

## Έκθεση Γ Εξαμήνου

Η έκθεση αυτή περιλαμβάνει ουσιαστικά τις δράσεις από τον Σεπτέμβριο του 2007 έως τον Ιούνιο του 2008.

### Φάση 1 Πειραματικές Καλλιέργειες

Οι πειραματικές καλλιέργειες συνεχίστηκαν με το δεύτερο έτος των πειραμάτων. Συνεχίστηκαν τα ίδια πειράματα με μερικές τροποποιήσεις για διερεύνηση και άλλων παραμέτρων που κρίθηκε να έχουν ενδιαφέρον.

1. Ελαικράμβη. Εγκαταστάθηκαν δυο πειραματικοί αγροί ένας στην Ανατολική και ένας στη Δυτική Θεσσαλία. Δοκιμάστηκαν δέκα ποικιλίες ίδιες με τις ποικιλίες του προηγούμενου έτους. Το πείραμα στην Ανατολική Θεσσαλία σθάρθηκε με πνευματική μηχανή στα 30 εκ. ενώ στη Δυτική χρησιμοποιήθηκε ειδική μηχανή σιτηρών με τροχίσκο για σπορά ελαικράμβης με αποστάσεις μεταξύ των σειρών 12 εκ. Η σπορά έγινε και πάλι σχετικά αργά και το φύτευμα δεν είχε μεγάλη επιτυχία λόγω των καιρικών συνθηκών που ήταν και πάλι πολύ ξηρές. Ακολουθήθηκαν οι ίδιες καλλιεργητικές φροντίδες με το προηγούμενο έτος. Η συγκομιδή έγινε την .....Τα αποτελέσματα των πειραμάτων φαίνονται στο Παράρτημα Ι.

2. Ηλίανθος. Εγκατεστάθηκαν δύο πειράματα ποικιλιών (ένα στην Ανατολική και ένα στη Δυτική Θεσσαλία) με δώδεκα ποικιλίες το κάθε ένα. Ακολουθήθηκε το ίδιο πειραματικό σχέδιο και οι καλλιεργητικές φροντίδες του 2007.

Έγκαταστάθηκαν δύο πειράματα σύγκρισης κατεργασιών εδάφους. Ένα ξηρικό και ένα αρδευόμενο. Παράλληλα έγινε και ένα πείραμα με πυκνή σπορά (αποστάσεις μεταξύ των σειρών 40 εκ με ίδιο συνολικό πληθυσμό 5,5 – 6000 φυτά το στρέμμα). Εγκαταστήθηκαν δύο πειράματα χρόνου εγκατάστασης και μειωμένου ποτίσματος. Η εξέλιξη των πειραμάτων είναι καλή

3. Γλυκό σόργο. Εγκαταστάθηκε δύο πειράματα ποικιλιών με 5 ποικιλίες το κάθε ένα. Ακολουθήθηκε το ίδιο πειραματικό σχέδιο και οι καλλιεργητικές φροντίδες του 2007. Η εξέλιξη των πειραμάτων είναι καλή

### Φάση 2 Πιλοτικές Καλλιέργειες

1. Ελαικράμβη. . Εγκαταστάθηκαν δυο πιλοτικοί αγροί ένας στην Ανατολική και ένας στη Δυτική Θεσσαλία
2. Ηλίανθος Εγκαταστάθηκαν δυο πιλοτικοί αγροί ένας στην Ανατολική και ένας στη Δυτική Θεσσαλία
3. Γλυκό σόργο. Εγκαταστήθηκε ένας πιλοτικός αγρός. Λόγω των υψηλών τιμών του καλαμποκιού δεν υπήρξε ενδιαφέρον από παραγωγούς να καλλιεργήσουν στην κανονική περίοδο. Υπήρξε ενδιαφέρον για επίσπορη καλλιέργεια αλλά καθώς αυτό δοκιμάστηκε το προηγούμενο έτος εκρίθηκε να μην υπάρχει ενδιαφέρον επανάληψης με τόσο υψηλό κόστος.

### Οικονομικά και ενεργειακά ισοζύγια των καλλιεργειών.

Με βάση τα στοιχεία των καλλιεργιών και των ημερολογίων εργασιών έγινε η ανάλυση του κόστους παραγωγής και του ενεργειακού ισοζυγίου. Τα αποτελέσματα φαίνονται στο Παράρτημα ΙΙ.

### **Εφαρμογές νέων καλλιεργητικών τεχνικών**

Εκτός από τα πειράματα σύγκρισης των μεθόδων κατεργασίας του εδάφους έγιναν μια σειρά πειραμάτων μέτρησης της παραλλακτικότητας της παραγωγής (χαρτογράφηση ποιοτικών χαρακτηριστικών). Χρησιμοποιήθηκε το όργανο εκτόμησης της ποιότητας των σπόρων (περιεκτικότητα σε λάδι) και η κατανομή τους στον αγρό. Τα αποτελέσματα αναλύονται.

### **Φάση 3 Εξαγωγή - Καθαρισμός και χρήση λαδιού σε επίπεδο αγροκτήματος**

Συνεχίστηκε η παραγωγή λαδιού με την κοχλωτή πρέσσα του εργαστηρίου. Η λειτουργία της πρέσσας ήταν ικονοποιητική με σπόρους ελαικράμβης αλλά με αρκετά προβλήματα εμπλοκών με τους σπόρους ηλίανθου. Παρήχθει αρκετό λάδι για αναλύσεις ποιοτικών χαρακτηριστικών από την ΕΛΙΝ Βιοκαύσιμα και για τις ανάγκες καύσης σε ΜΕΚ και σε καυστήρες θερμοκηπίων.

Χρήση φυτικών λαδιών σε ΜΕΚ

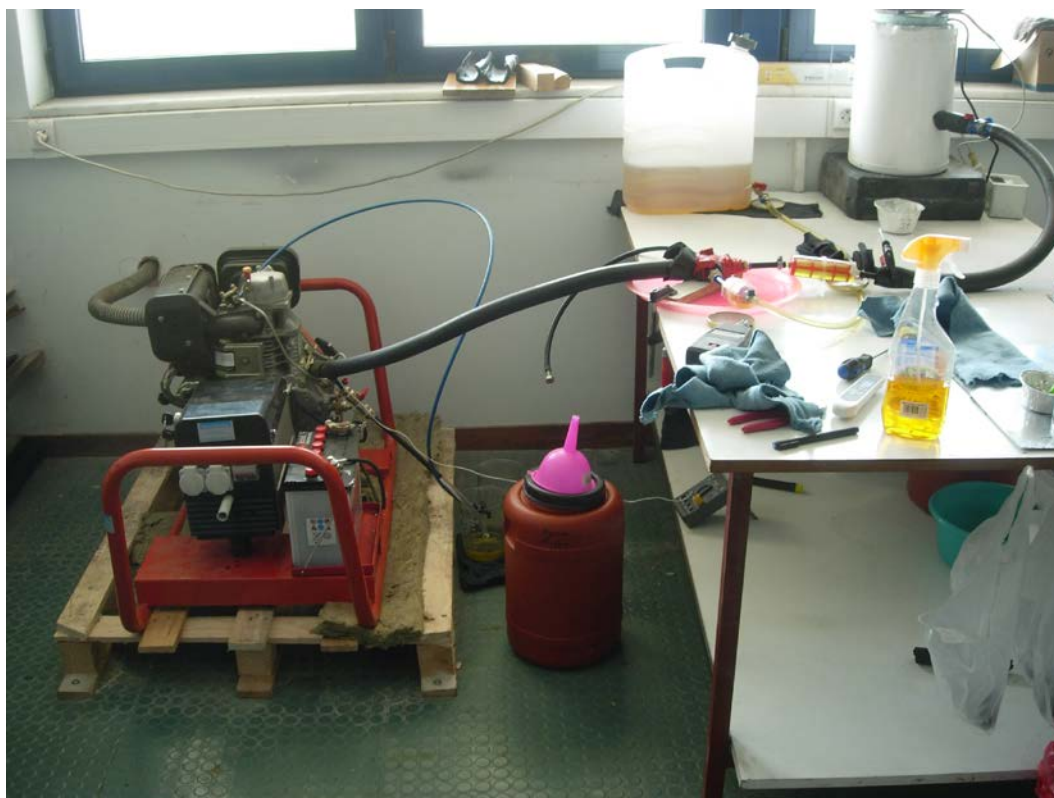
Α) Προετοιμάστηκε η ΜΕΚ για λειτουργία με φυτικά λάδια και ξεκίνησαν οι δοκιμές. Ακολουθείται η τυποποίηση των δοκιμών κατά τον κώδικα του ΟΟΣΑ για κινητήρες γεωργικών ελκυστήρων. Αναπτύχθηκε ένα σύστημα τροφοδοσίας καυσίμου με δυνατότητα παροχής καθαρού πετρελαίου, ή μιγμάτων πετρελαίου με φυτικό λάδι σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος και σε θερμοκρασίες μέχρι 85° C. Η μέτρηση της ισχύος γίνεται με σύνδεση με ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος. Αναπτύχθηκε ένα πλήρες σύστημα καταγραφής των στοιχείων των δοκιμών. Το σύστημα μέτρησης και καταγραφής ματρά:

1. Ταχύτητα περιστροφής της μηχανής
2. Κατανάλωση καυσίμου
3. Αποδιδόμενη ισχύ
4. Θερμοκρασία μηχανής και καυσίμου

Από τα στοιχεία εκτιμάται η ροπή της μηχανής και κατασκευάζονται οι χαρακτηριστικές καμπύλες της δοκιμής.

Παράλληλα ματρώνται οι εκπομπές των καυσαερίων με ειδικά όργανα.

Πριν από την έναρξη των μετρήσεων έγινε καταγραφή της κατάστασης των κυλίνδρων με το οπτικό όργανο που προμηθεύτηκε η EBETAM.



Άποψη της πειραματικής διάταξης για δοκιμές της MEK.

Β) Εγκατάσταση νέου κινητήρα σε υπάρχοντα ελκυστήρα του εργαστηρίου για πραγματικές δοκιμές με την ηλεκτρική πέδη για δοκιμές στο ΡΤΟ του ελκυστήρα. Η μηχανή θα περαστεί μόλις έρθει η δεύτερη δόση της χρηματοδότησης και οι δοκιμές θα αρχίσουν άμεσα.

Χρήση φυτικών λαδιών σε καυστήρα θερμοκηπίου

Διαμορφώθηκε το σύστημα τροφοδοσίας ενός καυστήρα θερμοκηπίου για διπλή τροφοδοσία από πετρέλαιο και από μίγματα πετρελαίου και φυτικών λαδιών. Οι πρώτες μετρήσεις έδειξαν ικανοποιητική λειτουργία. Οι μετρήσεις θα συνεχιστούν το Σεπτέμβριο.

#### **Φάση 4 Εξαγωγή λαδιού σε βιομηχανική κλίμακα**

Οι αναλύσεις λαδιών σε βιομηχανική κλίμακα παρουσιάστηκαν στην προηγούμενη έκθεση για του 2007. Αποτελέσματα το 2008 θα υπάρχουν στην επόμενη έκθεση.

*Κόστος βιομηχανικής παραγωγής λαδιού. Αναμένεται η σχετική μελέτη από τη βιομηχανία.*

#### **Φάση 5 Παραγωγή αλκοόλης από ζύμωση σακχάρων και κυτταρινών**

Τα πειράματα συνεχίζονται με ζυμώσεις σόργου κάτω από διαφορετικές συνθήκες. Τα πρώτα αποτελέσματα είναι ενθαρυντικά. Η έκθεση αποτελεσμάτων φαίνεται στο Παράρτημα IV.

#### **Φάση 6. Αξιολόγηση τεχνολογιών της διεργασίας μετεστεροποίησης των φυτικών ελαίων.**

Αναμένεται η έκθεση που γίνεται από την ΕΛΙΝ Βιοκάυσιμα και ομάδα μελών ΔΕΠ και ερευνητών του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών του Π.Θ.

#### **Φάση 7. Αξιολόγηση χρήσης βιοντήζελ για κίνηση αυτοκινήτων**

Εκτελέστηκε σειρά δοκιμών σε κινητήρες Diesel σε πέδη με χρήση μέχρι 70% βιοντήζελ. Βλέπε αναλυτική παρουσίαση των πειραμάτων στο παράρτημα II. Κατά τη διάρκεια του χειμώνα δεν έγινε χρήση κραμβελαίου στο Λεωφορείο του Αστικού ΚΤΕΛ Βόλου. Η χρήση άρχισε πάλι την άνοιξη μετά τη λήψη αδειας από του Υπουργείο Μεταφορών. Προγραμματίζονται έλεγχοι εκπομπών καυσαερίων στις αρχές Σεπτεμβρίου.

#### **Φάση 8. Διάδοση των αποτελεσμάτων**

##### **Δικτυακός τόπος**

Έχει δημιουργηθεί δικτυακός τόπος στο ΚΕΤΑ. Έχουν αναρτηθεί οι δύο εκθέσεις καθώς και οι παρουσιάσεις της πρώτης ημερίδας για τα βιοκάυσιμα που έγινε στη Λάρισα.

##### **Ημερίδες.**

Έγινε μια ημερίδα στη Λάρισα για παρουσίαση των αποτελεσμάτων.

##### **Φυλλάδια καλλιεργειών**

Προετοιμάζονται φυλλάδια για τις τρεις καλλιεργείες για τους αγρότες σε μορφή τριπτύχων.

Δημοσιεύσεις – Παρουσίαση αποτελεσμάτων

Παρουσιάστηκαν δύο εργασίες στο Ευρωπαϊκό συνέδριο των Γεωργικών Μηχανικών:

1. P.A. Kalavriotou and Th. A. Gemtos SUNFLOWER: FARM TO OIL
2. C. Cavalaris, C. Karamoutis, S. Fountas and T.A. Gemtos  
Sunflower oil energy budget for in-farm oil production under four tillage systems

Υποβλήθηκε για παρουσίαση εργασία με τίτλο

T.A. GEMTOS, P. KALAVRIOTOU, CHR. KAVALARIS, CHR. KARAMOUTIS, S. FOUNTAS In farm production and use of vegetable oils

Στο διεθνές συνέδριο στην Αττάλεια το Οκτώβριο του 2008. Έγινε δεκτή για παρουσίαση σε μορφή poster.

**Παράρτημα Ι**  
**Αποτελέσματα πειραμάτων εαλικρόμβης 2008**

## **Παράρτημα ΙΙ**

### **Οικονομικά και Ενεργειακά ισοζύγια καλλιεργειών**

## **Οικονομικό – Ενεργειακό ισοζύγιο για τις καλλιέργειες ελαιοκράμβη, σόργο, ηλίανθος.**

Στην παρούσα έρευνα μελετήθηκαν οι τρεις κυριότερες καλλιέργειες που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή βιοκαυσίμων. Η ελαιοκράμβη, αποτελεί το πιο διαδεδομένο ενεργειακό φυτό στη δυτική Ευρώπη. Από τον ελαιώδη σπόρο του φυτού εξάγεται έλαιο το οποίο χρησιμοποιείται για την παραγωγή βιοντίζελ, κατάλληλο για καύση σε πετρελαιοκινητήρες. Για τις ελληνικές κλιματικές συνθήκες, απαιτείται προσαρμογή της καλλιέργειας, έρευνα και γενετική βελτίωση για εύρεση ποικιλιών κατάλληλων για το κλίμα της νότιας Ευρώπης.

Το σόργο είναι γνωστή καλλιέργεια στους Έλληνες παραγωγούς, απόλυτα προσαρμοσμένη στις εδαφοκλιματικές συνθήκες της χώρας δίνοντας πολύ καλές αποδόσεις. Μέχρι στιγμής η παραγωγή της καλλιέργειας του σόργου, χρησιμοποιείται ως ζωοτροφή. Από ενεργειακής πλευράς, το προϊόν έπειτα από κατάλληλη επεξεργασία, παράγει βιοαιθανόλη, αλκοόλη η οποία αποτελεί πολύ καλής ποιότητας καύσιμο για βενζινοκινητήρες.

Τέλος ο ηλίανθος αποτελεί μια πολύ γνωστή και προσαρμοσμένη καλλιέργεια με καλές αποδόσεις. Μέχρι σήμερα, καλλιεργείται για την παραγωγή ηλιελαίου το οποίο εξάγεται από τον ελαιώδη σπόρο του φυτού. Το ηλιέλαιο έπειτα από κατάλληλη επεξεργασία, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως βιοκαύσιμο για καύση σε ντιζελοκινητήρες.

Σκοπός της έρευνας είναι να βρεθεί η καταλληλότερη καλλιέργεια, η βέλτιστη ποικιλία και ο καλύτερος τρόπος διαχείρισης της καλλιέργειας, ώστε να επιτευχθούν υψηλές αποδόσεις με όσο το δυνατό λιγότερες εισροές.

Για τις ανάγκες της έρευνας χρησιμοποιήθηκαν πειραματικά αγροτεμάχια σε διάφορες περιοχές της Θεσσαλίας, Βελεστίνο, Γιάννουλη, Ριζόμυλος, Καλυβάκια, Στεφανοβίκειο, Πατουλιά, Μακρυχώρι και Ψυχικό.

Οργανώθηκαν τέσσερα είδη πειραμάτων. Ποικιλιών, άρδευσης, εποχής σποράς και πυκνότητας σποράς, ενώ τέλος εγκαταστάθηκαν πιλοτικές καλλιέργειες. Σκοπός των πειραμάτων ποικιλιών, είναι να ελεγχθούν οι καλύτερες ποικιλίες από την κάθε καλλιέργεια, για να βρεθεί ποιες από αυτές είναι καλύτερα προσαρμοσμένες στις συνθήκες της περιοχής της Θεσσαλίας. Το ενδιαφέρον εστιάζεται στην απόδοση και τις απαιτήσεις της κάθε ποικιλίας σε νερό και φυτοπροστατευτικά προϊόντα. Τα



πειράματα άρδευσης πραγματοποιήθηκαν για να ελεγχθεί πως αντιδρά η κάθε μία από τις καλλιέργειες στο νερό. Σκοπός είναι η μείωση των αρδεύσεων στο ελάχιστο, χωρίς όμως να μειώνεται το οικονομικό όφελος για τον παραγωγό που εκμεταλλεύεται την καλλιέργεια. Στα πειράματα εποχής σποράς, πραγματοποιήθηκε σπορά σε τρεις διαφορετικές περιόδους. Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων των πειραμάτων εποχής σποράς, θα εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα ως προς το ποια είναι η καταλληλότερη περίοδος για την εγκατάσταση της καλλιέργειας. Με τα πειράματα πυκνότητας σποράς, ελέγχεται ποιος είναι ο ιδανικός πληθυσμός φυτών, ώστε να επιτευχθούν μέγιστες αποδόσεις.

Τέλος, εγκαταστάθηκαν πιλοτικές καλλιέργειες. Σκοπός ήταν να ελεγχθεί πως αντιδρούν οι ποικιλίες που επιλέχτηκαν σε πραγματικές συνθήκες αγρού, να επισημανθούν οι δυσκολίες που αντιμετωπίζει ο παραγωγός και να εκτιμηθεί η απόδοση που μπορεί να δώσει σε πραγματικές συνθήκες η κάθε καλλιέργεια.

Ελαιοκράμβη.

Για τη διεξαγωγή του πειράματος ποικιλιών στην καλλιέργεια της ελαιοκράμβης, χρησιμοποιήθηκαν οι ποικιλίες: PR46W09, PR46W10, PR45W04, PR45D01, RECITAL, EXACT, HERO, ROYALF1, CALIFORNIUM και EXECUTIVE. Εγκαταστάθηκαν σε τρεις πειραματικούς αγρούς, στο Βελεστίνο, στη Γιάννουλη και στα Καλυβάκια. Στο πείραμα πυκνότητας σποράς εγκαταστάθηκε η ποικιλία PR46W09 σε πειραματικά αγροτεμάχια στο Βελεστίνο στη Γιάννουλη και στο Ριζόμυλο. Τέλος, για την ελαιοκράμβη εγκαταστάθηκε πείραμα εποχής σποράς. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε η ποικιλία PR46W09, στους πειραματικούς αγρούς του Βελεστίνου και του Ριζόμυλου με ημερομηνίες σποράς 7/11/06 - 26/12/06 - 9/2/07 και 28/11/07 - 3/1/08 αντίστοιχα.

Σόργο.

