

ΚΕΙΜΕΝΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Working Paper No 8

ΙΟΥΛΙΟΣ 2009

ΟΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΤΩΝ ΗΛΙΟΘΕΡΜΙΚΩΝ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΟΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΤΟΥΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

του Δρ. Σπύρου Χ. Αλεξόπουλου
Solar-Institut Jülich (SIJ), FH Aachen,
Aachen University of Applied Sciences
e-mail: alexopoulos@sj.fh-aachen.de



ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ
ΝΟΤΙΟΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΕΥΡΩΠΗΣ

Η σειρά των Κειμένων Εργασίας (Working Papers) που εκδίδονται από το ΙΕΝΕ αναφέρονται σε επιλεγμένα και επίκαιρα θέματα που άπτονται του ενεργειακού τομέα και αναλύονται και παρουσιάζονται από τους πλέον ειδικούς στο χώρο αυτό.

Αντικειμενικός σκοπός είναι η έγκυρη ενημέρωση των μελών του και των στελεχών των εμπλεκόμενων φορέων του Δημοσίου και Ιδιωτικού τομέα, η μεταφορά γνώσεων και εμπειριών καθώς και η συζήτηση εποικοδομητικών προτάσεων σε συγκεκριμένα θέματα.

Τα κείμενα εργασίας διατίθενται δωρεάν και αποτελούν μια προσφορά του ΙΕΝΕ.

Η παρούσα εργασία αναφέρεται στις τεχνολογίες των ηλιοθερμικών συγκεντρωτικών συστημάτων παραγωγής ενέργειας και οι προοπτικές τους στην Ελλάδα.

Το ΙΕΝΕ ευχαριστεί θερμά τον Σπύρο Αλεξόπουλο για το κείμενο εργασίας που επεξεργάσθηκε και παρουσιάζεται σε αυτό το τεύχος και ευελπιστεί ότι αυτό αποτελεί μια σημαντική προσφορά στον επιστημονικό, τεχνικό και επιχειρηματικό κόσμο καθώς και στην Δημόσια Διοίκηση που εμπλέκονται στον Ενεργειακό Τομέα.

Ημερομηνία έκδοσης κειμένου εργασίας: Ιούλιος 2009

Απαγορεύεται η ολική ή μερική αναδημοσίευση και γενικά η αναπαραγωγή αυτής της έκδοσης σε οποιαδήποτε μορφή και με οποιοδήποτε μέσο (ηλεκτρονικό, μηχανικό, φωτογραφικό, ηχογραφικό ή άλλο), χωρίς την άδεια του εκδότη. Επιτρέπεται η χρήση επιμέρους υλικού της έκδοσης με αναφορά της πηγής.

ΚΕΙΜΕΝΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

ΙΟΥΛΙΟΣ 2009 | Working Paper No 8

του Σπύρου Αλεξόπουλου
Solar-Institut Jülich (SIJ), FH Aachen,
Aachen University of Applied Sciences

Οι τεχνολογίες των ηλιοθερμικών
συγκεντρωτικών συστημάτων
παραγωγής ενέργειας και
οι προοπτικές τους στην Ελλάδα

Περίεχόμενα

<i>Εισαγωγή</i>	4
Ο ΠΑΡΑΒΟΛΙΚΟΣ ΣΥΛΛΕΚΤΗΣ ΣΚΑΦΗΣ	6
Ο ΣΥΛΛΕΚΤΗΣ ΦΡΕΝΕΛ	9
Ο ΗΛΙΑΚΟΣ ΔΙΣΚΟΣ	10
Η ΗΛΙΑΚΗ ΚΑΜΙΝΑΔΑ	12
Ο ΗΛΙΑΚΟΣ ΠΥΡΓΟΣ	14
<i>Βιβλιογραφία</i>	19

Εισαγωγή

Στην εποχή μας εξαιτίας της όξυνσης των επιπτώσεων του φαινομένου του θερμοκηπίου στον άνθρωπο και το περιβάλλον και της αύξησης της ζήτησης ενέργειας γίνεται όλο και επιτακτικότερη η ανάγκη ανάπτυξης των ΑΠΕ. Σε αυτές ανήκουν και τα μεγάλα ηλιοθερμικά συγκεντρωτικά συστήματα παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος με ηλιακούς συλλέκτες. Τα τελευταία χρόνια διαπιστώνεται ραγδαία ανάπτυξη αυτών των τεχνολογιών στην Ευρώπη, με αιχμή αυτής της ανάπτυξης την Ισπανία.

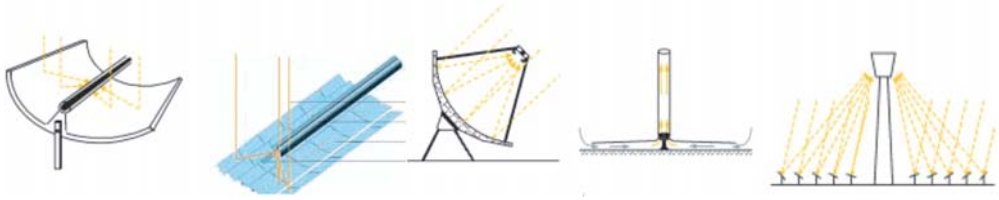
Μέχρι το τέλος του 2007 σε όλο τον κόσμο είχαν εγκατασταθεί ηλιοθερμικά συγκεντρωτικά συστήματα με πάνω από 1.800 MW ονομαστικής ισχύος [1]. Η ισχύς αυτή είναι τόση όση η ισχύς δύο πυρηνικών αντιδραστήρων. Έως το τέλος του 2020 μπορούν αυτές οι τεχνολογίες να φτάσουν το εντυπωσιακό μέγεθος των 20.000 MW [2], [3]. Ο αναλυτής της γερμανικής τράπεζας WestLB κ. Zank προβλέπει για δύο από αυτές τις ηλιοθερμικές τεχνολογίες, τον ηλιακό πύργο και τον παραβολικό συλλέκτη σκάφης, ότι θα επιτύχουν ισοτιμία με το κόστος ενέργειας ηλεκτρικού δικτύου το έτος 2012. Αυτές οι δύο τεχνολογίες είναι ήδη εμπορικά αξιοποιήσιμες.

Θερμικά ηλιακά συγκεντρωτικά συστήματα μπορούν να εγκατασταθούν τόσο σε αναπτυσσόμενα κράτη όσο και σε βιομηχανικές χώρες του νότου με υψηλό ηλιακό δυναμικό και επιπλέον έχουν εφαρμογή όχι μόνο σε κεντρικά αλλά και σε αποκεντρωτικά ενεργειακά δίκτυα, όπως σε νησιά. Αυτό σημαίνει μια πληθώρα από εφαρμογές. Ιδιαίτερα στην Ελλάδα, η οποία έχει αξιόλογο ηλιακό δυναμικό, μπορούν να βρουν εφαρμογή αυτές οι τεχνολογίες.

