

ΤΙΤΛΟΣ ΕΙΣΗΓΗΣΗΣ:

ΟΠΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΕΝΟΣ ΠΑΡΑΒΟΛΙΚΟΥ ΗΛΙΑΚΟΥ ΣΥΛΛΕΚΤΗ

ΣΥΓΓΡΑΦΕΙΣ:

Σ. Τσιτομενέας	Γ. Σταυρακίτης
Φυσικός	Δρ Ηλεκτρολόγος
Ηλεκτρονικός και Ραδιοηλεκτρολόγος	Μηχανικός
Πανεπιστήμιο Αθηνών	Σπετσοπούλας 5
Τομέας Φυσικής των εφαρμογών	Τηλ.: 8221406
ΤΥΠΑ - Πανεπιστημιόπολις	ΑΘΗΝΑ 11 361
ΑΘΗΝΑ	

ΠΕΡΙΛΗΨΗ:

Η εργασία αυτή είναι μια εισαγωγή στη σπουδή της συγκέντρωσης της ηλιακής ακτινοβολίας. Μετά από μια απλή θεωρητική ανάλυση μιας κατηγορίας συγκεντρωτικών συλλεκτών, των κυλινδροπαροβολικών, δίνεται ο θερμικός ισολογισμός τους και αποδείχεται πως ο λόγος συγκέντρωσης ενός τέτοιου συλλέκτη επιτρέπει να παρθούν ικανοποιητικές αποδόσεις φωτοθερμικής μετατροπής για χαμηλές και μέσες θερμοκρασίες. Επί πλέον εξετάζονται οι οπτικές και θερμικές ιδιότητες ενός ανακλαστικού υλικού της ελληνικής αγοράς για την χρήση του σαν ανακλαστήρα.

ΛΕΞΕΙΣ - ΚΛΕΙΔΙΑ:

Παροβολικός Ανακλαστήρας, Κυλινδροπαροβολικός συλλέκτης, Ηλιακός συλλέκτης, λόγος συγκέντρωσης, ηλιακή ενέργεια, σύγκριση συλλεκτών, μέσες θερμοκρασίες.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ:

Ο ηλιακός συλλέκτης είναι η συσκευή με την οποία μετατρέπεται η ηλιακή ενέργεια σε μια ενέργεια άλλης μορφής. Από τους χρησιμοποιούμενους συλλέκτες δύο είναι οι κύριες μορφές οι επίπεδοι, και οι συγκεντρωτικοί. Οι επίπεδοι συλλέκτες δέχονται την άμεση και την έμμεση ηλιακή ενέργεια χωρίς κανενός είδους συγκέντρωση. Αυτό κάνει τους συλλέκτες αυτούς χρήσιμους μόνο για εφαρμογές σε χαμηλές θερμοκρασίες. Από την άλλη πλευρά οι συγκεντρωτικοί ηλιακοί συλλέκτες έχουν μεγαλύτερες αποδόσεις [9] από τους επίπεδους και εφαρμογές σε περιοχές χαμηλών και μεσαίων θερμοκρασιών.

Μια κατηγορία συγκεντρωτικών συλλεκτών είναι οι κυλινδροπαροβολικοί, που κάτω από ωρισμένες προϋποθέσεις μπορούν να αντικαταστήσουν τους επίπεδους ή να χρησιμοποιηθούν εκεί που οι επίπεδοι μειονεκτούν, κύρια δε σε μέσες θερμοκρασίες.

ΚΥΛΙΝΔΡΟΠΑΡΑΒΟΛΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Οι κυλινδροπαραβολικοί ηλιακοί συλλέκτες έχουν προταθεί και μελετώνται για εφαρμογές που απαιτούν θερμοκρασίες από 100°C μέχρι 400°C στο σημείο της αποθήκευσης ή στην κατανάλωση.

Εγκάρσια διατομή της ανακλαστικής επιφάνειας ενός γραμμικού παραβολικού συλλέκτη φαίνεται στο σχήμα 1.

