

# PROCESOL II

Θερμικά Ηλιακά Συστήματα (ΘΗΣ)  
σε βιομηχανικές εφαρμογές

## Οδηγίες Σχεδιασμού και Συντήρησης



ALTENER 4.1030/Z/02-084/2002

Για την παραγωγή αυτού του οδηγού συνεργάστηκαν:

Αριστοτέλης ΑΗΔΟΝΗΣ: ΚΑΠΕ (Ελλάδα)  
Βασιλική ΔΡΟΣΟΥ: ΚΑΠΕ (Ελλάδα)

Thomas MUELLER: AEE INTEC (Αυστρία)  
Lars STAUDACHER: ZAE Bayern (Γερμανία)  
Fernando FERNANDEZ-LLEBREZ: SODEAN (Ισπανία)  
Αποστόλης ΟΙΚΟΝΟΜΟΥ: ΕΒΗΕ (Ελλάδα)  
Sílvinio SPENCER: ADENE (Πορτογαλία)

Με την υποστήριξη της Ευρωπαϊκής Επιτροπής  
(Γενική Διεύθυνση για την Ενέργεια και τις Μεταφορές).

Η αναπαραγωγή του περιεχομένου της παρούσας έκδοσης υπόκειται στην έγκριση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής. Ούτε η Ευρωπαϊκή Επιτροπή, ούτε άλλο πρόσωπο που ενεργεί για λογαριασμό της:

α) θα προβεί σε οποιαδήποτε δήλωση ρητά ή σιωπηρά, σε σχέση με τις πληροφορίες που περιέχονται στην παρούσα έκδοση.

β) ουδεμία ευθύνη αναλαμβάνει για ζημιές που ενδεχομένως προκληθούν από τη χρήση των πληροφοριών που περιέχονται στην παρούσα έκδοση.

Οι απόψεις που εκφράζονται σε αυτήν την δημοσίευση δεν απεικονίζουν απαραίτητως τις απόψεις της Ευρωπαϊκής Επιτροπής.



Συντονιστές  
Μιχάλης ΚΑΡΑΓΙΩΡΓΑΣ, Βασιλική ΔΡΟΣΟΥ, Αριστοτέλης ΑΗΔΟΝΗΣ

**Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας**

19ο χλμ. Λεωφόρου Μαραθώνος

190 09 Πικέρμι Αττικής

Τηλ: 210 66 03 300

Fax: 210 66 03 301

Website: [www.cres.gr](http://www.cres.gr)

E-mail: [cres@cres.gr](mailto:cres@cres.gr)

# ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## ΣΚΟΠΟΣ ΑΥΤΟΥ ΤΟΥ ΟΔΗΓΟΥ

Ο βασικός σκοπός αυτού του οδηγού είναι να παρουσιάσει απλά και συνοπτικά ορισμένες Οδηγίες Σχεδιασμού και Συντήρησης για εφαρμογές θερμικών ηλιακών συστημάτων (ΘΗΣ) στο βιομηχανικό τομέα.

Η σύνταξη του οδηγού πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού έργου PROCESOL II (πλήρης τίτλος: «Θερμικά Ηλιακά Συστήματα σε συνδυασμό με Τεχνολογίες Ανάκτησης Θερμότητας σε Βιομηχανικές Εφαρμογές», αριθμός σύμβασης: ALTENER 4.1030/Z/02-084/2002).

Το έργο PROCESOL II έχει σαν στόχο να προωθήσει την εφαρμογή των θερμικών ηλιακών συστημάτων (ΘΗΣ) σε συνδυασμό με τις τεχνολογίες ανάκτησης θερμότητας στους βιομηχανικούς τομείς, των χωρών που συμμετέχουν (Ελλάδα, Ισπανία, Πορτογαλία, Γερμανία, Αυστρία, Γαλλία και Βέλγιο). Τα φορτία των βιομηχανικών επεξεργασιών που μελετήθηκαν είναι αυτά που χρησιμοποιούν ζεστό νερό με απαιτούμενες θερμοκρασίες ως 90°C.

Ο οδηγός μπορεί να ενδιαφέρει -μεταξύ άλλων- τις ακόλουθες κατηγορίες: μελετητές, συμβούλους και αρμόδια στελέχη του βιομηχανικού κλάδου με τεχνικές γνώσεις, εμπειρογνώμονες σε θέματα ηλιοθερμικά, τεχνικούς κ.λπ.

**Γιατί εκδίδουμε έναν οδηγό με θέμα τις ηλιακές μονάδες στη βιομηχανία;**

- Οι ηλιακές μονάδες στη βιομηχανία έχουν κάποια ειδικά χαρακτηριστικά. Σύμφωνα δε με το έργο PROCESOL II και με το IEA Task 33 [IEA, ongoing], το δυναμικό διείσδυσής τους είναι μεγάλο.
- Η μέχρι σήμερα εμπειρία έχει δείξει ότι η έλλειψη σωστού σχεδιασμού και συντήρησης ήταν η βασική αιτία των προβλημάτων που παρουσιάστηκαν σε ορισμένες εφαρμογές.

Αξίζει να σημειωθεί ότι κάποιες από τις βασικές παραμέτρους σχεδιασμού και συντήρησης είναι κοινές για όλα τα κεντρικά ΘΗΣ (ειδικά τα μεγάλα), και εδώ αναφέρονται οι πιο κρίσιμες απ' αυτές (π.χ. η αντιμετώπιση της στασιμότητας και η αντιψυκτική προστασία). Από την άλλη πλευρά η παρούσα εργασία δεν έχει σκοπό να αναλύσει όλα τα συνήθη στοιχεία σχεδιασμού των ΘΗΣ (π.χ. συμβατικά υδραυλικά εξαρτήματα όπως αντλίες, εναλλάκτες θερμότητας, βαλβίδες κ.λπ., τυπικές στρατηγικές ελέγχου κ.ά.). Αυτά τα στοιχεία έχουν παρουσιαστεί αναλυτικά σε άλλες πηγές, όπως στον [Fink, 2004].

Τέλος, μαζί με τις οδηγίες συντήρησης δίνεται και ένας κατάλογος κανόνων για τους περιοδικούς ελέγχους, οι οποίοι εφόσον τηρούνται, ελαχιστοποιούν τις επεμβάσεις και τις δαπάνες συντήρησης.

# ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΟ ΣΤΑΔΙΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Προκειμένου να συλλέξει κανείς ορισμένα απαραίτητα δεδομένα για τη μελέτη σχεδιασμού ενός ΘΗΣ πρέπει να κάνει μία επίσκεψη «επί τόπου» στη βιομηχανική μονάδα. Οι βασικές ενέργειες που πρέπει να γίνουν (ή τα στοιχεία που πρέπει να συλλεχθούν) χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, όπως παρουσιάζονται στη συνέχεια:

## I. Κτίριο / διαθέσιμος χώρος – νομικές προϋποθέσεις

α. Κάντε ένα σχέδιο του κτιρίου (κτιρίων) με τα βασικά του χαρακτηριστικά. Πρόκειται απλά για ένα σκαρίφημα που θα έχει τις βασικές διαστάσεις του κτιρίου, τον προσανατολισμό του και τα πιθανά εμπόδια από άλλα κτίρια.

β. Εξετάστε την κατάσταση και τη διαθεσιμότητα του δώματος/στέγης (απεικονίστε τους διαθέσιμους χώρους), την πιθανή σκίαση (π.χ. από τα γειτονικά κτίρια) καθώς και τις δυνατότητες πρόσβασης. Για το τελευταίο αυτό σημείο πρέπει να εξετάσετε και τη δυνατότητα προσέγγισης του γερανού (εφόσον χρειάζεται), καθώς και τα πιθανά εμπόδια (π.χ. στενά περάσματα) για την εγκατάσταση της ηλιακής δεξαμενής.

γ. Εξετάστε εάν υπάρχουν νομικές απαιτήσεις ή άλλα τυπικά θέματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν, προκειμένου να εγκατασταθεί η ηλιακή μονάδα.

## II. Χαρακτηριστικά της βιομηχανικής επεξεργασίας

α. Συλλέξτε τα διαθέσιμα στοιχεία για τα θερμικά φορτία της βιομηχανίας. Σε αυτά τα στοιχεία συμπεριλαμβάνονται το είδος και η τιμή του καυσίμου που χρησιμοποιείται, μία κατά προσέγγιση εκτίμηση της αποδοτικότητας του συστήματος θέρμανσης και το χρονικό προφίλ του θερμικού φορτίου, τουλάχιστον σε εποχιακή βάση. Στο σχήμα 1 απεικονίζονται οι ενεργειακές πηγές (ηλεκτρισμός, καύσιμα) που χρησιμοποιούνται σε μία ζυθοποιία στη Γερμανία

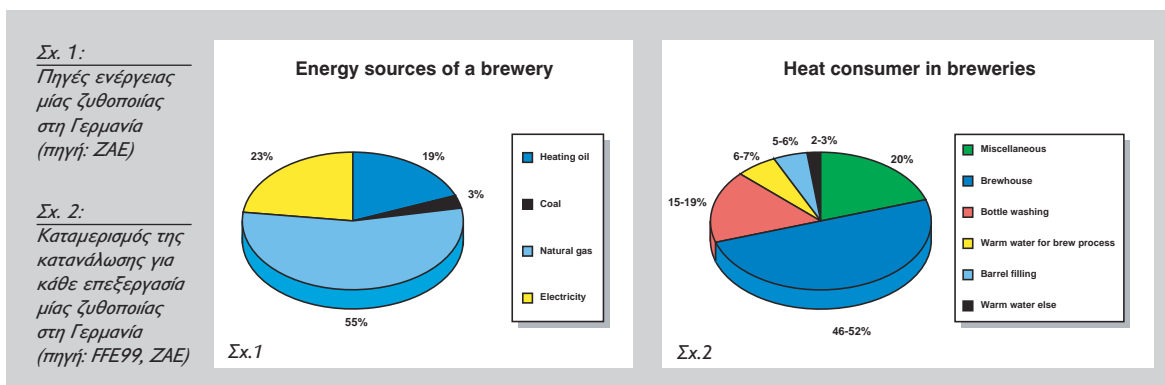
β. Αποκομίστε μια γενική εικόνα από τις διάφορες βιομηχανικές επεξεργασίες, προκειμένου να εξετάσετε τη δυνατότητα να συνδυαστούν με ΘΗΣ. Χρήσιμη είναι η σχηματική απεικόνιση των βιομηχανικών επεξεργασιών. Χρειάζονται επίσης ορισμένα στοιχεία κατανομής του φορτίου στις διάφορες επεξεργασίες (όπως φαίνεται στο παράδειγμα του σχήματος 2). Επιπλέον, πρέπει να είναι γνωστή η θερμοκρασία εισόδου και εξόδου για κάθε επεξεργασία.