Πλεονεκτήματα της χρήσης των συγκεντρωτικών θερμικών ηλιακών συστημάτων είναι ότι:

- Είναι ανεξάντλητη πηγή ενέργειας, η οποία επιτρέπει την μείωση της εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα, καθώς κατά τη λειτουργία αυτών των συστημάτων δεν απαιτείται εκπομπή επιβλαβών αερίων.
Ακόμη και στην περίπτωση μελέτης του κύκλου ζωής της εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα κατά την παραγωγή των συστατικών μερών, την εγκατάσταση και την αποσυρμολόγηση των μονάδων παραγωγής διαπιστώνεται, ότι συγκριτικά τα θερμικά ηλιακά συστήματα εκπέμπουν μόνο 12 kg διοξειδίου του άνθρακα ανά παραγόμενη MWh ηλεκτρικής ενέργειας σε αντιδιαστολή με 14 kg/MWh των υδροηλεκτρικών εργοστασίων, 17 kg/MWh των αιολικών πάρκων και 110 kg/MWh των φωτοβολταϊκών μονάδων παραγωγής ενέργειας.
- Λόγω της δυνατότητας αποθήκευσης της ενέργειας μπορούν να τροφοδοτούν το ενεργειακό δίκτυο με οικονομικά ευνοϊκές τιμές ανάλογα με την ενεργειακή ζήτηση
- Εξοικονομούν ενέργεια
- Δημιουργούν θέσεις εργασίας και συμβάλλουν στην ανάπτυξη μιας αγοράς σε ένα καινούργιο οικονομικό τομέα δραστηριότητας

Στα ηλιοθερμικά εργοστάσια παραγωγής ενέργειας συγκαταλέγονται: ο παραβολικός συλλέκτης σκάφης, ο συλλέκτης Φρενέλ, ο ηλιακός δίσκος, η ηλιακή καμινάδα και ο ηλιακός πύργος (Εικόνα 1).



Εικόνα 1: Τεχνολογίες ηλιοθερμικής ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος (από αριστερά προς τα δεξιά: παραβολικός συλλέκτης σκάφης, συλλέκτης Φρενέλ, ηλιακός δίσκος, ηλιακή καμινάδα και ηλιακός πύργος)

Όλες αυτές οι τεχνολογίες ανήκουν στις συγκεντρωτικές ηλιοθερμικές εκτός από την ηλιακή καμινάδα, στην οποία δεν έχουμε συγκέντρωση της ηλιακής ακτινοβολίας.



Εικόνα 2: Το σύστημα του παραβολικού συλλέκτη [4]

ενώνονται μαζί για να δημιουργήσουν ευθείες παράλληλες γραμμές εκατοντάδων μέτρων μήκους, οι οποίες ενώνονται μεταξύ τους με σωλήνες. Ένα πεδίο συλλεκτών καλύπτει σε πολλούς στίχους μια μεγάλη έκταση γης. Οι παραβολικοί συλλέκτες επιτυγχάνουν συγκέντρωση του ήλιου κατά μήκος ενός αποδέκτη σωλήνα έως 100 φορές. Ο σωλήνας διαρρέεται από ένα ρευστό. Το ρευστό είναι κυρίως ένα ειδικό λάδι, νερό ή τετηγμένο αλάτι.

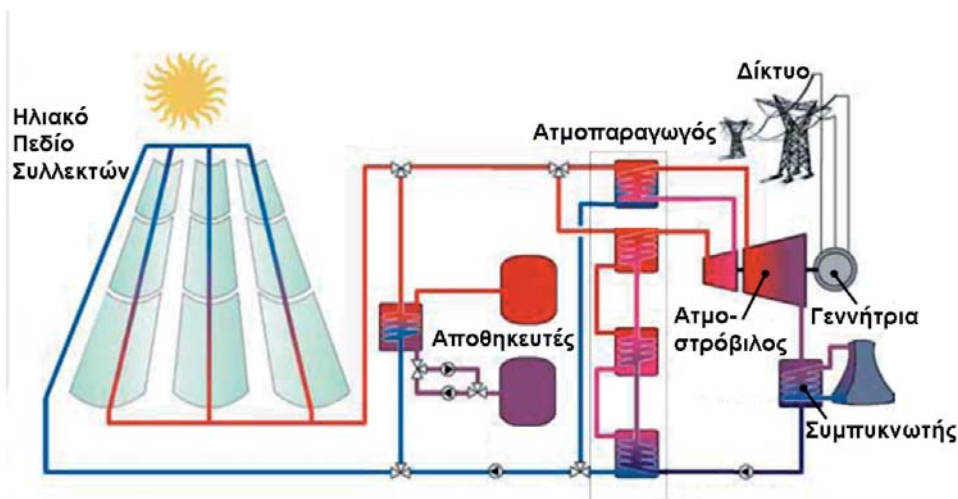
Ένας ηλεκτροπαραγωγικός σταθμός με παραβολικούς συλλέκτες σκάφης (Εικόνα 3) αποτελείται από:

- Το πεδίο των συλλεκτών
- Σωλήνες αποδεκτών με μόνωση σε κενό αέρος
- Σύστημα μεταφοράς της θερμότητας
- Συμβατικό σύστημα παραγωγής ενέργειας με
 - * Ατμοπαραγωγό με προθερμαντήρα, οικονομηπτήρα και υπερθερμαντήρα
 - * Ατμοστρόβιλο
 - * Γεννήτρια
 - * Συμπυκνωτή
 - * Αντλίες τροφοδοσίας
- Ελεγκτή συστήματος της ενεργειακής μονάδας
- Προαιρετική χρήση θερμικού συσσωρευτή ή σύστημα καύσης με φυσικό αέριο

Η ηλιακή ενέργεια μετατρέπεται σε θερμική στο ηλιακό πεδίο συλλεκτών. Το θερμαινόμενο ρευστό μεταφέρεται στη συνέχεια με τους σωλήνες σε ένα συμβατικό σύστημα ενός ατμοηλεκτρικού εργοστασίου (κύκλος Clausius-Rankine). Στο συμβατικό αυτό σύστημα έχουμε την παραγωγή ατμού στον ατμοπαραγωγό και στη συνέχεια την μετατροπή της θερμικής ενέργειας σε κινητική στον ατμοστρόβιλο. Η παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος επιτυγχάνεται με τη γεννήτρια και ο κύκλος του συστήματος νερού/ ατμού ολοκληρώνεται με τη χρήση συμπυκνωτήρα, ο οποίος επανατροφοδοτεί τον ατμοπαραγωγό με νερό. Οι συμβατικοί κύκλοι έχουν τους γνωστούς θερμικούς συντελεστές απόδοσης του 30-40% των ατμοηλεκτρικών μονάδων.

Τα συστήματα παραβολικού συλλέκτη σκάφης βρίσκουν εφαρμογή σε μεγάλα ηλιακά συστήματα, τα οποία είναι ενσωματωμένα στο ενεργειακό δίκτυο. Οι θερμοκρασίες, οι οποίες αναπτύσσονται είναι μεταξύ 350 – 550 °C. Για την επίτευξη υψηλών συντελεστών απόδοσης σ' αυτές τις θερμοκρασίες λειτουργίας χρησιμοποιείται μαζί με μια ειδική επένδυση ως μόνωση και κενό αέρος μεταξύ του εσωτερικού σωλήνα αποδέκτη και του εξωτερικού γυάλινου συλλέκτη σωλήνα. Ο παραβολικός συλλέκτης πρέπει να μπορεί με γεωμετρική ακρίβεια και ικανότητα αντιστάσεως σε υψηλά φορτία ανέμου να αντανακλά την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία.

Οι συλλέκτες παραβολικής σκάφης συγκαταλέγονται στις ώριμες τεχνολογίες ηλιακών



Εικόνα 3: Παράδειγμα ηλεκτροπαραγωγικού σταθμού με παραβολικούς συλλέκτες σκάφης

συστημάτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και έχουν δοκιμαστεί σε διαφορετικά μεγέθη πεδίων από τις αρχές της δεκαετίας του '80. Πάνω από 2 εκ. τ.μ. παραβολικών συλλεκτών σκάφης είναι ανελλιπώς σε λειτουργία από τα μέσα της δεκαετίας του '80 στην Καλιφόρνια των Η.Π.Α. Η εγκαταστημένη ενεργειακή ισχύς ξεπερνά τα 354 MW_e [5]. Στις συγκεκριμένες μονάδες παραγωγής ενέργειας παρατηρήθηκε απόδοση μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρικό ρεύμα πάνω από 20% το καλοκαίρι και 14% κατά τη διάρκεια όλου του χρόνου.

