

ΗΛΙΑΚΑ ΘΕΡΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΥΠΡΟ

Σωτήρης Καλογήρου

Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών και Επιστήμης και Μηχανικής Υλικών, Τ. Κ. 50329, 3603 Λεμεσός, Κύπρος
Email: Soteris.kalogirou@cut.ac.cy

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η Κύπρος προγραμματίζει στα επόμενα χρόνια να αναπτύξει ηλιακό θερμικό σύστημα ηλεκτροπαραγωγής της τάξεως των 50 MW. Ενόψει αυτού του γεγονότος σε αυτή την μελέτη αναλύονται τα υπάρχοντα συστήματα σε σχέση με τα τεχνικά τους χαρακτηριστικά, το κόστος παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας και την έκταση επιφάνειας που απαιτείται, η οποία είναι πολύ σημαντική παράμετρος για την Κύπρο που δεν διαθέτει ερημικές περιοχές. Τα κυριότερα συστήματα που βρίσκονται σε λειτουργία σε διάφορες χώρες σε πλήρη βιομηχανική ή πειραματική μεγάλου μεγέθους βάση είναι τα παραβολικά συστήματα γραμμικής εστίασης, τα παραβολικά συστήματα σημειακής εστίασης (τύπου πιάτου) και τα συστήματα κεντρικής εστίας. Τα πιο υποσχόμενα συστήματα από πλευράς κόστους της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας είναι της κεντρικής εστίας ενώ τα παραβολικά συστήματα σημειακής εστίασης έχουν το πλεονέκτημα ότι μπορούν να αναπτύσσονται σταδιακά αφού το κάθε σύστημα παράγει περίπου 250 kW με μηχανή τύπου Stirling σε κάθε μονάδα. Τα παραβολικά συστήματα γραμμικής εστίασης και κεντρικής εστίας παράγουν υπέρθερμο ατμό ο οποίος χρησιμοποιείται σε ένα συμβατικό σύστημα ηλεκτροπαραγωγής τύπου Rankine ή ολοκληρωμένου συνδυασμένου κύκλου, δηλαδή αντικαθιστούν το συμβατικό λέβητα με το ηλιακό σύστημα. Και τα τρία συστήματα συγκρίνονται μεταξύ τους για να γίνει η επιλογή του καταλληλότερου για τα δεδομένα της Κύπρου. Από την ανάλυση φαίνεται ότι το παραβολικό σύστημα γραμμικής εστίασης έχει υψηλή ηλιακή-σε-ηλεκτρική απόδοση, χαμηλή απαίτηση σε εμβαδόν ανά εγκατεστημένο MWh και είναι η πιο βιομηχανικά ώριμη τεχνολογία, που μειώνει τα ρίσκα, και ως εκ τούτου είναι το καταλληλότερο για την Κύπρο. Ένα τέτοιο σύστημα μπορεί να εγκατασταθεί κοντά στον υφιστάμενο σταθμό του Βασιλικού για τους λόγους που αναφέρονται στην μελέτη αυτή.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Κύπρος δεν διαθέτει επί του παρόντος ενεργειακές πηγές και εξαρτάται εξ' ολοκλήρου από τις εισαγωγές καυσίμων για τις ενεργειακές της ανάγκες. Η μόνη φυσική πηγή ενέργειας που διαθέτει η πατρίδα μας σε μεγάλο βαθμό είναι η ηλιακή ενέργεια, μια και είναι καλά γνωστό ότι το αιολικό δυναμικό της Κύπρου, για μεγάλης κλίμακας ανάπτυξη αιολικών πάρκων, είναι πολύ χαμηλό. Η ηλιακή ενέργεια μπορεί να μετατραπεί απ' ευθείας σε ηλεκτρική, χρησιμοποιώντας φωτοβολταϊκά στοιχεία, ή σε θερμική με διάφορους τύπους συλλεκτών αναλόγως της θερμοκρασίας λειτουργίας. Η Κύπρος προγραμματίζει στα επόμενα λίγα χρόνια να αναπτύξει ηλιακό θερμικό σύστημα ηλεκτροπαραγωγής της τάξεως των 50 MW, που είναι μια πολύ καλή κίνηση μια και η ανάπτυξη σε μεγάλο βαθμό φωτοβολταϊκών πάρκων θα είναι πάρα πολύ δαπανηρή. Ενόψει αυτού του γεγονότος, σε αυτή την μελέτη εξετάζονται τα υπάρχοντα συστήματα σε σχέση με τα τεχνικά τους χαρακτηριστικά, το κόστος παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας και την έκταση επιφάνειας που απαιτείται, η οποία είναι πολύ σημαντική παράμετρος για την Κύπρο που δεν διαθέτει ερημικές περιοχές. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι όλοι οι υπάρχοντες ηλεκτροπαραγωγικοί σταθμοί βρίσκονται παραθαλάσσια όπου το κόστος της γης, λόγω της τουριστικής ανάπτυξης, είναι πολύ ψηλό. Εντούτοις ο ηλιακός σταθ-