Στο πείραμα ποικιλιών χρησιμοποιήθηκαν πέντε εμπορικές ποικιλίες σόργου: DALE, M81-E, THEIS, TOPPER76-6 και SUGARGRAZE. Εγκαταστάθηκαν δυο πειραματικοί αγροί με πειράματα ποικιλιών και εποχής σποράς, στο Ψυχικό και στα

Καλυβάκια. Οι ημερομηνίες σποράς για τις δυο περιοχές, είναι 4/5/07-30/5/07-18/6/07 και 8/5/07-28/5/07-18/6/07 αντίστοιχα. Οι ποικιλίες που χρησιμοποιήθηκαν στο πείραμα εποχής σποράς είναι οι M81-E και SUGARGRAZE. Η πιλοτική καλλιέργεια εγκαταστάθηκε σε αγρό 2 εκταρίων στην αγροτική περιοχή του Ριζόμυλου. Χρησιμοποιήθηκαν οι ποικιλίες DALE, M81-E, THEIS, TOPPER76-6 και SUGARGRAZE.

Ηλίανθος.

Οι ποικιλίες ηλίανθου οι οποίες εγκαταστάθηκαν στα πλαίσια της έρευνας για το πείραμα ποικιλιών είναι: AURASAL, GAMASOL, GLEDESOL, MH5222, NUTRASOL, NIKSANAY, NX367, OLEKO, SANLUKA, PR63A90, PR63A70 και GARYSOL. Εγκαταστάθηκαν σε δυο πειραματικούς αγρούς, έναν στο Στεφανοβίκειο κι έναν στην Πατουλιά. Για το πείραμα άρδευσης εγκαταστάθηκαν δυο ποικιλίες ηλίανθου, GLEDESOL και GARYSOL στα ίδια πειραματικά αγροτεμάχια με το πείραμα ποικιλιών. Η πιλοτική καλλιέργεια του ηλίανθου, εγκαταστάθηκε σε αγρό έκτασης ενός εκταρίου στην αγροτική περιοχή του Ψυχικού. η ποικιλία που επιλέχτηκε είναι η GLEDESOL.

### **Σενάρια - Παραδοχές**

Για την ανάλυση των αποτελεσμάτων δημιουργήθηκαν σενάρια καλλιεργητικών φροντίδων και άρδευσης, με σκοπό να καλυφθούν όλες οι δυνατές περιπτώσεις ενεργειακών και οικονομικών ισοζυγίων για την κάθε καλλιέργεια.

## Ελαιοκράμβη

Το σενάριο για την καλλιέργεια της ελαιοκράμβης, παρουσιάζεται συνοπτικά στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 1. Σενάριο για την καλλιέργεια της ελαιοκράμβης με τα βασικά οικονομικά στοιχεία και την ενέργεια για την κάθε εργασία.

καλλιέργεια		ελαιοκράμβη		κόστος €/ha
ενοίκιο γης				300
<b>κατεργασία εδάφους</b>	<b>μονάδες</b>	<b>επαναλήψεις</b>	<b>ενέργεια</b>	
άροτρο	MJ / ha	1	2445,5	120
δισκοσβάρνα	MJ / ha	1	355,989	50
ελαφρύς καλλιεργητής-προετοιμασίας	MJ / ha	1	435,653	50
σύνολο	MJ / ha		3237,1	
<b>σπορά</b>	<b>μονάδες</b>	<b>τιμή</b>	<b>ενέργεια</b>	
εργασία σποράς	MJ / ha		169	60
ποσότητα σπόρου	g/ha	3503		
ποσότητα σπόρου	σπ./ha	661000		46,7
<b>λίπανση</b>	<b>μονάδες</b>	<b>τιμή</b>	<b>ενέργεια</b>	
είδος λιπάσματος	11 - 15 – 15			
ποσότητα λιπάσματος	kg/ha	250		125
σύνολο	MJ / ha		7767,4	
<b>ζιζανιοκτονία</b>	<b>μονάδες</b>	<b>τιμή</b>	<b>ενέργεια</b>	
είδος ζιζανιοκτόνου	Trifluralin			
ποσότητα ζιζανιοκτόνου	g/ha	2200		14,3
εργασία ζιζανιοκτονίας				15
σύνολο	MJ / ha		18,5	
<b>συγκομιδή</b>	<b>μονάδες</b>	<b>ενέργεια</b>		
εργασία συγκομιδής	MJ / ha		702,2	80
επιδότηση καλλιέργειας (€/ha)				40

Για την κατεργασία του εδάφους, το σενάριο περιλαμβάνει ένα θερινό όργωμα, πέρασμα με δισκοσβάρνα, και τέλος ένα πέρασμα με ελαφρύ καλλιεργητή για τη δημιουργία κατάλληλης σποροκλίνης. Ακολουθεί λίπανση με λιπασματοδιανομέα, ο οποίος διανέμει σε κάθε εκτάριο του αγροτεμαχίου 250 kg λιπάσματος 11 – 15 – 15 και ψεκασμός με 2200 g/ha από το ζιζανιοκτόνο trifluralin. Στόχος είναι η σπορά να πραγματοποιηθεί στα μέσα του Οκτωβρίου, αλλά λόγω των δυσκολιών προετοιμασίας της σποροκλίνης έγινε κατά το μήνα Νοέμβριο. Για τη σπορά ενός εκταρίου, απαιτούνται 3500 g σπόρου. Τέλος, η συγκομιδή πραγματοποιείται με θεριζοαλωνιστική μηχανή, όπως και στην καλλιέργεια του σιταριού.

Για τον υπολογισμό του οικονομικού ισοζυγίου συνυπολογίζεται το κόστος για την κάθε εργασία και τα γεωργικά εφόδια που χρησιμοποιήθηκαν (Πίνακας 1). Επίσης,

συμπεριλαμβάνεται κόστος ενοικίασης της γης 300 € / ha, επειδή εξετάζεται το σενάριο εγκατάστασης της ελαιοκράμβης σε ξηρικά χωράφια. Κατά συνέπεια, δεν περιλαμβάνεται στους υπολογισμούς κόστος και ενέργεια άρδευσης. Τέλος συνυπολογίζεται επιδότηση καλλιέργειας 40 €/ ha. Η επιδότηση αυτή αναμένεται να σταματήσει τα επόμενα έτη.

Η διαφορά των συνολικών εξόδων της καλλιέργειας από την οικονομική πρόσοδο, έδωσε το οικονομικό ισοζύγιο για την κάθε περίπτωση. Για τον υπολογισμό της οικονομικής προσόδου για την καλλιέργεια της ελαιοκράμβης, υπολογίστηκε τιμή πώλησης 0,4 €/kg σπόρου. Στο σενάριο που περιγράφηκε, εξετάστηκε η οικονομική πρόσοδος της καλλιέργειας για αποδόσεις 1000, 1500, 2000, 2500 και 3000 kg / ha. Τέλος εξετάστηκε η οικονομική πρόσοδος της καλλιέργειας για τις παραπάνω αποδόσεις, σε ιδιόκτητη γη. Αφαιρέθηκε δηλαδή το κόστος ενοικίασης γης.

Για όλα τα σενάρια που περιγράφηκαν για την καλλιέργεια της ελαιοκράμβης, παράλληλα με το οικονομικό ισοζύγιο, υπολογίστηκαν το ενεργειακό ισοζύγιο ο συντελεστής ενεργειακής απόδοσης και η ενεργειακή αποδοτικότητα.

Αρχικά υπολογίστηκαν οι εισροές ενέργειας. Για το σκοπό αυτό, υπολογίστηκε η ενέργεια που δαπανάται για την κατεργασία του εδάφους, τη σπορά, τη λίπανση, τη φυτοπροστασία, τη συγκομιδή, τη μεταφορά της παραγωγής και την εξαγωγή του ελαίου.

### **Κατεργασία εδάφους**

Για την κατεργασία του εδάφους με άροτρο, θεωρείται ότι χρησιμοποιήθηκε γεωργικός ελκυστήρας ισχύος 82 kW και βάρους 4200 kg. Για την ενέργεια των σταθερών στοιχείων του ελκυστήρα υπολογίστηκαν οι επιμέρους ενέργειες:

Ενέργεια κατασκευής (υλικά και βιομηχανοποίηση) 86,77 MJ/kg (Bowers, 1992).

Ενέργεια μεταφοράς 8,8 MJ/kg (Bowers, 1992).

Ενέργεια επισκευών 49% επί της αρχικής ενέργειας κατασκευής (Bowers, 1992).

Η διάρκεια ζωής του ελκυστήρα ανέρχεται σύμφωνα με τη βιβλιογραφία σε 16000 ώρες (Asae Standards, 2002). Έτσι, η απόσβεση ενέργειας ανά ώρα εργασίας του ελκυστήρα υπολογίζεται σε 36,25 MJ.

### *Άροτρο*

Έγινε η παραδοχή ότι χρησιμοποιήθηκε 4υνο άροτρο βάρους 500 kg. Η ενέργεια των σταθερών στοιχείων του αρότρου υπολογίστηκε από τις επιμέρους ενέργειες:

Ενέργεια κατασκευής (υλικά και βιομηχανοποίηση) 52,78 MJ/kg (Bowers, 1992).

Ενέργεια μεταφοράς 8,8 MJ/kg (Bowers, 1992).

Ενέργεια επισκευών 97% επί της αρχικής ενέργειας κατασκευής (Bowers, 1992).

Η διάρκεια ζωής του αρότρου, ανέρχεται σύμφωνα με τη βιβλιογραφία σε 2000 ώρες (Asae Standards, 2002). Έτσι, η απόσβεση ενέργειας ανά ώρα εργασίας υπολογίζεται σε 28,19 MJ.

Η ενέργεια των μεταβλητών στοιχείων του αρότρου υπολογίστηκε ως εξής:

Κατανάλωση καυσίμου 49,2 l/ha.

Ενεργειακό ισοδύναμο καυσίμου 47,78 MJ/l (Pimentel, 1992).

Ενέργεια καυσίμου  $47,78 \text{ MJ/l} \times 49,2 \text{ l/ha} = 2351 \text{ MJ/ha}$ .

Ενέργεια λιπαντικών 4% επί της ενέργειας καυσίμου.

Το άθροισμα της ενέργειας καυσίμου και της ενέργειας λιπαντικών, δίνει την ενέργεια των μεταβλητών στοιχείων του αρότρου.

Για την κατεργασία του εδάφους με ελαφρύ καλλιεργητή και δισκοσβάρνα, θεωρείται ότι χρησιμοποιήθηκε γεωργικός ελκυστήρας ισχύος 51 kW και βάρους 2520 kg. Για την ενέργεια των σταθερών στοιχείων του ελκυστήρα υπολογίστηκαν οι επιμέρους ενέργειες:

Ενέργεια κατασκευής (υλικά και βιομηχανοποίηση) 86,77 MJ/kg (Bowers, 1992).

Ενέργεια μεταφοράς 8,8 MJ/kg (Bowers, 1992).

Ενέργεια επισκευών 49% επί της αρχικής ενέργειας κατασκευής (Bowers, 1992).

Η διάρκεια ζωής του ελκυστήρα ανέρχεται σε 12000 ώρες (Asae Standards, 2002).

Έτσι, η απόσβεση ενέργειας ανά ώρα εργασίας του ελκυστήρα υπολογίζεται σε 29 MJ.

### *Ελαφρύς καλλιεργητής*

Έγινε η παραδοχή ότι το βάρος του καλλιεργητή είναι 280 kg. Η ενέργεια των σταθερών στοιχείων υπολογίστηκε από τις επιμέρους ενέργειες:

Ενέργεια κατασκευής (υλικά και βιομηχανοποίηση) 51,38 MJ/kg (Bowers, 1992).

Ενέργεια μεταφοράς 8,8 MJ/kg (Bowers, 1992).

Ενέργεια επισκευών 61% επί της αρχικής ενέργειας κατασκευής (Bowers, 1992).

Η διάρκεια ζωής του αρότρου, ανέρχεται σε 2000 ώρες (Asae Standards, 2002). Έτσι, η απόσβεση ενέργειας ανά ώρα εργασίας υπολογίζεται σε 28,19 MJ.

Η ενέργεια των μεταβλητών στοιχείων για τον ελαφρύ καλλιεργητή υπολογίστηκε ως εξής:

Κατανάλωση καυσίμου 8,8 l/ha.

Ενεργειακό ισοδύναμο καυσίμου 47,78 MJ/l (Pimentel, 1992).

Ενέργεια καυσίμου 47,78 MJ/l x 8,8 l/ha = 419 MJ/ha.

Ενέργεια λιπαντικών 4% επί της ενέργειας καυσίμου

Το άθροισμα της ενέργειας καυσίμου και της ενέργειας λιπαντικών, δίνει την ενέργεια των μεταβλητών στοιχείων για τον ελαφρύ καλλιεργητή.

#### *Δισκοσβάρνα*

Έγινε η παραδοχή ότι το βάρος της δισκοσβάρνας είναι 1050 kg. Η ενέργεια των σταθερών στοιχείων υπολογίστηκε από τις επιμέρους ενέργειες:

Ενέργεια κατασκευής (υλικά και βιομηχανοποίηση) 49,96 MJ/kg (Bowers, 1992).

Ενέργεια μεταφοράς 8,8 MJ/kg (Bowers, 1992).

Ενέργεια επισκευών 61% επί της αρχικής ενέργειας κατασκευής (Bowers, 1992).

Η διάρκεια ζωής του αρότρου, ανέρχεται σύμφωνα με τη βιβλιογραφία σε 2000 ώρες (Asae Standards, 2002). Έτσι, η απόσβεση ενέργειας ανά ώρα εργασίας υπολογίζεται σε 46,85 MJ.

Η ενέργεια των μεταβλητών στοιχείων για τον ελαφρύ καλλιεργητή υπολογίστηκε ως εξής:

Κατανάλωση καυσίμου 7,2 l/ha.

Ενεργειακό ισοδύναμο καυσίμου 47,78 MJ/l (Pimentel, 1992).

Ενέργεια καυσίμου  $47,78 \text{ MJ/l} \times 7,2 \text{ l/ha} = 342 \text{ MJ/ha}$ .

Ενέργεια λιπαντικών 4% επί της ενέργειας καυσίμου.

Το άθροισμα της ενέργειας καυσίμου και της ενέργειας λιπαντικών, δίνει την ενέργεια των μεταβλητών στοιχείων της δισκοσβάρνας.

### **Σπορά**

Για την σπορά, χρησιμοποιήθηκε γεωργικός ελκυστήρας ισχύος 51 kW και βάρους 2520 kg. Οι υπολογισμοί για την ενέργεια των σταθερών στοιχείων του ελκυστήρα είναι όμοιοι με αυτούς που περιγράφηκαν στην κατεργασία του εδάφους με ελαφρύ καλλιεργητή και δισκοσβάρνα.

Στην καλλιέργεια της ελαιοκράμβης, χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο σπαρτική σιτηρών. Το βάρος της σπαρτικής υπολογίζεται σε 900 kg. Η ενέργεια των σταθερών στοιχείων υπολογίστηκε από τις επιμέρους ενέργειες:

Ενέργεια κατασκευής (υλικά και βιομηχανοποίηση) 56,9 MJ/kg (Bowers, 1992).

Ενέργεια μεταφοράς 8,8 MJ/kg (Bowers, 1992).

Ενέργεια επισκευών 43% επί της αρχικής ενέργειας κατασκευής (Bowers, 1992).

Η διάρκεια ζωής της σπαρτικής σιτηρών, ανέρχεται σύμφωνα με τη βιβλιογραφία σε 1500 ώρες (Asae Standards, 2002). Έτσι, η απόσβεση ενέργειας ανά ώρα εργασίας υπολογίζεται σε 54,1 MJ.

Η ενέργεια των μεταβλητών στοιχείων για τη σπαρτική σιτηρών υπολογίστηκε ως εξής:

Κατανάλωση καυσίμου 3,1 l/ha.

Ενεργειακό ισοδύναμο καυσίμου 47,78 MJ/l (Pimentel, 1992).

Ενέργεια καυσίμου  $47,78 \text{ MJ/l} \times 3,1 \text{ l/ha} = 148 \text{ MJ/ha}$ .

Ενέργεια λιπαντικών 4% επί της ενέργειας καυσίμου.

Το άθροισμα της ενέργειας καυσίμου και της ενέργειας λιπαντικών, δίνει την ενέργεια των μεταβλητών στοιχείων της σπαρτικής σιτηρών.

Για τη σπορά, πρέπει να συμπεριληφθεί και η ενέργεια του σπόρου. Χρησιμοποιήθηκαν 3503 g σπόρου για τη σπορά ενός εκταρίου. Η ενέργεια του σπόρου της ελαιοκράμβης ανά κιλό, ανέρχεται σε 48,256 MJ.

### **Λίπανση**

Για την πραγματοποίηση της λιπάνσεως, χρησιμοποιήθηκε σύμφωνα με το σενάριο λιπασματοδιανομέας ο οποίος τοποθετήθηκε σε ελκυστήρα ισχύος 51 kW. και βάρους 2520 kg. Οι υπολογισμοί για την ενέργεια των σταθερών στοιχείων του ελκυστήρα είναι όμοιοι με αυτούς που περιγράφηκαν στην κατεργασία του εδάφους με ελαφρύ καλλιεργητή και δισκοσβάρνα.

### *Λιπασματοδιανομέας*

Έγινε η παραδοχή ότι το βάρος του λιπασματοδιανομέα είναι 150 kg. Η ενέργεια των σταθερών στοιχείων υπολογίστηκε από τις επιμέρους ενέργειες:

Ενέργεια κατασκευής (υλικά και βιομηχανοποίηση) 52,78 MJ/kg (Bowers, 1992).

Ενέργεια μεταφοράς 8,8 MJ/kg (Bowers, 1992).

Ενέργεια επισκευών 49% επί της αρχικής ενέργειας κατασκευής (Bowers, 1992).

Η διάρκεια ζωής του αρότρου, ανέρχεται σύμφωνα με τη βιβλιογραφία σε 1200 ώρες (Asae Standards, 2002). Έτσι, η απόσβεση ενέργειας ανά ώρα εργασίας υπολογίζεται σε 10,93 MJ.

Η ενέργεια των μεταβλητών στοιχείων για τον λιπασματοδιανομέα υπολογίστηκε ως εξής:

Κατανάλωση καυσίμου 2,5 l/ha.

Ενεργειακό ισοδύναμο καυσίμου 47,78 MJ/l (Pimentel, 1992).

Ενέργεια καυσίμου  $47,78 \text{ MJ/l} \times 2,5 \text{ l/ha} = 119 \text{ MJ/ha}$ .

Ενέργεια λιπαντικών 4% επί της ενέργειας καυσίμου.

Το άθροισμα της ενέργειας καυσίμου και της ενέργειας λιπαντικών, δίνει την ενέργεια των μεταβλητών στοιχείων του λιπασματοδιανομέα.

Τέλος, στη λίπανση πρέπει να συμπεριληφθεί και η ενέργεια των σκευασμάτων που χρησιμοποιήθηκαν. Χρησιμοποιήθηκαν 25 μονάδες λιπάσματος 11 – 15 – 15. Η



συνολική ενέργεια λιπάσματος, υπολογίζεται από το άθροισμα της ενέργειας παραγωγής, της ενέργειας συσκευασίας και της ενέργειας μεταφοράς, ανάλογα με την ποσότητα που εφαρμόζεται από το κάθε στοιχείο ξεχωριστά.

Πίνακας 2. Ενέργεια παραγωγής, συσκευασίας και μεταφοράς των κυριότερων στοιχείων για λίπανση.

	Ενέργεια παραγωγής λιπάσματος MJ/kg	Ενέργεια συσκευασίας MJ/kg	Ενέργεια μεταφοράς MJ/kg
<b>Αζωτο</b>	69,50	2,6	4,5
<b>Φώσφορος</b>	7,70	2,6	5,7
<b>Κάλιο</b>	6,40	1,8	4,6
<b>Θείο</b>	3,00	1,8	4,6
<b>Ασβέστιο</b>	0,80	1,8	4,6

Πηγή: Mudahar et al., (1987).

Το σύνολο των ενεργειών του ελκυστήρα, του λιπασματοδιανομέα και των λιπασμάτων που χρησιμοποιήθηκαν, δίνει την ολική ενέργεια λίπανσης.

