

Ηλιακή Ενέργεια και Ελληνική Πραγματικότητα

30 χρόνια έρευνας των Χημικών Μηχανικών του ΕΜΠ
πάνω στις δυνατότητες αξιοποίησης του ήλιου

του Ι.Α. Παλυβού

1. Εισαγωγή

Η Ενέργεια δεν χρειάζεται απλά και μόνο για να διατηρεί τη ζωή. Παιζει μεγαλύτερο ρόλο στον αγώνα του ανθρώπου ενάντια στις εκκεντρικότητες της φύσης. Όσο περισσότερο χρησιμοποιεί ο άνθρωπος την ενέργεια που παράγει ο ίδιος για να ρυθμίζει και να θέτει σε χρήση άλλες μορφές της, τόσο περισσότερο ελεγχό αποκτά πάνω στο περιβάλλον του, επιτυγχάνοντας στόχους πολύ πέρα από την απλή επιβίωσή του. Και είναι βασικό για την αξιοποίηση της (μη μυικής) ενέργειας το πρόβλημα της μετατροπής της στην απαιτούμενη μορφή, στον επιθυμητό τόπο και χρόνο και, φυσικά, με λογικό κόστος, τόσο υλικό όσο και κοινωνικό.

Αυτό είναι και το θέμα της παρουσίασης αυτής, η οποία εστιάζεται σ' ε-

κείνες τις ενεργειακές τεχνολογίες μικρής κλίμακας που δεν χρησιμοποιούν συμβατικά καύσιμα αλλά απλώς τον ήλιο και οι οποίες εμφανίζουν δυνατότητες οικολογικά αποδεκτής αξιοποίησης, κυρίως σε μη αστικές περιοχές μιας χώρας, όπως η δική μας. Και αυτό γιατί στην ύπαιθρο υπάρχουν οι απαραίτητες ελεύθερες επιφάνειες, ενώ απουσιάζει η ατμοσφαιρική ρύπανση, που μειώνει αισθητά την ηλιακή ακτινοβολία, όπως θα δούμε στη συνέχεια. Πρώτα όμως λίγη ιστορία, έτσι...για την ιστορία!

2. Ιστορικά

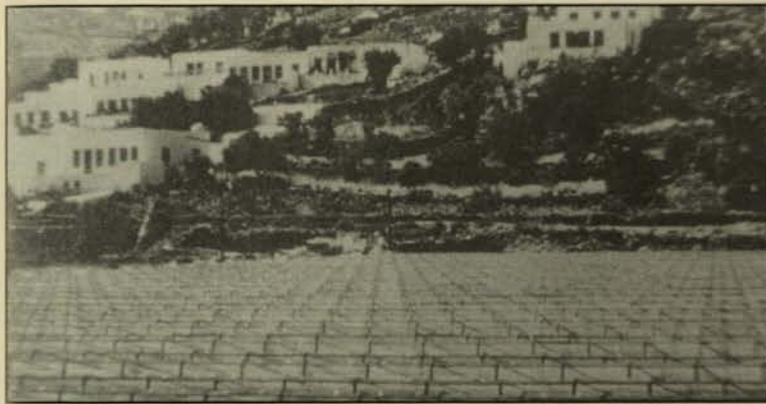
Η εμπλοκή του σημερινού Τμήματος Χημικών Μηχανικών με την έρευνα και ανάπτυξη «ηλιακών εφαρμογών» πηγαινει 30 χρόνια πίσω, στην απαλάτωση και στον αείμνηστο Α. Δεληγιάννη, ο οποίος σχεδίασε και το 1967 εγκατέστησε -[1]-τη, σε παγκόσμια κλίμακα, μεγάλη ηλιακή μονάδα της Πάτμου (φωτογρ. 1). Ακολούθησαν ανάλογες μονάδες στη Νίσυρο, Κίμωλο, Σύμη, Μείστη, Ιθάκη, Αίγινα, καθώς και στο Φισκάρδο, με αποκορύφωμα την εγκατάσταση στο Gwadar του Πα-

κισιάν, του μεγαλύτερου συστήματος στον κόσμο. Η χαμηλή όμως απόδοση της μονοβάθμιας λειτουργίας σ' αυτές τις τύπου θερμοκηπίου μονάδες, έστρεψε με το χρόνο το ενδιαφέρον των ερευνητών προς σύνθετες μορφές ηλιακής απαλάτωσης (προθέρμανση του νερού, πολυβάθμια λειτουργία, κ.ο.κ.).

Τέσσερα χρόνια αργότερα, στα πλαίσια διπλωματικής εργασίας τελειοφοίτου της τότε Ανωτάτης Σχολής Χημικών Μηχανικών του ΕΜΠ, κατασκευάστηκε σε συνεργασία με τον Τομέα Τεχνολογικών Εφαρμογών του ΚΠΕ Δημόκριτος, ο πρώτος ηλιακός θερμοσίφοντας στον Ελλαδικό χώρο (φωτογρ. 2), ο οποίος άρχισε να λειτουργεί την άνοιξη του 1972 [2]. Η εγκατάσταση αυτή απετέλεσε και τη βάση σειράς μελετών - [3],[4] -, αρκετά χρόνια πριν εμφανισθούν ανάλογες μονάδες στο εμπόριο.

Η απόκτηση το 1980 του mini-computer Prime, ο οποίος, αν και σχεδιασμένος για γενική υπολογιστική εργασία, παρείχε εν τούτοις τη δυνατότητα λειτουργίας σαν υπολογιστής πραγματικού χρόνου, επέτρεψε την πρώτη - εξ' όσων γνωρίζω - εργαστη-

Ο Ι.Α. Παλυβός είναι λέκτορας στο Τμήμα Χημικών Μηχανικών του ΕΜΠ. Η ανασκόπηση αυτή έγινε με αφορμή τη συμπλήρωση 30 χρόνων συνεχούς παρουσίας των Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ στην έρευνα αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας.



Η Ηλιακή Μονάδα Αφάλατωσης της Πάτρας (1967)

ριακή λήψη μετρήσεων με Η/Υ στον Ελληνικό ακαδημαϊκό χώρο και ειδικότερα, την πρώτη αυτόματη αξιολόγηση της απόδοσης επίπεδου ηλιακού συλλέκτη (εμπορικού μοντέλου της Solartherm) [5]. Σχεδόν ταυτόχρονα, ο πρώτος μικροϋπολογιστής Apple που έφθασε (μέσω Γαλλίας) στην Ελλάδα το 1981 - ο «θρυλικός» II + - εξοπλισμένος κατάλληλα για μετρήσεις σε πραγματικό χρόνο και ρύθμιση διεργασιών, εντάχθηκε κι αυτός στον «ηλιακό εξοπλισμό» του Τμήματος. Ακολούθησε η αγορά αρκετών ακόμη παρόμοιων μηχανών, μέχρις ότου εμφανίστηκαν, περί τα μέσα της δεκαετίας του '80, ανάλογες διατάξεις για τον IBM PC, ο οποίος στο μεταξύ είχε εκποίσει τους Apple II + [6]. Ενώ όμως η χρήση των μικροϋπολογιστών ήταν εύκολη - η επικοινωνία με την υπό παρακολούθηση εργασία γινόταν με απλές εντολές της BASIC (PEEK & POKE) -, αντίθετα, η πρώτη εκείνη προσπάθεια με τον Prime, ήταν «καλή για την Ψυχή». Η ενεργοποίηση π.χ. των 12-bit μετατροπών A/D και D/A του Prime, απαιτούσε, μεταξύ άλλων, ένα πολύπλοκο καθορισμό των bits μιας βασικής παραμέτρου ελέγχου στη σχετική ρουτίνα της FORTRAN. Έτσι, στα επόμενα χρόνια, ο μεν mini-computer του Τμήματος χρησιμοποιήθηκε κυρίως για προσομοιώσεις, δημιουργία υπολογιστικών «εργαλείων» σχεδιασμού και, γενικά, για χρονοβόρους υπολογισμούς, ενώ το βάρος των μετρήσεων στα διάφορα «ηλιακά» πειράματα, σήκωσαν αποκλειστικά οι μικροϋπολογιστές - κατάλληλα εξοπλισμένοι και συμπληρωμένοι από απλό Η/Υ, όπως αισθητήρια, ηλεκτρονικά κυκλώματα μορ-

φοποίησης, κ.λπ., που αναπτύχθηκαν και κατασκευάστηκαν στο εργαστήριο.

Σε ότι αφορά, τέλος, τα επι μέρους αντικείμενα μελέτης πιθανών ηλιακών εφαρμογών, τον κύριο λόγο είχαν θέματα υποδομής, θέματα σχετικά με την ξήρανση αγροτικών προϊόντων και υλικών, θέματα γύρω από τη λειτουργία θερμοκηπίων, παθητικών συστημάτων και ηλιακών λυχνιών, το πρόβλημα της φωτοχημικής και της φωτοβολταϊκής μετατροπής και, τέλος, ο σχεδιασμός και η βέλτιστη ρύθμιση θερμικών συστημάτων απλής τεχνολογίας. Στις παραγράφους που ακολουθούν, θα παραθέσουμε τις κυριότερες δραστηριότητες του Τμήματος Χημικών Μηχανικών του ΕΜΠ στους παραπάνω τομείς αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας, αρχίζοντας από θέματα υποδομής. Και σαν πρώτο, τί άλλο; Τα δυσέυρετα αλλά τόσο απαραίτητα «δεδομένα».

3. Δεδομένα Ηλιακής Ακτινοβολίας

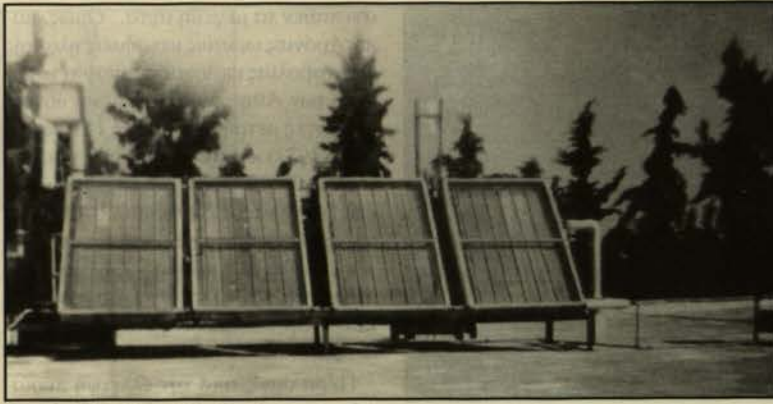
Είναι προφανές ότι για οποιονδήποτε υπολογισμό μιας ηλιακής εγκατάστασης, είναι κατά κανόνα απαραίτητα τα σχετικά δεδομένα ηλιακής ακτινοβολίας, θερμοκρασίας ατμοσφαιρας, ταχύτητας και διεύθυνσης ανέμου, κ.ο.κ. Χρονοσειρές τέτοιων ωριαίων δεδομένων είναι αυτές που οδηγούν π.χ. τις προσομοιώσεις λειτουργίας ηλιακών συστημάτων, ενεργώντας σαν εξωτερικά επιβαλλόμενες συναρτήσεις. Και για μεν τη θερμοκρασία ατμοσφαιρας και την ταχύτητα ανέμου, υπάρχουν γενικά τιμές πολλών ετών, μια και οι σταθμοί της EMY μετρούσαν

ανέκαθεν τα μεγέθη αυτά. Όμως, μακροχρόνιες ωριαίες μετρήσεις ηλιακής ακτινοβολίας υπάρχουν μόνο για το κέντρο των Αθηνών, ενώ δημοσιεύονται ανάλογες μετρήσεις για την Πάτρα (από το 1973) και (από το 1979) για οκτώ σταθμούς της ΔΕΗ, σε ισάριθμες πόλεις. Αντίθετα, οι πολυάριθμοι σταθμοί της EMY - όπως άλλωστε συνέβαινε και σε όλο τον κόσμο - δεν ήταν ακτινομετρικοί αλλά κατέγραφαν ανέκαθεν την καθημερινή διάρκειά της ηλιοφάνειας.

