

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΥΒΡΙΔΙΚΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ-ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΣΥΣΚΕΥΩΝ

Σωτήρης Καλογήρου¹ και Γιάννης Τρυπαναγνωστόπουλος²

¹Ανώτερο Τεχνολογικό Ινστιτούτο, τ.κ. 20423, Λευκωσία 2152, Κύπρος
Τηλ: +357 22 406466, Φαξ: +357 22 406480, e-mail: skalogir@spidernet.com.cy

²Τμήμα Φυσικής, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα 26500, Ελλάδα
Τηλ/Φαξ: +30 2610 997472, e-mail: yiantrip@physics.upatras.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία παρουσιάζονται εφαρμογές των υβριδικών φωτοβολταϊκών/θερμικών (φβ/θ) συστημάτων που περιλαμβάνουν εφαρμογές σε σπίτια, σε μεγαλύτερες εγκαταστάσεις (πολυκατοικίες ή συγκροτήματα γραφείων) και στην βιομηχανία. Στον οικιακό τομέα διερευνώνται συστήματα φυσικής (θερμοσιφωνικά) και βεβιασμένης κυκλοφορίας ενώ στις μεγαλύτερες εγκαταστάσεις όλα τα συστήματα είναι βεβιασμένης κυκλοφορίας. Οι ληφθείσες περιπτώσεις αναλύθηκαν με το πρόγραμμα TRNSYS για τις καιρικές συνθήκες δύο περιοχών, της Λευκωσίας και της Αθήνας, και διερευνήθηκε η χρήση φβ πλαισίων πολυκρυσταλλικού και άμορφου πυριτίου, θεωρώντας ότι σε κάθε περίπτωση συσκευής χρησιμοποιείται νερό για την απομάκρυνση της θερμότητας. Το μέγεθος των συστημάτων που διερευνήθηκαν είναι για τις μικρές οικιακές μονάδες, 4 m² συλλέκτες με 160 λίτρα δεξαμενή αποθήκευσης ζεστού νερού, για τις μεγαλύτερες εγκαταστάσεις 40 m² συλλεκτών και 1500 λίτρα δεξαμενή και για την βιομηχανική εφαρμογή 300 m² συλλέκτες με 10 m³ δεξαμενή. Γενικά, τόσο στον οικιακό τομέα η ανάγκη για ηλεκτρική ενέργεια και για ζεστό νερό όσο και στις βιομηχανίες, που έχουν υψηλή ενεργειακή απαίτηση ηλεκτρισμού και θερμότητας, τα υβριδικά φβ/θ συστήματα μπορούν να καλύψουν μέρος αυτών των απαιτήσεων. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η ηλεκτρική απόδοση των συστημάτων που χρησιμοποιούν πολυκρυσταλλικό πυρίτιο είναι μεγαλύτερη από αυτά που χρησιμοποιούν άμορφο πυρίτιο, όμως η θερμική συνεισφορά τους είναι ελαφρώς μικρότερη. Επίσης, τα υβριδικά φβ/θ συστήματα έχουν καλύτερα οικονομικά οφέλη από τα τυπικά φβ, ενώ οι συσκευές με άμορφο πυρίτιο, αν και λιγότερο αποδοτικές στην παραγωγή ηλεκτρισμού από τις συσκευές με πολυκρυσταλλικό πυρίτιο, έχουν καλύτερα οικονομικά αποτελέσματα λόγω του μικρότερου αρχικού κόστους, δηλαδή έχουν καλύτερο λόγο κόστους/οφέλους.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα φωτοβολταϊκά (φβ) μετατρέπουν ένα μικρό ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρισμό (5% -15%, ανάλογα του τύπου φβ) ενώ το μεγαλύτερο ποσοστό της (70%-80%) μετατρέπεται σε θερμότητα, αυξάνοντας έτσι την θερμοκρασία τους. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού, ενδιαφέρον παρουσιάζει η εφαρμογή των υβριδικών φωτοβολταϊκών/θερμικών (φβ/θ) ηλιακών συσκευών, με τις οποίες επιτυγχάνεται μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρισμό και θερμότητα, ενώ είναι δυνατή η διατήρηση σχετικά χαμηλής θερμοκρασίας του φβ για επίτευξη ικανοποιητικής ηλεκτρικής απόδοσης. Στις συσκευές αυτές, αέρας ή νερό κυκλοφορεί σε θερμική επαφή με το φωτοβολταϊκό παράγοντας θερμότητα απ' αυτό. Όταν γίνεται χρήση αέρα, η επαφή με τα φβ πλαίσια είναι άμεση, ενώ στη χρήση υγρών η επαφή είναι έμμεση μέσω εναλλάκτη θερμότητας. Οι συσκευές αυτές δεν έχουν ακόμη αναπτυχθεί αρκετά σε διεθνή κλίμακα υπό μορφή εμπορικών μοντέλων και οι μέχρι τώρα εφαρμογές τους είναι κυρίως πιλοτικές και πιο πολύ για υβριδικά φβ/θ αέρα στις προσόψεις κτιρίων.

