



ΑΝΩΤΑΤΗ ΣΧΟΛΗ ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ

Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Ενότητα 1.2: Ηλιακή Γεωμετρία & Ηλιακή
Ακτινοβολία

Δρ. Γεώργιος Μητσόπουλος

Ρόλος του Ηλιακού Συλλέκτη στο Σύστημα

Ο ηλιακός συλλέκτης είναι:

το στοιχείο που μετατρέπει την ηλιακή ακτινοβολία σε ωφέλιμη θερμότητα.

Ο ρόλος του:

- ▶ απορρόφηση ακτινοβολίας,
- ▶ μεταφορά θερμότητας στο ρευστό,
- ▶ τροφοδότηση:
 - ▶ ΖΝΧ,
 - ▶ θέρμανσης,
 - ▶ Α/Θ,
 - ▶ διεργασιών.

Αν ο συλλέκτης είναι λανθασμένα επιλεγμένος:
✗ όλο το σύστημα υπολειτουργεί.

Βασικοί Τύποι Ηλιακών Θερμικών Συλλεκτών

- ▶ **Επίπεδοι συλλέκτες (Flat Plate Collectors)**
 - ▶ Θερμοκρασίες έως 80-90° C
 - ▶ ΖΝΧ - θέρμανση
- ▶ **Συλλέκτες κενού (Evacuated Tubes)**
 - ▶ Θερμοκρασίες έως 120-150° C
 - ▶ Υβριδικά συστήματα - Α/Θ
- ▶ **Συγκεντρωτικοί συλλέκτες (CSP)**
 - ▶ Υψηλές θερμοκρασίες
 - ▶ Ηλεκτροπαραγωγή & αποθήκευση

Δομή Επίπεδου Ηλιακού Συλλέκτη

Ο επίπεδος συλλέκτης αποτελείται από:

- ▶ Υαλοκάλυμμα (glass cover)
- ▶ Απορροφητή (absorber)
- ▶ Σωληνώσεις ρευστού
- ▶ Θερμομόνωση (πίσω & πλάγια)
- ▶ Μεταλλικό πλαίσιο

Στόχος σχεδίασης:

- ✓ μέγιστη απορρόφηση
- ✓ ελάχιστες απώλειες προς περιβάλλον

Οπτικές Ιδιότητες: Συντελεστές τ , α

Βασικές οπτικές παράμετροι:

- ▶ τ (transmittance): διαπερατότητα υαλοκαλύμματος
- ▶ α (absorptance): απορροφητικότητα απορροφητή

Το γινόμενο:

$$(\tau\alpha)$$

εκφράζει:

το ποσοστό της προσπίπτουσας ακτινοβολίας που τελικά απορροφάται.

Τυπικές τιμές:

- ▶ $\tau \approx 0.88-0.92$
- ▶ $\alpha \approx 0.90-0.95$
- ▶ $(\tau\alpha) \approx 0.80-0.88$

Θερμικές Απώλειες Συλλέκτη & Συντελεστής U_L

Κατά τη λειτουργία του συλλέκτη έχουμε απώλειες:

- ▶ προς τον αέρα (συναγωγή),
- ▶ προς το περιβάλλον (ακτινοβολία),
- ▶ προς το πίσω μέρος.

Όλες αυτές συγκεντρώνονται στον **συντελεστή θερμικών απωλειών:**

$$U_L [W/m^2K]$$

Φυσική σημασία:

Πόση θερμότητα χάνεται ανά m^2 συλλέκτη και ανά K διαφοράς θερμοκρασίας.

Τυπικές τιμές:

- ▶ Επίπεδος συλλέκτης: 3 - 6 W/m^2K
- ▶ Συλλέκτης κενού: 1 - 3 W/m^2K

Θερμικό Ισοζύγιο Ηλιακού Συλλέκτη

Η βασική ενεργειακή σχέση είναι:

$$q_u = A_c [S - U_L (T_{pm} - T_a)]$$

Όπου:

- ▶ q_u : ωφέλιμη θερμική ισχύς (W)
- ▶ A_c : επιφάνεια συλλέκτη (m²)
- ▶ $S = (\tau\alpha)G_T$: απορροφούμενη ηλιακή ροή
- ▶ U_L : συντελεστής απωλειών
- ▶ T_{pm} : μέση θερμοκρασία απορροφητή
- ▶ T_a : θερμοκρασία περιβάλλοντος

Ερμηνεία:

Ωφέλιμη ισχύς = προσπίπτουσα - απώλειες.