Στις επόμενες δεκαετίες ακολούθησαν βελτιώσεις της τεχνολογίας με στόχο την επίτευξη ανταγωνιστικών τιμών. Έτσι χρηματοδοτήθηκαν από την Ευρωπαϊκή Ένωση προγράμματα για την χρήση νέων μεγαλύτερων συλλεκτών σκάφης με μειωμένο βάρος και κόστος, με παράλληλη αύξηση της απόδοσης. Οι νέοι συλλέκτες μπορούν να έχουν 100 ή εναλλακτικά 150 μέτρα μήκος [6]. Ταυτόχρονα έγιναν και συνεχίζονται προσπάθειες χρήσης νερού/ ατμού ως καταλληλότερου ρευστού μεταφοράς θερμότητας, ώστε να επιτευχθούν υψηλότερες θερμοκρασίες και να μειωθούν οι απώλειες θερμότητας.

Αποτέλεσμα όλων αυτών είναι να έχουμε φτάσει σήμερα σε μια νέα γενιά συστημάτων. Στην Ευρώπη και συγκεκριμένα στην Ιβηρική χερσόνησο ολοκληρώθηκαν οι εργασίες για την κατα-

σκευή δύο μονάδων παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος με συστήματα συλλέκτη σκάφης συνολικής ισχύος 100 MWe [4]. Μετά τα μέσα του 2009 τα εργοστάσια συλλεκτών σκάφης θα παρέχουν οικολογικό ρεύμα χωρίς εκπομπή ρύπων σε 200.000 κατοίκους της Ανδαλουσίας.

Τα νέα αυτά βήματα δείχνουν την επίτευξη εμπορικά αξιοποιήσιμων τιμών. Σήμερα το κόστος παραγωγής ρεύματος αγγίζει τιμές των 7 λεπτών/kWh για περιοχές με πολύ υψηλή ηλιακή ακτινοβολία όπως στις χώρες της Βόρειας Αφρικής και αναμένεται περαιτέρω μείωση στις επόμενες δεκαετίες [5]. Για την περιοχή της Νότιας Ευρώπης ενδεικτικές τιμές κόστους είναι σήμερα 20 λεπτά/kWh.

Η τεχνολογία του παραβολικού συλλέκτη σκάφης ενδείκνυται για τη χρήση σε επίπεδες επιφάνειες με πολύ μικρή κλίση εδάφους. Στην Ελλάδα υπάρχει δυνατότητα χρήσης αυτής της τεχνολογίας για μεγάλα συστήματα, τα οποία είναι συνδεδεμένα με το κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο ή για μεγάλες εγκαταστάσεις σε μεγάλα νησιά, όπως η Κρήτη. Ειδικά στην Κρήτη έχει ολοκληρωθεί ο σχεδιασμός ενός ηλιακού συστήματος παραβολικής σκάφης των 52 MW_e με ένα ηλιακό πεδίο συλλεκτών συνολικής επιφάνειας 300.000 τ.μ. (πρόγραμμα Θησέας). Δυστυχώς έχουν παρουσιαστεί προβλήματα κατά την εύρεση της έκτασης της γης, που δυσκολεύουν την περαιτέρω εξέλιξη του προγράμματος. Εάν ολοκληρωθεί μελλοντικά με επιτυχία η εγκατάσταση του ηλιοθερμικού εργοστασίου θα έχουμε:

- Μείωση της εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα κατά 80.000 τόνους το χρόνο
- Εξοικονόμηση 4 εκ. € κάθε χρόνο από τη μη εισαγωγή 28.000 τόνων πετρελαίου στο νησί
- Δημιουργία πάνω από 2.000 νέων θέσεων εργασίας



Εικόνα 4: Συλλέκτης Φρενέλ (Πηγή DLR).

Όπως ο παραβολικός συλλέκτης σκάφης, έτσι και ο συλλέκτης Φρενέλ εστιάζει την απευθείας ηλιακή ακτινοβολία σε έναν σωλήνα αποδέκτη. Στον σωλήνα θερμαίνεται νερό, το οποίο λειτουργεί ως μέσο μεταφοράς της θερμότητας. Μια άλλη διαφορά είναι η χρήση επίπεδων καθρεφτών αντί παραβολικών. Οι καθρέφτες είναι παράλληλα τοποθετημένοι και συγκεντρώνουν το ηλιακό φως στον σωλήνα, ο οποίος είναι τοποθετημένος σε ένα υψηλότερο σημείο, αρκετά μέτρα πάνω από τους καθρέφτες. Η κάθε σειρά παράλληλων καθρεφτών μπορεί να μετακινείται κατάλληλα, ώστε να εστιάζει την ηλιακή ακτινοβολία στον αποδέκτη [7]. Επειδή η συγκεντρωση της ηλιακής ακτινοβολίας αυτού του συστήματος είναι μικρότερη από τους παραβολικούς συλλέκτες, χρησιμοποιείται και ένας δεύτερος καθρέφτης. Ο δεύτερος αυτός καθρέφτης βρίσκεται πάνω από τον αποδέκτη και εστιάζει την ηλιακή ακτινοβολία για δεύτερη φορά. Κατ'

αυτόν τον τρόπο μπορούν να μειωθούν οι απώλειες, καθώς οι συγκεντρωτικές ακτίνες του ήλιου, οι οποίες περνάνε δίπλα από τον σωλήνα, εστιάζονται ξανά στον αποδέκτη.

Στην **Εικόνα 4** παρουσιάζεται ένας συλλέκτης Φρενέλ. Στο κάτω μέρος διακρίνονται οι επίπεδοι καθρέφτες και στο επάνω, από αριστερά και καταλήγοντας στο βάθος, ο σωλήνας αποδέκτης.

Ένας συλλέκτης με 24 μέτρα πλάτος και 1.000 μέτρα μήκος μπορεί να παράγει ατμό με 500°C για παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος ισχύος 5 MW_{el} [8]. Πολλοί συλλέκτες μαζί μπορούν να συνδυαστούν σε πεδία συλλεκτών για να επιτύχουν μεγαλύτερη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η όλη κατασκευή διαθέτει ικανότητα αντιστάσεως σε υψηλά φορτία ανέμου και χρειάζεται μικρότερη επιφάνεια καθρεφτών ανά εγκατεστημένο MW.

Πλεονέκτημα της χρήσης των καθρεφτών Φρενέλ είναι ο εύκολος τρόπος εγκατάστασης της μονάδας και η καλύτερη αξιοποίηση του χώρου ως επιφάνειας για τους καθρέφτες. Τα απαιτούμενα δομικά υλικά αποτελούνται σε μεγάλο βαθμό από τυποποιημένα κομμάτια, τα οποία είναι παγκοσμίως διαθέσιμα [9]. Επιπλέον στο χώρο κάτω από την εγκατάσταση μπορεί να γίνει χωρίς επιβάρυνση καλλιέργεια λαχανικών. Το νερό, το οποίο θα χρησιμοποιείται τη νύχτα για τον καθαρισμό των επιφανειών των καθρεφτών, θα χρησιμεύει για το πότισμα των καλλιεργειών. Η παρεχόμενη σκιά στα φυτά θα συμβάλλει στις μικρότερες απώλειες νερού από εξάτμιση. Η διάχυτη ακτινοβολία επαρκεί για τη φωτοσύνθεση και ανάπτυξη των καλλιεργειών. Επιπλέον κτιριακές εγκαταστάσεις κάτω από τους συλλέκτες θα χρειάζονται λιγότερη ενέργεια για κλιματισμό, καθώς οι επιφάνειες θα προστατεύονται από την ηλιακή ακτινοβολία. Για τον ίδιο λόγο και πτηνοτροφικές μονάδες θα

μπορούν να εγκαθίστανται κάτω από τέτοιους συλλέκτες. Ο χώρος κάτω από τους καθρέφτες μπορεί να χρησιμοποιείται και ως θέση στάθμευσης αυτοκινήτων.

