

# Οικονομική Αξιολόγηση Παραγωγής Θερμικής Ενέργειας από Βιομάζα

**Η. Ι. ΓΟΥΣΓΟΥΡΙΩΤΗΣ**

Μηχανικός Παραγωγής και  
Διοίκησης

**Ι. Α. ΚΑΤΣΙΓΙΑΝΝΗΣ**

Μηχανικός Παραγωγής και  
Διοίκησης

**Π. Σ. ΓΕΩΡΓΙΑΚΗΣ**

Δρ Ηλεκτρολόγος Μηχανικός

## Περίληψη

Στο άρθρο αυτό προτείνεται μία ολοκληρωμένη μεθοδολογία σχεδίασης, κοστολόγησης και αξιολόγησης της οικονομικής βιωσιμότητας συστημάτων θέρμανσης με βιομάζα. Παρουσιάζονται αναλυτικά οι παράγοντες που μετέχουν στην ανάπτυξη και εφαρμογή ενός συστήματος θέρμανσης με βιομάζα, καθώς και τα χρηματοοικονομικά κριτήρια, με βάση τα οποία αξιολογείται η επένδυση. Η μεθοδολογία εφαρμόζεται στη μελέτη δύο έργων θέρμανσης θερμοκηπίων στη Χαλκιδική.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι νέες ευνοϊκές συνθήκες που διαμορφώθηκαν τα τελευταία χρόνια, τόσο σε ευρωπαϊκό, όσο και σε εθνικό επίπεδο (νέο θεσμικό πλαίσιο, κοινοτικό Πλαίσιο Στήριξης Ενέργειας, πρόγραμμα για τον περιορισμό των εκπομπών CO<sub>2</sub>) ανοίγουν σημαντικές προοπτικές για την αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) στην Ελλάδα. Οι προοπτικές αυτές ενισχύονται από τη διαπιστωμένη ύπαρξη πλούσιου δυναμικού, το οποίο επιτρέπει τη στήριξη μίας πολιτικής για τις ΑΠΕ με δυνατότητα ευελιξίας και συνέχειας. Σημαντικός τομέας των ΑΠΕ με ιδιαίτερα ενδιαφέρουσες προοπτικές για το μέλλον είναι εκείνος της ενεργειακής αξιοποίησης της βιομάζας, η οποία μπορεί να λάβει πολλές μορφές. Η πιο διαδεδομένη ενεργειακή χρήση, αλλά και αυτή με τη σημαντικότερη δυναμική εξάπλωσης τα επόμενα χρόνια, είναι η παραγωγή θερμικής ενέργειας για τροφοδότηση των θερμικών διεργασιών στη βιομηχανία ή για θέρμανση κτιρίων.

Ειδικότερα στον αγροτικό τομέα, πέραν της παραδοσιακής θέρμανσης των αγροικιών με ξύλο (τζάκια, ξυλόσομπες), η ενέργεια της βιομάζας αξιοποιείται με την απευθείας καύση των γεωργικών υπολειμμάτων για θέρμανση θερμοκηπίων, ξήρανση γεωργικών προϊόντων (π.χ. της σταφίδας) και παραγωγή ασβέστη. Η χρήση αυτή μπορεί να δώσει λύσεις και σε χρόνια προβλήματα διαχείρισης των υπολειμμάτων. Το θεωρητικά διαθέσιμο δυναμικό των γεωργικών υπολειμμάτων στην Ελλάδα υπολογίζεται σε 3,8

εκατομμύρια τόνους ξηρής ουσίας ανά έτος (τα βαμβακοστελέχη και τα κλαδέματα ελιάς αποτελούν περίπου το 46% του ετήσιου δυναμικού), που αντιστοιχούν σε ενεργειακό δυναμικό 69 PJ ανά έτος [1].

Οι τεχνολογίες ενεργειακής αξιοποίησης της βιομάζας καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα πολυπλοκότητας, από την απλή, παραδοσιακή καύση του ξύλου, μέχρι την καύση συσσωματωμάτων και μέχρι τις σύνθετες διαδικασίες παραγωγής βιοαερίου και βιο-ντίζελ. Μία εκτενής αναφορά των χαρακτηριστικών, της προέλευσης και των δυνατοτήτων αξιοποίησης της βιομάζας δίνονται στο [2]. Αναλυτική περιγραφή των τεχνολογιών άμεσης καύσης, οι οποίες και συνδέονται στενότερα με τα συστήματα θέρμανσης, υπάρχει στο [3]. Στο [4] γίνεται περιγραφή των αρχών και των τρόπων λειτουργίας των συστημάτων ανάκτησης θερμότητας, ενώ στο [5] δίνεται έμφαση στις δυνατότητες συνεργασίας των αντλιών θερμότητας με τους λέβητες καύσης. Περιγραφή των βασικών χαρακτηριστικών των συστημάτων συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας, τα οποία αποτελούν ένα πολύ πρόσφορο πεδίο αξιοποίησης της βιοενέργειας, με ιδιαίτερα υψηλούς βαθμούς απόδοσης, γίνεται στο [6].

Μεγάλο μερίδιο στην έρευνα έχει και η ανάπτυξη υπολογιστικών μοντέλων και λογισμικών για την εκτίμηση και αξιολόγηση των δυνατοτήτων της εφαρμογής συστημάτων βιομάζας σε τεχνικό και επενδυτικό επίπεδο, αλλά και τις επιπτώσεις-ωφέλειες των κοινωνικών και μακροοικονομικών διαστάσεων που μπορεί να λάβει η ευρεία αξιοποίηση του υπάρχοντος ή λανθάνοντος δυναμικού βιομάζας σε μία χώρα ή περιοχή.

Αναλυτικότερα, τα *κοινωνικο-οικονομικά μοντέλα*, όπως τα ABM (Austrian Biomass Model) [7], BIOSEM (Biomass Socio-Economic Multiplier) [8], ELVIRE (Evaluation of Local Value Impacts for Renewable Energy) [9] και SAFIRE [10], βοηθούν στον ποσοτικό προσδιορισμό των επιδράσεων της παραγωγής ενέργειας από βιομάζα σε τομείς, όπως η τοπική οικονομική ανάπτυξη, η απασχόληση, οι δημοσιονομικές αποδόσεις, η αειφόρος ανάπτυξη και το περιβάλλον. Τα μοντέλα αυτά αφορούν, κυρίως, τους αποφασίζοντες σε επίπεδο χάραξης πολιτικής στρατηγικής και

όχι τους επενδυτές.

Τα **μοντέλα ανάλυσης κύκλου ζωής καυσίμου**, όπως τα EXTERNE (Externalities of Energy) [11] και INSPIRE (Integrated Spatial Potential Initiative for Renewables in Europe) [12], εμπλέκουν όλη την αλυσίδα διαδικασιών που σχετίζονται με την παραγωγή ενέργειας από βιομάζα: καλλιέργεια της φυτείας / συγκομιδή / αποθήκευση / μεταφορά της βιομάζας / παραγωγή ενέργειας / απόθεση των αποβλήτων / μεταφορά της ενέργειας.

Επίσης υπάρχουν τα **μοντέλα αξιολόγησης ενεργειακών καλλιεργειών**, όπως τα AGRICOST [13], BEAVER (Biomass Economic Appraisal & eValuation ExpeRt) [14], BIOCOST (Bio-energy Crop Production Cost Model) [15] και MULTISEES [16], τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για ανάλυση κόστους και αξιολόγηση επενδύσεων σε καλλιέργειες, ειδικά για ενεργειακές φυτείες.

Τέλος, τα **οικονομοτεχνικά μοντέλα** καλούνται να εκτιμήσουν τις αμιγώς οικονομικές ωφέλειες από την ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας, σε συνάρτηση με τις τεχνολογικές απαιτήσεις. Τα περισσότερα από αυτά εκκινούν από διαφορετικές προσεγγιστικές αφητηρίες, εξυπηρετώντας τελικά διαφορετικές ανάγκες. Έτσι, το μοντέλο BEAM (Bio-energy Assessment Model) [17], μοντελοποιεί το κόστος και τις επιδόσεις κάθε ξεχωριστού μέρους ενός ολοκληρωμένου συστήματος βιομάζας για την παραγωγή ηλεκτρισμού, θερμικής ενέργειας ή βιοκαυσίμων. Έπειτα, συγκρίνει τα αντίστοιχα τεχνικά και οικονομικά αποτελέσματα, όπως για παράδειγμα το μοναδιαίο κόστος παραγωγής, τις ενεργειακές αποδόσεις, την Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ) και τα οικονομικά οφέλη, για να προσδιορίσει το βέλτιστο σύστημα για εφαρμογή. Είναι ένα τυπικό μοντέλο για ανάλυση κόστους, αλλά δεν πραγματοποιεί επενδυτικές εκτιμήσεις για συστήματα βιομάζας.

Το BIOHEAT [18] είναι ένα αρκετά απλοϊκό υπολογιστικό μοντέλο, που μπορεί να συγκρίνει άμεσα το ετήσιο κόστος λειτουργίας τεσσάρων διαφορετικών καυσίμων (τεμάχια ξύλου, συσσωματώματα ξύλου, πετρέλαιο και φυσικό αέριο) για ένα σύστημα θέρμανσης μικρής κλίμακας. Η χρήση του μοντέλου προορίζεται μόνο για πολύ απλές εγκαταστάσεις (π.χ. αυτόνομη οικιακή θέρμανση) και σε καμία περίπτωση δεν προσφέρεται για επενδυτικές αποφάσεις μεγαλύτερων έργων, αφού στους υπολογισμούς δεν συμπεριλαμβάνονται μια σειρά σημαντικών, για αυτό το σκοπό, χρηματοοικονομικών παραμέτρων.

Το BIOPRE II [19] είναι ένα οικονομοτεχνικό λογισμικό για τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας μικρής και μεσαίας κλίμακας συστημάτων θέρμανσης με ξύλο (<5MW). Το μοντέλο παρέχει μια πρώτη εκτίμηση των τεχνικών πτυχών της εγκατάστασης ενός συστήματος καύσης βιομάζας, καθώς και πρακτικές και εμπορικές πληροφορίες, που απαιτούνται πάνω στη συγκεκριμένη περίπτωση. Η ανάλυσή του, όμως, εξαντλείται στον υπολογισμό των ενεργειακών απαιτήσεων και της ισχύος που πρέπει να εγκατασταθεί και στην εκτίμηση της ποσότητας βιομάζας που θα απαιτηθεί για να ικανοποιηθούν οι θερμικές ανάγκες.

Το GPAT (Green Power Analysis Tool) [20] επιτρέπει την ανάλυση των οικονομικών και περιβαλλοντικών πτυχών ενός ή περισσοτέρων έργων ΑΠΕ και τη σύγκριση αυτών με αντίστοιχα έργα παραγωγής ενέργειας με συμβατικά καύσιμα. Το μοντέλο επικεντρώνεται στην ποσοτικοποίηση των περιβαλλοντικών ωφελειών (κυρίως στη μείωση εκπομπών αερίων θερμοκηπίου) σε χρηματικές ωφέλειες για την επένδυση, που μπορούν να πάρουν τη μορφή πιστώσεων ή επιδοτήσεων.

Παράλληλα, επιτρέπει να αναλυθούν μια σειρά σεναρίων που θα αφορούν πιθανές μελλοντικές πολιτικές πάνω στις ΑΠΕ και να προσδιοριστούν, πάντα με οικονομικούς όρους, οι επιστροφές στην επένδυση υπό τις εκάστοτε συνθήκες.

Το RECAP (Renewable Energy Crop Analysis Programme) [21] είναι ένα υπολογιστικό μοντέλο για την εκτίμηση των οικονομικών ωφελειών από την αξιοποίηση καλλιεργειών για παραγωγή ενέργειας. Μοντελοποιεί όλα τα κόστη που εμπλέκονται από την παραγωγή της βιομάζας, τη συγκομιδή, την αποθήκευση, τη μεταφορά, μέχρι και τη μετατροπή της βιομάζας σε θέρμανση και ηλεκτρική ισχύ. Μπορεί, έτσι, να κάνει ξεχωριστή οικονομική εκτίμηση για την αλυσίδα τροφοδοσίας και ξεχωριστή για τη διαδικασία μετατροπής. Το μοντέλο υπολογίζει ροές μετρητών και επιχειρεί μία αξιολόγηση της επένδυσης, υπολογίζοντας την ΚΠΑ και τον Εσωτερικό βαθμό Απόδοσης, τόσο για τον καλλιεργητή, όσο και για τον ιδιοκτήτη της μονάδας μετατροπής.