Πέρα όμως από την έλλειψη περισσότερων ακτινομετρικών σταθμών, τίθενται και τα εξής σχετικά θέματα. Εχουμε διατυπώσει την άποψη, την οποία επαναλαμβάνουμε επί σειρά ετών, ότι σε πολύ τοπικό επίπεδο εμφανίζεται σημαντική διαφοροποίηση των γενικότερων ατμοσφαιρικών συνθηκών, επομένως και των κλιματολογικών παραμέτρων, που αφορούν μία ηλιακή εγκατάσταση. Δηλαδή, το κλίμα μπορεί να διαφέρει ουσιαστικά από σημείο σε σημείο της ίδιας (ενυεύτερης) περιοχής, ιδίως όταν υπάρχει ποικιλία στην διαμόρφωση του εδάφους - όπως συμβαίνει στη χώρα μας (η EMY π.χ. παίρνει διαφορετικές τιμές στη Ν. Φιλαδέλφεια από το Τατόι ή το Ελληνικό). Η ύπαρξη, επομένως, αυτού που θα ονομάζαμε μικροκλίμα, δυσκολεύει περισσότερο τα πράγματα αφού συνήγορεί για επιτόπιες μετρήσεις. Και αυτό μας φέρνει σ'ένα δεύτερο και ίσως σημαντικότερο πρόβλημα.

Είναι σαφές ότι η σχετική υποδομή στη χώρα μας, επιτρέπει την ανάπτυξη κυρίως ηλιακών εφαρμογών απλής ή μεσαίας τεχνολογίας. Όπως λοιπόν σημειώσαμε και στην εισαγωγή, η κυριότερη αξιοποίηση του ήλιου, μπορεί να επιτευχθεί σε μη ασιακές περιοχές (π.χ. με γεωργικές/αγροτικές εφαρμογές ή σε νέους οικισμούς) όπου απ' ενός υπάρχουν οι απαραίτητες ελεύθερες επιφάνειες για τους συλλέκτες ενώ, απ' ετέρου, δεν υπάρχει η ατμοσφαιρική ρύπανση για να μειώσει αισθητά την ακτινοβολία.

Όπως πολύ παραστατικά έδειξε σχετική μελέτη του 1980 -[7]- η οποία, σημειωτέον, εκπονήθηκε από σπουδαστή που σήμερα είναι ο επιστημονικός διευθυντής του περίφημου Ozone Research Center στο New Jersey των Η.Π.Α., η ατμοσφαιρική ρύπανση α-



Ο Πρώτος Ηλιακός Θερμοσίφων στην Ελλάδα (1972)

ποτελεί τον παράγοντα με την ισχυρότερη επίδραση πάνω στην θερμική ισορροπία της γής (άλλοι δύο παράγοντες είναι οι αλλαγές στις θερμοοπτικές ιδιότητες της γήινης επιφάνειας και η άμεση προσθήκη ενέργειας στο σύστημα γής-ατμόσφαιρας από ανθρώπινη δραστηριότητα). Τα ποιοτικά συμπεράσματα της εργασίας εκείνης, επιβεβαιώθηκαν και σε πρόσφατη μελέτη για την Θεσσαλονίκη [8].

Έτσι, καταλήγουμε στην ανάγκη για τοπικές μετρήσεις στην ύπαιθρο χώρα και στην, μέχρις ενός σημείου, μειωμένη χρησιμότητα των τιμών της ακτινοβολίας στα κέντρα των πόλεων. Δεν μπορούμε, λόγω χάριν, να μιλάμε για ηλιακές εφαρμογές γύρω από το λόφο της Πνύκας. Εν τούτοις, μόνο για εκείνο το σημείο, από όλη την επικράτεια, έχουμε μακροχρόνιες μετρήσεις ακτινοβολίας.

Αναγνωρίζοντας έγκαιρα την ανάγκη επιτόπιων μετρήσεων σε απομακρυσμένα σημεία - και όχι π.χ. στις ταράτσες των κτιρίων της ΔΕΗ - προδιαγράψαμε ήδη από το 1979 ένα απλό και ενεργειακά αυτοδύναμο σύστημα καθαρά ασύρματης μετάδοσης ηλιακών μετρήσεων κάτω από τον (εξ αποστάσεως) έλεγχο κεντρικού Η/Υ, για την κατασκευή του οποίου ζητήσαμε χρηματοδότηση από το κράτος μέσα στα πλαίσια σχετικής πρότασης (Έργο Νο. 94). Παρ' όλο ότι, δύο χρόνια αργότερα, το 1981, στο μεγάλο συνέδριο του Brighton, παρουσιάστηκαν δύο εμπορικά ανάλογα συστήματα καθώς και ένα πανεπιστημιακό (το οποίο μάλιστα χρησιμοποίησε τον ίδιο μικροϋπολογιστή με το αρχέτυπο μας)

και παρ' όλο ότι, είχε ήδη επίσημα προταχθεί η ανάγκη για την δημιουργία του Ελληνικού Ηλιακού Χάρτη, η τότε αρμόδια υπηρεσία έρευνας (ΥΕΕΤ, το σημερινό ΥΠΕΤ) δεν θεώρησε ικανή τη σχετική πρότασή μας για χρηματοδότηση (η απάντηση, μάλιστα, ήλθε μετά από σχεδόν 4 χρόνια!!!...). Έτσι, με την περιορισμένη χρηματοδότηση του ΕΜΠ, μπορέσαμε στο μεταξύ, να υλοποιήσουμε τις δύο μόνο από τις τρεις φάσεις του προγράμματος [9].

Ας δεχθούμε, στο σημείο αυτό, ότι υπάρχουν πολυτελείς μετρήσεις σε κάποιους σταθμούς, για να τονίσουμε ένα άλλο πρόβλημα. Μπροστά στις χρονοσειρές της ακτινοβολίας, έχουμε τρεις επιλογές. Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τα δεδομένα αυτά όπως ακριβώς είναι, μπορούμε να τα επεξεργασθούμε κατάλληλα παίρνοντας ένα αντιπροσωπευτικό υποσύνολό τους, ή μπορούμε με βάση αυτά να δημιουργήσουμε ένα στοχαστικό σύνολο αντιπροσωπευτικό των διακυμάνσεων που παρατηρούνται. Είναι προφανές ότι π.χ. μια προσομοίωση βασισμένη πάνω σε ωριαίες τιμές πολλών ετών, θα είναι εξαιρετικά χρονοβόρα. Έτσι, η χρησιμότητα ενός κατάλληλου υποσυνόλου είναι προφανής. Κεντρική ιδέα στην δεύτερη αυτή περίπτωση αποτελεί η δημιουργία αυτού που διεθνώς ονομάζεται «τυπικό μετεωρολογικό έτος» και το οποίο σχηματίζεται από πραγματικές μετρήσεις συγκεκριμένων μηνών - που, με βάση κάποια κριτήρια, είναι αντιπροσωπευτικοί των διαθέσιμων μετρήσεων όλων των εποχών (π.χ. Ιανουάριος μιας χρονιάς, Φεβρουάριος της ίδιας ή άλλης, κοκ.). Η διαδικασία

της δημιουργίας τυπικού έτους απαιτεί, προφανώς, μετρήσεις πολλών ετών. Για το λόγο αυτό, η σχετική προσπάθεια η οποία ξεκίνησε στο ΕΜΠ - [10],[11] - έχει αξία προς το παρόν μόνον σαν μεθοδολογία η οποία, όμως, θα μπορέσει να δώσει τέτοια ουσιαστικά υποσύνολα - για τους εκτός μεγάλων πόλεων υπάρχοντες πυρανομετρικούς σταθμούς - όταν σε μερικά χρόνια θα έχουν συσσωρευθεί αρκετές μετρήσεις. Ακόμη, το «τυπικό έτος» θα πρέπει να ανανεώνεται συχνά, αφού ορισμένες μετεωρολογικές ποσότητες αλλάζουν συνεχώς τα τελευταία χρόνια (φαινόμενο θερμοκηπίου, κλπ.).

Μπροστά λοιπόν στο γενικό πρόβλημα της έλλειψης ωριαίων πυρανομετρικών τιμών, γίνεται εδώ και πολλά χρόνια, προσπάθεια να συσχετισθεί η ηλιακή ακτινοβολία με την ηλιοφάνεια, για την οποία υπάρχουν τιμές πολλών ετών, καθώς και με άλλες παραμέτρους, όπως το γεωγραφικό πλάτος, το υψόμετρο, η σχετική υγρασία της ατμόσφαιρας, η απορρόφηση από αέρια, κοκ. Ανάλογες μελέτες, οι οποίες βασίζονται στις τιμές ακτινοβολίας των σταθμών της ΔΕΗ - ενώ εξετάζουν διάφορες απλές συναρτησιακές μορφές - έχουν γίνει τα τελευταία χρόνια και στο ΕΜΠ [12]. Η έλλειψη όμως αρκετών μετρήσεων, έχει προς το παρόν αναστειλεί τις σχετικές προσπάθειες.

Στο σημείο αυτό, πρέπει να τονίσουμε την αβεβαιότητα που κατ' αρχήν υπεισέρχεται σε κάθε είδους λεπτομερή υπολογισμό εφαρμογής - όπως π.χ. μιας προσομοίωσης - από ποσότητες όπως είναι τα ηλιακά δεδομένα. Από αυτή την άποψη, επομένως, θα μπορούσαμε να πούμε ότι, ίσως οι δευτερογενείς λεπτομέρειες - που διαφοροποιούν π.χ. μια προσομοίωση από την αντίστοιχη μέθοδο απλού σχεδιασμού - να έχουν τελικά λιγότερο νόημα, όταν υπάρχει τέτοια αβεβαιότητα στις πρωτογενείς ποσότητες, δηλαδή τα ηλιακά δεδομένα.

Ας ριξουμε όμως μια ματιά και στο βασικό τμήμα κάθε ηλιακής εγκατάστασης απλής τεχνολογίας, δηλαδή στο συλλέκτη.

4. Επίπεδοι Συλλέκτες

Οι πρώτες πειραματικές μελέτες πάνω στους επίπεδους συλλέκτες έγιναν



Πλατφόρμα Έξω από το Ηλιακό Εργαστήριο

στο ΕΜΠ όταν το τμήμα Χημικών Μηχανικών βρισκόταν ακόμη στα κτίρια της Πατησίων. Από τα ενδιαφερόμενα (για ηλιακές εφαρμογές) εργαστήρια, μόνο αυτό της Τεχνικής Φυσικών Διεργασιών είχε άμεση πρόσβαση στο ελεύθερο δώμα. Έτσι, οι πειραματικές του διατάξεις, οι οποίες αφορούσαν επίπεδους συλλέκτες αέρα, αναπτύχθηκαν στο δώμα του κτιρίου, λειτουργώντας δηλαδή κάτω από πραγματικές συνθήκες. Αντίθετα, οι σχετικές διατάξεις του Εργαστηρίου Ειδικής Μηχανολογίας, οι οποίες αποσκοπούσαν στη μελέτη συλλεκτών νερού, λειτουργούσαν σε εσωτερικό χώρο, δηλαδή κάτω από τεχνητές συνθήκες. Σ' αυτό συνέτειναν τόσο η μεγάλη απόσταση από το δώμα, όσο και οι περιορισμοί που επέβαλε η διασύνδεση με τον Η/Υ.

Η πρώτη διάταξη σε εσωτερικό χώρο - η οποία εξομοίωνε την ηλιακή ακτινοβολία με ειδικές λυχνίες - είχε στόχο να μελετήσει την επίδραση του ανέμου στην απόδοση του συλλέκτη. Ξεκινώντας από τη διαπίστωση ότι η παραδοσιακή γραμμική σχέση της βιβλιογραφίας, ανάμεσα στη μέση ταχύτητα του ανέμου και στο συντελεστή θερμικών απωλειών του καλύμματος, δε λαμβάνει υπ' όψιν της τη διεύθυνση του ανέμου, η σχετική εργασία μελέτησε τη μεταβολή του βαθμού απόδοσης σαν συνάρτηση της γωνίας της διεύθυνσης του ανέμου ως προς το συλλέκτη, γνωστής σαν «γωνίας εκτροπής». Παρ' όλο ότι, η ταχύτητα του ανέμου παραμένει ο βασικός παράγων αύξησης των απωλειών, επομένως μείωσης της απόδοσης, αποδείχθη ότι και η γωνία εκτροπής είναι σε θέση να μειώσει την

απόδοση, σε ποσοστά της τάξης του 5-15 % [13].