Η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία έχει, λόγω των πεπερασμένων διαστάσεων του ήλιου και της απόστασής του από τη Γη, συνολικό γωνιακό άνοιγμα 0.53° ή 32'.

Στο εξής θα θεωρείται ότι η ηλιακή ακτινοβολία πέφτει πάνω στην παραβολική ανακλαστική επιφάνεια παράλληλα προς την ευθεία που σχηματίζεται από την τομή του επιπέδου συμμετρίας και του επιπέδου εγκάρσιας τομής της ανακλαστικής επιφάνειας.

Από το σχήμα 1 έχουμε τις εξής βασικές γεωμετρικές σχέσεις για την παραβολή:

$$y^2 = 4fx \quad (1)$$

$$y_T = \frac{a}{2} = r_T \sin\varphi_T \quad (2)$$

$$r = \frac{2f}{1+\cos\varphi} \quad (3)$$

Για μια ιδανική παραβολική ανακλαστική επιφάνεια το μέγεθος του στοιχείου συλλογής που θα μπορεί να απορροφά όλη την ανακλώμενη ακτινοβολία, πρέπει να είναι το ίδιο με το σχηματιζόμενο είδωλο του ήλιου, σε επίπεδο που περνάει από την εστία και είναι κάθετο στον άξονα της παραβολής (επίπεδο (ε)). Από το σχήμα 2 συνάγονται εύκολα οι σχέσεις:

- για στοιχείο συλλογής με κυλινδρική διατομή (αωλήνας)

$$D = 2r_T \sin 16' \quad (4)$$

- για στοιχείο συλλογής τετραγωνικής διατομής

$$W = \frac{2r_T \sin 16'}{\cos(\varphi_T + 16')} = \frac{2r_T \tan 16'}{\cos\varphi_T} \quad (5)$$

Το γραμμικό άνοιγμα $a=2y_T$ της παραβολής είναι το καθοριστικό μέγεθος για την δυνατότητα μετατροπής ισχύος του συλλέκτη, ενώ η εστιακή απόσταση f της παραβολής είναι το καθοριστικό μέγεθος για το εύρος του είδωλου του ήλιου και κατά συνέπεια του στοιχείου συλλογής. Άρα η συγκέντρωση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας στην εστία του συλλέκτη θα είναι συνάρτηση του λόγου a/f .

Η θεωρητική κατανομή της προσπίπτουσας ακτινοβολίας σε επιφάνεια που περνάει από την εστία και είναι κάθετη στον άξονα της παραβολής (επίπεδο (ε)) δίνεται στο σχήμα 3. [2].

Η πραγματική κατανομή διαφέρει από την θεωρητική για τους εξής λόγους:

α) το πραγματικό είδωλο του ήλιου που σχηματίζεται στην εστία είναι μεγενθυμένο διότι η εγκάρσια διατομή της ανακλαστικής επιφάνειας δεν είναι ιδανική παραβολή και συνεπώς η πραγματική ανακλαστική επιφάνεια θα παρουσιάζει ανωμαλίες που προκαλούν διάχυση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας.

β) λάθη στην τοποθέτηση του στοιχείου συλλογής.

γ) Ο προσανατολισμός του ηλιοστάτη που θα φέρει τον συλλέκτη έτσι ώστε να παρακολουθεί την τροχιά του ήλιου, παρουσιάζει ατέλειες

στην πράξη, με αποτέλεσμα η προσπίπτουσα ακτινοβολία να μην είναι ακριβώς κάθετη στο επίπεδο του ανοίγματος της παραβολής (Σχήμα 4): Σ' αυτήν την περίπτωση η εικόνα του ήλιου που σχηματίζεται από κάθε σημείο της ανακλαστικής επιφάνειας θα είναι επωξημένη κατά ένα συντελεστή $1/\cos(i)$.

Αν ονομάσουμε δ την γωνιακή απόκλιση της ανακλώμενης ακτινοβολίας λόγω των παραπάνω α) και β) θα έχουμε μια μεγένδυση του ειδικού του ήλιου όπως στο σχήμα 5.