γ. Καταγράψτε πιθανά μέτρα ανάκτησης θερμότητας, τα οποία μπορεί να έχουν προτεραιότητα για τη συγκεκριμένη βιομηχανία που εξετάζετε. Στη συνέχεια αναφέρονται ορισμένες παράμετροι που μπορούν να εξεταστούν κατά τη τεχνική επίσκεψη:

- Εφαρμόζονται ήδη μέτρα ανάκτησης θερμότητας, και ποιες είναι οι προθέσεις του ιδιοκτήτη προς αυτήν την κατεύθυνση για το μέλλον;
- Εφόσον χρησιμοποιείται δίκτυο ατμού για την μεταφορά θερμότητας, υπάρχει κύκλωμα επιστροφής των συμπυκνωμάτων;
- Είναι σε καλή κατάσταση η μόνωση των αγωγών του θερμού κυκλώματος;
- Υπάρχουν κάποιες διαδικασίες (π.χ. καθαρισμός εξοπλισμού ή δαπέδου) για τις οποίες τα μέτρα ανάκτησης θερμότητας δεν είναι οικονομικά βιώσιμα;

## Βελτιστοποίηση της βιομηχανικής επεξεργασίας

Πριν το σχεδιασμό ενός ΘΗΣ πρέπει να μελετηθεί η δυνατότητα βελτιστοποίησης της βιομηχανικής παραγωγής. Υπάρχει ένα ευρύ φάσμα στρατηγικών που μπορούν να υιοθετηθούν για τη βελτιστοποίηση της βιομηχανικής επεξεργασίας. Οι τεχνικές και ο εξοπλισμός ανάκτησης θερμότητας εξαρτώνται από την ίδια τη διαδικασία παραγωγής. Ο σκοπός του οδηγού αυτού δεν είναι να εξετάσει αναλυτικά αυτό το εκτεταμένο θέμα. Ωστόσο, προκειμένου να φανεί το υψηλό δυναμικό των μέτρων ανάκτησης, στον πίνακα 1 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα από τη βιομηχανία τροφίμων.



Επεξεργασία	Κρυστάλλωση	Παστερίωση	Φυσική / χημική διαδικασία	Αποστείρωση
Προϊόν	Τυρί	Γάλα	Μύρα (ζυθοποιία)	Γάλα
Ποσοστό ανάκτησης θερμότητας	75%	65-92%	90%	90%

Πίνακας 1: Εφικτά ποσοστά ανάκτησης θερμότητας για επλεγμένες επεξεργασίες από τη βιομηχανία τροφίμων (πηγή: ΖΑΕ)

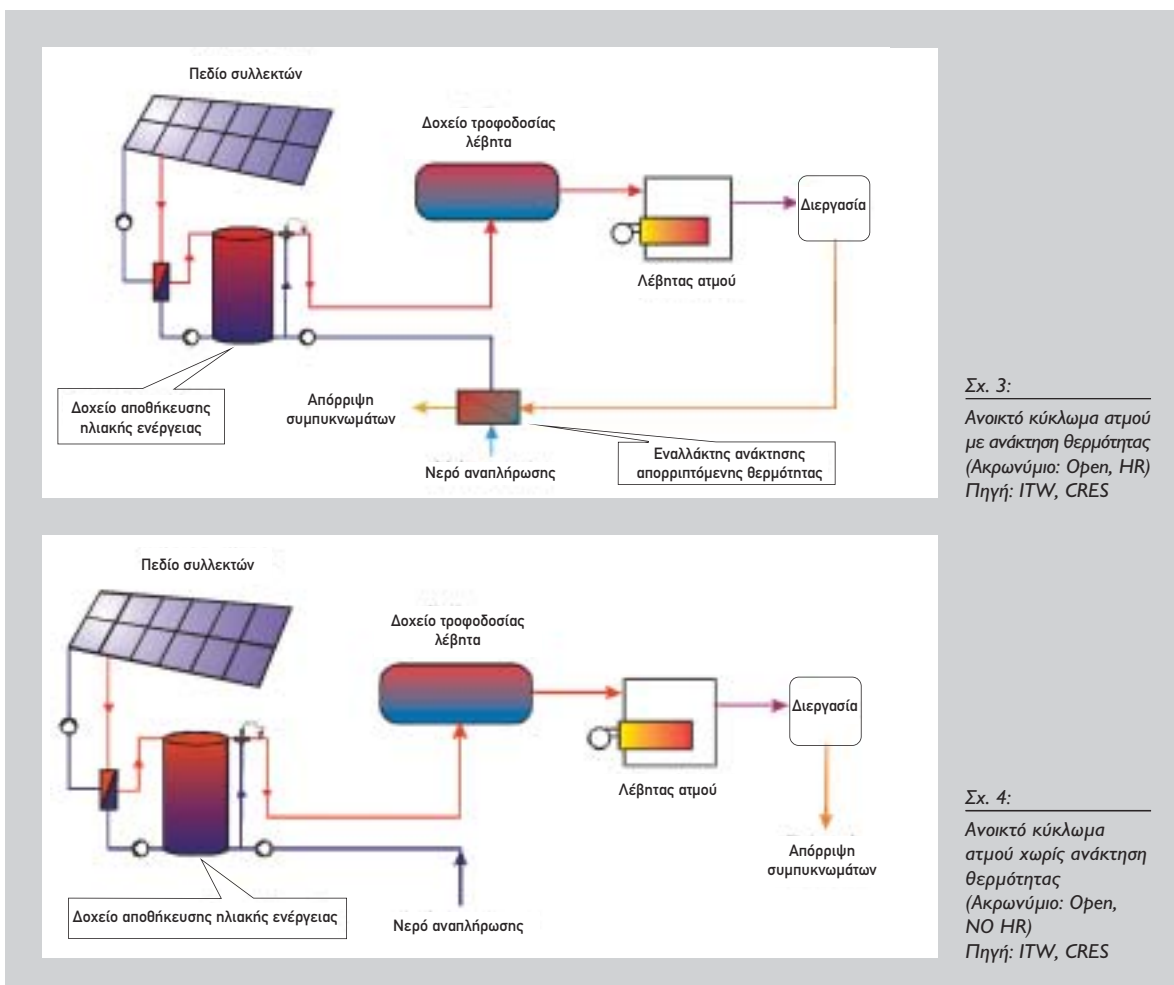
Μία άλλη δυνατότητα με υψηλά ποσοστά ανάκτησης θερμότητας (κατάλληλη για σχεδόν όλες της βιομηχανικές επεξεργασίες) είναι η ανάκτηση θερμότητας από τα καυσαέρια.

Μια ολοκληρωμένη διαδικασία βελτιστοποίησης πρέπει να υπόκειται σε μία «ανάλυση Pinch». Με την προσέγγιση αυτή υπολογίζεται η ελάχιστη εξωτερική ενέργεια που απαιτείται για ένα σύστημα επεξεργασίας, καθορίζοντας όλα τα πιθανά μέτρα ανάκτησης θερμότητας σε όλες τις διαδικασίες θέρμανσης (και ψύξης) μίας βιομηχανίας. Για την περιγραφή της θεωρίας «Pinch» μπορεί να ανατρέξει κανείς στους [Linnhoff, 1998] και [Gunderson, 2002].

Με ή χωρίς μια ολοκληρωμένη ανάλυση Pinch, το σημαντικότερο, πριν αποφασίσει κανείς οτιδήποτε σχετικά με το ΘΗΣ, είναι να εκτιμήσει την ελάχιστη διαθέσιμη θερμοκρασία και ροή μετά την εφαρμογή όλων των πιθανών μέτρων ανάκτησης θερμότητας.

## ΠΙΘΑΝΟΙ ΤΡΟΠΟΙ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΘΗΣ

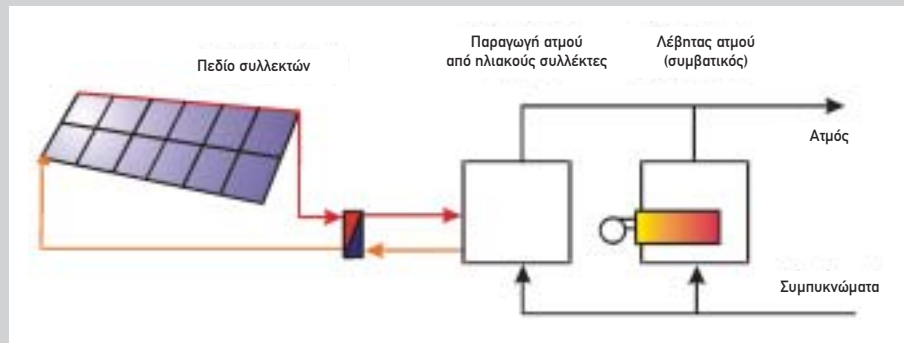
Τα σχήματα 2 έως 8 παρουσιάζουν διάφορους πιθανούς τρόπους διάταξης των ΘΗΣ που υποβοηθούν τις βιομηχανικές διαδικασίες θέρμανσης. Οι διάφορες περιπτώσεις που παρουσιάζονται εδώ δεν εξαντλούν όλες τις δυνατότητες. Ωστόσο, έχει καταβληθεί προσπάθεια να καλυφθεί ένα ευρύ φάσμα διαφόρων διατάξεων. Πολλοί άλλοι τρόποι διάταξης μπορούν να προκύψουν από συνδυασμούς ή ελαφρές τροποποιήσεις των υπαρχόντων. Στον πίνακα 2 αναφέρονται κάποια σύντομα σχόλια για τις διάφορες διατάξεις σε σχέση με την καταλληλότητά τους για συνδυασμό με εγκατάσταση ΘΗΣ.