Τα υβριδικά φβ/θ συστήματα είναι κατάλληλα για εγκατάσταση σε κτίρια που έχουν ανάγκη σε ηλεκτρισμό και σε θερμότητα, όπως κατοικίες, πολυκατοικίες, ξενοδοχεία, νοσοκομεία, αθλητικά κέντρα και βιομηχανίες. Μπορούν να τοποθετηθούν στην πρόσοψη και την οριζόντια ή επικλινή οροφή των κτιρίων - αντί ξεχωριστών συσκευών φωτοβολταϊκών και θερμικών ηλιακών συλλεκτών - εξασφαλίζοντας με τον τρόπο αυτό ομοιομορφία ως προς τις χρησιμοποιούμενες ηλιακές συσκευές και καλύτερη αξιοποίηση της διαθέσιμης επιφάνειας. Οι υβριδικές φβ/θ συσκευές παρέχουν ποσότητα θερμότητας επιπλέον της ηλεκτρικής ενέργειας και κατά συνέπεια έχουν μεγαλύτερη ολική αποδιδόμενη ενέργεια σε σχέση με τα απλά φβ πλαίσια έτσι μπορεί να καταστούν οικονομικά αποδοτικές αν το κόστος της πρόσθετης θερμικής μονάδας είναι σχετικά μικρό. Παρά τα διαφαινόμενα πλεονεκτήματα ελάχιστες εμπορικές φβ/θ συσκευές έχουν χρησιμοποιηθεί μέχρι τώρα [1]. Η ερευνητική δραστηριότητα στα υβριδικά φβ/θ περιλαμβάνει θεωρητικές και πειραματικές μελέτες που ξεκίνησαν πριν από 30 χρόνια [2-8]. Με σκοπό την βελτίωση της συνολικής ενεργειακής απόδοσης των φβ/θ μελετώνται στο Τμήμα Φυσικής του Πανεπιστημίου Πατρών συστήματα για θέρμανση νερού ή αέρα [9], τα οποία εξετάζονται και με την μέθοδο Ανάλυσης Κύκλου Ζωής (LCA) [10,11]. Στο ΑΤΙ Κύπρου έχουν μελετηθεί πολλές εφαρμογές συστημάτων αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας και ειδικά στα υβριδικά φβ/θ συστήματα έχει αναλυθεί με τη μέθοδο TRNSYS μια διάταξη για οικιακές εφαρμογές [12].

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται η εφαρμογή υβριδικών φβ/θ συστημάτων νερού με πολυκρυσταλλικό (pc-Si) και άμορφο πυρίτιο (a-Si) σε σπίτια, σε μεγαλύτερες εγκαταστάσεις (πολυκατοικίες ή συγκροτήματα γραφείων) και στην βιομηχανία. Στον οικιακό τομέα διερευνώνται συστήματα φυσικής (θερμοσιφωνικά) και βεβιασμένης κυκλοφορίας ενώ στις μεγαλύτερες εγκαταστάσεις όλα τα συστήματα είναι βεβιασμένης κυκλοφορίας. Οι ληφθείσες περιπτώσεις βασίζονται στις αποδόσεις πειραματικών μοντέλων [9] και αναλύθηκαν με το πρόγραμμα TRNSYS για τις καιρικές συνθήκες της Λευκωσίας και της Αθήνας. Ο σκοπός της μελέτης αυτής είναι να προσδιοριστεί το ενεργειακό και οικονομικό όφελος από τη χρήση των συσκευών αυτών, προσβλέποντας στη χρήση των ενιαίων αυτών συσκευών αντί των ξεχωριστών συσκευών των συνήθων τυπικών φωτοβολταϊκών πλαισίων και θερμικών ηλιακών συσκευών.