Τότε για μεν κυλινδρικό στοιχείο συλλογής:

$$D = 2r_T \sin(\delta/2+16') \quad (6)$$

για δε τετραγωνικής διατομής

$$W = \frac{2r_T \sin(\delta/2+16')}{\cos(\varphi_T+\delta/2+16')} \quad (7)$$

έτσι ώστε να έχουμε πλήρη συλλογή της ανακλώμενης ακτινοβολίας.

Γι' αυτούς τους λόγους η πραγματική κατανομή της προσπίπτουσας ακτινοβολίας σε επίπεδο που περνάει από την εστία και είναι κάθετο στον άξονα της παραβολής, θα είναι όπως στο σχήμα 6.α) στην γενική περίπτωση [2,5].

Για κυλινδροπαραβολικούς συλλέκτες καλής σχετικά κατασκευής, η κατανομή του σχήματος 6.α) πλησιάζει την κανονική κατανομή (σχήμα 6.β)), [2,5,9].

Ένα σημαντικό μέγεθος στη σχεδίαση παραβολικών συλλεκτών είναι ο λόγος συγκέντρωσης C του συλλέκτη που ορίζεται σαν:

$$C = \frac{S}{s} \quad (8)$$

Για επίπεδους συλλέκτες, προφανώς από την (8), $C=1$.

Για κυλινδροπαραβολικούς συλλέκτες από τις σχέσεις (2), (6) και (7) έχουμε:

με στοιχείο συλλογής κυλινδρικής διατομής (αλήθεια)

$$C_D = \frac{a}{(S/L)} = \frac{\sin \varphi_T}{\pi \sin(\delta/2+16')} \quad (9)$$

με στοιχείο συλλογής τετραγωνικής διατομής

$$C_W = \frac{a}{\bar{W}} = \frac{\sin \varphi_T \cos(\varphi_T+\delta/2+16')}{\sin(\delta/2+16')} \quad (10)$$

Στην πράξη η γωνία δ πρέπει να είναι πολύ μικρή (της τάξης 1° ή 2°) προκειμένου να έχουμε αποδεκτές οπτικά ανακλαστικές επιφάνειες, άρα θα είναι $(\delta/2+16') \ll \varphi_T$.

Γι' αυτό οι σχέσεις (9) και (10) γράφονται προσεγγιστικά:

$$C_D \approx \frac{\sin \varphi_T}{\pi \left(\frac{\delta}{2} + 16'\right)_{\text{rad}}} \quad (11)$$

$$C_W \approx \frac{\sin^2 \varphi_T}{2 \left(\frac{\delta}{2} + 16'\right)_{\text{rad}}} \quad (12)$$

Από την (11) παρατηρούμε ότι ο λόγος συγκέντρωσης γίνεται μέγιστος για $\varphi_T=90^\circ$ με κυλινδρικό στοιχείο συλλογής και έχει τιμή

$$C_{D,\max} \approx 68, \text{ για } \delta=0^\circ$$

ενώ από την (12) για $\varphi_T=45^\circ$ με τετραγωνικό στοιχείο συλλογής και έχει τιμή,

$$C_{w,\max} \approx 107 \quad \text{για } \delta=0^\circ$$

Οι τιμές αυτές συγκέντρωσης είναι οι μέγιστες που μπορεί να επιτευχθούν με κυλινδρικοπαραβολικό συλλέκτη και αντιστοιχούν σε κάθετη προσπίτωση της ηλιακής ακτινοβολίας στο επίπεδο ανοίγματος της παραβολής. Οι τιμές αυτές δεν οδηγούν στην προφανή επιλογή τετραγωνικού στοιχείου συλλογής λόγω των αυξημένων οπτικών και θερμικών απωλειών που ένα τέτοιο στοιχείο παρουσιάζει.

ΟΠΤΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΤΟΥ ΑΝΑΚΛΑΣΤΗΡΑ

α) Ο συντελεστής οπτικών απωλειών γ

Όπως φαίνεται από το σχήμα 6, στην πράξη τα σχηματιζόμενα είδη δαλα δεν έχουν σαφώς καθορισμένα όρια. Το στοιχείο συλλογής όμως πρέπει να έχει περιορισμένες γεωμετρικές διαστάσεις προκειμένου να αποκλειστούν υπερβολικές θερμικές απώλειες λόγω μεταφοράς κυρίως με το περιβάλλον.

Άρα ένα στοιχείο συλλογής στην πράξη θα καταλαμβάνει περιορισμένο μέρος του "παραθύρου ενεργείας" του σχήματος 6.α.

Π.χ. το εύρος AB. Η συγκεντρωμένη ενέργεια που ένα στοιχείο συλλογής εύρους AB θα μπορεί να απορροφήσει φαίνεται από το γραμμικοποιημένο μέρος στο σχήμα 6.α. και ο συντελεστής οπτικών απωλειών γ ορίζεται από την σχέση

$$\gamma = \frac{\int_A^B I(W) dW}{\int_{-\infty}^{+\infty} I(W) dW} \quad (13)$$

όπου W είναι η απόσταση από την εστία της παραβολής.

Για μια σχετικά καλή ανακλαστική επιφάνεια με μεγάλο άνοιγμα ($\delta < 2^\circ$ και $\varphi_T \approx 80^\circ$ για κυλινδρικό στοιχείο συλλογής) ο γ έχει τιμές μεταξύ 92% και 97% [6].

β) Συντελεστής απορρόφησης α και εκπομπής ϵ του στοιχείου συλλογής

Το στοιχείο συλλογής συνήθως είναι ένας σωλήνας από χαλκό με κρού πάχους τοιχώματος με συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας $k = 0,93 \text{ cal} \cdot \text{sec}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{grad}^{-1}$. Στην βιβλιογραφία υπάρχουν και άλλες προτάσεις [3]. Για πρόσθετη βελτίωση των επιδόσεων του στοιχείου συλλογής ο χαλμίνος σωλήνας καλύπτεται με επίστρωση διαφανούς υλικού με πολύ μικρό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας (π.χ. γυαλί, με $k=0,002 \text{ cal} \cdot \text{sec}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{grad}^{-1}$) και έτσι οι θερμικές απώλειες από μεταφορά θερμότητας προς το περιβάλλον μικραίνουν δραματικά.

Από την άλλη πλευρά το κατά πόσο ένα στοιχείο συλλογής θα απορροφήσει και σε τι ποσοστό την προσπίπτουσα ενέργεια, συσχετίζεται κύρια με τον θερμικό κύκλο του ρευστού που κυκλοφορεί. Πάντως τυπικές ανώτερες τιμές του συντ. απορ. είναι στην περιοχή του 0,9 όπως προκύπτει από την βιβλιογραφία [2,3], ενώ ο συντελεστής εκπομπής ϵ είναι της τάξης του 0,17.

γ) Διαπερατότητα τ του διαφανούς καλύμματος στο στοιχείο συλλογής

Η διαπερατότητα του διαφανούς καλύμματος του στοιχείου συλλογής είναι ο λόγος της φωτεινής ισχύος που το διαπερνά ως προς την ισχύ που προσπίπτει [1]. Σε διαφανή υλικά όπως π.χ. γυαλί και πλα -

στικό η τιμή του είναι περίπου 0.8 και 0.7 αντίστοιχα για γωνίες πρόσπτωσης από 0° έως 20° .

δ) Συντελεστής ανάκλασης ρ - ανακλαστικά υλικά

Έχοντας δεδομένο το υλικό που θα χρησιμοποιηθεί για κάτοπτρο, (είναι λαμαρίνα από κράμα Cr-Ni-Fe-C-Mn-P πάχους 1mm, ανοξειδωτή) μετρήθηκε με ηλιακό φως ο συντελεστής ανάκλασης $\rho(\alpha)$ για διάφορες γωνίες πρόσπτωσης. Τα αποτελέσματα βρίσκονται στο σχήμα 7.