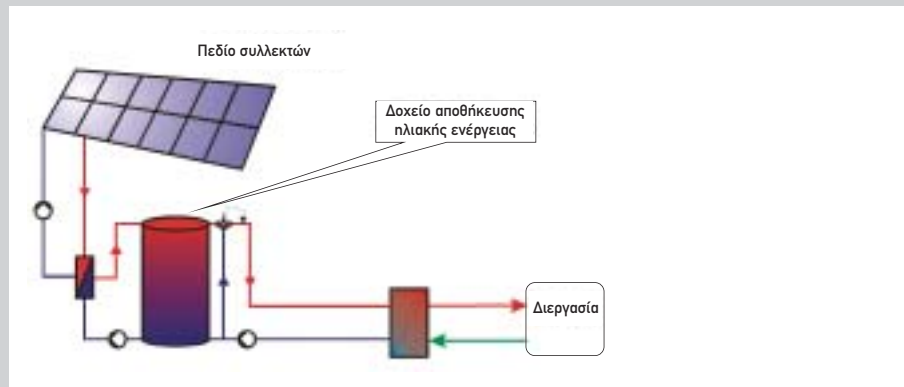
Σχ. 3:  
Ανοικτό κύκλωμα ατμού με ανάκτηση θερμότητας (Ακρωνύμιο: Open, HR)  
Πηγή: ITW, CRES

Σχ. 4:  
Ανοικτό κύκλωμα ατμού χωρίς ανάκτηση θερμότητας (Ακρωνύμιο: Open, NO HR)  
Πηγή: ITW, CRES

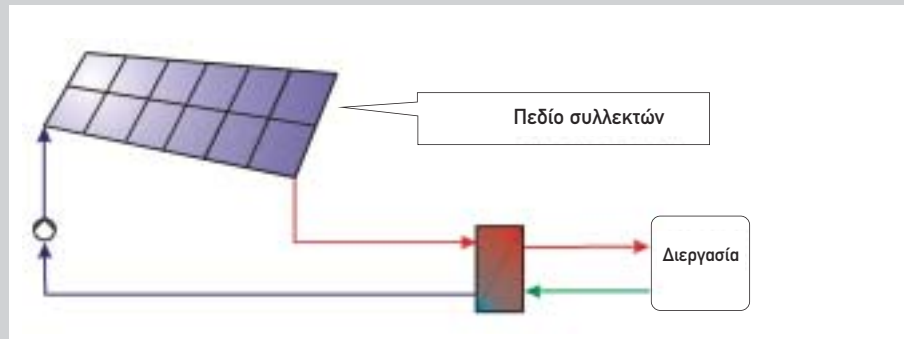
Σχ. 5:  
Κλειστό κύκλωμα ατμού  
(Ακρωνύμιο: Closed).  
Πηγή: ITW, CRES



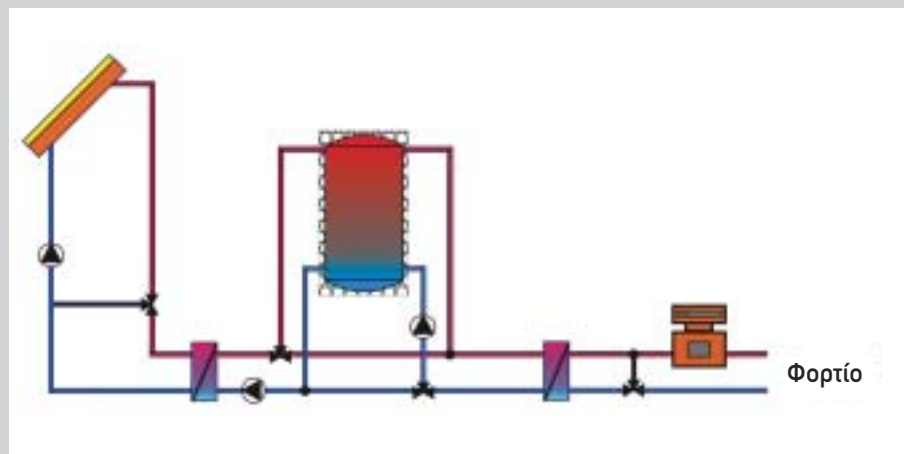
Σχ. 6:  
Τροφοδοσία διεργασίας  
με θερμό νερό -  
με αποθήκευση  
(Ακρωνύμιο: HW, Storage)  
Πηγή: ITW, CRES



Σχ. 7:  
Τροφοδοσία διεργασίας  
με θερμό νερό - χωρίς  
αποθήκευση (άμεσα)  
(Ακρωνύμιο: HW, Direct)  
Πηγή: ITW, CRES



Σχ. 8:  
Τροφοδοσία διεργασίας  
με θερμό νερό/μικτή  
(Ακρωνύμιο: HW, mixed)  
Πηγή: ZAE



Ακρωνύμιο διάταξης (βλ. σχήματα 3 έως 8)	Σχόλια σχετικά με την «καταλληλότητα» της διάταξης για εγκατάσταση ΘΗΣ
Open, HR	Η καταλληλότητα εξαρτάται από τις θερμοκρασίες που επιτυγχάνονται με τη διαδικασία ανάκτησης θερμότητας (T <sub>ΑΘ</sub> ). Κατάλληλη, εφόσον T <sub>ΑΘ</sub> < 50°C
Open, NO HR	Υψηλή καταλληλότητα. Η ηλιακή μονάδα μπορεί να θερμάνει (ή να προθερμάνει) το νερό ξεκινώντας από πολύ χαμηλές θερμοκρασίες. Ωστόσο, είναι σπάνιες οι περιπτώσεις όπου δεν μπορούν να εφαρμοστούν μέτρα ανάκτησης στη βιομηχανία
Closed	Μη κατάλληλη διάταξη για κοινούς (επίπεδους) συλλέκτες. Απαραίτητοι ειδικοί τύποι συλλεκτών.
HW, Storage	Πολύ υψηλή καταλληλότητα. Αντί του ατμού χρησιμοποιείται κατευθείαν το θερμό νερό στη διαδικασία, καθιστώντας το «διαθέσιμο φορτίο» για το ΘΗΣ ουσιαστικά ίσο με ολόκληρο το θερμικό φορτίο της διεργασίας. Απαιτείται αποθήκευση για την κάλυψη των διακυμάνσεων του φορτίου και/ή της απαίτησης φορτίου εκτός ωρών ηλιοφάνειας. Σε ορισμένες περιπτώσεις (όταν σημαντικό μέρος του φορτίου προκύπτει στις ώρες με ηλιοφάνεια), οι απαιτήσεις για δεξαμενή αποθήκευσης είναι μειωμένες. Υψηλός βαθμός κάλυψης (solar fraction) είναι δυνατός.
HW, Direct	Πολύ υψηλή καταλληλότητα όπως και στην παραπάνω περίπτωση. Οι βαθμοί κάλυψης που επιτυγχάνονται είναι γενικά χαμηλοί, συγκρινόμενοι με τη περίπτωση "HW, Storage".
HW, mixed	Πρόκειται απλά για μια διάταξη που μπορεί να λειτουργήσει τόσο άμεσα (βλέπε περίπτωση "HW, Direct"), όσο και με αποθήκευση (βλέπε περίπτωση "HW, Storage").

Πίνακας 2: «Καταλληλότητα ηλιακών μονάδων» για ορισμένες διατάξεις βιομηχανικών διαδικασιών

## ΒΑΣΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

### Απαραίτητες μελέτες - υπολογισμοί

Από τη στιγμή που θα συλλεχθούν όλες οι πληροφορίες και τα στοιχεία που αναφέρονται στο «προκαταρκτικό στάδιο σχεδιασμού» πρέπει να εξεταστούν οι παρακάτω παράμετροι.

#### Καταλληλότητα της ελάχιστης διαθέσιμης θερμοκρασίας

Όπως τονίστηκε ήδη, ουσιαστικό για τη βιωσιμότητα της ηλιακής εγκατάστασης είναι να εκτιμηθεί η «ελάχιστη διαθέσιμη θερμοκρασία» μετά την (υποθετική) εφαρμογή όλων των εφικτών μέτρων ανάκτησης θερμότητας. Εάν αυτή η θερμοκρασία είναι για παράδειγμα - σε μία συγκεκριμένη βιομηχανία - ίση με 80°C τότε δεν έχει νόημα η εγκατάσταση ΘΗΣ (τουλάχιστον με επίπεδους συλλέκτες) για τη βιομηχανία αυτή. Αντίθετα, εάν είναι 50°C, τότε υπάρχει δυναμικό για μία ηλιακή εγκατάσταση. Στην τελευταία αυτή περίπτωση, η ηλιακή μονάδα μπορεί να συμμετέχει στη θέρμανση του νερού από 50°C στη θερμοκρασία που απαιτείται για την επεξεργασία (ή σε χαμηλότερη θερμοκρασία, εφόσον η ηλιακή μονάδα είναι σχεδιασμένη μόνο για την προθέρμανση). Το σχήμα 9 παρουσιάζει ένα παράδειγμα μίας βιομηχανίας που περιλαμβάνει τόσο μία ανοικτού, όσο και μία κλειστού κυκλώματος διεργασία. Θεωρώντας ότι τα μέτρα ανάκτησης θερμότητας έχουν εφαρμοστεί σωστά, μπορεί να διαπιστωθεί η δυνατότητα εγκατάστασης μίας ηλιακής μονάδας που θα θερμαίνει το νερό πάνω από τους 50°C.