Οι καθρέφτες Φρενέλ έχουν χαμηλό βαθμό απόδοσης, ο οποίος δεν ξεπερνά το 13%. Το κόστος παραγωγής ενέργειας υπολογίζεται στα 25 λεπτά/kWh.

Η τεχνολογία των συλλεκτών Φρενέλ είναι ακόμη σε πειραματικό στάδιο και γι' αυτό το λόγο δεν θεωρείται ακόμη εμπορικά αξιοποιήσιμη. Η εμπειρία από τη λειτουργία πειραματικών μονάδων, σε αντιδιαστολή με την τεχνολογία του παραβολικού συλλέκτη σκάφης και του ηλιακού πύργου δεν ξεπερνά τα 15 χρόνια. Όμως τα τελευταία χρόνια παρατηρείται στην Ευρώπη μια έντονη κινητικότητα με εταιρείες, οι οποίες δραστηριοποιούνται σε αυτόν τον τομέα.

Στην Ελλάδα η τεχνολογία του συλλέκτη Φρενέλ ενδείκνυται, όπως και του παραβολικού συλλέκτη σκάφης, για χρήση σε επίπεδες επιφάνειες με πολύ μικρή κλίση εδάφους. Περιοχές κατάλληλες είναι πεδινές ηπειρωτικές περιοχές και μεγάλα νησιά, όπως η Κρήτη.

Ο ΗΛΙΑΚΟΣ ΔΙΣΚΟΣ



Εικόνα 5: Πρωτοπόρο σύστημα ηλιακού δίσκου [4]

Τα συστήματα ηλιακού δίσκου ή αλλιώς τα συστήματα σημειακής εστίασης αποτελούνται από παραβολοειδείς συλλέκτες με τη μορφή δίσκου για την εστίαση των ηλιακών ακτίνων επάνω σε έναν αποδέκτη. Η **Εικόνα 5** δείχνει το μοντέλο ενός ηλιακού δίσκου από την Ισπανία.

Ο αποδέκτης είναι τοποθετημένος πάνω από τον δίσκο ακριβώς στο σημείο εστίασης. Είναι ταυτόχρονα και το σημείο, στο οποίο είναι εγκαταστημένη μια μηχανή Stirling ή μικρός αεριο-

στρόβιλος. Ο αποδέκτης απορροφά τις συγκεντρωτικές ακτίνες του ήλιου και μεταφέρει την θερμότητα σε ένα ρευστό. Το ρευστό είναι αέριο υδρογόνο ή ήλιο, το οποίο θερμαίνεται ή ψύχεται εναλλάξ. Η μηχανή Stirling μετατρέπει την θερμότητα από τον αποδέκτη σε μηχανική ισχύ του άξονα. Παράγει έργο είτε συμπυκνώνοντας το αέριο, όταν είναι ψυχρό, είτε εκτονώνοντας το αέριο, όταν είναι θερμό. Μια γεννήτρια στη συνέχεια μετατρέπει την μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική ενέργεια. Ο ηλιακός δίσκος επιτυγχάνει θερμοκρασίες μέχρι 800 °C και μπορεί να παράγει από 5 kW μέχρι 100 kW. Η διάμετρος του δίσκου μπορεί να κυμαίνεται μεταξύ 5 και 15 μέτρων. Ένας ηλιακός δίσκος των 5 kW χρειάζεται μια διάμετρο 5,5 μέτρων.

Όπως και οι παραβολικοί συλλέκτες σκάφης μπορούν πολλοί ηλιακοί δίσκοι να συνδεθούν

μαζί για να παράγουν περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια. Έτσι δημιουργείται ένα ηλιακό πεδίο δίσκων με ισχύ της τάξης αρκετών MW.

Ο ηλιακός δίσκος ακολουθεί τη φαινομενική κίνηση του ήλιου κατά τη διάρκεια της ημέρας σε δύο διαστάσεις. Αυτή η κίνηση επιτυγχάνεται αυτόματα με τη χρήση ηλεκτροκινητήρων.

Ο ηλιακός δίσκος λόγω της ακριβούς εστίασης των ηλιακών ακτίνων συγκεντρώνει πολλαπλασιαστικά την ηλιακή ακτινοβολία από 1.000-3.000 φορές. Ο μεγαλύτερος παρατηρηθής συντελεστής ηλιακής απόδοσης, δηλαδή απόδοσης της μετατροπής της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια, είναι 29% [5]. Η πολύ υψηλή αυτή απόδοση, που παρουσιάστηκε στις Η.Π.Α., οφείλεται στις υψηλές θερμοκρασίες, οι οποίες επιτυγχάνονται στον αποδέκτη. Αρχίζοντας από έξοδα επένδυσης άνω των 15.000 €/kW_e με την αύξηση της παραγωγής μπορούν να επιτευχθούν έξοδα κάτω των 7.000 €/kW_e.

Το κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ηλιακό δίσκο είναι πάνω από 40 λεπτά/kWh, αλλά αναμένεται σταδιακή μείωση της τιμής εντός των επόμενων δεκαετιών.

Αν και υπάρχει μια αξιόλογη εμπειρία με πάνω από 50.000 ώρες λειτουργίας, η τεχνολογία του ηλιακού δίσκου δεν θεωρείται ακόμη εμπορικά αξιοποιήσιμη.

Ο ηλιακός δίσκος έχει τη δυνατότητα να λειτουργεί περισσότερο χρόνο πριν την ανατολή και μετά τη δύση του ήλιου. Επιπλέον, όπως και τα φωτοβολταϊκά συστήματα, μπορεί να παράγει ηλεκτρικό ρεύμα ακόμα και σε συννεφιασμένες ημέρες.

Ο πρώτος εμπορικά αξιοποιήσιμος ηλιακός δίσκος μπορεί να είναι στο μέλλον ο EuroDish, η εξέλιξη του οποίου υποστηρίζεται από προγράμματα της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Στόχος είναι, το κόστος επένδυσης να κυμαίνεται κάτω από 3.000 €/kW_e. Ο EuroDish είναι ένας πρωτοπόρος ηλιακός δίσκος των 10 kW με 8,5 μ. διάμετρο. Για τη μείωση του κόστους έγιναν βελτιώσεις στην μηχανή Stirling και στον αποδέκτη, στον μηχανισμό ελέγχου αλλά και στη γενική διάρθρωση και γεωμετρία του δίσκου.

Ο ηλιακός δίσκος ενδείκνυται για την τροφοδότηση με ενέργεια απομακρυσμένων περιοχών, όπως π.χ. χωριά, νησιά. Στην Ελλάδα στα απομακρυσμένα νησιά των Δωδεκανήσων θα μπορούσαν να εγκατασταθούν τα συστήματα του ηλιακού δίσκου για την παροχή ηλεκτρικού ρεύματος σε χωριά και ξενοδοχειακά συγκροτήματα. Το κόστος παραγωγής ρεύματος υπολογίζεται μεταξύ 18 και 29 λεπτών/kWh.

Μια επιστημονική ανάλυση για την Κρήτη για μεγάλες μονάδες ενεργειακής ισχύος 50 MW δείχνει, ότι ο ηλιακός δίσκος αποτελεί μια αξιόλογη λύση για την κάλυψη των υψηλών ενεργειακών αναγκών, οι οποίες παρουσιάζονται κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού [10]. Μελλοντικός συνδυασμός της τεχνολογίας με υβριδικά συστήματα ή και μια μελλοντική επιχορήγηση της τεχνολογίας του ηλιακού δίσκου στην Ελλάδα επιτρέπει την επίτευξη ανταγωνιστικών τιμών κόστους παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος.