2. ΥΒΡΙΔΙΚΕΣ ΦΒ/Θ ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΝΕΡΟΥ

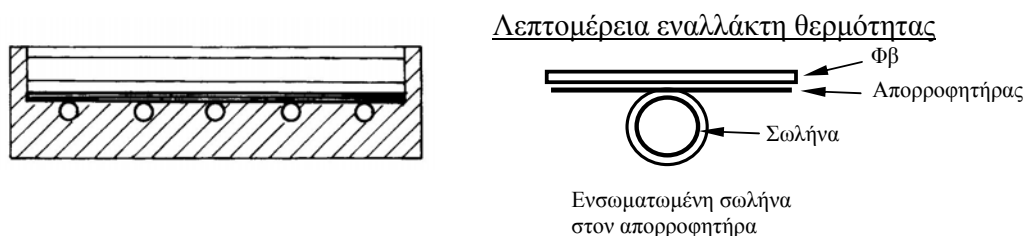
Στην πειραματική μελέτη που γίνεται στο Τμήμα Φυσικής του Πανεπιστημίου Πατρών χρησιμοποιούνται εμπορικά φβ πλαίσια pc-Si και a-Si, στα οποία προστίθεται κατάλληλα στο πίσω μέρος τους εναλλάκτης νερού από μεταλλική πλάκα χαλκού με σωλήνες και οι συσκευές προστατεύονται θερμικά με γυάλινη πλάκα από τη φωτιζόμενη πλευρά και θερμομόνωση από την πίσω πλευρά και τα άκρα. Οι συσκευές μπορεί να είναι μικρού μεγέθους, όπως οι γνωστές θερμοσιφωνικές συσκευές επίπεδων συλλεκτών για θέρμανση νερού οικιακής χρήσης, ή μεσαίου και μεγάλου μεγέθους με ξεχωριστή δεξαμενή και σύστημα βεβιασμένης κυκλοφορίας του νερού. Η εγκατάσταση των φβ/θ συσκευών σε παράλληλες σειρές στις οριζόντιες οροφές των κτιρίων είναι η καλύτερη αξιοποίηση της διαθέσιμης επιφάνειας σε πολλά κτίρια στην Ελλάδα και την Κύπρο (πολυκατοικίες, κτίρια γραφείων, ξενοδοχεία, βιομηχανικά κτίρια) και με τον τρόπο αυτό μπορεί να επιτευχθεί σημαντική κάλυψη των αναγκών σε θερμότητα και ηλεκτρισμό.

Στην Ελλάδα και στην Κύπρο τα τελευταία 30 χρόνια έχει αναπτυχθεί μια σημαντική αγορά θερμοσιφωνικών συσκευών θέρμανσης νερού, που είναι συνήθως 1.8 έως 4.0 m² συλλεκτική επιφάνεια και δοχείο αποθήκευσης θερμού νερού 120 έως 250 λίτρα. Από την άλλη πλευρά, η εφαρμογή των φωτοβολταϊκών είναι πολύ μικρή και στις δύο χώρες (Ελλάδα ~3.5 MW και

Κύπρος ~2.5 MW). Η προοπτική εφαρμογής των υβριδικών φβ/θ συσκευών θα έχει θετική συμβολή στην ευρύτερη αγορά των φβ και θα είναι πιθανόν ένας άλλος τρόπος για διεύρυνση της αξιοποίησής τους με το να χρησιμοποιηθούν μέσω των υβριδικών φβ/θ συσκευών. Έτσι εκτιμάται ότι τα φβ/θ συστήματα είναι μια ευκαιρία για την ευρύτερη διάδοση των φβ, όπου μια λίγο μεγαλύτερη επιφάνεια φβ θα δώσει την ίδια σχεδόν ποσότητα θερμού νερού που προέρχεται από μια τυπική θερμική ηλιακή συσκευή. Στις περιπτώσεις εγκατάστασης των υβριδικών φβ/θ συσκευών στην πρόσοψη κτιρίων η ενιαία όψη πλεονεκτεί των ξεχωριστών συσκευών από θερμικούς συλλέκτες και φωτοβολταϊκά και η αποφυγή υπερθέρμανσης του κτιρίου το καλοκαίρι είναι μια σημαντική συμβολή στην μείωση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Βέβαια, στο βαθμό που μπορεί να υπάρξει τεχνολογική βελτίωση με μείωση του κόστους οι φβ/θ συσκευές αναμένεται να είναι πιο ελκυστικές. Όμως περισσότερη έρευνα είναι αναγκαία για την επίτευξη των βελτιώσεων αυτών.

3. ΜΕΛΕΤΗ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΦΒ/Θ ΣΥΣΚΕΥΩΝ ΜΕ TRNSYS

Όσον αφορά την εξαγωγή θερμότητας με νερό, αυτό μπορεί να κυκλοφορεί μέσα από σωλήνες που είναι σε επαφή με μια επίπεδη λαμαρίνα, η οποία είναι σε επαφή με την πίσω μεριά του φβ όπως φαίνεται στην Εικόνα 1. Η επιπρόσθετη θερμική προστασία αυξάνει την θερμική απόδοση του συστήματος, αλλά διατηρεί το φβ σε υψηλότερη θερμοκρασία κι έτσι λειτουργεί με χαμηλότερη ηλεκτρική απόδοση. Για να αυξηθεί η θερμοκρασία λειτουργίας του συστήματος χρησιμοποιείται επιπρόσθετο τζάμι, το οποίο όμως μειώνει την ηλεκτρική απολαβή διότι ποσότητα ηλιακής ακτινοβολίας απορροφάται και ανακλάται ανάλογα με την γωνία πρόσπτωσης. [13].



Εικόνα 1: Υβριδικός φβ/θ επίπεδος συλλέκτης και λεπτομέρεια εναλλάκτη θερμότητας

Στα φβ/θ συστήματα ο συλλέκτης πρέπει να ενώνεται ηλεκτρολογικά στην παροχή (για συστήματα ενωμένα με το δίκτυο) και υδραυλικά με τη δεξαμενή ζεστού νερού. Πρέπει εδώ να τονιστεί ότι τα συστήματα αυτά συμπληρώνονται με διάφορες άλλες συσκευές, όπως είναι ο inverter και άλλα, κι έτσι η τελική ενεργειακή απολαβή μειώνεται κατά 15% περίπου [13].