Επειδή από τη φύση του συλλέκτη το ηλιακό φως θα ανακλάται με διάφορες γωνίες από 0° μέχρι 90° πρέπει να επικρατούν ως επί το πλείστον μεγάλες γωνίες πρόσπτωσης ($>15^\circ$) ώστε ο συντελεστής ανάκλασης να είναι πάνω από 0,5.

ΑΠΟΔΟΣΗ ΕΝΟΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΥ ΣΥΛΛΕΚΤΗ

Ο θερμικός ισολογισμός ενός οιοδήποτε ηλιακού συλλέκτη όταν η ηλιακή ακτινοβολία πέφτει με γωνία θ πάνω στο επίπεδο ανοίγματός του (ενεργό επιφάνεια) S παρουσιάζεται στο σχήμα 8.

Από το σχήμα 8 προκύπτει ότι η συνολική απορροφούμενη ισχύς από το στοιχείο συλλογής είναι (αν η διαπερατότητα $\tau=1$).

$$P_u = S \rho \gamma E \cos \theta - s \left\{ \epsilon \sigma (T^4 - T_a^4) + h_v (T - T_a) \right\}$$

$$\eta = \frac{P_u}{E S \cos \theta} = \rho \gamma - \frac{\epsilon \sigma (T^4 - T_a^4) + h_v (T - T_a)}{C E \cos \theta}$$

Η τιμή ($\rho \gamma$) είναι η μέγιστη δυνατή τιμή του η και ονομάζεται "οπτική απόδοση" χαρακτηριζόμενη μόνο από τις οπτικές ιδιότητες του συλλέκτη. Για να είναι ο η όσο πιο κοντά γίνεται στο ($\rho \gamma$) θα πρέπει να αυξηθεί όσο το δυνατόν ο λόγος συγκέντρωσης C ή να ελαττωθεί όσο το δυνατόν ο ϵ και ο h_v . Για μια δεδομένη εφαρμογή ο βέλτιστος συλλέκτης θα είναι αυτός που πραγματοποιείται με το βέλτιστο συμβιβασμό μεταξύ αυτών των παραμέτρων για μια επιθυμητή θερμοκρασία εργασίας T .

Ο συμβιβασμός αυτός πρέπει να λάβει υπ' όψη τεχνικοοικονομικούς παράγοντες που είναι έξω από το σκοπό του άρθρου. Από φυσικής πλευράς όμως ισχύει ότι:

- Θα ήταν μάταιο να μειωθεί ο ϵ χωρίς να μειωθεί ο h_v .
- Η μείωση των ϵ και h_v στην πράξη βάζει περιορισμούς στην λειτουργικότητα του συστήματος [7]. Άρα κύριο ρόλο στην μείωση των απωλειών παίζει ο λόγος συγκέντρωσης C .

Αυτός είναι ο κύριος λόγος που με τους επίπεδους συλλέκτες όπου $C=1$ δεν είναι δυνατόν να αναπτυχθούν:

- α)** Ψηλές θερμοκρασίες εργασίας **β)** Μεγάλες αποδόσεις.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΣΚΟΛΙΑ

Τα θεωρητικά και πειραματικά δεδομένα μπορούν να συσχετισθούν έτσι ώστε να σχεδιαστεί ένας κυλινδροπαραβολικός συλλέκτης που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την θέρμανση ρευστών σε διάφορες θερμοκρασίες. Ένας τέτοιος συλλέκτης για την θέρμανση νερού παρουσιάζεται στο σχήμα 9.

Η επιλογή μεταλλικής επιφάνειας αντί για καθρέπτη από γυαλί κ. λ.π. έγινε με σκοπό την αποφυγή υψηλού κόστους κατασκευής - υλικών και της επικάλυψης του ανακλαστήρα από σωματίδια σκόνης. Η επικάλυψη αυτή ευνοείται από την ηλεκτροστατική φόρτιση του υλικού και διαχέει έντονα την ακτινοβολία μειώνοντας την ανακλαστικότητα.

Το βάρος του ανακλαστήρα με την παραπάνω λαμαρίνα είναι 3Kg/m^2 άρα απαιτείται μικρός ηλιοστάτης για την κίνησή του.