Η ΗΛΙΑΚΗ ΚΑΜΙΝΑΔΑ

Το σύστημα της ηλιακής καμινάδας επίσης χρησιμοποιεί την ηλιακή ενέργεια για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Σε πρώτη φάση επιτυγχάνεται με τον ήλιο η θέρμανση των μορίων του αέρα, που βρίσκονται εντός ενός μεγάλου σε έκταση συλλέκτη με μορφή σκεπής. Το σύστημα μοιάζει με ένα τεραστίων διαστάσεων ανοιχτό στις άκρες και στο κέντρο κυκλικό θερμοκήπιο. Στο κέντρο του κύκλου είναι εγκαταστημένος ένας πολύ υψηλός πύργος, στην αρχή του οποίου βρίσκονται αεριοστροβίλοι [11]. Λόγω της δημιουργούμενης διαφοράς της πυκνότητας των αερίων μαζών μεταξύ των ζεστών του συλλέκτη και του πύργου με τις κρύες στο εξωτερικό έχουμε ροή με κατεύθυνση τον πύργο στο κέντρο του κύκλου. Στη συνέχεια οι αέριες μάζες ωθούνται προς τα πάνω εντός του πύργου της καμινάδας. Στη βάση του, η συνεχής ροή του αέρα θέτει σε κίνηση αεριοστροβίλους και στη συνέχεια η μηχανική ενέργεια μετατρέπεται με γεννήτριες σε ηλεκτρικό ρεύμα. Η απόδοση της μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε θερμότητα είναι περίπου 45%. Αντιθέτως ο συντελεστής απόδοσης για την μετατροπή της θερμότητας σε κινητική ενέργεια είναι πολύ χαμηλός, μόλις 3%.

Σε αντιδιαστολή με τις άλλες ηλιοθερμικές συγκεντρωτικές μορφές παραγωγής ενέργειας η ηλιακή καμινάδα χρησιμοποιεί επιπλέον και την διάχυτη ακτινοβολία. Έτσι είναι εφικτή και η λειτουργία της μονάδας σε συννεφιασμένες ημέρες, χωρίς να είναι απαραίτητη η προσθήκη ενός αποθηκευτή θερμότητας. Η αποθήκευση θερμότητας συντελείται, χωρίς κόστος, στο έδαφος εντός του συλλέκτη, ώστε να επιτυγχάνεται και η παροχή ρεύματος τη νύχτα.



Εικόνα 6: Πρωτότυπη πιλοτική ηλιακή καμινάδα στις Manzanares της Ισπανίας [4]

Η εγκατεστημένη ενεργειακή ισχύς μπορεί να φτάσει με τη χρήση ενός μεγάλης επιφάνειας συλλέκτη και μιας υψηλής καμινάδας μέχρι τα 100 με 200 MW.

Στις αρχές της δεκαετίας του 80 άρχισαν τα πρώτα βήματα με τη δημιουργία της πρώτης πλοτικής ηλιακής καμινάδας με ισχύ 50 kW και με ύψος 200 μέτρα στις Manzanares της Ισπανίας (βλέπε **Εικόνα 6**) [4].

Ήδη προωθείται η δημιουργία μιας τεραστίων διαστάσεων ηλιακής καμινάδας στην έρημο της Αυστραλίας. Η ενεργειακή ισχύς θα είναι της τάξης των 200 MW. Ο πύργος της καμινάδας θα έχει 1.000 μέτρα ύψος με ένα συλλέκτη 7 χλμ. κυκλικής ακτίνας. Η παραγόμενη ενέργεια επίσης θα κυμαίνεται γύρω στις 550 GWh. Αυτή η μονάδα θα αποτρέψει την εκπομπή 1,4 εκ. τόνων διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα.

Η ηλιακή καμινάδα δεν έχει υψηλό συντελεστή απόδοσης και είναι εμπορικά αξιοποιήσιμη σε μεγάλες εγκαταστάσεις άνω των 100 MW. Το κόστος παραγωγής ενέργειας για εγκατάσταση ισχύος άνω των 100-200 MW μπορεί να φτάσει τα 7 λεπτά/kWh, που είναι λίγο πιο υψηλά από τις συμβατικές τεχνολογίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Λόγω των απλών υλικών, που χρησιμοποιούνται κατά την εγκατάσταση, υπάρχει μια περαιτέρω δυναμική μείωσης του κόστους στο μέλλον.

Για την Ελλάδα οι μοναδικές περιοχές, οι οποίες παρουσιάζουν ενδιαφέρον, είναι μόνο οι πεδινές περιοχές όπως η Θεσσαλία. Όμως η εγκατάσταση μιας ηλιακής καμινάδας απαιτεί τεράστιες εκτάσεις γης και συνεπάγεται αλλαγή της καλλιέργειας στην περιοχή και αντικατάστασή της με καλλιέργειες θερμοκηπίου. Γι' αυτό το λόγο οι πιθανότητες εφαρμογής της ηλιακής καμινάδας σε μεγάλη κλίμακα στην Ελλάδα στο εγγύς μέλλον μπορούν να θεωρούνται μηδαμινές.

Ο ΗΛΙΑΚΟΣ ΠΥΡΓΟΣ

Στις τεχνολογίες των ηλιοθερμικών συστημάτων παραγωγής ενέργειας συγκαταλέγεται και η τεχνολογία παραγωγής ενέργειας με ηλιακό πύργο. Ο ηλιακός πύργος ονομάζεται αλλιώς ηλιακός συγκεντρωτικός αποδέκτης ή σύστημα κεντρικής εστίασης.

Σε ένα εργοστάσιο παραγωγής ενέργειας με ηλιακό πύργο ηλιοστάτες εστιάζουν την ηλιακή ακτινοβολία σε έναν μετατροπέα θερμότητας. Η **Εικόνα 7** δείχνει την αρχή λειτουργίας του ηλιακού πύργου. Διακρίνεται το ηλιοστατικό πεδίο, ο ηλιακός πύργος και ο αποδέκτης της συγκεντρωτικής ακτινοβολίας στην υψηλότερη περιοχή του πύργου. Τα σημαντικότερα μέρη του ηλιακού πύργου είναι το ηλιοστατικό πεδίο, ο αποδέκτης και ο συμβατικός κύκλος.

Το ηλιοστατικό πεδίο αποτελείται από πολλούς ηλιοστάτες. Ο κάθε ηλιοστάτης ακολουθεί την φαινομενική κίνηση του ήλιου στον ουράνιο θόλο και προβάλλει τις ηλιακές ακτίνες στον αποδέκτη. Αποτελείται από καθρέφτες που μπορούν να κινούνται σε δύο διαστάσεις, ώστε να επιτυγχάνουν την ακριβή εστίαση των ηλιακών ακτίνων. Διαθέτουν την ικανότητα να αντανακλούν το μεγαλύτερο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας απορροφώντας ελάχιστο ποσοστό. Ο κάθε καθρέφτης έχει ελαφρά παραβολικό σχήμα. Η επιφάνεια του μπορεί να κυμαίνεται από 5 έως 150 m². Το σύνολο των ηλιοστατών ορίζει το ηλιοστατικό πεδίο, το οποίο μπορεί να περιλαμβάνει έναν μεγάλο αριθμό από καθρέφτες. Το ηλιοστατικό πεδίο είναι έτσι σχεδιασμένο, ώστε ο κάθε ηλιο-

στάτης να μπορεί να εστιάσει την ηλιακή ακτινοβολία στον αποδέκτη. Εάν είναι όλο το ηλιοστατικό πεδίο σε λειτουργία, επιτυγχάνεται πολλαπλάσια συγκέντρωση του ηλιακού φωτός στον αποδέκτη, 500 με 1.000 φορές [12]. Αυτή η συγκέντρωση αρκεί για την επίτευξη θερμοκρασιών στον αποδέκτη πάνω από 1200°C. Μεγάλοι ηλιακοί συγκεντρωτικοί αποδέκτες με χιλιάδες ηλιοστατικές επιφάνειες έκαστος 100 m² χρειάζονται πύργους με ύψος από 100 έως 200 μέτρα.