Μια δεύτερη μελέτη σε εσωτερικό χώρο, ακολούθησε στα βαιονικά της σημαία το σχετικό πρότυπο του ΕΛΟΤ (388-1/Ι) για δοκιμές ανοικτού κυκλώματος με σταθερή παροχή υγρού [5]. Περιελάμβανε όλα τα απαραίτητα οσθητήρια (πυρανόμετρο, περιστροφικό ανεμόμετρο, θερμοζεύγη, ροόμετρο, μεταγωγέα πίεσεως, κ.λπ.) τα οποία μέσα από κατάλληλα μορφοποιητικά κυκλώματα, κατέληγαν στις μονάδες ψηφιακής μετατροπής (Α/Δ) του Η/Υ. Έτσι, ο βαθμός απόδοσης, η σταθερά χρόνου, καθώς και τα γινόμενα (FRτα) και (FRUL) του συλλέκτη, υπολογίζονταν πλέον αυτόματα από το πρόγραμμα του Η/Υ.

Παράλληλα με τις προσπάθειες αυτές, σχεδιάσθηκαν και τοποθετήθηκαν διατάξεις, με συλλέκτες αέρα αυτή τη φορά, στο δώμα του κτιρίου της Πατησίων. Άμεσος στόχος, ήταν η μελέτη των δυνατοτήτων που προσφέρει η ηλιακή ενέργεια για θέρμανση αέρα βιομηχανικής χρήσης [14]. Οι συλλέκτες αυτοί, βελτιώθηκαν στη συνέχεια - π.χ. με ενσωμάτωση χώρου προθέρμανσης του αέρα - και μελετήθηκαν τόσο θεωρητικά όσο και πειραματικά [15].

Η Μεταφορά του Τμήματος στα κτίρια της Πολυτεχνειούπολης, σήμανε και το τέλος της ταλαιπωρίας. Και τούτο γιατί ο πλησιέστερος προς τα ελεύθερα δώματα εργαστηριακός χώρος, αφιερώθηκε με απόφαση του Τομέα Π, κατά προτεραιότητα, στην έρευνα των ηλιακών εφαρμογών και από τότε έγινε γνωστός σαν «ηλιακό εργαστή-

ριο». Βασικό κριτήριο για το χαρακτηρισμό του χώρου αυτού, ήταν το γεγονός ότι ακριβώς πάνω και δίπλα σ' αυτόν, έχουν τοποθετηθεί ειδικές μεταλλικές πλατφόρμες, για εγκατάσταση ηλιακών συλλεκτών και συναφών διατάξεων (φωτογρ. 3), στο κατά τα άλλα μη βατό δώμα. Έτσι, οι ασχολούμενοι με τις ηλιακές εφαρμογές, έχουν τώρα στη διάθεσή τους έναν ενιαίο και κατάλληλο χώρο, ανεξάρτητα από το επιμέρους θερμοθετημένο εργαστήριο στο οποίο ανήκουν

Οι συλλέκτες θέρμανσης αέρα ήσαν οι πρώτοι που τοποθετήθηκαν στο δώμα του νέου κτιρίου Χημικών Μηχανικών στον Ζωγράφου. Στόχος, η συνέχιση της μελέτης τους για την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας σε θέματα ξήρανσης [16]. Στην ειδική βάση του δώματος (φωτογρ. 4) έχουν ακόμη τοποθετηθεί, ένας κλωβός με όργανα μέτρησης θερμοκρασίας και υγρασίας, δύο πυρανόμετρα και ένας ιστός με περιστροφικό ανεμόμετρο. Όλα αυτά τα όργανα συνδέονται με Η/Υ που βρίσκονται στο υποκείμενο «ηλιακό εργαστήριο». Παράλληλα, στο ίδιο αυτό δώμα, απολήγουν σωληνώσεις για μεταφορά θερμού νερού στους αποκάτω ορόφους (από συλλέκτες που θα εγκατασταθούν), ηλεκτρικές παροχές, καθώς και γραμμές μεταφοράς δεδομένων.

Μετά τους συλλέκτες, ως ριζούμε μια ματιά στο άλλο βασικό κομμάτι μιας εγκατάστασης, δηλαδή στην αποθήκη θερμότητας.

5. Αποθήκευση Ενέργειας

Το τόσο βασικό πρόβλημα της αποθήκευσης έχει μέχρι στιγμής προσεγγισθεί κατά τέσσερις τελείως διαφορετικούς μεταξύ τους τρόπους. Στους δύο από αυτούς, φωτοχημική και φωτοβολταϊκή μετατροπή παράγουν ενεργειακά αξιοποιήσιμες ενώσεις, ενώ στους υπόλοιπους δύο, η ενέργεια αποθηκεύεται είτε άμεσα, σαν αισθητή, είτε έμμεσα, σαν λανθάνουσα θερμότητα σε υλικά αλλαγής φάσης.

Σε μια πρώτη προσπάθεια αξιοποίησης της φωτοχημικής μετατροπής, μελετήθηκε η εφικτότητα και η οικονομικότητα συστημάτων αποθήκευσης ηλιακής ενέργειας, μέσα από τη (φωτοχημική) παραγωγή οργανικών ενώ-



Πλατφόρμα στο Δώμα του Ηλιακού Εργαστηρίου

σεων, ενεργειακά πλουσιότερων από αυτές από τις οποίες προήλθαν και στις οποίες επανέρχονται με θερμοαντιστρεπτή διεργασία. Ο προσδιορισμός της αποθηκευτικής ικανότητας του φωτοενυαθιστοποιούμενου συστήματος ενώσεων (porbopadiene + hv → quadricyclane) έγινε πειραματικά με βαθμό απόδοσης (ενέργεια αποθηκευόμενη στα παραγόμενα μόρια προς την προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια) 0.87%. Η τιμή αυτή είναι σε συμφωνία με τους αντίστοιχους θεωρητικούς υπολογισμούς, ενώ αλλάζει ελάχιστα από το συνεχώς μεταβαλλόμενο φάσμα του ήλιου [17]. Στην ενότητα 10, θα επανέλθουμε περιγράφοντας ένα ολοκληρωμένο σύστημα φωτοχημικής μετατροπής.

Ακολούθως, μελετήθηκε η μέσω φωτοβολταϊκής μετατροπής παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, με τη βοήθεια της οποίας μπορεί να παραχθεί υδρογόνο με ηλεκτρόλυση νερού. Το υδρογόνο αυτό, αποθηκευόμενο υπό μορφή υδριδίου, μπορεί στη συνέχεια να χρησιμοποιηθεί είτε απ' ευθείας σε καύση, είτε σε κελίο καυσίμου για (ανα)παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, όταν και όπου χρειάζεται. Και ενώ από τεχνική άποψη μια τέτοια εγκατάσταση, π.χ. για τις ανάγκες μιας κατοικίας, δεν παρουσιάζει ιδιαίτερα προβλήματα, απεδείχθη ότι το κόστος ήταν και παραμένει ακόμη υψηλό [18].

Πάνω στις διατάξεις ηλιακής θέρμανσης αέρα που περιγράψαμε στην προηγούμενη ενότητα, επιχειρήθηκε μια συμβατικότερη προσέγγιση στο πρόβλημα της αποθήκευσης ενέργειας. Στόχος αυτή τη φορά ήταν, η με τη μορ-

φή αισθητής θερμότητας αποθήκευση ηλιακής ενέργειας σε ανόργανα υλικά με βάση το τοιμέτο. Με προοπτική την αξιοποίηση της τεχνολογίας για το σχεδιασμό εγκαταστάσεων θέρμανσης αέρα τεχνικών διεργασιών, μελετήθηκε θεωρητικά και επαληθεύθηκε πειραματικά το σχετικό πρότυπο της αποθήκευσης, ένα πρότυπο δύο φάσεων - στερεών και αέρα - το οποίο λαμβάνει υπόψη του την αγωγή μέσα στα σωματίδια, τη διασπορά στην αέρια φάση, και τις θερμικές απώλειες. Η σχετική μελέτη έδειξε ότι η χρησιμοποίηση μιας τέτοιας αποθήκευσης, σε συνδυασμό με επίπεδους συλλέκτες αέρα, διαμορφώνει ένα σύστημα τεχνικά και οικονομικά ικανό για τη θέρμανση αέρα για βιομηχανική ή γεωργική χρήση. Επί πλέον, η τεχνικοοικονομική ανάλυση, οδηγεί στο συμπέρασμα ότι ένα αριστοποιημένο τέτοιο σύστημα, πλεονεκτεί του αντίστοιχου ενεργειακού συστήματος με συμβατικά καύσιμα, ακόμα και αν αυτά είναι σχετικά φθηνά [19].

Σαν υλικά αποθήκευσης της αισθητής θερμότητας μέσα στη «στερεά κλίνη», δοκιμάσθηκαν σφαιρίδια σκυροδέματος, διαφόρων περιεκτικότητας σε αδρανή ανόργανα. Αφού μετρήθηκαν θερμοφυσικές ιδιότητές τους, όπως η πυκνότητα, η θερμοχωρητικότητα, η θερμική αγωγιμότητα και η θερμοδιαχυτότητα, μορφώθηκαν δυο πολυωνυμικά πρότυπα για τον υπολογισμό των ιδιοτήτων αυτών συναρτήσει της σύστασης του ξηρού και του υγρού σκυροδέματος. Απεδείχθη ότι οι σημαντικότεροι παράγοντες, ήταν οι ι-

διότητες των αδρανών και η περιεχόμενη υγρασία των σφαιριδίων [20].

Στο σημείο αυτό, όμως, θα πρέπει να σημειωθεί ότι ορισμένα τυπικά ηλιακά συστήματα - όπως τα παθητικά - ενώ γενικά παρουσιάζουν απλότητα στο σχεδιασμό τους και ικανοποιητική απόδοση, απαιτούν ογκώδεις θερμοαποθηκευτικές μάζες, όταν η αποθήκευση γίνεται με αισθητή θερμότητα. Αυτό οδηγεί, προφανώς, σε δέσμευση σημαντικού χώρου - π.χ. από ογκώδεις τοίχους -, ενώ κάνει πρακτικά αδύνατη την εφαρμογή παθητικής ηλιακής θέρμανσης στα ήδη υπάρχοντα κτίρια. Έτσι, είναι αναγκαία μία τέταρτη προσέγγιση του προβλήματος της αποθήκευσης, με τη βοήθεια υλικών αλλαγής φάσης. Η αποθήκευση ηλιακής ενέργειας με τη μορφή λανθάνουσας θερμότητας είναι ιδιαίτερα ελκυστική εφόσον και τα σχετικά υλικά έχουν μεγάλη θερμοαποθηκευτική ικανότητα ενώ, παράλληλα, αποθηκεύουν θερμότητα σε μια σταθερή θερμοκρασία - αυτή του σημείου αλλαγής φάσης τους. Προκαταρκτικές μελέτες έδειξαν π.χ. ότι απαιτείται επταπλάσια ποσότητα λίθων και τριπλάσια ποσότητα νερού σε αντίστοιχες αποθήκες αισθητής θερμότητας από ό,τι θα χρησιμοποιούσε μια τυπική αποθήκη λανθάνουσας θερμότητας - για την ίδια πάντα απόδοση. Η σχετική εργασία περιλαμβάνει εκτενή ανάλυση των διαφόρων υλικών «αλλαγής φάσης» - παραφινών, λιπαρών οξέων και λοιπών οργανικών ενώσεων, υδριτών ανόργανων αλάτων και ευτηκτικών μίγμάτων [21].

Ας δούμε όμως, μία - μία τις βασικές κατηγορίες εφαρμογών που έχουν μελετηθεί τα τελευταία χρόνια στο Τμήμα Χημικών Μηχανικών του ΕΜΠ και που θα μπορούσαν να χαρακτηρισθούν σαν δραστηριότητες του «ηλιακού εργαστηρίου» (φωτογρ. 5).