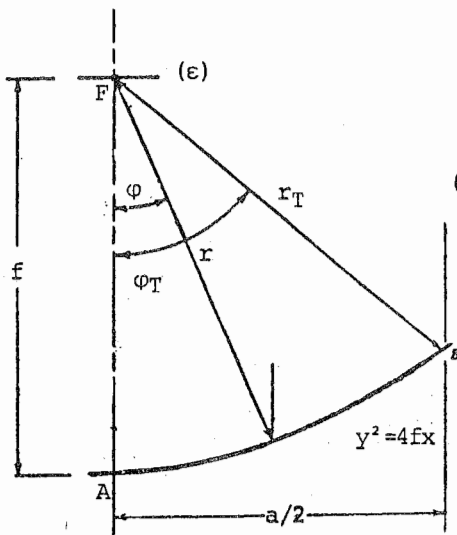
Το κόστος του υλικού είναι 900 δρχ./m^2 και είναι αρκετά χαμηλό για την αποδεκτή οικονομικά πραγματοποίηση ενός τέτοιου συλλέκτη.

ΟΝΟΜΑΤΟΛΟΓΙΑ

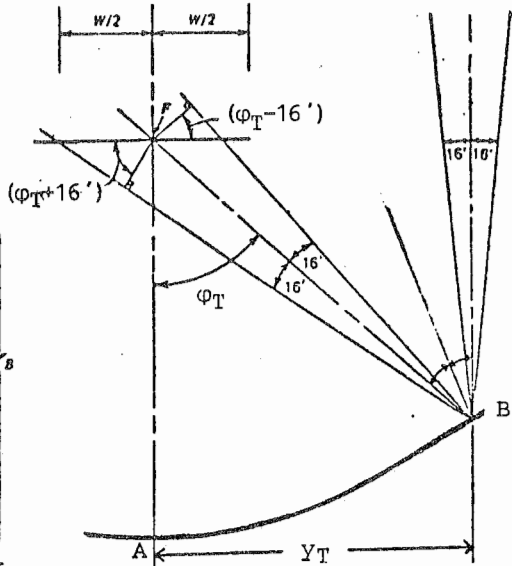
- (ε) : Επίπεδο κάθετο στον άξονα της παραβολής στην εστία της.
 φ_T : Γωνιακό άνοιγμα της παραβολής με κέντρο την εστία της.
 r_T : Μέγιστη "ακτίνα" της παραβολής με κέντρο την εστία της.
 r, φ : Οι πολικές συντεταγμένες της παραβολής με κέντρο την εστία της.
 x, y : Οι καρτεσιανές συντεταγμένες της παραβολής με κέντρο την κορυφή της A και άξονα x τον άξονά της.
D : Διάμετρος κυλινδρικού στοιχείου συλλογής.
W : Μήκος πλευράς τετραγωνικού στοιχείου συλλογής.
f : Εστιακή απόσταση της παραβολής.
a : Γραμμικό άνοιγμα της παραβολής.
 $a/2 = \gamma_T$: Μισό γραμμικό άνοιγμα της παραβολής.
L : Μήκος του συλλέκτη ίδιο με το μήκος του στοιχείου συλλογής.
S : Ενεργός επιφάνεια ή επίπεδο ανοίγματος ή προβεβλημένη επιφάνεια του παραβολικού ανακλαστήρα.
s : Επιφάνεια του στοιχείου συλλογής.
C : Λόγος συγκέντρωσης του συλλέκτη ίσος με S/s.
 δ : Γωνιακή απόγλιση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας λόγω σφαλμάτων.
 $\hat{\alpha}$: Γωνία ανάκλασης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας.
 γ : Συντελεστής οπτικών απωλειών.
 ρ : Ανακλαστικότητα (συντελεστής ανάκλασης) της ανακλαστικής επιφάνειας.
 α : Συντελεστής απορρόφησης του στοιχείου συλλογής.
 ϵ : Συντελεστής εκπομπής του στοιχείου συλλογής.
I : Η συγκεντρωμένη στο επίπεδο (ε) ροή ενέργειας (w/m^2).
E : Η προσπίπτουσα ηλιακή ροή ενέργειας (w/m^2).
n : Συντελεστής απόδοσης του συλλέκτη.
T : Μέση θερμοκρασία του στοιχείου συλλογής στην μόνιμη κατάσταση λειτουργίας.
 T_a : Θερμοκρασία περιβάλλοντος.
 σ : Σταθερά Stefan - Boltzman.
 h_v : Συντελεστής μετάδοσης θερμότητας λόγω μεταφοράς με τον αέρα.
 P_u : Απορροφούμενη ισχύς από το στοιχείο συλλογής συνολικά.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