Ο μετατροπέας θερμότητας (αποδέκτης) βρίσκεται στην κορυφή του πύργου. Ο ηλιακός αποδέκτης μπορεί να έχει εμβαδόν μόλις μερικά τετραγωνικά μέτρα. Ο ρόλος του είναι η απορρόφηση της συγκεντρωτικής ηλιακής ακτινοβολίας με μικρές απώλειες θερμότητας και η απόδοση της θερμικής ενέργειας σε ένα μέσο μεταφοράς της σε υψηλές θερμοκρασίες. Τέτοια υλικά, που έχουν τις κατάλληλες ιδιότητες για τη χρησιμοποίησή τους ως αποδέκτες, είναι μεταλλικές ή κεραμικές δομές, οι οποίες μπορούν να ανταπεξέλθουν σε μεγάλες αλλαγές της θερμοκρασίας.

Το μέσο μεταφοράς της θερμότητας απορροφά την συγκεντρωτική ακτινοβολία και την μετατρέπει σε θερμική ενέργεια. Ως μέσο μεταφοράς της θερμότητας έχει χρησιμοποιηθεί μέχρι τώρα νερό/ατμός, τετηγμένο αλάτι, υγρό νάτριο και αέρας.

Η θερμότητα μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είτε για χημικές διεργασίες. Στις ηλιακές χημικές εφαρμογές συγκαταλέγεται εκτός των άλλων η πήξη μετάλλων, για την οποία απαιτούνται υψηλές θερμοκρασίες, η παραγωγή καυσίμων όπως υδρογόνου αλλά και η παραγωγή άλλων χημικών ενώσεων. Μια άλλη πολύ σημαντική εφαρμογή είναι η χρήση της ηλιακής θερμότητας για την αφαλάτωση και την παροχή πόσιμου νερού.

Η πιο σημαντική και εμπορικά αξιοποιήσιμη εφαρμογή της τεχνολογίας του ηλιακού πύργου είναι για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος, όπου συνδυάζεται με το συμβατικό κύκλο ενός ατμοηλεκτρικού εργοστασίου. Η παραγόμενη θερμική ενέργεια χρησιμεύει για την παραγωγή ατμού, ο οποίος διοχετεύεται σε στροβιλομηχανή. Όσο πιο υψηλή είναι η θερμοκρασία του συμβατικού κύκλου, τόσο πιο αποδοτικά μπορεί να λειτουργήσει ο ατμοστρόβιλος. Σε ηλεκτροπαραγωγικούς σταθμούς ηλιακού πύργου επιτυγχάνονται οι θερμοκρασίες ατμού των συμβατικών ατμοηλεκτρικών εργοστασίων των 540-560°C [6]. Η με αυτό τον τρόπο παραγόμενη μηχανική ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική μέσω γεννήτριας για την τελική παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Ο ατμός στη συνέχεια ψύχεται και συμπυκνώνεται σε νερό. Έτσι ο συμβατικός κύκλος είναι κλειστός, καθώς το νερό διοχετεύεται με αντλίες στους εναλλάκτες θερμότητας για την μετατροπή του σε ατμό.

Τέτοια εργοστάσια παραγωγής ενέργειας ενδείκνυνται για εφαρμογές άνω των 10 MW.

Από τις αρχές της δεκαετίας του 80 έγιναν πολλά ερευνητικά προγράμματα στην Βόρεια Αμερική και στην Ευρώπη για τη χρήση του ηλιακού πύργου. Πειραματικές εγκαταστάσεις με ενεργειακή ισχύ έως 10 MW έχουν τεθεί σε λειτουργία στην Γαλλία, στο Ισραήλ, στις Η.Π.Α., στην Ιταλία, στην Ιαπωνία, στην πρώην Ε.Σ.Σ.Δ. και στην Ισπανία.

Με την αποκτηθείσα εμπειρία διαμορφώθηκαν οι προϋποθέσεις για τη εμπορική αξιοποίηση και την δημιουργία των πρώτων ηλιακών εργοστασίων παραγωγής ενέργειας με ηλιακό πύργο. Σήμερα στην εγκατάσταση και ανάπτυξη της τεχνολογίας στην Ευρώπη πρωτοστατούν η Γερμανία και η Ισπανία.

Ένα ηλιακό εργοστάσιο με πύργο και ηλιοστατικό πεδίο και παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος της τάξης των 10 MW με την ονομασία Planta Solar (PS10) δημιουργήθηκε στο Σανλουκά κοντά στη Σεβίλλη της Ισπανίας [13]. Η κατασκευή του ξεκίνησε το καλοκαίρι του 2004 και ολοκληρώθηκε το 2006. Ο αποδέκτης είναι σε ύψος 90 μέτρων και το σύστημα περιλαμβάνει και αποθηκευτή θερμότητας. Ο αποθηκευτής θερμότητας επιτρέπει τη λειτουργία του θερμικού εργοστασίου



Εικόνα 7: Η τεχνολογία του ηλιακού πύργου (Πηγή Sandia)

παραγωγής ενέργειας ακόμη και σε συνεφιασμένες ημέρες. Παρόμοια εργοστάσια μέχρι 50 MW έχουν σχεδιαστεί και θα κατασκευασθούν μέχρι το τέλος του 2010.

Ακόμα και στη Γερμανία, η οποία δεν διαθέτει υψηλό ηλιακό δυναμικό έχει ολοκληρωθεί η εγκατάσταση ενός ηλιακού εργοστασίου με ηλεκτρική ισχύ 1,5 MW [2]. Το εργοστάσιο αυτό, το οποίο εκτός της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας δημιουργήθηκε για λόγους έρευνας και επίδειξης της τεχνολογίας του ηλιακού πύργου. Είναι το μοναδικό στον κόσμο, το οποίο χρησιμοποιεί αέρα ως μέσο μεταφοράς της θερμότητας. Στην πόλη του Γιούλιχ στο κρατίδιο της Ρηνανίας Βεσφαλίας έχει δημιουργηθεί γι' αυτόν τον σκοπό ένα μεγάλο πεδίο με καθρέφτες συνολικής επιφάνειας περίπου 18.000 m² [12]. Το ενεργειακό αυτό σχέδιο χρηματοδοτείται κατά το μεγαλύτερο ποσοστό από τα κρατίδια της Ρηνανίας Βεσφαλίας, της Βαυαρίας και από το Υπουργείο Περιβάλλοντος της Γερμανίας.

Αριστερά στην **Εικόνα 8** διακρίνεται ένα τμήμα του ηλιοστατικού πεδίου και δεξιά ο ηλιακός πύργος ύψους 60 μέτρων με τον αποδέκτη. Στον αποδέκτη αναπτύσσονται θερμοκρασίες που ξεπερνούν τους 900 °C [12]. Ως μέσο μεταφοράς χρησιμοποιείται αέρας, ο οποίος μεταφέρει τη θερμότητα από τον αποδέκτη σε εναλλάκτες θερμότητας, στους οποίους θερμαίνεται το νερό και παράγεται ατμός. Η θερμική ενέργεια του ατμού μετατρέπεται στον ατμοστρόβιλο του συμβατικού κύκλου σε μηχανική ενέργεια. Η με αυτό τον τρόπο παραγόμενη μηχανική ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική μέσω γεννήτριας για την τελική παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Οι εργασίες κατασκευής της μονάδας του ηλιακού πύργου, όπως διακρίνεται και στην **Εικόνα 8**, έχουν ολοκληρωθεί και ήδη έχουν παραχθεί οι πρώτες κιλοβατώρες ηλεκτρικού ρεύματος.

