

**ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ
ΒΙΟΜΑΖΑΣ ΑΠΟ ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΓΛΥΚΟΥ ΣΟΡΓΟΥ
Sorghum bicolor (L.) Moench cv. Keller.**

Ν. Ασπρούδας, Κ. Αγγελόπουλος

Τμήμα Βιολογίας, Σχολή Θετικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Πατρών, Ρίον 26500 Πάτρα,
e-mail: angelor@upatras.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή παρουσιάζονται πειραματικά δεδομένα για τον υπολογισμό της παραγόμενης βιομάζας από βιολογική καλλιέργεια γλυκού σόργου, *Sorghum bicolor* (L.) Moench. Μετρήθηκε η προσπίπτουσα ακτινοβολία κατά την διάρκεια ανάπτυξης της καλλιέργειας και η ημερήσια απόσβεση της ηλιακής ακτινοβολίας μέσα στη φυτική κόμη. Επίσης μετρήθηκαν οι μεταβολές του δείκτη φυλλικής επιφάνειας κατά την περίοδο της καλλιέργειας και ο αθροιζόμενος δείκτης φυλλικής επιφάνειας. Ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας εμφανίζει μία μέγιστη τιμή 3.1, 97 ημέρες μετά την ανάδυση των φυτών. Με τη βοήθεια των παραπάνω παραμέτρων υπολογίστηκαν οι ημερήσιες μεταβολές του συντελεστή απόσβεσης k . Στη διάρκεια της ημέρας, οι τιμές του συντελεστή k μειώνονται σταδιακά μέχρι μιας ελάχιστης τιμής (0.58) και στη συνέχεια αυξάνονται. Επίσης μετρήθηκαν οι μεταβολές της παραγόμενης βιομάζας κατά την διάρκεια της ανάπτυξης των φυτών. Οι αποδόσεις της καλλιέργειας ανήλθαν κατά μέσο όρο σε 2 Kg ξηράς βιομάζας στελεχών ανά τετραγωνικό μέτρο καλλιεργούμενου εδάφους. Προσδιορίστηκε τέλος ο συντελεστής αξιοποίησης της ηλιακής ακτινοβολίας (Radiation Use Efficiency, RUE). Η κλίση της ευθείας συσχέτισης έδωσε τιμή στο RUE = 4.72 g/MJ.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ανάπτυξη του τεχνικού πολιτισμού κατά τη διάρκεια του 20ου αιώνα στηρίχθηκε κατά κύριο λόγο στην κατανάλωση συμβατικών (ορυκτών) καυσίμων. Αυτή η επιλογή έχει προκαλέσει τις γνωστές αρνητικές συνέπειες στο περιβάλλον και στους οργανισμούς. Ήδη τα τελευταία χρόνια διαπιστώνεται περαιτέρω επιδείνωση του φαινομένου του θερμοκηπίου, λόγω των αυξανόμενων ρυθμών έκλυσης CO₂, αλλά και των άλλων βλαβερών αερίων, ενώ πιο συχνά εμφανίζονται τα φαινόμενα ρύπανσης, κυρίως των θαλάσσιων οικοσυστημάτων. Με δεδομένο ότι τα αποθέματα των ορυκτών καυσίμων έχουν μειωθεί σημαντικά και σε λίγα χρόνια δεν θα είναι αξιοποιήσιμα από οικονομική άποψη, γίνεται πλέον πιο επιτακτική η ανάγκη για εύρεση και αξιοποίηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, μια από τις οποίες είναι η βιομάζα [1].

Στον κύκλο ζωής της βιομάζας, που προέρχεται από φυτικές καλλιέργειες, στις οποίες χρησιμοποιούνται αγροχημικά κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης τους, ένα σημαντικό ποσοστό στο ισοζύγιο του CO₂ προέρχεται από το CO₂ που εκλύεται κατά τη φάση της παρασκευής των αγροχημικών αυτών. Έχει υπολογιστεί ότι σε καλλιέργεια καλαμποκιού και για την παραγωγή βιομάζας, καταναλώνεται, είτε υπό μορφή λιπασμάτων ή αντιστοίχως υπό μορφή καυσίμου, κατά προσέγγιση, ενέργεια ίση προς 2.3 GJ ανά τόνο παραγόμενου προϊόντος. Χρησιμοποιούνται δε τόσα αγροχημικά και ορυκτά καύσιμα, που κατά την παρασκευή ή την χρησιμοποίησή τους εκλύεται τόση ποσότητα CO₂ που αναλογεί σε ποσότητα 30-40 Kg C ανά τόνο παραγόμενου προϊόντος [2].

