

ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΙΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΔΡΟΣΙΣΜΟ
ΚΤΙΡΙΩΝ ΜΕ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΝΑΛΛΑΚΤΩΝ ΑΕΡΑ - ΕΛΛΑΦΟΥΣ,
ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΚΑΙ ΕΞΑΤΜΙΣΤΙΚΗΣ ΨΥΞΗΣ

Α.Α. ΑΡΓΥΡΙΟΥ**, Δ.Ν. ΑΣΗΜΑΚΟΠΟΥΛΟΣ***, Β. ΓΕΡΟΣ*, Ε.
ΔΑΣΚΑΛΑΚΗ*, Ν. ΚΛΕΙΤΣΙΚΑΣ*, Κ.Α. ΜΠΑΛΛΑΡΑΣ** ΚΑΙ Μ.Ι.
ΣΑΝΤΑΜΟΥΡΗΣ*

*ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ, ΤΟΜΕΑΣ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΦΥΣΙΚΗΣ,
ΕΘΝΙΚΟ & ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ,
ΠΗΠΟΚΡΑΤΟΥΣ 33, 106 80 ΑΘΗΝΑ

** ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ & ΦΥΣΙΚΗΣ ΤΟΥ
ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, ΕΘΝΙΚΟ ΑΣΤΕΡΟΣΚΟΠΕΙΟ
ΑΘΗΝΩΝ, Τ.Θ. 20048, 118 10 ΑΘΗΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή περιγράφονται οι αρχές λειτουργίας των τεχνικών φυσικού δροσισμού: υπογείου, εξατμιστικού και με ακτινοβολία. Ορίζονται τα ψυκτικά δυναμικά τους και περιγράφονται μεθοδολογίες διαστασιολόγησης και υπολογισμού της απόδοσής τους. Τέλος, δίνονται παραδείγματα εφαρμογών, είτε από μετρήσεις εγκατεστημένων συστημάτων, είτε από υπολογισμούς μελετών σκοπιμότητας..

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ. Φυσικός δροσισμός. Υπόγειος δροσισμός. Εξατμιστικός δροσισμός. Δροσισμός με ακτινοβολία.

ABSTRACT

In this communication, the operating principles of natural cooling techniques, ground, evaporative and radiative cooling, are described. The various cooling potentials are defined and dimensioning methodologies are described. Finally, application examples are given, either by presenting measurements of monitored systems or by simulation results of case studies.

KEY-WORDS. Natural Cooling. Ground Cooling. Evaporative Cooling. Radiative Cooling.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η πρόσφατη αύξηση της καταναλισκόμενης ενέργειας για τον δροσισμό των κτιρίων, οδήγησε τις ερευνητικές προσπάθειες προς την καλύτερη αξιοποίηση των λεγομένων φυσικών τεχνικών δροσισμού. Αυτές περιλαμβάνουν τον υπόγειο δροσισμό, τον εξατμιστικό δροσισμό καθώς και τον δροσισμό με ακτινοβολία. Κοινά χαρακτηριστικά όλων αυτών των πηγών δροσισμού είναι αφ' ενός το γεγονός ότι αποβάλλουν την θερμότητα προς το περιβάλλον, εκμεταλλευόμενες φυσικές διεργασίες των οποίων η ενεργοποίηση απαιτεί μηδενική έως ελάχιστη - συγκρινόμενη με αυτή των κοινών κλιματιστικών συστημάτων - κατανάλωση συμβατικής ενέργειας [1].

Ο υπόγειος δροσισμός βασίζεται στην μεγάλη θερμοχωρητικότητα και την μικρή θερμική αγωγιμότητα του εδάφους. Ο συνδυασμός αυτός προσδίδει στο έδαφος μεγάλη θερμική αδράνεια, η οποία έχει σαν αποτέλεσμα η διακύμανση της θερμοκρασίας του εδάφους να εμφανίζει διαφορά φάσης με την αντίστοιχη του περιβάλλοντος. Η διαφορά αυτή φάσης είναι ευθεία συνάρτηση του βάθους. Η πρακτική συνέπεια αυτού του φαινομένου είναι ότι η θερμοκρασία του εδάφους σε βάθος (πρακτικά μετά το 1,5 μέτρο) είναι τον μόνον χειμώνα υψηλότερη από αυτήν του περιβάλλοντος, το δε καλοκαίρι χαμηλότερη. Άρα ο αέρας περιβάλλοντος, ή αυτός του εσωτερικού του κτιρίου, διερχόμενος μέσω των λεγομένων εναλλακτών αέρος εδάφους, μπορεί να προψυχθεί, πριν την εισαγωγή του στο κτίριο.