Σε αντιδιαστολή με τους παραβολικούς συλλέκτες σκάφης ο ηλιακός πύργος επιτυγχάνει υψηλότερους συντελεστές απόδοσης λόγω των υψηλών θερμοκρασιών, οι οποίες επιτυγχάνονται. Η ποιότητα και η απόδοση του συστήματος του ηλιακού πύργου συνεχώς βελτιώνεται, επιτυγχάνοντας μείωση του κόστους λειτουργίας και συντήρησής του. Σήμερα, τα συστήματα αυτά κυρίως λειτουργούν για κάλυψη των φορτίων αιχμής, αλλά η έρευνα συνεχίζεται για μελλοντικά ηλιακά, αυτόνομα συστήματα με συνδυασμό αποθήκευσης θερμότητας [14].

Συστήματα ηλιακού πύργου, τα οποία προορίζονται για μελλοντικές εφαρμογές, είναι τα υβριδικά συστήματα με ηλιακή συμμετοχή περίπου 10-50%. Τα υβριδικά συστήματα αυξάνουν τις ώρες συνεχούς λειτουργίας της ηλεκτροπαραγωγικής μονάδας και μειώνουν τόσο το κόστος



Εικόνα 8: Ηλιακός πύργος του Γιούλιχ (Πηγή: Πόλη του Γιούλιχ)

όσο και το τεχνολογικό ρίσκο επιτρέποντας τη χρήση συμβατικών πηγών ενέργειας στην περίπτωση, που είναι αναγκαίες εργασίες συντήρησης ή αντικατάστασης στο πλειοστατικό πεδίο ή στον αποδέκτη. Τέτοια συστήματα μπορούν να λειτουργούν ως μονάδες βάσης για την κάλυψη της συνεχούς απαίτησης του δικτύου.

Ο επίσης συντελεστής απόδοσης κυμαίνεται, όπως περίπου και στις άλλες δύο μορφές της συγκεντρωτικής θερμικής τεχνολογίας, μεταξύ 15-20%. Οι συντελεστές αυτοί είναι μικρότεροι από τους συντελεστές απόδοσης των ατμοηλεκτρικών εργοστασίων, καθώς περιλαμβάνουν επιπλέον την μετατροπή της συγκεντρωτικής ηλιακής ενέργειας σε θερμότητα.

Για την Ευρώπη το συνολικό κόστος της μονάδας παραγωγής ρεύματος υπολογίζονταν το 2000 μεταξύ 0,20 και 0,12 ευρώ ανά κιλοβατώρα. Από διάφορες επιστημονικές δημοσιεύσεις προκύπτει, ότι το κόστος επένδυσης ανά κιλοβάτ κυμαινόταν μεταξύ 3.000 και 5.000 ευρώ. Στις αρχές του 2008 το κόστος παραγωγής ρεύματος εγγίζει τιμές των 14 λεπτών/kWh και το κόστος επένδυσης ανά κιλοβάτ τα 3.000 ευρώ. Η εμπειρία των καινούργιων ηλιακών μονάδων με πύργο στην Ευρώπη δείχνουν μια συνεχή μείωση του κόστους, το οποίο μπορεί μελλοντικά να κυμανθεί σε επίπεδα κάτω των 10 λεπτών ανά κιλοβατώρα.

Το Υπουργείο Περιβάλλοντος της Γερμανίας υπολόγιζε τον Απρίλη του 2006 την μελλοντική τιμή του κόστους παραγωγής ρεύματος με ηλιακό πύργο το 2010 στα 12 λεπτά/kWh [5]. Λαμβάνοντας υπόψη την καθαρή ηλιακή λειτουργία του συστήματος σε περιοχές με υψηλό ηλιακό δυναμικό όπως στην Ισπανία, 8% τοκισμό δανειοδότησης και 25 χρόνια ζωής του εργοστασίου υπολόγιζε το κόστος να εγγίζει στα τέλη της δεύτερης δεκαετίας την ελάχιστη τιμή των 6 λεπτών ανά κιλοβατώρα.

Για την περιοχή της Νότιας Ευρώπης ενδεικτικές τιμές κόστους είναι σήμερα 20 λεπτά/kWh. Μια πρόσφατη πραγματογνωμοσύνη της Παγκόσμιας Τράπεζας προβλέπει μείωση του κόστους παραγωγής ρεύματος στα 7-8 λεπτά/kWh για ηλιακούς πύργους με ισχύ 100 MWe για περιοχές με πολύ υψηλό ηλιακό δυναμικό, όπως στην Βόρεια Αφρική [13]. Για ακόμη μεγαλύτερες ηλεκτροπαραγωγικές μονάδες των 200 MWe το κόστος υπολογίζεται σε 5 λεπτά μόνο ανά κιλοβατώρα.

Το ηλιακό δυναμικό της Ελλάδας είναι πολύ υψηλό ξεπερνώντας τις 4.200 κιλοβατώρας ανά τετραγωνικό μέτρο ημερησίως. Η Ελλάδα διαθέτει αρκετές περιοχές με υψηλές τιμές επίσης διαθέσιμης ηλιακής ακτινοβολίας, σχεδόν ανάλογες με αυτές της Ισπανίας. Στην Ελλάδα, η μέση επίσημα προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία κυμαίνεται στις 1.750 kWh/m² [15]. Τέτοιες τιμές θεωρούνται ιδανικές για την οικονομική αξιοποίηση με τεχνολογίες συγκεντρωτικής ηλιακής ενέργειας, όπως και ο ηλιακός πύργος.

Το οικονομικά εκμεταλλεύσιμο δυναμικό των συγκεντρωτικών ηλιακών τεχνολογιών για την Ελλάδα σήμερα, άρα και της τεχνολογίας του ηλιακού πύργου, είναι πάνω από 4.000 GWh [16]. Το τεχνικά εκμεταλλεύσιμο δυναμικό της τεχνολογίας του ηλιακού πύργου είναι πολλές τάξεις μεγέθους μεγαλύτερο.

Σημαντικό όμως δεν είναι μόνο το μέγεθος της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από ηλιακούς πύργους. Αντίθετα κρίσιμη είναι η αλληλεπίδραση της ζήτησης ενέργειας με την προσφορά στο δίκτυο. Στην Ελλάδα και ειδικά στις μεγάλες πόλεις και στα τουριστικά θέρετρα η προσφορά της ηλιακής ενέργειας καλύπτει ιδανικά τη ζήτηση. Η ζήτηση ενέργειας είναι το καλοκαίρι υψηλότερη λόγω της αυξημένης χρήσης των κλιματιστικών κατά τις μεσημεριανές ώρες.

Η δυνατότητα της ενσωμάτωσης αποθηκευτών θερμότητας ή της καύσης συμβατικών καυσίμων ή βιοκαυσίμων με τον ηλιακό πύργο επιτρέπει την μακροπρόθεσμη κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της Ελλάδας από ηλιακές συγκεντρωτικές τεχνολογίες. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα του ηλιακού πύργου είναι η ανεξαρτησία από τα συμβατικά καύσιμα ή από το ουράνιο.

