A logo with a gear

Description automatically generated

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΗΛΙΑΚΑ ΘΕΡΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ**

**ΦΟΙΤΗΤΗΣ: ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΟΣ ΠΟΛΙΤΗΣ (Α.Μ. 1111)**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΓΙΑΝΝΟΠΟΥΛΟΣ ΑΝΔΡΕΑΣ**

**ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ**

**ΠΑΤΡΑ 2018**

Υπόδειγμα Υ.2

**ΠΡΟΛΟΓΟΣ**

Το παρόν τεύχος αποτελεί την Διπλωματική Εργασία που εκπονήθηκε στο Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου και αναφέρεται στην μεθοδολογία υπολογισμού Ηλιακών Θερμικών συστημάτων, τα οποία ανήκουν στην κατηγορία ήπιων μορφών ενέργειας. Είναι γνωστό ότι πολλές οικιακές καθώς και σύγχρονες βιομηχανικές εγκαταστάσεις χρησιμοποιούν με αυξανόμενο ρυθμό Ηλιακά Θερμικά Συστήματα, διότι παρέχουν οικονομική ενέργεια και ιδιαιτέρως φιλική προς το περιβάλλον.

Στην αρχή μελετάται η Ηλιακή ακτινοβολία και η δυνατότητες απορρόφησης και αποθήκευσης της Ηλιακής ενέργειας. Στην συνέχεια αναπτύσσονται μέθοδοι υπολογισμού των Ηλιακών Συστημάτων και στο τέλος δίνονται αριθμητικοί υπολο­γισμοί της προσπίπτουσας Ηλιακής ακτινοβολίας και ενός πλήρους συστήματος θέρμανσης αντιδραστήρα για επεξεργασία λυμάτων ή βιολογικής ιλύος, χρησιμο­ποιούμενο σε σταθμούς επεξεργασίας υγρών αποβλήτων.

Ευχαριστώ θερμά τον Επιβλέποντα Καθηγητή μου κ. Ανδρέα Γιαννόπουλο, Αναπληρωτή Καθηγητή του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών, για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση που μου προσέφερε για την πραγματοποίηση της Εργασίας.

Πνευματικός Πολίτης

Φεβρουάριος 2018

**Υπεύθυνη Δήλωση Φοιτητή**: Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Φοιτητής έχω επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνω υπεύθυνα ότι είμαι συγγραφέας αυτής της Διπλωματικής Εργασίας, έχω δε αναφέρει στην Βιβλιογραφία μου όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποίησα και έλαβα ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνω επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχω ενσωματώσει στην εργασία μου προερχόμενο από Βιβλία ή άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή παραφρασμένο, το έχω πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχω αναφέρει ανελλιπώς το όνομά του και την πηγή προέλευσης.

Ο Φοιτητής

(Ονοματεπώνυμο)

……………………

(Υπογραφή)

*Σημείωση*: Εάν η εργασία εκπονείται από δύο Φοιτητές γράφεται το αντίστοιχο κείμενο σύμφωνα με την υπόδειξη του άρθρου 8.

Υπόδειγμα Υ.3

**ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία αναφέρεται στην μελέτη Ηλιακών Θερμικών Συστημάτων, τα οποία έχουν ποικίλες πρακτικές εφαρμογές. Οι κυριότερες από αυτές είναι η παραγωγή ζεστού νερού χρήσεως, η παραγωγή θερμού νερού για θέρμανση κατοικιών ή βιομηχανικών χώρων, η θέρμανση θερμοκηπίων, η παραγωγή θερμού αέρα για ξήρανση προϊόντων, η απόσταξη διαφόρων υγρών, η βελτίωση βιοχημικών διεργασιών κ.λ.π.

Η ανάπτυξη του θέματος γίνεται σε εννέα Κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο υπολογίζεται ο ηλιακός χρόνος και δίνεται η εξάρτησή του από την θέση του τόπου και από την ελλειπτική τροχιά της γης. Ακολουθούν παραδείγματα υπολογισμού των στοιχείων αυτών.