Το γλυκό σόργγο [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] είναι ένα από τα πλέον υποσχόμενα καλλιεργούμενα είδη που σχεδιάζεται να αξιοποιηθεί για την παραγωγή βιομάζας σε Ευρωπαϊκό επίπεδο. Έχει C₄ φωτοσυνθετικό μεταβολισμό και προέλευση την Κεντρική Αφρική [3]. Ποικιλίες αυτού του είδους έχουν τη δυνατότητα να συσσωρεύουν ζυμώσιμα σάκχαρα στα στελέχη τους, όπως συμβαίνει και στο σακχαροκάλαμο. Το είδος αυτό εμφανίζει πολύ καλή προσαρμογή στα μεσογειακά οικοσυστήματα της Ν. Ευρώπης [4]. Η καλλιέργεια του γλυκού σόργου δοκιμάζεται κυρίως στις χώρες της Ν. Ευρώπης για την παραγωγή βιοκαύσιμου (βιο-αιθανόλης), μετά από εκχύλιση των σακχάρων από τα στελέχη και ζύμωση τους [4].

Έχει διερευνηθεί επίσης η δυνατότητα της εκτίμησης της παραγόμενης βιομάζας της καλλιέργειας γλυκού σόργου με βάση το μοντέλο Monteith, όπως αυτό τροποποιήθηκε από Ευρωπαίους ερευνητές [5]. Το παραπάνω μοντέλο προβλέπει ότι η παραγόμενη βιομάζα μετά από ένα χρονικό διάστημα καλλιέργειας και μέχρι την άνθηση είναι ανάλογη της αθροισζόμενης, την ίδια περίοδο, προσπίπτουσας ακτινοβολίας και από ένα συντελεστή που ονομάζεται συντελεστής αξιοποίησης της ηλιακής ακτινοβολίας (Radiation use efficiency, RUE). Ένα άλλο ζητούμενο είναι η επιλογή εκείνων των καλλιεργητικών τεχνικών που ελαχιστοποιούν το κόστος της καλλιέργειας και παράλληλα δημιουργούν τις προϋποθέσεις, ώστε το ισοζύγιο έκλυσης και αφομοίωσης του CO₂ στο κύκλο ζωής του τελικού προϊόντος να είναι μηδενικό ή αρνητικό.

Οι στόχοι αυτής εργασίας είναι: α) Να δείξει ότι το γλυκό σόργο μπορεί να καλλιεργηθεί στις εδαφοκλιματικές συνθήκες της Δ. Ελλάδος με τεχνικές και μεθόδους που προβλέπονται στον κανονισμό της Ε.Ε. 2092/91, δίδοντας ικανοποιητικές αποδόσεις, β) Να προσδιοριστούν οι απαραίτητες παράμετροι του μοντέλου Monteith για την εκτίμηση της παραγόμενης βιομάζας από βιολογική καλλιέργεια γλυκού σόργου.

2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Τα πειράματα διεξήχθησαν σε πειραματικό αγρό του Πανεπιστημίου Πατρών (γεωγραφικό πλάτος: 38° 25' Β και γεωγραφικό μήκος: 21° 8' Α). Το έδαφος της περιοχής που εγκαταστάθηκε η καλλιέργεια χαρακτηρίζεται ως αμμοαργιλώδες με μηχανική σύσταση: Άργιλο 10%, ιλύς 3% και άμμος 87%. Το pH του εδάφους ήταν 6,8. Στα πειράματα χρησιμοποιήθηκαν σπέρματα γλυκού σόργου ποικιλίας Keller, που ευγενώς μας διατέθηκαν από το Κ.Α.Π.Ε. Εγκαταστάθηκαν 4 πειραματικά τεμάχια διαστάσεων 6,6 x 6,4 μκμ, την περίοδο 1998-1999. Για τις ανάγκες ανόργανης θρέψης έγινε χλωρή λίπανση με φυτική βιομάζα από καλλιέργεια βίκου (*Vicia sativa* L.), που σπάρθηκε το Νοέμβριο του 1998 σε ποσότητα 18 κιλά/στρέμμα και μετά από δύο φρεζάρια του εδάφους. Η φυτική βιομάζα ενσωματώθηκε στο έδαφος με φρεζάρισμα στις αρχές Μαΐου 1999. Η σπορά του σόργου έγινε με το χέρι σε γραμμές που απείχαν μεταξύ τους 0,75 μ και σε απόσταση 0,20 μ επί των γραμμών. Η πυκνότητα φύτευσης ήταν περίπου 7 φυτά/μ². Η ανάδυση των φυτών ξεκίνησε στις 4/6 και ολοκληρώθηκε στις 10/6. Το απαραίτητο νερό για την καλλιέργεια εξασφαλίστηκε με την στάγδην άρδευση της καλλιέργειας μία φορά την εβδομάδα. Τα πειράματα ολοκληρώθηκαν στις 20/10/1999.