#### Καταλληλότητα του θερμικού προφίλ

Πρέπει να εξεταστεί η καταλληλότητα του προφίλ του θερμικού φορτίου. Καλά προφίλ είναι αυτά που είναι αρκετά σταθερά σε ημερήσια και εποχιακή βάση (βέβαια, είναι ακόμη καλύτερα, εάν ακολουθούν περίπου το προφίλ της ηλιακής ακτινοβολίας π.χ. εάν έχουν ημερήσια αιχμή το μεσημέρι και εποχιακή αιχμή το καλοκαίρι). Πρακτικά, το φορτίο πρέπει να ανταποκρίνεται στα ακόλουθα κριτήρια:

1. Το φορτίο πρέπει να διαρκεί περισσότερο από τα 3/4 του έτους και πρέπει να περιλαμβάνει το καλοκαίρι.
2. Το φορτίο πρέπει να διαρκεί τουλάχιστον 5 ημέρες την εβδομάδα.
3. Το μέσο ημερήσιο καλοκαιρινό φορτίο δεν πρέπει να υπολείπεται του μέσου ημερήσιου φορτίου για το υπόλοιπο έτος.

#### Υπολογισμός του φορτίου

Πρέπει να εκτιμηθεί το φορτίο που θέλουμε να καλυφθεί από την ηλιακή μονάδα. Εφόσον υπάρχει ένα νομογράφημα (όπως αυτό που εξετάζεται στη συνέχεια), επαρκεί να γνωρίζει κανείς την απαιτούμενη ημερήσια ροή (π.χ. 7500 l/ημέρα) και να εφαρμόσει κατευθείαν το νομογράφημα επιλέγοντας έναν ορισμένο βαθμό κάλυψης. Ωστόσο, πρέπει να τονιστεί ότι προκειμένου να λάβει κανείς αξιόπιστα αποτελέσματα, το νομογράφημα πρέπει να βασίζεται σε παρόμοιες συνθήκες με αυτές της περίπτωσης που εξετάζεται, όσον αφορά τις καιρικές συνθήκες, τις απαιτούμενες θερμοκρασίες, τον τύπο των συλλεκτών και το προφίλ του φορτίου.

Όταν δεν υπάρχει διαθέσιμο νομογράφημα, ο μελετητής πρέπει να υπολογίσει αναλυτικά το φορτίο, π.χ. εφαρμόζοντας την εξίσωση  $E=m \cdot C_p \cdot \Delta T$  και να βρει τις θερμικές kWh που απαιτούνται. Για παράδειγμα, εάν η μέση

ημερήσια απαίτηση μίας βιομηχανίας είναι  $15 \text{ m}^3$  που πρέπει να θερμανθούν από τους  $50^\circ\text{C}$  στους  $90^\circ\text{C}$ , το μέσο ημερήσιο θερμικό φορτίο που προκύπτει είναι περίπου  $250 \text{ MWh}$ . Αυτό δίνει μία κατά προσέγγιση εκτίμηση της επιφάνειας των συλλεκτών που απαιτούνται για να επιτύχει κανείς έναν ορισμένο βαθμό κάλυψης. Ακολουθώντας το παραπάνω παράδειγμα (και θεωρώντας ότι το ειδικό ηλιακό κέρδος είναι περίπου  $500 \text{ kWh/m}^2$ ) προκύπτει μία επιφάνεια συλλεκτών περίπου  $200 \text{ m}^2$  εάν επιλέξουμε ένα βαθμό κάλυψης ίσο με 40%.

## Διαστασιολόγηση του πεδίου των ηλιακών συλλεκτών

Δεν υπάρχει ένας ενιαίος ή τυποποιημένος τρόπος διαστασιολόγησης μίας ηλιακής μονάδας είτε για βιομηχανικούς, είτε για άλλους σκοπούς. Ωστόσο υπάρχουν κάποιες κατευθυντήριες γραμμές που βασίζονται στην υπάρχουσα εμπειρία και την κοινή λογική. Κατ' αρχήν, σε περίπτωση σχετικά σταθερού προφίλ φορτίου είναι λογικό ο βαθμός κάλυψης (solar fraction) να μην υπερβαίνει το 60-70%. Αυτό το μέγιστο όριο συνήθως μειώνεται για τη συγκεκριμένη κατηγορία των βιομηχανικών διαδικασιών\* σε περίπου 50%. Από την άλλη πλευρά, ένας πολύ χαμηλός βαθμός κάλυψης (π.χ. λιγότερο από 10%) οδηγεί σε αμελητέα εξοικονόμηση ενέργειας και σε χαμηλό οικονομικό ενδιαφέρον από πλευράς τελικού χρήστη.

Τα κριτήρια για την επιλογή του βαθμού κάλυψης (solar fraction) ανάμεσα στα περιθώρια που υπάρχουν (10-50%) είναι τα ακόλουθα:

- **Περιορισμοί χώρου για την εγκατάσταση των ηλιακών συλλεκτών.** Ο διαθέσιμος χώρος για την εγκατάσταση των συλλεκτών πρέπει να υπολογιστεί (αφαιρώντας σκιασμένα τμήματα, εμπόδια κ.λπ.) και να διαιρεθεί δια ενός συντελεστή 2,5 περίπου, προκειμένου να λάβει κανείς τη μέγιστη επιφάνεια συλλεκτών που μπορούν να εγκατασταθούν (έτσι εξασφαλίζεται η αναγκαία απόσταση μεταξύ τους ώστε να μην σκιάζονται).
- **Οικονομικοί λόγοι.** Ανώτατο όριο για την επένδυση ή καθορισμός της βέλτιστης επενδυτικής λύσης. Για τη δεύτερη περίπτωση πρέπει να ληφθεί υπόψη το ακόλουθο: αυξάνοντας την συλλεκτική επιφάνεια καταλήγουμε σε ελαφρώς χαμηλότερα ειδικά ηλιακά οφέλη (ανά  $\text{m}^2$ ) αλλά από την άλλη, η ειδική τιμή (ανά  $\text{m}^2$ ) των ηλιακών συστημάτων μειώνεται όταν αυτά γίνονται μεγαλύτερα. Άρα μπορεί να βρεθεί ένα βέλτιστο μέγεθος του ΘΗΣ.
- **Περιβαλλοντικοί λόγοι.** Ο τελικός χρήστης μπορεί να έχει στις προτεραιότητες του τη δημιουργία μίας «φιλικής προς το περιβάλλον» βιομηχανίας, και έτσι να επιλέξει τον υψηλότερο δυνατό βαθμό κάλυψης. Μία τέτοια επιλογή μπορεί, μεταξύ άλλων, να επιφέρει μακροπρόθεσμα οικονομικά οφέλη.

## Διαστασιολόγηση των δοχείων αποθήκευσης

Όσον αφορά τις δεξαμενές, συνήθως επαρκεί η τυπική τιμή των 50 λίτρων ανά  $\text{m}^2$  συλλέκτη. Οι προσομοιώσεις έχουν δείξει ότι υψηλότεροι ειδικοί όγκοι αυξάνουν ελάχιστα τα ηλιακά οφέλη. Σε περίπτωση μικρών βαθμών κάλυψης μπορούν να χρησιμοποιηθούν χαμηλότερες τιμές από  $50 \text{ l/m}^2$ . Το κριτήριο για τον ελάχιστο δυνατό όγκο αποθήκευσης πρέπει να είναι η αποφυγή της υπερθέρμανσης η οποία θα προκαλούσε την μείωση της απόδοσης του συλλέκτη. Όσον αφορά τη διάταξη των δεξαμενών αποθήκευσης πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τα ακόλουθα:

- Η χρήση μίας και μόνο δεξαμενής είναι συνήθως η καλύτερη λύση τόσο από οικονομική, όσο και από ενεργειακή άποψη
- Όταν πρέπει να χρησιμοποιηθούν περισσότερες από μία δεξαμενές αποθήκευσης (π.χ. λόγω περιορισμένου ύψους του χώρου), δεν υπάρχουν μεγάλες διαφορές ανάμεσα στη σύνδεση «εν σειρά» ή «εν παράλληλω»
- Ένα σημαντικό σημείο που πρέπει να διασφαλίζεται σε όλες τις διατάξεις είναι η θερμοκρασιακή στρωμάτωση της δεξαμενής (ή των δεξαμενών).

## Χρήση νομογραφήματος

Το νομογράφημα του σχήματος 10 έγινε με βάση τον [Fink, 2004] και κάποιες απαραίτητες προσαρμογές.

Πριν χρησιμοποιήσει κανείς το νομογράφημα πρέπει να γνωρίζει το φορτίο (σε  $\text{l/ημέρα}$ ) καθώς και να επιλέξει ένα βαθμό ηλιακής κάλυψης.

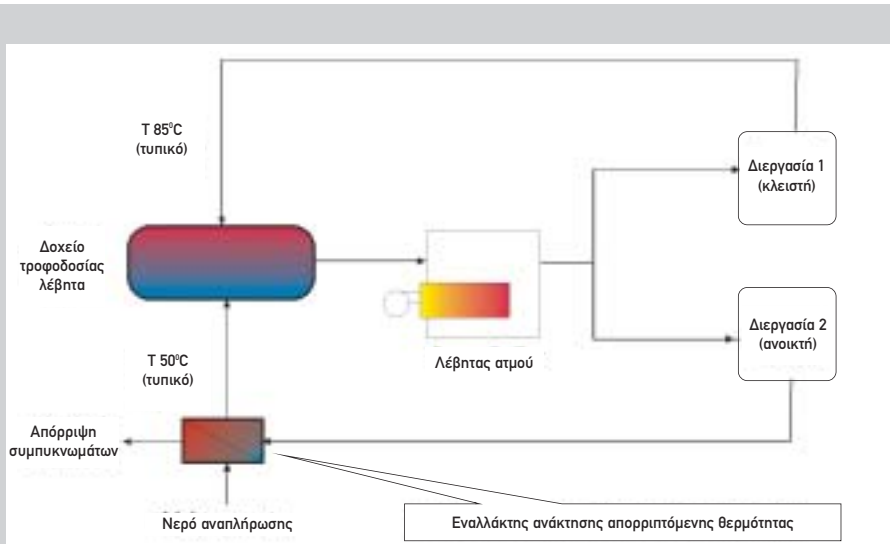
Για λόγους πληρότητας, εξηγούμε εδώ τον συντελεστή εκμετάλλευσης "U" (στον άξονα X). Το "U" ορίζεται ως ο λόγος της μέσης ημερήσιας απαιτούμενης ροής (σε λίτρα) δια την επιφάνεια των συλλεκτών (σε  $\text{m}^2$ ). Παρότι δεν αντιστοιχεί σε κανένα γνωστό φυσικό μέγεθος, αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο για να παραχθεί ένα νομογράφημα, το οποίο θα είναι ανεξάρτητο από το μέγεθος της ηλιακής εγκατάστασης. Η αύξηση της τιμής του U σημαίνει υψηλότερο θερμικό φορτίο ανά  $\text{m}^2$  συλλέκτη (και άρα μικρότερο βαθμό κάλυψης) και αντίστροφα.

