \cdot h 750 \text{ mm} \cdot d 2 \text{ mm} = V 72 \text{ lt.}$) είναι επίσης κατασκευασμένο από ανοξείδωτο χάλυβα SS316. Το δοχείο αυτό είναι εφοδιασμένο με αντίσταση ώστε να ρυθμίζεται η θερμοκρασία τροφοδοσίας του ελαίου. Επίσης, διαθέτει διασπορέα αζώτου ώστε να υπάρχει η δυνατότητα ξήρανσης της πρώτης ύλης από την υγρασία που πιθανόν να περιέχει.

Το τμήμα μετεστεροποίησης περιλαμβάνει ουσιαστικά τον αντιδραστήρα όπου γίνεται η αντίδραση. Ο αντιδραστήρας μετεστεροποίησης **RT1** είναι ένας αντιδραστήρας πλήρους ανάδευσης και διαλείποντος έργου, έχει συνολικό όγκο περίπου 110 lt. (διαστάσεων $\varnothing 350 \text{ mm} \cdot h 1150 \text{ mm} \cdot d 4 \text{ mm} = V 111 \text{ lt.}$) και είναι κατασκευασμένος από ανοξείδωτο χάλυβα SS316. Ο σχεδιασμός του έχει γίνει έτσι ώστε να μπορεί να λειτουργεί αξιόπιστα και με ασφάλεια σε πίεση τουλάχιστον 3,5 bar. Η θέρμανσή του γίνεται με τη βοήθεια τριών (3) ηλεκτρικών αντιστάσεων ισχύος 700 W η κάθε μία, που βρίσκονται στον πυθμένα του και οι οποίες ελέγχονται από τον κεντρικό πίνακα ελέγχου της μονάδας. Σε συνθήκες ενός τυπικού πειράματος η θερμοκρασία του αντιδραστήρα διατηρείται στους $62 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$.

Η ισοθερμοκρασιακή λειτουργία του αντιδραστήρα επιτυγχάνεται με τη χρήση μονωτικών υλικών που βρίσκονται τοποθετημένα γύρω από την παράπλευρη επιφάνειά του. Η ανάδευση των αντιδρώντων (ελαίου - καταλύτη - μεθανόλης) επιτυγχάνεται με τη βοήθεια ηλεκτροκίνητου αναδευτήρα αντιακρηκτικού τύπου, ισχύος 1 hp. Η συχνότητα περιστροφής του αναδευτήρα μπορεί να ρυθμιστεί από τον πίνακα ελέγχου. Στον πυθμένα του αντιδραστήρα υπάρχουν βάνες δειγματοληψίας από τις οποίες συλλέγονται τα δείγματα για την παρακολούθηση της πορείας της αντίδρασης. Στο κέντρο του έχει τοποθετηθεί γυάλινη θυρίδα παρατήρησης του εσωτερικού του αντιδραστήρα (**Εικόνα 1**).



Εικόνα 1. Στοιχεία αντιδραστήρα μετεστεροποίησης **RT1** πιλοτικής μονάδας. α) Αντιστάσεις θέρμανσης και βάνες δειγματοληψίας, β) άνω τμήμα αντιδραστήρα - κινητήρας γ) θυρίδα οπτικού ελέγχου

Το τμήμα εξευγενισμού του τελικού προϊόντος αποτελείται από τη μονάδα έκπλυσης **WT1**, η οποία έχει τις ίδιες διαστάσεις, το ίδιο σύστημα θέρμανσης και το ίδιο υλικό κατασκευής με αυτά του αντιδραστήρα. Το τμήμα εξευγενισμού περιλαμβάνει δύο δοχεία χωρητικότητας 35 lt. το καθένα (**VT3** και **VT4**) στα οποία προσμετρούνται και αποθηκεύεται απιονισμένο νερό και διάλυμα φωσφορικού οξέος. Τα δοχεία αυτά τροφοδοτούν τη μονάδα έκπλυσης με τις κατάλληλες ποσότητες νερού και οξέος για τον εξευγενισμό του βιοντίζελ.

Τέλος, στο μονάδα έκπλυσης είναι συνδεδεμένη αντλία κενού, καθώς και σύστημα απογύμνωσης αζώτου, τα οποία χρησιμοποιούνται για την τελική ξήρανση του τελικού προϊόντος.