### **Φυτοπροστασία**

Πριν τη σπορά εφαρμόζεται ζιζανιοκτόνο για να μπορέσει η καλλιέργεια να ανταγωνιστεί τα ζιζάνια μέχρι να αναπτυχθεί αρκετά. Για τη ζιζανιοκτονία, χρησιμοποιήθηκε σύμφωνα με το σενάριο ψεκαστικό σε ελκυστήρα ισχύος 51 kW και βάρους 2520 kg. Οι υπολογισμοί για την ενέργεια των σταθερών στοιχείων του ελκυστήρα είναι όμοιοι με αυτούς που περιγράφηκαν παραπάνω.

### *Ψεκαστικό*

Έγινε η παραδοχή ότι το βάρος του ψεκαστικού είναι 130 kg. Η ενέργεια των σταθερών στοιχείων υπολογίστηκε από τις επιμέρους ενέργειες:

Ενέργεια κατασκευής (υλικά και βιομηχανοποίηση) 56,9 MJ/kg (Bowers, 1992).

Ενέργεια μεταφοράς 8,8 MJ/kg (Bowers, 1992).

Ενέργεια επισκευών 37% επί της αρχικής ενέργειας κατασκευής (Bowers, 1992).

Η διάρκεια ζωής του ψεκαστικού, ανέρχεται σε 1500 ώρες. Η απόσβεση ενέργειας ανά ώρα εργασίας υπολογίζεται σε 7,52 MJ (Asae Standards, 2002).

Η ενέργεια των μεταβλητών στοιχείων για το ψεκαστικό υπολογίστηκε ως εξής:

Κατανάλωση καυσίμου 1,2 l/ha.

Ενεργειακό ισοδύναμο καυσίμου 47,78 MJ/l (Pimentel, 1992).

Ενέργεια καυσίμου  $47,78 \text{ MJ/l} \times 1,2 \text{ l/ha} = 58 \text{ MJ/ha}$ .

Ενέργεια λιπαντικών 4% επί της ενέργειας καυσίμου.

Το άθροισμα της ενέργειας καυσίμου και της ενέργειας λιπαντικών, δίνει την ενέργεια των μεταβλητών στοιχείων του ψεκαστικού.

Τέλος, συμπεριλαμβάνεται και η ενέργεια των σκευασμάτων που χρησιμοποιήθηκαν. Χρησιμοποιήθηκαν  $2200 \text{ g/ha}$  trifluralin. Στον πίνακα 3, παρουσιάζεται η ενέργεια παρασκευής των δραστικών ουσιών των κυριότερων ζιζανιοκτόνων.

Πίνακας 3. Ενέργεια παραγωγής των κυριότερων σκευασμάτων ζιζανιοκτονίας.

Όνομα σκευάσματος	Ενέργεια παραγωγής (MJ/kg)	Όνομα σκευάσματος	Ενέργεια παραγωγής (MJ/kg)
MCPA	130	Fluometuron	355
2.4 D	85	Atrazine	190
2.4.5 -T	135	Dinoseb	80
Dicamba	295	Trifluralin	150
Chloramben	170	Diquat	400
Fluazifop-butyl	518	Paraquat	460
Propanil	220	Glyphosate	454
Alachlor	278	Linuron	290
Propachlor	290	Cyanazine	201
Chlosulfuron	365	Bentazon	434
Butylate	141	EPTC	160
Diuron	270	Metolachlor	276

Πηγή: Helsel, (1992).

Η συνολική ενέργεια ζιζανιοκτονίας, υπολογίζεται από το άθροισμα της ενέργειας του σκευάσματος και της ενέργειας του ψεκαστικού.

### Συγκομιδή

Η συγκομιδή της ελαιοκράμβης, γίνεται με θεριζοαλωνιστική μηχανή. Στο σενάριο ανάλυσης του ενεργειακού ισοζυγίου, για τον υπολογισμό της ενέργειας σταθερών στοιχείων, υπολογίζεται βάρος μηχανής  $7700 \text{ kg}$ . Η ενέργεια των σταθερών στοιχείων της θεριζοαλωνιστικής μηχανής αποτελείται από τις επιμέρους ενέργειες:

Ενέργεια κατασκευής (υλικά και βιομηχανοποίηση)  $86,77 \text{ MJ/kg}$  (Bowers, 1992).

Ενέργεια μεταφοράς  $8,8 \text{ MJ/kg}$  (Bowers, 1992).

Ενέργεια επισκευών 20% επί της αρχικής ενέργειας κατασκευής (Bowers, 1992).

Η διάρκεια ζωής, ανέρχεται σε 2000 ώρες (Asae Standards, 2002). Η απόσβεση ενέργειας ανά ώρα εργασίας υπολογίζεται σε 448,12 MJ.

Η ενέργεια των μεταβλητών στοιχείων για τη θεριζοαλωνιστική υπολογίστηκε ως εξής:

Κατανάλωση καυσίμου 14,67 l/ha.

Ενεργειακό ισοδύναμο καυσίμου 46,02 MJ/l (Pimentel, 1992).

Ενέργεια καυσίμου  $46,02 \text{ MJ/l} \times 14,67 \text{ l/ha} = 675,2 \text{ MJ/ha}$ .

Ενέργεια λιπαντικών 4% επί της ενέργειας καυσίμου.

Το άθροισμα της ενέργειας καυσίμου και της ενέργειας λιπαντικών, δίνει την ενέργεια των μεταβλητών στοιχείων της θεριζοαλωνιστικής μηχανής.

### **Μεταφορά παραγωγής**

Από τη συγκομιδή στο χωράφι, μέχρι την αποθήκευση του προϊόντος καταναλώνεται ενέργεια για τη μεταφορά της παραγωγής. Στο σενάριο που μελετάται, η μεταφορά πραγματοποιήθηκε με πλατφόρμα μεταφοράς χωρητικότητας 5 τόνων, σε απόσταση 5 km και με ταχύτητα 20 km/h.

### **Εξαγωγή ελαίου**

Για την εξαγωγή του ελαίου, το σενάριο προβλέπει τη χρησιμοποίηση κοχλιωτού συμπιεστή ισχύος 0,87 kW.

Ακολουθεί ο πίνακας υπολογισμού των εισροών ενέργειας για την καλλιέργεια της ελαιοκράμβης.

Πίνακας 4. Εισροές ενέργειας για την καλλιέργεια της ελαιοκράμβης όπως περιγράφηκε στο σενάριο.

εισροές ενέργειας		Ενέργεια σταθερών στοιχείων MJ/ha	Ενέργεια μεταβλητών στοιχείων MJ/ha	Ενέργεια γεωργικών εφοδίων MJ/ha	Σύνολο MJ/ha
<b>Κατεργασία εδάφους</b>	Περάσματα				
Άροτρο	1	152,2	2445,5		2598
Ελαφρύς καλλιεργητής	1	31,4	435,7		467
Δισκοσβάρνα	2	44,3	356		400
<b>Σύνολο κατεργασίας</b>		<b>227,8</b>	<b>3237,1</b>		<b>3465</b>
<b>Σπορά</b>	Ποσ. σπόρου (kg/ha)				
<b>Σύνολο σποράς</b>	<b>3,5</b>	<b>67,5</b>	<b>153,5</b>	<b>168,9</b>	<b>390</b>
<b>Λίπανση</b>	Μονάδες λιπάσματος				
Άζωτο	6,7			5132,2	
Φώσφορος	9,15			1464	
Κάλιο	9,15			1171,2	
<b>Σύνολο λίπανσης</b>		<b>6,3</b>	<b>124,2</b>	<b>7767,4</b>	<b>7898</b>
<b>Ψεκασμοί - Φυτοφάρμακα</b>	Ποσότητα δ.ο. (kg/ha)				
trifluralin	0,1			18,5	
<b>Σύνολο φυτοπροστασίας</b>		<b>13</b>	<b>181,9</b>	<b>18,5</b>	<b>213</b>
<b>Συγκομιδή</b>		<b>378,8</b>	<b>702,2</b>		<b>1081</b>
<b>Μεταφορά παραγωγής</b>	Μέση απόσταση μεταφοράς (km)				
<b>Σύνολο μεταφοράς</b>	<b>5</b>	<b>22,1</b>	<b>75,2</b>		<b>97</b>
<b>Εξαγωγή ελαίου</b>	<b>Σύνολο επεξεργασίας</b>	<b>116,7</b>	<b>3151,8</b>		<b>3269</b>

### Εκροές ενέργειας

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, εξετάστηκαν 5 διαφορετικά σενάρια παραγωγής. Υπολογίστηκε η εκροή ενέργειας για παραγωγή σε σπόρο 1000, 1500, 2000, 2500, και 3000 kg/ha. Επίσης, συνυπολογίστηκε και η ενέργεια από το λάδι, την πίτα και τα στελέχη.

Πίνακας 5. Στοιχεία για το ποσοστό σε πίτα, περιεκτικότητα σε υγρασία και περιεκτικότητα σε ενέργεια των μερών του φυτού της ελαιοκράμβης.

<b>ποσοστό πίτας %</b>	65,0	
<b>υγρασία αναφοράς %</b>	<b>Σπόρου</b>	10
	<b>Στελεχών</b>	20
<b>απόδοση ξηρό βάρος kg/ha</b>	<b>Σπόρου</b>	2730
	<b>Ελαίου</b>	960
	<b>Πίτας</b>	1780
	<b>Στελεχών</b>	4250
<b>ενεργειακή περιεκτικότητα MJ/kg</b>	<b>Ελαίου</b>	39,4
	<b>Πίτας</b>	19,6
	<b>Στελεχών</b>	14,3

Πηγή: Rossell et al., (1991)

Θεωρήθηκε ότι η μέση υγρασία του σπόρου είναι 10 % και των στελεχών 20 %. Από το βάρος υγρής μάζας, αφαιρείται η υγρασία. Με τον τρόπο αυτό υπολογίζεται η απόδοση σε ξηρό βάρος. Η ενεργειακή περιεκτικότητα του ελαίου, της πίτας και των στελεχών, είναι 39,4, 19,6 και 14,3 MJ/kg αντίστοιχα.

Στον πίνακα 6, παρατίθενται οι εκροές ενέργειας για τις αποδόσεις του σεναρίου.

Πίνακας 6. Εκροές ενέργειας για απόδοση σε σπόρο 1000, 1500, 2000, 2500 και 3000 kg/ha.

	<b>Σπόρος</b>	<b>Λάδι</b>	<b>Πίτα</b>	<b>Στελέχη</b>	<b>Σύνολο</b>
<b>Απόδοση (kg/ha)</b>	1012,6	319	592,3	1771,2	2783,7
<b>Εκροές ενέργειας (MJ/ha)</b>	24176,8	12566,8	11610	25328	49504,8
<b>Απόδοση (kg/ha)</b>	1518,8	478,4	888,5	2656,8	4175,6
<b>Εκροές ενέργειας (MJ/ha)</b>	36265,2	18850,2	17414,9	37992	74257,2
<b>Απόδοση (kg/ha)</b>	2025,1	637,9	1184,7	3542,4	5567,5
<b>Εκροές ενέργειας (MJ/ha)</b>	48353,6	25133,7	23219,9	50656	99009,5
<b>Απόδοση (kg/ha)</b>	2531,4	797,4	1480,9	4428	6959,4
<b>Εκροές ενέργειας (MJ/ha)</b>	60442	31417,1	29024,9	63320	123761,9
<b>Απόδοση (kg/ha)</b>	3037,7	956,9	1777	5313,6	8351,2
<b>Εκροές ενέργειας (MJ/ha)</b>	72530,4	37700,5	34829,9	75983,9	148514,3

Η διαφορά των εκροών από τις εισροές, δίνει την καθαρή ενέργεια που παράγεται από την καλλιέργεια. Ο συντελεστής ενεργειακής αποδοτικότητας, δίνεται από το πηλίκο των εκροών προς τις εισροές. Τέλος, η ενεργειακή παραγωγικότητα, υπολογίζεται από το πηλίκο της παραγωγής προς τις εκροές.

## Σόργο.

Το σενάριο για την καλλιέργεια του σόργου, παρουσιάζεται συνοπτικά στον πίνακα 7.

Πίνακας 7. Σενάριο για την καλλιέργεια του σόργου με τα βασικά οικονομικά στοιχεία και την ενέργεια για την κάθε εργασία.

καλλιέργεια		σόργο		κόστος €/ha
<b>ενοίκιο γης</b>				500
<b>κατεργασία εδάφους</b>	<b>μονάδες</b>	<b>επαναλήψεις</b>	<b>ενέργεια</b>	
άροτρο	MJ / ha	1	2597,69	120
βαρύς καλλιεργητής	MJ / ha	1	1400,29	50
δισκοσβάρνα	MJ / ha	2	800,534	50
σύνολο	MJ / ha		4799	
<b>σπορά</b>	<b>μονάδες</b>	<b>τιμή</b>	<b>ενέργεια</b>	
εργασία σποράς	MJ / ha		302	60
ποσότητα σπόρου	g/ha	1217		2,4
<b>λίπανση</b>	<b>μονάδες</b>	<b>Τιμή</b>	<b>ενέργεια</b>	
είδος λιπάσματος		15 - 15 - 15		
ποσότητα λιπάσματος	kg/ha	300		174
είδος λιπάσματος		Ουρία		
ποσότητα λιπάσματος	kg/ha	100		57,5
εργασία λίπανσης	MJ / ha		14501	10
<b>ζιζανιοκτονία</b>	<b>μονάδες</b>	<b>Τιμή</b>	<b>ενέργεια</b>	
είδος ζιζανιοκτόνου		Ramrod		
ποσότητα ζιζανιοκτόνου	l/ha	10		150
εργασία ζιζανιοκτονίας				15
σύνολο	MJ / ha		1870	
<b>άρδευση</b>				
<b>πολυμπέκ (ράμπτα)</b>	ποσότητα νερού m <sup>3</sup> /ha		200	
<b>στάγδην</b>	ποσότητα νερού m <sup>3</sup> /ha		3000	
<b>άρδευση από</b>		<b>ενέργεια (MJ / ha)</b>		
<b>γεώτρηση 150 m</b>		<b>45567</b>		712
<b>γεώτρηση 10 m</b>		<b>10489</b>		472
<b>ΤΟΕΒ με αύλακα</b>		<b>8485</b>		483
<b>ΤΟΕΒ με αγωγό</b>		<b>10489</b>		826
<b>συγκομιδή</b>	<b>μονάδες</b>	<b>ενέργεια</b>		
εργασία συγκομιδής	MJ / ha	1010		220
επιδότηση καλλιέργειας (€/ha)				40

Ο σπόρος του σόργου έχει μέτριο μέγεθος και κατά συνέπεια, το έδαφος θα πρέπει να είναι καλά κατεργασμένο και ψιλοχωματισμένο ώστε να είναι δυνατό τα μόρια του εδάφους να έρχονται σε επαφή με το σπόρο. Σύμφωνα με το σενάριο, η κατεργασία

του εδάφους για την καλλιέργεια του σόργου περιλαμβάνει ένα θερινό όργωμα, πέρασμα με βαρύ καλλιεργητή και δυο δισκοσβάρνες. Ακολουθεί λίπανση με 30 μονάδες λιπάσματος 15 – 15 – 15 μέσω λιπασματοδιανομέα και ψεκασμός με 10 l/ha από το ζιζανιοκτόνο gamrod. Κατά το μήνα Μάιο, πραγματοποιείται η σπορά. Για τη σπορά ενός εκταρίου, απαιτούνται 1217 g σπόρου. Μετά τη σπορά, απαιτείται άρδευση με σκοπό να τραβήξει υγρασία ο σπόρος και να διευκολυνθεί το φύτευμα. Για το σκοπό αυτό εφαρμόζονται 200 m<sup>3</sup> νερού ανά εκτάριο, μέσω άρδευσης με καρούλι και πολυμπέκ (ράμπα). Ένα μήνα μετά τη σπορά, έως ένα μήνα πριν τη συγκομιδή, η καλλιέργεια αρδεύεται ανά τακτά χρονικά διαστήματα με σταλακτηφόρους αγωγούς, οι οποίοι τοποθετούνται ανά δεύτερη γραμμή. Επειδή το σόργο είναι καλλιέργεια που αναπτύσσει μεγάλο ποσό φυτομάζας, απαιτείται προσθήκη αζώτου κατά το στάδιο της ανάπτυξης του φυτού για να διευκολυνθεί η αύξηση και να μεγιστοποιηθεί η παραγωγή. Έτσι, κατά τις πρώτες αρδεύσεις με σταλακτηφόρους αγωγούς, πραγματοποιείται υδρολίπανση με 10 μονάδες ουρίας Η συνολική ποσότητα νερού που διατίθεται στην καλλιέργεια με αυτό τον τρόπο άρδευσης, είναι 3000 m<sup>3</sup> νερού ανά εκτάριο. Τέλος, για τη συγκομιδή η οποία πραγματοποιείται τέλη Οκτωβρίου, χρησιμοποιείται ενσιρωτικό μηχάνημα.

Σενάρια άρδευσης.

Ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα των γεωργικών εκμεταλλεύσεων της χώρας, αποτελεί το νερό και ο τρόπος με τον οποίο μπορεί ο παραγωγός να το εξασφαλίσει. Ο τρόπος με τον οποίο προμηθεύονται το νερό άρδευσης οι παραγωγοί, ποικίλλει ανάλογα με την τοποθεσία της κάθε αγροτικής περιοχής και την υποδομή την οποία διαθέτει. Στην παρούσα έρευνα, μελετήθηκαν τέσσερα διαφορετικά σενάρια άρδευσης για τις καλλιέργειες του σόργου και ηλίανθου.

1. Άρδευση από ιδιόκτητη γεώτρηση με βάθος άντλησης 150 m.
2. Άρδευση από ιδιόκτητη γεώτρηση με βάθος άντλησης 10 m.
3. Άρδευση από το δίκτυο Τ.Ο.Ε.Β. με αυλάκια.
4. Άρδευση από το δίκτυο Τ.Ο.Ε.Β. με αγωγό.

Σύμφωνα με το πρώτο σενάριο άρδευσης, ο παραγωγός επιβαρύνεται τη διάνοιξη γεώτρησης και την εγκατάσταση συστήματος αντλίας – γεννήτριας για να μπορέσει να αρδεύσει έναν αγρό έκτασης 8 εκταρίων. Ο υδροφόρος ορίζοντας βρίσκεται χαμηλά για το λόγο αυτό η τρύπα της γεώτρησης ανοίγεται σε μεγάλο βάθος και το βάθος άντλησης είναι 150 m από την επιφάνεια του εδάφους. Το γεγονός αυτό,

επιβαρύνει τον παραγωγό με επιπλέον έξοδα αφού το κόστος γεώτρησης αυξάνει με το βάθος. Η έκταση της καλλιέργειας των 8 εκταρίων θεωρήθηκε ότι αποτελείται από τρία αγροτεμάχια. Η εγκατάσταση της γεώτρησης πραγματοποιήθηκε στο μεγάλο αγροτεμάχιο το οποίο έχει έκταση 4 εκτάρια, ενώ τα άλλα δυο έκτασης 2 και 2 εκταρίων, απέχουν 200 m και 300 m από τη γεώτρηση. Συνεπώς συμπεριλαμβάνεται επιπλέον κόστος για την εγκατάσταση 500 m ατσάλινου σωλήνα φ90, για τη μεταφορά του νερού από τη γεώτρηση στο δευτερεύον δίκτυο άρδευσης. Πέρα από το κόστος της γεώτρησης, έχει υπολογιστεί και το κόστος για εγκατάσταση πλήρους συστήματος άρδευσης για 3 επιμέρους σενάρια.

1. Άρδευση με καρούλι και πολυμπέκ (ράμπα).
2. Άρδευση με σταγόνες.
3. Άρδευση με μικρά ακροφύσια σε μετακινούμενους σωλήνες.

Στις περισσότερες περιπτώσεις, χρησιμοποιούνται περισσότεροι από ένας τρόποι άρδευσης. Συνήθως πραγματοποιείται άρδευση μικρής ποσότητας νερού με καρούλι, με μεγάλο ακροφύσιο (κανόνι) ή ράμπα λίγο μετά τη σπορά, για να διευκολυνθεί το φύτευμα. Μετά τα πρώτα στάδια ανάπτυξης της καλλιέργειας, εγκαθίσταται το δίκτυο εφαρμογής για άρδευση με σταγόνες. Σε μερικές περιπτώσεις πραγματοποιείται άρδευση με μπεκ επειδή έχει χαμηλότερο κόστος.