\*Αιτίες αυτής της μείωσης μπορεί να είναι η απαίτηση υψηλών θερμοκρασιών, η αβεβαιότητα ως προς το φορτίο μακροπρόθεσμα κ.λπ.

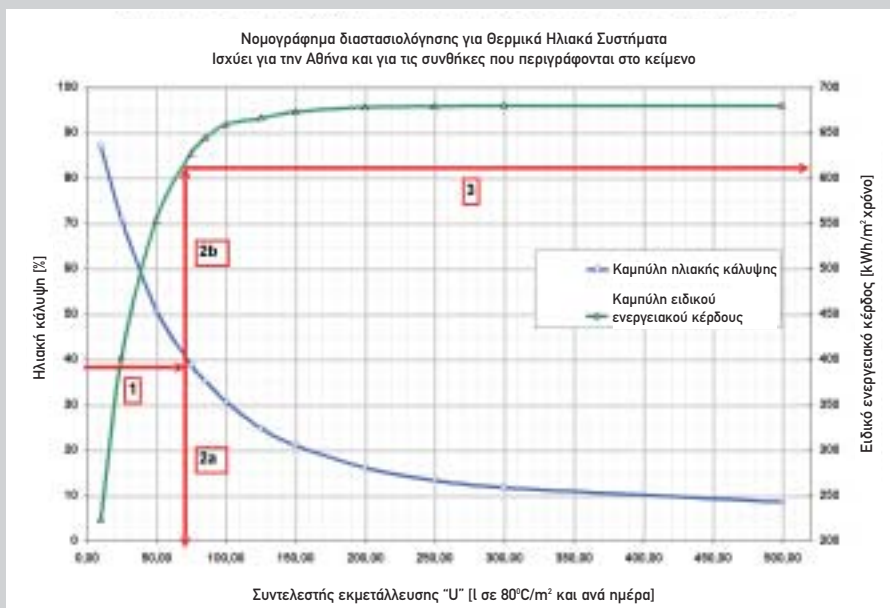


Ακολουθεί ένα παράδειγμα διαστασιολόγησης ενός ΘΗΣ με τη βοήθεια του νομογράφηματος. Η ημερήσια ζήτηση σε θερμό νερό μίας διαδικασίας βαφής υφασμάτων είναι 7.500 λίτρα σε 80°C. Το προφίλ ζήτησης είναι αρκετά σταθερό από τις 6:00 μέχρι τις 20:00 από τη Δευτέρα ως την Παρασκευή. Το Σάββατο υποδιπλασιάζεται ενώ την Κυριακή είναι μηδενικό. Η ελάχιστη διαθέσιμη θερμοκρασία για το ΘΗΣ είναι 30°C. Για αυτό το συγκεκριμένο παράδειγμα ο βαθμός ηλιακής κάλυψης (solar fraction) επιλέγεται ίσος με 40%. Επιπλέον, ο λόγος V/A (όγκος αποθήκευσης ανά m<sup>2</sup> συλλέκτη) θεωρείται ίσος με 50 l/m<sup>2</sup>. Τα βήματα για τον καθορισμό της επιφάνειας συλλεκτών και του όγκου της δεξαμενής αποθήκευσης είναι τα ακόλουθα:

- Η οριζόντια γραμμή "1" σχεδιάζεται από την τιμή 40% (στον αριστερό κάθετο άξονα) μέχρι να συναντήσει την καμπύλη του βαθμού κάλυψης [solar fraction]
- Ξεκινώντας από το σημείο τομής με την καμπύλη, σχεδιάζουμε μία κάθετη γραμμή προς τα κάτω (βλέπε την γραμμή "2a"), και στον οριζόντιο άξονα λαμβάνουμε την τιμή του συντελεστή εκμετάλλευσης (U) που είναι περίπου 70 l/m<sup>2</sup>. Η απαιτούμενη επιφάνεια του συλλέκτη υπολογίζεται διαιρώντας τη μέση ημερήσια ζήτηση (7.500 l) δια του συντελεστή U (70 l/m<sup>2</sup>). Το αποτέλεσμα είναι 107m<sup>2</sup>.
- Εφόσον έχει καθοριστεί η επιφάνεια του πεδίου συλλεκτών (107m<sup>2</sup>) μπορεί κανείς εύκολα να υπολογίσει τον όγκο της δεξαμενής αποθήκευσης πολλαπλασιάζοντας επί 50 l/m<sup>2</sup>. Έτσι, ο συνολικός όγκος αποθήκευσης προκύπτει ίσος με 5.350 l (προφανώς η τελική επιλογή του όγκου αποθήκευσης θα εξαρτηθεί από τις διαθέσιμες στην αγορά δεξαμενές και τους περιορισμούς του χώρου π.χ. μία δεξαμενή των 3.000 και μία των 2.500 ή των 2.000 λίτρων).



Σχ. 9:  
Διάγραμμα για δύο (συνδυασμένες) βιομηχανικές επεξεργασίες.  
Πηγή: ΚΑΠΕ



Σχ. 10:  
Νομογράφημα με παράδειγμα χρήσης του.  
Πηγή: ΚΑΠΕ, με βάση τη μεθοδολογία ΑΕΕ

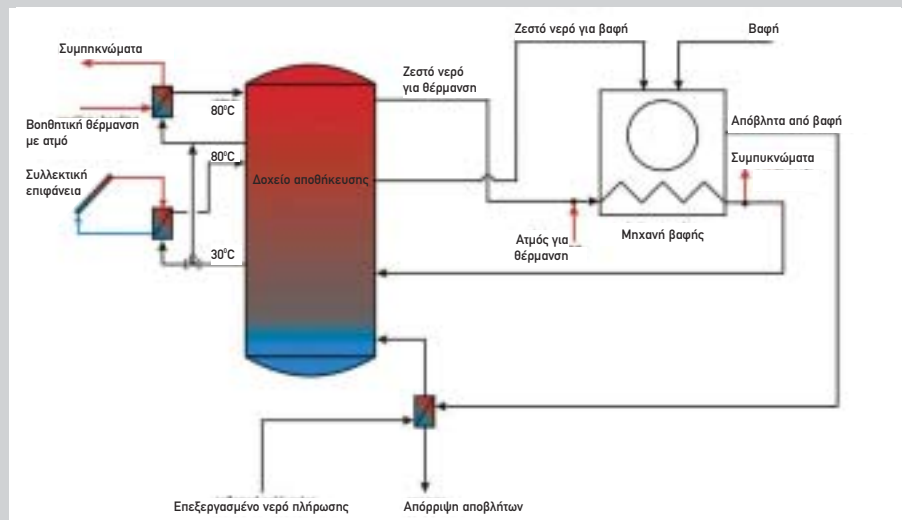
- Προκειμένου να καθορίσουμε το ηλιακό κέρδος σχεδιάζουμε τη γραμμή "2b" προς τα πάνω, μέχρι να συναντήσει την επάνω καμπύλη (καμπύλη ειδικού ηλιακού κέρδους [solar gain]). Ύστερα, ακολουθώντας την οριζόντια γραμμή "3" μέχρι το σημείο τομής με το δεξιό κατακόρυφο άξονα, μπορούμε να βρούμε το ετήσιο ειδικό ηλιακό κέρδος του ΘΗΣ [προκύπτει ίσο με περίπου 625 kWh/m<sup>2</sup>]. Η συνολική παραγωγή του συστήματος υπολογίζεται απλά πολλαπλασιάζοντας την επιφάνεια των συλλεκτών που είχαμε βρει προηγουμένως (107m<sup>2</sup>) με το ειδικό ηλιακό κέρδος. Το συνολικό ηλιακό κέρδος είναι ίσο με περίπου 67 MWh ετησίως.

Αξίζει εδώ να σημειωθεί ότι το νομογράφημα που χρησιμοποιήθηκε για τη διαδικασία βαφής υφασμάτων μπορεί να εφαρμοστεί για όλες τις διαδικασίες που έχουν παρόμοια χαρακτηριστικά με το παράδειγμα. Έτσι το νομογράφημα αυτό ισχύει για επίπεδους συλλέκτες, για το ίδιο φάσμα θερμοκρασιών (30-80°C), για ένα αντίστοιχο θερμικό φορτίο και για καιρικές συνθήκες όμοιες με αυτές της Αθήνας. Χρησιμοποιώντας αυτό το απλό εργαλείο, ο μελετητής μπορεί να αποκομίσει μία σαφή άποψη για τις διαστάσεις της μονάδας και την εξοικονόμηση ενέργειας που αντιστοιχεί σε ορισμένους βαθμούς κάλυψης. Το σχήμα 11 στη συνέχεια, παρουσιάζει το σχηματικό διάγραμμα μίας διεργασίας βαφής υφασμάτων που υποστηρίζεται από ΘΗΣ.