Δεν μπορεί όμως να συμβάλει στο σχεδιασμό του συστήματος που θα αξιοποιεί την ενέργεια που παράγεται, ούτε και στην οικονομική αξιολόγηση της τελικής χρήσης της ενέργειας.

Στο παρόν άρθρο προτείνεται μία μεθοδολογία για την αξιολόγηση επενδυτικών σχεδίων που αφορούν στην εγκατάσταση συστημάτων θέρμανσης με στερεά βιομάζα. Η μεθοδολογία αυτή εξετάζει κάθε έργο, τόσο από τεχνική, όσο και από οικονομική σκοπιά. Η διαδικασία περιλαμβάνει τον υπολογισμό των θερμικών απαιτήσεων, τη διαστασιολόγηση του συστήματος βιομάζας, το σχεδιασμό του δικτύου διανομής και τον υπολογισμό των ετήσιων εξοικονομήσεων σε σχέση με ένα σύστημα θέρμανσης που καταναλώνει συμβατικά καύσιμα.

Πέρα από την αναλυτική καταγραφή όλων των δαπανών που συνοδεύουν την εγκατάσταση ενός συστήματος βιομάζας, η μεθοδολογία προσεγγίζει το έργο σαν μια επένδυση, της οποίας εξετάζει την απόδοση για όλη τη διάρκεια ζωής του έργου, λαμβάνοντας υπόψη μια σειρά χρηματοοικονομικών παραμέτρων και τη διαχρονική αξία του χρήματος. Επιπλέον, παρέχει τη δυνατότητα υπολογισμού της ποσότητας των αερίων θερμοκηπίου, των οποίων η εκπομπή αποφεύγεται, λόγω της εφαρμογής του εναλλακτικού συστήματος θέρμανσης έναντι των συμβατικών συστημάτων παραγωγής ενέργειας.

Το άρθρο είναι οργανωμένο ως εξής: η δομή και τα στατικά στοιχεία ενός συστήματος θέρμανσης με βιομάζα

περιγράφονται στη δεύτερη ενότητα, ενώ στην τρίτη ενότητα παρουσιάζεται το μοντέλο της οικονομικής αξιολόγησης μίας τέτοιας εγκατάστασης.

Στην τέταρτη ενότητα το μοντέλο εφαρμόζεται στη μελέτη ανάπτυξης δύο έργων θέρμανσης θερμοκηπίων στη Χαλκιδική. Τέλος, στην πέμπτη ενότητα καταγράφονται τα συμπεράσματα της εργασίας.

## ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ

- $KPA$  : καθαρή παρούσα αξία επένδυσης
- $EBA$  : εσωτερικός βαθμός απόδοσης της επένδυσης
- $ΔA$  : δείκτης αποδοτικότητας επένδυσης
- $n$  : αναμενόμενη διάρκεια ζωής του έργου
- $C_t$  : ετήσια καθαρή ταμειακή ροή του έργου κατά το έτος  $t$
- $I$  : συνολικές αρχικές δαπάνες του έργου
- $I_{cap}$  : ίδια κεφάλαια (μετοχικό κεφάλαιο)
- $r_{grant}$  : ποσοστό επιδότησης ως προς τις αρχικές δαπάνες
- $I_G$  : ποσό επιδότησης του έργου
- $E_{yr}$  : ετήσιο κόστος λειτουργίας του έργου
- $k$  : επιτόκιο προεξόφλησης
- $P_{yr}$  : ετήσιες εξοικονομήσεις πόρων
- $d_p$  : ετήσιο χρεολύσιο
- $r_{debt}$  : επιτόκιο δανεισμού
- $D$  : προεξοφλητικό επιτόκιο

## 2. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΜΕ ΒΙΟΜΑΖΑ

Τα συστήματα θέρμανσης με βιομάζα καίνε οργανική ύλη, όπως θρύμματα ξύλου (τσιπς), συσσωματώματα (πελέτες), γεωργικά υπολείμματα ή ακόμα και αστικά απόβλητα, για την παραγωγή θερμότητας. Διαφέρουν από τα καθιερωμένα τζάκια και τις ξυλόσομπες στο ότι ελέγχουν το μίγμα αέρα-καύσιμου, έτσι ώστε να μεγιστοποιείται η απόδοση και να ελαχιστοποιούνται οι εκπομπές και στο ότι περιλαμβάνουν ένα σύστημα διανομής, με το οποίο η παραγόμενη θερμική ενέργεια μπορεί να μεταφερθεί και να χρησιμοποιηθεί όπου απαιτείται.

Τα βασικά συστατικά ενός συστήματος θέρμανσης με βιομάζα είναι το σύστημα τροφοδοσίας του καυσίμου, ο καυστήρας (λέβητας) και το σύστημα διανομής της θερμότητας. Επιπλέον, μπορεί να περιλαμβάνει και μία αντλία θερμότητας για την ανάκτηση θερμότητας από κάποια θερμική διεργασία ή από μία μονάδα παραγωγής ηλεκτρισμού. Εάν πρόκειται για κεντρικό σύστημα θέρμανσης, μπορούν να συμπεριλαμβάνονται ένα ενισχυτικό σύστημα για το φορτίο αιχμής και/ή ένα εφεδρικό σύστημα για την περίπτωση που για κάποιο λόγο διακοπεί η λειτουργία του βασικού συστήματος [22].

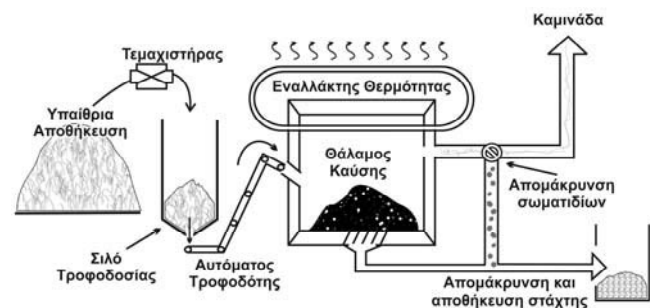
### 2.1 Θερμική εγκατάσταση

Ένας ελκυστήρας απορρίπτει το καύσιμο βιομάζας σε μία χοάνη, το οποίο στη συνέχεια τροφοδοτείται με τη βοήθεια ενός κοχλίου στον καυστήρα, ο οποίος είναι ένας θάλαμος περιτοιχισμένος με πυρότουβλα ή άλλο πυρίμαχο υλικό και φέρει στο δάπεδο μία μικρή σχάρα [3].

Ο καυστήρας είναι συνδεδεμένος με ένα λέβητα νερού, ο οποίος αποσπά θερμότητα από τις φλόγες και τα ζεστά αέρια. Ένας ηλεκτρονικός πίνακας ελέγχου ρυθμίζει την απόδοση του καυστήρα. Εάν η θερμοκρασία του λέβητα πέσει κάτω από ένα δεδομένο όριο, ο θερμοστάτης του λέβητα θα δώσει εντολή στον πίνακα ελέγχου να θέσει τον καυστήρα σε λειτουργία υψηλής καύσης.

Ένας ανεμιστήρας ξεκινά και προμηθεύει επιπλέον αέρα για την υψηλή καύση, ενώ ο κοχλίας τροφοδοτεί με καύσιμο τον καυστήρα, λιγότερο ή περισσότερο συνεχόμενα, ώστε να παραχθεί η απαιτούμενη θερμότητα που θα ανεβάσει τη θερμοκρασία του λέβητα νερού σε ένα προκαθορισμένο όριο. Τότε ο θερμοστάτης του λέβητα ειδοποιεί τον πίνακα ελέγχου να θέσει τον καυστήρα σε κατάσταση σταθερής καύσης. Ο ανεμιστήρας σταματά και ο κοχλίας εισάγει τόσο καύσιμο στον καυστήρα, όσο χρειάζεται για να συντηρηθεί η φωτιά.

Στο Σχήμα 1 φαίνεται η γενική διάταξη ενός συστήματος βιομάζας.



Σχήμα 1: Γενική διάταξη ενός συστήματος βιομάζας.

Figure 1: General layout of a biomass combustion system.

Η απομάκρυνση της στάχτης μπορεί να γίνεται χειροκίνητα ή αυτόματα. Οι στάχτες του ξύλου δεν είναι επικίνδυνες και συχνά χρησιμοποιούνται ως λίπασμα. Στις πόλεις η διάθεσή τους μπορεί να γίνει μαζί με τα υπόλοιπα σκουπίδια, με σεβασμό στους τοπικούς κανονισμούς.

### 2.2 Σύστημα διανομής θερμότητας

Οι λέβητες και το σύστημα ανάκτησης θερμότητας (εάν υπάρχει) συνδέονται με το σύστημα διανομής, ένα δίκτυο μονωμένων σωλήνων που παρέχει το ζεστό νερό μέσω κυκλοφορητών στο/α κτίριο/α και επιστρέφει το κρύο νερό στο λέβητα για την επαναθέρμανσή του.

Σαν κεντρικό σύστημα θέρμανσης μπορεί να νοηθεί ένα οποιοδήποτε μεγέθους σύστημα που διανέμει θερμότητα (με πρωτεύον μέσο κυρίως το νερό) σε περισσότερους από έναν αυτόνομους καταναλωτές.

Ένα κεντρικό σύστημα θέρμανσης μπορεί, είτε να αποτελείται από έναν καυστήρα βιομάζας και ένα κοινό σύστημα διανομής που εξυπηρετεί τις ανάγκες μίας πολυκατοικίας, είτε ακόμα να πρόκειται για ένα ανεξάρτητο θερμικό σταθμό, ο οποίος παρέχει θερμότητα μέσω υπόγειων σωληνώσεων σε περισσότερα από ένα κτίρια διαφορετικής, ενδεχομένως, χρήσης, που βρίσκονται σε σχετικά κοντινή απόσταση μεταξύ τους.

Τέτοια συστήματα είναι αρκετά διαδεδομένα στις χώρες της βόρειας Ευρώπης και του Καναδά για τη θέρμανση απομονωμένων κοινοτήτων, αλλά θα μπορούσαν να βρουν εφαρμογή και στη χώρα μας, για την ικανοποίηση θερμικών αναγκών σε βιομηχανικές ζώνες ή σε αγροτικές ημιορεινές κοινότητες.

Στα τοπικά κεντρικά συστήματα, η μεταφορά της θερμότητας γίνεται με ένα δίκτυο μεγάλων υπόγειων και κατάλληλα μονωμένων αγωγών, με τους οποίους, στη συνέχεια, συνδέονται οι μικρότερης διαμέτρου σωληνώσεις των ανεξάρτητων καταναλωτών.

Τα συστήματα αυτά ονομάζονται συστήματα τηλεθέρμανσης. Γίνεται αντιληπτό πως η θερμότητα που μεταφέρεται μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τον καταναλωτή, είτε για θέρμανση (συμπεριλαμβανομένης της θέρμανσης νερού χρήσης), είτε σε βιομηχανικές διεργασίες, είτε σε οποιαδήποτε άλλη διαδικασία που απαιτεί θερμική ενέργεια (π.χ. σε ψυκτικές μηχανές).

### **3. ΜΟΝΤΕΛΟ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΜΕ ΒΙΟΜΑΖΑ**

Το μοντέλο που παρουσιάζεται αφορά στην αξιολόγηση της ενεργειακής παραγωγής, τις δαπάνες κύκλου ζωής και τη μείωση εκπομπής αερίων θερμοκηπίου για εγκαταστάσεις θέρμανσης με βιομάζα ή/και σύστημα ανάκτησης θερμότητας. Το μοντέλο έχει σχεδιαστεί να αναλύει ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, από εγκαταστάσεις μεγάλης κλίμακας, θέρμανσης συγκροτημάτων κτιρίων με τηλεθέρμανση, μέχρι μεμονωμένες εφαρμογές οικιστικών ή βιομηχανικών χώρων.

Η αξιολόγηση ενός επενδυτικού πλάνου εγκατάστασης ενός συστήματος θέρμανσης με βιομάζα (στο εξής εναλλακτικό σύστημα θέρμανσης) πραγματοποιείται σε σύγκριση με ένα υπάρχον ή υποθετικό σύστημα θέρμανσης που χρησιμοποιεί συμβατικά καύσιμα ή ηλεκτρισμό που προέρχεται από συμβατικά καύσιμα (στο εξής συμβατικό σύστημα θέρμανσης).

Για την πραγματοποίηση της αξιολόγησης απαιτούνται μία σειρά από τεχνικά και οικονομικά μεγέθη, βάσει των

οποίων θα εκτιμηθεί εάν είναι οικονομικά συμφέρουσα η εγκατάσταση ενός συστήματος θέρμανσης με βιομάζα, αντί ενός συστήματος με συμβατικά καύσιμα. Στο πρώτο στάδιο μελετάται το τεχνολογικό μέρος της επένδυσης, όπου αναλύεται το υπάρχον ή ένα υποθετικό σύστημα συμβατικών καυσίμων και σχεδιάζεται το εναλλακτικό σύστημα ανανεώσιμης ενέργειας, έτσι ώστε να πληροί τις απαιτήσεις σε παροχή ενέργειας.