Η τεχνολογία του ηλιακού πύργου για την Ελλάδα έχει πολλά πλεονεκτήματα διότι [16]:

- επιτυγχάνει έναν υψηλό αριθμό ωρών λειτουργίας σε συνδυασμό με
 - * υβριδικά συστήματα ή με
 - * αποθηκευτές θερμότητας
- συντελεί στην παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος σε μη διασυνδεδεμένα συστήματα
- έχει σύμφωνα με μια μελέτη του Γερμανικού Κέντρου Κίνησης στην Ατμόσφαιρα και στο Διάστημα (DLR) από το έτος 2004 το υψηλότερο δυναμικό εξοικονόμησης κόστους
- έχει τον υψηλότερο βαθμό απόδοσης για μεγάλες μονάδες, λόγω των υψηλών θερμοκρασιών και της χρήσης του συμβατικού κύκλου
- μειώνει την εκπομπή του διοξειδίου του άνθρακα
- το ηλιοστατικό πεδίο δεν επιβαρύνει τις καλλιέργειες (λαχανικά) ή τα βοσκοτόπια
- είναι φιλική προς το περιβάλλον, καθώς τα μέσα μεταφοράς της θερμότητας είναι μη επιβλαβή
- έχει υψηλή αξιοπιστία, καθώς τα περισσότερα τμήματα του εργοστασίου είναι από συμβατικούς κύκλους
- επιτρέπει την τοποθέτηση των μονάδων και σε μη πεδινά εδάφη

Στην Ελλάδα υπάρχει δυνατότητα χρήσης της τεχνολογίας του ηλιακού πύργου για μεγάλα συστήματα άνω των 10 MW ηλεκτρικής ισχύος της Ηπειρωτικής Ελλάδας. Σε αντιδιαστολή με την τεχνολογία του παραβολικού συλλέκτη σκάφης ο ηλιακός πύργος μπορεί να εγκατασταθεί και σε επιφάνειες με κλίση εδάφους. Έτσι ακόμη και ορεινές περιοχές την Νότιας Πελοποννήσου θα μπορούσαν να τροφοδοτούν το ηλεκτρικό δίκτυο με ρεύμα. Ιδανικές είναι πεδινές περιοχές της Νότιας Ηπειρωτικής Ελλάδας, η Κρήτη και η Ρόδος. Σε αυτή την περίπτωση απαιτούνται μεγάλες εκτάσεις γης, αλλά αυτό δεν επηρεάζει τις καλλιέργειες στην περιοχή, καθώς ακόμη και στην ίδια την έκταση του ηλιοστατικού πεδίου μπορεί να συνεχίζεται η καλλιέργεια της γης.

Ο ηλιακός πύργος ενδείκνυται για την τροφοδότηση με ενέργεια απομακρυσμένων περιοχών, όπως π.χ. χωριά, νησιά. Η ηλιακή ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μικρούς ηλιακούς πύργους σε απομακρυσμένα ελληνικά νησιά για την παραγωγή ρεύματος, τη χρήση της θερμότητας για την αφαλάτωση του θαλασσινού νερού και την συλλογή πόσιμου νερού. Σε όλες αυτές τις

δυνατότητες μπορεί να προστεθεί και ο συνδυασμός του ηλιακού πύργου με καύση φυσικού αερίου ή βιοαερίου σε υβριδικά συστήματα για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος.

Τα ηλιοθερμικά συστήματα παραγωγής ενέργειας αποτελούν ιδανικές ηλιακές τεχνολογίες, στις οποίες η Ελλάδα θα μπορούσε να πρωτοστατήσει δημιουργώντας νέες θέσεις εργασίας, μειώνοντας την εξάρτηση από το πετρέλαιο και συμβάλλοντας στην μείωση της εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα.

Βιβλιογραφία

- [1] Solare Wärme zur Stromerzeugung nutzen, BINE Informationsdienst, 24.10.2007
- [2] Mehr solarthermische Kraftwerke, Energy 2.0, Juli 2008, S. 7
- [3] Solarthermische Kraftwerke werden Praxis, BINE Projektinfo, 07/08
- [4] W. Schiel, R. Bergermann: 20 Jahre Entwicklung von solarthermischen Kraftwerken, Stahlbau, 73, Heft 12, pp. 959-972, 2004
- [5] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Erneuerbare Energien Innovationen für die Zukunft, S. 76-82, April 2006
- [6] SECHSTES KASSELER SYMPOSIUM ENERGIE- SYSTEMTECHNIK, Erneuerbare Energien und Rationelle Energieverwendung, Tagungsband, Kassel, 2001
- [7] BMU-Newsletter zur Forschung im Bereich Erneuerbarer Energien Optimierung von Fresnel Kollektoren, S. 4, 02/2008, 7. Mai 2008
- [8] Solarthermische Kraftwerke, BINE Informationsdienst, Projektinfo, 12/2003
- [9] BMU-Newsletter zur Forschung im Bereich Erneuerbarer Energien Fresnel Technologie wird weiterentwickelt, S. 7, 04/2006, 28. September 2006
- [10] T. Tsoutsos, V. Gekas, K. Marketaki: Technical and economical evaluation of solar thermal power generation, Renewable Energy, 28, pp. 873-886, 2003
- [11] J. Schlaich: Aufwindkraftwerke, FVS Themen, 2002
- [12] Σ. Χ. Αλεξόπουλος: Η τεχνολογία του ηλιακού πύργου και προοπτικές στην Ελλάδα, Ο κόσμος της Ενέργειας, Τεύχος 11, σελ. 28-29, Απρίλιος-Ιούνιος 2007
- [13] Concentrated solar thermal power – now Greenpeace, Solar PACES, September 2005
- [14] Π. Χαβιαρόπουλος, Π. Βιώνης, Α. Δημούδη, Κ. Καρύτσας, Γ. Λεμονής, Ν. Λυμπερόπουλος, Κ. Πανούτσου, Χ. Πρωτογερόπουλος: ΠΡΟΣΦΑΤΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΞΕΛΙΞΕΙΣ ΣΤΙΣ ΑΠΕ, ΚΑΠΕ, σ. 1-9
- [15] Α. Ζαχαρίου: Αλουμίνιο για ηλιακή ενέργεια από την ETEM A.E., Αλουμίνιο, σ. 114, Δεκέμβρης 2001
- [16] Σ. Χ. Αλεξόπουλος: Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω ηλιακών πύργων, Ομιλία στο 13ο Εθνικό Συνέδριο του IENE «Ενέργεια και Ανάπτυξη», Αθήνα, 12-13 Νοεμβρίου 2008

ΣΥΝΤΟΜΟ ΒΙΟΓΡΑΦΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ

Σπύρος Αλεξόπουλος, Solar-Institut Jülich (SIJ), FH Aachen, Aachen University of Applied Sciences

Ο Δρ. Σπύρος Αλεξόπουλος γεννήθηκε στο Essen της Γερμανίας. Μεγάλωσε στην Αθήνα και σπούδασε στη Γερμανία, όπου απέκτησε πτυχίο στις φυσικές επιστήμες, ενώ άρχισε την επαγγελματική του καριέρα στο Γερμανικό Αεροδιαστημικό Κέντρο (DLR), στην Κολωνία της Γερμανίας, στο οποίο ολοκλήρωσε την διδακτορική του διατριβή ως μηχανολόγος μηχανικός στο πεδίο των ηλιοθερμικών συγκεντρωτικών συστημάτων. Από το 1998 απασχολείται στο συγκεκριμένο πεδίο έρευνας.

Ο Δρ. Σπύρος Αλεξόπουλος είναι επιστημονικός συνεργάτης στο Solar-Institut Jülich, του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου του Aachen, το οποίο εδρεύει στην πόλη Jülich της Γερμανίας, όπου ασχολείται με τη διαχείριση και τον συντονισμό διαφόρων ερευνητικών προγραμμάτων στους τομείς των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) και της εξοικονόμησης ενέργειας. Έχει δημοσιεύσει ένα πλήθος από επιστημονικά κείμενα και έχει συμμετάσχει σε διεθνή συνέδρια σχετικά με τις ΑΠΕ και το φιλτράρισμα και την ανακύκλωση νερού.

Είναι εμπειρογνώμονας στην προσομοίωση ηλιοθερμικών συγκεντρωτικών εργοστασίων παραγωγής ενέργειας, ενώ συμμετέχει στο έργο Solar Tower Demonstration Plant Jülich. Εξειδικεύεται επίσης στον σχεδιασμό ερευνητικών προγραμμάτων με αντικείμενο τα ηλιοθερμικά συγκεντρωτικά συστήματα.

Είναι μέλος του Ινστιτούτου Ενέργειας Νοτιοανατολικής Ευρώπης (IENE).

ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ Ν.Α. ΕΥΡΩΠΗΣ

Αλ. Σούτσου 3, 106 71 Αθήνα

Τηλ:210-36.28.457, 36.40.278 – Fax: 210-36.46.144, e-mail: secretariat@iene.gr