Για τη λειτουργία της μονάδας απαιτείται και βοηθητικός εξοπλισμός. Ο εξοπλισμός αυτός αποτελείται από τον κεντρικό πίνακα διανομής του ηλεκτρικού ρεύματος και ελέγχου των ηλεκτρονικών τμημάτων της μονάδας, από τον πίνακα χειρισμού των πνευματικών οργάνων και αντλιών, από τη μονάδα απιονισμού του νερού έκπλυσης, καθώς και από το δίκτυο διανομής του ρεύματος, του πεπιεσμένου αέρα και του απιονισμένου νερού.

Η πιλοτική μονάδα παραγωγής βιοντίζελ έχει δυνατότητα παραγωγής ενός βαρελιού (200 kg) βιοντίζελ ημερησίως, δουλεύοντας τρεις βάρδιες την ημέρα. Η πιλοτική μονάδα σχεδιάστηκε έτσι ώστε να λειτουργεί ως μονάδα διαλείποντος έργου παρέχοντας με τον τρόπο αυτόν και την δυνατότητα, όταν χρειάζεται, της ξεχωριστής λειτουργίας των επί μέρους λειτουργικών μονάδων για την μελέτη των διεργασιών (αντίδραση, διαχωρισμοί κλπ).

Ο σχεδιασμός και η κατασκευή της μονάδας έγινε αποκλειστικά από τα μέλη της ερευνητικής ομάδας του Ε.Μ.Π. / ΧΜ. Η μονάδα λειτουργεί από το Μάιο του 2005 επιτυχώς και χωρίς σημαντικά προβλήματα. Το αρχικό διάστημα και μέχρι το φθινόπωρο του 2005 η μονάδα λειτούργησε από εκπαιδευόμενο χειριστή υπό την επίβλεψη της ομάδας σχεδιασμού. Σήμερα είναι σε θέση να λειτουργεί μόνο από τον ειδικευμένο πλέον χειριστή. Για την λειτουργία της πιλοτικής μονάδας και τον έλεγχο της παραγωγής βιοντίζελ έχουν συνταχθεί αντίστοιχα εγχειρίδια λειτουργίας (production instructions) και φύλλο ελέγχου παραγωγής (production datasheet).



Εικόνα 2. Πιλοτική μονάδα παραγωγής βιοντίζελ

ΙΣΟΖΥΓΙΑ ΜΑΖΑΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Η τυπική ημερήσια παραγωγή περιλαμβάνει δύο παρτίδες με τελικό προϊόν $74,5 \text{ dm}^3$ βιοντίζελ ανά παρτίδα. Στον Πίνακα 1 παρουσιάζεται το ολικό ισοζύγιο μάζας ανά παρτίδα παραγωγής με βάση τα δεδομένα της τυπικής ημερήσιας παραγωγής. Για την διευκόλυνση του υπολογισμού του όγκων κατά προσέγγιση, στον Πίνακα 2 δίνεται η πυκνότητα των βασικών πρώτων υλών και των προϊόντων σε καθαρή μορφή.

Πίνακας 1. Ισοζύγιο μάζας και ενέργειας ανά παρτίδα παραγωγής

Πρώτες ύλες			kg			Προϊόντα			kg		
Φυτικό έλαιο	66,00	Υγρασία <500 ppm	Βιοντίζελ	65,56	Υγρασία <400 ppm						
MeOH	14,28	Υγρασία <640 ppm	Γλυκερίνη 61,5%	11,10	Περιέχει KOH, μεθανόλη, νερό και βιοντίζελ						
KOH	0,68	Υγρασία <3,3%	Απόβλητα	71,73	Περιέχουν KOH, H ₃ PO ₄ , μεθανόλη, νερό και βιοντίζελ						
Νερό δικτύου	66,76										
H ₃ PO ₄ 85%	0,41										
Αντιοξειδωτικό	0,13										
Αντιπηκτικό	0,13										
Σύνολο	148,39		Σύνολο	148,39							

Η απαιτούμενη ενέργεια ανά παρτίδα υπολογίστηκε στα 4,30 kWh, η κατανάλωση αζώτου στα 0,27 N m³, ενώ η κατανάλωση της ιοντεναλλακτικής ρητίνης στα 1 dm³.