Στο δεύτερο σενάριο άρδευσης, ισχύουν τα ίδια με το πρώτο σενάριο, με τη διαφορά ότι η γεώτρηση και η άντληση του νερού πραγματοποιείται σε πολύ μικρότερο βάθος (10 m). Συνεπώς, το κόστος γεώτρησης και άντλησης του νερού άρδευσης, είναι χαμηλότερο. Το σενάριο αυτό ισχύει για αγροτικές περιοχές όπου δεν υπάρχει οργανωμένο δίκτυο άρδευσης και ο υδροφόρος ορίζοντας βρίσκεται ψηλά.

Σύμφωνα με το τρίτο σενάριο, υπάρχει δίκτυο άρδευσης στην αγροτική περιοχή και το νερό διανέμεται στους αγρούς από τον ΤΟΕΒ με αρδευτικά κανάλια. Συνεπώς στην περίπτωση αυτή υπολογίζονται τα αρδευτικά τέλη και το κόστος άντλησης του νερού από το κανάλι και διοχέτευσής του με αυξημένη πίεση στο κύριο δίκτυο άρδευσης. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιείται αντλία επιφανειακής απορρόφησης με οριζόντιο άξονα. Τα έξοδα για την εγκατάσταση του δικτύου εφαρμογής (τρία επιμέρους σενάρια), είναι όμοια με την περίπτωση του πρώτου σεναρίου.

Κατά το τέταρτο σενάριο, υπάρχει δίκτυο άρδευσης και το νερό διανέμεται στους αγρούς από τον ΤΟΕΒ με αγωγό. Συνεπώς, δεν απαιτείται αντλία για την άντληση και διανομή. Όμως, στην περίπτωση αυτή τα αρδευτικά τέλη είναι πολύ υψηλά σε σχέση



με το προηγούμενο σενάριο. Τα υπόλοιπα έξοδα για τα επιμέρους σενάρια με τα δίκτυα εφαρμογής είναι ίδια με τις προηγούμενες περιπτώσεις.

Οι τιμές των εξαρτημάτων και των εγκαταστάσεων για τον υπολογισμό του κόστους άρδευσης, είναι τιμές λιανικής πώλησης και συμπεριλαμβάνουν τον Φ.Π.Α. για το 2007 – 08.

Για τον υπολογισμό του οικονομικού ισοζυγίου συνυπολογίζεται το κόστος για την κάθε εργασία, τα μηχανήματα και τα γεωργικά εφόδια που χρησιμοποιήθηκαν. Υπολογίζεται κόστος ενοικίασης της γης 500 € / ha. επειδή εξετάζεται το σενάριο εγκατάστασης της καλλιέργειας σε ποτιστικά χωράφια. Κατά συνέπεια, περιλαμβάνεται στους υπολογισμούς κόστος και ενέργεια άρδευσης για τέσσερα διαφορετικά σενάρια άρδευσης. Τέλος συνυπολογίζεται επιδότηση καλλιέργειας 40 € / ha. η οποία αναμένεται να σταματήσει τα επόμενα έτη. Από το άθροισμα των εξόδων για τις εργασίες, τη χρησιμοποίηση των γεωργικών μηχανημάτων και αγροεφοδίων, υπολογίζεται το συνολικό κόστος της καλλιέργειας.

Τα έσοδα της καλλιέργειας, προέρχονται από την πώληση της παραγωγής. Η τιμή πώλησης για το σόργο υπολογίστηκε στα 0,02 €/kg υγρής μάζας. Αφαιρώντας τα έξοδα από το ποσό των εσόδων, εξάγεται το καθαρό εισόδημα για κάθε εκτάριο της συγκεκριμένης γεωργικής εκμετάλλευσης. Στο σενάριο που περιγράφηκε, εξετάστηκε η οικονομική πρόσοδος της καλλιέργειας για αποδόσεις 90000, 105000, 120000, 135000, 150000 και 165000 kg χλωρής μάζας / ha. Τέλος εξετάστηκε η οικονομική πρόσοδος της καλλιέργειας για αποδόσεις 90000, 105000, 120000, 135000, 150000 και 165000 kg χλωρής μάζας / ha, σε ιδιόκτητη γη. Αφαιρέθηκε δηλαδή το κόστος ενοικίασης γης.

Για όλα τα σενάρια που περιγράφηκαν για την καλλιέργεια του σόργου, παράλληλα με το οικονομικό ισοζύγιο, υπολογίστηκαν το ενεργειακό ισοζύγιο ο συντελεστής ενεργειακής απόδοσης και η ενεργειακή αποδοτικότητα.

Αρχικά υπολογίστηκαν οι εισροές ενέργειας, για την κατεργασία του εδάφους, τη σπορά, τη λίπανση, τη φυτοπροστασία, την άρδευση, τη συγκομιδή και τη μεταφορά της παραγωγής.

### **Κατεργασία εδάφους**

Ο υπολογισμός της ενέργειας για το όργωμα και τη δισκοσβάρνα περιγράφηκε στην καλλιέργεια της ελαιοκράμβης.

### *Βαρύς καλλιεργητής*

Για τον βαρύ καλλιεργητή, θεωρείται ότι χρησιμοποιήθηκε γεωργικός ελκυστήρας ισχύος 82 kW και βάρους 4200 kg.

Το βάρος του καλλιεργητή υπολογίζεται σε 370 kg. Η ενέργεια των σταθερών στοιχείων υπολογίστηκε από τις επιμέρους ενέργειες:

Ενέργεια κατασκευής (υλικά και βιομηχανοποίηση) 52,78 MJ/kg (Bowers, 1992).

Ενέργεια μεταφοράς 8,8 MJ/kg (Bowers, 1992).

Ενέργεια επισκευών 51% επί της αρχικής ενέργειας κατασκευής (Bowers, 1992).

Η διάρκεια ζωής του καλλιεργητή, υπολογίζεται σε 2000 ώρες (ASAE Standards, 2002). Έτσι, η απόσβεση ενέργειας ανά ώρα εργασίας είναι 28,19 MJ.

Η ενέργεια των μεταβλητών στοιχείων για τον βαρύ καλλιεργητή υπολογίστηκε ως εξής:

Κατανάλωση καυσίμου 26,7 l/ha.

Ενεργειακό ισοδύναμο καυσίμου 47,78 MJ/l (Pimentel, 1992).

Ενέργεια καυσίμου 47,78 MJ/l x 26,7 l/ha = 1276 MJ/ha.

Ενέργεια λιπαντικών 4% επί της ενέργειας καυσίμου.

Το άθροισμα της ενέργειας καυσίμου και της ενέργειας λιπαντικών, δίνει την ενέργεια των μεταβλητών στοιχείων του αρότρου.

### **Σπορά**

Για την σπορά, χρησιμοποιήθηκε γεωργικός ελκυστήρας ισχύος 51 kW και βάρους 2520 kg. Για τη σπορά σόργου, χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο σπαρτική σκαλιστικών καλλιεργειών. Το βάρος της σπαρτικής υπολογίζεται σε 350 kg. Η ενέργεια των σταθερών στοιχείων υπολογίστηκε από τις επιμέρους ενέργειες:

Ενέργεια κατασκευής (υλικά και βιομηχανοποίηση) 56,9 MJ/kg (Bowers, 1992).

Ενέργεια μεταφοράς 8,8 MJ/kg (Bowers, 1992).

Ενέργεια επισκευών 43% επί της αρχικής ενέργειας κατασκευής (Bowers, 1992).

Η διάρκεια ζωής της σπαρτικής σιτηρών, ανέρχεται σύμφωνα με τη βιβλιογραφία σε 1500 ώρες (ASAE Standards, 2002). Έτσι, η απόσβεση ενέργειας ανά ώρα εργασίας υπολογίζεται σε 21,04 MJ.

Η ενέργεια των μεταβλητών στοιχείων για τη σπαρτική σιτηρών υπολογίστηκε ως εξής:

Κατανάλωση καυσίμου 2,8 l/ha

Ενεργειακό ισοδύναμο καυσίμου 47,78 MJ/l (Pimentel, 1992).

Ενέργεια καυσίμου 47,78 MJ/l x 2,8 l/ha = 134 MJ/ha

Ενέργεια λιπαντικών 4% επί της ενέργειας καυσίμου

Το άθροισμα της ενέργειας καυσίμου και της ενέργειας λιπαντικών, δίνει την ενέργεια των μεταβλητών στοιχείων της σπαρτικής σκαλιστικών καλλιεργειών.

Για τη σπορά, συμπεριλαμβάνεται και η ενέργεια του σπόρου. Χρησιμοποιήθηκαν 1217 g σπόρου για τη σπορά ενός εκταρίου. Η ενέργεια ανά κιλό σπόρου για το σόργο, ανέρχεται σε 103,86 MJ (Kalivrousis et al., 2002).

### **Λίπανση**

Για την πραγματοποίηση της λιπάνσεως, χρησιμοποιήθηκε λιπασματοδιανομέας σε ελκυστήρα ισχύος 51 kW. και βάρους 2520 kg. Οι υπολογισμοί για την ενέργεια των σταθερών και μεταβλητών στοιχείων του ελκυστήρα και του λιπασματοδιανομέα, περιγράφηκαν στην καλλιέργεια της ελαιοκράμβης.

Εκτός από τη βασική λίπανση η οποία πραγματοποιήθηκε με λιπασματοδιανομέα, εφαρμόστηκε και υδρολίπανση με 10 μονάδες ουρίας. Επειδή η υδρολίπανση εφαρμόζεται μέσω του δικτύου άρδευσης με σταλακτηφόρους αγωγούς, στην υδρολίπανση λαμβάνεται μόνο η ενέργεια του σκευάσματος. Η ενέργεια των σταθερών στοιχείων υπολογίζεται στην άρδευση.

Χρησιμοποιήθηκαν 30 μονάδες λιπάσματος 15 – 15 – 15 και 10 μονάδες ουρίας. Η συνολική ενέργεια λιπάσματος, υπολογίζεται από το άθροισμα της ενέργειας παραγωγής, της ενέργειας συσκευασίας και της ενέργειας μεταφοράς, ανάλογα με την ποσότητα που εφαρμόζεται από το κάθε στοιχείο ξεχωριστά όπως περιγράφηκε στην καλλιέργεια της ελαιοκράμβης.

Το σύνολο των ενεργειών του ελκυστήρα, του λιπασματοδιανομέα και των λιπασμάτων που χρησιμοποιήθηκαν, δίνει την ολική ενέργεια λίπανσης.

### **Φυτοπροστασία**

Για τη ζιζανιοκτονία, χρησιμοποιήθηκε σύμφωνα με το σενάριο ψεκαστικό σε ελκυστήρα ισχύος 51 kW και βάρους 2520 kg. Οι υπολογισμοί για την ενέργεια των σταθερών στοιχείων του ελκυστήρα και του ψεκαστικού, περιγράφηκαν στην καλλιέργεια της ελαιοκράμβης.

Τέλος, συμπεριλαμβάνεται και η ενέργεια των σκευασμάτων που χρησιμοποιήθηκαν. Χρησιμοποιήθηκαν 10 l/ha ramrod με όνομα δραστικής ουσίας propachlor. Από τον πίνακα των σκευασμάτων που παρατίθεται στην καλλιέργεια της ελαιοκράμβης, υπολογίζεται η ενέργεια παρασκευής.

Η συνολική ενέργεια ζιζανιοκτονίας, υπολογίζεται από το άθροισμα της ενέργειας του σκευάσματος και της ενέργειας του ψεκαστικού.

### **Άρδευση**

Για τον υπολογισμό των εισροών ενέργειας, υπολογίστηκε η ενέργεια των σταθερών στοιχείων του δικτύου μεταφοράς και εφαρμογής και η ενέργεια σταθερών και μεταβλητών στοιχείων για τα τέσσερα διαφορετικά σενάρια εξασφάλισης του νερού άρδευσης. Για την ενέργεια των σταθερών στοιχείων του δικτύου μεταφοράς και εφαρμογής υπολογίστηκαν οι επιμέρους ενέργειες:

*Σωλήνες αλουμινίου με βάρος 0,89 kg/m (Batty et al., 1974).*

*Ενέργεια κατασκευής (υλικά και βιομηχανοποίηση) 86,77 MJ/kg (Batty et al., 1974).*

*Ενέργεια μεταφοράς 8,8 MJ/kg (Bowers, 1992).*

*Η διάρκεια ζωής ανέρχεται σύμφωνα με τη βιβλιογραφία σε 20 χρόνια (Batty et al., 1974). Έτσι, η απόσβεση ενέργειας ανά έτος υπολογίζεται σε 94 MJ.*

*Καρούλι( πίεση λειτουργίας 8 atm)*

#### **ατσάλινος σκελετός βάρους 700 kg**

Ενέργεια κατασκευής (υλικά και βιομηχανοποίηση) 56,9 MJ/kg (Bowers, 1992).

Ενέργεια μεταφοράς 8,8 MJ/kg (Bowers, 1992).

Ενέργεια επισκευών 55% επί της αρχικής ενέργειας κατασκευής (Bowers, 1992).

#### **σωλήνας εφαρμογής από πολυαιθυλένιο βάρους 339 kg/m**

Ενέργεια κατασκευής (υλικά και βιομηχανοποίηση) 160 MJ/kg (Batty et al., 1974).

Ενέργεια μεταφοράς 8,8 MJ/kg (Bowers, 1992).

Ενέργεια επισκευών 55% επί της αρχικής ενέργειας κατασκευής (Bowers, 1992).

Η διάρκεια ζωής για τον σκελετό και τον σωλήνα, ανέρχεται σύμφωνα με τη βιβλιογραφία σε 20 χρόνια (Batty et al., 1974). Έτσι, η απόσβεση ενέργειας του συστήματος ανά έτος υπολογίζεται σε 3275 MJ.

*Σταλακτηφόροι αγωγοί πολυαιθυλενίου (βάρους 1,1458 kg/m, πίεση λειτουργίας 2,5 atm)*

Ενέργεια κατασκευής (υλικά και βιομηχανοποίηση) 160 MJ/kg (Batty et al., 1974).

Ενέργεια μεταφοράς 8,8 MJ/kg (Bowers, 1992).

Η διάρκεια ζωής υπολογίζεται σε 10 χρόνια (Batty et al., 1974). Έτσι, η απόσβεση ενέργειας ανά έτος υπολογίζεται σε 1641 MJ.

#### **Αντλία**

Για την αντλία υπολογίζεται βάρος 150 kg. Θεωρείται ότι χρησιμοποιήθηκε αντλία με ηλεκτροκινητήρα παροχής 30 m<sup>3</sup>/h. Για την ενέργεια των σταθερών στοιχείων της αντλίας υπολογίστηκαν οι επιμέρους ενέργειες:

Ενέργεια κατασκευής (υλικά και βιομηχανοποίηση) 84 MJ/kg (Batty et al., 1974).

Ενέργεια μεταφοράς 8,8 MJ/kg (Bowers, 1992).

Ενέργεια επισκευών 55% επί της αρχικής ενέργειας κατασκευής (Bowers, 1992).

Η διάρκεια ζωής της αντλίας, ανέρχεται σύμφωνα με τη βιβλιογραφία σε 12 χρόνια (Batty et al., 1974). Επίσης θεωρείται ότι η συγκεκριμένη αντλία μπορεί να καλύψει τις ανάγκες σε νερό άρδευσης αγρό έως 10 εκτάρια. Έτσι, η απόσβεση ενέργειας ανά έτος υπολογίζεται σε 1738 MJ και ανά εκτάριο είναι 173,8 MJ.

Για τον υπολογισμό της ενέργειας των μεταβλητών στοιχείων λαμβάνονται υπ' όψιν η ισχύς της αντλίας, η απόδοση, η ποσότητα του νερού που αντλήθηκε, η παροχή της αντλίας, το βάθος άντλησης (150, 10 και 2 m) και το μανομετρικό ύψος.

Από το άθροισμα της ενέργειας των σταθερών στοιχείων με την ενέργεια των μεταβλητών στοιχείων, υπολογίζεται η ολική ενέργεια άρδευσης.

### **Συγκομιδή**

Η συγκομιδή του σόργου, πραγματοποιείται με μηχανή ενσίρωσης. Στο σενάριο ανάλυσης του ενεργειακού ισοζυγίου, για τον υπολογισμό της ενέργειας σταθερών στοιχείων, υπολογίζεται βάρος μηχανής 7000 kg. Η ενέργεια των σταθερών στοιχείων αποτελείται από τις επιμέρους ενέργειες:

Ενέργεια κατασκευής (υλικά και βιομηχανοποίηση) 607,9 MJ/kg.

Ενέργεια μεταφοράς 8,8 MJ/kg.

Ενέργεια επισκευών 20% επί της αρχικής ενέργειας κατασκευής.

Η διάρκεια ζωής, ανέρχεται σε 2000 ώρες (ASAE Standards, 2002). Η απόσβεση ενέργειας ανά ώρα εργασίας υπολογίζεται σε 407,28 MJ.

Η ενέργεια των μεταβλητών στοιχείων υπολογίστηκε ως εξής:

Κατανάλωση καυσίμου 14,6 l/ha.

Ενεργειακό ισοδύναμο καυσίμου 46,02 MJ/l (Pimentel, 1992).

Ενέργεια καυσίμου  $46,02 \text{ MJ/l} \times 14,6 \text{ l/ha} = 672 \text{ MJ/ha}$ .

Ενέργεια λιπαντικών 4% επί της ενέργειας καυσίμου.

Το άθροισμα της ενέργειας καυσίμου και της ενέργειας λιπαντικών, δίνει την ενέργεια των μεταβλητών στοιχείων της μηχανής ενσίρωσης.

### **Μεταφορά παραγωγής**

Για τη μεταφορά της παραγωγής το σενάριο προβλέπει τη χρησιμοποίηση πλατφόρμας μεταφοράς χωρητικότητας 5 τόνων, σε απόσταση 5 km και με ταχύτητα 20 km/h.

Στο πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζεται ο υπολογισμός των εισροών ενέργειας για την καλλιέργεια του σόργου.

Πίνακας 8. Εισροές ενέργειας για την καλλιέργεια του σόργου όπως περιγράφηκε στο σενάριο.

εισροές ενέργειας			Ενέργεια σταθερών στοιχείων	Ενέργεια μεταβλητών στοιχείων	Ενέργεια γεωργικών εφοδίων	Σύνολο
			MJ/ha	MJ/ha	MJ/ha	MJ/ha
<b>Κατεργασία εδάφους</b>	Περάσματα					
Άροτρο	1		152,2	2445,5		2598
Ελαφρύς καλλιεργητής	1		52,9	882,5		935
Δισκοσβάρνα	2		88,6	712		801
<b>Σύνολο κατεργασίας</b>			<b>293,7</b>	<b>4040</b>		<b>4334</b>
<b>Σπορά</b>	Ποσ. σπόρου (kg/ha)					
<b>Σύνολο σποράς</b>		<b>1,2</b>	<b>36,1</b>	<b>139,6</b>	<b>124,6</b>	<b>300</b>
<b>Λίπανση</b>	Μονάδες λιπάσματος					
Άζωτο	15				1.1490	
Φώσφορος	10				1600	
Κάλιο	10				1280	
<b>Σύνολο λίπανσης</b>			<b>6,3</b>	<b>124,2</b>	<b>1.4370</b>	<b>14501</b>
<b>Ψεκασμοί - Φυτοφάρμακα</b>	Ποσότητα δ.ο. (kg/ha)					
proachlor		5			1675,5	
<b>Σύνολο φυτοπροστασίας</b>			<b>13,0</b>	<b>181,9</b>	<b>1675,5</b>	<b>1870</b>
<b>Άρδευση</b>	Βάθος άντλησης (m)	Συνολική ποσότητα νερού (m3)				
Άρδευση με μπεκ/καρούλι	<b>150</b>	200	426	3499		3925
Άρδευση με σταγόνες		3000	231	41410		41642
<b>Σύνολο άρδευσης</b>		<b>3200</b>	<b>657</b>	<b>44909,5</b>		<b>45567</b>
Άρδευση με μπεκ/καρούλι	<b>10</b>	200	426	1394		1819
Άρδευση με σταγόνες		3000	231	8439		8670
<b>Σύνολο άρδευσης</b>		<b>3200</b>	<b>657</b>	<b>9832,1</b>		<b>10489</b>

Αρδευση με μπεκ/καρούλι	2	200	426	1273	1699
Αρδευση με σταγόνες		3000	231	6554	6786
<b>Σύνολο άρδευσης</b>		<b>3200</b>	<b>657</b>	<b>7827,6</b>	<b>8485</b>
<b>Συγκομιδή</b>					
<b>Σύνολο συγκομιδής</b>			<b>48,39</b>	<b>526,5</b>	<b>1010</b>
<b>Μεταφορά παραγωγής</b>					
<b>Σύνολο μεταφοράς</b>		<b>5</b>	<b>20,23</b>	<b>688,5</b>	<b>891</b>

### Εκροές ενέργειας

Στο σόργο, εξετάστηκαν 6 σενάρια παραγωγής. Υπολογίστηκε υγρασία στελεχών ίση με 15% της συνολικής παραγωγής. Η ενεργειακή περιεκτικότητα των στελεχών του σόργου έχει σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, τιμή ίση με 18,5. Στον πίνακα 9 παρουσιάζονται οι εκροές ενέργειας ανάλογα με τα σενάρια παραγωγής.