Στο δεύτερο Κεφάλαιο υπολογίζονται τα γεωμετρικά στοιχεία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας. Συγκεκριμένα γίνεται υπολογισμός της απόκλισης του Ηλίου, της ωριαίας γωνίας, της γωνίας πρόσπτωσης της ηλιακής δέσμης, της ζενιθίας γωνίας και του ύψους του Ηλίου. Ακολουθεί ο υπολογισμός της διάρκειας ημέρας, του ηλιασμού κεκλιμένης επιφάνειας και της κλίσης επιφάνειας για κάθετη πρόσπτωση των ηλιακών ακτίνων κατά το ηλιακό μεσημέρι. Τέλος υπολογίζεται η σωστή απόσταση μεταξύ των σειρών ηλιακών συλλεκτών και η βέλτιστη κλίση αυτών. Δίνονται παραδείγματα για την κατανόηση των υπολογισμών.

Στο τρίτο Κεφάλαιο αναπτύσσεται ο υπολογισμός της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας εκτός ατμόσφαιρας και δίνεται ο τρόπος υπολογισμού του συντελεστή ακτινοβολίας κεκλιμένης επιφάνειας σε σχέση με οριζόντια επιφάνεια. Ακολουθεί η εύρεση της συνολικής ημερήσιας ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντια επιφάνεια εκτός ατμόσφαιρας, καθώς και κατά την διάρκεια μιας χρονικής περιόδου.

Στο τέταρτο Κεφάλαιο μελετάται η άμεση και διάχυτη ακτινοβολία και υπολογίζεται ο δείκτης αιθριότητας, η ακτινοβολία σε κεκλιμένη επιφάνεια και η μέση μηνιαία ακτινοβολία με βάση τις ώρες ηλιοφάνειας. Τέλος μελετάται η ενίσχυση της ακτινοβολίας με ανακλαστήρες διάχυσης. Παρεμβάλλονται παραδείγματα για την καλύτερη κατανόηση των υπολογισμών.

Το πέμπτο Κεφάλαιο αναφέρεται στους ηλιακούς συλλέκτες. Εδώ γίνεται υπολογισμός της απορροφούμενης ωριαίας και μέσης μηνιαίας ηλιακής ακτινοβολίας από την επιφάνεια του συλλέκτη. Για τους υπολογισμούς αυτούς απαιτείται ο προσδιορισμός της διαβιβαστικότητας, ανακλαστικότητας και απορροφητικότητας του καλύμματος του ηλιακού συλλέκτη. Στην συνέχεια μελετάται η ωφέλιμη ενέργεια που λαμβάνεται από επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες και προσδιορίζεται η κρίσιμη στάθμη ακτινοβολίας προκειμένου να λειτουργεί αποδοτικά ο συλλέκτης. Διάφορα παραδείγ­ματα επεξηγούν την μέθοδο των υπολογισμών αυτών.

Στο έκτο Κεφάλαιο μελετάται η αποθήκευση της ηλιακής ενέργειας και προσδιορίζεται η θερμοκρασία του νερού που επιτυγχάνεται σε μονωμένη δεξαμενή αποθηκεύσεως με ή χωρίς στρωματοποίηση της θερμοκρασίας.

Το έβδομο κεφάλαιο ασχολείται με τις μεθόδους υπολογισμού ηλιακών συστημάτων ως συνόλου. Συγκεκριμένα δίνονται οι υπολογισμοί για εξωτερικό εναλ­λάκτη με την μέθοδο NTU, για σύνδεση συλλεκτών εν σειρά ή παράλληλα με βεβιασμένη κυκλοφορία νερού και για ηλιακά συστήματα με φυσική κυκλοφορία.