6. Ηλιακή Ξήρανση Υλικών - Προϊόντων

Όπως είναι γνωστό, μεγάλες ποσότητες συμβατικών καυσίμων καταναλώνονται για την ξήρανση αγροτικών και βιομηχανικών προϊόντων με χρήση θερμού αέρα. Αφού η συγκομιδή και ξήρανση των πρώτων γίνεται κατά τους θερινούς μήνες, οπότε και η ηλιακή ενέργεια είναι άφθονη, η τελευταία



Εσωτερικό του Ηλιακού Εργαστηρίου

προσφέρεται για το σκοπό αυτό. Η παραδοσιακή ξήρανση ενός προϊόντος απλωμένου κάτω από τον ήλιο, έχει προφανή μειονεκτήματα, όπως μεγάλο χρόνος ξήρανσης, μόλυνση ή απώλεια προϊόντος λόγω αντίξοων καιρικών συνθηκών, κ.ο.κ. Αντίθετα, η ηλιακή ξήρανση με αέρα θερμαινόμενο σε συλλέκτες, είναι κατά πολύ ταχύτερη, λόγω υψηλότερων θερμοκρασιών και ταχυτήτων του αέρα.

Πειραματικές μετρήσεις στο ΕΜΠ, έδειξαν ότι ένα σύστημα ηλιακής ξήρανσης με βεβιασμένη κυκλοφορία θερμού αέρα, είναι σε θέση να ξηράνει επιτυχώς φρούτα, όπως η σταφίδα [22]. Η προσθήκη μονάδας αποθήκευσης, εξ' άλλου, μπορεί να επιμηκύνει το χρόνο λειτουργίας και να βελτιώσει την απόδοση του ηλιακού συστήματος ξήρανσης [19]. Αν δηλαδή ληφθεί υπόψη το γεγονός ότι, το ποσοστό κάλυψης των τυπικών θερμικών φορτίων χωρίς χρήση αποθήκης είναι λιγότερο από 50%, γίνεται προφανής η βελτίωση που μπορεί να επιτευχθεί από αυτήν [23].

Προσομοίωση της λειτουργίας και, στη συνέχεια, πειραματική επαλήθευση των θεωρητικών προβλέψεων για ολοκληρωμένο σύστημα ηλιακής ξήρανσης αγροτικών προϊόντων, με αέρα θερμαινόμενο σε επίπεδους συλλέκτες, έδειξε ότι ο άριστος λόγος όγκου ηλιακής αποθήκευσης προς επιφάνεια συλλεκτών, είναι περίπου 0.2. Εξ' άλλου, μια εγκατάσταση 400 m² συλλεκτών, με 80 m³ αποθήκης σφαιριδίων σκυροδέματος, είναι σε θέση να ικανοποιήσει κατά 95% το τυπικό φορτίο, δηλαδή να παρέχει ρεύμα αέρος 1m³/s

και θερμοκρασίας 60 C, για όλο το χρονικό διάστημα από τον Απρίλιο μέχρι και το Σεπτέμβριο, για μια περιοχή με κλίμα σαν της Αθήνας [24].

Μια διεξοδική μελέτη της δυναμικής συμπεριφοράς συστήματος ηλιακής ξήρανσης καπνού, απέδειξε ότι ένα μεγάλο μέρος του θερμικού φορτίου μπορεί να καλυφθεί από τον ήλιο, αλλά και ότι, η σημαντική συμβολή του συστήματος, λαμβάνει χώρα κυρίως στο πρώτο μέρος της ξήρανσης [25]. Το συμπέρασμα αυτό βρίσκεται σε αρμονία με ένα γενικό, όσο και προφανές, χαρακτηριστικό των ηλιακών συστημάτων, αυτό της καλλίτερης τους απόδοσης όταν λειτουργούν κάτω από συνθήκες συνεχούς φορτίου. Κι αυτό, γιατί η σε χρήση ενέργεια απολαβή ενός θερμικού ηλιακού συστήματος, είναι ανάλογη της θερμοκρασιακής διαφοράς μεταξύ επιφάνειας συλλογής και ρευστού, η θερμοκρασία του οποίου εξαρτάται προφανώς από το στιγμιαίο φορτίο.

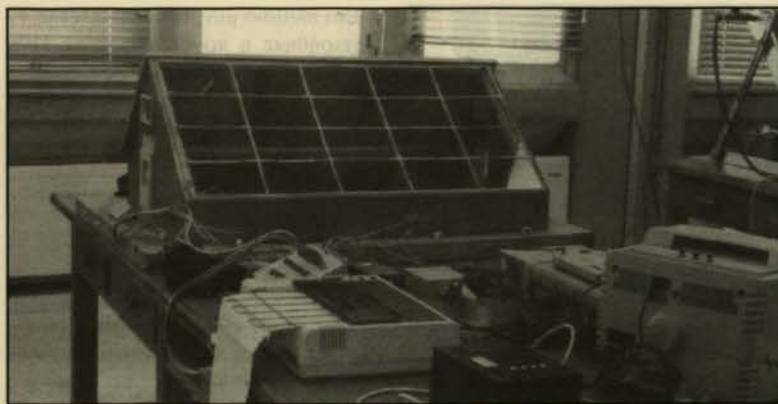
7. Παθητικά Συστήματα

Η διαπίστωση ότι το εύκρατο κλίμα της χώρας μας προσφέρεται για παθητική εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας έδωσε, όπως είναι γνωστό, σημαντική ώθηση στο ενδιαφέρον για σύγχρονα παθητικά συστήματα. Έτσι, δημιουργήθηκε η ανάγκη για καλλίτερη κατανόηση της λειτουργίας τους μέσα από κατάλληλες μελέτες. Κι αυτό γιατί ενώ είναι απλούστερα και έχουν ελάχιστα ή καθόλου μηχανικά προβλήματα συντήρησης, παρ' όλα αυτά απαιτούν προσεκτικότερο σχεδιασμό για να λειτουργήσουν αποτελεσματικά.

Στα πλαίσια μιας τέτοιας μελέτης, επιχειρήθηκε η προσομοίωση σε Η/Υ τριών τυπικών παθητικών συστημάτων συλλογής ηλιακής ενέργειας: του τοίχου Trombe, του υδάτινου τοίχου, και του προσαρτημένου ηλιακού χώρου. Βάση της ανάλυσης, απετέλεσαν κατάλληλα θερμικά δίκτυα κόμβων και συνδέσεων, που αντιπροσωπεύουν τα προαναφερθέντα συστήματα και που λαμβάνουν υπόψη τους τόσο πηγές όσο και αποθήκευση [26]. Για την προσομοίωση των θερμικών (ηλιακών) πηγών, χρησιμοποιήθηκαν πραγματικές μετρήσεις (ωριαίες τιμές) ηλιακής ακτινοβολίας και ένα κατάλληλο οπτικό πρότυπο, ενώ οι απώλειες εδάφους του προσαρτημένου χώρου, μελετήθηκαν λεπτομερώς (με μια τύπου πεπερασμένων στοιχείων τεχνική, γνωστή σαν «ξέυξη εδάφους»).

Η σχετική παραμετρική μελέτη, έδειξε ότι - σε ετήσια βάση - ο προσαρτημένος χώρος εμφανίζει τη μεγαλύτερη θερμική απόδοση, όταν η σύγκριση αναφέρεται σε λειτουργία χωρίς (κινητή) νυκτερινή μόνωση. Από την άλλη πλευρά, ο υδάτινος τοίχος πλεονεκτεί των άλλων δύο τύπων «συλλέκτη», όταν χρησιμοποιείται νυκτερινή μόνωση. Κι αυτό, γιατί παρέχει μια ικανοποιητική μέση θερμοροή, με σχετικά μικρές διακυμάνσεις στις αντίστοιχες ωριαίες τιμές ενώ, παράλληλα, προκαλεί μια επιθυμητή υστέρηση στην απελευθέρωση της θερμότητας προς τον εσωτερικό χώρο. Έτσι, η συλλεγόμενη κατά τη διάρκεια της ημέρας θερμότητα, αρχίζει να «ακτινοβολείται» προς τον χώρο διαβίωσης το απόγευμα, συνεχίζοντας κατά τις βραδινές ώρες. Σε σχέση με τις απώλειες εδάφους, τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η χρήση περιμετρικής μόνωσης, μπορεί να τις μειώσει κατά 50%. Παρ' όλα αυτά, η μεταβολή στην ηλιακή συνεισφορά, έναντι του θερμικού φορτίου, είναι πολύ μικρή.

Μια ανάλογη προσομοίωση μελέτησε τη συμπεριφορά παθητικού συστήματος με θερμοαποθηκευτικό τοίχο από υλικό αλλαγής φάσης. Με σημαντικές αλλαγές στο βασικό αλγόριθμο του προγράμματος της προηγούμενης μελέτης, δημιουργήθηκε πρόγραμμα το οποίο μπορεί να χειριστεί παθητικά συστήματα, με αποθήκες, τόσο αισθητής όσο και λανθάνουσας θερμότητας



Εργαστηριακό Μοντέλο Ηλιακού Θερμοκηπίου

[21]. Το πρόγραμμα αυτό μπορεί να μελετήσει οποιοδήποτε υλικό αλλαγής φάσης, ανεξάρτητα από το πόσο σύνθετη είναι η θερμοκήνση του συμπεριφορά (π.χ. υλικό που παρουσιάζει περισσότερες από μια αλλαγές φάσης). Η δομή του προγράμματος είναι τέτοια, ώστε οποιοσδήποτε κόμβος «αισθητής θερμότητας» (στο θερμικό δίκτυο που απεικονίζει το παθητικό σύστημα) να μπορεί να μετατραπεί σε κόμβο «αλλαγής φάσης» με αντικατάσταση μόνο μιας εντολής. Η επίλυση του συστήματος των κομβικών εξισώσεων γίνεται με χρήση μεταβλητού χρονικού βήματος, ενώ ο εντοπισμός του μετώπου αλλαγής φάσης του αποθηκευμένου υλικού, πραγματοποιείται στο τέλος κάθε χρονικού βήματος, αφού υπολογισθούν οι θερμοκρασίες των κόμβων. Η παραμετρική μελέτη έδειξε, μεταξύ άλλων, ότι η θερμοκρασία αλλαγής φάσης του θερμοαποθηκευτικού υλικού, επηρεάζει σημαντικά τη συμπεριφορά του συστήματος. Όσο η θερμοκρασία αυτή πλησιάζει το άνω θερμοκρασιακό όριο του «κόμβου ελέγχου» (24 C), τόσο μεγαλώνει η απόδοση του συστήματος. Το πάχος, εξ' άλλου, του αποθηκευτικού τοίχου, πρέπει να είναι αρκετό ώστε να καλύπτει τη μέγιστη ανάγκη για ημερήσια αποθήκευση σε λανθάνουσα θερμότητα. Αν επιλεγούν σωστά, τόσο η θερμοκρασία αλλαγής φάσης, όσο και το πάχος του αποθηκευτικού τοίχου, τότε ιδιότητες όπως η θερμοκήνση αγωγιμότητα, η λανθάνουσα θερμότητα, καθώς και το θερμοκρασιακό εύρος της περιοχής αλλαγής φάσης, δεν φαίνεται να παίζουν σημαντικό ρόλο.

8. Το Ηλιακό Θερμοκήπιο

Ο όρος «ηλιακό» εδώ υποδηλώνει απλά ότι το θερμοκήπιο εκμεταλλεύεται, κατά τα γνωστά, το φως και τη θερμότητα του ήλιου κατά τη διάρκεια της «ηλιοφάνειας» αλλά, επί πλέον, έχει και ειδική θερμοαποθηκευτική ικανότητα. Έτσι, μπορεί να καλυφθεί ένα μεγάλο μέρος των θερμικών του αναγκών πριν απαιτηθεί συμπλήρωμα από συμβατική θέρμανση (τις κρύες νύχτες ή σε παρατεταμένες συννεφίες). Ταυτόχρονα, το θερμοκήπιο αυτό παύει να είναι ευάλωτο στις απότομες καιρικές μεταβολές - που έχουν επιπτώσεις στην ανάπτυξη των φυτών -, αφού η αποθήκη του δημιουργεί μια «θερμική αδράνεια» στις μεταβολές αυτές.