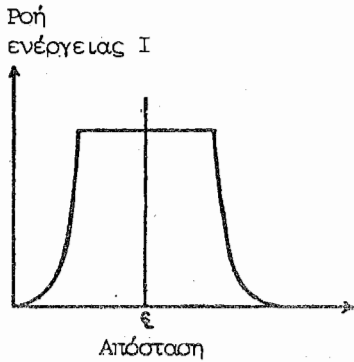
1. Πρώτο εθνικό συνέδριο σε 'Ηπιες Μορφές Ενέργειας - Πρακτικά Θεσσαλονίκη 20-22/10/82. HEX 53.
2. Solar Energy Thermal Processes J. Duffie - W. Beckman - John Wiley 1974
3. Efficient low cost concentrating Solar Collectors Norton T. Pierce. Solar Energy Vol. 19 pp 395 - 400- 1977.
4. Μετάδοση θερμότητας. Σημειώσεις του καθ. Ιωαννίδη του Ε.Μ.Π.
5. Focal plane flux distributions produced by solar Concentrating reflectors. J.A. Harris W.S. DUFF, Solar Energy, Vol 27, No5, pp 403 - 411, 1981.
6. Optimization of parabolic trough Solar Collectors A. Rabl & others. Solar-Energy Vol 29, No5, 1982.
7. Η επίδραση του ανέμου πάνω στην απόδοση του επιπέδου ηλιακού συλλέκτη. Ν. Κουμούτσου και άλλοι. Πρώτο Εθνικό Συνέδριο για ήπιες μορφές ενέργειας. HEX 1:16. Θεσσαλονίκη 1982.
8. Mathematical Analysis of the Performance of Cylindrical - Parabolic Solar Concentrators A.S. Al-Khalili & al. Applied Energy 15 (1983).
9. Energy Balance on a Parabolic Cylinder Solar Reflector. Löf G.O.G. et al. Journal of Engineering for Power 84 A,24(1982).



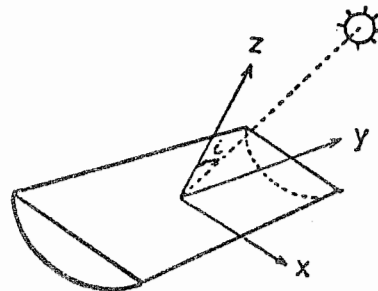
Σχ.1: Εγκάρσια διατομή της ανακλαστικής επιφάνειας.



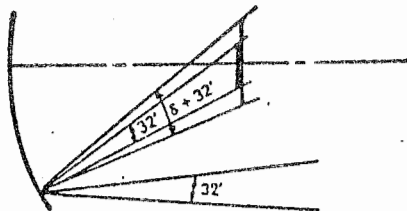
Σχ.2: Διάσταση του ειδώλου του ήλιου.



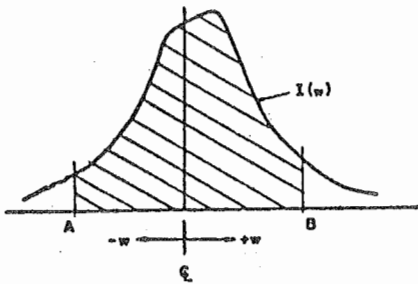
Σχ.3: Εγκάρσια διατομή της θεωρητικής εικόνας του ήλιου στο επίπεδο (ε).