μός θα πρέπει να τοποθετηθεί κοντά σε ένα από αυτούς τους σταθμούς για εύκολη πρόσβαση στο δίκτυο και για χρήση του νερού της θάλασσας στο συμπυκνωτή.

Τα ηλιακά θερμικά συστήματα περιλαμβάνονται στις πρώτες εφαρμογές της ηλιακής ενέργειας. Κατά τον δέκατο όγδοο αιώνα ηλιακοί φούρνοι χρησιμοποιούνταν σε όλη την Ευρώπη και την Μέση Ανατολή. Τα πιο σημαντικά παραδείγματα αυτών των συστημάτων περιλαμβάνουν τον ηλιακό φούρνο που κατασκευάστηκε από τον γνωστό Γάλλο χημικό Lavoisier το 1774, διάφορους τύπους συγκεντρωτικών συλλεκτών που κατασκευαστήκαν από τον Γάλλο φυσικό Boufon (1747–1748) και μία πρέσα τυπογραφείου που παρουσιάστηκε στη έκθεση του Παρισιού από τον Mouchot το 1872. Πολλές από τις πρώτες εφαρμογές των ηλιακών θερμικών-μηχανικών συστημάτων ήταν για εφαρμογές μικρής κλίμακας κυρίως για άντληση νερού και ήταν της τάξεως των 100 kW. Κατά τα τελευταία 40 χρόνια κατασκευάστηκαν πολλοί πειραματικοί θερμοηλεκτρικοί ηλιακοί σταθμοί οι οποίοι οδήγησαν στην εμπορικοποίηση μερικών τύπων από αυτούς και συστήματα της τάξεως των 30 με 80 MW βρίσκονται τώρα σε λειτουργία για πολλά χρόνια.

2. ΔΙΑΘΕΣΙΜΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Τα ηλιακά θερμικά συστήματα ηλεκτροπαραγωγής είναι συστήματα που παράγουν μηχανική ενέργεια και στην συνέχεια ηλεκτρική ενέργεια από την ηλιακή ενέργεια χρησιμοποιώντας ηλιακούς συλλέκτες συγκεντρωτικού τύπου. Τα συγκεντρωτικά ηλιακά συστήματα χρησιμοποιούν καθρέφτες για να παράξουν θερμότητα σε υψηλή θερμοκρασία η οποία στην συνέχεια κινεί ατμοστρόβιλους οι οποίοι συνήθως χρησιμοποιούν τον ατμό που παράγεται σε λέβητες με συμβατικά καύσιμα. Μερικά από αυτά τα συστήματα διαθέτουν και τρόπους για αποθήκευση της θερμικής ενέργειας για να μπορούν να εργάζονται σε περιόδους συννεφιάς ή και την νύκτα.

Τα κυριότερα συστήματα που βρίσκονται σε λειτουργία σε διάφορες χώρες σε πλήρη βιομηχανική ή πειραματική βάση μεγάλου μεγέθους είναι τα παραβολικά συστήματα γραμμικής εστίασης, τα παραβολικά συστήματα σημειακής εστίασης (τύπου πιάτου) και τα συστήματα κεντρικής εστίας. Όλα αυτά τα συστήματα χρησιμοποιούν συγκεντρωτικούς ηλιακούς συλλέκτες διότι οι κοινοί επίπεδοι συλλέκτες δεν μπορούν να εργαστούν στις υψηλές θερμοκρασίες που απαιτούνται, επειδή όσο πιο υψηλή είναι η θερμοκρασία λειτουργίας τόσο πιο υψηλή είναι η απόδοση των συστημάτων. Από τα τρία αυτά συστήματα τα πιο βιομηχανικά ώριμα είναι τα παραβολικά συστήματα γραμμικής εστίασης λόγω κυρίως της ύπαρξης εννέα μεγάλων συστημάτων, συνολικής απόδοσης 354 MW στην Καλιφόρνια των ΗΠΑ, που είναι σε λειτουργία για περισσότερα από είκοσι χρόνια. Τα πιο υποσχόμενα συστήματα, από πλευράς κόστους της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, είναι αυτά της κεντρικής εστίας ενώ τα παραβολικά συστήματα σημειακής εστίασης έχουν το πλεονέκτημα ότι μπορούν να αναπτύσσονται σταδιακά αφού το κάθε σύστημα παράγει περίπου 250 kW με μηχανή τύπου Stirling σε κάθε μονάδα. Τα παραβολικά συστήματα γραμμικής εστίασης και κεντρικής εστίας παράγουν υπέρθερμο ατμό ο οποίος χρησιμοποιείται σε ένα συμβατικό σύστημα ηλεκτροπαραγωγής τύπου Rankine ή ολοκληρωμένου συνδυασμένου κύκλου, δηλαδή αντικαθιστούν το συμβατικό λέβητα με το ηλιακό σύστημα.