Στο όγδοο Κεφάλαιο περιγράφεται η διαδικασία υπολογισμού ηλιακών συστημάτων με την μέθοδο f-Chart. Δηλαδή γίνεται υπολογισμός της λαμβανόμενης ηλιακής ενέργειας και προσδιορίζονται οι διορθωτικοί συντελεστές για συστήματα με διαφορετικά μεγέθη δεξαμενών και για συστήματα ζεστού νερού χρήσεως.

Στο ένατο Κεφάλαιο δίνονται αριθμητικοί υπολογισμοί ενός πλήρους ηλιακού συστήματος, το οποίο χρησιμοποιείται για την τροφοδοσία με θερμό νερό ενός αντι­δραστήρα αναερόβιας βιολογικής επεξεργασίας λυμάτων στην περιοχή της Πάτρας. Δίνεται λεπτομερής υπολογισμός της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στους συλλέκτες και της ωφέλιμης θερμότητας που λαμβάνεται από αυτούς για κάθε ώρα του έτους. Επίσης υπολογίζονται οι συνολικές θερμικές απώλειες του συστήματος, η κατανάλωση θερμότητας στον αντιδραστήρα και η επιτυγχανόμενη θερμοκρασία στην δεξαμενή αποθηκεύσεως. Με βάση τα στοιχεία αυτά γίνεται η διαστασιολόγηση του ηλιακού συστήματος.

Τα σπουδαιότερα συμπεράσματα που προκύπτουν από την παρούσα Εργασία είναι (α) με βάση την ηλιοφάνεια της περιοχής της Πάτρας γίνεται εφικτή η παροχή θερμού νερού για τροφοδοσία αντιδραστήρα επεξεργασίας λυμάτων και (β) η επιτυγχανόμενη θερμοκρασία νερού για την επεξεργασία είναι σε αποδεκτά επίπεδα καθ’ όλη την διάρκεια του έτους. Επίσης πρέπει να αναφέρουμε εδώ ότι η κύρια πρωτοτυπία της Εργασίας αυτής είναι η εφαρμογή ηλιακής ενέργειας για αναερόβια επεξεργασία λυμάτων.

Υπόδειγμα Υ.4

**Π Ε Ρ Ι Ε Χ Ο Μ Ε Ν Α**

**ΠΡΟΛΟΓΟΣ**

**ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

**ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ**

**ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

1. Ηλιακός χρόνος (Solar Time) .……………………………………………………….. 1

2. Εξάρτηση ηλιακού χρόνου από την θέση του τόπου ….………………………….. 2

3. Εξάρτηση ηλιακού χρόνου από την ελλειπτική τροχιά της Γης ….………………. 8

**1. ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ**

1.1 Ορισμοί ……………………………………………………………………………… 14

1.2 Υπολογισμός απόκλισης Ηλίου …….…………………………………………….. 17

1.3 Υπολογισμός ωριαίας γωνίας .……………………………………………………. 18

1.3.1 Παράδειγμα υπολογισμού ………………………………………………… 19

1.4 Υπολογισμός γωνίας πρόσπτωσης ηλιακής δέσμης ……….………………….. 22

1.5 Υπολογισμός ζενιθίας γωνίας …….………………………………………………. 25

1.6 Υπολογισμός ύψους Ηλίου ……………………………………………………….. 26

1.7 Υπολογισμός ωριαίας γωνίας ανατολής και δύσης Ηλίου …………………….. 28

1.8 Υπολογισμός διάρκειας ημέρας ………………………………………………….. 31

1.8.1 Παράδειγμα υπολογισμού ………………………………………………… 32

**2. ΕΝΤΑΣΗ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ**

2.1 Συντελεστής ακτινοβολίας κεκλιμένης επιφάνειας σε σχέση με οριζόντια

επιφάνεια ….………………………………………………………………………… 37

2.2 Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντια επιφάνεια εκτός ατμόσφαιρας ….. 41

2.3 Ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντια επιφάνεια εκτός ατμόσφαιρας ….. 45

2.4 Ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντια επιφάνεια εκτός ατμόσφαιρας κατά την