Η μελέτη των συστημάτων φβ/θ περιλαμβάνει τον προσδιορισμό της ηλεκτρικής (η_{el}) και της θερμικής απόδοσης (η_{th}). Η θερμική απόδοση προσδιορίζεται ως συνάρτηση του λόγου $\Delta T/G$ (όπου ΔT η διαφορά θερμοκρασίας εισόδου του νερού με τη θερμοκρασία περιβάλλοντος και G η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία) και από σειρά μετρήσεων που γίνονται σε εξωτερικό περιβάλλον, κάτω από ικανοποιητική ηλιοφάνεια. Η ηλεκτρική απόδοση προσδιορίζεται ως συνάρτηση της πραγματικής θερμοκρασίας του φβ ($T_{PV})_{eff}$ [13]. Τα αποτελέσματα για τα δύο πλαίσια που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτή τη μελέτη έχουν ως εξής [13]:

Για pc-Si/θ:

$$\eta_{th} = 0.71 - 9.04 (\Delta T/G)$$

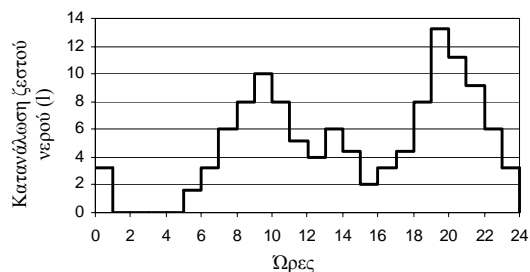
$$\eta_{el} = 0.1457 - 0.00094 (T_{PV})_{eff}$$

Για a-Si/θ:

$$\eta_{th} = 0.75 - 8.83 (\Delta T/G)$$

$$\eta_{el} = 0.0485 - 0.00011 (T_{PV})_{eff}$$

Οι πιο πάνω αποδόσεις χρησιμοποιήθηκαν με το πολύ γνωστό πρόγραμμα TRNSYS για τον προσδιορισμό την μακρόχρονης απόδοσης των συστημάτων τόσο σε ηλεκτρισμό όσο και σε θερμική ενέργεια. Όλα τα συστήματα προσομοιώθηκαν για δύο περιοχές, τη Λευκωσία (35° γεωγραφικό πλάτος) και την Αθήνα (38° γεωγραφικό πλάτος). Για της προσομοιώσεις αυτές απαιτούνται μετεωρολογικά δεδομένα που είναι διαθέσιμα στη μορφή του τυπικού μετεωρολογικού έτους. Για τα συστήματα θέρμανσης νερού απαιτείται επίσης ο προσδιορισμός της κατανάλωσης ζεστού νερού ο οποίος φαίνεται στην Εικόνα 2. Για οικογένειες 4 ατόμων η συνολική κατανάλωση είναι 120 λίτρα την ημέρα.



Εικόνα 2: Προφίλ κατανάλωσης ζεστού νερού

Τα χαρακτηριστικά των τριών συστημάτων που παρουσιάζονται στη μελέτη αυτή φαίνονται στους Πίνακες 1, 2 και 3.

Πίνακας 1: Χαρακτηριστικά του θερμοσιφωνικού συστήματος	
Παράμετρος	Προδιαγραφή
Εμβαδόν συλλεκτών	4 m ²
Κλίση συλλεκτών	Γεωγραφικό πλάτος + 5°
Χωρητικότητα δεξαμενής	160 l
Εφεδρική ισχύς	3 kW
Κατανάλωση ζεστού νερού	120 l (4 άτομα)

Πίνακας 2: Χαρακτηριστικά του μεγάλου συστήματος θέρμανσης νερού	
Παράμετρος	Προδιαγραφή
Εμβαδόν συλλεκτών	40 m ²
Κλίση συλλεκτών	Γεωγραφικό πλάτος + 5°
Χωρητικότητα δεξαμενής	1500 l
Εφεδρική ισχύς	10 kW
Κατανάλωση ζεστού νερού	1200 l (40 άτομα)

Πίνακας 3: Χαρακτηριστικά συστήματος για βιομηχανία	
Παράμετρος	Τιμή/Είδος
Θερμοκρασία φορτίου	60°C
Ροή φορτίου	1000 kg/hr
Τρόπος χρήσης	5 ημέρες την εβδομάδα, ώρες 8.00-16.00 κάθε μέρα, χρήση τα πρώτα $\frac{3}{4}$ κάθε ώρας
Απόσταση συλλεκτών από δεξαμενή	30m
Τιμή UA των σωλήνων	20 W/°C
Θερμοκρασία βαλβίδας ανακούφισης	100°C
Χωρητικότητα δεξαμενής αποθήκευσης	10m ³
Εμβαδόν συλλεκτών	300m ²
Κλίση συλλεκτών	Γεωγραφικό πλάτος + 5°