Ο εξατμιστικός δροσισμός βασίζεται στο φαινόμενο της εξάτμισης του ύδατος, κατά την διέλευση πάνω από την ελεύθερη επιφάνειά του ρεύματος αέρος. Η εξάτμιση αφαιρεί από τον αέρα ποσό θερμότητας ίσο με την λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης του εξατμισθέντος ύδατος, με αποτέλεσμα να μειώνεται η θερμοκρασία του. Όταν η εξάτμιση λαμβάνει χώραν με άμεση επαφή αέρος - ύδατος, τότε πρόκειται για άμεσο εξατμιστικό δροσισμό, ενώ όταν τα δύο ρευστά έρχονται σε επαφή μέσω εναλλάκτη θερμότητας, πρόκειται για έμμεσο εξατμιστικό δροσισμό. Τα έμμεσα εξατμιστικά συστήματα είναι πολυπλοκώτερα των αμέσων, άρα μεγαλύτερου κόστους, έχουν όμως το πλεονέκτημα να μην αυξάνουν την αναλογία μίγματος του αέρα, γεγονός το οποίο, λόγω της επίδρασής του στην θερμική άνεση, δυσχεραίνει την χρήση εξατμιστικών συστημάτων σε περιοχές αυξημένης σχετικής υγρασίας.

Τέλος τα συστήματα δροσισμού με ακτινοβολία, βασίζονται στο φαινόμενο του δροσισμού νερού ή αέρα, όταν αυτός έλθει σε επαφή με μία επιφάνεια, η οποία έχει ψυχθεί κατά την ανταλλαγή ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος μεταξύ της και της ατμόσφαιρας, κατά την διάρκεια της νύκτας. Η ψύξη αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι η θερμική εκπομπή της επιφάνειας είναι μεγαλύτερη αυτής της ατμοσφαιρας, ειδικά σε γεωγραφικές περιοχές και κατά τα χρονικά διαστήματα κατά τα οποία το λεγόμενο "ατμοσφαιρικό παράθυρο" - η περιοχή μηκών κύματος μεταξύ 8 - 13 μm - είναι "ανοικτό".

Λεδομένου ότι οι προαναφερθείσες τεχνικές δεν χρησιμοποιούν κάποιον από τους γνωστούς θερμοδυναμικούς κύκλους για την αποβολή θερμότητας, αλλά μόνο την ελεγχόμενη ροή ρευστών, καταναλώνουν πολύ χαμηλά ποσά ενέργειας, όσης απαιτείται για την ηλεκτρική τροφοδοσία αντλιών ή ανεμιστήρων χαμηλής γενικά ισχύος.

2. ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΔΡΟΣΙΣΜΟΥ

Δεδομένου ότι οι τεχνικές φυσικού δροσίσιμου εξαρτώνται άμεσα από τις κλιματολογικές συνθήκες της περιοχής στην οποία βρίσκεται το κτίριο, η εφαρμοσιμότητά τους εξαρτάται από το δυναμικό τους, το οποίο προφανώς είναι χωρικά και χρονικά μεταβαλλόμενο. Τρεις είναι οι παράμετροι οι οποίες πρέπει να εξετασθούν ώστε να διαπιστωθεί η εφαρμοσιμότητα ή μη, μιάς συγκεκριμένης τεχνικής φυσικού δροσίσιμου: καταλληλότητα των κλιματολογικών συνθηκών της περιοχής, απόδοση της συγκεκριμένης τεχνικής και τέλος η δυνατότητα συμμετοχής της τεχνικής στην κάλυψη του ψυκτικού φορτίου του κτιρίου [2].

Η ενέργεια δροσίσιμου του αέρα, κατά την διάρκεια μιάς ψυκτικής διεργασίας, δίνεται γενικά από την σχέση:

$$Q = \int m(t)c_p (T_{inlet}(t) - T_{outlet}(t))dt \quad (1)$$

Για σταθερή παροχή μάζας, μπορεί να οριστεί μιά ειδική ψυκτική ενέργεια (σε βαθμο-ώρες) ως ακολούθως:

$$\frac{Q}{m(t)c_p} = \int (T_{inlet}(t) - T_{outlet}(t))dt \quad (2)$$

Η θερμότητα μεταδίδεται, μεταξύ της ψυχρής πηγής (θερμοκρασίας T_{sink}) και του αέρα, μεσολαβούσης στην πλειονότητα των περιπτώσεων, μιάς ενδιάμεσου επιφανείας, $T_{surface}$. Η εξίσωση (2), μετά από σειρά αλγεβρικών πράξεων, γράφεται:

$$\frac{Q}{m(t)c_p} = \int (T_{inlet}(t) - T_{sink}(t))\epsilon_{sink}(t)\epsilon_{exch}(t)dt \quad (3)$$

όπου

$$\epsilon_{sink} = \frac{(T_{inlet} - T_{effect})}{(T_{inlet} - T_{sink})} \quad (4)$$

είναι η απόδοση της πηγής και

$$\epsilon_{exch} = \frac{(T_{inlet} - T_{outlet})}{(T_{inlet} - T_{effect})} \quad (5)$$

είναι η απόδοση του συστήματος εναλλαγής θερμότητας το οποίο χρησιμοποιείται και η οποία εξαρτάται από τις παραμέτρους σχεδιασμού της τεχνικής και από την δυνατότητα της πηγής να διατηρήσει την χαμηλή θερμοκρασία καθ' όλη την διάρκεια χρησιμοποίησής της.