διάρκεια μιας χρονικής περιόδου …………………………………………………. 49

2.4.1 Παράδειγμα υπολογισμού …………………………………………………. 54

Υπόδειγμα Υ.5

**ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ**

*α* = ύψος Ηλίου

*β* = κλίση επιφάνειας συλλέκτη

*γ* = αζιμουθιακή γωνία επιφάνειας

*δ* = απόκλιση Ηλίου

*θ* = γωνία πρόσπτωσης

*φ* = γεωγραφικό πλάτος

*ω* = ωριαία γωνία

*G*sc = ηλιακή σταθερά

*Ι* = ένταση ηλιακής ακτινοβολίας

*Ν* = αύξων αριθμός ημέρας

*R*b = συντελεστής κλίσης επιφάνειας

*Τ*d = διάρκεια ημέρας

**ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ**

NTU = αριθμός μεταφερομένων μονάδων θερμότητας

ST = ηλιακός χρόνος

Υπόδειγμα Υ.6

**ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

**1. ΗΛΙΑΚΟΣ ΧΡΟΝΟΣ (Solar Time)**

*Ηλιακός χρόνος* (Solar Time) ή *Φαινόμενος ηλιακός χρόνος* (Apparent Solar Time) ή *Αληθής ηλιακός χρόνος* ορίζεται ο χρόνος που μετριέται κατά την μετακίνηση του Ηλίου πάνω στην τροχιά του έτσι ώστε να είναι 12:00΄ ακριβώς, δηλαδή ηλιακό μεσημέρι, όταν ο Ήλιος βρίσκεται ακριβώς στο κατακόρυφο επίπεδο του μεσημβρινού του τόπου (να μεσουρανεί), όπως φαίνεται στο Σχήμα 1. Ο μεσημβρινός του τόπου ορίζεται από την διεύθυνση Βορρά- Νότου.

Ο Ηλιακός χρόνος (ST) δεν συμπίπτει με τον τοπικό ωρολογιακό χρόνο (Local Standard Time, ή εν συντομία LST), ο οποίος είναι ο χρόνος που δείχνουν τα ρολόγια μας, αλλά έχει μετατεθεί κατά κάποιο μέγεθος, το οποίο εξαρτάται από την θέση του τόπου και από την εποχή του έτους λόγω της ελλειπτικής τροχιάς της Γης, δηλαδή την ημέρα του έτους (day of the year). Η μετάθεση αυτή του χρόνου και η εύρεση του Ηλιακού Χρόνου μας εξυπηρετεί, διότι για οποιονδήποτε τόπο που βρίσκεται στο ίδιο Γεωγραφικό Πλάτος πάνω στην Γη, ο Ήλιος ανατέλλει–μεσουρανεί–δύει την ίδια ακριβώς ώρα. Επομένως η ένταση της Ηλιακής ακτινοβολίας σ’ αυτούς τους τόπους έχει ίδια τιμή την ίδια ώρα Ηλιακού χρόνου.

**ΗΛΙΟΣ**

**ΤΟΠΟΣ**

**(στην επιφάνεια της Γης)**

**ΒΟΡΡΑΣ**

**ΝΟΤΟΣ**

🟒

**Κατακόρυφο επίπεδο μεσημβρινού**

**Ύψος Ηλίου αs**

Σχήμα 1

Υπάρχουν διάφορες σχέσεις που έχουν εξαχθεί κατά καιρούς από διάφορους ερευνητές για τον υπολογισμό του Ηλιακού χρόνου. Οι σχέσεις αυτές συνδέουν τον ηλιακό χρόνο (ST) με τον τοπικό ωρολογιακό χρόνο (LST) λαμβάνοντας υπόψη την διόρθωση (μετάθεση) του χρόνου, η οποία όπως αναφέρθηκε εξαρτάται από δύο παράγοντες, την θέση του τόπου και την ελλειπτική τροχιά της Γης.

………………………………….