Στη συνέχεια, αφού αποτιμηθούν οι δαπάνες και οι ωφέλειες του κάθε συστήματος, υπολογίζονται μία σειρά οικονομικών δεικτών, με τους οποίους εκτιμάται η αποδοτικότητα της επένδυσης.

#### **3.1 Κυριότεροι παράμετροι του μοντέλου**

Στη συνέχεια παρουσιάζονται, κατηγοριοποιημένα, τα κυριότερα δεδομένα εισόδου της προτεινόμενης μεθοδολογίας.

##### **3.1.1 Κλιματολογικά και τοπολογικά δεδομένα**

Αρχικά υπολογίζονται οι ενεργειακές απαιτήσεις της εγκατάστασης σε ετήσια βάση και το φορτίο αιχμής. Για τους υπολογισμούς αυτούς απαιτούνται τα ακόλουθα κλιματολογικά και τοπολογικά δεδομένα:

- Θερμοκρασία σχεδίασης θέρμανσης
- Ημερήσιοι-βαθμοί θέρμανσης για κάθε μήνα
- Εκτίμηση της απαίτησης σε θερμό νερό χρήσης (σαν ποσοστό της ετήσιας απαιτούμενης ενέργειας θέρμανσης)
- Θερμαινόμενη επιφάνεια
- Θερμικό φορτίο κτιρίου.

##### **3.1.2 Χαρακτηριστικά συμβατικού συστήματος θέρμανσης**

Τα ακόλουθα χαρακτηριστικά του υπάρχοντος συμβατικού συστήματος θέρμανσης που πρόκειται να αντικατασταθεί από το εναλλακτικό, ή ενός υποθετικού συμβατικού συστήματος, με το οποίο θα συγκριθεί το εναλλακτικό, χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της κατανάλωσης (ποσότητα και κόστος αυτής) συμβατικού καυσίμου που απαιτείται (ή θα απαιτούνταν) για την κάλυψη των θερμικών αναγκών της εγκατάστασης:

- Θερμογόνος δύναμη καυσίμου
- Εποχιακή απόδοση συστήματος
- Μοναδιαίο κόστος καυσίμου

Η ισχύς του συμβατικού συστήματος θεωρείται ότι είναι τέτοια που ικανοποιεί πλήρως τις θερμικές απαιτήσεις (ενέργεια θέρμανσης και φορτίο αιχμής) της εγκατάστασης.

### 1.3 Χαρακτηριστικά εναλλακτικού συστήματος θέρμανσης

Στη συνέχεια σχεδιάζεται και διαστασιολογείται το εναλλακτικό σύστημα θέρμανσης.

Στη γενικότερη περίπτωση, το εναλλακτικό σύστημα μπορεί να αποτελείται, είτε από ένα σύστημα καύσης βιομάζας, είτε από συνδυασμό συστήματος καύσης βιομάζας και συστήματος ανάκτησης θερμότητας. Επίσης, μπορεί να περιλαμβάνει και ένα ενισχυτικό σύστημα για την κάλυψη του φορτίου αιχμής, για τις περιόδους που υπάρχουν αυξημένες θερμικές απαιτήσεις. Το ενισχυτικό σύστημα (σύστημα αιχμής) μπορεί να καταναλώνει, είτε συμβατικό καύσιμο, είτε βιομάζα.

Σε περιπτώσεις αντικατάστασης κάποιου υπάρχοντος συστήματος παραγωγής θερμικής ενέργειας από σύστημα βιομάζας, το παλιό, συμβατικό σύστημα, μπορεί να διατηρηθεί για να χρησιμοποιηθεί, είτε σαν σύστημα αιχμής, είτε σαν εφεδρικό σε έκτακτη ανάγκη.

Με βάση τα ακόλουθα δεδομένα υπολογίζεται το ποσοστό των ετήσιων ενεργειακών απαιτήσεων και το ποσοστό του φορτίου αιχμής που μπορούν να καλυφθούν από το σύστημα ανανεώσιμης ενέργειας:

- Τύπος συστήματος
- Ισχύς συστήματος
- Απόδοση συστήματος
- Θερμογόνος δύναμη βιομάζας
- Περιεκτικότητα σε υγρασία της βιομάζας σε υγρή βάση.

Η ισχύς του συστήματος, σε συνάρτηση με τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά του συστήματος και του καυσίμου βιομάζας, επιλέγεται τόση, ώστε να ικανοποιούνται οι θερμικές απαιτήσεις της εγκατάστασης.

Σε περίπτωση που το φορτίο αιχμής δεν καλύπτεται, τότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ένα ενισχυτικό σύστημα, για το οποίο θα πρέπει να οριστούν τα χαρακτηριστικά του: τύπος και θερμογόνος δύναμη καυσίμου, ισχύς και απόδοση συστήματος, μοναδιαίο κόστος καυσίμου.

Με βάση τα ανωτέρω δεδομένα, υπολογίζεται η απαιτούμενη ποσότητα βιομάζας σε ετήσια βάση και το συνολικό κόστος προμήθειάς της. Εάν έχει γίνει χρήση συστήματος αιχμής, τότε υπολογίζεται η ποσότητα και το κόστος του καυσίμου (βιομάζα ή συμβατικό καύσιμο) που απαιτεί το σύστημα αυτό για τις ώρες που υπολογίστηκε ότι θα είναι σε λειτουργία (αυτές, όπου το φορτίο αιχμής δεν καλύπτεται από το σύστημα βιομάζας ή/και το σύστημα ανάκτησης θερμότητας).

### 3.1.4 Σύστημα διανομής θερμότητας

Για τον υπολογισμό της διαμέτρου των σωληνώσεων (με βάση τα θερμικά φορτία) και το κόστος του δικτύου διανομής, χρησιμοποιούνται τα ακόλουθα δεδομένα:

- Θερμοκρασίες σχεδίασης για τους σωλήνες παροχής και επιστροφής

- Συνολικό απαιτούμενο μήκος σωληνώσεων
- Χρήση υποσταθμών μεταφοράς
- Μοναδιαίο κόστος σωληνώσεων και υποσταθμών μεταφοράς.

### 3.1.5 Ανάλυση μείωσης εκπομπών αερίων θερμοκηπίου

Το μοντέλο παρέχει τη δυνατότητα να εκτιμηθεί η μείωση της ποσότητας των εκπεμπόμενων αερίων θερμοκηπίου, που προκύπτει από την εφαρμογή του εναλλακτικού συστήματος θέρμανσης, έναντι των συμβατικών συστημάτων παραγωγής ενέργειας. Τα αέρια θερμοκηπίου που είναι τα πλέον σχετικά με την παραγωγή ενέργειας είναι το διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ), το μεθάνιο ( $\text{CH}_4$ ) και το υποξείδιο του αζώτου ( $\text{N}_2\text{O}$ ).

Το μοντέλο υπολογίζει ένα συνολικό συντελεστή εκπομπής αερίων θερμοκηπίου για κάθε σύστημα παραγωγής ενέργειας που εμπλέκεται άμεσα ή έμμεσα με το εξεταζόμενο έργο. Ο συντελεστής αυτός αντιπροσωπεύει τη μάζα των αερίων θερμοκηπίου που εκπέμπεται ανά μονάδα παραγώμενης ενέργειας και μετριέται σε ισοδύναμους τόνους αερίου  $\text{CO}_2$  ανά μεγαβατώρα παραδοθείσας ενέργειας ( $\text{tCO}_2/\text{MWh}$ ).

Κατά τον υπολογισμό του λαμβάνονται υπόψη οι συντελεστές εκπομπής αερίων  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  και  $\text{N}_2\text{O}$  κάθε τύπου καυσίμου, οι αποδόσεις μετατροπής των καυσίμων και η συμμετοχή του κάθε καυσίμου στη συνολική παραγωγή ενέργειας του συστήματος.

Επίσης, υπολογίζεται ο συντελεστής εκπομπής αερίων θερμοκηπίου του συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που παρέχει ηλεκτρισμό στην περιοχή.

Ο συντελεστής αυτός συμμετέχει (ποσοστιαία) στον υπολογισμό του συντελεστή εκπομπής του εναλλακτικού συστήματος, για τον παρασιτικό ηλεκτρισμό που καταναλώνει και στον υπολογισμό του συντελεστή εκπομπής του συμβατικού συστήματος θέρμανσης, εάν κάποια από τις ομάδες κτιρίων χρησιμοποιεί ηλεκτρισμό στο υπάρχον σύστημα θέρμανσης.

Παρασιτικός ηλεκτρισμός είναι το ρεύμα που καταναλώνεται από περιφερειακά εξαρτήματα του συστήματος βιομάζας, όπως, για παράδειγμα, ο μηχανισμός τροφοδοσίας, ο εξαιρεστήρας, κτλ.

Η διαφορά των συντελεστών εκπομπής αερίων θερμοκηπίου που υπολογίστηκαν για το συμβατικό και το εναλλακτικό σύστημα θέρμανσης, επί την ετήσια παραδοθείσα ενέργεια θέρμανσης, δίνει τη συνολική μείωση εκπομπής αερίων θερμοκηπίου (σε ισοδύναμους τόνους αερίου  $\text{CO}_2$ ) που προκύπτει από την εφαρμογή του συστήματος βιομάζας.

Όταν υπάρχει νομοθετικό πλαίσιο πίστωσης για τη μείωση της εκπομπής αερίων θερμοκηπίου από ένα έργο ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, τότε στο μοντέλο οικονομικής αξιολόγησης συνυπολογίζεται το εισόδημα, εξαιτίας της μείωσης της εκπομπής αερίων θερμοκηπίου.

### 3.1.6 Αρχικές, ετήσιες και περιοδικές δαπάνες (ή πιστώσεις)

Στην ανάλυση δαπανών καταγράφονται αναλυτικά όλες οι δαπάνες που αφορούν τη μελέτη, κατασκευή, εγκατάσταση και λειτουργία ενός συστήματος θέρμανσης με βιομάζα.

Οι αρχικές δαπάνες, πέραν του κόστους αγοράς, μεταφοράς και εγκατάστασης του συστήματος καύσης και του δικτύου διανομής της θερμότητας, μπορούν να περιλαμβάνουν δαπάνες για την κατασκευή υποδομών (κτίσμα για τη στέγαση του συστήματος, διαμόρφωση αποθηκευτικού χώρου), αλλά και δαπάνες που αφορούν στον τρόπο συλλογής, μεταφοράς και αποθήκευσης της βιομάζας (π.χ. θρυμματιστής, σιλό τροφοδοσίας, κτλ).

Οι ετήσιες δαπάνες περιλαμβάνουν το κόστος προμήθειας και πιθανής επεξεργασίας της βιομάζας, το κόστος του ηλεκτρισμού που καταναλώνεται από τα περιφερειακά εξαρτήματα του συστήματος καύσης, το κόστος του συστήματος ανάκτησης θερμότητας (εάν υπάρχει), το κόστος του δικτύου διανομής, καθώς και το κόστος του συμβατικού καυσίμου, σε περίπτωση που χρησιμοποιείται ενισχυτικό σύστημα αιχμής.

Επίσης, μπορεί να περιλαμβάνονται φορολογικές, ασφαλιστικές και επιπλέον λειτουργικές δαπάνες, ανάλογα με το είδος και τη χρήση της εγκατάστασης.

Οι ετήσιες ωφέλειες προκύπτουν από την εξοικονόμηση του κόστους αγοράς του συμβατικού καυσίμου και από την πίστωση για τη μείωση εκπομπών αερίων θερμοκηπίου, εάν υπάρχει.

Οι περιοδικές δαπάνες αφορούν κυρίως στη συντήρηση ή αποκατάσταση μέρους του εξοπλισμού.

### 3.1.7 Χρηματοοικονομικές παράμετροι

Για την αξιολόγηση της οικονομικής βιωσιμότητας του έργου, κάτω από εναλλακτικά χρηματοδοτικά σενάρια, απαιτείται η γνώση των τιμών μίας σειράς χρηματοοικονομικών παραμέτρων όπως:

- Ρυθμός αύξησης του κόστους ενέργειας (%)
- Πληθωρισμός (%)
- Προεξοφλητικό επιτόκιο (%)
- Διάρκεια ζωής έργου (σε έτη)
- Ικανότητα δανεισμού (αναλογία δανεισμού ως προς τις συνολικές αρχικές δαπάνες)
- Όροι δανεισμού (επιτόκιο, περίοδος αποπληρωμής)
- Ανάλυση φόρου εισοδήματος (ποσοστό της φορολόγησης επί των εισοδημάτων, ύπαρξη απωλειών κατά την πρόοδο του έργου, μέθοδος λογιστικής απόσβεσης που ακολουθείται, ποσοστό της φορολογικής βάσης και ποσοστό απόσβεσης).