Τα ηλιακά θερμικά συστήματα ηλεκτροπαραγωγής λειτουργούν επιτυχώς από τα μέσα της δεκαετίας του 80 και παρέχουν ηλεκτρισμό σε 100,000 νοικοκυριά. Πρόσφατα ένα νέο σύστημα μπήκε σε λειτουργία που ονομάζεται «Nevada Solar I», το οποίο άρχισε να λειτουργεί στην Νεβάδα των ΗΠΑ, άλλο ένα που ονομάζεται «PS10», άρχισε να λειτουργεί στην Ισπανία ενώ πολλά άλλα παρόμοια συστήματα είναι υπό κατασκευή σε πολλές άλλες χώρες. Φαί-

νεται ότι ειδικά η Ισπανική κυβέρνηση έχει αντιληφθεί το μεγάλο δυναμικό που έχει η ηλιακή θερμική βιομηχανία και επιδοτεί τον ηλεκτρισμό που παράγεται από τον ήλιο με το σχέδιο «feed-in tariff». Όταν το νέο σύστημα «PS20», που είναι υπό κατασκευή μπει σε λειτουργία μαζί με το PS10 θα δίνουν ηλεκτρική ενέργεια σε 200,000 νοικοκυριά (περίπου ίσο με τα μισά νοικοκυριά της Κύπρου). Άλλα τέτοια συστήματα προγραμματίζονται για την Αίγυπτο, Αλγερία και το Μαρόκο.

Επειδή για να εγκατασταθούν αυτά τα συστήματα απαιτούνται μεγάλες εκτάσεις γης αυτά συνήθως τοποθετούνται σε άγονα εδάφη, όπως είναι η έρημος. Σύμφωνα με το οργανισμό Trans-Mediterranean Renewable Energy Corporation (TREN) κάθε τετραγωνικό χιλιόμετρο της ερήμου αποδίδει ηλιακή ενέργεια που ισοδυναμεί με 1.5 εκατομμύρια βαρέλια ισοδύναμου πετρελαίου. Έχει δε υπολογιστεί ότι εάν μια περιοχή της ερήμου έκτασης 65,000 τετραγωνικών χιλιομέτρων, η οποία αντιστοιχεί με το 1% της ερήμου της Σαχάρας, μπορούσε να καλυφθεί με ηλιακά θερμικά συστήματα, θα μπορούσε να παράξει ηλεκτρισμό που ισοδυναμεί με την συνολική κατανάλωση του έτους 2000 για όλο το πλανήτη [1]. Ένα πέμπτο αυτής της περιοχής θα μπορούσε να καλύψει τις ηλεκτρικές ανάγκες όλης της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Παρόμοιες μελέτες στις ΗΠΑ προβλέπουν ότι το ηλιακό δυναμικό των νοτιοδυτικών περιοχών μπορεί να παράξει περίπου 7000 GW το οποίο είναι ίσο με 7 φορές της σημερινής εγκατεστημένης ισχύος σε ηλεκτρική ενέργεια [2].