Πίνακας 9. Εκροές ενέργειας για αποδόσεις σε χλωρή μάζα 90000, 10500, 120000, 13500, 150000 και 165000 kg/ha.

Απόδοση υγρό βάρος (kg/ha)	Απόδοση ξηρό βάρος (kg/ha)	Εκροές ενέργειας (MJ/ha)
<b>90000</b>	76500	1415250
<b>105000</b>	89250	1651130
<b>120000</b>	102000	1887000
<b>135000</b>	114750	2122880
<b>150000</b>	127500	2358750
<b>165000</b>	140250	2594630



## Ηλιάνθος

Το σενάριο για την καλλιέργεια του ηλιάνθου, παρουσιάζεται συνοπτικά στον πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας 10. Σενάριο για την καλλιέργεια του ηλιάνθου με τα βασικά οικονομικά στοιχεία και την ενέργεια για την κάθε εργασία.

καλλιέργεια Ηλιάνθος				κόστος €/ha
ενοίκιο γης				500
<b>κατεργασία εδάφους</b>	<b>μονάδες</b>	<b>επαναλήψεις</b>	<b>ενέργεια</b>	
άρτρο	MJ / ha	1	2598	120
δισκοσβάρνα	MJ / ha	2	801	50
ελαφρύς καλλιεργητής-προετοιμασίας	MJ / ha	1	467	100
σύνολο	MJ / ha		3865	
<b>σπορά</b>	<b>μονάδες</b>	<b>Τιμή</b>	<b>ενέργεια</b>	
εργασία σποράς	MJ / ha		309	60
ποσότητα σπόρου	g/ha	5000		
ποσότητα σπόρου	σπ./ha	82800		69
<b>λίπανση</b>	<b>μονάδες</b>	<b>Τιμή</b>	<b>ενέργεια</b>	
είδος λιπάσματος	11 - 15 – 15			
ποσότητα λιπάσματος	kg/ha	290		145
σύνολο	MJ / ha		9143	
<b>ζιζανιοκτονία</b>	<b>μονάδες</b>	<b>Τιμή</b>	<b>ενέργεια</b>	
είδος ζιζανιοκτόνου	Treflan			
ποσότητα ζιζανιοκτόνου	g/ha	2500		16,25
εργασία ζιζανιοκτονίας				15
είδος ζιζανιοκτόνου	Gesagart			
ποσότητα ζιζανιοκτόνου	g/ha	2500		16,25
εργασία ζιζανιοκτονίας	MJ / ha		801	15
<b>άρδευση</b>				
<b>πολυμπέκ (ράμπτα)</b>	ποσότητα νερού m <sup>3</sup> /ha		700	
<b>στάγδην</b>	ποσότητα νερού m <sup>3</sup> /ha		1920	
<b>άρδευση από</b>	<b>ενέργεια (MJ / ha)</b>			
<b>γεώτρηση 150 m</b>	<b>39407</b>			690
<b>γεώτρηση 10 m</b>	<b>10935</b>			474

ΤΟΕΒ με αύλακα	9308		475
ΤΟΕΒ με αγωγό	10935		825,6
συγκομιδή	μονάδες	ενέργεια	
εργασία συγκομιδής	MJ / ha	1081	100
επιδότηση καλλιέργειας (€/ha)			40

Σύμφωνα με το σενάριο, η κατεργασία του εδάφους για την καλλιέργεια του ηλιάνθου περιλαμβάνει όργωμα, πέρασμα με δισκοσβάρνα, κατεργασία με ελαφρύ καλλιεργητή και ένα τελευταίο πέρασμα με δισκοσβάρνα για το σπάσιμο των σβόλων του εδάφους και τη δημιουργία κατάλληλης σποροκλίνης. Ακολουθεί λίπανση με 29 μονάδες λιπάσματος 11 – 15 – 15 μέσω λιπασματοδιανομέα και ψεκασμός με 2500 g/ha από το ζιζανιοκτόνο treflan και ίδια ποσότητα από το ζιζανιοκτόνο gesagart. Η σπορά πραγματοποιείται κατά το μήνα Απρίλιο. Για τη σπορά ενός εκταρίου, απαιτούνται 5000 g σπόρου. Μετά τη σπορά, απαιτείται άρδευση. Για το σκοπό αυτό εφαρμόζονται 700 m<sup>3</sup> νερού ανά εκτάριο, μέσω άρδευσης με καρούλι και πολυπέκ (ράμπα). Περίπου δυο μήνες μετά τη σπορά, έως λίγο πριν τη συγκομιδή, η καλλιέργεια αρδεύεται ανά τακτά χρονικά διαστήματα με σταλακτηφόρους αγωγούς, οι οποίοι τοποθετούνται ανά δεύτερη γραμμή. Η συνολική ποσότητα νερού που διατίθεται στην καλλιέργεια με αυτό τον τρόπο άρδευσης, είναι 1920 m<sup>3</sup> νερού ανά εκτάριο. Η συγκομιδή η πραγματοποιείται μέσα Σεπτεμβρίου, με θεριζοαλωνιστική μηχανή αφού προηγουμένως έχει υποστεί τροποποίηση.

Για τον υπολογισμό του οικονομικού ισοζυγίου συνυπολογίζεται το κόστος για την κάθε εργασία, τα μηχανήματα και τα γεωργικά εφόδια που χρησιμοποιήθηκαν. Ο ηλιάνθος είναι ποτιστική καλλιέργεια. Συνεπώς εξετάζεται το σενάριο εγκατάστασης της καλλιέργειας σε ποτιστικά χωράφια για τα οποία, όπως και με την καλλιέργεια του σόργου, υπολογίζεται κόστος ενοικίασης της γης 500 € / ha. Επίσης, περιλαμβάνεται στους υπολογισμούς κόστος και ενέργεια άρδευσης για τέσσερα διαφορετικά σενάρια άρδευσης. Στο οικονομικό ισοζύγιο συνυπολογίζεται επιδότηση καλλιέργειας 40 € / ha. η οποία αναμένεται να σταματήσει τα επόμενα έτη.

Στο σενάριο που περιγράφηκε, εξετάστηκε η οικονομική πρόσοδος της καλλιέργειας για αποδόσεις 2000, 2500, 3000, 3500 και 4000 kg / ha. Τέλος εξετάστηκε η οικονομική πρόσοδος της καλλιέργειας για αποδόσεις 2000, 2500, 3000, 3500 και 4000 kg / ha., σε ιδιόκτητη γη.

Για όλα τα σενάρια που περιγράφηκαν για την καλλιέργεια του ηλιάνθου, παράλληλα με το οικονομικό ισοζύγιο, υπολογίστηκαν το ενεργειακό ισοζύγιο ο συντελεστής ενεργειακής απόδοσης και η ενεργειακή αποδοτικότητα.

### **Κατεργασία εδάφους**

Ο υπολογισμός της ενέργειας για το όργωμα τον ελαφρύ καλλιεργητή και τη δισκοσβάρνα περιγράφηκε στην καλλιέργεια της ελαιοκράμβης.

### **Σπορά**

Για την σπορά, χρησιμοποιήθηκε γεωργικός ελκυστήρας ισχύος 51 kW και βάρους 2520 kg. Για τη σπορά σόργου, χρησιμοποιείται σπαρτική σκαλιστικών καλλιεργειών. Το βάρος της σπαρτικής υπολογίζεται σε 400 kg. Η ενέργεια των σταθερών στοιχείων υπολογίστηκε από τις επιμέρους ενέργειες:

Ενέργεια κατασκευής (υλικά και βιομηχανοποίηση) 56,9 MJ/kg (Bowers, 1992).

Ενέργεια μεταφοράς 8,8 MJ/kg (Bowers, 1992).

Ενέργεια επισκευών 43% επί της αρχικής ενέργειας κατασκευής (Bowers, 1992).

Η διάρκεια ζωής της σπαρτικής, ανέρχεται σύμφωνα με τη βιβλιογραφία σε 1500 ώρες (ASAE Standards, 2002). Έτσι, η απόσβεση ενέργειας ανά ώρα εργασίας υπολογίζεται σε 24,04 MJ.

Η ενέργεια των μεταβλητών στοιχείων για τη σπαρτική σιτηρών υπολογίστηκε ως εξής:

Κατανάλωση καυσίμου 2,8 l/ha.

Ενεργειακό ισοδύναμο καυσίμου 47,78 MJ/l (Pimentel, 1992).

Ενέργεια καυσίμου  $47,78 \text{ MJ/l} \times 2,8 \text{ l/ha} = 134 \text{ MJ/ha}$ .

Ενέργεια λιπαντικών 4% επί της ενέργειας καυσίμου.

Το άθροισμα της ενέργειας καυσίμου και της ενέργειας λιπαντικών, δίνει την ενέργεια των μεταβλητών στοιχείων της σπαρτικής σκαλιστικών καλλιεργειών.

Στην ενέργεια σποράς συμπεριλαμβάνεται και η ενέργεια του σπόρου. Χρησιμοποιήθηκαν 5000 g σπόρου για τη σπορά ενός εκταρίου. Η ενέργεια ανά κιλό σπόρου για τον ηλιάνθο, ανέρχεται σε 26,3 MJ (Kalivrousis et al., 2002).

### **Λίπανση**

Για την πραγματοποίηση της λιπάνσεως, χρησιμοποιήθηκε λιπασματοδιανομέας σε ελκυστήρα ισχύος 51 kW και βάρους 2520 kg. Οι υπολογισμοί για την ενέργεια των σταθερών και μεταβλητών στοιχείων του ελκυστήρα και του λιπασματοδιανομέα, περιγράφηκαν στην καλλιέργεια της ελαιοκράμβης.

Χρησιμοποιήθηκαν 290 kg λιπάσματος 11 – 15 – 15 g για τη λίπανση ενός εκταρίου. Η συνολική ενέργεια λιπάσματος, υπολογίζεται από το άθροισμα της ενέργειας παραγωγής, της ενέργειας συσκευασίας και της ενέργειας μεταφοράς, ανάλογα με την ποσότητα που εφαρμόζεται από το κάθε στοιχείο ξεχωριστά όπως περιγράφηκε στην καλλιέργεια της ελαιοκράμβης.

Το σύνολο των ενεργειών του ελκυστήρα, του λιπασματοδιανομέα και των λιπασμάτων που χρησιμοποιήθηκαν, δίνει την ολική ενέργεια λίπανσης.

### **Φυτοπροστασία**

Για τη ζιζανιοκτονία, χρησιμοποιήθηκε σύμφωνα με το σενάριο ψεκαστικό σε ελκυστήρα ισχύος 51 kW και βάρους 2520 kg. Οι υπολογισμοί για την ενέργεια των σταθερών στοιχείων του ελκυστήρα και του ψεκαστικού, περιγράφηκαν στην καλλιέργεια της ελαιοκράμβης.

Τέλος, συμπεριλαμβάνεται και η ενέργεια των σκευασμάτων που χρησιμοποιήθηκαν. Χρησιμοποιήθηκαν 2500 g/ha treflan με όνομα δραστικής ουσίας trifluralin και 2500 g/ha gesagart με όνομα δραστικής ουσίας prometryne. Από τον πίνακα των σκευασμάτων που παρατίθεται στην καλλιέργεια της ελαιοκράμβης, υπολογίζεται η ενέργεια παρασκευής.

Η συνολική ενέργεια ζιζανιοκτονίας, υπολογίζεται από το άθροισμα της ενέργειας του σκευάσματος και της ενέργειας του ψεκαστικού.

### **Άρδευση**

Τα σενάρια άρδευσης για την καλλιέργεια του ηλιάνθου, είναι ίδια με τα σενάρια που υπολογίστηκαν στην καλλιέργεια του σόργου. Συνεπώς, για τον υπολογισμό των εισροών ενέργειας από την άρδευση του ηλιάνθου, ακολουθείται η ίδια διαδικασία που περιγράφηκε στο σόργο.

### **Συγκομιδή**

Η συγκομιδή του ηλιάνθου, πραγματοποιείται με θεριζοαλωνιστική μηχανή. Χρησιμοποιούνται μαχαιρία καλαμποκιού τα οποία τροποποιούνται με κάποια

προσθήκη για την προσαρμογή στη συγκομιδή του ηλίανθου. Η ανάλυση των εισροών ενέργειας, είναι ίδια με αυτή της θεριζοαλωνιστικής που περιγράφηκε στην καλλιέργεια της ελαιοκράμβης.

### **Μεταφορά παραγωγής**

Για τη μεταφορά της παραγωγής το σενάριο προβλέπει τη χρησιμοποίηση πλατφόρμας μεταφοράς χωρητικότητας 5 τόνων, σε απόσταση 5 km και με ταχύτητα 20 km/h.

Στο πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζεται ο υπολογισμός των εισροών ενέργειας για την καλλιέργεια του ηλίανθου.

Πίνακας 11. Εισροές ενέργειας για την καλλιέργεια του ηλίανθου όπως περιγράφηκε στο σενάριο.

εισροές ενέργειας			Ενέργεια σταθερών στοιχείων	Ενέργεια μεταβλητών στοιχείων	Ενέργεια γεωργικών εφοδίων	Σύνολο
			MJ/ha	MJ/ha	MJ/ha	MJ/ha
<b>Κατεργασία εδάφους</b>	Περάσματα					
Αροτρο	1		152,2	244,55		2598
Ελαφρύς καλλιεργητής	1		31,4	43,57		467
Δισκοσβάρνα	2		88,6	71,20		801
<b>Σύνολο κατεργασίας</b>			<b>272,1</b>	<b>359,31</b>		<b>3865</b>
<b>Σπορά</b>	Ποσ. σπόρου (kg/ha)					
<b>Σύνολο σποράς</b>	<b>5</b>		<b>38,3</b>	<b>13,96</b>	<b>131,5</b>	<b>309</b>
<b>Λίπανση</b>	Μονάδες λιπάσματος					
Αζωτο	77,8				5959,5	
Φώσφορος	106				1696	
Κάλιο	106				1356,8	
<b>Σύνολο λίπανσης</b>			<b>6,3</b>	<b>12,42</b>	<b>9012,3</b>	<b>9143</b>
<b>Ψεκασμοί - Φυτοφάρμακα</b>	Ποσότητα δ.ο. (kg/ha)					
trifluralin	1,2				221,5	
prometryne	1,25				384,5	
<b>Σύνολο φυτοπροστασίας</b>			<b>13</b>	<b>18,19</b>	<b>606</b>	<b>801</b>
<b>Άρδευση</b>	Βάθος άντλησης (m)	Συνολική ποσότητα νερού (m <sup>3</sup> )				
Άρδευση με μπεκ/καρούλι	<b>150</b>	700	426	1224,7		12672
Άρδευση με σταγόνες		1920	231	2650,3		26734
<b>Σύνολο άρδευσης</b>		<b>2620</b>	<b>657</b>	<b>3874,96</b>		<b>39407</b>
Άρδευση με μπεκ/καρούλι	<b>10</b>	700	426	487,7		5303
Άρδευση με σταγόνες		1920	231	540,1		5632
<b>Σύνολο άρδευσης</b>		<b>2620</b>	<b>657</b>	<b>1027,80</b>		<b>10935</b>
Άρδευση με μπεκ/καρούλι	<b>2</b>	700	426	445,6		4882
Άρδευση με σταγόνες		1920	231	419,5		4426
<b>Σύνολο άρδευσης</b>		<b>2620</b>	<b>657</b>	<b>865,11</b>		<b>9308</b>
<b>Συγκομιδή</b>			<b>37,88</b>	<b>70,22</b>		<b>108,1</b>
<b>Μεταφορά παραγωγής</b>	Μέση απόσταση μεταφοράς (km)					
<b>Σύνολο μεταφοράς</b>	<b>5</b>		<b>2,94</b>	<b>10,02</b>		<b>13,0</b>
<b>Εξαγωγή ελαίου</b>			<b>15,57</b>	<b>420,24</b>		<b>435,8</b>

## Εκροές ενέργειας

Για την καλλιέργεια του ηλίανθου εξετάστηκαν 5 σενάρια παραγωγής. Υπολογίστηκε η εκροή ενέργειας για παραγωγή σε σπόρο 2000, 2500, 3000, 3500, και 4000 kg/ha. Επίσης, συνυπολογίστηκε και η ενέργεια από το λάδι, την πίτα και τα στελέχη.

Πίνακας 12. Στοιχεία για το ποσοστό σε πίτα, περιεκτικότητα σε υγρασία και περιεκτικότητα σε ενέργεια των μερών του φυτού του ηλίανθου.

<b>ποσοστό πίτας %</b>		65,0
<b>υγρασία αναφοράς %</b>	<b>Σπόρου</b>	10
	<b>Στελεχών</b>	20
<b>απόδοση ξηρό βάρος kg/ha</b>	<b>Σπόρου</b>	2730
	<b>Ελαίου</b>	960
	<b>Πίτας</b>	1780
	<b>Στελεχών</b>	4250
<b>ενεργειακή περιεκτικότητα MJ/kg</b>	<b>Ελαίου</b>	39,4
	<b>Πίτας</b>	19,6
	<b>Στελεχών</b>	14,3

Πηγή: Rossell et al., (1991)

Θεωρήθηκε ότι η μέση υγρασία του σπόρου είναι 10 % και των στελεχών 20 %. Από το βάρος υγρής μάζας, αφαιρείται η υγρασία. Με τον τρόπο αυτό υπολογίζεται η απόδοση σε ξηρό βάρος. Η ενεργειακή περιεκτικότητα του ελαίου, της πίτας και των στελεχών, είναι 39,4, 19,6 και 14,3 MJ/kg αντίστοιχα (Πίνακας 12).

Στον πίνακα 13, παρουσιάζονται οι εκροές ενέργειας για τις αποδόσεις του σεναρίου.

Πίνακας 13. Εκροές ενέργειας για αποδόσεις σε χλωρή μάζα 2000, 2500, 3000, 3500 και 4000 kg/ha.