Το προεξοφλητικό επιτόκιο αντιπροσωπεύει την αποδοτικότητα μίας εναλλακτικής επένδυσης του αρχικού κεφαλαίου.

### 3.2 Οικονομική αξιολόγηση

Για την εκτίμηση της οικονομικής βιωσιμότητας του έργου υπολογίζονται οι καθαρές ταμειακές ροές (έσοδα μείον έξοδα) της επένδυσης για κάθε χρόνο της αναμενόμενης διάρκειας ζωής του έργου και εξετάζονται οι επιδόσεις της επένδυσης σε πέντε χρηματοοικονομικούς δείκτες που χρησιμοποιούνται σαν κριτήρια αξιολόγησης.

Ίδια Κεφάλαια (μετοχικό κεφάλαιο)  $I_{cap}$ , είναι το ποσό που επενδύεται αρχικά από όλους τους μετόχους του επενδυτικού έργου, ενώ χρέος του έργου είναι το ποσό που θα προέλθει από δανεισμό και ισούται με το αρχικό κόστος μείον το μετοχικό κεφάλαιο.

Αρχικά, εφαρμόζεται η μέθοδος του **εσωτερικού βαθμού απόδοσης (EBA)**, ο οποίος υποδηλώνει την ανώτερη τιμή για το κόστος κεφαλαίου, για την οποία η επένδυση εξακολουθεί να είναι συμφέρουσα.

Πρακτικά, ο EBA είναι ένα προεξοφλητικό επιτόκιο: το επιτόκιο στο οποίο η παρούσα αξία μιας σειράς επενδύσεων είναι ίση με την παρούσα αξία των επιστροφών αυτών των επενδύσεων. Υπολογίζεται, ως το επιτόκιο  $k$  που μηδενίζει την *KPIA* του έργου.

Για να θεωρηθεί αποδοτική μια επένδυση, θα πρέπει ο EBA να είναι τουλάχιστον μεγαλύτερος από το επιλεγμένο προεξοφλητικό επιτόκιο,  $D$ .

Ακολουθώς, εφαρμόζεται η μέθοδος της **απλής επανέσπραξης** για το επενδυτικό έργο, κατά την οποία υπολογίζεται ο χρόνος απόσβεσης του αρχικού κόστους του έργου (ο χρόνος κατά τον οποίο το άθροισμα των ταμειακών ροών του έργου ισούται με την αρχική του δαπάνη).

Το κριτήριο αυτό, που δε λαμβάνει υπόψη την αναμενόμενη διάρκεια ζωής του έργου, δίνεται από τη σχέση [23]:

$$SP = \frac{I - I_G}{P_{yr} - d_p - E_{yr}} \quad (3.1)$$

όπου  $I$  οι αρχικές δαπάνες,  $I_G$  οι επιδοτήσεις του έργου,  $P_{yr}$  οι ετήσιες εξοικονομήσεις πόρων του έργου,  $d_p$  η ετήσια δόση αποπληρωμής του χρέους του έργου (χρεολύσιο) και  $E_{yr}$  το ετήσιο κόστος λειτουργίας του έργου.

Έπειτα υπολογίζεται το έτος, μετά την έναρξη λειτουργίας του έργου (έτος 0), κατά το οποίο ο επενδυτής θα λάβει την πρώτη θετική ταμειακή ροή (κέρδος).

Ο χρόνος αυτός υπολογίζεται με γραμμική παρεμβολή μεταξύ των τιμών των καθαρών ταμειακών ροών, η μία εκ των οποίων είναι αρνητική και η αμέσως επόμενη της είναι θετική.

Ακόμη, εφαρμόζεται το κριτήριο της Καθαρής Παρούσας Αξίας (*KPIA*), όπου συγκρίνεται η παρούσα αξία των προβλεπόμενων καθαρών ταμειακών ροών του επενδυτικού έργου με την αρχική του δαπάνη, με τη σύγκριση να πραγματοποιείται στο χρόνο μηδέν. Η *KPIA* προσδιορίζεται μαθηματικά από τη σχέση [23]:

$$\text{ΚΠΑ} = \sum_t^n C_t \cdot (1+k)^{-t} - I \quad (3.2)$$

όπου  $C_t$  η καθαρή ροή του έργου για την περίοδο  $t$  αυτού,  $n$  η αναμενόμενη διάρκεια ζωής του συστήματος (της επένδυσης) και  $I$  οι συνολικές αρχικές δαπάνες.

Τέλος, υπολογίζεται ο δείκτης αποδοτικότητας ( $\Delta A$ ) που αποτελεί τη σύγκριση μεταξύ της Καθαρής Παρούσας Αξίας,  $\text{ΚΠΑ}$ , του έργου και του μετοχικού κεφαλαίου,  $I_{cap}$ :

$$\Delta A = \text{ΚΠΑ} / I_{cap} \quad (3.3)$$

Ο  $\Delta A$  εκφράζει την ικανότητα απόδοσης ενός επενδυτικού έργου σε σχέση με την κάθε επενδύσιμη χρηματική μονάδα και όχι το απόλυτο μέγεθος της αναμενόμενης απόδοσης του επενδυτικού έργου [23]. Γίνονται αποδεκτά, βασικά, τα έργα που έχουν  $\Delta A$  μεγαλύτερο της μονάδας. Μεταξύ δύο επενδυτικών έργων, επιλέγεται αυτό με τον πιο μεγάλο θετικό δείκτη.

#### 4. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

Στην ενότητα αυτή θα εξεταστούν δύο επενδυτικά πλάνα εφαρμογής συστημάτων βιομάζας στη θέρμανση θερμοκηπίων.

Ο τομέας αυτός έχει αναπτυχθεί ιδιαίτερα τα τελευταία 20 χρόνια στην Ελλάδα και ήδη ένας σημαντικός αριθμός θερμοκηπίων θερμαίνεται με καύση βιομάζας. Η αξιοποίηση των γεωργικών υπολειμμάτων στην παραγωγή θερμότητας μπορεί να έχει πολλαπλά οικονομικά οφέλη για τον παραγωγό και την τοπική οικονομία.

Οι υπάρχουσες εφαρμογές βιομάζας αφορούν, κυρίως, στη θέρμανση μικρής ή μεσαίας έκτασης (2-5 στρέμματα) θερμοκηπίων, τα οποία αποτελούν και τη μεγάλη πλειοψηφία θερμοκηπιακών εκμεταλλεύσεων στην Ελλάδα. Κατά κανόνα, η βιομάζα προέρχεται από γεωργικά υπολείμματα του ίδιου του θερμοκηπίου ή γεωργικά και δασικά υπολείμματα της γύρω περιοχής και παρέχεται δωρεάν ή με πάρα πολύ χαμηλό κόστος.

Στην παρούσα μελέτη θα εξεταστούν δύο εφαρμογές ενεργειακής αξιοποίησης της βιομάζας στη θέρμανση θερμοκηπίων, μεσαίας και μεγάλης έκτασης και θα αναζητηθούν οι όροι κάτω από τους οποίους οι επενδύσεις αυτές είναι οικονομικά αποδοτικές. Τα θερμοκήπια καλλιέργειας ντομάτας βρίσκονται στην περιοχή Λάκωμα της πεδινής Χαλκιδικής.

Οι παραγωγοί δεν έχουν αποθέματα βιομάζας από τη δική τους παραγωγή, μπορούν όμως, σε συνεννόηση με τον τοπικό συνεταιρισμό, να εξασφαλίσουν σημαντικές ποσότητες βιομάζας (κλαδέματα, κυρίως ελαιόδενδρων και αμπελιών), σε σταθερή βάση.

Θα πρέπει, όμως, να επωμισθούν το κόστος συλλογής και μεταφοράς των κλαδεμάτων από τα σημεία παραγωγής τους, τα οποία είναι διάσπαρτα στη γύρω περιοχή και κάποια από αυτά σε μακρινές αποστάσεις.

Το κόστος αυτό, που περιλαμβάνει τα έξοδα των μηχανημάτων συλλογής, του φορτηγού μεταφοράς, της διαδικασίας τεμαχισμού και σίγουρα κάποια εργατικά, είναι πολύ δύσκολο να προσεγγιστεί.

Συνεπώς, η παράμετρος αυτή θα πρέπει να συμπεριληφθεί στην ανάλυση ευαισθησίας, ώστε να εντοπιστεί μέχρι ποιο ποσό μπορεί να διατεθεί για την προμήθεια της βιομάζας, για να είναι η επένδυση οικονομικά βιώσιμη (στο εξής: *κρίσιμη τιμή βιομάζας*).

#### 4.1 Παρουσίαση των εξεταζόμενων έργων

**Έργο Λάκωμα I:** Ένας παραγωγός ντομάτας στη Χαλκιδική θερμαίνει, προς το παρόν, το θερμοκήπιό του, έκτασης 5 στρεμμάτων, με πετρέλαιο θέρμανσης, το οποίο προμηθεύεται προς 0,40€/L.

Για οικονομικούς λόγους σκέφτεται την εγκατάσταση ενός συστήματος βιομάζας για την ικανοποίηση των αναγκών θέρμανσης του θερμοκηπίου και προς τούτο μπορεί να διαθέσει μέχρι το ποσό των 60.000,00€.

Το ποσό των 60.000€ είναι μικρότερο από το κόστος αγοράς ενός καινούριου λέβητα πετρελαίου (περίπου 80.000€) για τις διαστάσεις του συγκεκριμένου θερμοκηπίου. Δεδομένου ότι το κόστος για την προμήθεια της βιομάζας δεν είναι γνωστό, είναι ενδιαφέρον να διερευνηθεί, εάν και κάτω από ποιούς όρους θα είναι οικονομικά αποδοτική η επένδυση για την εγκατάσταση ενός συστήματος βιομάζας.

**Έργο Λάκωμα II:** Ο ίδιος παραγωγός προτείνει στον ιδιοκτήτη του γειτονικού θερμοκηπίου, που έχει ακριβώς τα ίδια χαρακτηριστικά με το δικό του, αλλά μεγαλύτερη έκταση, να εγκαταστήσουν ένα κοινό σύστημα βιομάζας. Τα δύο θερμοκήπια συνορεύουν, οπότε η μονάδα βιομάζας θα μπορούσε να τοποθετηθεί ανάμεσα και πολύ κοντά και στα δύο, χωρίς να απαιτούνται ιδιαίτερες μετατροπές και επεκτάσεις στις υπάρχουσες σωληνώσεις διανομής.

Στη συνέχεια, η περίπτωση αυτή θα εξεταστεί σαν ένα θερμοκήπιο, συνολικής έκτασης όσο το άθροισμα των δύο θερμοκηπίων.

Τα δύο υπό εξέταση έργα έχουν κάποια κοινά βασικά χαρακτηριστικά. Βρίσκονται στην ίδια τοποθεσία (Λάκωμα Χαλκιδικής) και άρα έχουν κοινά κλιματολογικά δεδομένα. Πρόκειται για ίδιου τύπου θερμοκήπια (φύλλα πολυαιθυλενίου, νάυλον), με όμοιες καλλιέργειες (ντομάτα) και άρα τα μοναδιαία θερμικά φορτία είναι κοινά. Τέλος και στις δύο περιπτώσεις έχουμε αντικατάσταση καυσίμου ντίζελ (συστήματα ίδιας απόδοσης) από όμοιου τύπου καύσιμη βιομάζα.

Σύμφωνα με τον παραγωγό, τα θερμοκήπια ντομάτας απαιτούν σταθερή θερμοκρασία 18 °C σε ετήσια βάση και υγρασία 75%.