Το σύγχρονο ηλιακό θερμοκήπιο, έχει μονωμένες (αδιαφανείς) όλες τις πλευρές, εκτός της νότιας (επιμοούθου 0), ενώ στο βάθος του (βορεινή πλευρά), βρίσκεται η θερμοαποθήκη. Οι κλίσεις - κυρίως της φωτοδιαπερατής επιφάνειας - υπαγορεύονται από τη γεωγραφική θέση της μονάδας, ενώ τα βασικά διαφανή υλικά, είναι πολυανθρακικά ή ακρυλικά.

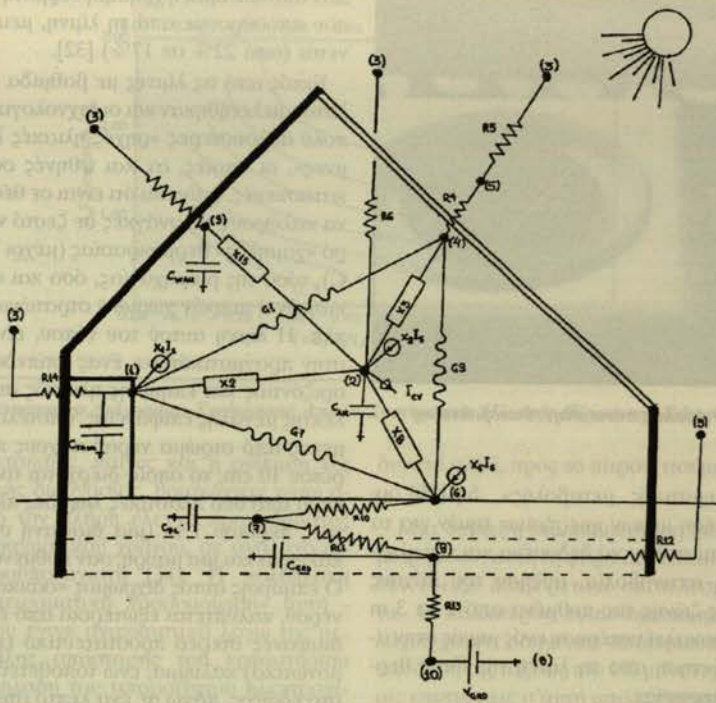
Κατασκευάστηκε ένα εργαστηριακό αρχέτυπο (φωτογρ. 6) με μόνωση πολυυρεθάνης, πολυανθρακικό φωτοδιαπερατό κάλυμμα και δεξαμενή νερού για θερμοαποθήκη [27]. Για την προσομοίωση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας (αφού το αρχέτυπο βρίσκεται σε εσωτερικό χώρο), χρησιμοποιήθηκε «ισοδύναμη» ηλεκτρική αντίσταση. Σε κάθε χρονικό βήμα και με βάση πραγματικές στιγμιαίες μετρήσεις ακτινοβολίας που λαμβάνουν χώρα κατά το πείραμα στο δώμα του κτι-

ρίου (κατάλληλα ολοκληρωμένες στον μικροϋπολογιστή ο οποίος κάνει τη λήψη των μετρήσεων και τον έλεγχο της όλης διεργασίας), ένα ειδικό κύκλωμα τροφοδοτεί με την σωστή ισχύ μια αντίσταση από χρωμονικελίνη, τοποθετημένη στο εσωτερικό του καλύμματος. Για να υπάρχει ομοιόμορφη κατανομή της ισχύος σε όλη την επιφάνεια του καλύμματος, χρησιμοποιήθηκαν 8 παράλληλα σύρματα. Το αποτέλεσμα είναι, να δέχεται το εσωτερικό του θερμοκηπίου θερμότητα ανάλογη αυτής που θα δεχόταν αν βρισκόταν απ' ευθείας εκτεθειμένο στον ήλιο.

Ο εξοπλισμός περιλαμβάνει ανεμιστήρα και ανεμόμετρο (για τη μέτρηση της ταχύτητας), θερμοζεύγη σε διάφορα σημεία του θερμοκηπίου, σεραπνίνα κρύου νερού και ροόμετρο (για την προσομοίωση των απωλειών εδάφους), βοηθητική θερμοαντική αντίσταση για συμπλήρωση του φορτίου, αισθητήριο υγρασίας και, τέλος, βηματικό κινητήρα για το άνοιγμα μικρού παραθύρου εξαερισμού. Τα διάφορα αισθητήρια, τροφοδοτούν μέσα από μορφοποιητικά κυκλώματα τη μονάδα εισόδου του μικροϋπολογιστή (A/D), ενώ η μονάδα εξόδου (D/A), ρυθμίζει την ισχύ που πρέπει ανά πάσα στιγμή να αποδίδεται στην αντίσταση ακτινοβολίας, καθώς και τη λειτουργία του βηματικού κινητήρα εξαερισμού. Έτσι, το σχετικό πρόγραμμα, ρυθμίζει τη θερμοκρασία χώρου του θερμοκηπίου, διατηρώντας τη στην επιθυμητή τιμή, και καταγράφει τις διάφορες θερμοκρασίες και ενεργειακές ποσότητες, όπως π.χ. τη συμπληρωματική ενέργεια - όταν και όσο αυτή χρειαζόταν.

Η πρώτη προσομοίωση που επιχειρήθηκε, ήταν με τον κλασικό τρόπο (ισοζυγία, Δ.Ε.) και με ωριαίες τιμές ηλιακών δεδομένων. Όμως, οι απαιτήσεις σε υπολογιστική ισχύ, ήταν πολύ μεγάλες (χρόνος CPU σε ώρες, στον minicomputer Prime 550). Έτσι επελέγη η περιγραφή με βάση ηλεκτρικά ανάλογα, ώστε το προκύπτον κύκλωμα να μπορεί να επιλυθεί ταχύτατα με κάποιο κλασικό πρόγραμμα επίλυσης, όπως το SPICE [28].

Σε πρώτη προσέγγιση, οι συντελεστές μεταφοράς θερμότητας θεωρήθηκαν σταθεροί. Έντιμω, η υπόθεση ότι η σχέση ερυθμής μεταφοράς θερμότητας και αντίστοιχης θερμοκρα-



Ηλεκτρικό Ανάλογο του Ηλιακού Θερμοκηπίου

οιακής διαφοράς είναι περίπου γραμμική, οπότε ακρούσε μία ωμική αντίσταση. Και για μεν τις εξωτερικές επιφάνειες αυτή η παραδοχή ήταν παραδοσιακά αποδεκτή (βλ. 4). Στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, όμως, η σχέση συντελεστού μεταφοράς θερμότητας και θερμοκρασιακής διαφοράς είναι εκθετική. Επομένως, στο θερμικό/ηλεκτρικό ανάλογο (φωτογρ. 7), χρειαζόταν ηλεκτρική αντίσταση που να μεταβάλλεται με την τάση. Και ναί μεν υπήρχε ήδη σχετικό ηλεκτρονικό εξάρτημα, το varistor, δεν υπήρχε όμως το αντίστοιχο μοντέλο του στην τότε εκδοχή του SPICE. Έτσι, δημιουργήθηκε ένα ισοδύναμο «υποκύκλωμα» (και τέτοια δέχεται, ως γνωστόν, το SPICE), το οποίο να προσεγγίζει τη συμπεριφορά του varistor. Εκτός από βελτίωση στην παραμετροποίηση των ροών θερμότητας λόγω μεταφοράς, η προσθήκη στο ανάλογο και ενός ρεύματος απωλειών λόγω διαπνοής, τροποποίησε σημαντικά το σχετικό ισοζύγιο.

Με βάση τη ρεαλιστικότερη πλέον απόδοση των συντελεστών μεταφοράς θερμότητας, έγινε μια σύγκριση μέσα

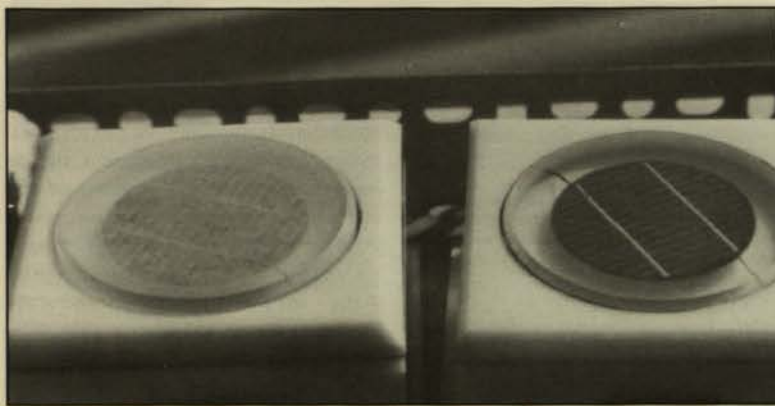
από τη σχετική προσομοίωση, του ηλιακού θερμοκηπίου με το συμβατικό, δηλαδή το κλασικό ολλανδικού τύπου θερμοκήπιο [29]. (Αυτό βέβαια το διαφανές κατασκεύασμα της αγοράς, δημιουργήθηκε κάποτε κάτω από τελείως διαφορετικές συνθήκες. Είχε, λόγω χάριν, όλες τις πλευρές του διαφανείς γιατί, αφού στις Κάτω Χώρες το φως ήταν λιγοστό, ήταν επιθυμητή η συλλογή και του διάχυτου φωτός. Στα χρόνια εκείνα, εξ' άλλου, δεν υπήρχε ενεργειακό πρόβλημα όπως το ζούμε τώρα). Τα ενδιαφέροντα θερμικά μεγέθη - σε σχέση με τη θερμική συμπεριφορά -, δηλαδή οι θερμοκρασίες χώρου και δαπέδου και η αποθηκευτική ικανότητα, δείχνουν σαφώς ότι το συμβατικό θερμοκήπιο υστερεί σημαντικά. Το ηλιακό, παρουσιάζει υψηλότερες θερμοκρασίες, οι οποίες πλησιάζουν επιτυχέστερα τις άριστες θερμοκρασίες ανάπτυξης των φυτών, καθώς και μεγαλύτερη ενεργειακή αυτοδυναμία. Αντίθετα, το συμβατικό θερμοκήπιο, εμφανίζει αυξημένες ανάγκες (συμβατικής) θέρμανσης - πράγμα γνωστό άλλωστε και από την πράξη - και, επομένως, σημαντικό λειτουργικό κόστος.

Αν προσθέσει κανείς σ' αυτή την εικόνα κι άλλες παραμέτρους, π.χ. το ζήτημα του εμπλουτισμού σε CO₂ σε σχέση με τον τρόπο ανάπτυξης των φυτών, τα πράγματα μπορούν να γίνουν πολύ ενδιαφέροντα από τη σκοπιά της σε «πραγματικό χρόνο» ρύθμισης με τον Η/Υ. Βέβαια, η κατασκευή μιας υπαίθριας πειραματικής μονάδας - χώρος υπάρχει άφθονος στην Πολυτεχνειούπολη - θά βοηθούσε σημαντικά στην κατανόηση της λειτουργίας των σύγχρονων θερμοκηπίων, που παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τη χώρα μας.

9. Ηλιακές Λίμνες

Είναι γνωστό ότι περισσότερο από το ένα έκτο των ενεργειακών αναγκών παγκοσμίως, αφορά την κατανάλωση ενέργειας για παραγωγή ζεστού νερού και ατμού για βιομηχανική χρήση. Οι ηλιακές λίμνες - είτε εκείνες με «βαθμίδα συγκέντρωσης άλατος» είτε οι απλές «ρηχές» - παρουσιάζουν μεγάλο ενδιαφέρον, σαν (περιβαλλοντικά αποδεκτά) μεγάλης κλίμακας συστήματα μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε θερμική. Ο πρώτος τύπος, δηλαδή της (τυπικά) μεγάλης τεχνητής λίμνης με βαθμίδα συγκέντρωσης άλατος, βάθους περίπου 2m, που λειτουργεί συγχρόνως και σαν μεγάλος συλλέκτης και σαν σύστημα μακροχρόνιας αποθήκευσης της ηλιακής ενέργειας, αποτελεί πρόκληση για τα δύο βασικά μειονεκτήματα της ηλιακής ενέργειας: τη χαμηλή ενεργειακή πυκνότητα και την διαλείπουσα φύση της. (Το πρώτο δημιουργεί απαίτηση για μεγάλη συλλεκτική επιφάνεια, ενώ το δεύτερο ανάγκη για αποθήκευση).