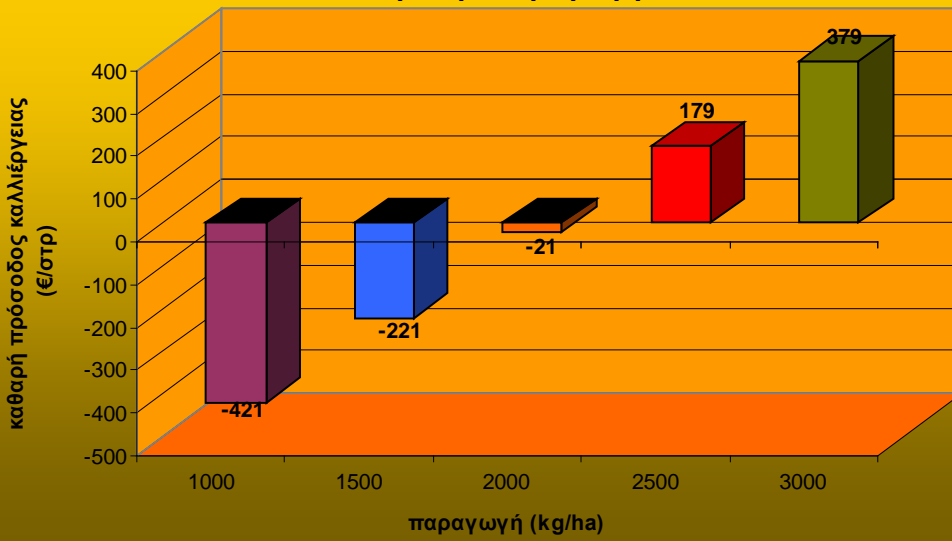
	<b>Σπόρος</b>	<b>Λάδι</b>	<b>Πίτα</b>	<b>Στελέχη</b>	<b>Σύνολο</b>
<b>Απόδοση (kg/ha)</b>	2025,1	637,9	1184,7	3542,4	5567,5
<b>Εκροές ενέργειας (MJ/ha)</b>	48353,6	25133,7	23219,9	50656	99009,5

<i>Απόδοση (kg/ha)</i>	2531,4	797,4	1480,9	4428	6959,4
<b>Εκροές ενέργειας (MJ/ha)</b>	60442	31417,1	29024,9	63320	123761,9
<i>Απόδοση (kg/ha)</i>	3037,7	956,9	1777	5312,5	8350,2
<b>Εκροές ενέργειας (MJ/ha)</b>	72530,4	37700,5	34829,9	75968,8	148499,1
<i>Απόδοση (kg/ha)</i>	3543,9	1116,3	2073,2	6199,2	9743,1
<b>Εκροές ενέργειας (MJ/ha)</b>	84618,8	43983,9	40634,9	88647,9	173266,7
<i>Απόδοση (kg/ha)</i>	4050,2	1275,8	2369,4	7084,8	11135
<b>Εκροές ενέργειας (MJ/ha)</b>	96707,2	50267,3	46439,8	101311,9	198019,1

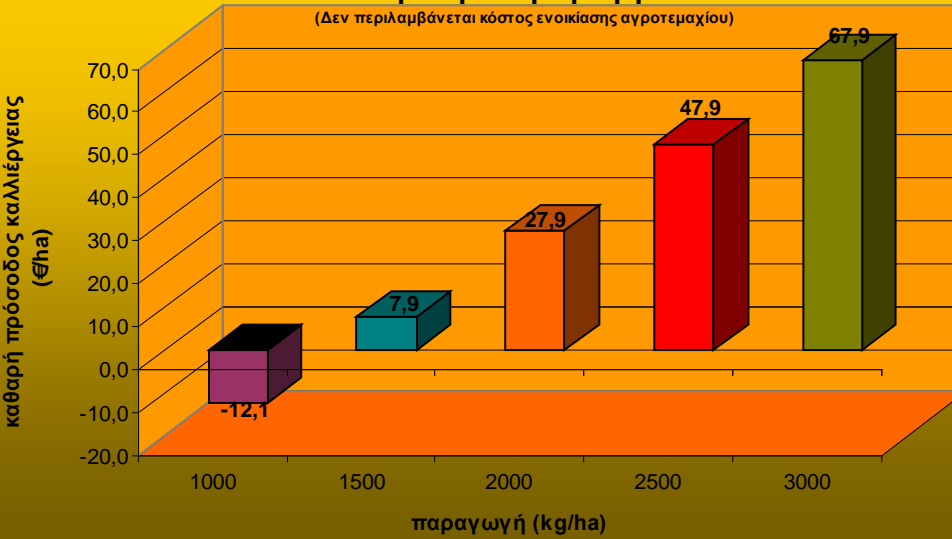
## Αποτελέσματα

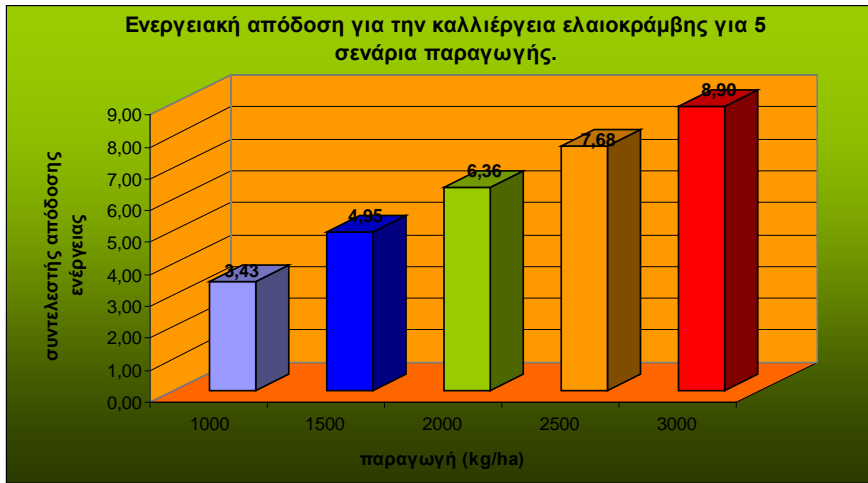
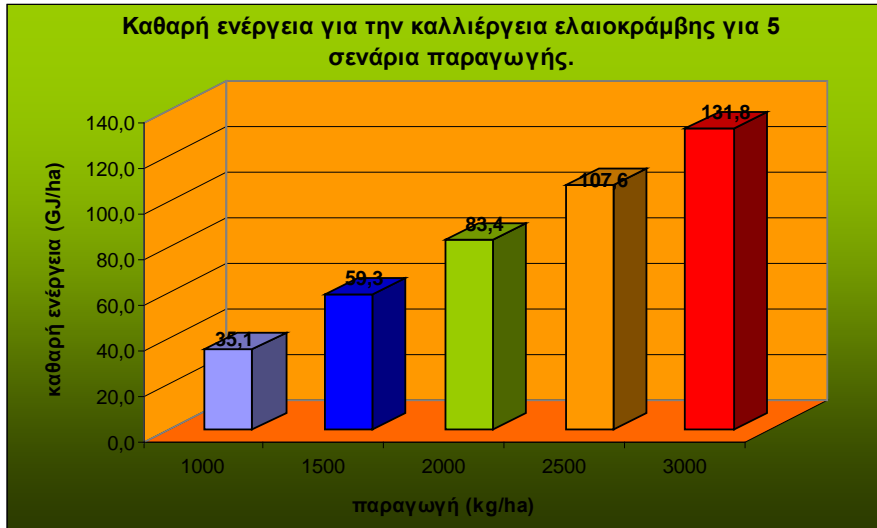


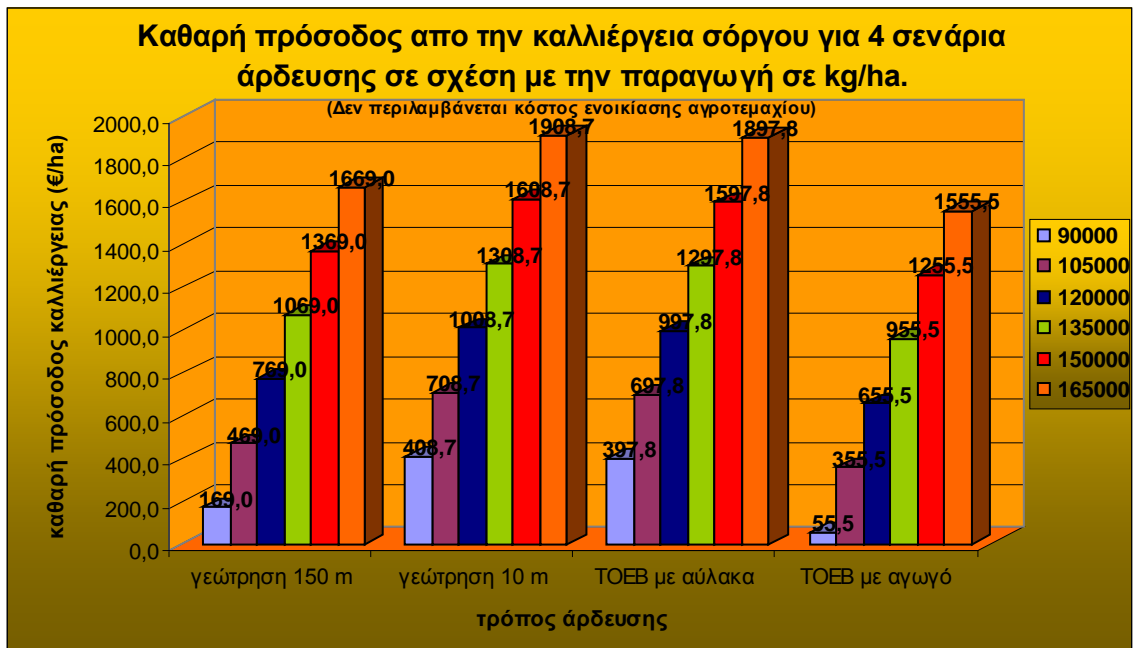
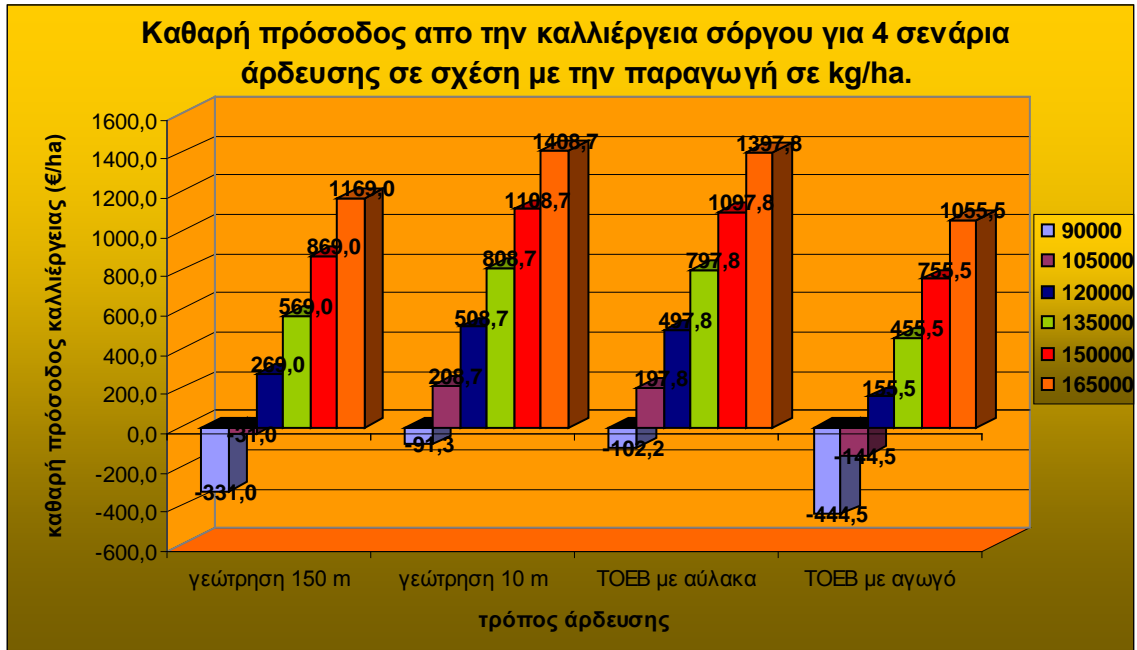
### Καθαρή πρόσδοδος απο την καλλιέργεια ελαιοκράμβης σε σχέση με την παραγωγή.

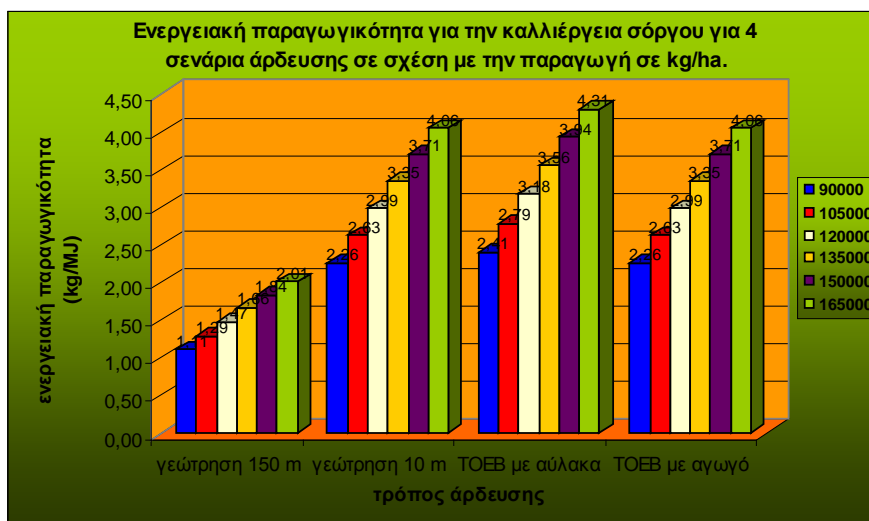
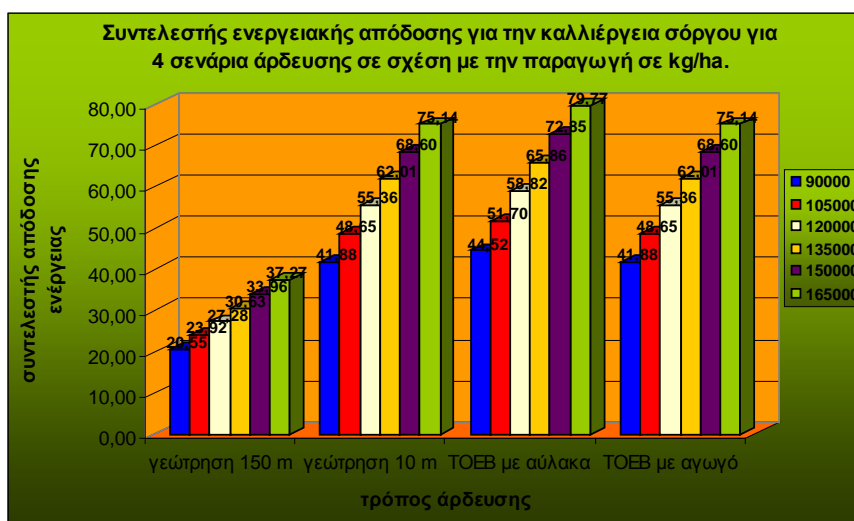
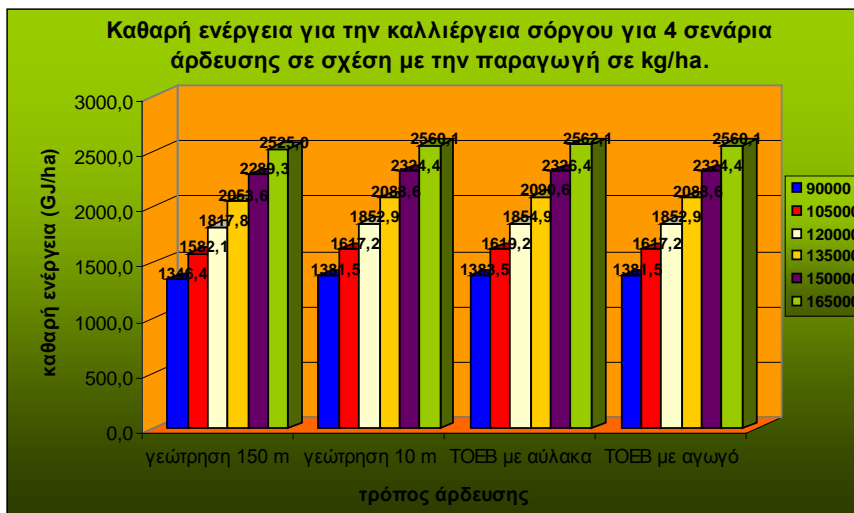


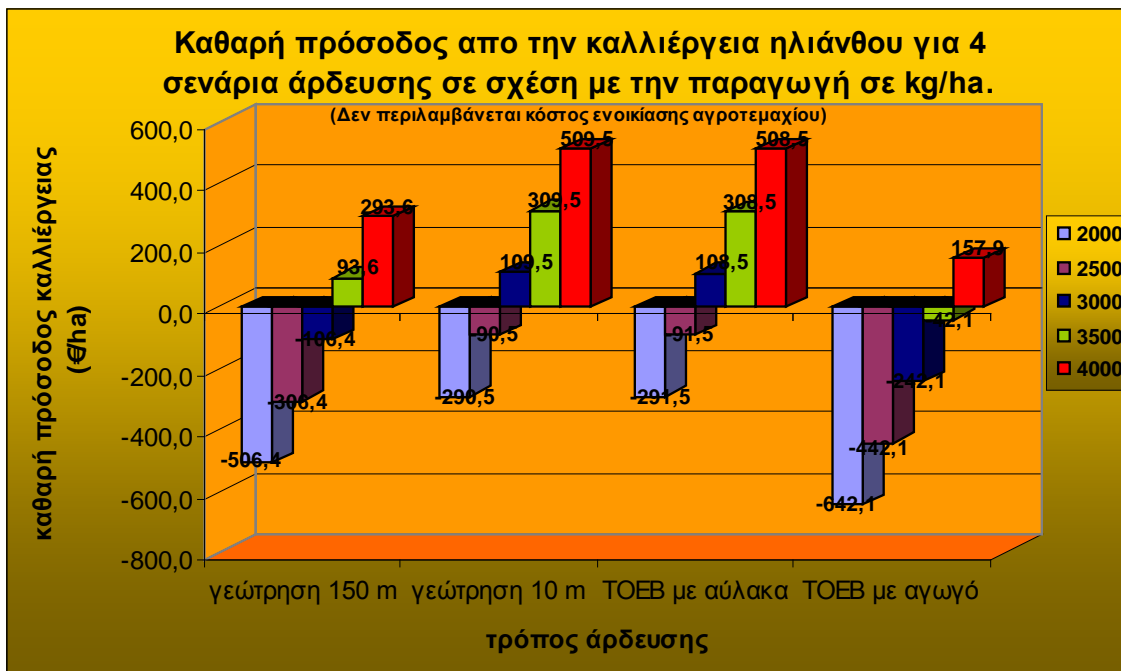
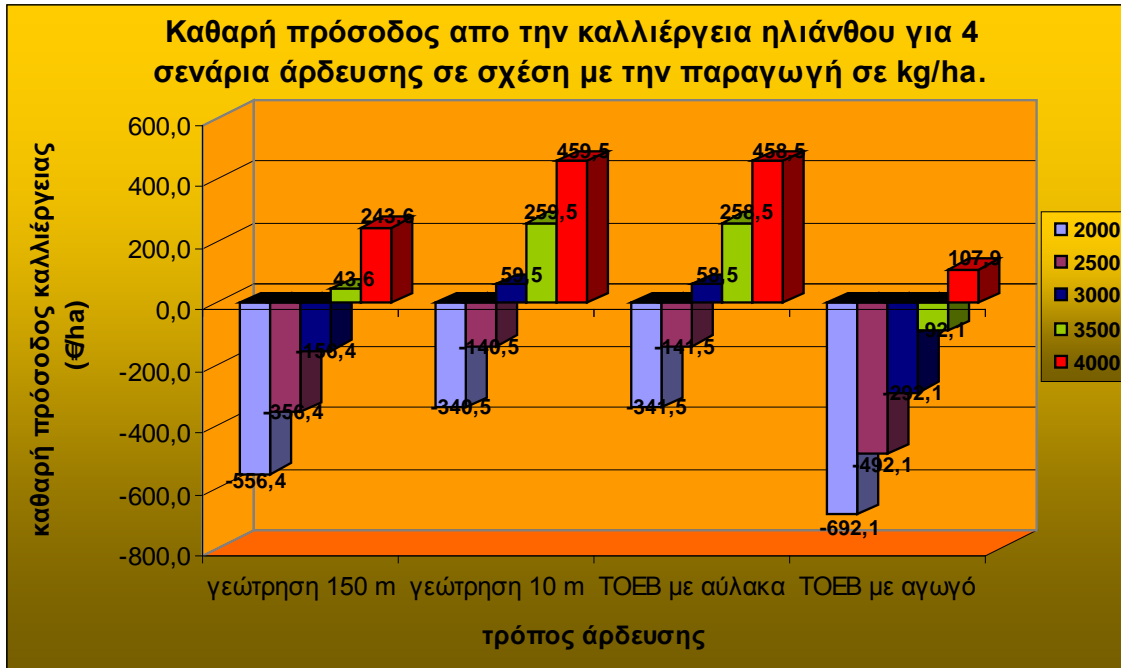
### Καθαρή πρόσδοδος απο την καλλιέργεια ελαιοκράμβης σε σχέση με την παραγωγή.