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Τα ετήσια αποτελέσματα για τα τρία συστήματα που μελετήθηκαν φαίνονται στους Πίνακες 4, 5 και 6. Στους πίνακες αυτούς, Q_u είναι η ωφέλιμη θερμική ενέργεια, Q_{aux} είναι η εφεδρική ενέργεια, f είναι η συνεισφορά του ηλιακού συστήματος ως προς την απαίτηση σε ζεστό νερό, $P_{el-φβ/θ}$ είναι η απολαβή ηλεκτρικής ενέργειας του υβριδικού συστήματος, $P_{el-φβ}$ είναι η απολαβή ηλεκτρικής ενέργειας του συμβατικού φβ συστήματος και $P_{el-α}$ είναι η ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται για την αντλία του ηλιακού συστήματος. Σε όλες τις περιπτώσεις η ηλεκτρική ενέργεια μειώθηκε κατά 15% για να ληφθεί υπόψη η απόδοση των εφεδρικών συσκευών (inverter).

Πίνακας 4: Ετήσια απόδοση θερμοσιφωνικού συστήματος							
Τοποθεσία	Είδος	Q_u (MJ)	Q_{aux} (MJ)	F (%)	$P_{el-φβ/θ}$ (kWh)	$P_{el-φβ}$ (kWh)	% διαφορά ηλεκτρικής ενέργειας
Λευκωσία	pc-Si	5741	1736	68.6	532.1	843.2	63.1
	a-Si	6083	1516	72.6	257.6	353.6	72.9
Αθήνα	pc-Si	5047	2410	56.4	515.1	827.1	62.3
	a-Si	5370	2208	60.1	249.1	343.4	72.5

Πίνακας 5: Ετήσια απόδοση μεγάλου συστήματος θέρμανσης νερού								
Τοποθεσία	Είδος	Q_u (MJ)	Q_{aux} (MJ)	f (%)	$P_{el-φβ/θ}$ (kWh)	$P_{el-φβ}$ (kWh)	$P_{el-α}$ (kWh)	% διαφορά ηλεκτρικής ενέργειας
Λευκωσία	pc-Si	52310	8785	84.1	5640.1	8431.5	379.8	62.4
	a-Si	54540	7163	87.1	2611.4	3539.3	384.5	62.9
Αθήνα	pc-Si	46480	14470	73.8	5502.3	8271.0	369.8	62.1
	a-Si	48970	13020	76.5	2531.1	3435.4	376.8	62.7

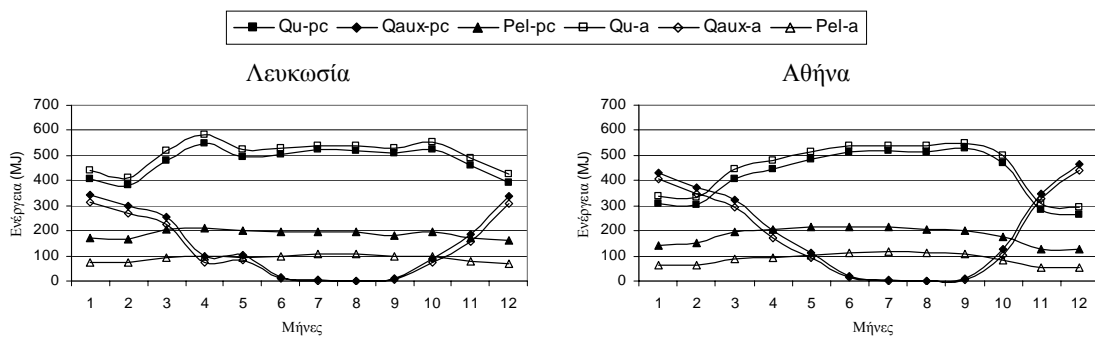
Πίνακας 6: Ετήσια απόδοση βιομηχανικού συστήματος σε θερμοκρασία λειτουργίας 60°C								
Τοποθεσία	Είδος	Q_u (GJ)	Q_{aux} (GJ)	f (%)	$P_{el-φβ/θ}$ (kWh)	$P_{el-φβ}$ (kWh)	$P_{el-α}$ (kWh)	% διαφορά ηλεκτρικής ενέργειας
Λευκωσία	pc-Si	792.5	888.1	39.7	46059	63227	11.73	72.8
	a-Si	845.9	849.5	42.3	20141	26613	11.99	75.6
Αθήνα	pc-Si	708.2	961.1	34.7	44670	62061	11.24	72.0
	a-Si	759.8	923.7	37.2	19446	25780	11.55	75.4

Σημείωση: $Q_{load}=1473GJ$

Όπως φαίνεται στους πιο πάνω πίνακες, σε όλες τις περιπτώσεις τα υβριδικά συστήματα πετυχαίνουν αύξηση της συνολικής ενεργειακής απολαβής. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα υβριδικά συστήματα χρησιμοποιούν την παραγόμενη θερμική ενέργεια, η οποία χάνεται στην ατμόσφαιρα στα συμβατικά φβ. Εντούτοις, η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια των υβριδικών είναι κάπως χαμηλότερη από τα συμβατικά φβ, λόγω των οπτικών απωλειών (γυάλινο κάλυμμα) και της λειτουργίας της συσκευής σε ελαφρώς ψηλότερες θερμοκρασίες. Αυτό φαίνεται στην τελευταία στήλη των πιο πάνω πινάκων ως ποσοστιαία διαφορά των δύο περιπτώσεων.