Μια σειρά από εργασίες στο ΕΜΠ επεχείρησαν να μελετήσουν θεωρητικά την ηλιακή λίμνη με βαθμίδα άλατος σε σχέση με την τυπική Ελληνική μετεωρολογία. Στην πρώτη από αυτές, η θερμική συμπεριφορά της προσομοιώνεται με τη βοήθεια θερμικού δικτύου, πάνω στο οποίο εκτελείται η σχετική παραμέτρηση μελέτη. Η προσομοίωση οδηγείται από πραγματικές ωριαίες τιμές ηλιακής ακτινοβολίας σε συνδυασμό με μία κατάλληλη «συνάρτηση εξασθένσης» του φωτός (μέσα στο νερό) στα θερμικά ισοζύγια των ζωνών του δικτύου, ενώ οι απώλειες του εδά-



Γεννήτριες για Μελέτη της Επίδρασης Σκόνης ή Λάσπης πάνω στην Φωτοβολταϊκή Μετατροπή

φους αποτυπώνονται ρεαλιστικά με την τεχνική της «ζεύξης εδάφους» [30]. Περίπου 29% της προσπίπτουσας ενέργειας αποδίδεται από τη λίμνη σαν ωφέλιμη ενέργεια, ενώ οι απώλειες εδάφους δεν ξεπερνούν το 8%. Οι συνολικές επιφανειακές απώλειες της προσπίπτουσας ακτινοβολίας - 35% από ανακλάσεις, και 36% από ακτινοβολία και μεταφορά λόγω ανέμου - καθώς και η απορροφούμενη ενέργεια, παραμένουν σταθερές σαν ποσοστά, ενώ οι απώλειες εδάφους μειώνονται όσο το μέγεθος της λίμνης αυξάνει. Έτσι, η μέγιστη δυνατή θερμοκρασία είναι υψηλότερη στις μεγαλύτερες λίμνες, με αποτέλεσμα αυτές να εμφανίζουν μεγαλύτερη απόδοση μετατροπής.

Σε μια δεύτερη εργασία, η προσομοίωση γίνεται με τη βοήθεια των πεπρασμένων στοιχείων. Η λίμνη θεωρείται σαν μονοδιάστατη μάζα νερού με σταθερό βάθος και άπειρη πλευρική επέκταση - επομένως, με αμελητέα επίδραση των πλευρικών ορίων και των ακμών της - χωρισμένη σε οριζόντιες ζώνες. Η πρώτη (επιφανειακή) καθώς και η τελευταία (του πυθμένα), έχουν ομοιομορφη θερμοκρασία και συγκέντρωση, ενώ στις ενδιάμεσες N-2 ζώνες, σχηματίζονται οι βαθμίδες θερμοκρασίας και συγκέντρωσης άλατος [31]. Η επαλήθευση από τα συνολικά ισοζύγια μάζας και ενέργειας, καθώς και η πρόβλεψη ότι η λίμνη τείνει σε μόνιμη κατάσταση κάτω από ομοιομορφες συνθήκες εξωτερικής επιβολής, αποδεικνύουν την ορθότητα του προτύπου. Ένα ενδιαφέρον αποτέλεσμα ήταν το ότι κάτω από συνθήκες

«βηματικής μεταβολής», δηλαδή με χρήση μέσων ημερησίων τιμών για τα κλιματολογικά δεδομένα και την ηλιακή ακτινοβολία, αύξηση του πάχους της ζώνης του πυθμένα από 2 σε 3 m προκαλεί υστέρηση ενός μηνός στην απόκτηση από τη λίμνη της ίδιας θερμοκρασίας.

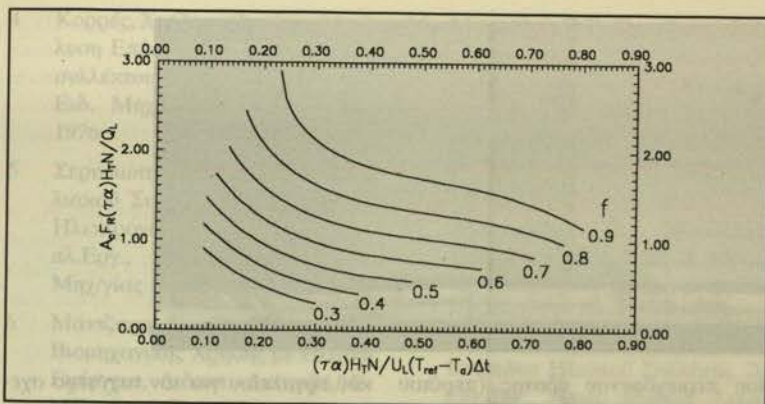
Η επιλογή της συνάρτησης για τη μετάδοση και την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας, η επιλογή των αλάτων και το πρότυπο ανάκλασης στον πυθμένα, είναι τα σημαντικότερα θέματα που απασχόλησαν μία τρίτη εργασία, η οποία αποτελεί συνέχεια της πρώτης. Δοκιμάστηκαν επτά διαφορετικές συναρτήσεις μετάδοσης και μεταξύ τους έγινε σύγκριση των αντίστοιχων θεωρητικών προβλέψεων για τις θερμοκρασίες της λίμνης. Ταυτόχρονα, μελετήθηκε η συμπεριφορά του συστήματος για διάφορα άλατα, με βάση το γνωστό κριτήριο στατικής σταθερότητας της λίμνης (το συνδυασμένο αποτέλεσμα της βαθμίδας συγκέντρωσης και της βαθμίδας θερμοκρασίας να είναι μία βαθμίδα πυκνότητας παντού θετική προς τα κάτω). Σε σύγκριση με το NaCl, όλα τα άλατα που δοκιμάστηκαν (CaCl₂, MgCl₂, Na₂CO₃, Na₂SO₄), μπορούν να χρησιμοποιηθούν ικανοποιητικά - και όχι μόνο το MgCl₂, όπως συνηθίζεται. Τέλος, δοκιμάστηκαν τρεις διαφορετικές συναρτήσεις για την περιγραφή της ανάκλασης του φωτός στον πυθμένα, φαινόμενου ανεπιθύμητου, αφού προκαλεί ελάττωση των θερμοκρασιών μέσα στη λίμνη, λόγω αύξησης των επιφανειακών απωλειών (από 42% σε 47%).

Σαν αποτέλεσμα, η χρήσιμη θερμότητα που αποσύρουμε από τη λίμνη, μειώνεται (από 22% σε 17%) [32].

Εκτός από τις λίμνες με βαθμίδα άλατος, μελετήθηκαν και οι τεχνολογικά πολύ απλούστερες «ρηχές ηλιακές λίμνες», οι οποίες, αν και φθηνές σαν κατασκευές, φαίνεται ότι είναι σε θέση να καλύψουν τις ανάγκες σε ζεστό νερό «χαμηλής» θερμοκρασίας (μέχρι 70 C), τόσο της βιομηχανίας, όσο και οικισμών ή μικρών χωριών, στρατώνων, κλπ. Η λίμνη αυτού του τύπου, είναι στην πραγματικότητα, ένας επίπεδος, οριζόντιος και επιμήκης ηλιακός συλλέκτης μεγάλης επιφάνειας, αποτελούμενος από στρώμα νερού πάχους περίπου 10 cm, το οποίο διέρχεται ανάμεσα από δύο πλαστικές λωρίδες πλάτους περίπου 1 m (μία διαφανή σαν κάλυμμα και μια μαύρη, σαν πυθμένα). Ο επιμήκης αυτός δίσκρος «σάκος» νερού, καλύπτεται εξωτερικά από ένα διαφανές στερεό προστατευτικό (και μονωτικό) κάλυμμα, ενώ τοποθετείται στο έδαφος, πάνω σε ένα λεπτό στρώμα μονωτικού υλικού.

Στην πρώτη προσπάθεια έγινε μία λεπτομερής προσομοίωση της θερμοκλής συμπεριφοράς μίας ρηχής λίμνης μήκους 60 m με ωριαίες τιμές μετεωρολογικών δεδομένων ενός νησιού (Ρόδος). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η ρηχή ηλιακή λίμνη, μπορεί να χρησιμοποιηθεί με επιτυχία από τον Απρίλιο μέχρι και τον Οκτώβριο, είτε σε διαλείπουσα λειτουργία (δηλαδή με περιοδικό γέμισμα και άδειασμα), είτε με συνεχή διέλευση του νερού. Στην τελευταία περίπτωση όμως, το μήκος της λίμνης και/ή η ταχύτητα διέλευσης του νερού, καθορίζονται πλέον από την επιθυμητή θερμοκρασία εξόδου. Το άριστο πάχος μόνωσης (5cm), φαίνεται ότι μειώνει τις απώλειες κατά 85%, ανεβάζοντας δραματικά την τυπική μέγιστη θερμοκρασία, από τους 47°C στους 62°C, για τη μελετηθείσα λίμνη και για αρχική θερμοκρασία νερού 20°C. Η μέση ημερήσια απόδοση, εξ' άλλου, ήταν περίπου 65% [33].

Σε μια δεύτερη προσπάθεια, μελετήθηκαν λειτουργικά χαρακτηριστικά της ρηχής ηλιακής λίμνης με τη βοήθεια μοντέλλου εργαστηριακής κλίμακας, κατάλληλα εξοπλισμένου με ηλιακό προσομοιωτή, διάφορα όργανα και αισθητήρια, με ηλεκτρικές βάνες κ.λπ. Οι



Γενικευμένο Διάγραμμα Σχεδιασμού Απλών Συστημάτων Ηλιακής Θέρμανσης Χώρων.

μετρήσεις, καθώς και η ρύθμιση της όλης διεργασίας, βρισκόνταν κάτω από τον πλήρη έλεγχο προγράμματος πραγματικού χρόνου, σε ανάλογο μικροϋπολογιστή [34]. Η πολύπλοκη «πειραματική προσομοίωση» αυτή - που έγινε αναγκαστικά λόγω της μεγάλης απόστασης του εργαστηρίου (δηλαδή του απαραίτητου ηλεκτρονικού εξοπλισμού) από το βατό δώμα της Πατησίων, είχε αναγκαστικά ποιοτικό χαρακτήρα. Έδειξε όμως, το πώς θα μπορούσε ένας «μικροϋπολογιστής πραγματικού χρόνου» με το κατάλληλο ηλεκτρονικό συμπλήρωμα, να ρυθμίσει επιτυχώς μία παρόμοια ηλιακή εγκατάσταση, η οποία βέβαια, θα λειτουργεί στο φυσικό της περιβάλλον.

10. Φωτοχημική & Φωτοβολταϊκή Μετατροπή

Επειτα από διεξοδική μελέτη της κινητικής και της απόδοσης της φωτοχημικής αντίδρασης porboradiene προς quadricyclane, αναγνωρίστηκε ότι το δίδυμο των ενώσεων αυτών, αποτελεί ελπιδοφόρο σύστημα μετατροπής και αποθήκευσης ηλιακής ενέργειας. Οι παράμετροι, των οποίων η σημασία εξετάστηκε αρχικά, ήταν οι συγκεντρώσεις και η ύπαρξη διαλυτών και φωτοευαισθητοποιητών. Με βάση πειραματικές μετρήσεις σε εσωτερικό χώρο καθώς και δεδομένα ηλιακής ακτινοβολίας, μελετήθηκε ένα σύστημα επίπεδου φωτοχημικού ηλιακού συλλέκτη διαλείπουσας λειτουργίας. Η ανάληψη της διεργασίας και η προκαταρκτική οικονομική αξιολόγηση, έδειξαν ότι το σύστημα αυτό είναι μεν τεχνικά

δυνατό αλλά, προς το παρόν, ασύμφορο [35].