Κυρίως λόγω των συστημάτων που είναι εγκατεστημένα στην Καλιφόρνια, το οποία λειτουργούν για πάνω από 20 χρόνια, τα παραβολικά συστήματα γραμμικής εστίασης είναι σήμερα η πιο ώριμη τεχνολογία και σήμερα παράγουν ηλεκτρισμό με κόστος περίπου US\$ 0.10/kWh (€0.06/kWh). Η επιτυχία και η ανθεκτικότητα των συστημάτων αυτών έχει αποδείξει την αξιοπιστία της τεχνολογίας αυτής. Ένα ενδιαφέρον χαρακτηριστικό των παραβολικών συστημάτων γραμμικής εστίασης και των συστημάτων κεντρικής εστίας είναι ότι είναι δυνατό να υπάρξει αποθήκευση της ενέργειας η οποία επιτρέπει στα συστήματα αυτά να εργάζονται κατά την νύκτα και σε συννεφιασμένο καιρό. Για την θερμική αποθήκευση χρησιμοποιείται μπετόν, διάφορα άλατα, κεραμικά και υλικά αλλαγής φάσης. Επίσης αυτά τα συστήματα μπορούν να χρησιμοποιούν συμβατικά ή ανανεώσιμα καύσιμα σαν εφεδρική μορφή ενέργειας όπως είναι το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο, το κάρβουνο και η βιομάζα ή το βιοαέριο. Η ευελιξία που προσφέρει η θερμική αποθήκευση σε συνδυασμό λειτουργίας με εφεδρικές μορφές ενέργειας κάνει τα συστήματα αυτά ικανά να καλύψουν τόσο το βασικό φορτίο όσο και το φορτίο σε ώρες αιχμής, όπως συμβαίνει κατά τους καλοκαιρινούς μήνες το μεσημέρι που υπάρχει μεγάλη κατανάλωση λόγω της χρήσης των κλιματιστικών συσκευών, όπου τα συστήματα αυτά έχουν την μεγαλύτερη παραγωγή.

Ο Πίνακας 1 δίνει μερικά χαρακτηριστικά απόδοσης των διαφόρων τύπων ηλιακών συγκεντρωτικών συστημάτων [3]. Τα συστήματα γραμμικής εστίας και κεντρικής εστίας μπορούν να συνδυαστούν με θερμοδυναμικούς κύκλους ατμού από 10 έως 200 MW ηλεκτρικής ισχύος που έχουν θερμική απόδοση κύκλου 30–40%. Οι μηχανές τύπου Stirling συνδυασμένες με παραβολικά συστήματα σημειακής εστίασης έχουν περίπου την ίδια απόδοση η οποία είναι βασικά ίδια με τα συστήματα που χρησιμοποιούν συμβατικό καύσιμο.

Πίνακας 1 Χαρακτηριστικά απόδοσης των διαφόρων ηλιακών συστημάτων					
Τεχνολογία	Εύρος ισχύος (MW)	Συγκέντρωση	Μέγιστη ηλιακή απόδοση (%)	Ηλιακή-σε-ηλεκτρική απόδοση (%)	Χρήση γης (m ² /MWh-y)
Γραμμικής εστίας	10-200	70-80	21	10-15	6-8
Κεντρικής εστίας	10-150	300-1000	20	8-10	8-12
Σημειακή εστίαση	0.01-0.4	1000-3000	29	16-18	8-12

Η συνολική ηλιακή-σε-ηλεκτρική απόδοση, που ορίζεται ως ο λόγος της συνολικής ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται ως προς την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία, είναι χαμηλότερη από τα συμβατικά συστήματα, διότι τα ηλιακά περιλαμβάνουν την απόδοση της μετατροπής της ηλιακής ακτινοβολίας σε θερμότητα μέσα στον συλλέκτη.

Λόγω των μεγαλύτερων λόγων συγκέντρωσης τα παραβολικά συστήματα σημειακής εστίασης έχουν μεγαλύτερες αποδόσεις από τα συστήματα γραμμικής εστίας και είναι πιο κατάλληλα για απομονωμένα μικρά συστήματα ενώ για μεγαλύτερες εφαρμογές, πολλά τέτοια συστήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν μαζί.