Πίνακας 2. Πυκνότητα υλικών στους 20°C

Υλικό	kg/m³
Φυτικό έλαιο	890
MeOH	792
KOH	2044
Νερό δικτύου	1000
H ₃ PO ₄ 85%	1695
Βιοντίζελ	880
Γλυκερίνη 100%	1261

ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Η ανάλυση κόστους παραγωγής έγινε με βάση το αντίστοιχο τυπικό σχήμα ανάλυσης για μια βιομηχανική μονάδα, απλοποιημένο στις μεταβλητές που αφορούν στην πιλοτική μονάδα.

Οι δαπάνες για την μελέτη σχεδιασμού της μονάδας υπολογίστηκε με βάση τις ανθρωποώρες που δαπανήθηκαν από την ομάδα εργασίας και είναι 1000 manh x 30 €/manh = 30.000 €. Οι δαπάνες εργασιών για την εγκατάσταση της πιλοτικής μονάδας υπολογίστηκε με βάση τις ανθρωποώρες που δαπανήθηκαν από την ομάδα εργασίας, 320 manh x 20 €/manh = 6.400 €. Οι δαπάνες εργασιών για την εγκατάσταση εργαστηρίου ποιοτικού ελέγχου των πρώτων υλών και προϊόντων υπολογίστηκαν με βάση τις ανθρωποώρες που δαπανήθηκαν από την ομάδα εργασίας, 560 manh x 20 €/manh = 11.200 €. Οι δαπάνες του κύριου και δευτερεύοντος εξοπλισμού, καθώς και τα συναφή γενικά έξοδα ανήλθαν στο ποσό των 45.300 €. Το συνολικό κόστος εγκατάστασης της πιλοτικής μονάδας παραγωγής βιοντίζελ ανέρχεται στα 92.900 €.

Οι δαπάνες λειτουργίας της πιλοτικής μονάδας παραγωγής βιοντίζελ ανά παρτίδα των 74,5 dm³ τελικού προϊόντος υπολογίζεται με βάση την ημερήσια τυπική παραγωγή δύο παρτίδων που διαρκεί 8 h. Στον Πίνακα 3 φαίνονται αναλυτικά οι δαπάνες για πρώτες ύλες ανά παρτίδα βιοντίζελ της πιλοτικής μονάδας με βάση το ισοζύγιο μάζας του Πίνακα 1.

Πίνακας 3. Δαπάνες για πρώτες ύλες ανά παρτίδα βιοντίζελ

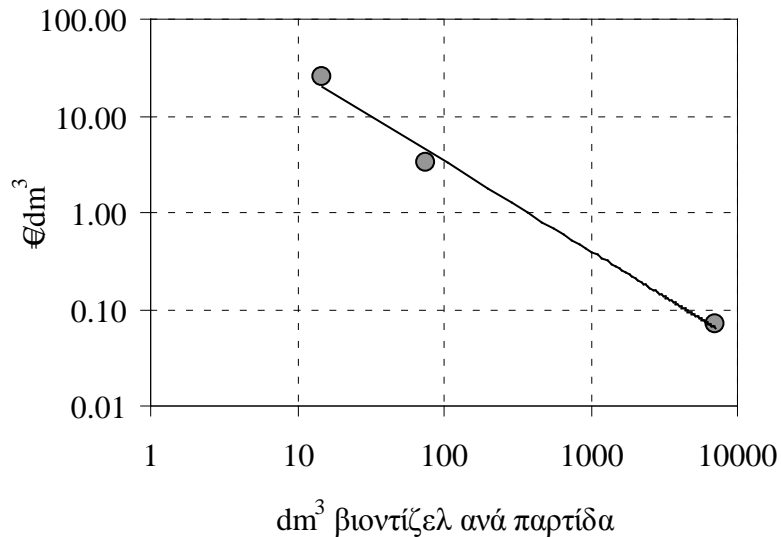
Πρώτες ύλες	kg	€/kg	€	%	Σύνολο Ποσοστό	Σύνολο Ποσοστό
					Χωρίς το κόστος του φυτικού ελαίου	
					€	%
Φυτικό έλαιο	66,00	0,60	39,60	74,0	0,00	0,0
Μεθανόλη	14,28	0,75	10,71	20,0	10,71	76,8
KOH	0,68	0,85	0,58	1,1	0,58	4,1
Νερό δικτύου	66,76	0,00	0,00		0,00	
H ₃ PO ₄ 85%	0,41	0,70	0,29	0,5	0,29	2,1
Αντιοξειδωτικό	0,13	4,00	0,52	1,0	0,52	3,7
Αντιπηκτικό	0,13	4,00	0,52	1,0	0,52	3,7
Βοηθητικές ύλες	-	-	1,32	2,5	1,32	9,5
Σύνολο	148,39		53,54	97,5	13,94	90,5