Μια δεύτερη και πληρέστερη σειρά μετρήσεων, αυτή τη φορά στο ύπαιθρο, δεν έδειξε διαφορετικά αποτελέσματα. Ο καλύτερος ευαισθητοποιητής, λόγω χάριν, οδηγεί σε αποθηκευτική απόδοση της τάξεως του 1% μόνον, χωρίς επιπτώσεις σ' αυτή από τις μεταβολές στο ηλιακό φάσμα. Αυτή η τόσο μικρή - σε ποσοστό της προσπίπτουσας ακτινοβολίας - αποθήκευση, οφείλεται στις στενές ζώνες του φάσματος της χρήσιμης ηλιακής ενέργειας που αξιοποιείται από τους ευαισθητοποιητές. Ας σημειωθεί ότι η αρχική ένωση, ανακτάται σχεδόν εξ' ολοκλήρου με αντίστροφη αντίδραση [36]. Πάντως, παρά το υψηλό - με τα μέχρι πρότινος δεδομένα - κόστος, οι μελέτες πάνω στη φωτοχημική μετατροπή έδειξαν ότι η αναζήτηση στο μέλλον αποτελεσματικότερων ενώσεων και φωτοευαισθητοποιητών, θα ήταν πολύ χρήσιμη.

Στον τομέα της φωτοβολταϊκής μετατροπής, το ενδιαφέρον εστιάστηκε, κατ' αρχάς, στο πρόβλημα του υπολογισμού μεγέθους συστημάτων μικρής κλίμακας, για χρήση σε περιοχές εκτός δικτύου. Με βάση συγκεκριμένους τύπους των τμημάτων (φωτοβολταϊκών κελιών-γεννητριών, ηλεκτρονικών ρυθμιστών φόρτισης, συσσωρευτών αποθήκευσης), μελετήθηκε ο τρόπος σχεδιασμού αυτόνομων στατικών φωτοβολταϊκών διατάξεων. Τα πρώτα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι ταχείες μέθοδοι υπολογισμού για διατάξεις σταθερής κλίσης υπολογίζουν έτσι το σύστημα, ώστε ο «εκτός λειτουργίας χρόνος» του τυπικού φορτίου, να είναι μι-

κρότερος του 5%. Αν ληφθεί υπόψη ο χρόνος μηχανής για τους υπολογισμούς αυτούς (- 2-5 sec στον mini-computer) σε σχέση με τον αντίστοιχο χρόνο που απαιτεί η λεπτομερής προσομοίωση (- 8200 sec στον ίδιο H/Y), συμπεραίνουμε ότι η διαδικασία λήψης απόφασης για μια φωτοβολταϊκή εγκατάσταση, θα πρέπει να ξεκινήσει με μια γρήγορη μέθοδο. Αν η μελέτη οικονομικής εφικτότητας - η οποία θα πρέπει φυσιολογικά να ακολουθήσει - δείξει ότι η εγκατάσταση είναι βιώσιμη, τότε αξίζει να προχωρήσει κανείς σε λεπτομερή προσομοίωση [37].

Σε δεύτερη φάση, μελετήθηκαν σε έκταση θέματα υποδομής και επιχειρήθηκε, μεταξύ άλλων, η ενσωμάτωση οικονομικών κριτηρίων στους αλγόριθμους υπολογισμού μεγέθους. Σαν δυνατότες λύσεις - δηλαδή συνδυασμοί συγκεκριμένων τύπων φωτοβολταϊκών και συσσωρευτών - για την εξυπηρέτηση ορισμένου ηλεκτρικού φορτίου σε συγκεκριμένη τοποθεσία και για καθορισμένη περίοδο αυτονομίας, προτείνονται από το σχετικό πρόγραμμα εκείνοι οι συνδυασμοί που ικανοποιούν τις παραπάνω απαιτήσεις με το μικρότερο δυνατό συνολικό κόστος κύκλου ζωής [38].

Μία από τις πιο σημαντικές δυνατότητες εφαρμογής φωτοβολταϊκών διατάξεων, αφορά την καθοδική προστασία μεταλλικών αγωγών μεγάλου μήκους. Με αφορμή την επέκταση του δικτύου της ΔΕΦΑ, και κυρίως, του επικείμενου, τότε, δικτύου μεταφοράς φυσικού αερίου, έγινε μια μελέτη και τεχνολογική αποτίμηση χρήσης της ηλιακής ενέργειας για καθοδική προστασία χαλύβδινων δικτύου-πλάτου διανομής αερίου πόλεως. Η προσπάθεια αυτή περιελάμβανε τόσο εργαστηριακές όσο και επιτόπιες μετρήσεις - σε αγωγό μήκους 3, 5 km μεταξύ λαχαναγοράς και Καλλιθέας - με τα αποτελέσματα των οποίων εκπονήθηκε η μελέτη εφαρμογής της καθοδικής προστασίας. Με βάση τις μετρήσεις των χαρακτηριστικών εξόδου των φωτοβολταϊκών στοιχείων και την τιμή εισόδου-εξόδου της καθοδικής προστασίας στην εγκατάσταση, διαπιστώθηκε η αποτελεσματικότητα και σταθερότητα του επιλεγέντος συστήματος. Εξ' άλλου, η οικονομική αξιολόγηση έδειξε ότι συστήματα του τύπου αυτού, ευ-



νοούνται όταν απαιτείται μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας σε απόσταση μεγαλύτερη των 2 Km από το πλησιέστερο δίκτυο της ΔΕΗ [39].

Ολοκληρώνοντας την ενότητα αυτή, θα πρέπει να αναφέρουμε και ένα είδος μετρήσεων που γίνεται κατά καιρούς και που αποσκοπούν στο να δείξουν τις επιπτώσεις της ρύπανσης στην απόδοση των φωτοβολταϊκών γεννητριών. Συγκεκριμένα, με άμεση σύγκριση της συμπεριφοράς δύο όμοιων γεννητριών, από τις οποίες η μία καθαριζόταν σε καθημερινή βάση, έχουμε μια ποσοτική ένδειξη, του πόσο μειώνουν την απόδοση η σκόνη/λάσπη που επικαθεται συνεχώς στην επιφάνεια των στοιχείων και που μόνο πολύ δυνατή βροχή μπορεί προσωρινά να καθαρίσει (φωτογρ. 8). Οι μακροχρόνιες μετρήσεις στην Πατησίων, οι οποίες έδειξαν μείωση στην έξοδο των στοιχείων κατά 10% περίπου, θα συνηγορούν και στις νέες εγκαταστάσεις στον Ζωγράφου.

Και θα κλείσουμε την παρουσίαση αυτή, με τις πρώτες προσπάθειες πάνω στην αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας, που ξεκίνησαν μετά την ολοκλήρωση της μεταφοράς του Τμήματος Χημικών Μηχανικών στην Πολυτεχνειούπολη, και την λόγω αυτής αναγκαστική διετή διακοπή των σχετικών δραστηριοτήτων.

11. Αριστοποίηση - Ρύθμιση - Σχεδιασμός

Ολοκληρώθηκε πρόσφατα μελέτη αριστοποίησης συστήματος αφύγρανσης υλικών. Στα πλαίσια διδακτορικής εργασίας, διερευνήθηκε τόσο θεωρητικά όσο και πειραματικά, η ικανότητα αφύγρανσης της ερυθράς ιλύος, του γνωστού καταλοίπου στη διαδικασία παραγωγής αλουμίνας. Η αφαίρεση

του περιεχόμενου ύδατος (περίπου 50% κ.β.), η οποία αποδεικνύεται ότι μπορεί να επιτευχθεί με τη βοήθεια της ηλιακής ενέργειας, επιτρέπει την ανάκτηση, στη συνέχεια, χρήσιμων εμπειροχόμενων μετάλλων.

Μια ανάλογη προσπάθεια αριστοποίησης της ηλιακής ψύξης με θερμοσυμπίεση, βρίσκεται και αυτή υπό ολοκλήρωση. Μερικά προκαταρκτικά αποτελέσματα που προέκυψαν από την προσομοίωση της λειτουργίας μιας τυπικής εγκατάστασης, έδειξαν ότι η θερμοσυμπίεση, η οποία εμφανίζει χαμηλό βαθμό απόδοσης σε σχέση με την απορρόφηση, επιδέχεται ουσιαστική βελτίωση. Η χρήση π.χ. πτητικών προσμιξεων, ανεβάζει κατά 10% τον συντελεστή απόδοσης, ενώ η χρησιμοποίηση στοιχείου άμεσης εκτόνωσης τον βελτιώνει κατά 15%. Εξ άλλου, η παρασιτική κατανάλωση είναι πολύ χαμηλή [40]. Έτσι, είναι σαφές ότι η ηλιακή ψύξη με τη μέθοδο αυτή είναι τεχνικά εφικτή. Παραμένει, όμως, να αποφανθεί η οικονομική αξιολόγηση για την βιωσιμότητά της στην αγορά.

Με στόχο τη μεγιστοποίηση της ημερήσιας απολαβής σε ηλιακή ενέργεια, μελετήθηκε η βέλτιστη ρύθμιση της λειτουργίας ανοικτού συστήματος ηλιακής θέρμανσης νερού με επέμβαση στην παροχή. Με βάση χρονική κατανομή χρήσης νερού και τον συνολικό διαθέσιμο όγκο αποθήκευσης, προσδιορίστηκε ένα κριτήριο-περιορισμός στη ρύθμιση της διεργασίας, με αποτέλεσμα σημαντική βελτίωση σε σχέση με την απλή ρύθμιση σταθερής παροχής (με ρύθμιση on/off) [41].

Ξεκινώντας από τη σύγχρονη διαστατική ανάλυση και με τη βοήθεια ενός δυναμικού (με την υπολογιστική έννοια) προγράμματος - [42] -, επιχειρήθηκε η δημιουργία ενός υπολογιστι-

κού εργαλείου για τον ταχύτερο σχεδιασμό τυποποιημένων ηλιακών εγκαταστάσεων θέρμανσης νερού και χώρου. Με βάση αποτελέσματα λεπτομερών προσομοιώσεων - με διακρίματα τιμών μέσα σε πρακτικά όρια -, διαμορφώθηκαν απλές σχέσεις για την μακροπρόθεσμη πρόβλεψη της απόδοσης [43]. Ακολούθησε μία μικρή βελτίωση στην τελική εξίσωση συσχέτισης, από την οποία προκύπτει, ένα τύπου f-chart διάγραμμα [44]. Σύγκριση του σχεδιαστικού εργαλείου με την λεπτομερή προσομοίωση αυτή καθεαυτή, έδωσε αποκλίσεις (υπό εκτίμηση) της τάξης του 5% - ανάλογες αυτών του f-chart.

Στο σημείο αυτό θα κλείσουμε την ανασκόπηση των κυριότερων δραστηριοτήτων του Τμήματος Χημικών Μηχανικών πάνω στην εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας, με την ευχή να συνηγορεί το ενδιαφέρον των συναδέλφων και των σπουδαστών μας γι' αυτήν. Αν μη τι άλλο, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της χρήσης συμβατικών καυσίμων, είναι πλέον τόσο (προφανώς) δυσμενείς, ώστε να μας στρέφουν όλο και περισσότερο προς την κατεύθυνση των ήπιων μορφών ενέργειας.