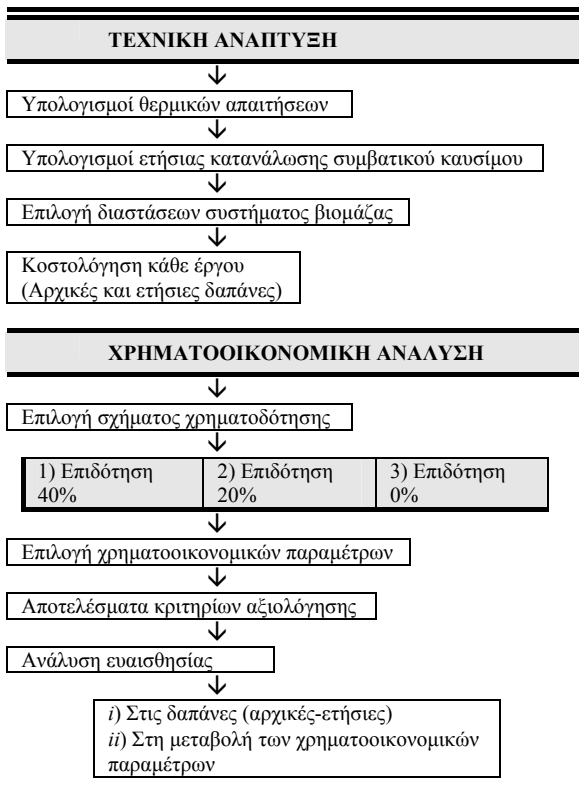
## 4.2 Ανάπτυξη και δομή της μελέτης

Αρχικά, θα γίνει κοινή ανάπτυξη για τα δύο έργα και θα παρουσιαστούν παράλληλα τα χαρακτηριστικά και τα δεδομένα τους, για να υπάρχει μια εικόνα σύγκρισης των αντίστοιχων μεγεθών. Αφού υπολογιστούν οι θερμικές απαιτήσεις κάθε έργου, με βάση τα κλιματολογικά δεδομένα της περιοχής και τα θερμικά φορτία των θερμοκηπίων, θα γίνει επιλογή των διαστάσεων του συστήματος βιομάζας. Στη συνέχεια, με βάση τις αποδόσεις των συστημάτων (συμβατικό/εναλλακτικό) και τις θερμαντικές αξίες των καυσίμων που χρησιμοποιούνται (ντίζελ/βιομάζα), θα υπολογιστούν οι ετήσιες καταναλώσεις κάθε συστήματος θέρμανσης.

Η ανάπτυξη της χρηματοοικονομικής μελέτης για κάθε έργο θα γίνει ξεχωριστά. Οι τιμές των παραμέτρων που παρουσιάζονται στον Πίνακα 5 αποτελούν μέρος του *Βασικού Σεναρίου* για κάθε έργο.

Στη συνέχεια, θα γίνει ανάλυση ευαισθησίας στις τιμές του *Βασικού Σεναρίου* (για κάθε έργο), ενώ θα εξεταστούν και δύο εναλλακτικά σενάρια χρηματοδότησης (*Σενάριο Α* και *Σενάριο Β*) για κάθε έργο. Τέλος, θα γίνει ανάλυση ευαισθησίας στις τιμές των παραμέτρων των εναλλακτικών σεναρίων (*Α* και *Β*) κάθε έργου.

Το Σχήμα 2 δείχνει το διάγραμμα ροής, κατά την οποία εξελίσσεται η μελέτη κάθε έργου.



Σχήμα 2: Διάγραμμα ροής οικονομοτεχνικής μελέτης  
Figure 2: Techno-economic study flow chart

## 4.3 Στοιχεία εισόδου σχεδίασης εγκαταστάσεων

Η μέγιστη αποδιδόμενη ισχύς για τη διατήρηση θερμοκρασίας 18 °C σε ένα θερμοκήπιο είναι 170W/m<sup>2</sup> [24]. Στην πραγματικότητα, πολύ σπάνια οι παραγωγοί επιδιώκουν τη διατήρηση θερμοκρασιών της τάξης των 18°C κατά τους κρύους χειμερινούς μήνες. Ωστόσο, έγινε επιλογή αυτής της τιμής για το φορτίο, ώστε να ικανοποιούνται πλήρως οι θερμοκρασιακές απαιτήσεις της καλλιέργειας.

Η βιομάζα που προορίζεται για καύσιμο προέρχεται από γεωργικά υπολείμματα της περιοχής, κυρίως κλαδέματα ελαιόδεντρων. Η τιμή της περιεκτικότητάς τους σε υγρασία εκτιμάται σε 35%. Η θερμαντική τους αξία σε ξηρή βάση είναι ίση με 3.896kcal/kg ή 16,30MJ/t.

Πίνακας 1: Κυριότερα δεδομένα εισόδου για τα δύο έργα  
Table 1: Main input data for the two projects

Έργο:	Λάκωμα I	Λάκωμα II
<b>Θερμοκήπιο</b>		
Επιφάνεια	5.000 m <sup>2</sup>	11.000 m <sup>2</sup>
Θερμικό φορτίο	170 W/ m <sup>2</sup>	170 W/ m <sup>2</sup>
Μοναδιαίο κόστος συμβατικού καυσίμου (Diesel)	0,40€/L	0,40€/L
<b>Σύστημα βιομάζας</b>		
Ισχύς συστήματος	900 kW	2.000 kW
Εποχιακή απόδοση	80%	80%
Υγρασία βιομάζας	35%	35%

Πίνακας 2: Κυριότερα δεδομένα εξόδου για τα δύο έργα  
Table 2: Main output data for the two projects

Έργο:	Λάκωμα I	Λάκωμα II
<b>Ετήσιες ενεργειακές απαιτήσεις</b>		
Φορτίο αιχμής	850 kW	1.870 kW
Ετήσια θερμική απαίτηση	1.519 MWh	3.342 MWh
<b>Ετήσια απαίτηση / κατανάλωση καυσίμων</b>		
Πετρέλαιο (Diesel)	217.583 L	478.683 L
Απαιτούμενη βιομάζα	746 t	1.641 t

Η επιλογή των διαστάσεων του συστήματος βιομάζας για κάθε έργο έγινε μετά τον υπολογισμό των θερμικών απαιτήσεων κάθε θερμοκηπίου και τον καθορισμό της ελάχιστης ισχύος του λέβητα βιομάζας, που ικανοποιεί την αιχμή φορτίου κάθε εγκατάστασης. Αυτό συμβαίνει όταν ο λέβητας βιομάζας έχει (πραγματική) ισχύ, τουλάχιστον ίση με την αιχμή φορτίου της εγκατάστασης (850kW για το Έργο I και 1.870kW για το Έργο II). Τα συστήματα βιομάζας



τέτοιου μεγέθους προμηθεύονται κατά παραγγελία. Η ισχύς των συστημάτων επιλέχθηκε στα 900kW για το πρώτο έργο και στα 2MW για το δεύτερο.

Και στις δύο περιπτώσεις το σύστημα διανομής της θέρμανσης των θερμοκηπίων δε θα χρειαστεί αντικατάσταση ή επέκταση. Ο καυστήρας βιομάζας θα αντικαταστήσει το συμβατικό καυστήρα πετρελαίου και θα συνδεθεί με το υπάρχον, χαμηλής θερμοκρασίας, δίκτυο διανομής των θερμοκηπίων. Η μετατροπή του τρόπου σύνδεσης δεν απαιτεί κάποια ιδιαίτερη οικονομική επιβάρυνση.

Στους Πίνακες 1 και 2 φαίνονται οι κυριότερες παράμετροι που σχετίζονται με τη σχεδίαση της εγκατάστασης για κάθε έργο.

#### 4.4 Οικονομική ανάλυση

Τα συστήματα καύσης θρυμμάτων (2-3cm) είναι κατά πολύ φθηνότερα από τα συστήματα καύσης μεγάλων κομματιών ξύλου. Η διαφορά στην τιμή τους είναι κατά πολύ μεγαλύτερη από το κόστος αγοράς ενός καινούριου τεμαχιστήρα (θρυμματιστής) για τον τεμαχισμό του καυσίμου βιομάζας, ο οποίος στοιχίζει γύρω στα 12.000€.

Το κόστος για ένα σύστημα βιομάζας (που καίει wood chips) ισχύος 900kW ανέρχεται σε 175.500,00€ (έργο I), ενώ για σύστημα ισχύος 2MW αγγίζει τα 350.000,00€ (έργο II). Και στις δύο τιμές συμπεριλαμβάνονται η αγορά, η μεταφορά και τοποθέτηση των συστημάτων μαζί με όλο τον εξοπλισμό τους (σιλό τροφοδοσίας, ηλεκτρολογική εγκατάσταση, σύστημα ελέγχου, κλπ).

Πίνακας 3: Αρχικές και ετήσιες δαπάνες για κάθε έργο  
Table 3: Initial and annual costs for each project

Έργο:	Λάκωμα I	Λάκωμα II
<b>Αρχικές δαπάνες</b>		
Ολοκληρωμένη μονάδα βιομάζας	175.500,00€	350.000,00 €
Τεμαχιστήρας	12.000,00€	12.000,00€
Κατασκευή κτίσματος	50.000,00€	66.000,00€
<b>Σύνολο:</b>	<b>237.500,00 €</b>	<b>428.000,00 €</b>
<b>Ετήσιες δαπάνες</b>		
Λειτουργικά έξοδα	1.000,00€	1.000,00 €
Βιομάζα	37.289,00€ (746 t ·50€/t)	82.036,00 € (1.641 t ·50€/t)
Παρασιτικός ηλεκτρισμός	3.200,00€ (32.000kWh)	7.000,00 € (70.000kWh)
<b>Ετήσιες ωφέλειες</b>		
Εξοικονόμηση πετρελαίου	87.033,00 €	191.473,00 €

Επιπλέον, θα χρειαστεί η κατασκευή κτιριακής υποδομής για την αποθήκευση των θρυμματισμένων αποθεμάτων βιομάζας και τη στέγαση του συστήματος βιομάζας. Η αποθήκη θα έχει τιμεντένιο, κεκλιμένο δάπεδο, ενώ οι πλάγιες επιφάνειες και η οροφή θα είναι από λαμαρίνα. Και στις δύο περιπτώσεις για τη στέγαση του συστήματος καύσης απαιτείται ξεχωριστός χώρος επιφάνειας 64m<sup>2</sup>. Το κόστος κατασκευής της κτιριακής υποδομής ανέρχεται σε 250€/m<sup>2</sup>. Για το έργο II, η δαπάνη για κτιριακή υποδομή συνολικής επιφάνειας 264m<sup>2</sup>, ανέρχεται σε 66.000€. Για το έργο I, το μέγεθος της αποθήκης μπορεί είναι μικρότερο, δεδομένης της μικρότερης απαιτούμενης ποσότητας βιομάζας και άρα μικρότερης απαίτησης αποθηκευτικού χώρου, έτσι το κόστος της κτιριακής υποδομής, επιφάνειας 200m<sup>2</sup>, θα είναι 50.000€.

Όπως αναφέρθηκε, το κόστος προμήθειας της βιομάζας δεν είναι γνωστό. Στο αρχικό σενάριο δίνεται μία χονδρική εκτιμώμενη τιμή της βιομάζας και στη συνέχεια εξετάζεται η αποδοτικότητα της επένδυσης για μεταβολές αυτής της τιμής.

Στον Πίνακα 3 παρουσιάζονται τα κοστολογικά δεδομένα για την πραγματοποίηση των δύο έργων.

#### 4.5 Χρηματοοικονομική ανάλυση

Στην Ελλάδα, τα έργα Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας επιδοτούνται από τα Κοινοτικά Πλαίσια Στήριξης της Ευρωπαϊκής Ένωσης σε ποσοστό μέχρι και 40% του αρχικού τους κόστους, ανάλογα με την κατηγορία και το μέγεθος του έργου, ενώ ο εθνικός αναπτυξιακός νόμος του 2005 προβλέπει επιδοτήσεις από 40-55%.

Στην παρούσα ανάλυση θα εξεταστούν τρία διαφορετικά σενάρια χρηματοδότησης για κάθε έργο. Βασικός συντελεστής διαμόρφωσης του σχήματος χρηματοδότησης είναι το ύψος της επιδότησης που μπορεί να αποσπάσει το έργο. Έτσι, πέρα από το Βασικό Σενάριο, όπου το έργο επιδοτείται κατά 40% των αρχικών του εξόδων, εξετάζονται και δύο εναλλακτικά σενάρια με ύψος επιδότησης 20% για το Σενάριο A και μηδενική επιδότηση για το Σενάριο B.

Στη συνέχεια κάθε έργο θα εξεταστεί ξεχωριστά.

##### 4.5.1 Ανάλυση Έργου I

Ο παραγωγός διαθέτει μέχρι 60.000,00€ για την επένδυση (Ίδια Κεφάλαια), ενώ το υπόλοιπο αρχικό κόστος θα καλυφθεί μέσω τραπεζικού δανείου. Το διαθέσιμο κεφάλαιο του παραγωγού θεωρείται δεδομένο και σταθερό. Τα τρία σχήματα χρηματοδότησης που εξετάζονται διαμορφώνονται από το ύψος της επιδότησης.

Το άθροισμα του αρχικού κεφαλαίου και του ποσού της επιδότησης δεν καλύπτουν το αρχικό κόστος της επένδυσης

σε καμία από τις τρεις περιπτώσεις, οπότε το υπόλοιπο απαιτούμενο κεφάλαιο θα προέλθει από δανεισμό. Τα τρία σχήματα χρηματοδότησης που θα εξεταστούν παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.