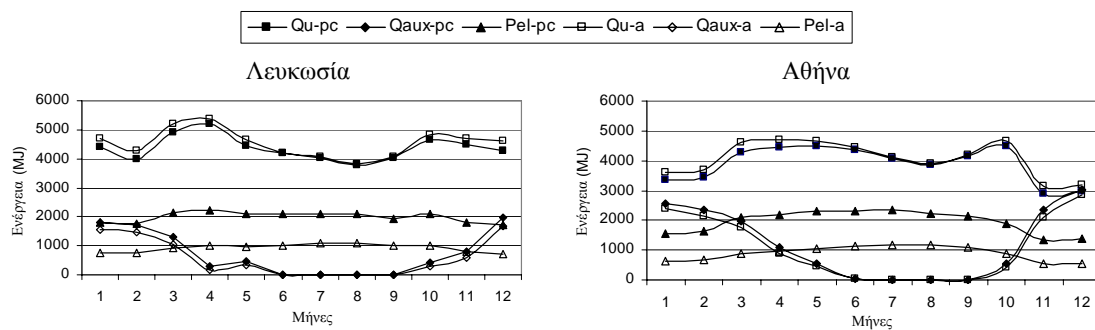
Τα φβ pc-Si δίνουν περισσότερη ενέργεια από αυτά που είναι κατασκευασμένα από a-Si, εντούτοις τα τελευταία δίνουν περισσότερη θερμική ενέργεια κι έτσι έχουν περισσότερη συνεισφορά στο ζέσταμα του νερού. Η συνεισφορά καθορίζει το ποσοστό της ενέργειας που χρειάζεται για να παραχθεί η συνολική ποσότητα ζεστού νερού που καλύπτεται από την ηλιακή ενέργεια.

Η μηνιαία απόδοση των τριών συστημάτων φαίνεται στις Εικόνες 3, 4 και 5. Όπως φαίνεται, σε μηνιαία βάση τα pc-Si παράγουν μεγαλύτερη ηλεκτρική ενέργεια (P_{el}) από τα αντίστοιχα a-Si. Αυτό οφείλεται στην ψηλότερη απόδοση των φβ pc-Si. Τα φβ a-Si δίνουν περισσότερη ωφέλιμη θερμική ενέργεια (Q_u) και στις δύο περιοχές που λήφθηκαν υπόψη. Και τα δύο είδη φβ καλύπτουν πλήρως τη ζήτηση ζεστού νερού κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, όπως παρουσιάζεται από τη μηδενική ή την πολύ μικρή απαίτηση σε εφεδρική ενέργεια (Q_{aux}). Όλα τα συστήματα παρουσιάζουν σημαντική συνεισφορά σε θερμική ενέργεια και καλή ηλεκτρική απόδοση καθ' όλη την διάρκεια του έτους.