ΠΑΡΑΠΟΜΠΕΣ

- 1 Delyannis A., and Piperoglou E., The Patmos Solar Distillation Plant, pres. 2nd Eur. Symp. Fresh Water from the Sea, Athens, 1967
- 2 Λιούμης Χ., Ηλιακός Θερμοσίφων, Διπλ. εργασία, ΕΜΠ, Εργ. Ειδικής Μηχ/γίας Χημικών Μηχανικών, 1972
- 3 Tzafestas S.G., Spyridos A.V., and Koumoutsos N.G., Finitedifference Modeling, Identification, and Simulation of a Solar Water Heater, *Solar Energy*, 16, 25(1974)

4 Κορρές, Χ., Θερμοδυναμική Ανάλυση Επίπεδου Ηλιακού Θερμοσυλλέκτη, Διπλ. Εργ. ΕΜΠ, Εργ. Ειδ. Μηχ/γίας Χημ. Μηχ/κών, 1976

5 Σερεσιώτης, Α., Αξιολόγηση Ηλιακού Συλλέκτη με τη Βοήθεια Ηλεκτρονικού Υπολογιστή, Διπλ.Εργ., ΕΜΠ, Εργ. Ειδ. Μηχ/γίας Χημ. Μηχ/κών, 1982

6 Μάντζαρη, Π., Θέρμανση Αέρα Βιομηχανικής Χρήσης με Ηλιακή Ενέργεια, Διδακτ. Διατριβή, ΕΜΠ, Εργ. Τεχν. Φυσ. Διεργασιών, 1990

7 Γεωργόπουλος, Π.Γ., Η Διαθέσιμη Ηλιακή Ακτινοβολία στην Επιφάνεια της Γης. Εξάρτηση από τις Ατμοσφαιρικές Συνθήκες και την Ρύπανση, ΕΜΠ, Εργ. Ειδ. Μηχ/γίας Χημ. Μηχ/κών, 1980

8 Sahsamanoğlu, H.S. et al, An Estimation of the Total Atmospheric Pollution in the City of Thessaloniki Using Solar Energy Data, *Solar Energy*, 46(3)145 (1991)

9 Κουμούτσος, Ν.Γ., Παλυβός, Ι.Α., Πασχαλίδης, Ι., Αυτόματη Συλλογή & Επεξεργασία Ηλιακών Δεδομένων από Τοπικούς και/ή Περιφερειακούς σταθμούς, ΕΜΠ, Ερευν. πρόγραμμα, 1981

10 Μουσιός, Δ., Το Τυπικό Έτος για τους Σταθμούς της ΔΕΗ, ΕΜΠ, Εργ. Ειδ. Μηχ/γίας Χημ. Μηχ/κών, 1982

11 Ιωακείμης, Κ., Πηλίνης, Χ., Σπίνο, Μ., & Στούμπος, Θ., Τυπικό Μετεωρολογικό Έτος Ελληνικών Πόλεων - Βελτιωμένα Κριτήρια Επιλογής, ΕΜΠ, Εργ. Ειδ. Μηχ/γίας Χημ. Μηχ/κών, 1983

12 Karayannis, Th., Computer Code for the Comparison of Correlations Between Insolation and Sunshine Duration, NTU, Thermod. & Transport Phen. Lab., 1985

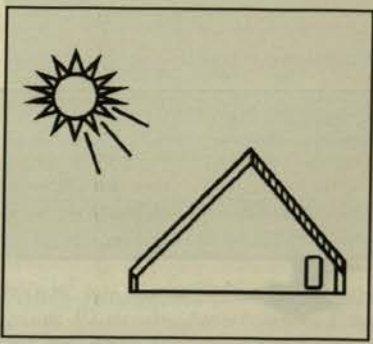
13 Κουμούτσος, Ν.Γ., Παλυβός, Ι.Α., & Θωμαΐδης, Γ., Η Επίδραση του Ανέμου Πάνω στην Απόδοση του Επίπεδου Ηλιακού Συλλέκτη, *1ο Εθν. Συν., Ήπιες Μορφές Ενέργειας*, 1982

14 Μαρούλης, Ζ.Β., Ραουζαΐος, Γ.Σ., & Σαραβάκος, Γ.Δ., Παραμετρική Ανάλυση Μονάδας Θέρμανσης Αέρα με Ηλιακή Ενέργεια για Βιομηχανική Χρήση, *1ο Εθν. Συν., Ήπιες Μορφές Ενέργειας*, 1982.

15 Λεονταρίδης, Ν., Μαρούλης, Ζ.Β., Ραουζαΐος, Γ.Σ., & Μαρίνος-Κουρής, Δ., Διαμόρφωση και Πειραματική Επαλήθευση Μαθηματικού Προτύπου Συστήματος Επίπεδου Ηλιακού Συλλέκτη, *2ο Εθν. Συν., Ήπιες Μορφές Ενέργειας*, 1985

16 Bisharat, G., Mantzari, P., Maroulis, Z.B., & Marinos-Kouris, D., Solar Heating of Air for Drying Agricultural Products Using Flat-Plat-Air-Collectors, *Proc. Int. Conf. on Energy Systems, Jordan*, May 15-17, 1989

17 Φιλίππου, Κ.Ι., Φωτοχημική Μετατροπή και Αποθήκευση της Ηλιακής Ενέργειας, Διδακτ. Διατριβή, ΕΜΠ, Τμήμα Χημ. Μηχ/κών, 1983



18 Koukouvinos, A., Lygerou, V., & Koumoutsos, N., Design of a System of Solar Energy Storage via Water Electrolysis, *Int. J. Hydrogen Energy*, 7(8)645(1982)

19 Μαρούλης, Ζ.Β., Αποθήκευση Ηλιακής Ενέργειας σε Κλίνη Ανοργάνων Στερεών για Συστήματα Ηλιακής Θέρμανσης Αέρα Τεχνικών Διεργασιών, Διδακτ. Διατριβή, ΕΜΠ, Τμήμα Χημ. Μηχ/κών, 1984

20 Maroulis, Z.B., & Saravacos, G.D., Thermophysical Properties of Concrete as a Material for Solar Energy Storage, *Ciments, Betons, Platres, Chaux*, No. 796-3/92, 189-91(1992)

21 Τσιβεριώτης, Κ.Γ., Υλικά Αποθήκευσης Λαθάνουσας Θερμότητας και Παθητικά Ηλιακά Συστήματα, Διπλ.Εργ., ΕΜΠ, Εργ. Ειδ. Μηχ., Χημ. Μηχ., 1986

22 Ραουζαΐος, Γ.Σ., Μαρούλης, Ζ.Β., & Μαρίνος-Κουρής, Δ., Ξήρανση Σουλτανίας με Ηλιακή Ενέργεια, *2ο Εθν. Συν., Ήπιες Μορφές Ενέργειας*, 1985

23 Μάντζαρη, Π., Μαρούλης, Ζ.Β., Ραουζαΐος, Γ.Σ., & Μαρίνος-Κουρής, Δ., Δυνατότητες Κάλυψης Θερμικών Φορτίων Ξήρανσης με Σύστημα Επίπεδων Συλλεκτών Αέρα, *2ο Εθν. Συν., Ήπιες Μορφές Ενέργειας*, 1985

24 Maroulis, Z.B., & Saravacos, G.D., Solar Heating of Air for Drying Agricultural Products, *Solar & Wind Technology*, 3(2)127-134(1986)

25 Κυρανούδης, Χ.Θ., Μαρούλης, Ζ.Β., & Μαρίνος-Κουρής, Δ., Ενεργητικά Συστήματα Ξήρανσης Γεωργικών Προϊόντων με Ηλιακή Ενέργεια, *3ο Εθν. Συν., Ήπιες Μορφές Ενέργειας*, 1988

26 Stubos, A.K., Koumoutsos, N.G., & Palyvos, J.A., Simulation and Parametric Study of Heat Transfer Processes in Typical Passive Solar Systems, NTU, Chem. Engin., Rept. 841, 1984

27 Φωτιάδης, Δ.Ι., Παρακολούθηση/Ρύθμιση της Λειτουργίας Ηλιακού Θερμοκηπίου, Διπλ. Εργ., ΕΜΠ, Εργ. Ειδ. Μηχ/γίας Χημ. Μηχ/κών, 1985

28 Κράλλης, Κ., Μελέτη και Σχεδιασμός Ένος Σύγχρονου Ηλιακού Θερμοκηπίου, Διπλ. Εργ., ΕΜΠ, Εργ. Ειδ. Μηχ/γίας Χημ. Μηχ/κών, 1986

29 Ματζιάκος, Α.Ν., Σύγκριση Ηλιακών και Συμβατικών Θερμοκηπίων, Διπλ. Εργ., ΕΜΠ, Εργ. Ειδ. Μηχ/γίας Χημ. Μηχ/κών, 1987 30

30 Ioakimidis, C.I., Koumoutsos, N.G., & Palyvos, J.A., Simulation of the Thermal Behavior of a Salt-Gradient Solar Pond, NTU, Chem. Engin., Rept. 851, 1985

- 31 Τσιρούκης, Α.Γ., Θεωρητική Μελέτη της Θερμικής Συμπεριφοράς Ηλιακών Λιμνών με Βαθμίδα Αλατος, Διπλ. Εργ., ΕΜΠ, Εργ. Ειδ. Μηχ/ίας Χημ. Μηχ/κών, 1986
- 32 Παπαγεωργιάκη, Σ.Χ., Παραμετρική Μελέτη της Θερμικής Συμπεριφοράς μιας Ηλιακής Λίμνης, Διπλ. Εργ., ΕΜΠ, Εργ. Ειδ. Μηχ/γίας Χημ. Μηχ/κών, 1987
- 33 Πηλίνης, Χ., Μελέτη Ρηχών Ηλιακών Λιμνών, Διπλ. Εργ., ΕΜΠ, Εργ. Ειδ. Μηχ/γίας Χημ. Μηχ/κών, 1983
- 34 Γογγολίδης, Ε., Αυτοματισμοί στη Λειτουργία της Ρηχής Ηλιακής Λίμνης, Διπλ. Εργ., ΕΜΠ, Εργ. Ειδ. Μηχ/γίας Χημ. Μηχ/κών, 1985
- 35 Philippopoulos, C., Economou, D., Economou, C., & Marangozis, J., Norbornadiene - Quadricyclane System in the Photochemical Conversion and Storage of Solar Energy, *I&EC, Prod. Res.Dev.*, 22,627(1983)
- 36 Philippopoulos, C., & Marangozis, J., Kinetics and Efficiency of Solar Energy Storage in the Photochemical Isomerization of Norbornadiene to Quadricyclane, *I&EC, Prod.Res. Dev.*, 23,458 (1984)
- 37 Spinos, M.A., Koumoutsos, N.G., & Palyvos, J.A., Computer Code for Sizing Static Photovoltaic Arrays, NTU, Chem. Engin., Rept. 842, 1984
- 38 Καραγιάννης, Θ.Ν., Πρόβλεψη & Επαλήθευση στον Υπολογισμό Φωτοβολταϊκών Συστημάτων Μικρής Κλίμακας, Διπλ. Εργ., ΕΜΠ, Εργ. Ειδ. Μηχ/γίας Χημ. Μηχ/κών, 1986
- 39 Μπατής, Γ., Κουλουμπή, Ν., & Δημητρόπουλος, Δ., Χρήση Φωτοβολταϊκών Στοιχείων στην Καθοδική Προστασία Χαλύβδινων Αγωγών Διανομής Αερίου Πόλεως, *3ο Εθν. Συν., Ηπιες Μορφές Ενέργειας*, 1988
- 40 Κορρές, Χ., Κουμούτσος, Ν., & Μπαρδάκας, Ε., Προσομοίωση Λειτουργίας Ηλιακής Ψυκτικής Εγκατάστασης με Θερμοσυμπίεση, *4ο Εθν. Συν., Ηπιες Μορφές Ενέργειας*, 1992
- 41 Mantzari, P., Efthimiadiw, A., & Marinou-Kouris, D., Universal Optimal Control of a Solar Water Heating System of a Single Pass Type Under Constraint, NTU, Chem. Engin., Rept. 921, 1992
- 42 Παλυβός, Ι.Α., Απλός Σχεδιασμός Ηλιακών Συστημάτων Θέρμανσης Χώρων, ΕΜΠ, Τμήμα Χημ. Μηχ/κών, Rept. 911, 1991
- 43 Κουμούτσος, Ν.Γ., & Παλυβός, Ι.Α., Ηλιακή Θέρμανση Χώρων: Μια Απλή Εμπειρική Μέθοδος, *4ο Εθν. Συν., Ηπιες Μορφές Ενέργειας*, 1992
- 44 Palyvos, J.A., A Simple Design Tool for Solar Heating, *Renewable Energy*, 1993 (submitted)