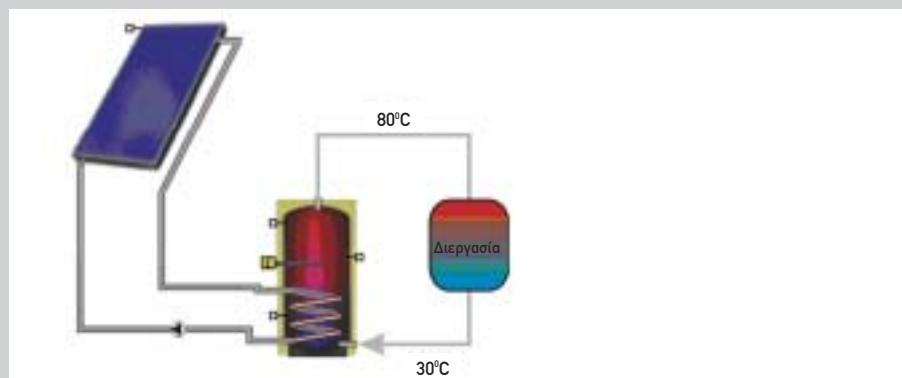
## Λογισμικά εργαλεία

Η χρήση ενός εργαλείου προσομοίωσης μπορεί να βοηθήσει τόσο στη διαστασιολόγηση της ηλιακής μονάδας, όσο και στη βελτιστοποίηση της διάταξης. Υπάρχουν διάφορα εργαλεία διαθέσιμα στην αγορά ορισμένα είναι ιδιαίτερα φιλικά προς το χρήστη, ενώ άλλα απευθύνονται μόνο σε πολύ ειδικούς. Κάτι σημαντικό που πρέπει να τονιστεί σε αυτό το σημείο, είναι ότι συχνά τα απλοποιημένα συστήματα που δεν απαιτούν ιδιαίτερες γνώσεις στον Η/Υ μπορούν να παρέχουν ουσιαστική βοήθεια, τουλάχιστον για το πρώτο στάδιο σχεδιασμού του συστήματος. Στο σχήμα 12 απεικονίζεται ένα παράδειγμα όπου χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα T-SOL με μία ιδιαίτερα απλοποιημένη διάταξη που ωστόσο έδωσε σημαντικά αποτελέσματα.

Η πιο σημαντική τιμή που εξαγεται από τις προσομοιώσεις είναι το ειδικό ηλιακό κέρδος. Αυτή η τιμή προσφέρεται για συγκρίσεις μεταξύ διαφόρων εναλλακτικών ηλιακών συστημάτων. Μια τιμή ηλιακού κέρδους, για να είναι αποδεκτή, θα πρέπει (γενικά) να ξεπερνά τις 400 kWh ανά m<sup>2</sup> συλλέκτη ετησίως.



Σχ. 11:  
Διεργασία βαφής υφασμάτων που υποστηρίζεται από ηλιακή μονάδα (Πηγή: AEE INTEC)



Σχήμα 12:  
Απλοποιημένη διάταξη συστήματος χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα προσομοίωσης T-SOL

# ΕΙΔΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

## Ειδικές απαιτήσεις για ορισμένα εξαρτήματα / ιδιότητες

Στη συνέχεια αναφέρονται ορισμένα στοιχεία τα οποία διαφέρουν από τις συμβατικές εγκαταστάσεις θέρμανσης.

### Αντιψυκτικό υγρό

Συνήθως το αντιψυκτικό υγρό που χρησιμοποιείται σε πεδία ηλιακών συλλεκτών είναι ένα μείγμα από νερό, προπυλενογλυκόλη και άλλα πρόσθετα. Αυτό το μείγμα παράγεται ειδικά για ηλιακά πεδία (και ως εκ τούτου πρέπει να έχει αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες). Η διαδικασία για τον καθορισμό του απαιτούμενου ποσοστού γλυκόλης στο μείγμα περιγράφεται στην παράγραφο «αντιψυκτική προστασία». Μία σημαντική παράμετρος που πρέπει να ληφθεί υπόψη στη διαστασιολόγηση των περισσότερων υδραυλικών εξαρτημάτων του πρωτεύοντος κύκλωματος (αντλίες, σωληνώσεις, εναλλάκτες θερμότητας, δοχείο διαστολής κ.λπ.) είναι ότι το μείγμα γλυκόλης έχει διαφορετικές φυσικές ιδιότητες από το νερό. Πληροφορίες για τις ιδιότητες αυτές παρέχονται από τον κατασκευαστή του μίγματος.

### Προσανατολισμός και κλίση των συλλεκτών:

Προφανώς ο καλύτερος προσανατολισμός είναι προς το νότο, ωστόσο, αποκλίσεις μέχρι  $\pm 30^\circ$  είναι αποδεκτές, χωρίς να επιφέρουν ουσιαστικές αλλαγές στη διαστασιολόγηση των συλλεκτών. Η ίδια ευελιξία υπάρχει και όσον αφορά την κλίση των συλλεκτών. Η βέλτιστη τιμή εξαρτάται από την εποχιακή κατανομή του φορτίου και φυσικά, το γεωγραφικό πλάτος. Για την Ελλάδα, αν υποθέσουμε μια αρκετά σταθερή εποχιακή κατανομή φορτίου, η βέλτιστη τιμή κλίσης είναι γύρω στις  $30^\circ$  ως προς το οριζόντιο επίπεδο.

### Αντλίες

Οι αντλίες του πρωτεύοντος κύκλωματος πρέπει (μεταξύ άλλων) να είναι ανθεκτικές σε:

- μείγματα νερού - γλυκόλης
- υψηλές πιθανές θερμοκρασίες στο κύκλωμα προσαγωγής του πεδίου συλλεκτών.
- υψηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος (στο λεβητοστάσιο μπορεί η θερμοκρασία να ξεπεράσει τους  $40^\circ\text{C}$ ).

### Ποσοστά ροής

Γενικά, οι μεγάλης κλίμακας ηλιακές μονάδες (π.χ. μονάδες με επιφάνειες συλλεκτών άνω των  $200\text{m}^2$ ) εφαρμόζουν τη μέθοδο «χαμηλής ροής» (low flow). Αυτό σημαίνει χαρακτηριστικές τιμές για τη ροή στο πρωτεύον κύκλωμα των συλλεκτών γύρω στα  $12\text{-}15\text{ l}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$  (λίτρα ανά τετρ. μέτρο και ανά ώρα). Τα βασικά πλεονεκτήματα ενός συστήματος χαμηλής ροής [σε σύγκριση με τα συστήματα υψηλής ροής με περίπου  $50\text{ l}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ ] είναι τα ακόλουθα:

- Γίνονται δυνατές απλές υδραυλικές διατάξεις (πολλοί συλλέκτες εν σειρά).
- Απαιτούνται λεπτότεροι σωλήνες μικρότερου συνολικού μήκους.
- Χρειάζονται μικρότερες αντλίες.

Ωστόσο, υπάρχει μία παράμετρος που πρέπει να εξεταστεί πριν εφαρμοστεί η στρατηγική χαμηλής ροής σε βιομηχανικές μονάδες: πρόκειται για τις μονάδες που έχουν σχεδιαστεί ώστε να παρέχουν χαμηλό  $\Delta T$  (όπως συμβαίνει στις μονάδες που έχουν μικρούς βαθμούς κάλυψης, μόνο για προθέρμανση). Σε αυτήν την περίπτωση η ροή πρέπει να καθοριστεί ανάλογα με το απαιτούμενο  $\Delta T$ .

### Άλλες παράμετροι

- Λόγω του ευρύτατου φάσματος θερμοκρασιών λειτουργίας στο κύκλωμα συλλεκτών πρέπει να ληφθεί υπόψη η θερμική διαστολή των σωληνώσεων.
- Οι υψηλές θερμοκρασίες που μπορεί να παρουσιαστούν στη διάρκεια στασιμότητας πρέπει να λαμβάνονται υπόψη για τα διάφορα στοιχεία του πρωτεύοντος κύκλωματος: μονωτικό υλικό σωλήνων, βαλβίδες, μεμβράνη του δοχείου διαστολής, συγκόλληση σωλήνων κ.ά.
- Το εξωτερικό μονωτικό υλικό των σωληνώσεων δεν πρέπει να απορροφάει υγρασία, πρέπει να είναι ανθεκτικό στις ακτίνες UV καθώς και στις εξωτερικές ατμοσφαιρικές συνθήκες και στις μηχανικές φθορές από ποντίκια ή πουλιά.

### Αντιψυκτική προστασία

Όπου υπάρχει πιθανότητα να εμφανιστούν θερμοκρασίες παγετού, είναι απαραίτητο να γεμίσει το πρωτεύον κύκλωμα (συλλέκτες) με αντιψυκτικό μείγμα νερού και προπυλενογλυκόλης. Η συγκέντρωση της γλυκόλης στο μείγμα πρέπει να είναι τόση, ώστε να διασφαλίζεται η αντιψυκτική προστασία της εγκατάστασης ακόμη και σε ακραίες καιρικές συνθήκες. Μία στρατηγική που υιοθετείται τακτικά [Pauschingger, 2004] είναι να σχεδιαστεί η μονάδα με τέτοιο τρόπο, ώστε να ανταποκρίνεται στη θερμοκρασία «ασφαλείας παγετού» ( $T_{fs}$ : freezing safe temperature), η οποία καθορίζεται ως εξής:  $T_{fs} = T_{ref} - 10\text{ K}$

Το  $T_{ref}$  είναι μία θερμοκρασία που ονομάζεται εδώ «θερμοκρασία αναφοράς» ( $T_{ref}$ ), η οποία είναι ίση με την ονομαστική χειμερινή θερμοκρασία που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της μέγιστης ισχύος που απαιτείται στο σύστημα θέρμανσης κτιρίων. Αυτή η ονομαστική χειμερινή θερμοκρασία είναι καθορισμένη για όλες τις μεγάλες πόλεις, και έτσι μπορεί να αποτελέσει συγκεκριμένη βάση για τον υπολογισμό της θερμοκρασίας «ασφαλείας παγετού» ( $T_{fs}$ ).