Το κόστος του φυτικού ελαίου συμμετέχει κατά 74,0% στην διαμόρφωση του κόστους πρώτων και βοηθητικών υλών και ενέργειας. Η ηλεκτρική ενέργεια και το άζωτο συμμετέχουν μόνο κατά 0,7 και 0,5 % αντίστοιχα στην διαμόρφωση του τελικού κόστους. Στην περίπτωση δωρεάν προμήθειας του φυτικού ελαίου το ποσοστό συμμετοχής του κόστους της μεθανόλης ανέρχεται σε 76,8%. Σημειώνεται ότι στην εγκατεστημένη πιλοτική μονάδα παραγωγής βιοντίζελ η περίσσεια της μεθανόλης, που είναι ισόποση με την μεθανόλη που αντιδρά, δεν ανακυκλώνεται.

Οι δαπάνες για τις αμοιβές του άμεσα απασχολούμενου προσωπικού που αποτελείται από 1 χημικό μηχανικό και 1 εργοδηγό ανέρχονται στα 160 €/batch και υπολογίζονται ως εξής: (2 x 8) manh x 20 €/manh / 2 batch = 160 €/batch. Τα γενικά έξοδα της πιλοτικής παραγωγής, όπως μεταφορικά των πρώτων υλών και των προϊόντων, συσκευασία (δοχεία και βαρέλια), μέσα ατομικής προστασίας, συντήρηση, επισκευές, έξοδα διοίκησης (απασχόληση διεύθυνσης εργαστηρίου, αναλώσιμα γραφείου κλπ) ανέρχονται στα 15 €/batch.

Επειδή σε μία πανεπιστημιακή πιλοτική ερευνητική εγκατάσταση δεν έχουν νόημα οι αποσβέσεις, υπολογίστηκε το κόστος συντήρησης και αναβάθμισης του εξοπλισμού (αυτόματος έλεγχος, ανακύκλωση μεθανόλης κλπ) που υπολογίζεται ως ποσοστό 20% της δαπάνης εγκατάστασης σε χρονικό διάστημα 3 ετών με την παραδοχή λειτουργίας 200 ημερών / έτος που αντιστοιχούν στην παραγωγή 3x200x2 = 1.200 batch. Έτσι η συντήρηση και αναβάθμιση υπολογίζεται ως 92.900 € / 1.200 batch * 0,2 = 15,48 €/batch και το κόστος παραγωγής ανέρχεται σε 244,03 €/batch ή σε (244,03/74,5=) 3,28 €/dm³.

Στο σχήμα 2 παρουσιάζεται μία συσχέτιση του κόστους παραγωγής ανά dm³ βιοντίζελ από δεδομένα εργαστηριακής, πιλοτικής και βιομηχανικής παραγωγής.



Σχήμα 2. Κόστος παραγωγής βιοντίζελ σε σχέση με την δυναμικότητα της παρτίδας παραγωγής

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα δεδομένα από τη λειτουργία της μονάδας μπορούν να συνδυαστούν με τις υπάρχουσες τεχνολογικές λύσεις για την κλιμάκωση μεγέθους, το σχεδιασμό και την ολοκλήρωση αλλά και την υποστήριξη οποιασδήποτε βιομηχανικής μονάδας παραγωγής βιοντίζελ. Παράλληλα, η συγκεκριμένη πιλοτική μονάδα παραγωγής βιοντίζελ μπορεί να βοηθήσει καθοριστικά στη διεξαγωγή πιλοτικών πειραμάτων κάθετης αξιοποίησης ενεργειακών καλλιεργειών ελαιούχων σπόρων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Ma, F., Hanna, M.A., *Bioresource Technology*, **70**:1 (1999)
- [2] R. G. Bartolo, M. L. Lynch, *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*, John Wiley & Sons, New York (2001)