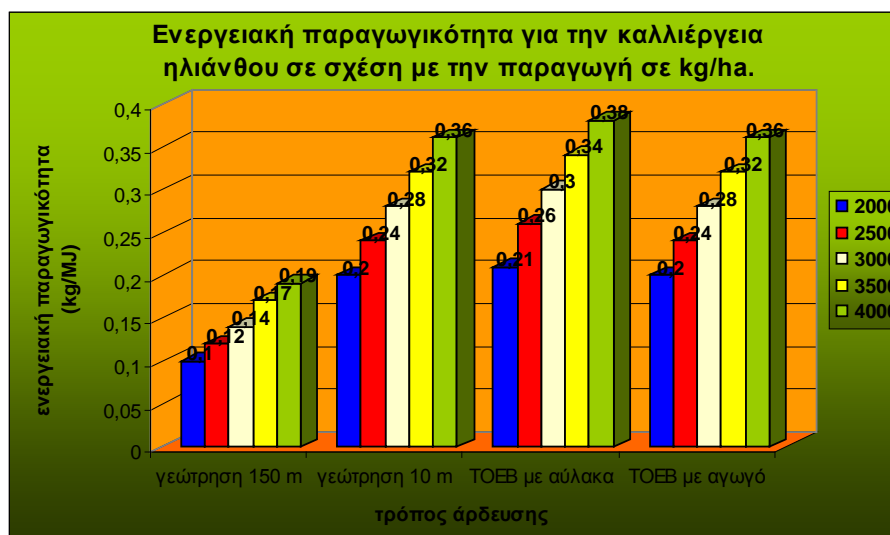
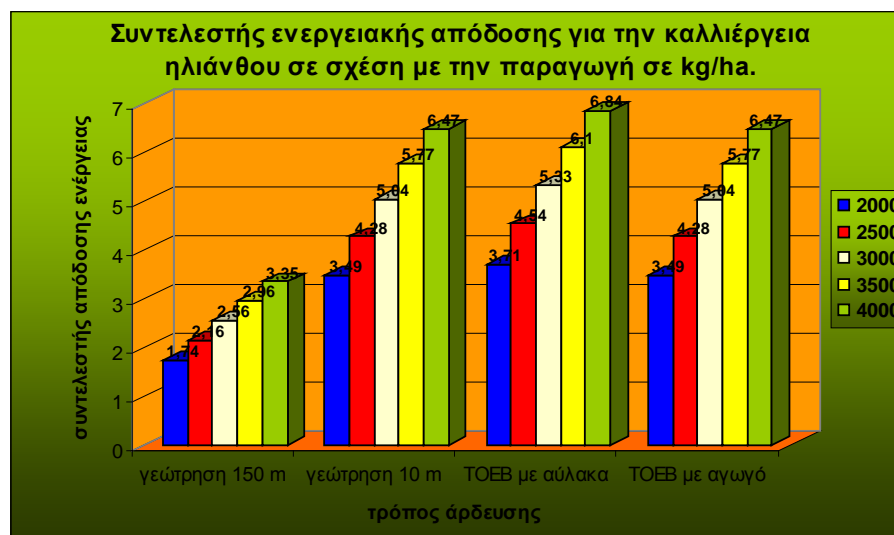
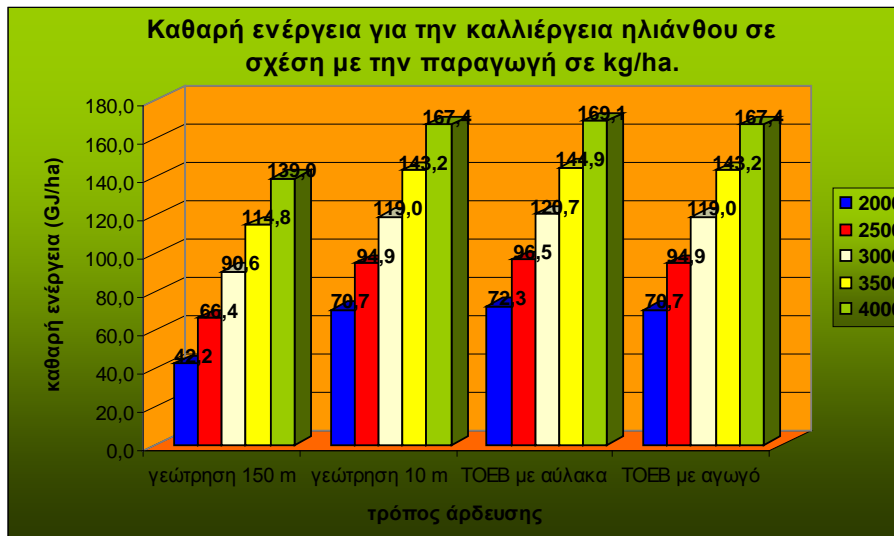












## Βιβλιογραφία

Asae Standards, (2002). Standards Engineering Practices Data, American Society of Agricultural Engineers.

Batty J. C., Hammand S. N., Keller J., (1974). Energy inputs to irrigation. Utah State University.

Bowers W., (1992). Agricultural Field Equipment.

Helsel R. Z., (1992). Energy and alternatives for fertilizer and pesticide use.

Kalivrousis L., Natsis A., Papadakis G., (2002). The Energy balance of sunflower production for biodiesel in Greece.

Mudahar M. S., Hignett T. P., (1987). Energy requirements, technology and resources in the fertilizer sector.

Pimentel D., (1992). Energy inputs in production agriculture.

Rossell J. B., Pritchard J. L. R., (1991). Analysis of Oilseeds Seeds, Fats and Fatty Foods, Elsevier Applied Science, London and New York

## Παράρτημα

Πίνακας 14. Ενεργειακά ισοζύγια για τα 5 σενάρια παραγωγής της καλλιέργειας της ελαιοκράμβης.

παραγωγή Kg σπόρου/ha	καθαρή ενέργεια	συντελεστής απόδοσης	ενεργειακή παραγωγικότητα
-----------------------	-----------------	----------------------	---------------------------

	(GJ/ha)	ενέργειας	(kg/MJ)
1000	35,06	3,43	0,19
1500	59,25	4,95	0,28
2000	83,45	6,36	0,36
2500	107,64	7,68	0,43
3000	131,83	8,90	0,50

Πίνακας 15. Ενεργειακά ισοζύγια για τα 6 σενάρια παραγωγής της καλλιέργειας του σόργου, σε συνδυασμό με τα 4 σενάρια άρδευσης.

καθαρή ενέργεια (GJ/ha)				
παραγωγή Kg/ha	γεώτρηση 150 m	γεώτρηση 10 m	ΤΟΕΒ με άλακα	ΤΟΕΒ με αγωγό
90000	1346,4	1381,5	1383,5	1381,5
105000	1582,1	1617,2	1619,2	1617,2
120000	1817,8	1852,9	1854,9	1852,9
135000	2053,6	2088,6	2090,6	2088,6
150000	2289,3	2324,4	2326,4	2324,4
165000	2525,0	2560,1	2562,1	2560,1
συντελεστής απόδοσης ενέργειας				
παραγωγή Kg/ha	γεώτρηση 150 m	γεώτρηση 10 m	ΤΟΕΒ με άλακα	ΤΟΕΒ με αγωγό
90000	20,55	41,88	44,52	41,88
105000	23,92	48,65	51,70	48,65
120000	27,28	55,36	58,82	55,36
135000	30,63	62,01	65,86	62,01
150000	33,96	68,60	72,85	68,60
165000	37,27	75,14	79,77	75,14
ενεργειακή παραγωγικότητα (kg/MJ)				
παραγωγή Kg/ha	γεώτρηση 150 m	γεώτρηση 10 m	ΤΟΕΒ με άλακα	ΤΟΕΒ με αγωγό
90000	1,11	2,26	2,41	2,26
105000	1,29	2,63	2,79	2,63
120000	1,47	2,99	3,18	2,99
135000	1,66	3,35	3,56	3,35
150000	1,84	3,71	3,94	3,71
165000	2,01	4,06	4,31	4,06

Πίνακας 16. Ενεργειακά ισοζύγια για τα 5 σενάρια παραγωγής της καλλιέργειας του ηλίανθου, σε συνδυασμό με τα 4 σενάρια άρδευσης.

καθαρή ενέργεια (GJ/ha)				
παραγωγή Kg/ha	γεώτρηση 150 m	γεώτρηση 10 m	ΤΟΕΒ με άλακα	ΤΟΕΒ με αγωγό
2000	42,2	70,7	72,3	70,7
2500	66,4	94,9	96,5	94,9
3000	90,6	119,0	120,7	119,0
3500	114,8	143,2	144,9	143,2
4000	139,0	167,4	169,1	167,4
συντελεστής απόδοσης ενέργειας				
παραγωγή Kg/ha	γεώτρηση 150 m	γεώτρηση 10 m	ΤΟΕΒ με άλακα	ΤΟΕΒ με αγωγό



2000	1,74	3,49	3,71	3,49
2500	2,16	4,28	4,54	4,28
3000	2,56	5,04	5,33	5,04
3500	2,96	5,77	6,1	5,77
4000	3,35	6,47	6,84	6,47
<b>ενεργειακή παραγωγικότητα (kg/MJ)</b>				
<b>παραγωγή Kg/ha</b>	<b>γεώτρηση 150 m</b>	<b>γεώτρηση 10 m</b>	<b>TOEB με άλακα</b>	<b>TOEB με αγωγό</b>
2000	0,1	0,2	0,21	0,2
2500	0,12	0,24	0,26	0,24
3000	0,14	0,28	0,3	0,28
3500	0,17	0,32	0,34	0,32
4000	0,19	0,36	0,38	0,36

## Sunflower oil energy budget for in-farm oil production under four tillage systems

C. Cavalaris, C. Karamoutis, S. Fountas and T.A. Gemtos

<sup>1)</sup> Laboratory of Farm Mechanization, University of Thessaly, Fytoko Street, N. Ionia, 38446 Magnesia, Tel +30 24210 93228/9 Fax +302421093144, e-mail gemots@agr.uth.gr

### Abstract

Sunflower is an energy crop, which can provide fuel for the transportation sector. Any saving of production inputs is crucial for an efficient biomass energy production. For two sunflower varieties, conservation tillage was compared with conventional to investigate the potential for energy reduction. Tillage energy was estimated by field measurements of the consumed power. After harvesting, seed were processed by cold pressing for raw oil extraction. The energy consumed for oil extraction was measured and recorded. An energy budget of the whole crop was performed. All the cultivation inputs sequestered and consumed energy was estimated. When only oil was considered as output, only conventional tillage presented positive net energy and energy ratio above 1. When the cake and crop residue was taken into account, all tillage methods gave positive net energies and energy ratio above 3. Conventional tillage was the best due to the higher yield, with an energy ratio of 3.81 followed by HC with 3.19, DH with 3.21 and RC with 3.03. Irrigation consumed the largest part of the total energy inputs (71%), with oil extraction second (10%) followed by soil tillage and fertilization (7% each). Irrigation had extremely high-energy demand because in the case studied the water was pumped from a 150 m depth. This percent would have been reduced by a factor 3 (24%) if surface water (pumping depth less than 5 m) could be used for irrigation. In that case the energy ratio for conventional tillage would have been doubled (8.97).

## ***Introduction***

### ***Materials and methods***

The experiment was established in an experimental field where five methods of tillage were evaluated for nine continuous years. The methods tested were:

1) Conventional tillage (CO). Autumn ploughing for primary tillage and seedbed preparation with two or more passes with a disk harrow or a field cultivator according to the soil conditions. The last year ploughing at a depth of 0.27 m was applied late in autumn and in spring, few days before planting, two passes with a disk harrow and two passes with a field cultivator prepared the seedbed.

2) Reduced tillage with a heavy cultivator (HC). A C type heavy cultivator was used for primary tillage while seedbed preparation was carried out as above. The last year primary tillage at a 0.18 m depth was applied late in autumn and seedbed preparation was done with two passes of a disk harrow and two passes of a field cultivator before planting.

3) Reduced tillage with a rotary cultivator (RC). The tillage depth was about 0.12 m (0.13 m in the last year) and the operation was usually carried out a few days before planting. Secondary tillage with one pass of a disk harrow was sometimes necessary, like the last year, when the period from tillage to planting was long enough to allow weeds to grow.

4) Reduced tillage with a disk harrow (DH). Two or more passes were applied according to each year conditions and the tillage depth was about 0.08 m. Due to poor soil conditions in the last year four passes were made with the disk harrow and one pass with a field cultivator.

Two sunflower varieties were tested with each of the four tillage methods. A split plot experimental design with four replications was applied. Tillage treatments were allocated on the main plots that were 6x50 m and varieties in the sub-plots of 3x50 m dimensions. Besides tillage, all the plots received the same cultivation treatments until harvest. As no differences were found between the two crop varieties, results for only one (Garysol) are shown in the present work.

The soil type was silty-clay (sand 9.7%, silt 41.1%, clay 49.2%) Two tractors were used in the field operations, a two wheel drive, 55 kW for the light tasks (Secondary tillage, sowing, spraying, fertilizing) and a four wheel drive, 82 kW for the heavier ones (primary tillage). Harvesting was done with a HEGE 125 experimental harvester with an 1,5 m reel header.

## 1. Energy inputs

### Tillage energy

Fixed and variable energy inputs were estimated. Literature data (Bowers, 1992) along with the used machinery characteristics were utilized to estimate Lifetime Fixed Energy inputs ( $EF_L$ ) in MJ that included energy sequestered in the material used and the manufacturing, energy for transportation and distribution (8,8 MJ/kg) (Bowers 1992) and the energy for repairs and maintenance. Repairs and maintenance energy is a variable input but as the estimation was based on a percentage of the initial energy sequestered for the amachine production it is included in this calculation.

$$EF_L = ME \cdot w_i + 8.8 \cdot w_i + C_{RM} \cdot w_i$$

$w_i$  is the machinery weight (kg). ME is the manufacturing energy (in MJ/kg). For the tractors and the harvester the energy proposed by Bowers for the automobile industry was taken (Bowers 1992). For the other equipment an average energy input for steel as raw material of 40 MJ/kg was estimated plus the energy added in manufacturing the raw material (Bowers 1992).  $C_{RM}$  is a coefficient (Table 1) used to estimate the energy sequestered in repairs and maintenance (Bowers 1992).

The Acreage Fixed Energy Inputs ( $EF_{acr}$ ) in MJ/ha were estimated from the formula:

$$EF_{acr} = \frac{EF_L}{L_E \cdot fp}$$

Where ( $L_E$ ) is the machinery Estimated Life (in hours) (ASABE 2007 D497.4) and  $fp$  the Effective Field Performance (in hectares per hour) for each implement calculated as the product of travel speed ( $u$ ) in m/s and working width ( $A_i$ ) (in m) and multiplied by the respective Field Efficiency ( $fe$ ) (ASABE 2007 D497.4).

$$fp = 36 \frac{u \cdot A_i}{fe}$$

Variable Energy inputs (EV) included the fuel energy consumed by the tractor and the energy used for the engine's lubricants. The fuel energy (was calculated indirectly from measurements taken with an implemented tractor during the field operations. The tractor was able to monitor traction draft and travel speed as well as PTO torque and rotating velocity. This approach provided the benefit that fuel consumption estimation was independent of the tractor type and condition and can be broadly used at any tractor of the same category. Data from a six year period (1998-2003) at the same field were used representing a great variety in soil conditions from year to year (Table 2). The average values were used for the present energy estimation.

The draft force ( $f_{TR}$ ) in KN and travel speed ( $u$ ) (in m/s) product was the hitched implement Power Absorbed for Traction ( $Pa_{TR}$ ) (in kW) and this divided by field capacity gave the hitched implement Energy Absorbed for traction ( $Ea_{TR}$ ) (in MJ/ha)

$$Pa_{TR} = u \cdot f_{TR}$$

$$Ea_{TR} = 3.6 \frac{P_{TR}}{fp}$$

The PTO torque ( $t_{PTO}$ ) (in kN\*m) and rotating velocity ( $\omega_{PTO}$ ) (in rad/s) product was the Power Absorbed from the PTO ( $Pa_{PTO}$ ) (in kW) and this divided by field performance gave the Energy Absorbed from the PTO ( $Ea_{PTO}$ ) (in MJ/ha).

$$Pa_{PTO} = t_{PTO} \cdot \omega_{PTO}$$

$$Ea_{PTO} = 3.6 \cdot \frac{P_{PTO}}{fp}$$

The sum of these two was the Total Absorbed Power ( $Pa_T$ ) and Total Absorbed Energy ( $Ea_T$ ) respectively.

$$Pa_T = Pa_{TR} + Pa_{PTO}$$

$$Ea_T = Ea_{TR} + Ea_{PTO}$$

The tractor PTO Equivalent Power ( $Peq_{PTO}$ ) (in kW) and the tractor PTO Equivalent Energy ( $Eeq_{PTO}$ ) (in MJ/ha) was estimated by applying a PTO power transmission coefficient of 0.88 [ASABE EP496.2] and a tractive efficiency ( $c_{TR}$ ) taken from Table 3 according to the used implement. The ( $c_{TR}$ ) factors on Table 3 were estimated from measurements of pull draft and fuel consumption for each implement.

$$Peq_{PTO} = \cdot Pa_{TR} / c_{TR} + \cdot Pa_{PTO} / 0.88$$

$$Eeq_{PTO} = \cdot Ea_{TR} / c_{TR} + \cdot Ea_{PTO} / 0.88$$

Specific Fuel Consumption (SFC) in L/kWh for each operation with each of the two used tractors were calculated from the formula (ASABE Standards D497.4)

$$SFC = 2.64 X + 3.91 - 0.203 \sqrt{738 X + 173}$$

where X is the ratio of equivalent PTO power required by an operation to that maximum available to the PTO.

Consequently, Acreage Fuel Consumption ( $FC_{acr}$ ) in L/ha for each operation was estimated as:

$$FC_{acr} = \frac{SFC \cdot Peq_{PTO}}{fp}$$

Variable Energy inputs ( $E_v$ ) (in MJ/ha) for the machinery operations was the fuel and lubricant energy used by the tractor. Fuel energy inputs were calculated by multiplying acreage fuel consumption with an energy equivalent for oil of 47.78 MJ/L (Pimentel 1992) (value includes a 19% allowance for extraction, transportation and commodity energy embodied in the fuel). Lubricant energy was estimated as 4% of fuel energy (Bowers 1992).

$$EV = 46 \cdot FC_{acr} + 0.04 \cdot 46 \cdot FC_{acr}$$

### ***Energy use for fertilization, herbicide application and seeding***

The energy inputs for these operations include the embodied energy to the agricultural commodities (fertilizers, herbicides, seeds) and the energy used by the machinery to apply them in the field. The machinery energy was composed by the fixed and the variable energy inputs. Fixed inputs were calculated as for the tillage implements according to the machinery and operation characteristics (Table 1). For these implements, fuel consumption were taken from literature data (Bowers 1992) (Table 3) and used to estimate variable energy (fuel and lubricants) inputs.

The energy consumed in fertilization was the fertilizer energy content (Table 5) (including the energy for production, packaging and transportation of the three basic minerals) (Helsel 1992) plus the variable and fixed energy used from the tractor and the fertilizer spreader to apply the fertilizers in the field.

Similarly, the energy used for herbicide application was the energy for herbicide production formulation and distribution (Helsel 1992) (Table 5) and the energy used from the tractor and sprayer (fixed and variable).

Energy for sowing was the seed energy content equal to 26.3 MJ/kg (including the energy attributed to seed production, processing and distribution) (Heichel 1980) multiplied with the used quantity of seed plus the fixed and variable energy inputs for using a four row pneumatic planter.

### ***Energy use in irrigation***

Underground water was used to irrigate the crop. It was pumped from a 150 m depth with a 12 kW electric motor driven submarine pump. Two irrigation systems were used. The first irrigation was done with a traveller irrigator with a big gun sprinkler for crop emergence. Four more irrigations were done with a drip irrigation system constituted of 20 mm polyethylene pipes (4 L/h emitters, 1 m apart) placed every second crop row. For water in the field distribution, 76.2 mm diameter aluminium pipes were used.

Fixed and variable energy inputs were estimated for irrigation. Fixed inputs included the lifetime energy ( $EF_L$ ) embodied in manufacturing the irrigation equipment estimated as the product of the weight (weight per ha were estimated for the pipelines) (Batty and Keller 1980) with a corresponding manufacturing energy equivalent (ME) (Batty and Keller 1980) (Table 1) plus the energy for transportation and distribution (8,8 MJ/kg) (Bowers 1992) and the energy for repairs and maintenance. Lifetime fixed energy divided with the equipment estimated life ( $L_E$ ) (in years) (Table 1) gave the annual fixed energy reduction. Assuming that a 12 kW pump with a discharge  $25 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  was capable to irrigate an area of 10 ha per year it was estimated the acreage fixed energy inputs for irrigation (as the ratio of annual fixed energy reduction to the area capacity) (Table 1).