Πίνακας 4: Σχήματα χρηματοδότησης του έργου Λάκωμα I  
Table 4: Financing schemes for Lakoma I project

	Ίδια Κεφάλαια	Επιδότηση	Δανεισμός
<b>Βασικό</b>	25,2%	40%	34,8%
<b>Σενάριο Α</b>	25,2%	20%	54,8%
<b>Σενάριο Β</b>	25,2%	0%	74,8%

Πίνακας 5: Δεδομένα χρηματοοικονομικής ανάλυσης για τα τρία σενάρια χρηματοδότησης του Έργου I

Table 5: Financial analysis input data for each of the three financing schemes for Lakoma I project

Περιγραφή μεγέθους	Τιμή μεγέθους
Ρυθμός αύξησης κόστους ενέργειας	4%
Πληθωρισμός	4%
Προεξοφλητικό επιτόκιο ( <b>D</b> )	12%
Διάρκεια ζωής	15 yrs
Επιτόκιο δανεισμού	3%
Προθεσμία αποπληρωμής	12 yrs

Η αγροτική τράπεζα παρέχει χορηγήσεις για επενδύσεις με επιτόκιο  $r_{debt}=3\%$  (τη στιγμή που το διατραπεζικό επιτόκιο για μεσομακροπρόθεσμες χορηγήσεις των άλλων τραπεζών βρίσκεται περίπου στο 4,8% [Ιούνιος 2005]). Η τιμή για το προεξοφλητικό επιτόκιο **D**, με βάση το οποίο γίνεται η σύγκριση με εναλλακτικούς τρόπους επένδυσης του ποσού του αρχικού κόστους, επιλέχθηκε αρχικά να λάβει μία σχετικά υψηλή τιμή, στο 12%. Επίσης, ο πληθωρισμός επι-

λέχθηκε στην τιμή 4%, που είναι μία μονάδα πάνω από την τρέχουσα τιμή του πληθωρισμού (Ιούνιος 2005). Αναλυτικά, τα χρηματοοικονομικά δεδομένα εισόδου φαίνονται στον Πίνακα 5.

Στον Πίνακα 6 παρουσιάζονται συγκεντρωμένα τα αποτελέσματα της χρηματοοικονομικής ανάλυσης για τα τρία σενάρια χρηματοδότησης που εξετάστηκαν στη μελέτη του έργου. Με βάση όλα τα κριτήρια αξιολόγησης, το έργο κρίνεται αποδοτικό ( $EBA > D$ ,  $KPIA > 0$ ,  $ΔA > 1$ ) για όλα τα πιθανά σενάρια χρηματοδότησης που εξετάστηκαν. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι παραπάνω δείκτες δεν αφορούν τον κύκλο των εργασιών του παραγωγού, αλλά το σύστημα θέρμανσης του θερμοκηπίου.

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα για τα διάφορα σχήματα χρηματοδότησης, προκύπτει ότι η κρατική επιδότηση έχει θετική επίδραση στην οικονομική βιωσιμότητα του έργου. Ακόμα και με μειωμένη επιδότηση, η αντικατάσταση του συμβατικού συστήματος θέρμανσης από σύστημα βιομάζας παραμένει μία δελεαστική πρόταση.

Σε περίπτωση μη ύπαρξης επιδότησης, η επένδυση μπορεί να είναι αποδοτική με βάση τα κριτήρια αξιολόγησης, αλλά ουσιαστικά δημιουργεί μεγάλο χρέος στην τράπεζα και έχει σημαντικά αυξημένο χρόνο απόσβεσης, κάτι που είναι καθοριστικό για την απόφαση πραγματοποίησης της επένδυσης.

Η εμπειρία της ελληνικής αγοράς έχει δείξει ότι τα συστήματα θέρμανσης με βιομάζα έχουν μέγιστο χρόνο απόσβεσης 3 έτη. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, όπου πρόκειται για την επένδυση ενός αγρότη πάνω στην καλλιέργειά του, θα πρέπει να θεωρηθεί επιθυμητός χρόνος απόσβεσης  $\leq 3$  έτη. Στην ανάλυση ευαισθησίας, που πραγματοποιήθηκε, θεωρήθηκε ότι για τιμές της *Απλής Επανείσπραξης*  $\geq 4$  έτη μπορεί να υπάρχει ένας σκεπτικισμός γύρω από την πραγματοποίηση του έργου. Οι παράμετροι που μετείχαν στην ανάλυση ευαισθησίας είναι οι παρακάτω:

- Μοναδιαίο κόστος βιομάζας

Πίνακας 6: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα της αξιολόγησης για τα τρία σχήματα χρηματοδότησης του Έργου I  
Table 6: Financial evaluation results for each of the three financing schemes for Lakoma I project

	<b>Βασικό Σενάριο</b>	<b>Σενάριο Α</b>	<b>Σενάριο Β</b>
<b>με επιδότηση:</b>	$r_{grant} = 40\%$	$r_{grant} = 20\%$	$r_{grant} = 0\%$
Ίδια Κεφάλαια	59.850,00 €	59.850,00 €	59.850,00 €
Ποσό Επιδότησης	95.000,00 €	47.500,00 €	0,00 €
Χρέος Έργου (Ποσό Δανεισμού)	82.650,00 €	130.150,00 €	177.650,00 €
<b>(Συνολικό) Αρχικό κόστος εγκατάστασης :</b>	<b>237.500,00 €</b>	<b>237.500,00 €</b>	<b>237.500,00 €</b>
<b>Κριτήριο Αξιολόγησης</b>	<b>Τιμή κριτηρίου αξιολόγησης</b>		
Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης - EBA	70%	62,7%	55,4%
Απλή Επανείσπραξη	3,1 έτη	4,2 έτη	5,2 έτη
Χρόνος μέχρι την πρώτη θετική ταμειακή ροή	1,5 έτη	1,7 έτη	2,0 έτη
Καθαρή Παρούσα Αξία - ΚΠΑ	285.983,00€	256.424,00€	226.865,00€
Δείκτης Αποδοτικότητας - ΔΑ	4,78	4,28	3,79

- Συνολικές αρχικές δαπάνες (σύστημα βιομάζας, εγκατάσταση, περιφερειακά)
- Ρυθμός αύξησης κόστους ενέργειας
- Πληθωρισμός
- Προεξοφλητικό επιτόκιο ( $D$ )
- Διάρκεια ζωής
- Επιτόκιο δανεισμού ( $r_{debt}$ )
- Προθεσμία αποπληρωμής δανείου.

Από την ανάλυση ευαισθησίας προέκυψε ότι οι παράμετροι, που μπορούν να επηρεάσουν σε καθοριστικό βαθμό την αποδοτικότητα του έργου, είναι οι παρακάτω:

- ο Αρχικό κόστος
- ο Μοναδιαίο κόστος βιομάζας
- ο Διάρκεια ζωής έργου

Οι κρίσιμες τιμές για το μοναδιαίο κόστος της βιομάζας (οι μέγιστες τιμές, για τις οποίες η επένδυση κρίνεται αποδοτική σε κάθε σενάριο) φαίνονται στον Πίνακα 7, μαζί με τους χρόνους απόσβεσης που αντιστοιχούν σε αυτές. Η μεταβολή των υπολοίπων παραμέτρων, μέσα σε λογικά όρια, δεν επιφέρει σημαντικές μεταβολές στις τιμές των χρηματοοικονομικών κριτηρίων και ελάχιστα μπορούν να καθορίσουν την τύχη της επένδυσης.

Πίνακας 7: Κρίσιμες τιμές βιομάζας για το Έργο I  
Table 7: Biomass unit cost critical values for Project I

με επιδότηση, $r_{grant} =$	40%	20%	0%
Κρίσιμη τιμή βιομάζας (€/t)	50	30	30
Απλή Επανεξοφράξη (έτη)	3,1	3,1	3,9

#### 4.5.2 Ανάλυση Έργου II

Θεωρούμε ότι το διαθέσιμο αρχικό κεφάλαιο (Ίδια Κεφάλαια), από τον κάθε παραγωγό, βρίσκεται σε πλήρη αναλογία με την έκταση του θερμοκηπίου του. Έτσι, το συνολικό αρχικό διαθέσιμο κεφάλαιο ανέρχεται σε 60.000,00 + (6/5)·60.000,00 = 132.000,00€.

Το διαθέσιμο κεφάλαιο των παραγωγών θεωρείται δεδομένο και σταθερό.

Τα τρία σχήματα χρηματοδότησης που εξετάζονται διαμορφώνονται από το ύψος της επιδότησης. Το άθροισμα του αρχικού κεφαλαίου και του ποσού της επιδότησης δεν καλύπτουν το αρχικό κόστος της επένδυσης, οπότε το υπόλοιπο απαιτούμενο κεφάλαιο θα προέλθει από δανεισμό. Τα τρία σχήματα χρηματοδότησης που θα εξεταστούν παρουσιάζονται στον Πίνακα 8.

Πίνακας 8: Σχήματα χρηματοδότησης του έργου Λάκομα II  
Table 8: Financing schemes for Lakoma II project

	Ίδια Κεφάλαια	Επιδότηση	Δανεισμός
<b>Βασικό</b>	30,8%	40%	29,2%
<b>Σενάριο A</b>	30,8%	20%	49,2%
<b>Σενάριο B</b>	30,8%	0%	69,2%

Αρχικά, οι τιμές των χρηματοοικονομικών παραμέτρων λαμβάνονται ίδιες με αυτές του Έργου I, όπως φαίνονται αναλυτικά στον Πίνακα 5.

Στον Πίνακα 9 παρουσιάζονται συγκεντρωμένα τα αποτελέσματα της χρηματοοικονομικής ανάλυσης για τα τρία

Πίνακας 9: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα της αξιολόγησης για τα τρία σχήματα χρηματοδότησης του έργου II  
Table 9: Results of the evaluation for each of the three financing schemes for Lakoma II project

	Βασικό Σενάριο με επιδότηση: $r_{grant} = 40\%$	Σενάριο A $r_{grant} = 20\%$	Σενάριο B $r_{grant} = 0\%$
Ίδια Κεφάλαια	131.740,00 €	131.740,00 €	131.740,00 €
Ποσό Επιδότησης	171.200,00 €	85.600,00 €	0,00 €
Χρέος Έργου (Ποσό Δανεισμού)	125.060,00 €	210.660,00 €	296.260,00 €
<b>(Συνολικό) Αρχικό κόστος εγκατάστασης :</b>	<b>428.000,00 €</b>	428.000,00 €	428.000,00 €
<b>Κριτήριο Αξιολόγησης</b>	<b>Τιμή κριτηρίου αξιολόγησης</b>		
Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης - EBA	75,0%	68,9%	62,9%
Απλή Επανεξοφράξη	2,5 yrs	3,4 yrs	4,2 yrs
Χρόνος μέχρι την πρώτη θετική ταμειακή ροή	1,4 yrs	1,5 yrs	1,7 yrs
Καθαρή Παρούσα Αξία - ΚΠΑ	675.238 €	621.963 €	568.700 €
Δείκτης Αποδοτικότητας - ΔΑ	5,13	4,72	4,32

σενάρια χρηματοδότησης που εξετάστηκαν στη μελέτη του έργου. Με βάση όλα τα κριτήρια αξιολόγησης που παρουσιάστηκαν στην ενότητα 3 του άρθρου, το έργο κρίνεται αποδοτικό ( $EBA > D$ ,  $KPIA > 0$ ,  $\Delta A > 1$ ) για όλα τα πιθανά σενάρια χρηματοδότησης που εξετάστηκαν, με σαφώς βελτιωμένους χρόνους απόσβεσης σε σχέση με το Έργο I. Ομοίως με τη μελέτη του Έργου I, θεωρήθηκε, κατά την ανάλυση ευαισθησίας, ότι για τιμές της *Απλής Επανείσπραξης*  $\geq 4$  έτη μπορεί να υπάρχει ένας σκεπτικισμός γύρω από την πραγματοποίηση του έργου.

Και σε αυτήν την περίπτωση, οι παράμετροι, που μπορούν να επηρεάσουν σε καθοριστικό βαθμό την αποδοτικότητα του έργου, είναι το αρχικό κόστος, το μοναδιαίο κόστος της βιομάζας και η διάρκεια ζωής του έργου. Οι κρίσιμες τιμές για το μοναδιαίο κόστος της βιομάζας φαίνονται στον Πίνακα 10, μαζί με τους χρόνους απόσβεσης που αντιστοιχούν σε αυτές.