2.1 Παραβολικά συστήματα γραμμικής εστίας

Οι παραβολικοί συλλέκτες γραμμικής εστίας είναι σήμερα η πιο ώριμη ηλιακή τεχνολογία για παραγωγή ενέργειας έως τους 400°C για βιομηχανικές εφαρμογές και παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η μεγαλύτερη εφαρμογή αυτού του είδους συστήματος είναι τα εννιά συστήματα που είναι εγκατεστημένα στην Νότια Καλιφόρνια που είναι γνωστά ως «Solar Electric Generating Systems (SEGS)», και που έχουν συνολική εγκατεστημένη ισχύ ίση με 354 MWe [4]. Το SEGS I είναι 13.8 MWe, τα SEGS II-VII είναι 30 MWe το κάθε ένα και τα SEGS VIII και IX είναι 80 MWe το κάθε ένα. Αυτά έχουν σχεδιαστεί, εγκατασταθεί και λειτουργούν στην έρημο Mojave στην Νότια Καλιφόρνια, το πρώτο από το 1985 και το τελευταίο από το 1991. Αυτά τα εργοστάσια κατασκευάστηκαν σαν αντίδραση στην πετρελαϊκή κρίση της δεκαετίας του 70, όταν η Αμερικανική κυβέρνηση έδωσε φορολογικά και επενδυτικά κίνητρα στις εναλλακτικές πηγές ενέργειας της τάξεως των 40% στο συνολικό κόστος. Λόγω της έρευνας και της ανάπτυξης, της οικονομίας λόγω μεγέθους και της συγκεντρωμένης εμπειρίας, υπήρξε πτώση στο κόστος της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από US\$ 0.30/kWh το 1985, όταν κατασκευάστηκε το πρώτο εργοστάσιο, σε US\$ 0.14/kWh το 1989, όταν κατασκευάστηκε το έβδομο εργοστάσιο, δηλαδή υπήρξε πτώση μεγαλύτερη του 50% σε τέσσερα χρόνια. Μέχρι σήμερα τα εργοστάσια της Καλιφόρνιας έχουν παράξει περισσότερες από 15,000 GWh ηλεκτρικής ενέργειας από τις οποίες οι 12,000 GWh από το ήλιο [5]. Αυτή η ενέργεια αντιστοιχεί σε κόστος δύο δισεκατομμυρίων Αμερικανικών δολαρίων που πουλήθηκε τα τελευταία 20 χρόνια. Τα εννιά εργοστάσια συνεχίζουν να αποδίδουν όπως πρωτοκατασκευάστηκαν ή και καλύτερα και έχουν μέχρι σήμερα συσσωρεύσει περισσότερα από 180 βιομηχανικά χρόνια λειτουργικής εμπειρίας.

Στα συστήματα αυτά οι παραβολικοί συλλέκτες συγκεντρώνουν την ηλιακή ακτινοβολία πάνω στην γραμμική εστία που είναι μεταλλικός σωλήνας στον οποίο κυκλοφορεί συνθετικό λάδι και περικλείεται από γυάλινο σωλήνα. Το συνθετικό λάδι διασωληνώνεται με ένα εναλλάκτη θερμότητας για να παραχθεί ο ατμός που χρησιμοποιείται όπως και στα συμβατικά συστήματα παραγωγής για να περιστρέψει ένα ατμοστρόβιλο που είναι συνδεδεμένος με την ηλεκτρική γεννήτρια. Δηλαδή αντικαθιστούμε τον ατμό με το ηλιακό σύστημα. Όπως σε όλα τα συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, στην όλη διαδικασία παραγωγής ηλεκτρισμού, δεν υπάρχει εκπομπή καυσαερίων. Τα συστήματα που είναι εγκατεστημένα στην Καλιφόρνια είναι υβριδικά και χρησιμοποιούν φυσικό αέριο σαν εναλλακτική μορφή ενέργειας. Τα εργοστάσια μπορούν να δώσουν ενέργεια χρησιμοποιώντας μόνο ηλιακή ενέργεια, μόνο φυσικό αέριο ή συνδυασμό των δύο ανεξάρτητα από τον χρόνο και τις καιρικές συνθήκες. Μία φωτογραφία ενός εργοστασίου SEGS φαίνεται στην Εικόνα 1.



Εικόνα 1: Φωτογραφία ενός από τα εργοστάσια SEGS

2.2 Συστήματα κεντρικής εστίας

Οι ενεργειακοί πύργοι ή συστήματα κεντρικής εστίας χρησιμοποιούν χιλιάδες κάτοπτρα που ακολουθούν την πορεία του ήλιου το κάθε ένα ανεξάρτητα, τα οποία ονομάζονται «ηλιοστάτες» και αντανακλούν την ηλιακή ακτινοβολία σε μια κεντρική εστία που βρίσκεται πάνω σε ένα πύργο. Ο αποδέκτης συλλέγει την ηλιακή θερμότητα και την μεταφέρει σε ένα ειδικό υγρό μεταφοράς θερμότητας που είναι συνήθως υγροποιημένο αλάτι. Το υγρό αλάτι περνά τότε προαιρετικά από το δοχείο αποθήκευσης και τελικά στο σύστημα μετατροπής ενέργειας το οποίο μετατρέπει την θερμική ενέργεια σε ηλεκτρική η οποία διοχετεύεται στο δίκτυο. Τα συστήματα κεντρικής εστίας είναι συνήθως μεγάλα της τάξεως των 10 MWe ή μεγαλύτερα.