Η θερμοκρασία T_{effect} είναι η εφικτή θερμοκρασία της ψυχρής πηγής, σε αντιδιαστολή με την χαμηλότερη δυνατή θεωρητικά θερμοκρασία, T_{sink} . Η διαφορά αυτών των δύο θερμοκρασιών φαίνεται με το ακόλουθο παράδειγμα: Στην περίπτωση του υπογείου δροσίσιμου, η T_{sink} είναι η θερμοκρασία του εδάφους σε πολύ μεγάλο βάθος, πρακτικά στο άπειρο, ενώ η T_{effect} είναι η θερμοκρασία του εδάφους στο βάθος όπου τοποθετείται ο εναλλάκτης εδάφους - αέρος.

Βάσει των ανωτέρω, το δυναμικό μιάς φυσικής τεχνικής δροσίσιμου μπορεί να οριστεί ως ακολούθως:

- **Θεωρητικό δυναμικό (gross cooling potential):** δίνει την ψυκτική ενέργεια η οποία είναι διαθέσιμη υπό ιδανικές συνθήκες μετάδοσης θερμότητας, πρόσβασης στην ψυχρή πηγή και ικανότητας της πηγής να μην μεταβάλλει την θερμοκρασία της, παρά τα ποσά θερμότητας τα οποία προστίθενται σε αυτήν. Υπό αυτές τις συνθήκες, η θερμοκρασία της επιφάνειας του μέσου μέσω του οποίου παράγεται η θερμότητα, είναι ίση με αυτήν της πηγής. Με άλλα λόγια, το θεωρητικό δυναμικό ισούται με την διαθέσιμη ψυκτική ενέργεια, εφόσον $\varepsilon_{\text{sink}} = \varepsilon_{\text{exch}} = 1$.
- **Πραγματικό δυναμικό (net cooling potential):** το πραγματικό δυναμικό ισούται με το γινόμενο του θεωρητικού δυναμικού, επί τον συντελεστή απόδοσης της ψυχρής πηγής (εξίσωση 4). Από φυσικής πλευράς, το πραγματικό δυναμικό εκφράζει την διαθέσιμη ψυκτική ενέργεια όταν η πηγή έχει την εφικτή θερμοκρασία της και έχει επίσης την δυνατότητα να μην μεταβάλλει την θερμοκρασία της, παρά τα ποσά θερμότητας τα οποία προστίθενται σε αυτήν. Υπό αυτές τις συνθήκες, η θερμοκρασία εξόδου του θερμοαπωγού ρευστού, καθώς και η θερμοκρασία της επιφάνειας του μέσου μέσω του οποίου παράγεται η θερμότητα, είναι ίση με αυτήν της πηγής. Ο συντελεστής απόδοσης της πηγής είναι μιά παράμετρος η οποία μπορεί να ρυθμιστεί κατά τα πρώτα στάδια σχεδιασμού ενός συστήματος.
- **Διαθέσιμο δυναμικό (available potential):** το διαθέσιμο δυναμικό ισούται με το γινόμενο του πραγματικού δυναμικού επί τον συντελεστή απόδοσης του συστήματος εναλλαγής θερμότητας. Σε όλες τις περιπτώσεις, ο συντελεστής αυτός ορίζεται ως ακολούθως:

$$\varepsilon_{\text{exch}} = \frac{(T_{\text{inlet}} - T_{\text{outlet}})}{(T_{\text{inlet}} - T_{\text{effect}})} = 1 - \exp\left(-\frac{UA}{\dot{m}c_p}\right) \quad (6)$$

- **Ωφέλιμη ψυκτική ενέργεια (useful cooling energy):** Είναι το κλάσμα της διαθέσιμης ενέργειας την οποία χρησιμοποιεί το κτίριο. Το κλάσμα αυτό εξαρτάται από την κατανομή των ψυκτικών απαιτήσεων του κτιρίου και της παραγόμενης ενέργειας από την φυσική πηγή δροσισμού. Η απώλεια της διαθέσιμης ενέργειας μπορεί να οφείλεται σε ένα ή σε συνδυασμό των ακολούθων αιτιών:

α) Την παρεμβολή συστήματος αποθήκευσης μεταξύ φυσικής πηγής δροσισμού και κτιρίου, αναγκαίου σε περίπτωση κατά την οποία υπάρχει διαφορά φάσεως μεταξύ της διαθέσιμης ενέργειας και των θερμικών απαιτήσεων του κτιρίου (όπως π.χ στην περίπτωση της νυκτερινής ακτινοβολίας).