Πίνακας 10: Κρίσιμες τιμές βιομάζας για το Έργο II  
Table 10: Biomass unit cost critical values for Project II

με επιδότηση, $V_{grant} =$	40%	20%	0%
Κρίσιμη τιμή βιομάζας (€/t)	60	45	30
Απλή Επανείσπραξη (έτη)	3,0	3,1	3,2

#### 4.6 Συμπεράσματα για την αποδοτικότητα των εξεταζόμενων έργων

Με το παρόν νομοθετικό πλαίσιο, που επιδοτεί τα έργα Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας κατά τουλάχιστον 40% του αρχικού κόστους, η αντικατάσταση των συμβατικών συστημάτων θέρμανσης από συστήματα βιομάζας αποτελεί μία πολύ καλή επένδυση. Το μεγάλο αρχικό κόστος των συστημάτων καύσης βιομάζας και των συνοδευτικών τους μηχανισμών αποσβένεται σε λιγότερο από τρία χρόνια από την εξοικονόμηση του κόστους για την αγορά του συμβατικού καυσίμου. Καθοριστικό παράγοντα παίζει η τιμή της βιομάζας, όταν αυτή δεν είναι προϊόν της ίδιας της θερμοκηπιακής εκμετάλλευσης.

Τα έργα που εξετάστηκαν σε αυτήν την ανάλυση αποτελούν αντιπροσωπευτικά παραδείγματα θέρμανσης θερμοκηπίων στην Ελλάδα. Και τα δύο έργα μπορούν να είναι εξαιρετικά αποδοτικά, με την προϋπόθεση ότι το κόστος της βιομάζας μπορεί να εξασφαλιστεί σε ένα ορισμένο επίπεδο και για μεγάλο χρονικό διάστημα.

Τα πράγματα δυσχεραίνουν, ελαφρώς, όταν το ύψος της επιδότησης υποδιπλασιάζεται, αλλά τα έργα παραμένουν αποδοτικά, αν και σε μικρότερο βαθμό.

Γενικά, μία χαμηλότερη επιδότηση του έργου συνεπάγεται μεγαλύτερο χρόνο απόσβεσης του αρχικού κόστους και μεγαλύτερο τραπεζικό χρέος.

Η μη ύπαρξη επιδότησης του έργου από κάποιο κρατικό ή Κοινοτικό φορέα καθιστά την επένδυση μη δελεαστική, αφού παρά τα μακροπρόθεσμα οφέλη που μπορεί να επιφέρει, το αρχικό κόστος είναι απαγορευτικό για επένδυση σε αγροτική εκμετάλλευση.

Σε κάθε περίπτωση, το κόστος της βιομάζας παίζει καθοριστικό ρόλο και δε θα πρέπει να ξεκινήσει το έργο, χωρίς προηγουμένως να έχει εξασφαλιστεί μία συμφέρουσα τιμή προμήθειας της βιομάζας, η οποία θα παραμείνει σταθερή τουλάχιστον μέχρι το χρόνο απόσβεσης του αρχικού κόστους. Δεδομένης της έλλειψης υποδομών συλλογής και συγκέντρωσης βιομάζας στις αγροτικές περιοχές της χώρας, όπου τα γεωργικά υπολείμματα αφήνονται να σαπίσουν στα χωράφια, η εκτίμηση του κόστους που απαιτεί η διαδικασία θα πρέπει να βασιστεί σε εμπειρικές εκτιμήσεις. Πάντως, η εποχή κλαδέματος είναι συγκεκριμένη και γνωστή για κάθε είδος. Στο κόστος προμήθειας θα περιλαμβάνεται η μίσθωση του μηχανήματος συλλογής και η μίσθωση του φορτηγού μεταφοράς μαζί με τα απαραίτητα εργατικά. Το κόστος αυτό παρουσιάζει διακύμανση, ανάλογα με τη διασπορά των χωραφιών, από τα οποία θα γίνει η συλλογή και από την απόστασή τους από το θερμοκήπιο.

Η παρούσα ανάλυση δομήθηκε, έτσι ώστε τα δύο έργα να παρουσιάζονται σαν δύο εναλλακτικές επενδυτικές προτάσεις για τον ιδιοκτήτη του θερμοκηπίου έκτασης 5 στρεμμάτων. Η ερώτηση που αμέσως εγείρεται είναι, ποιό σχέδιο συμφέρει πιο πολύ. Είναι, δηλαδή, προτιμότερη η εγκατάσταση ενός κοινού συστήματος βιομάζας με το γειτονικό θερμοκήπιο, ίδιας καλλιέργειας, από την εγκατάσταση ενός μικρότερου συστήματος για τις ανάγκες του δικού του θερμοκηπίου;

Τα αποτελέσματα των κριτηρίων αξιολόγησης των δύο έργων δεν είναι άμεσα συγκρίσιμα, αφού αφορούν διαφορετικά κεφάλαια. Κάνοντας μία αναγωγή του χρέους του Έργου II (ενοποίηση συστήματος θέρμανσης των δύο θερμοκηπίων) στον κάθε παραγωγό, το ποσό, που αναλογεί στον παραγωγό του θερμοκηπίου 5 στρεμμάτων, είναι 56.846,00€ (*Βασικό Σενάριο*). Το χρέος αυτό είναι αρκετά μικρότερο από αυτό που θα είχε αν πραγματοποιούσε το Έργο I (θέρμανση μόνο του δικού του θερμοκηπίου), που είναι 82.650,00€. Αυτό συμβαίνει, γιατί οι δύο παραγωγοί θα μοιραστούν μεγάλο μέρος των αρχικών εξόδων, όπως την αγορά του τεμαχιστήρα και το μεγαλύτερο μέρος της κτιριακής υποδομής. Όσον αφορά στην αγορά του συστήματος βιομάζας, δεν υπάρχει σημαντική έκπτωση για το σύστημα 2MW σε σχέση με αυτό των 900kW. Με μία απλοποιητική αναγωγή στο κόστος των συστημάτων βιομάζας ανά kW, είναι 175€/kW για το λέβητα ισχύος 900kW και 195€/kW για το λέβητα ισχύος 2MW. Καλύτερη όμως προσέγγιση της διαφοράς του κόστους προκύπτει από την αναγωγή του κόστους του συστήματος βιομάζας στη θερμοαινόμενη επιφάνεια. Έτσι, για τον ιδιοκτήτη του θερμοκηπίου 5 στρεμμάτων, η τιμή αυτή είναι 35.100,00€/στρέμμα για το λέβητα 900kW και 31.818,00€/στρέμμα για το λέβητα 2MW. Όμως, οι τιμές αυτές δεν είναι πολύ ενδεικτικές του τρόπου με τον

οποίο κοστολογούνται τα συστήματα βιομάζας, καθώς για μεγαλύτερα συστήματα (πάνω από 4MW), το μοναδιαίο κόστος των συστημάτων μειώνεται εντυπωσιακά.

Από τη χρηματοοικονομική ανάλυση προκύπτει ότι το Έργο II είναι λίγο πιο συμφέρον από το Έργο I, για τον παραγωγό του μικρού θερμοκηπίου. Η οικονομική διαφορά, όμως, δεν είναι τόσο μεγάλη από μόνη της για να επιβάλει την πραγματοποίηση του Έργου II, κατά το οποίο οι δύο παραγωγοί θα πρέπει να έχουν αγαστή συνεργασία με ό,τι συνέπειες μπορεί να έχει μία μελλοντική αντιπαράθεσή τους. Σε κάθε περίπτωση, είναι στη διακριτική ευχέρεια του επενδυτή να αποφασίσει ποιο έργο θα επιλέξει, αφού και τα δύο είναι πολύ αποδοτικά. Από οικονομική άποψη, το Έργο II έχει ένα μικρό πλεονέκτημα, αλλά, εφόσον η διαφορά του από το Έργο I δεν είναι τόσο μεγάλη, η τύχη του εκτελεσθέντος έργου θα καθοριστεί και από άλλους παράγοντες (που δεν αφορούν αυτήν την ανάλυση), όπως η αυτονομία του κάθε παραγωγού.

## 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην εργασία αυτή προτάθηκε μία ολοκληρωμένη μεθοδολογία οικονομικής αξιολόγησης συστημάτων θέρμανσης με βιομάζα. Συνοπτικά, η μεθοδολογία περιλαμβάνει τον υπολογισμό των θερμικών απαιτήσεων, τη διαστασιολόγηση του συστήματος βιομάζας, το σχεδιασμό του δικτύου διανομής και τον υπολογισμό των ετήσιων εξοικονομήσεων, σε σχέση με ένα σύστημα θέρμανσης που καταναλώνει συμβατικά καύσιμα. Εκτός από την αναλυτική καταγραφή όλων των δαπανών που συνοδεύουν την εγκατάσταση ενός συστήματος βιομάζας, η μεθοδολογία προσεγγίζει το έργο σαν μία επένδυση, της οποίας εξετάζει την απόδοση για όλη τη διάρκεια ζωής του έργου, λαμβάνοντας υπόψη μια σειρά χρηματοοικονομικών παραμέτρων και τη διαχρονική αξία του χρήματος. Η προτεινόμενη μεθοδολογία εφαρμόστηκε για την οικονομική αξιολόγηση δύο έργων θέρμανσης θερμοκηπίων στη Χαλκιδική. Από την ανάλυση προέκυψε ότι το σύστημα θέρμανσης με βιομάζα έχει πολύ υψηλό αρχικό κόστος σε σχέση με το σύστημα συμβατικού καυσίμου. Επίσης, η αντικατάσταση συμβατικών καυσίμων από βιομάζα είναι συμφέρουσα, όταν η βιομάζα μπορεί να προμηθευτεί με πολύ χαμηλό κόστος, ώστε οι μεγάλες αρχικές δαπάνες να αποσβεστούν από την εξοικονόμηση προμήθειας του συμβατικού καυσίμου. Η ανάλυση έδειξε ότι με το παρόν νομοθετικό πλαίσιο, που επιδοτεί τα έργα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας κατά τουλάχιστον 40% του αρχικού κόστους, η αντικατάσταση των συμβατικών συστημάτων θέρμανσης από συστήματα βιομάζας αποτελεί μία πολύ καλή επένδυση.

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Οι συγγραφείς επιθυμούν να ευχαριστήσουν την Επιτροπή Ερευνών του Πολυτεχνείου Κρήτης για τη χρημα-