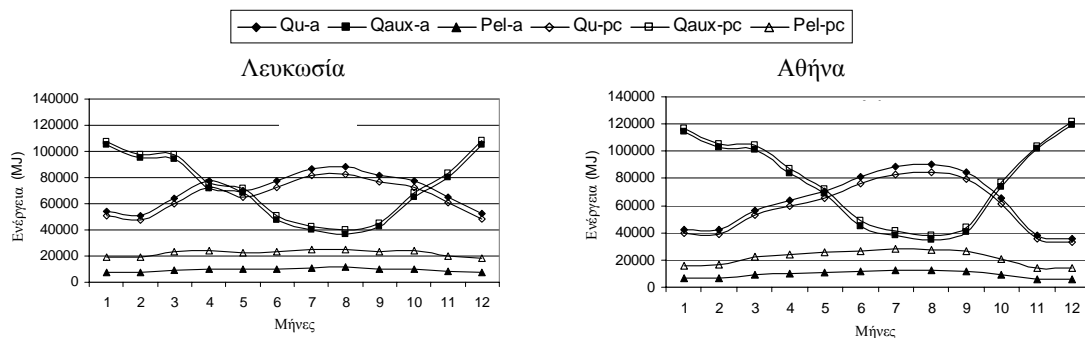


Εικόνα 3: Μηνιαία απόδοση θερμοσιφωνικού συστήματος

Τέλος, η οικονομική ανάλυση των διαφόρων συστημάτων φαίνεται στους Πίνακες 7-9. Όπως φαίνεται, τα υβριδικά συστήματα δίνουν περισσότερη επιστροφή χρημάτων (LCS) στο τέλος της ζωής τους απ' ό,τι τα συμβατικά, ενώ οι συσκευές με άμορφο πυρίτιο, αν και λιγότερο αποδοτικές στην παραγωγή ηλεκτρισμού από τις συσκευές με πολυκρυσταλλικό πυρίτιο, έχουν καλύτερα οικονομικά αποτελέσματα λόγω του μικρότερου αρχικού κόστους, δηλαδή έχουν καλύτερο λόγο κόστους/οφέλους. Σε όλους τους πίνακες, FYFS είναι η εξοικονόμηση χρημάτων κατά τον πρώτο χρόνο σε συμβατική ενέργεια, FYFS-e είναι η τιμή του ηλεκτρισμού που αντικαταστήθηκε κατά τον πρώτο χρόνο και FYFS-t είναι η τιμή του καυσίμου που αντικαταστήθηκε κατά τον πρώτο χρόνο.



Εικόνα 4: Μηνιαία απόδοση μεγάλου συστήματος θέρμανσης νερού



Εικόνα 5: Μηνιαία απόδοση βιομηχανικού συστήματος σε θερμοκρασία λειτουργίας 60°C

Τοποθεσία	Είδος	Συμβατικά φβ		Υβριδικά φβ/θ				
		FYFS-e ηλεκτρισμός	LCS	FYFS –e ηλεκτρισμός	FYFS-t καύσιμο	LCS	FYFS-t ηλεκτρισμός	LCS
Λευκωσία	pc-Si	84.3	-1070.0	53.2	71.3	-1105.0	105.3	-223.3
	a-Si	35.3	-1118.3	25.8	75.5	-513.3	111.5	421.7
Αθήνα	pc-Si	82.7	-1111.7	51.5	58.7	-1476.7	86.7	-750.0
	a-Si	34.3	-1145.0	25.0	62.3	-876.7	92.3	-96.7

Σημείωση: Όλες οι τιμές είναι σε Ευρώ

Τοποθεσία	Είδος	Συμβατικά φβ		Υβριδικά φβ/θ		
		FYFS-e ηλεκτρισμός	LCS	FYFS –e ηλεκτρισμός	FYFS-t καύσιμο	LCS
Λευκωσία	pc-Si	843.2	-6623.3	526.0	874.0	-2346.7
	a-Si	354.0	-7106.7	222.7	904.5	2791.7
Αθήνα	pc-Si	827.2	-7041.7	513.3	767.3	-5450.0
	a-Si	343.5	-7376.7	215.5	794.5	-253.3

Σημείωση: Όλες οι τιμές είναι σε Ευρώ και όλα τα συστήματα είναι βεβιασμένου τύπου

Τοποθεσία	Είδος	Συμβατικά φβ		Υβριδικά φβ/θ		
		FYFS-e (ηλεκτρισμός)	LCS	FYFS –e (ηλεκτρισμός)	FYFS-t (καύσιμο)	LCS
Λευκωσία	pc-Si	6323	-49707	4607	10772	92130
	a-Si	2662	-53127	2015	11492	135200
Αθήνα	pc-Si	6207	-52735	4467	9408	53027
	a-Si	2578	-55290	1945	10105	97370

Σημείωση: Όλες οι τιμές είναι σε Ευρώ

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην εργασία παρουσιάζονται εφαρμογές των υβριδικών φωτοβολταϊκών/θερμικών (φβ/θ) συστημάτων που περιλαμβάνουν εφαρμογές σε σπίτια, σε μεγαλύτερες εγκαταστάσεις (πολυκατοικίες ή συγκροτήματα γραφείων) και στην βιομηχανία. Οι ληφθείσες περιπτώσεις αναλύθηκαν με το πρόγραμμα TRNSYS για τις καιρικές συνθήκες δύο περιοχών, της Λευκωσίας και της Αθήνας, και διερευνήθηκε η χρήση φβ πλαισίων πολύκρυσταλλικού και