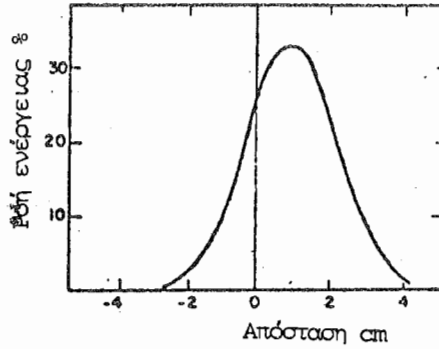
Σχ.4: Γωνιακό απόλυμα \hat{i} στην παρακολούθηση του ήλιου.



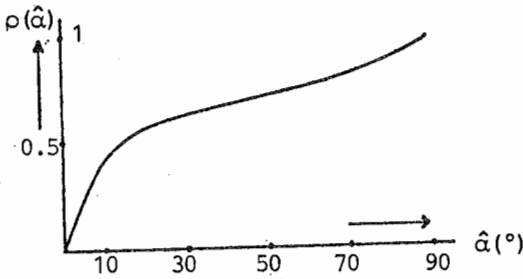
Σχ.5: Μεγένθυση του ειδώλου εΞ' αιτίας κατασκευαστικών σφαλμάτων.



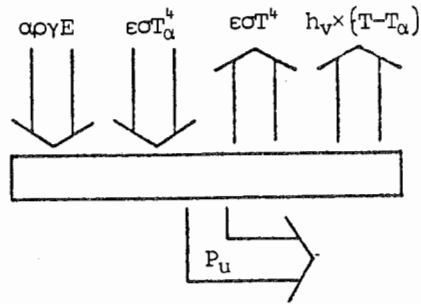
Σχ.6: (α): Τυχαία κατανομή της ανκλιώμενης ακτινοβολίας. (Μέγεθος του στοιχείου συλλογής AB). (β)



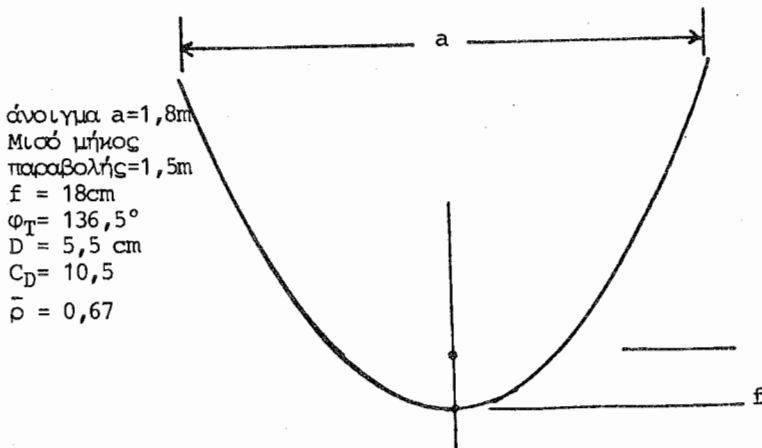
(β): Κανονική κατανομή με ατέλεια παρακολούθησης ήλιου για κυλινδρικοπαραβολικό ανακλαστήρα [9].



Σχ.7: Συντελεστής ανάκλασης για διάφορες γωνίες, της ανοξείδωτη λαμαρίνας.



Σχ.8: Απλουστευμένος θερμικός ισολογισμός ηλιακών συλλεκτών στη μόνιμη κατάσταση λειτουργίας.



άνοιγμα $a=1,8m$
 Μισό μήκος παραβολής $=1,5m$
 $f = 18cm$
 $\Phi_T = 136,5^\circ$
 $D = 5,5 cm$
 $C_D = 10,5$
 $\bar{\rho} = 0,67$

Για $E = 800 w/m^2$ συλλεγόμενη ισχύς $= 970,8 w/m$.

Σχ.9: Γεωμετρικές διαστάσεις της παραβολής υπό κλίμακα για την ανοξείδωτη λαμαρίνα.