Ο υπολογισμός της παραγόμενης βιομάζας στηρίχθηκε στον προσδιορισμό των νωπών και ξηρών βαρών υπέργειων οργάνων (στελεχών και φύλλων) και των επιφανειών των φύλλων με καταστρεπτικές και μη καταστρεπτικές μεθόδους. Στην πρώτη περίπτωση γίνονταν κοπές 7 αντιπροσωπευτικών φυτών κάθε μήνα για τον υπολογισμό του νωπού και ξηρού βάρους των φύλλων και των στελεχών καθώς και προσδιορισμός της φυλλικής επιφάνειας. Η φυλλική επιφάνεια μετρήθηκε με επιφανειόμετρο της Li-cor (Model Li-3000). Το ξηρό βάρος των φύλλων προσδιορίστηκε μετά από ξήρανσή τους σε κλίβανο επί 48 ώρες στους 80°C. Τα βάρη μετρήθηκαν με ζυγό προσέγγισης τριών δεκαδικών ψηφίων. Για τα στελέχη η ξήρανση διαρκούσε από 3 ημέρες μέχρι μια εβδομάδα ανάλογα με το στάδιο ανάπτυξης των φυτών. Η απόδοση σε βιομάζα εκφράστηκε σε γραμμάρια ξηράς μάζας ανά τετραγωνικό μέτρο καλλιεργούμενου εδάφους.

Για τη μέτρηση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας εγκαταστάθηκε ένα σύστημα δύο ακτινομέτρων της Delta-T Devices Ltd U.K. τύπου TSL, το ένα πάνω από τη φυτική κόμη της καλλιέργειας και το άλλο στη βάση των φυτών. Τα ακτινόμετρα συνδέθηκαν με datalogger της Li-cor Li-1000. Το σύστημα τοποθετήθηκε μεταξύ των δύο σειρών των 14 φυτών από τα οποία λαμβάνονταν οι μετρήσεις για τη μη καταστρεπτική μέθοδο υπολογισμού των φυλλικών επιφανειών και των βαρών. Η προσπίπτουσα φωτοσυνθετικά ενεργός ακτινοβολία (intercepted PAR) ανά ημέρα υπολογίστηκε με βάση τη σχέση:

$$PAR_i = 0,48 \cdot 0,95 \cdot [1 - \exp(-k \cdot L)] \cdot R_g \quad (2.1)$$

όπου:

R_g = η ολική ημερήσια ακτινοβολία που φθάνει στο ανώτερο επίπεδο της φυτικής κόμης, (MJ/m²).

PAR_i = η αξιοποιήσιμη φωτοσυνθετικά ενεργός ακτινοβολία, (MJ/m²).

K = ο συντελεστής απόσβεσης, 0,6 για τη φυτική κόμη του γλυκού σόργου.

L = ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας.