β) Πλεόνασμα της διαθέσιμης ψυκτικής ενέργειας σε σχέση με τις ψυκτικές απαιτήσεις του κτιρίου. Σε πολλές περιπτώσεις οι απαιτήσεις του κτιρίου είναι έως και μηδενικές, οπότε η διαθέσιμη ψυκτική ενέργεια χάνεται.

γ) Η θερμοκρασία στην έξοδο του συστήματος φυσικού δροσισμού είναι πολύ υψηλή ώστε να μπορέσει να ψύξει το κτίριο. Στην περίπτωση αυτή, η παραγόμενη θερμική ισχύς δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί.

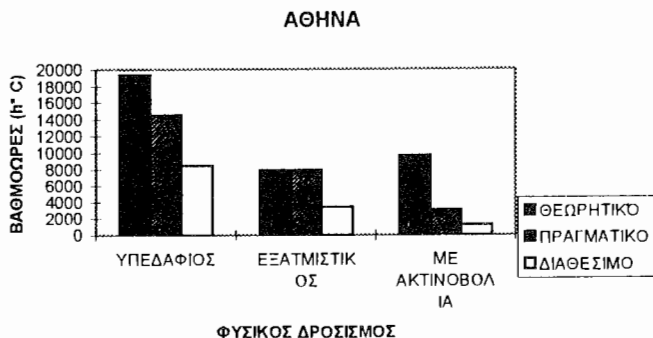
Η αλληλεπίδραση μεταξύ κτιρίου και φυσικής τεχνικής δροσισμού, εκφράζεται μέσω ενός συντελεστή ωφελιμότητας (utilization factor, F), τέτοιου ώστε:

$$\text{Ωφέλιμη ενέργεια} = \text{Διαθέσιμη ενέργεια} \times F$$

Ο συντελεστής ωφελιμότητας εξαρτάται από τον τύπο του κτιρίου, την διαστασιολόγηση του συστήματος φυσικού δροσισμού, τα χαρακτηριστικά του συστήματος αποθήκευσης, αν υπάρχει και τέλος την ακολουθούμενη στρατηγική ενεργειακής διαχείρισης του κτιρίου.

3. ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ

Για να μπορεί ο σχεδιαστής ενός κτιρίου να εφαρμόσει μία τεχνική φυσικού δροσισμού (ή και συνδυασμό περισσοτέρων), πρέπει να μπορεί κατ' αρχήν να εκτιμήσει το διαθέσιμο δυναμικό, κατά το αρχικό στάδιο σχεδιασμού του κτιρίου. Μέχρι τώρα κάτι τέτοιο ήταν δυνατόν μόνο μέσω προσομοιώσεων σε ηλεκτρονικό υπολογιστή, γεγονός το οποίο προδιαθέτει τους μή ειδικούς εξ αρχής αρνητικά έναντι αυτών των μεθόδων. Για να καλυφθεί αυτή η ανάγκη, στα πλαίσια του ευρωπαϊκού προγράμματος PASCPOOL δημιουργήθηκε ο Ατλαντας Φυσικού Δροσισμού [3], ο οποίος παρέχει την δυνατότητα στον σχεδιαστή, με εύκολο τρόπο, να διαπιστώσει αν μία τεχνική είναι εφαρμόσιμη, ή μή και να προχωρήσει σε μια προκαταρκτική διαστασιολόγησή της. Το Σχήμα 1 απεικονίζει τις τιμές των διαφόρων δυναμικών των τριών τεχνικών στην Αθήνα. Από το σχήμα αυτό προκύπτει ότι η βέλτιστη τεχνική για την Αθήνα είναι αυτή του υπεδαφίου δροσισμού. Χαρακτηριστικό στο παράδειγμα αυτό είναι το γεγονός ότι αν κάποιος χρησιμοποιήσει ως μόνο κριτήριο τα κλιματολογικά δεδομένα της περιοχής, υπολογίζοντας έτσι μόνο το θεωρητικό δυναμικό, θα προχωρήσει σε λάθος επιλογή μεταξύ εξατμιστικού δροσισμού και αυτού με ακτινοβολία, δεδομένου ότι ο εξατμιστικός δροσισμός παρουσιάζει μικρότερο θεωρητικό δυναμικό, αλλά μεγαλύτερο πραγματικό και διαθέσιμο δυναμικό.



ΣΧΗΜΑ 1. Δυναμικά τεχνικών φυσικού δροσισμού για την πόλη των Αθηνών.

4. ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

Η μεθοδολογία η οποία περιγράφεται στον προαναφερθέντα Ατλαντα, χρησιμοποιείται κατά την αρχική φάση σχεδιασμού ενός κτιρίου, ώστε να υπολογισθεί η τάξη μεγέθους του αναγκαίου συστήματος. Κατά το τελικό στάδιο σχεδιασμού του κτιρίου, απαιτείται λεπτομερής πλέον διαστασιολόγηση του συστήματος φυσικού δροσισμού καθώς και η διερεύνηση της αλληλεπίδρασής του με το κτίριο, ώστε να εκτιμηθεί πλέον με ακρίβεια το ποσοστό συμμετοχής της στο ψυκτικό φορτίο του κτιρίου. Για να καλυφθούν αυτές οι ανάγκες, ο Τομέας Φυσικής Εφαρμογών του Πανεπιστημίου Αθηνών, συμμετείχε σε ευρωπαϊκά ερευνητικά προγράμματα, τα οποία είχαν σαν στόχο, εκτός των άλλων και την δημιουργία λογισμικών θερμικής προσομοίωσης κτιρίων, τα οποία να λαμβάνουν υπόψιν τους και την ταυτόχρονη αλληλεπίδραση των φυσικών τεχνικών δροσισμού.

Στα πλαίσια αυτών των δραστηριοτήτων συμπληρώθηκε, σε συνεργασία με άλλα ερευνητικά ιδρύματα και πανεπιστήμια, το λογισμικό PASSPORT PLUS, το οποίο

αναπτύχθηκε στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος PASCOOL [3], με αλγορίθμους οι οποίοι επιτρέπουν την προσομοίωση των ακολούθων τεχνικών φυσικού δροσισμού:

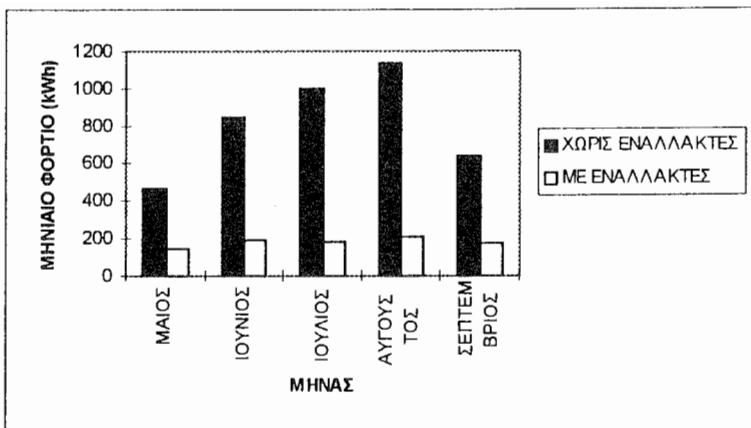
- υπογείου δροσισμού με εναλλάκτες εδάφους - αέρα,
- ψύκτη άμεσης εξάτμισης,
- ψύκτη έμμεσης εξάτμισης,
- συστήματος δροσισμού με νυκτερική ακτινοβολία, το οποίο χρησιμοποιεί ως θερμοαπαγωγό ρευστό τον αέρα και ως σύστημα αποθήκευσης χαλίγια,
- συστήματος δροσισμού με νυκτερική ακτινοβολία, το οποίο χρησιμοποιεί ως θερμοαπαγωγό ρευστό το νερό και ως σύστημα αποθήκευσης δεξαμενή νερού.

Με τις προσθήκες αυτές, το λογισμικό προσφέρει την δυνατότητα λεπτομερών θερμικών υπολογισμών στις διάφορες ζώνες του κτιρίου, λαμβανομένων υπόψιν και των φυσικών τεχνικών δροσισμού, αλλά και της ταυτόχρονης ύπαρξης συμβατικού συστήματος δροσισμού. Ο τρόπος με τον οποίον ορίζεται και ελέγχεται η λειτουργία των φυσικών αλλά και των συμβατικών συστημάτων δροσισμού είναι λεπτομερής και αντανακλά τις πραγματικές συνθήκες λειτουργίας τους. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα ο χρήστης να μπορεί να διαστασιολογήσει με λεπτομέρεια τις διάφορες παραμέτρους του συστήματος φυσικού δροσισμού αλλά και του συμβατικού συστήματος, το οποίο, λόγω της ύπαρξης του πρώτου, μπορεί να είναι μικρότερης ισχύος, άρα και χαμηλότερου κόστους (αγοράς και λειτουργίας).