τοδότηση του ερευνητικού έργου με τίτλο “Διερεύνηση Δυνατοτήτων Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας για Παροχή Ηλεκτρικής Ενέργειας σε Απομονωμένες Περιοχές”.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Χρήστος Μυρσίνης, “Δυνατότητες του αγροτικού τομέα και των ενεργειακών καλλιεργειών στην Ελλάδα”. Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, [www.cres.gr](http://www.cres.gr), accessed on 27 March 2005.
2. Δ. Ε. Κοδοσάκης, “Διαχείριση φυσικών πόρων και ενέργεια,” εκδ. Σταμούλης, Αθήνα, 1994, σελίδες 233-240.
3. ΚΑΠΕ, “Οδηγός τεχνολογιών ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ,” εκδ. ΚΑΠΕ, Αθήνα, Αύγουστος 2001.
4. Ε. Τσίγκας: “Αντλίες θερμότητας, εφαρμογές και συστήματα ανάκτησης θερμότητας,” **ΚΤΙΡΙΟ**, τ. 101, Δεκέμβριος 1997.
5. Τ. Κ. Παπακόστας, “Κεντρική θέρμανση και θερμό νερό χρήσης. Συνδυασμός λέβητα και αντλίας θερμότητας,” **ΚΤΙΡΙΟ**, τ. 119, Σεπτέμβριος 1999.
6. Ελληνικός Σύνδεσμος Συμπαρογωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας - ΕΣΣΗΘ, [www.hachp.gr](http://www.hachp.gr), accessed on 10 May 2005.
7. C. Pichl, W. Puwein, I. Obernberger, K. Steinigner, and H. Voraberger, “Renewables in the Austrian Economy – Economics Evaluation Exemplified for Biomass”, Study by the Austrian Institute of Economic Research (WIFO) on behalf of the Austrian Federal Economic Association (Bundswirtschaftskammer), Vienna, November 1999.
8. ETSU, “BIOSEM: A Socio-Economic Technique to Capture the Employment and Income Effects of Bioenergy Projects,” Manual for Version 2.0, Energy Technology Support Unit, Harwell/UK, November 1998. [www.etsu.com/biosem/](http://www.etsu.com/biosem/)
9. FEDARENE, “ELVIRE – Evaluation Guide for Renewable Energy Projects in Europe,” FEDARENE & Agence Régionale de l’Energie du Nord-Pas de Calais, 1996. [www.fedarene.org](http://www.fedarene.org)
10. ESD, “SAFIRE Methodology Report,” Report prepared for the Commission of the European Community, DG XII, by ESD Ltd., Corsham, UK, 1996. [www.esd.co.uk](http://www.esd.co.uk)
11. European Commission, “Externalities of Fuel Cycles ‘ExternE’ Project,” Reports 1-6, Directorate General XII (Science, Research and Development), Luxembourg (ISBN 92 827 5210 0; project funded under the JOULE Programme), 1995. <http://externe.jrc.eu>
12. ETSU, “INSPIRE (Integrated Spatial Potential for Renewables in Europe),” project funded by the Commission of the European Community under the JOULE Programme, 1998. [www.etsu.com/INSPIRE/](http://www.etsu.com/INSPIRE/)
13. P. Soldatos and V. Lychnaras, “Technical-Economic and Financial Analysis for Renewable Energy Chains: The Case of Bio-energy,” Paper presented at the 8th Conference on Environmental Science and Technology, 8th-10th of September 2003, Lemnos Island, Greece.
14. Agricultural University of Athens, “Models for the Economic Evaluation of Biomass Production as an Alternative Land Use in the European Community”, Final Report, Project No: AIR3-CT93-0985, 1996.
15. M. E. Walsh and D. Becker. “BIOCOST: A Software Program to Estimate the Cost of Producing Bioenergy Crops,” Proceedings, BIOENERGY ‘96 (The Seventh National Bioenergy Conference: Partnerships to Develop and Apply Biomass Technologies), September 1996. <http://bioenergy.ornl.gov/papers/misc/biocost.html>
16. S. Rozakis, P. G. Soldatos, L. Kalivroussis, and I. Nicolaou, “Multiple Criteria Decision-Making on Bio-Energy Projects: Evaluation of Bio-Electricity in Farsala Plain, Greece,” **Journal of Geographic Information and Decision Analysis**, vol. 5, no. 1, pp. 49-64, 2002.
17. IEA Bioenergy, “The Bioenergy Assessment Model (BEAM),” A report jointly prepared by Task XIII Integrated Bioenergy Systems and Task XII System Studies, IEA Bioenergy, March 1998. [www.ieabioenergy.com](http://www.ieabioenergy.com)
18. [www.bioheat.info](http://www.bioheat.info), accessed on 30 March 2005.
19. ERBE (Belgium), ECOSERVEIS (Spain), KAN ENERGI (Sweden), “BIOPRE II: Expert Software for Small Scale Wood Heating Systems,” ALTENER 4.1030/Z/98-364, 1998-2000.
20. [www.thegreenpowergroup.org/gpat](http://www.thegreenpowergroup.org/gpat), accessed on 28 March 2005.

21. A. Moore, "The Renewable Energy Crop Analysis Programme and ALTENER Programme," Paper presented at the Royal Agricultural Society of England Conference, 'Coppice - Looking Beyond Setaside', October 25, 1994.

22. NRCan, "Buyer's Guide to Small Commercial Biomass Combustion Systems," Natural Resources Canada's Renewable and Electrical Energy

Division, ISBN 0-662-28899-8, 2002.

23. K. Zopounidis, "Foundational Principles of Financial Management," University Notes, Technical University of Crete, 2000.

24. Κ. Κίττας, Π. Γιαγλάρας, Α. Κούτρα, "Θέρμανση θερμοκηπίων με βιομάζα στη Μαγνησία," **Πρακτικά 7<sup>ου</sup> Εθνικού Συνεδρίου Η.Μ.Ε.**, Πάτρα, 6-8 Νοεμβρίου 2002, Τόμος 2, σελίδες 169-176.

---

**Ηλίας Γουσγουριώτης,**

Διπλωματούχος Μηχανικός Παραγωγής και Διοίκησης

**Ιωάννης Α. Κατσόγιαννης,**

Διπλωματούχος Μηχανικός Παραγωγής και Διοίκησης, Υποψήφιος Διδάκτορας Πολυτεχνείου Κρήτης

**Παύλος Σ. Γεωργιλάκης,**

Δρ Ηλεκτρολόγος Μηχανικός, Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης, Πολυτεχνείο Κρήτης

*Extended summary*

# Economic Evaluation of Heating Energy Production from Biomass

**I. I. GOUSGOURIOTIS**

**Y. A. KATSIGIANNIS**

**P. S. GEORGILAKIS**

Department of Production Engineering and Management, Technical University of Crete

## *Abstract*

*This paper proposes a methodology for the evaluation of the economic viability of investment plans for biomass heating systems. The factors participating in the development and application of biomass heating systems, as well as the financial criteria used for the evaluation of the investment, are presented analytically. The methodology was applied to the economic evaluation of two greenhouse-heating projects in the area of Chalkidiki, northern Greece.*

## 1. INTRODUCTION

The new favourable conditions shaped during the last few years on both a European and a national level (new legislative framework, E.U. Support Frame for Energy, CO<sub>2</sub> emissions mitigation programme) have offered important prospects for the utilization of Renewable Energy Sources (RES) in Greece.

These prospects are reinforced by the ascertained existence of a rich potential, which enables support of an RES policy both flexible and continuable. An important aspect of RES with particularly interesting future prospects is that of biomass energy utilization, which can take many forms.

The most widespread energy use, and at the same time the one having the most important potential for expansion in the future, is the production of heating energy for the supply of either heating processes in the industrial sector or for heating of buildings.

In this paper, a methodology is proposed for evaluating investment plans pertaining to the installation of biomass heating systems.

This methodology examines a project from both the technical and economic aspects. The procedure includes calculation of the heating demands, capacity determination, district heating systems planning and the calculation of annual savings in relation to a conventional fuel heating system.

Apart from the analytical listing of all expenses accompanying a biomass system installation, the methodology approaches the project as an investment, examining its efficiency for the entire project life, taking under consideration a number of financial parameters and the time value of money.

The structure of the paper is as follows: the structure and components of a biomass heating system are described in Section 2, while the model of economic evaluation of such an installation is presented in Section 3. In Section 4, the model is applied to the evaluation of two greenhouse-heating projects in Chalkidiki. In Section 5, conclusions are drawn.

## 2. BIOMASS HEATING SYSTEMS

Biomass heating systems burn plant or other organic matter - such as wood chips, agricultural residues or even municipal waste - to generate heat.

This heat can be transported and used wherever it is needed - for the ventilation and space heating requirements of buildings or whole communities, or for industrial processes. Biomass heating systems differ from conventional wood-burning stoves and fireplaces in that they typically control the mix of air and fuel in order to maximize efficiency and minimize emissions, and they include a heat distribution system to transport heat from the site of combustion to the heat load. Many biomass heating systems incorporate a sophisticated automatic fuel handling system.

Biomass heating systems consist of a number of elements, including a heating plant, which typically includes an automated biomass combustion system and a peak load and back-up heating system, a heat distribution system, and a biomass fuel supply operation. The system can also include a waste heat recovery system from a process or electricity generation unit.

### 3. BIOMASS HEATING ECONOMIC EVALUATION MODEL

The evaluation of the biomass heating project was carried out in comparison to an existing or a potential heating system using fossil fuel or electricity produced by fossil fuel.

To realize the evaluation, a series of technical elements and economic figures are necessary, based on which we shall determine whether the installation of a biomass heating system instead of a conventional fuel system is financially beneficial.

In the first stage, we study the technological aspect of the investment, where the existing conventional system is analysed and the alternative one is designed so that it fulfils energy supply requirements. Then, after appraising the costs and benefits of each system, a series of economic indexes is calculated, based on which the investment's efficiency is assessed.

The main input data required are listed below:

1. *Site conditions data* (heating design temperature, monthly heating degree days below 18°C, heated floor area, heating load) are used to estimate the heating energy demand and the peak heating load.
2. *Conventional heating system characteristics* (heating fuel type, heating system seasonal efficiency, unit cost of fuel) are used to estimate the fuel cost of the existing heating system.
3. *Renewable energy system's characteristics* (system type, system capacity, system efficiency, moisture content of biomass) are used to estimate the percentage of the annual heating energy demand and the percentage of the peak heating load that can be supplied by the renewable energy heating system.
4. *Initial, annual, periodic costs (or credits)*. The most significant initial costs of a project concern costs for purchase and installation of the renewable energy equipment. The annual costs associated with the operation of a biomass heating system include costs for biomass fuel, peak load fuel oil and parasitic electricity consumption. Periodic cost represents recurrent costs that must be incurred at regular intervals to maintain the project in working condition.
5. *Financial parameters* (energy cost escalation rate, inflation, discount rate, project life, debt ratio/debt interest rate/debt term, income tax analysis) are used to evaluate the financial viability of the biomass project under alternative financing scenarios.

The economic evaluation of the biomass heating project is carried out based on five financial criteria:

1. Internal rate of return;
2. Net present value;
3. Year-to-positive cash flow;
4. Simple payback; and
5. Profitability index.

### 4. APPLICATION OF THE ECONOMIC EVALUATION MODEL

#### 4.1 Development and structure of the study

The model was applied for the economic evaluation of two greenhouse-heating projects, in the prefecture of Chalkidiki.

The first application concerned the installation of a 900kW biomass combustion unit, to heat a five-acre tomato production greenhouse.

The second application examined the installation of a 2MW biomass combustion unit, to concurrently heat two adjacent tomato production greenhouses with a total area of 11 acres.

In the beginning, both projects were developed in common, and their characteristics and data were presented in parallel. After calculating the heating demands of each project (Table 2), based on the climatological constants of the area and the heating loads of the greenhouses, the biomass systems capacity were sized (Table 1). Then, based on system efficiencies (conventional/alternative) and the heating values of the fuels in use (diesel/biomass), the annual consumption of each heating system was calculated (Table 2). The initial and annual costs for the realisation and operation of both projects, are presented in Table 3

The financial consideration for each project was conducted separately. The values of the parameters presented in Table 5 were of the Basic Scenario for each project. Then a sensitivity analysis for the values of the Basic Scenario (for each project) was conducted, while two alternative financing scenarios were examined (Table 4).

#### 4.2 Project I – 900kW biomass heating system

To meet the annual heating demands of the 5 acre greenhouse, a 900kW wood chips biomass system was considered. The cost for purchasing and installing such a system is €175,500.00. The system delivers annually 1,519 MWh of heating energy, requiring 746 tonnes of biomass fuel.

Table 6 presents the results of the financial analysis for the three financing scenarios examined in the study of the project. Based on all evaluation criteria, the project was deemed profitable for all possible financial scenarios examined. From the sensitivity analysis it emerged that the factors exerting a decisive influence on the project's efficiency were the project's initial cost, the biomass unit cost and the project life duration. The critical values for biomass unit cost (the maximum values for which the investment is deemed profitable in each scenario) appear in Table 7.



### 4.3 Project II – 2MW biomass heating system

A 2MW wood chips biomass heating system was considered for the 11 acre greenhouses. The system delivers annually 3,342 MWh of heating energy and requires 1,641 tonnes of biomass fuel. The cost for purchasing and installing that system is €350,000.00.

The results of the economic evaluation for each of the three financing schemes for project II are illustrated in Table 9. Based on all evaluation criteria, that project was also deemed profitable for all possible financial scenarios examined. In this case as well, the most critical parameters influencing the profitability of the project were the project's initial cost, the biomass unit cost, and the project's life duration. The critical values for biomass unit cost appear in Table 10.

## 5. CONCLUSIONS

This paper proposes a methodology for evaluating investment plans for installing solid biomass combustion

heating systems. The methodology takes under consideration all the parameters involved in the planning and application of biomass heating systems, from both a technical and a financial perspective. By applying the methodology to the study of a pragmatic, and in accordance with Greek reality, investment plan, we have endeavoured to pinpoint those factors that have the most determining influence on the technical feasibility and economic viability of biomass heating system investments.

Within the present legislative framework that provides subsidies to Renewable Energy Resources projects for at least 40% of the initial cost, replacing conventional heating systems with biomass systems constitutes a very good investment. The great initial cost of biomass combustion systems and their complementary equipment is paid off in less than three years by saving on the cost of purchasing conventional fuel. An important factor is the price of biomass when it is not a product of the greenhouse itself. The projects examined in this study are a characteristic case of Greek reality regarding greenhouse heating. Both projects can be highly efficient under the condition that the cost of biomass can be secured at a certain level for a long time.

---

**Ilias I. Gousgouriotis,**

MSc Student, Department of System Engineering and Management, Democritus University of Thrace, 671 00 Xanthi

**Yiannis A. Katsigiannis,**

PhD Student, Department of Production Engineering and Management, Technical University of Crete, 731 00 Chania

**Pavlos S. Georgilakis,**

Assistant Professor, Department of Production Engineering and Management, Technical University of Crete, 731 00 Chania