Γιατί δεν Χρησιμοποιούμε απευθείας το T_{pm}

Το T_{pm} :

- ▶ δεν είναι εύκολα μετρήσιμο,
- ▶ δεν είναι η πραγματική θερμοκρασία του ρευστού,
- ▶ εξαρτάται από:
 - ▶ ροή,
 - ▶ σωληνώσεις,
 - ▶ αγωγιμότητα.

Για αυτό εισάγεται ο συντελεστής FR (Heat Removal Factor).

Συντελεστής FR (Heat Removal Factor)

Ο FR ορίζεται ως:

ο λόγος της πραγματικής χρήσιμης θερμότητας προς τη θεωρητικά μέγιστη.

Χρησιμοποιείται για να γράψουμε το ισοζύγιο σε **πραγματικές θερμοκρασίες νερού**:

$$q_u = A_c F_R [(\tau\alpha)G_T - U_L(T_i - T_a)]$$

Όπου:

- ▶ F_R : συντελεστής ανάκτησης θερμότητας
- ▶ T_i : θερμοκρασία εισόδου ρευστού
- ▶ T_a : θερμοκρασία περιβάλλοντος

Τυπικές τιμές:

- ▶ 0.85 - 0.95 (πολύ καλός συλλέκτης)

Φυσική Σημασία του FR

Όταν:

- ▶ μικρή παροχή νερού → χαμηλό FR
- ▶ μεγάλη παροχή → FR → 1

Ο FR εκφράζει:

πόσο “αποτελεσματικά” απομακρύνεται η θερμότητα από τον συλλέκτη.

Στη μηχανολογική πράξη:

- ✓ καθορίζει τη θερμική ισχύ
- ✓ επηρεάζει άμεσα την απόδοση η
- ✓ επιδρά στην επιλογή κυκλοφορητή

Ορισμός Βαθμού Απόδοσης Συλλέκτη η

Ο βαθμός απόδοσης η του συλλέκτη ορίζεται ως:

$$\eta = \frac{q_u}{A_c G_T}$$

Όπου:

- ▶ η : βαθμός απόδοσης (-)
- ▶ q_u : ωφέλιμη θερμική ισχύς (W)
- ▶ A_c : επιφάνεια συλλέκτη (m^2)
- ▶ G_T : ολική ακτινοβολία στο κεκλιμένο επίπεδο (W/m^2)

Φυσική ερμηνεία:

Τι ποσοστό της προσπίπτουσας ηλιακής ισχύος μετατρέπεται σε ωφέλιμη θερμότητα.

Τελική Εξίσωση Απόδοσης με FR

Αντικαθιστώντας το q_u :

$$\eta = F_R(\tau\alpha) - F_R U_L \frac{T_i - T_a}{G_T}$$

Όροι:

- ▶ $F_R(\tau\alpha)$:οπτική απόδοση
- ▶ $F_R U_L$:κλίση γραμμής απωλειών
- ▶ T_i :θερμοκρασία εισόδου ρευστού
- ▶ T_a :θερμοκρασία περιβάλλοντος
- ▶ G_T :ακτινοβολία στο κεκλιμένο επίπεδο

Η απόδοση μειώνεται γραμμικά με την αύξηση της θερμοκρασιακής διαφοράς.

Καμπύλη Απόδοσης Συλλέκτη

Η επίσημη μορφή του κατασκευαστή είναι:

$$\eta = \eta_0 - a_1 \frac{(T_m - T_a)}{G_T} - a_2 \frac{(T_m - T_a)^2}{G_T}$$

Όπου:

- ▶ η_0 :οπτική απόδοση
- ▶ a_1 :γραμμικές απώλειες
- ▶ a_2 :μη γραμμικές απώλειες
- ▶ T_m :μέση θερμοκρασία ρευστού

Πρόκειται για πειραματική ταυτοποίηση.