Οι ηλιοστάτες αντανακλούν την ηλιακή ακτινοβολία στην εστία με το μικρότερο δυνατό κόστος. Μία ποικιλία σχημάτων έχει προταθεί για τις εστίες, που περιλαμβάνουν κυλινδρικούς και κοίλους αποδέκτες. Το βέλτιστο σχήμα του αποδέκτη επηρεάζεται από την ακτινοβολία που μαζεύεται, τις θερμικές απώλειες και την διάταξη του πεδίου των ηλιοστατών. Για τα μεγάλα πεδία ηλιοστατών ο κυλινδρικός αποδέκτης προτιμάται και χρησιμοποιείται με μηχανές που λειτουργούν με το θερμοδυναμικό κύκλο Rankine. Άλλη μία πιθανότητα είναι η χρήση του κύκλου Brayton που απαιτεί θερμοκρασίες της τάξης των 1000°C και σε αυτή την περίπτωση χρησιμοποιούνται κοίλοι αποδέκτες.

Για λειτουργία με αεροστρόβιλο το ρευστό μεταφοράς είναι ο αέρας ο οποίος χρησιμοποιείται σε αποδέκτη που είναι υπό πίεση. Εργοστάσια που χρησιμοποιούν τον συνδυασμένο θερμοδυναμικό κύκλο απαιτούν 30% λιγότερο εμβαδόν συλλέκτη από τους αντίστοιχους κύκλους ατμού. Το πρωτότυπο αυτού του είδους συστήματος έχει κατασκευαστεί σαν μέρος ενός Ευρωπαϊκού ερευνητικού προγράμματος και δοκιμάστηκε με τρεις διαφορετικούς αποδέκτες με αεροστρόβιλο δυναμικότητας 250 kW.

Το Αμερικανικό Τμήμα Ενέργειας σε μία συνεργασία με αμερικανικές βιομηχανίες κατασκεύασαν το πρώτο μεγάλης κλίμακας πειραματικό σύστημα κεντρικής εστίας στην έρημο κοντά στο Barstow, στην Καλιφόρνια που ονομάζεται «Solar One». Το σύστημα λειτούργησε επιτυχώς από το 1982 έως το 1988, και το κύριο αποτέλεσμα του πειράματος ήταν να αποδείξει ότι ο τύπος αυτός των ηλιακών συστημάτων μπορεί να δουλέψει αποδοτικά και να παράξει ηλεκτρισμό από τον ήλιο. Το σύστημα ήταν της τάξεως των 10 MW. Το πρώτο αυτό σύστημα χρησιμοποιούσε νερό/ατμό σαν ρευστό μεταφοράς θερμότητας στον αποδέκτη αλλά παρουσίασε διάφορα λειτουργικά προβλήματα αποθήκευσης και συνεχούς λειτουργίας του ατμοστρόβιλου.

Αυτά τα προβλήματα λυθήκαν με το «Solar Two», το οποίο ήταν μια αναβαθμισμένη έκδοση του Solar One. Το Solar Two λειτούργησε από το 1996 έως το 1999. Το Solar Two έδειξε πως η ηλιακή ενέργεια μπορεί να αποθηκευτεί αποδοτικά και οικονομικά σαν θερμότητα σε δεξαμενές υγροποιημένου αλατιού έτσι που η ηλεκτρική ενέργεια να μπορεί να παράγεται και όταν ο ήλιος δεν λάμπει. Το σύστημα Solar Two, χρησιμοποιούσε νιτρικό αλάτι τόσο σαν ρευστό μεταφοράς της ενέργειας όσο και σαν μέσο αποθήκευσης της θερμικής ενέργειας. Σε αυτό το σύστημα το υγροποιημένο αλάτι διοχετεύεται από την δεξαμενή αποθήκευσης χαμηλής θερμοκρασίας γύρω στους 290°C μέσα από τον αποδέκτη του συστήματος που θερμαίνεται και επιστρέφει στην δεξαμενή αποθήκευσης ψηλής θερμοκρασίας γύρω στους 565°C. Η θερμική αποθήκη έχει δυνατότητα αποθήκευσης μέχρι 3 ώρες. Χρησιμοποιώντας αποθήκευση θερμικής ενέργειας τα συστήματα κεντρικής εστίας είναι δυνατό να λειτουργήσουν για το 65% του χρόνου χωρίς εφεδρικό καύσιμο. Χωρίς αποθήκευση οι ηλιακές τεχνολογίες που είδαμε μέχρι τώρα περιορίζονται σε συντελεστές απόδοσης κοντά στο 25%. Έχει υπολογιστεί ότι με την έρευνα και την τεχνολογική ανάπτυξη που προγραμματίζεται μέχρι το 2020 τα συστήματα αυτά θα παράγουν ηλεκτρική ενέργεια γύρω στα US\$ 0.04/kWh (€0.026/kWh) [6]. Φωτογραφία του συστήματος Solar Two φαίνεται στην Εικόνα 2.