Σε αρκετές ηλιακές μονάδες στην Ευρώπη έχει εφαρμοστεί στο παρελθόν μία εναλλακτική μέθοδος, κατά την οποία το πρωτεύον κύκλωμα περιέχει μόνο νερό και υπάρχει ένας αυτόματος που ενεργοποιεί την αντλία σε περίπτωση παγετού. Η μέθοδος αυτή δεν συνιστάται για τους ακόλουθους λόγους:

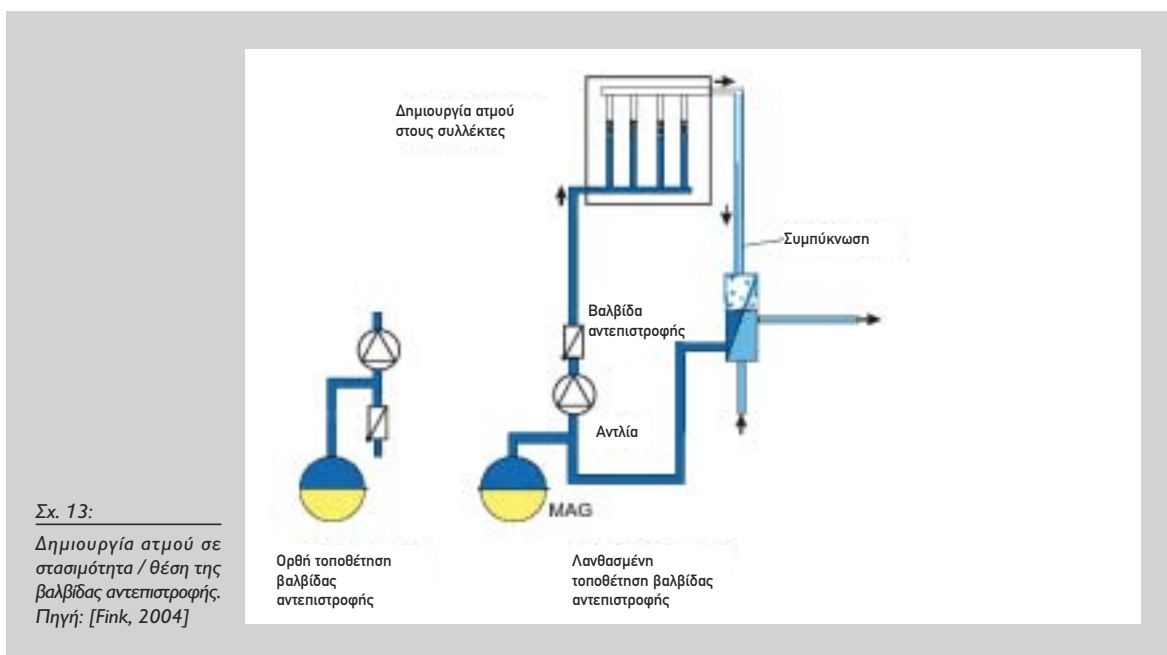
- Προκειμένου να αντιμετωπιστεί η πιθανότητα βλάβης στην ενεργοποίηση της κύριας αντλίας απαιτείται και μία δεύτερη. Οι αντλίες πρέπει να είναι συνδεδεμένες με μία γεννήτρια για λόγους ασφαλείας σε περίπτωση διακοπής ρεύματος.
- Πρέπει να εγκατασταθούν περισσότεροι του ενός αισθητήρες θερμοτήτας στο πεδίο των συλλεκτών, προκειμένου να αντιμετωπιστεί η πιθανή βλάβη ορισμένων από αυτούς. Ωστόσο και πάλι, αυτό δεν εξασφαλίζει 100% προστασία.
- Εφόσον η μέθοδος αυτή αστοχήσει έστω και μία φορά κατά τη διάρκεια συνθηκών παγετού, η ζημιά μπορεί να είναι ιδιαίτερα εκτεταμένη (πολλαπλές ρήξεις σωλήνων στο πρωτεύον κύκλωμα των συλλεκτών).

Μία άλλη μέθοδος είναι η χρήση νερού στο πρωτεύον κύκλωμα, το οποίο αδειάζει (και συλλέγεται σε ένα δοχείο) κάθε φορά που διακόπτεται η λειτουργία της αντλίας. Αυτή η μέθοδος (drain-back) είναι αποτελεσματική, ωστόσο, προϋποθέτει μία ιδιαίτερα εξειδικευμένη εγκατάσταση και μπορεί να παρουσιάσει (εκτός από άλλα προβλήματα) πρακτικές δυσκολίες στην τοποθέτηση των συλλεκτών (προκειμένου να μπορούν να αδειάζουν τελείως). Κατά συνέπεια, η μέθοδος αυτή συνιστάται μόνο όταν οι εταιρίες μελέτης και εγκατάστασης της ηλιακής μονάδας έχουν επαρκή σχετική εμπειρία.

Ένα σημαντικό σημείο που πρέπει να αναφερθεί ιδιαίτερα εδώ, είναι ότι σε κάθε περίπτωση δεν πρέπει να υπάρχει στο πρωτεύον κύκλωμα αυτόματος πλήρωσης που να είναι συνδεδεμένος με το δίκτυο ύδρευσης. Ένα τέτοιο λάθος μπορεί, (για διάφορους λόγους, όπως π.χ. λόγω μίας μικρής διαρροής) να οδηγήσει στην απώλεια της γλυκόλης και την πλήρωση του πρωτεύοντος κυκλώματος με νερό χωρίς να υπάρξει καμία ένδειξη (καθώς η πίεση θα παραμένει σταθερή). Οι συνέπειες μπορεί να είναι καταστροφικές για το σύστημα (πολλαπλές ρήξεις των σωλήνων στο πρωτεύον κύκλωμα σε περίπτωση παγετού).

### Προστασία από στασιμότητα

Ένα ηλιακό σύστημα βρίσκεται σε κατάσταση στασιμότητας όταν η αντλία του πρωτεύοντος κυκλώματος δεν λειτουργεί ενώ υπάρχει ακόμη προσπίπτουσα ακτινοβολία στους συλλέκτες, οι οποίοι υπερθερμαίνονται. Αυτή η κατάσταση μπορεί να παρουσιαστεί λόγω τεχνικής βλάβης του συστήματος, λόγω διακοπής ρεύματος ή απλά λόγω έλλειψης θερμικού φορτίου. Στον [Fink, 2004], υπάρχει εκτεταμένη ανάλυση αυτού του θέματος. Τα πιο κρίσιμα φαινόμενα της στασιμότητας είναι τα ακόλουθα:



- Εφόσον η προσπίπτουσα ακτινοβολία είναι αρκετά ισχυρή, θα ατμοποιηθεί το μίγμα μέσα στους συλλέκτες καθώς η θερμοκρασία μπορεί να φτάσει μέχρι και τους 200°C (βλέπε σχ. 13).
- Οι σωλήνες μέσα στους συλλέκτες θα αδειάσουν (λίγο ή και τελείως, ανάλογα με τη διάταξη σύνδεσης των συλλεκτών) λόγω ακριβώς της δημιουργίας ατμού. Το μείγμα του αντιψυκτικού ωθείται έξω από τους σωλήνες των συλλεκτών και οδηγείται στο υπόλοιπο τμήμα των σωληνώσεων του πρωτεύοντος. Ως αποτέλεσμα, η πίεση του πρωτεύοντος θα αυξηθεί.

Το σχήμα 13 παρουσιάζει επίσης τη σημασία που έχει το σημείο τοποθέτησης της βαλβίδας αντεπιστροφής. Η σωστή θέση παρουσιάζεται στην αριστερή πλευρά, όπου όλη η διαδρομή από το δοχείο διαστολής μέχρι τους συλλέκτες είναι ελεύθερη, δίνοντας τη δυνατότητα στο υγρό να κινηθεί προς τα πίσω.

Στη συνέχεια αναφέρονται τα μέτρα που μπορούν να ληφθούν για την αποφυγή των προβλημάτων στασιμότητας:

1. Χρήση συλλεκτών και πεδίων συλλεκτών με καλή συμπεριφορά εκκένωσης.
2. Η βαλβίδα αντεπιστροφής δεν πρέπει να βρίσκεται ανάμεσα στο δοχείο διαστολής και τους συλλέκτες.
3. Σε υφιστάμενες μονάδες χωρίς το σωστό σχεδιασμό για την περίπτωση στασιμότητας πρέπει να τοποθετηθεί ένας ψύκτης (ένας εναλλάκτης θερμότητας υγρού/αέρος) στο σωλήνα που συνδέει το δοχείο διαστολής με το πρωτεύον κύκλωμα.
4. Σωστή διαστασιολόγηση του δοχείου διαστολής, προκειμένου να μπορεί να δεχθεί το συνολικό όγκο του υγρού από τις σωληνώσεις των συλλεκτών. Η μέθοδος αυτή υιοθετείται συνήθως σε σχετικά μικρές ηλιακές μονάδες (μέχρι 200 m<sup>2</sup>). Για μεγαλύτερες μονάδες, καθώς τα απαιτούμενα δοχεία διαστολής γίνονται τεράστια, μία βαλβίδα επιτρέπει σε συνθήκες στασιμότητας να συλλέγεται το μίγμα γλυκόλης σε ένα δοχείο και αργότερα να γεμίζει και πάλι το πρωτεύον κύκλωμα, μόλις οι συνθήκες το επιτρέψουν.
5. Σωστή διαστασιολόγηση της βαλβίδας ασφαλείας (συνήθως 6 bar), προκειμένου να έχει την απαιτούμενη αντοχή για τη μέγιστη πίεση κατά τη στασιμότητα.
6. Διασφάλιση της ακόλουθης λειτουργίας στο σύστημα ελέγχου: παύση λειτουργίας της αντλίας σε θερμοκρασίες συλλέκτη πάνω από 120°C (για να μη τεθεί σε λειτουργία το σύστημα σε κατάσταση στασιμότητας).
7. Χρήση του σωστού μέσου μεταφοράς θερμότητας: μίγμα γλυκόλης που διατηρεί τις ιδιότητές του σε υψηλές θερμοκρασίες.



## ΟΔΗΓΙΕΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ

Από τη στιγμή που οι φάσεις μελέτης και κατασκευής ολοκληρωθούν σωστά, τα ΘΗΣ δεν απαιτούν παρά μόνο μικρή και χαμηλού κόστους συντήρηση προκειμένου να λειτουργούν αποδοτικά για όλη τη διάρκεια ζωής τους (εκτιμάται σε 20 έτη). Ουσιαστικά, αντί για επεμβάσεις συντήρησης, πρόκειται περισσότερο για περιοδικούς ελέγχους που πρέπει να διεξάγονται κατά τη διάρκεια λειτουργίας της ηλιακής μονάδας. Στον πίνακα 3 που ακολουθεί αναφέρονται οι απαιτούμενοι περιοδικοί έλεγχοι καθώς και η συχνότητα διεξαγωγής τους.