Το δεύτερο λογισμικό είναι το SUMMER, το οποίο αναπτύχθηκε εξ ολοκλήρου από το Εθνικό & Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών. Το SUMMER παρέχει περισσότερες δυνατότητες, εν σχέσει με το PASSPORT PLUS, σε ότι αφορά την λεπτομερή διαστασιολόγηση των φυσικών τεχνικών δροσισμού, αλλά θεωρεί, στην παρούσα έκδοσή του, το κτίριο ως μονοζωνικό, παρέχοντας λιγότερες λεπτομέρειες σε αυτό το επίπεδο. Παράδειγμα αποτελεσμάτων τα οποία προέκυψαν από την χρήση του λογισμικού αυτού δίδονται στο Σχήμα 2. Στο σχήμα αυτό απεικονίζεται το ψυκτικό φορτίο ενός κτιρίου επιφανείας 100 m², για τα κλιματολογικά δεδομένα των Αθηνών, χωρίς την χρήση τεχνικής φυσικού δροσισμού και με την χρήση εναλλακτών εδάφους - αέρος. Πρόκειται για 5 εναλλάκτες τοποθετημένους σε βάθος 2 m, μήκους 10 m έκαστος και διαμέτρου 20 cm. Ο αέρας κυκλοφορεί με ταχύτητα 5 m.s⁻¹. Οι υπολογισμοί έγιναν θεωρώντας ότι οι αλλαγές αέρα του κτιρίου είναι μία ανά ώρα και ότι η θερμοκρασία στο εσωτερικό του δεν πρέπει να υπερβαίνει τους 25 °C. Όπως φαίνεται και στο σχήμα, η παρουσία των εναλλακτών μειώνει σημαντικά το ψυκτικό φορτίο του κτιρίου, μείωση η οποία σε ετήσια βάση αντιστοιχεί σε ποσοστό 70% του αρχικού.

5. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

Στην παράγραφο αυτή θα δοθούν παραδείγματα εφαρμογής φυσικών τεχνικών δροσισμού σε κτίρια. Τα παραδείγματα αυτά αφορούν είτε μετρήσεις οι οποίες έγιναν από το ΕΚΠΑ και το ΕΑΑ, είτε αποτελέσματα μελετών εφαρμογής συστημάτων για περιπτώσεις όπου δεν έχουν γίνει μετρήσεις.



ΣΧΗΜΑ 2. Παράδειγμα υπολογισμών για φυσικές τεχνικές δροσίμου, μέσω του λογισμικού SUMMER.

Υπόγειος Δροσίσιμος

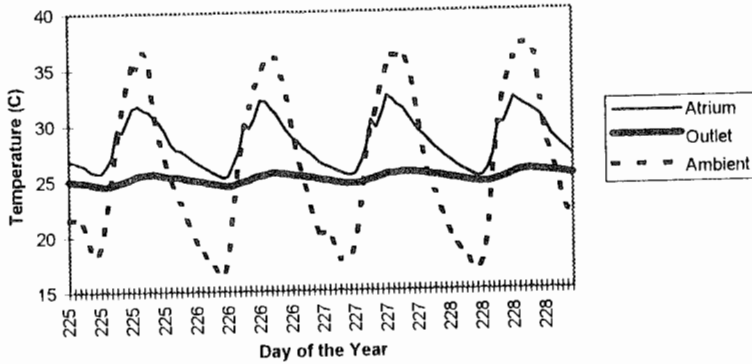
Η πρώτη σημαντική εφαρμογή υπογείου δροσίμου στην Ελλάδα με χρήση εναλλακτών εδάφους - αέρα, είναι αυτή του αιθρίου της Φιλοσοφικής Σχολής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων [4]. Το αίθριο έχει εμβαδόν 700 m² και ύψος περί τα 10 m. Προς αποφυγήν της υπερθέρμανσής του κατά την διάρκεια του θέρους, έχουν ληφθεί τα εξής μέτρα παθητικού δροσίμου:

- σκιασμός με κατάλληλο σχεδιασμό της οροφής,
- φυσικός αερισμός ο οποίος επιτυγχάνεται δια των ανοιγομένων τμημάτων των υαλοστασίων της οροφής και των εισόδων στο αίθριο,
- δημιουργία κατάλληλου μικροκλίματος στο εσωτερικό, με την φύτευση δένδρων και τμημάτων με χορτοτάπητα,
- με την χρήση εναλλακτών εδάφους - αέρος.

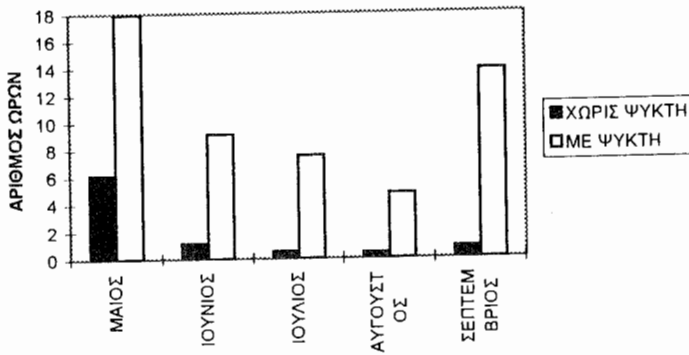
Για την κάλυψη των αναγκών του αιθρίου έχουν εγκατασταθεί πέντε εναλλάκτες σε βάθος 2 m. Κάθε εναλλάκτης έχει διάμετρο 0,150 m και μήκος 30 m. Η μέση ταχύτητα αέρα είναι 3 m.s⁻¹. Στο Σχήμα 3 φαίνεται η μεταβολή της θερμοκρασίας περιβάλλοντος, της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του αιθρίου, καθώς και της θερμοκρασίας στην έξοδο των εναλλακτών, για το χρονικό διάστημα από την 13η έως και την 16η Αυγούστου 1996. Από τις καμπύλες του σχήματος φαίνεται ότι, ακόμη και στις περιόδους κατά τις οποίες η θερμοκρασία περιβάλλοντος υπερβαίνει τους 35 °C, η θερμοκρασία στην έξοδο των εναλλακτών παραμένει αισθητά χαμηλότερη, έως και 10 °C, γεγονός το οποίο διατηρεί την θερμοκρασία του αέρα στο εσωτερικό του αιθρίου σε ανεκτώτερα επίπεδα.