Η αθροισμένη αξιοποιήσιμη ακτινοβολία υπολογίστηκε ως άθροισμα των ημερήσιων τιμών της PAR_i . Ο συντελεστής αξιοποίησης της ηλιακής ακτινοβολίας (Radiation use efficiency), από την ημερομηνία ανάπτυξης των φυτών μέχρι την περίοδο της άνθησης υπολογίστηκε ως η κλίση της ευθείας παλινδρόμησης της παραγόμενης ξηράς βιομάζας και της αθροισμένης προσπίπτουσας ακτινοβολίας, σε μονάδες gr DMxMJ⁻¹ (PAR) την ίδια περίοδο. Τέλος, ο προσδιορισμός του δείκτη φυλλικής επιφάνειας της καλλιέργειας έγινε με

τη βοήθεια του αυτοματοποιημένου αναλυτή φυτικής κόμης LAI 2000, της Li-cor, σε διαφορετικές χρονικές περιόδους της καλλιέργειας και σε επιλεγμένες θέσεις μέσα σε αυτήν, ενώ οι μετρήσεις της απόσβεσης της φωτοσυνθετικά ενεργού ακτινοβολίας (PAR) μέσα στη φυτική κόμη με τη χρήση αισθητήρων μέτρησης της PAR τύπου Li-189, της Li-cor.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Το μοντέλο Monteith προβλέπει ότι η ποσότητα της βιομάζας (W), που μπορεί να παραχθεί από μια φυτική καλλιέργεια μετά από ορισμένες ημέρες καλλιέργειας, είναι ανάλογη προς την ποσότητα της προσπίπτουσας φωτοσυνθετικά ενεργού ηλιακής ακτινοβολίας που φθάνει στη φυτική κόμη. Το μοντέλο αυτό περιγράφεται από τις ακόλουθες μαθηματικές σχέσεις [6]:

$$W = Rg \cdot RUE \cdot \sum_1^n I_{(PAR)} \quad (3.1)$$

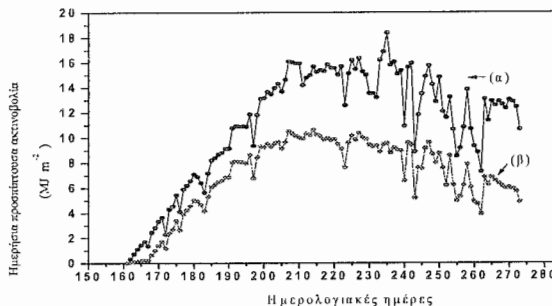
$$\sum_1^n I_{(PAR)} = 0,48 \cdot 0,95 \cdot [1 - \exp(-kL)] \quad (3.2)$$

Όπου :

- Rg , η ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που φθάνει στο ύψος της φυτικής κόμης.
- RUE , ο συντελεστής αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας.
- $\sum_1^n I_{(PAR)}$, το άθροισμα της προσπίπτουσας φωτοσυνθετικά ενεργού ακτινοβολίας.
- k , ο συντελεστής απόσβεσης της ηλιακής ακτινοβολίας μέσα στη φυτική κόμη.
- L , ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας.

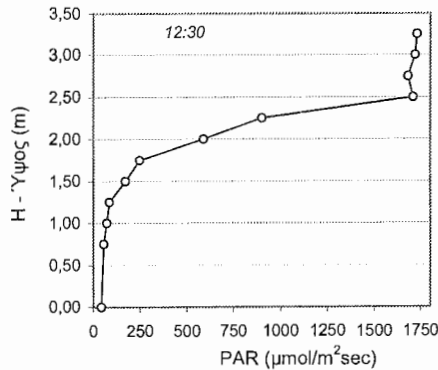
3.1. Οι μεταβολές της προσπίπτουσας ακτινοβολίας

Η προσπίπτουσα ακτινοβολία ορίζεται ως η ακτινοβολία που απορροφάται ή ανακλάται (η εισερχόμενη ακτινοβολία μέσα στη φυτική κόμη μείον εκείνη που φθάνει στο έδαφος), όταν αυτή διέρχεται μέσα από την φυτική κόμη. Στο σχήμα (3.1) εμφανίζονται οι μεταβολές της προσπίπτουσας ακτινοβολίας όλου του φάσματος που απορροφούν τα ακτινόμετρα κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης της καλλιέργειας και η φωτοσυνθετικά ενεργός ακτινοβολία (PAR), όπως αυτή υπολογίστηκε εμμέσως από τη σχέση (2.1).



Σχήμα 3.1.1 Μεταβολές της προσπίπτουσας ακτινοβολίας κατά την διάρκεια ανάπτυξης της καλλιέργειας α) Ημερήσια προσπίπτουσα ακτινοβολία μετρούμενη ως η διαφορά της ακτινοβολίας στη βάση της καλλιέργειας από αυτή της κορυφής β) Ημερήσια προσπίπτουσα ακτινοβολία υπολογιζόμενη με βάση τον τύπο $PAR(i) = 0,48 \times 0,95 \times [1 - \exp(-k \times L)] \times R(g)$.