Αντικείμενο συντήρησης ή περιοδικού ελέγχου	Συχνότητα	Σχόλια/ Διευκρινίσεις
Συνθήκες πεδίου συλλεκτών	Μία φορά ανά έτος	Οπτικός έλεγχος για πιθανές εξωτερικές ή εσωτερικές φθορές (σπασμένο γυαλί, χαλάρωση σύνδεσης πλαισίου ή συνδέσμων κ.λπ.). Αφαίρεση και αντικατάσταση των φθαρμένων τεμαχίων.
Έλεγχος αντιψυκτικού υγρού	Δύο φορές ανά έτος (πριν από το καλοκαίρι και πριν το χειμώνα)	Έλεγχος του ποσοστού περιεκτικότητας του αντιψυκτικού (με μέτρηση πυκνότητας) και της τιμής pH (η τιμή pH δεν πρέπει να είναι κάτω από 7).
Η πίεση στο πρωτεύον δίκτυο πρέπει να είναι σταθερή	Δύο φορές ανά έτος ή συχνότερα εάν είναι εφικτό	Ο έλεγχος πρέπει να γίνεται χωρίς προσπίπτουσα ακτινοβολία (π.χ. το βράδυ).
Το ΔΤ που παρέχεται από τους συλλέκτες (σε ώρες ηλιοφάνειας) πρέπει να προσεγγίζει τις τιμές σχεδιασμού (π.χ. περίπου 20°C)	Δύο φορές ανά έτος	Μία πολύ υψηλότερη τιμή σημαίνει μείωση της ροής, λόγω εμποδίων ή προβλημάτων άντλησης. Οι πολύ χαμηλότερες τιμές δείχνουν είτε πολύ υψηλή ροή, είτε προβλήματα απόδοσης.
Η θερμοκρασία των συλλεκτών πρέπει να είναι σχεδόν ίση με την τιμή εξόδου από το πεδίο συλλεκτών	Δύο φορές ανά έτος	Αυτές οι θερμοκρασίες έχουν σχεδόν ίδιες τιμές. Αν η οθόνη του συστήματος ελέγχου εμφανίζει πολύ διαφορετικές τιμές τότε ή οι αισθητήρες ή το ίδιο το σύστημα ελέγχου έχει πρόβλημα.
Η αντλία του πρωτεύοντος δεν πρέπει να λειτουργεί όταν δεν υπάρχει ηλιακή ακτινοβολία.	Δύο φορές ανά έτος	Εφόσον λειτουργεί, υπάρχει πρόβλημα είτε με τους αισθητήρες, είτε με το σύστημα ελέγχου.
Εμφάνιση αέρα στο πρωτεύον κύκλωμα (θόρυβος)	Μία φορά ανά έτος	Απομάκρυνση του παγιδευμένου αέρα και (αν χρειάζεται) πλήρωση του κυκλώματος ώστε να επανέλθει στην απαιτούμενη πίεση.
Οι γυάλινες επιφάνειες των συλλεκτών δεν πρέπει να είναι λερωμένες	Σπάνια	Οι γυάλινες επιφάνειες χρειάζονται καθάρισμα, μόνο όταν είναι πολύ λερωμένες γιατί δεν έχει βρέξει για μεγάλο διάστημα.
Ο μετρητής ενέργειας πρέπει σε «καλές συνθήκες λειτουργίας» να δείχνει περίπου πάνω από 3 kWh/m <sup>2</sup> ανά ημέρα	Δύο φορές ανά έτος ή συχνότερα εάν είναι εφικτό	«Καλές συνθήκες λειτουργίας» σημαίνει: μέρα ηλιοφάνειας και κανονικό θερμικό φορτίο.

Πίνακας 3: Κατάλογος για τη συντήρηση και τους περιοδικούς ελέγχους στις ηλιακές μονάδες

Εκτός από τις παραπάνω προτεινόμενες ενέργειες συντήρησης για τα ΘΗΣ, πρέπει να ακολουθούνται για τα υπόλοιπα συμβατικά εξαρτήματα της εγκατάστασης (αντλίες, δεξαμενές, βαλβίδες, σωληνώσεις, συστήματα ελέγχου κλπ.) οι οδηγίες του αντίστοιχου κατασκευαστή, για να διασφαλίζεται η σωστή λειτουργία τους σε όλη τη διάρκεια ζωής τους (όπως στις συμβατικές υδραυλικές εγκαταστάσεις).



Εικ.1: Άποψη του πεδίου των ηλιακών συλλεκτών της γαλακτοβιομηχανίας ΜΕΒΓΑΛ



Εικ.2: Μια σειρά συλλεκτών του πεδίου ηλιακών της γαλακτοβιομηχανίας ΜΕΒΓΑΛ

## ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

Τα θερμικά ηλιακά συστήματα σε συνδυασμό με διάφορες βιομηχανικές επεξεργασίες αποτελούν για το μέλλον μία ενδιαφέρουσα εναλλακτική λύση. Ο οδηγός αυτός παρουσίασε τις βασικές οδηγίες σχεδιασμού και συντήρησης για τα ΘΗΣ. Είναι σημαντικό να τονιστεί και πάλι ότι, ο σωστός σχεδιασμός και η σωστή εγκατάσταση ελαχιστοποιεί τις απαιτήσεις για συντήρηση. Επιπλέον, προκειμένου να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή απόδοση ενός μεγάλου ΘΗΣ που υποστηρίζει μία βιομηχανική θερμική επεξεργασία, είναι σημαντικό να υιοθετηθεί ένα κατάλληλο σύστημα διαχείρισης και τηλε-παρακολούθησης.

Σχετικά με τη διαχείριση έχουν εντοπιστεί τα ακόλουθα σημεία ως τα πλέον κρίσιμα:

- Σωστή έναρξη λειτουργίας και προσαρμογές στη συνέχεια, στηριζόμενες στα μηνιαία στοιχεία των βασικών μετρήσεων της μονάδας (ηλιακό κέρδος, θερμοκρασίες, πίεση κ.λπ.).
- Πρέπει να παρέχονται στα άτομα που είναι υπεύθυνα για τη λειτουργία της μονάδας αναλυτικά σχέδια και οδηγίες λειτουργίας και συντήρησης.
- Πρέπει να διασφαλίζεται η διεξαγωγή των περιοδικών ελέγχων (όπως αναφέρονται στην προηγούμενη παράγραφο). Είναι απλοί, αλλά καθοριστικής σημασίας για τη σωστή λειτουργία των μονάδων.
- Η τηλεπαρακολούθηση και μάλιστα με τη δυνατότητα «ειδοποίησης» (π.χ. μέσω SMS) σε περίπτωση βλάβης (όπως πτώσης πίεσης στο πρωτεύον) είναι πολύ χρήσιμη (οι ρυθμίσεις γίνονται πιο εύκολες, οι επιτόπου έλεγχοι μπορούν να μειωθούν δραστικά και τα τεχνικά προβλήματα μπορούν να αντιμετωπιστούν έγκαιρα, μειώνοντας έτσι τους κινδύνους φθοράς).
- Η ευθύνη για τη λειτουργία της μονάδας είναι πολύ σημαντική και πρέπει να ανατίθεται σε εκπαιδευμένο άτομο (η εμπειρία έχει δείξει ότι η ίδια η κατασκευαστική εταιρία είναι συνήθως ο καλύτερος διαχειριστής της μονάδας). Σε πολλά επιτυχημένα παραδείγματα μάλιστα, ο κατασκευαστής δεν έχει αναλάβει μόνο την ευθύνη της λειτουργίας του συστήματος, αλλά και την ίδια την επένδυση μέσω ενός συμβολαίου πώλησης της ηλιακής ενέργειας.

Τέλος, παρότι αυτός ο οδηγός (όπως και όλο το έργο PROCESOL II) αναφέρεται στις βιομηχανικές επεξεργασίες με απαιτήσεις θερμοκρασίας έως 90° C, αξίζει να αναφερθούν ορισμένα στοιχεία για τις απαιτήσεις υψηλότερης θερμοκρασίας (τις ονομαζόμενες «μέσες θερμοκρασίες» στη βιομηχανία).

- Οι πρόσφατες έρευνες έχουν δείξει ότι με μικρές τροποποιήσεις (π.χ. χρήση διπλού τζαμιού) οι επίπεδοι συλλέκτες μπορούν να λειτουργήσουν αποδοτικά και στους 150°C.
- Με τις ηλιακές εφαρμογές σε αυτές τις θερμοκρασίες θα αυξηθεί σημαντικά το δυναμικό των ΘΗΣ στην βιομηχανία.
- Μία ενδιαφέρουσα εργασία σε αυτόν τον τομέα έχει διεξαχθεί από τους εμπειρογνώμονες του IEA Task 33 [IEA Task 33]. Πληροφορίες μπορεί να λάβει κανείς στο διαδίκτυο <http://www.iea-ship.org>

### ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Fink Christian et al. "Solar-supported heating networks in multi-storey residential buildings - A planning handbook with a holistic approach" available on Internet, AEE INTEC 2004.

IEA Task 33, "Solar Heat for Industrial Processes" Operating Agent: Werner Weiss (AEE), <http://www.iea-ship.org>, ongoing.

Pauschinger Thomas, Material for Solar Thermal Design (in Italian <http://www.ambienteitalia.it>) Ambiente Italia, 2004.

Linnhoff B., March, "Introduction to Pinch Technology" Linnhoff March, Norwich, U.K., 1998.

Gunderson T., "A Process Integration Primer IEA Implementing Agreement on Process Integration", Trondheim, 2002

## ΕΤΑΙΡΟΙ



Ένωση Βιομηχανιών Ηλιακής Ενέργειας



Agencia para a Energia



Agence de l' Environnement et de la  
Maitrise de l' Energie



Institute for Sustainable Technology



Bavarian Center for Applied Energy  
Research



Institut de Conseil et d' Études en  
Développement Durable



Sociedad para el Desarrollo  
Energetico de Andalucia, S.A.

## PROCESOL II

Συντονιστής



ΚΑΠΕ  
CRES

### Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας

19ο χλμ. Λεωφόρου Μαραθώνος

190 09 Πικέρμι Αττικής

Τηλ: 210 66 03 300

Fax: 210 66 03 301

Website: [www.cres.gr](http://www.cres.gr)

E-mail: [cres@cres.gr](mailto:cres@cres.gr)