Variable energy inputs for irrigation ( $EV_{ir}$ ) (in MJ/ha) were estimated from the formula (Sloggett 1992):

$$EV_{ir} = \frac{EU}{EF_p \times EF_l} \times \frac{RQ_{ha}}{EF_c} \times TDH$$

EU is the energy required to lift 1 ha\*m of water at a height of 1 m (equal to 98.1 MJ) [Sloggett 1992].  $RQ_{ha}$  is the annual water supplied to the crop (in  $\text{m}^3$  per ha) (2200  $\text{m}^3/\text{ha}$  with drip irrigation and 200  $\text{m}^3/\text{ha}$  with traveller sprinkler).  $EF_p$  is the efficiency of electric power source considered equal to 0,18 [Sloggett 1992]. The 0.18 coefficient includes a 90% direct efficiency of converting electricity to mechanical power, a 25% indirect efficiency for the thermal electricity generating plant (mainly used for electricity production in Greece) and a 85% indirect transmission line efficiency [Sloggett 1992].  $EF_l$  is the efficiency of the 12 kW subwater pump considered equal to 0,76 [7].  $EF_c$  is the efficiency of the water distribution network (for the drip irrigation system it was considered equal to 0,91 and for the traveller irrigator equal to 0,95 [Sloggett 1992]. TDH is the total pressure head which was 175,8 m for the drip irrigation system and 232.7 m for the traveller irrigator.

### Energy for harvesting and transportation

Harvesting of the experimental plots were done with a HEGE 125c plot combine harvester. The small reel header of the harvester gave reduced field performance. For the estimation of harvesting energy inputs, harvesting was assumed to be done with a five row sunflower header. Fixed energy inputs are shown in Table 1. Variable harvesting inputs were estimated by multiplying a typical fuel consumption of 14.6 L/ha (Leach 1976) with the oil energy equivalent of 47.78 MJ/kg and adding a 4% energy to account for the lubricants (Table 4).

After harvesting the product has to be transported to the storage. A five tone capacity wagon toed by a 82 kW tractor with an average travel speed of 20 km/h was assumed for product transportation. The average distance from the field to the barn was assumed to be 5 km. Fuel consumption for transportation was 0,0018 MJ/kg\*km [Fluck 1992]. From the above value the variable energy inputs for transportation were estimated (Table 4). These inputs, when expressed per ha, varied between the tillage treatments due to the yield difference. Fixed energy inputs for the tractor and the wagon were also calculated (Table 1).

### **Processing**

A screw press (Taby Press mod 4) was used for in farm oil extraction. The press was powered by a 1,5 kW three phase electric motor. A digital wattmeter was connected to the press, to measure the power requirements for oil extraction. The average absorbed power was found 0.870 kW. The seed was manually fed in the press and the press capacity was monitored. An average of 16.77 kg of processed seed per hour was measured. The above data gave an average absorbed energy for processing 0.21 MJ/kg of seed. As for irrigation, the efficiency (EFp) of converting electricity to mechanical power was considered equal to 0,18 [Slogget 1992]. So the variable energy inputs for oil extraction was estimated to 1,14 MJ/kg of seed product. By multiplying this value with the acreage yield for each tillage treatment, the variable energy inputs for oil extraction was found. Fixed energy inputs for the screw press were also calculated as shown in Table 1.

### **2. Energy outputs**

Main outputs were considered the oil and the cake produced with cold pressing. An additional output could be the plant stems left in the field. Cold pressing process gave an average of 33.5% oil and 66.5% cake. The energy content for oil was 39,4 MJ/kg and for cake 19,6 MJ/kg [Kalivrousis et al 2002]. Considering the acreage yield in oil and cake for each tillage method the energy outputs were estimated.

Sunflower plants from 4×1.5 m areas were manually collected in the field before harvesting. Stems and seeds were separated, oven dried and weighted. The dry seed to dry stem ratio for Garysol variety was found 0.89. The ratio was used to estimate the stem dry weight from the dry seed yield. If the stems were utilized then an additional energy output would be expected. The stem energy was estimated by multiplying the stem weight (converted to 20% wet base moisture content) with an energy equivalent for stems equal to 14.3 MJ/kg (Kalivrousis et al). However, in that case, an additional energy input of 0,0018 MJ/kg\*km [Fluck 1992] were accounted for transportation of the stems to the barn.

## Results and discussion

Fixed energy inputs for tractors, tillage and other implements, irrigation equipment, harvester, wagon and the equipment used for seed processing estimated from the data are shown in Table 1. The average travel speed from the six year measurements were used. For hitched implements, about half the energy use for the operation comes from the implement and half from the tractor. The higher was the capacity of an implement, the lower was the fixed energy used. Harvester presents remarkable high fixed energy inputs due to its big mass and relatively small estimated life. Among the irrigation equipment, the more fixed energy consuming part was the traveller irrigator.

Table 1. Machinery characteristics and Fixed Energy estimation

	Weight kg	ME <sup>(1)</sup> MJ*kg <sup>-1</sup>	Working width m	Travel speed (u) m*s <sup>-1</sup>	fe <sup>(2)</sup>	Field perfor- mance (fp) ha*h <sup>-1</sup>	Estimated Life (L <sub>E</sub> ) hours	C <sub>RM</sub> <sup>(3)</sup>	Fixed Energy Inputs (E <sub>acr</sub> )		
									Imple- ment MJ*ha <sup>-1</sup>	Tractor MJ*ha <sup>-1</sup>	Total
<i>Tractor (82 kW)</i>	4200	86,8					16000	0,49			
<i>Tractor (55 kW)</i>	2520	86,8					12000	0,49			
<b><u>Tillage implements</u></b>											
<i>Mouldboard plough</i>	500	52,8	1,2	1,15	0,85	0,42	2000	0,97	66,6	85,6	152,2
<i>Heavy cultivator</i>	370	52,8	2	1,18	0,85	0,72	2000	0,51	22,7	50,2	72,9
<i>Rotary cultivator</i>	720	52,8	2,5	1,06	0,85	0,81	1500	0,59	54,7	44,6	99,3
<i>Disk harrow</i>	1050	50,0	3	2,17	0,80	1,88	2000	0,61	25,0	19,3	44,3
<i>Field cultivator</i>	280	51,4	2,3	2,22	0,85	1,56	2000	0,61	8,2	23,2	31,4
<b><u>Other implements</u></b>											
<i>Seeder (4 row)</i>	400	56,9	3	1,97	0,65	1,38	1500	0,43	17,4	20,9	38,3
<i>Sprayer</i>	130	56,9	12	3,01	0,65	8,45	1500	0,37	0,9	3,4	4,3
<i>Fertilizer spreader</i>	150	52,8	12	2,08	0,70	6,30	1200	0,49	1,7	4,6	6,3
<i>Harvester<sup>(4)</sup></i>	7000	86,8	3,75	1,1	0,65	1,0	2000	0,24	642,8		642,8
<b><u>Irrigation equipment</u></b>											
							<b>years</b>				
<i>Pump (12 kW)</i>	150	84,0					12	0,55			173,8
<i>Traveller sprinkler</i>	1039	90,5					20	0,55			327,5
<i>Main conveyence pipes<sup>(5)</sup></i>	65,27	280,0					20				9,4
<i>Polyethylene drip pipes<sup>(5)</sup></i>	972	160,0					10				164,1
<b><u>Processing</u></b>											
						<b>kg/h</b>	<b>hours</b>			<b>MJ/kg</b>	
<i>Transport wagon</i>	900	52,8				10000	3000	0,80	0,0031	0,0022	0,005
<i>Seed press (1,5kW)</i>	45	86,8				16,77	10000	0,55			0,038

<sup>(1)</sup> ME = Manufacturing energy (Bowers 1992, Batty and Keller 1980)

<sup>(2)</sup> fe = field efficiency (ASABE D497.4)

<sup>(3)</sup> c<sub>RM</sub> = coefficient used to estimate the energy sequestered in repairs and maintenance (Bowers 1992).

<sup>(4)</sup> Characteristics of a conventional sunflower harvester was used for harvesting energy estimation

<sup>(5)</sup> kg per ha was estimated for the pipelines weight

Traction power for each of the tillage implement used in the experiment is shown in Table 2. The measurements are the average of a six year period. Average values for each year are shown. Ploughing was the higher power requirement task followed by the heavy cultivator. Values varied up to 37% among the years representing the variations in soil conditions. Rotary cultivator, disk harrow and field cultivator presented almost four times lower draft. The rotary cultivator however absorbs power



through the PTO. Additionally, tillage implements had different working widths (Table 1) and tillage depths. To compensate for these differences and compare implements on a common base, specific soil power was estimated as the power applied to an equal soil volume. In that case the more intensive implement was proved to be the rotary cultivator due to the power transmitted through the PTO. Even the field cultivator was proved more intensive from ploughing due to its small tillage depth. The less intensive tillage per soil volume was the heavy cultivator.

Table 2. Traction draft and specific soil power measurements for different tillage implements for a six year period.

	Draft force (kN)					Specific soil power (kW/m <sup>2</sup> )				
	Heavy		Rotary cult. <sup>(1)</sup>	Disk harrow	Field cult.	Heavy		Rotary cult.	Disk harrow	Field cult.
	Plough	cult.				Plough	cult.			
<b>1998</b>	27,4	23,9	5,1 (0,77)	6,4		79,5	61,3	193,0	62,1	
<b>1999</b>	25,4	21,9	4,4 (0,72)	6,0	7,0	69,6	43,4	184,0	55,6	123,4
<b>2000</b>	20,5	16,0	4,3 (0,64)	5,1	6,0	60,8	36,5	160,5	49,8	114,4
<b>2001</b>	27,5	20,8	9,0 (0,96)	4,8	5,7	97,9	47,4	166,6	39,3	102,8
<b>2002</b>	17,2	18,7	7,1 (0,93)	6,4		63,9	50,0	169,5	54,8	
<b>2003</b>	18,0	15,9	5,5 (0,75)	6,7		86,2	47,0	159,9	66,0	
<b>average</b>	22,7	19,6	5,9 (0,79)	5,9	6,2	76,3	47,6	172,3	54,6	113,5
<b>stand dev</b>	4,7	3,2	1,8 (0,12)	0,8	0,7	14,2	8,2	13,4	9,4	10,3

(1) Numbers in brackets indicate the PTO torque in N\*m

The six year average draft force from Table 2 and the average travel speed from Table 1 were used in Table 3 to estimate the absorbed traction power for the tillage implements. Similarly six year average measurements of PTO torque and rotating velocity were used to estimate the PTO absorbed power for the rotary cultivator. It was shown that mouldboard plough and heavy cultivator absorbed almost half the power absorbed from the rotary cultivator as a great amount was lost through traction. The other two implements were less power demanding. When comparing the PTO equivalent power the differences were less because the power losses through traction were included. Tractor load was relatively high for all the implements and extremely high for the rotary cultivator leading to reasonable specific fuel consumption. Fuel consumption (in L/ha) were calculated from the existing measurements for the tillage implements and from literature data for the other machinery. Ploughing was the most fuel consuming per ha operation while the heavy cultivator had almost half fuel demands.

In Table 4 the absorbed energy in traction and through the PTO is shown. The most demanding implement was the mouldboard plough. However, when also taking into account the absorbed through the PTO energy, the rotary cultivator is proved as the

higher energy absorbing implement. The heavy cultivator used almost half the energy of the plough. An increase to double to the required energy was found when going from the absorbed to the PTO equivalent energy (except for the rotary cultivator) and a five fold increase from the PTO to the fuel energy. The higher energy consuming per ha tillage operation was ploughing. A great amount of variable energy was required for seed processing while the most energy demanding operation was irrigation.

Table 3. Estimation of the absorbed power and specific fuel consumption for the used implements.

	Draft force ( $F_{TR}$ ) kN	PTO torque ( $t_{PTO}$ ) kN*m	PTO turning velocity ( $\omega_{PTO}$ ) rad*s <sup>-1</sup>	Absorbed power			$C_{TR}^{(2)}$	PTO equivalent Power ( $P_{eqPTO}$ )	$X^{(3)}$	Specific fuel consumption (SFC) (L/kWh)	Fuel consumption (FC) (L/ha)
				on pull ( $P_{aTR}$ ) kW	in PTO ( $P_{aPTO}$ ) kW	Total ( $P_{aT}$ ) kW					
<b>Tillage implements<sup>(1)</sup></b>											
<i>Mouldboard plough</i>	22,7			26,15		26,15	0,53	49,35	0,73	0,42	4,92
<i>Heavy cultivator</i>	19,6			23,05		23,05	0,53	43,50	0,64	0,44	2,67
<i>Rotary cultivator</i>	5,9	0,79	58,30	6,26	46,22	52,48	0,49	65,30	0,96	0,42	3,35
<i>Disk harrow</i>	5,9			12,79		12,79	0,41	31,20	0,68	0,43	0,72
<i>Field cultivator</i>	6,2			13,83		13,83	0,43	32,16	0,70	0,43	0,88
<b>Other implements</b>											
<i>Seeder (4 row)</i>											2,81
<i>Sprayer</i>											1,22
<i>Fertilizer spreader</i>											9,82
<i>Harvester</i>											14,6

(1) Plough, heavy and rotary cultivator were performed with the 82 kW tractor. Disk harrow and field cultivator with the 55 kW tractor

(2)  $C_{TR}$  = tractive efficiency

(3) X = the ratio of equivalent PTO power to that maximum available to the PTO.

Table 5 shows the total energy inputs for fertilization, sowing and weed control. From the three tasks, fertilization was the most energy demanding.

Table 6 summarizes all the energy inputs for the four tillage treatments. It also presents the energy outputs as they estimated from the seed and cake yield. From the above data it is estimated the net energy (as the difference of outputs and inputs) and the energy ratio of the outputs to the inputs. Different results were obtained when different outputs were taken into account. When only oil energy was considered only conventional tillage presented positive energy budget. When the cake and crop residue energy was also considered all tillage methods had positive energy balances. Conventional tillage was the best with an energy ratio of 3.81 followed by HC with 3.19, DH with 3.21 and RC with 3.03.

Irrigation consumed the largest part of the total energy inputs (71%) with the oil extraction (10%) second. Soil tillage and fertilization consumed 7% each. Irrigation had extremely high-energy demand because the water was pumped from a 150 m

depth. This percent would be 24% if surface water (pumping depth less than 5 m) could be used for irrigation. In that case the energy ratio in the conventional method would have been doubled (8.97).

Table 4. Estimation of variable energy inputs

	Absorbed energy		Total (E <sub>aT</sub> )	PTO equivalent energy (E <sub>eqPTO</sub> ) MJ*ha <sup>-1</sup>	Fuel energy	Lubricant energy	Variable energy inputs (E <sub>v</sub> )
	on pull (E <sub>aTR</sub> )	in PTO (E <sub>aPTO</sub> )					
<b>Tillage implements</b>							
<i>Mouldboard plough</i>	222,3		222,3	493,5	2351	94	2446
<i>Heavy cultivator</i>	115,0		115,0	217,1	1276	51	1327
<i>Rotary cultivator</i>	27,7	204,6	232,3	289,1	1601	64	1665
<i>Disk harrow</i>	24,5		24,5	59,9	342	14	356
Field cultivator	31,8		31,8	74,0	419	17	436
<b>Other implements</b>							
Seeder (4 row)					134	5	140
<i>Sprayer</i>					58	2	61
<i>Fertilizer spreader</i>					469	19	488
<i>Harvester</i>					675	27	702
<b>Irrigation</b>							
<i>Traveller sprinkler</i>							3512
<i>Drip</i>							30483
<b>Processing</b>							
Transport wagon							78 - 103
Seed press (1,5kW)							3480 - 4060

Table 5. Energy inputs for the rest cultivation tasks

Inputs	Quantity (kg/ha)	Energy content (MJ/kg)	Energy in the product (MJ/ha)	Energy for application (MJ/ha)	Total energy requirements (MJ/ha)
<b>Fertilization</b>					
Nitrogen	27,50	76,6	2107	} 494,3	2601
Potassium	37,50	16,0	600		1094
Phosphate	37,50	12,8	480		974
TOTAL			3187		4669
<b>Sowing</b>					
Carysol	7,66	26,3	202	} 177,9	379
Frankasol	5,73	26,3	151		329
<b>Weed control</b>					
Treflan	3,00	79,7	239	} 64,9	304
Prometryne	2,50	158,9	397		462
TOTAL			636		766

## Conclusions

From the presented data it can be concluded that:

- Sunflower is a crop candidate to produce fuels for the transportation sector.

- Sunflower under the Central Greece conditions and irrigation gave a positive net energy when all products were taken into account
- Energy spent for tillage accounts for only 7% of the total energy consumed.
- Irrigation is the higher energy consumption for the case under study but can drastically be reduced when water was pumped from a lower depth.
- Conventional tillage gave the best energy balance due to the higher yield even with higher energy inputs.

Table 6. Energy budgets for the four methods of tillage.

	CO	HC	RC	DH
<b>Energy inputs (MJ/ha)</b>				
1 Tillage	3.398	2.201	2.165	1.601
2 Weed control		701		
3 Sowing		379		
4 Fertilization		3.681		
5 Irrigation		34.784		
6 Harvesting		1.342		
7 Transportation	103	85	78	82
8 Processing	4.777	3.931	3.609	3.776
<i>Total</i>	49.166	47.104	46.739	46.346
<b>Crop yield (kg/ha)</b>				
oil	1.356	1.085	1.023	1.076
cake	2.691	2.154	2.031	2.136
Crop residue	5.683	4.550	4.289	4.511
<b>Energy outputs (MJ/ha)</b>				
Oil	53.408	42.759	40.306	42.394
Cake	52.741	42.225	39.803	41.864
Crop residue	81.269	65.064	61.332	64.508
<i>Total</i>	187.418	150.048	141.441	148.765
<b>Oil</b>				
Net energy (MJ* ha <sup>-1</sup> )	424	-434	-643	-395
Energy ratio	1,09	0,91	0,86	0,91
<b>Oil, Cake &amp; Crop residue</b>				
Net energy (MJ* ha <sup>-1</sup> )	13.825	10.294	9.470	10.242
Energy ratio	3,81	3,19	3,03	3,21

## Literature

Bowers W. (1992). Agricultural field equipment. In: R.C. Fluck (Editor), **Energy in Farm Production**.

Energy in world agriculture, 6. Elsevier, Amsterdam, pp.117-129.

ASABE 2005 Standard D497.4. **Agricultural machinery management data**. American Society of Agricultural Engineers. St. Joseph Michigan.

ASABE 2005 Standard EP496.2. **Agricultural machinery management** American Society of Agricultural Engineers. St. Joseph Michigan.

- Pimentel, D. (1992). **Energy inputs in production agriculture**. In: R.C. Fluck (Editor), *Energy in Farm Production*. Energy in world agriculture, 6. Elsevier, Amst., pp.13-29.
- Helsel, R.Z. (1992). **Energy and alternatives for fertilizer and pesticide use**. In: R.C. Fluck (Editor), *Energy in Farm Production*. Energy in world agriculture, 6. Elsevier, Amsterdam, pp.177-201.
- Heichel, G.H. (1980). **Assessing the fossil energy costs of propagating agricultural crops**. In: D. Pimentel (Editor), *Handbook of Energy Utilization in Agriculture*, Boca Raton, Fl: CRC Press. pp. 27-33.
- Batty and Keller (1980). Energy requirements for irrigation In: D. Pimentel (Editor), *Handbook of Energy Utilization in Agriculture*, Boca Raton, Fl: CRC Press. pp. 35-44.
- Sloggett, G. (1992). **Estimating energy use in world irrigation**. In: R.C. Fluck (Editor), *Energy in Farm Production*. Energy in world agriculture, 6. Elsevier, Amst. pp.203-217.
- Leach, G. (1976). **Energy and food production**. IPC Business Press Limited, England.
- Fluck, R.C. (1992d). **Energy conservation in agricultural transportation** In: R.C. Fluck (Editor), *Energy in Farm Production*. Energy in world agriculture, 6. Elsevier, Amsterdam, pp.171-176.
- Kalivrousis, L Natsis, A. and Papadakis G. (2002). **The Energy balance of sunflower production for biodiesel in Greece**. *Biosystems Engineering* (2002) 81 347-354

## **Παράρτημα III**

**Καύσεις βιοντήζελ σε MEK**

## **Παράρτημα IV**

**Ζυμώσεις σόργου για παραγωγή αλκοόλης από κυτταρίνες**