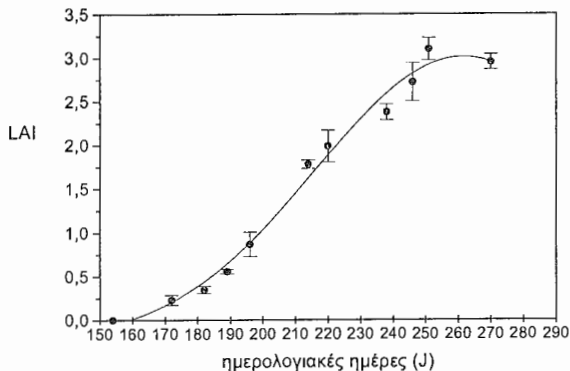
Στην εργασία αυτή μετρήθηκε επίσης και η κατανομή της φωτοσυνθετικά ενεργού ακτινοβολίας μέσα στη φυτική κόμη σε διάφορα επίπεδα (ανά 25 cm) από την οροφή της καλλιέργειας και σε διαφορετικές ώρες μιας ημέρας. Στο σχήμα 3.1.2. δίδονται οι μεταβολές της φωτοσυνθετικά ενεργού ακτινοβολίας στις 12.30, όπου ο ήλιος μεσουρανή. Επιβεβαιώνεται ότι η φωτοσυνθετικά ενεργός ακτινοβολία μειώνεται, με εκθετικό τρόπο μέσα στη φυτική κόμη.



Σχήμα 3.1.2. Μεταβολές της φωτοσυνθετικά ενεργού προσπίπτουσας ακτινοβολίας κατά το ύψος της καλλιέργειας.

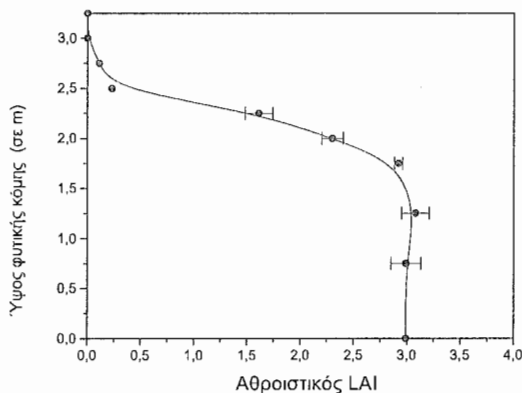
3.2. Οι μεταβολές του δείκτη φυλλικής επιφάνειας

Όπως φαίνεται στο σχήμα (3.2.1) η συνολική μεταβολή του LAI με το χρόνο είναι σιγμοειδής. Ειδικότερα, ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας αυξάνεται εκθετικά κατά την περίοδο της έντονης αύξησης των φυτών της καλλιέργειας, λαμβάνει μια μέγιστη τιμή, που χρονικά συμπίπτει με την περίοδο της ολοκλήρωσης της άνθησης των φυτών και στη συνέχεια υφίσταται μείωση μέχρι το τέλος της καλλιέργειας, που οφείλεται στη γήρανση και σταδιακή πτώση των μεγαλύτερων σε ηλικία φύλλων. Η μέγιστη τιμή του LAI, που μετρήθηκε με τον αναλυτή φυτικής κόμης LAI-2000 ήταν 3,1 την ημερολογιακή ημέρα $J=251$.



Σχήμα 3.2.1. Η μεταβολή του LAI κατά τη διάρκεια ανάπτυξης της καλλιέργειας.

Στις ίδιες θέσεις που μετρήθηκε η φωτοσυνθετικά ενεργός ακτινοβολία μετρήθηκαν επίσης και οι μεταβολές του αθροιζόμενου δείκτη φυλλικής επιφάνειας κατά το ύψος της φυτικής κόμης (σχήμα 3.2.2.).



Σχήμα 3.2.2. Οι μεταβολές του αθροιζόμενου δείκτη φυλλικής επιφάνειας κατά το ύψος της φυτικής κόμης.

Οι καθ' ύψος μεταβολές του LAI δείχνουν σαφώς μια μεγαλύτερη πυκνότητα της φυλλικής επιφάνειας στην περιοχή των 1,75-1,25 m πάνω από το έδαφος.