Διαφορά Μεταξύ T_i και T_m

- ▶ T_i :θερμοκρασία εισόδου
- ▶ T_o :θερμοκρασία εξόδου
- ▶ T_m :μέση θερμοκρασία:

$$T_m = \frac{T_i + T_o}{2}$$

Η T_m είναι αυτή που:

- ▶ καθορίζει τις θερμικές απώλειες,
- ▶ χρησιμοποιείται στις καμπύλες απόδοσης.

Υπολογισμός Θερμικής Ισχύος μέσω Ρευστομηχανικής

Η θερμική ισχύς που παραλαμβάνει το ρευστό:

$$q_u = \dot{m} c_p (T_o - T_i)$$

Όπου:

- ▶ \dot{m} :παροχή μάζας (kg/s)
- ▶ c_p :ειδική θερμοχωρητικότητα (J/kgK)
- ▶ $T_o - T_i$:ανύψωση θερμοκρασίας

Αυτή είναι η πραγματική ισχύς που αξιοποιείται στο σύστημα.

Σύνδεση Θερμικής Ισχύος & Απόδοσης

Συνδυάζοντας:

$$\eta = \frac{\dot{m}c_p(T_o - T_i)}{A_c G_T}$$

Έτσι:

- ▶ η μικρή παροχή \rightarrow μεγάλο $T_o - T_i$, αλλά χαμηλή συνολική ισχύς
- ▶ η μεγάλη παροχή \rightarrow μικρό $T_o - T_i$, αλλά υψηλή συνολική ισχύς

Υπάρχει βέλτιστο σημείο λειτουργίας.

Παράδειγμα Πραγματικής Λειτουργίας Συλλέκτη

Δεδομένα:

- ▶ $A_c = 2.5m^2$
- ▶ $G_T = 800W/m^2$
- ▶ $\eta = 0.55$

$$q_u = \eta A_c G_T = 0.55 \cdot 2.5 \cdot 800 = \boxed{1100 W}$$

→ Ένας τυπικός συλλέκτης αποδίδει ~1.1 kW θερμικής ισχύος.

Σημείο Στασιμότητας (Stagnation Temperature)

Όταν:

- ▶ μηδενική παροχή
- ▶ έντονη ακτινοβολία

Ο συλλέκτης φτάνει σε:

$$q_u = 0 \Rightarrow S = U_L(T_{stag} - T_a) \Rightarrow T_{stag} = T_a + \frac{S}{U_L}$$

Τυπικά:

- ▶ επίπεδος: 160-200°C
- ▶ κενού: 220-280°C

Κρίσιμο για:

- ✓ επιλογή υλικών
- ✓ επιλογή αντιψυκτικού

Υδραυλική Συμπεριφορά & Πτώση Πίεσης

- ▶ Η παροχή καθορίζεται από:

$$\Delta p = f \frac{L}{D} \frac{\rho u^2}{2}$$

Όπου:

- ▶ f : συντελεστής τριβής
- ▶ L : μήκος σωληνώσεων
- ▶ D : διάμετρος
- ▶ u : ταχύτητα ρευστού

Καθορίζει:

- ▶ επιλογή κυκλοφορητή
- ▶ ηλεκτρική κατανάλωση συστήματος

Πραγματικές Τιμές Απόδοσης Συλλεκτών

Όσο αυξάνει η απαιτούμενη θερμοκρασία:

- ! αυξάνονται οι απώλειες
- ! μειώνεται η απόδοση
- ! απαιτούνται περισσότεροι συλλέκτες

Θερμοκρασία λειτουργίας	Απόδοση
40 °C	65-70%
60 °C	55-60%
80 °C	40-45%

Συνδεσμολογία Συλλεκτών στη Μηχανολογική Πράξη

Τρεις βασικοί τρόποι σύνδεσης:

1 Σειριακή σύνδεση

- ▶ Αυξάνει θερμοκρασία εξόδου
- ▶ Μειώνει παροχή
- ▶ Χρήσιμη όταν απαιτείται $>70^{\circ}\text{C}$

2 Παράλληλη σύνδεση

- ▶ Μεγάλη παροχή
- ▶ Μικρή άνοδος θερμοκρασίας
- ▶ Ομοιόμορφη φόρτιση

3 Συνδυασμένη (σειρά + παράλληλα)

- ▶ Βέλτιστη για μεγάλα πεδία συλλεκτών
- ▶ Μειώνει υδραυλικά προβλήματα (balancing)

★ Στόχος: ίση υδραυλική αντίσταση σε κάθε σειρά → ομοιόμορφη απόδοση.