Εξατμιστικός Δροσίσιμος

Ως παράδειγμα για την απόδοση του συστήματος εξατμιστικού δροσίμου δίνονται τα αποτελέσματα μελέτης ενός ψύκτη έμμεσου δροσίμου, στην περιοχή των Αθηνών [5]. Το κτίριο το οποίο προσομοιώθηκε έχει όγκο 300 m³ (100 m² × 3 m) και θεωρείται ότι είναι συμβατό με τον Ελληνικό κανονισμό θερμομόνωσης. Ο ψύκτης θεωρήθηκε ότι λειτουργεί όταν η θερμοκρασία στο εσωτερικό του κτιρίου είναι εκτός της ζώνης θερμικής άνεσης, όπως αυτή ορίζεται από το πρότυπο 55-81 της ASHRAE.



ΣΧΗΜΑ 3: Χαρακτηριστικές θερμοκρασίες στο αίθριο της Φιλοσοφικής Σχολής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων.

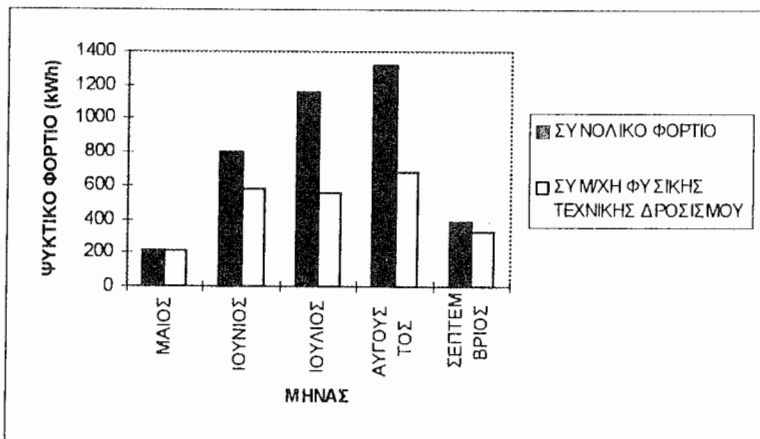


ΣΧΗΜΑ 4. Απόδοση συστήματος έμμεσης εξαίτησης.

Η απόδοση του συστήματος φαίνεται στο Σχήμα 4 το οποίο δίνει τον μέσο ημερήσιο αριθμό ωρών κατά τις οποίες το κτίριο βρίσκεται εντός της ζώνης θερμικής άνεσης χωρίς και με τον ψύκτη. Η επίδραση του ψύκτη είναι προφανής, δεδομένου ότι η αύξηση των ωρών κατά τις οποίες το κτίριο ευρίσκεται εντός της ζώνης θερμικής άνεσης είναι σημαντική. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι για τους θερμότερους μήνες, Ιούλιο και Αύγουστο, η αύξηση αυτή υπερβαίνει σε ποσοστό το 1000%.

Δροσισμός με ακτινοβολία

Ο τύπος του δροσισμού με ακτινοβολία ο οποίος αναφέρεται στην εργασία αυτή είναι ακόμη στο στάδιο της ανάπτυξης και δεν έχει ακόμη εφαρμοσθεί στην πράξη. Παρ' όλα αυτά για λόγους πληρότητας δίνεται ένα παράδειγμα διαστασιολόγησης συστήματος αέρος, το οποίο καλείται να καλύψει μέρος του ψυκτικού φορτίου κατοικίας στην Αθήνα. Οι προσομοιώσεις έγιναν με χρήση του λογισμικού PASSPORT PLUS, όπως αυτό τροποποιήθηκε στα πλαίσια του ευρωπαϊκού ερευνητικού προγράμματος ALTENER [6]. Θεωρήθηκε ότι η κατοικία είναι εξοπλισμένη με 100 m² ακτινοβολιτών αέρα, συνδεδεμένων με αποθήκη χαλκιών, όγκου 32,5 m³, και ότι η θερμοκρασία στο εσωτερικό της κατοικίας δεν πρέπει να υπερβαίνει τους 26 °C.