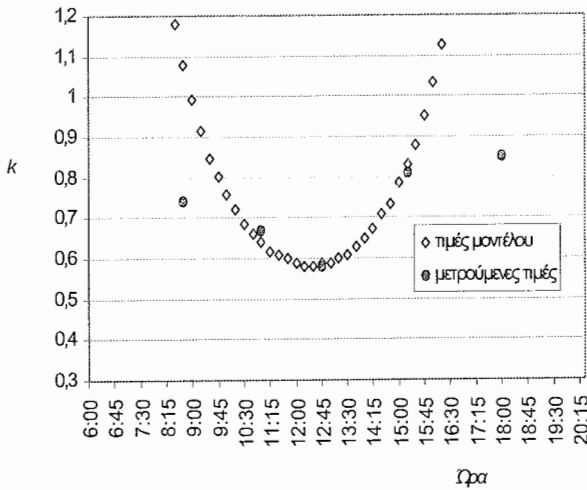
3.3. Υπολογισμός του συντελεστή απόσβεσης, k

Ο συντελεστής απόσβεσης της ηλιακής ακτινοβολίας k , υπολογίστηκε ως η συσχέτιση της απόσβεσης της φωτοσυνθετικά ενεργού ακτινοβολίας μέσα στη φυτική κόμη (δεδομένα σχήματος 3.1.2.) και των μεταβολών του δείκτη φυλλικής επιφάνειας (δεδομένα σχήματος 3.2.2.) σύμφωνα με το νόμο Monsi & Saeki [7]. Παράλληλα έγινε προσομοίωση των μεταβολών του συντελεστή k , με τη βοήθεια μαθηματικών σχέσεων που δίνουν το συντελεστή απόσβεσης σε μια φυτική κόμη με ελλειψοειδή κατανομή, ως συνάρτηση των μεταβολών της ζενίθειας γωνίας θ του ήλιου και της δομικής παραμέτρου x της φυτικής κόμης [7]. Οι προσομοιωμένες τιμές του k και οι ημερήσιες μεταβολές όπως αυτές υπολογίζονται από την παραπάνω συσχέτιση παρουσιάζονται στο σχήμα (3.3.1.).

Καθώς ο ηλιακός δίσκος κινείται προς το σημείο της μεσουράνησης οι τιμές του k μειώνονται και το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που φθάνει στο έδαφος αυξάνεται. Όταν ο ήλιος βρίσκεται στο υψηλότερο σημείο (μεσημεριανές ώρες) οι ηλιακές ακτίνες που προσπίπτουν στην φυτική κόμη διεισδύουν ευκολότερα μέσα στην καλλιέργεια. Τότε καταγράφονται και οι μικρότερες τιμές του συντελεστή απόσβεσης ($k=0,58$). Μετά τη μεσουράνηση του ήλιου και όσο προχωράμε προς τις απογευματινές ώρες της ημέρας οι τιμές του συντελεστή απόσβεσης αυξάνονται πάλι για να πλησιάσουν κοντά στην μονάδα λίγο πριν από τη δύση του ήλιου. Συγκρίνοντας τις πειραματικές τιμές του συντελεστή k με τις τιμές που προσομοιώθηκαν διαπιστώνουμε τα εξής:

α) Οι τιμές που μετρήθηκαν 3 ώρες πριν και μετά την μεσουράνηση του ήλιου βρίσκονται πολύ κοντά στις προσομοιωμένες τιμές (σχήμα 3.3.1.).

β) Αντίθετα, οι 2 τιμές που αντιστοιχούν στην πρωινή και στη απογευματινή μέτρηση διαφέρουν σημαντικά με τις αντίστοιχες τιμές της προσομοίωσης.



Σχήμα 3.3.1. Γράφημα ημερήσιων μεταβολών του συντελεστή απόσβεσης k .