Υπόδειγμα Υ.7

**6. ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**

**6.1 ΓΕΝΙΚΑ**

Στις περισσότερες περιπτώσεις η ποσότητα της ζητούμενης ενέργειας δεν ταυτίζεται με την ποσότητα της λαμβανόμενης ηλιακής ενέργειας. Για τον λόγο αυτόν, όταν η λαμβανόμενη ηλιακή ενέργεια είναι μεγαλύτερη από την …………..

**6.2 ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΥΔΑΤΟΣ ΜΕ ΠΛΗΡΗ ΑΝΑΜΙΞΗ**

Στο Σχ. 6.1 φαίνεται ένα σύστημα παροχής θερμού ύδατος το οποίο περιλαμ­βάνει ηλιακό συλλέκτη και δεξαμενή ύδατος. Σε κάποια χρονική στιγμή ……………….

***T*o**

***T*i=*T*s**

**ΔΕΞΑΜΕΝΗ**

**Ts**

**ΣΥΛΛΕΚΤΗΣ**

***T*s**

***T*r**

**ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΖΕΣΤΟΥ ΝΕΡΟΥ**

**Σχήμα 6.1**: Ηλιακό σύστημα θερμού ύδατος

(Πηγή: Yiannopoulos, 2005)

Με βάση το ενεργειακό ισοζύγιο της δεξαμενής προκύπτει η παρακάτω σχέση για την θερμοκρασία στην δεξαμενή μετά παρέλευση χρόνου Δ*t*, ήτοι:

 (6.1)

όπου: *T*s = θερμοκρασία δεξαμενής στην αρχή της περιόδου Δ*t*

*T*s+= θερμοκρασία δεξαμενής στο τέλος της περιόδου Δ*t*

……………..

Σύμφωνα με τα διαθέσιμα μετεωρολογικά δεδομένα οι τιμές της ωφέλιμης ηλιακής ενέργειας υπολογίζονται ανά ώρα κάθε ημέρας. Για τον λόγο αυτόν η χρονική περίοδος Δ*t* λαμβάνεται ίση με …………

**6.2.1 Παράδειγμα υπολογισμού**. Ένα σύστημα θέρμανσης ζεστού νερού με δεξα­μενή αποθήκευσης περιέχει συνολικά 2000 Kg νερό και ………………………….........

**Πίνακας 6.1**: Ωφέλιμη θερμότητα *Q*u και θερμοκρασία δεξαμενής  ανά ώρα

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| α/α | Ώρες ημέρας | *Q*u  (MJ) | (°C) |
| 1 | 7-8 | 0 | 48,4 |
| 2 | 8-9 | 2 | 46,6 |
| 3 | 9-10 | 8 | 45,0 |
| 4 | 10-11 | 30 | 45,6 |
| 5 | 11-12 | 62 | 50,7 |
| 6 | 12-13 | 78 | 57,2 |

(Πηγή: Yiannopoulos, 2006)

Υπόδειγμα Υ.8

**ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ[[1]](#footnote-1)(\*)**

1. Χαρώνη Π., *Ηλιακά Ξηραντήρια*, Εκδόσεις ΙΩΝ, Αθήνα, 1989.

2. Duffie J. and Beckman W., *Solar Engineering of Thermal Processes*, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1991.

3. Santos B., Queiroz M. and Borges T., *A Solar Collector Design Procedure for Crop Drying*, Brazilian Journal of Chemical Engineering, Vol. 22, pp. 277-284, 2005.

4. Yiannopoulos A. Ch., Syngouna V. I., Bloutsos A. A., Manariotis I. D., Yannopou­los P. C. and Chrysikopoulos C. V., *Solar Reactor for Environmental Applications: Preliminary Design*, 8th International Conference “Protection and Restoration of the Environment VIII”, Chania Crete, 3-7/7/2006.

1. (\*) Οι παραπάνω καταχωρήσεις αφορούν τα εξής:

   1. Ελληνικό Βιβλίο, 2. Ξενόγλωσσο Βιβλίο, 3. Δημοσίευση σε περιοδικό, 4. Δημοσίευση σε πρακτικά συνεδρίου. [↑](#footnote-ref-1)