ΣΧΗΜΑ 5. Κάλυψη ψυκτικού φορτίου κατοικίας στην Αθήνα, από σύστημα δροσίμου με νυκτερινή ακτινοβολία.

Από το Σχήμα 5 φαίνεται ότι για τα κλιματολογικά δεδομένα των Αθηνών, το προτεινόμενο σύστημα μπορεί να καλύψει σημαντικό τμήμα του ψυκτικού φορτίου. Παρ' όλα αυτά όμως παραμένει ακόμη το ερώτημα της οικονομικής εφαρμοσιμότητας αυτής της τεχνικής, δεδομένου του κόστους της και της χαμηλής της απόδοσης, συγκριτικά με τις άλλες δύο τεχνικές φυσικού δροσίμου.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η μέχρι τώρα έρευνα έχει αποδείξει ότι οι φυσικές τεχνικές δροσίμου, κυρίως ο υπόγειος και ο εξατμιστικός, είναι σε θέση να συνεισφέρουν αποτελεσματικά στην ψύξη των κτιρίων. Είναι βεβαίως προφανές, ότι οι τεχνικές αυτές, αν και δεν μπορούν να καλύψουν εξ ολοκλήρου τις ανάγκες δροσίμου ενός κτιρίου, κυρίως δε όσων παρουσιάζουν αυξημένες ανάγκες, μπορούν εν τούτοις να μειώσουν σημαντικά το φορτίο αιχμής. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την εγκατάσταση συμβατικών κλιματιστικών μικρότερης ισχύος, τα οποία έχουν χαμηλότερο κόστος αγοράς αλλά και λειτουργικό κόστος. Η μείωση του φορτίου αιχμής έχει επίσης το πλεονέκτημα, ότι επιβαρύνει λιγότερο τις εταιρείες παραγωγής ηλεκτρισμού, ελαχιστοποιώντας ταυτόχρονα και τις συνεπαγόμενες περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Η διάδοση των τεχνικών αυτών απαιτεί άμεσα την εφαρμογή τους σε διάφορους τύπους κτιρίων, υπό τύπον επιδεικτικών προγραμμάτων, κατά τις οποίες θα γίνουν μετρήσεις της απόδοσης των συστημάτων, υπό πραγματικές συνθήκες λειτουργίας. Η συλλογή αυτή των αποδόσεων θα αυξήσει την εμπιστοσύνη του τεχνικού κόσμου σε αυτές τις πρακτικές δροσίμου, με αποτέλεσμα την ευρύτερη διάδοσή τους.

Λεδομένου ότι, όπως έχει ήδη αναφερθεί, η λειτουργία συστημάτων φυσικού δροσίμου απαιτεί μικρά ποσά ηλεκτρισμού, αυτό καθιστά πολύ ενδιαφέρουσα την τροφοδοσία τους με φωτοβολταϊκά συστήματα. Ήδη υπάρχει εν εξελίξει ερευνητικό πρόγραμμα, το οποίο μελετά την ζεύξη των συστημάτων φυσικού δροσίμου με φωτοβολταϊκά, σε θεωρητικό αλλά και πειραματικό επίπεδο.

Βιβλιογραφία

- [1] A. Argiriou and M. Santamouris, Natural Cooling Techniques, M. Santamouris and D.N. Asimakopoulos (eds), CIENE - University of Athens, 1995.
- [2] S. Alvarez (ed), Natural Cooling Techniques - Design Methodology and Application to Southern Europe. PASCOOL Project Report (JOU2-CT92-0013), Available from the University of Athens, Dept. of Applied Physics, Athens, 1995.
- [3] S. Alvarez and C.A. Balaras (eds), Final report on the development of PASSPORT PLUS. PASCOOL Project Report (JOU2-CT92-0013), Available from the University of Athens, Dept. of Applied Physics, Athens, 1995.
- [4] E. Triantis, M. Santamouris, A. Argiriou, Thermal performance evaluation of a passive solar atrium in Greece. Proc. 3rd European Conference on Architecture, European Commission, 17 - 21 May, Florence, Italy, p.p. 618-621, 1993.
- [5] N. Klitsikas, M. Santamouris, A. Argiriou and D.N. Asimakopoulos, Performance of an indirect evaporative cooler in Athens, Energy & Buildings, Vol. 21, p.p. 55-63, 1994.
- [6] A.A. Argiriou, S. Alvarez, M. Santamouris, N. Klitsikas, Linking natural cooling techniques with buildings: The EC ALTENER project SINK. Proc Int. Symposium Passive Cooling of Buildings, M. Santamouris and D.N. Asimakopoulos (eds), CIENE - University of Athens, Athens, Greece, 19-20 June 1996.