Όπως διακρίνουμε και από το σχήμα 3.3.1, η προσομοίωση δίνει ικανοποιητικές προσεγγίσεις του συντελεστή απόσβεσης κατά το χρονικό διάστημα πριν και μετά το μεσημέρι, ενώ αντίθετα δίνει τιμές μεγαλύτερες της μονάδας τις πρώτες πρωινές ώρες αλλά και τις ώρες πριν από τη δύση του ήλιου. Οι τιμές του k που υπολογίστηκαν στην καλλιέργεια με την εφαρμογή του νόμου των Monsi & Saeki, λίγες ώρες πριν αλλά και κατά την μεσουράνηση του ήλιου, προσεγγίζουν αυτές που αναφέρονται στη βιβλιογραφία για καλλιέργεια γλυκού σόργου (c.v Keller) και για παρόμοιες καλλιεργητικές συνθήκες [8][9].

Τελειώνοντας αναφέρουμε ότι οι αποδόσεις σε συνολική βιομάζα στα πειραματικά τεμάχια για τις 127 ημέρες καλλιέργειας ήταν 2,13 Kg ξηράς βιομάζας/m² ή 2 Kg ξηράς βιομάζας/m² προκειμένου μόνο για τα στελέχη. Ο λόγος της παραγόμενης βιομάζας ανά μονάδα αθροισόμενης φωτοσυνθετικά προσπίπτουσας ακτινοβολίας, που αναφέρεται ως συντελεστής αξιοποίησης της ηλιακής ακτινοβολίας (RUE), υπολογίστηκε σε 4,72 g/MJ (PAR). Η τιμή αυτή προσεγγίζει τις τιμές που αναφέρονται στη βιβλιογραφία [8].

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το γλυκό σόργο μπορεί να καλλιεργηθεί στην περιφέρεια Δ. Ελλάδος σύμφωνα με τις προδιαγραφές του κανονισμού 2092/91 της ΕΕ. με ικανοποιητικές αποδόσεις σε βιομάζα, για την κάλυψη μέρους τουλάχιστον των ενεργειακών αναγκών της περιφέρειας.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται σ' αυτήν την εργασία έγιναν στα πλαίσια ερευνητικού έργου που χρηματοδοτήθηκε από την Επιτροπή Ερευνών του Πανεπιστημίου Πατρών στο πρόγραμμα «Κ. Καραθεοδωρής».

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Αποστολάκη, Μ., Κυρίτση, Σ., Σούτερ, Χ, 'Το Ενεργειακό δυναμικό της βιομάζας, γεωργικών και δασικών υποπροϊόντων', ΕΛΚΕΠΑ Αθήνα, 1987.
2. Cook, J., Beyea, J, 'Bioenergy in the United States: progress and possibilities'. *Biomass and Bioenergy* 18, 441-455, 2000.
3. Dalianis, C. D, 'Sorghum in EU agriculture: Driving forces, restraints and perspectives'. In: First European Seminar on sorghum for energy and industry, Toulouse, France - April 1-3, 1996, 64-70, 1996a.
4. Dalianis, C. D, 'Adaptation, productivity and agronomic aspects of sweet sorghum under EU conditions'. In: First European Seminar on sorghum for energy and industry, Toulouse, France - April 1-3, 1996, 15-25, 1996b.
5. Gosse G., Varlet-grancher C., Bonhomme R., Cartier M., Allirand J.M., Lemaire G., 'Production maximale de matière sèche et rayonnement solaire intercepté par un couvert végétal'. *Agronomie*, 6, 1, 47-56, 1986.
6. Russell, G., Jarvis, P.G., Monteith, J.L., 'Absorption of radiation by canopies and stand growth'. In: G. Russell, B. Marshall, P.G. Jarvis eds. *Plant canopies: Their growth, form and function*. Cambridge University Press, Cambridge, 1989.
7. Ασπρούδας, Ν., 'Μελέτη της κατανομής της ηλιακής ακτινοβολίας και προσδιορισμός παραμέτρων δομής της φυτικής κόμης βιολογικής καλλιέργειας γλυκού σόργου [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. Πτυχιακή εργασία στα πλαίσια του Διατμηματικού μεταπτυχιακού προγράμματος στις Περιβαλλοντικές Επιστήμες, Πάτρα 2001.
8. Mastrorilli, M., Katerji, N., Rana, G., Steduto, P. 'Sweet sorghum in Mediterranean climate: radiation use biomass water use efficiencies'. *Industrial crops and Products* 3, 253-260, 1994.
9. Curt, M. D., Fernandez, J., Martinez, M., 'Productivity and radiation use efficiency of sweet sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] cv. keller in central Spain', *Biomass and Bioenergy* 14, 169-178, 1998.