άμορφου πυριτίου, θεωρώντας ότι σε κάθε περίπτωση συσκευής χρησιμοποιείται νερό για την απομάκρυνση της θερμότητας. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η ηλεκτρική απόδοση των συστημάτων που χρησιμοποιούν πολυκρυσταλλικό πυρίτιο είναι μεγαλύτερη από αυτά που χρησιμοποιούν άμορφο πυρίτιο, όμως η θερμική συνεισφορά τους είναι ελαφρώς μικρότερη. Επίσης, τα υβριδικά φβ/θ συστήματα έχουν καλύτερα οικονομικά οφέλη από τα τυπικά φβ, ενώ οι συσκευές με άμορφο πυρίτιο, αν και λιγότερο αποδοτικές στην παραγωγή ηλεκτρισμού από τις συσκευές με πολυκρυσταλλικό πυρίτιο, έχουν καλύτερα οικονομικά αποτελέσματα λόγω του μικρότερου αρχικού κόστους, δηλαδή έχουν καλύτερο λόγο κόστους/οφέλους.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Elazari A., Multi Solar System – Solar multimodule for electrical and hot water supply for residentially building, *Proceedings of 2nd World Conference on Photovoltaic Solar Energy Conversion*, 6-10 July 1998, Vienna, Austria, pp. 2430-2423, 1998.
2. Kern E.C. Jr and Russel M.C., Combined photovoltaic and thermal hybrid collector systems, *Proceedings of 13th IEEE Photovoltaic Specialists*, Washington DC, USA, pp. 1153 – 1157, 1978.
3. Raghuraman P., Analytical Predictions of liquid and air Photovoltaic / Thermal, flat – plate collector performance, *Journal of Solar Energy Eng*, Vol. 103, pp. 291-298, 1981.
4. Bergene T. and Lovvik O.M., Model calculations on a flat-plate solar heat collector with integrated solar cells, *Solar Energy*, Vol. 55, pp. 453-462, 1995.
5. Sandness B., Rekstad J., A photovoltaic/thermal (PV/T) collector with a polymer absorber plate-experimental study and analytical model, *Solar Energy*, Vol. 72, pp. 63-73, 2002.
6. Chow T.T., Performance analysis of photovoltaic-thermal collector by explicit dynamic model, *Solar Energy*, Vol. 75, pp. 143-152, 2003.
7. Coventry J.S., Lovegrove K., Development of an approach to compare the ‘value’ of electric and thermal output from a domestic PV/thermal system, *Solar Energy*, Vol. 75, pp. 63-72, 2003.
8. Zondag, H.A., De Vries D.W., Van Helden W.G.J., Van Zolingen R.J.C. and Van Steenhoven A.A., The thermal and electrical yield of a PV-Thermal collector, *Solar Energy*, Vol. 72, pp 113-128, 2002.
9. Tripanagnostopoulos Y., Nousia Th., Souliotis M. and Yianoulis P., Hybrid Photovoltaic/Thermal solar systems, *Solar Energy*, Vol. 72, No. 3, pp. 217-234, 2002.
10. Tripanagnostopoulos Y., Souliotis M., Battisti R. and Corrado A., Energy, Cost and LCA Results of PV and Hybrid PV/T Solar Systems, *Progress in photovoltaics: Research and Applications*, Vol. 13, pp 235–250, 2005.
11. Tripanagnostopoulos Y., Souliotis M., Battisti R. and Corrado A., Performance, Cost and Life Cycle Assessment of Hybrid PVT/AIR Solar Systems, *Progress in photovoltaics: Research and Applications*, Vol. 14, pp 65-76, 2005.
12. Kalogirou S.A., Use of TRNSYS for modelling and simulation of a hybrid pv-thermal solar system for Cyprus, *Renewable Energy*, Vol. 23, pp. 247-260, 2001.
13. Tripanagnostopoulos Y., Kalogirou S., Souliotis M. and Charalambous P., Design and Performance of Hybrid PV/T Solar Water Heaters, *Proceedings of the 3rd International Conference on Heat Powered Cycles, HPC 2004-Cooling, Heating and Power Generation Systems on CD-ROM*, Larnaca, Cyprus, 2004.

APPLICATIONS OF PV/T SOLAR ENERGY SYSTEMS

Soteris Kalogirou¹ and Yiannis Tripanagnostopoulos²

¹Higher Technical Institute, P. O. Box 20423, Nicosia 2152, Cyprus
Tel: +357 22 406466, Fax: +357 22 406480, e-mail: skalogir@spidernet.com.cy

²Physics Department, University of Patras, Patra 26500, Greece.
Tel/Fax: +30 2610 997472, e-mail: yiantrip@physics.upatras.gr

ABSTRACT

In this paper, applications of hybrid Photovoltaic/Thermal (PV/T) systems are presented which comprise applications in houses, in larger installations (multi story houses, or office buildings) and industry. In the housing sector the natural (thermosiphonic) is considered whereas in the larger systems forced circulation is used in all systems. All systems are analyzed with TRNSYS program and the weather conditions of Nicosia and Athens. Two types of solar cells were considered polycrystalline-silicon (pc-Si) and amorphous-silicon (a-Si) considering in all cases that water heat extraction was used. The sizes of the systems investigated are for small domestic units having 4m² of collectors and 160 l hot water storage tank, for the larger installation with 40m² and 1500 l tank and for the industrial application with 300m² of hybrid PV/T collectors and 10m³ water storage tank. Generally, in the domestic sector there is a need for both electricity and hot water and in the industrial sector there is a high requirement for electricity and heat and the hybrid PV/T systems can cover part of this requirement. The results show that the electrical production of the system, employing polycrystalline solar cells, is more than the amorphous ones but the solar thermal contribution is slightly lower. Also the hybrid PV/T system exhibit better economic characteristics from the typical PV units while although the amorphous silicon panels are much less efficient than the polycrystalline ones, better economic figures are obtained due to their lower initial cost, i.e. they have better cost/benefit ratio.