Εικόνα 2: Φωτογραφία του συστήματος Solar Two

2.3 Παραβολικά συστήματα σημειακής εστίασης

Τα παραβολικά συστήματα σημειακής εστίασης χρησιμοποιούν καθρέφτες σχήματος πιάτου για να συγκεντρώσουν τις ακτίνες του ήλιου στον αποδέκτη που είναι τοποθετημένος στην εστία της παραβολής. Ο αποδέκτης απορροφά την ηλιακή ενέργεια και την μετατρέπει σε θερμική. Αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί απευθείας ως θερμότητα αλλά η πιο διαδεδομένη εφαρμογή είναι η χρήση της για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η θερμική ενέργεια μπορεί να μεταφερθεί σε μια κεντρική γεννήτρια για μετατροπή ή μπορεί να μετατραπεί απευθείας σε ηλεκτρική από τοπική γεννήτρια που είναι συνδεδεμένη με τον αποδέκτη.

Το σύστημα σημειακής εστίασης/θερμικής μηχανής είναι ένα απομονωμένο σύστημα που αποτελείται κυρίως από τον συλλέκτη, τον αποδέκτη και την θερμική μηχανή όπως φαίνεται στην Εικόνα 3. Λειτουργεί συλλέγοντας και συγκεντρώνοντας τις ακτίνες του ήλιου στον αποδέκτη ο οποίος τις μαζεύει, τις μετατρέπει σε θερμική ενέργεια η οποία μεταφέρεται στην θερμική μηχανή. Η θερμότητα μετατρέπεται στην θερμική μηχανή σε μηχανική ενέργεια με ένα τρόπο παρόμοιο με τις συμβατικές θερμικές μηχανές. Μία ηλεκτρική γεννήτρια μετατρέπει την μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρισμό.



Εικόνα 3: Φωτογραφία του συστήματος σημειακής εστίασης που κατασκευάστηκε από Ευρωπαϊκές εταιρείες (Eurodish) με θερμική μηχανή τύπου Stirling

Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούν σύστημα παρακολούθησης της τροχιάς του ήλιου σε δύο άξονες και έτσι είναι τα πιο αποδοτικά συστήματα διότι πάντα είναι επικεντρωμένα στον ήλιο. Ο λόγος συγκέντρωσης των συστημάτων αυτών είναι από 600 έως 2000, και μπορούν να πετύχουν θερμοκρασίες της τάξεως των 1500°C. Παρόλο που θερμικές μηχανές διαφόρων τύπων έχουν δοκιμαστεί με αυτού του είδους τους συλλέκτες, η κυριότερη εφαρμογή είναι με θερμικές μηχανές τύπου Stirling [7, 8].

Το κάθε σύστημα παράγει ηλεκτρισμό από 5 έως 25 kW και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ανεξάρτητα ή σε αριθμό συστημάτων για να αυξηθεί η δυναμικότητα του συστήματος. Για ένα σύστημα 650 kW που αποτελείται από 25 συστήματα, 25 kW το κάθε ένα, απαιτείται ένα εκτάριο γης.

Το επίκεντρο στην κατασκευή νέων συστημάτων βρίσκεται στις Ηνωμένες Πολιτείες και στην Ευρώπη και είναι για συστήματα 10 kWe για απομονωμένες εφαρμογές. Τρία τέτοια συστήματα έχουν δοκιμαστεί στο Plataforma Solar de Almeria στην Ισπανία ενώ μέσα από το Ευρωπαϊκό ερευνητικό πρόγραμμα EURODISH, έχει κατασκευαστεί ένα οικονομικά αποδοτικό σύστημα δυναμικότητας 10 kW (βλ. Εικόνα 3) για αποκεντρωμένη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Το ερευνητικό αυτό πρόγραμμα πραγματοποιήθηκε σε συνεργασία βιομηχανίας και της ακαδημαϊκής κοινότητας.

3. ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Και τα τρία συστήματα που αναλύθηκαν σε αυτή τη μελέτη μπορούν να τροφοδοτηθούν με συμβατικό καύσιμο (συνήθως φυσικό αέριο) για να λειτουργούν σε ώρες χαμηλής ηλιοφάνειας ή την νύκτα ενώ από τα τρία συστήματα το μόνο που δεν προσφέρει δυνατότητα αποθήκευσης της θερμικής ενέργειας είναι το παραβολικό σύστημα σημειακής εστίασης που είναι σημαντικό μειονέκτημα, αφού μπορεί να λειτουργεί μόνο τις ώρες της ηλιοφάνειας και με συμβατικό καύσιμο. Ως εκ τούτου η επιλογή που θα πρέπει να γίνει για την Κύπρο είναι μεταξύ των παραβολικών συστημάτων γραμμικής εστίασης και κεντρικής εστίας, με το πρώτο να έχει υψηλή ηλιακή-σε-ηλεκτρική απόδοση και χαμηλή απαίτηση σε εμβαδόν ανά εγκατεστημένο MWh ενώ το δεύτερο να έχει δυνατότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε πολύ χαμηλό κόστος, παρόλο που η απόδοση του είναι λίγο χαμηλότερη και η απαίτηση σε εμβαδόν ανά εγκατεστημένο MWh είναι μεγαλύτερη.

Και τα δύο αυτά συστήματα απαιτούν επίπεδους χώρους ανάπτυξης παρόλο που για το παραβολικό σύστημα γραμμικής εστίασης μπορεί να εγκατασταθεί και σε χώρους με διαφορετικά επίπεδα (σκαλωτά). Λόγω της κυρίως της ώριμης τεχνολογίας που χρησιμοποιούν και των άλλων πλεονεκτημάτων που έχουν προαναφερθεί, ο συγγραφέας πιστεύει ότι το παραβολικό σύστημα γραμμικής εστίασης είναι το καταλληλότερο για την Κύπρο.

Όλοι οι υπάρχοντες ηλεκτροπαραγωγικοί σταθμοί βρίσκονται παραθαλάσσια. Ο ηλιακός σταθμός θα πρέπει να τοποθετηθεί κοντά σε ένα από αυτούς τους σταθμούς για εύκολη πρόσβαση στο δίκτυο και χρήση του νερού της θάλασσας στο συμπυκνωτή. Η τοποθέτηση ενός τέτοιου σταθμού στο εσωτερικό του νησιού δεν είναι εφικτή λόγω της έλλειψης νερού που απαιτείται για την συμπύκνωση του ατμού. Επιπρόσθετα η τοποθέτηση του σταθμού κοντά στην θάλασσα δίνει την δυνατότητα να συνδυαστεί η ηλεκτροπαραγωγή με την παραγωγή αφρατωμένου νερού που είναι εξ' ίσου αναγκαίο αγαθό για την Κύπρο.

Μία πρώτη εκτίμηση δείχνει ότι η περιοχή κοντά στον σταθμό του Βασιλικού είναι η πιο κατάλληλη για πολλούς λόγους. Οι κυριότεροι είναι ότι ο εν λόγω ηλεκτροπαραγωγικός σταθμός είναι ο μεγαλύτερος της Κύπρου, η γειννίαση με την θάλασσα, η δημιουργία του τερματικού σταθμού φυσικού αερίου στη περιοχή, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιείται σαν εφεδρικό καύσιμο, η άμεση πρόσβαση στο ηλεκτρικό δίκτυο και τέλος η ορατότητα του συστήματος από τον αυτοκινητόδρομο Λευκωσίας-Λεμεσού για θέμα προβολής της χρήσης ηλιακής ενέργειας στο κοινό.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Geyer M., Quaschnig V., *Renewable Energy World*, July-Aug 2000, pp. 184-191, 2000.
2. Wolff G., Gallego B., Tisdale R., Hopwood D., CSP concentrates the mind, *Renewable Energy Focus*, January/February 2008, pp. 42-47, 2008.
3. Muller-Steinhagen H., Trieb F., Concentrating solar power: A review of the technology, *Ingenia*, Vol. 18, pp. 43-50, 2004.
4. Kearney D.W., Price H.W., Solar thermal plants - LUZ concept (current status of the SEGS plants), *Proceedings of the 2nd Renewable Energy Congress*, Reading UK, Vol. 2, pp. 582-588, 1992.
5. Taggart S., Parabolic troughs: CSP's quiet achiever, *Renewable Energy Focus*, March/April 2008, pp. 46-50, 2008.
6. Taggart S., Hot stuff: CSP and the power tower, *Renewable Energy Focus*, May/June 2008, pp. 51-54, 2008.
7. Schwarzbözl P., Pitz-Paal R., Meinecke W., Buck R., Cost-optimized solar gas turbine cycles using volumetric air receiver technology, *Proceedings of the Renewable Energy for the New Millennium*, Sydney, Australia, pp. 171-177, 2000.
8. Chavez J.M., Kolb G.J., Meinecke W., *Second Generation Central Receiver Technologies- A Status Report*. Becker M., Klimas P.C. (Eds.), Verlag C.F. Müller GmbH, Karlsruhe, Germany, 1993.