Υδραυλικός Σχεδιασμός Σειρών Συλλεκτών

Για σωστή κατανομή ροής:

- ▶ Χρησιμοποιείται διάταξη **reverse return**
- ▶ Ισχύει:

$$L_{\text{προσαγωγής}} + L_{\text{return}} = \text{σταθερό για κάθε σειρά}$$

Εάν όχι:

- ✗ κάποιες σειρές υπερθερμαίνονται
- ✗ άλλες υπολειπούνται
- ✗ μειωμένη συνολική απόδοση

Ρόλος του Δοχείου Αποθήκευσης (Boiler / Storage Tank)

Το δοχείο:

- ▶ αποθηκεύει θερμότητα
- ▶ εξομαλύνει αιχμές φορτίου
- ▶ επιτρέπει λειτουργία στις ώρες μέγιστης ηλιοφάνειας

Τύποι:

- ▶ Δοχείο με εναλλάκτη (coil)
- ▶ Δοχείο διπλής ενέργειας (ηλιακό + λέβητα)
- ▶ Δοχεία στρωμάτωσης (stratification tanks)

Το νερό στο δοχείο πρέπει να στρωματώνεται, όχι να αναμιγνύεται.

Τι Είναι η Στρωμάτωση στο Δοχείο

Στρωμάτωση = διατήρηση διαφορετικών θερμοκρασιακών ζωνών:

- ▶ Ζεστή ζώνη πάνω
- ▶ Κρύα ζώνη κάτω
- ▶ Ελάχιστη ανάμιξη

Γιατί είναι κρίσιμη:

- ▶ αυξάνει την απόδοση των συλλεκτών
- ▶ βελτιώνει τον έλεγχο
- ▶ μειώνει την ανάγκη για βοηθητική ενέργεια

Μηχανικά επιτυγχάνεται με:

- ▶ χαμηλές ταχύτητες εισόδου
- ▶ ειδικούς διαχυτές
- ▶ σωστή διάταξη σωληνώσεων

Εναλλάκτης Θερμότητας σε Ηλιακό Σύστημα

Ο εναλλάκτης:

- ▶ απομονώνει το πρωτεύον κύκλωμα (αντιψυκτικό)
- ▶ μεταφέρει θερμότητα στο νερό χρήσης

Ο άμεσος τύπος για ισχύ:

$$q = UA\Delta T_{lm}$$

Όπου:

- ▶ U : συνολικός συντελεστής μεταφοράς (W/m^2K)
- ▶ A : επιφάνεια εναλλάκτη
- ▶ ΔT_{lm} : λογαριθμική διαφορά θερμοκρασίας

Φυσική ερμηνεία:

Μεγάλο ΔT → υψηλή μεταφορά θερμότητας

Μικρό ΔT → αυξάνονται οι απώλειες συλλέκτη

Διαφορικός Έλεγχος Κυκλοφορητή (ΔT-Control)

Ο κυκλοφορητής τίθεται σε λειτουργία όταν:

$$T_{\text{coll}} - T_{\text{tank}} > \Delta T_{\text{on}}$$

και απενεργοποιείται όταν:

$$T_{\text{coll}} - T_{\text{tank}} < \Delta T_{\text{off}}$$

Τυπικές τιμές:

▶ $\Delta T_{\text{on}} = 710^{\circ}\text{C}$

▶ $\Delta T_{\text{off}} = 35^{\circ}\text{C}$

Λάθος ρύθμιση:

- ✗ αδικαιολόγητη λειτουργία κυκλοφορητή
- ✗ υπερθέρμανση συλλεκτών
- ✗ χαμηλός βαθμός απόδοσης

Θερμοκρασιακή Συμπεριφορά Συλλέκτη με Έλεγχο

Διάγραμμα (περιγραφή):

- ▶ Όταν ο συλλέκτης θερμανθεί πάνω από το δοχείο → κυκλοφορητής ON
- ▶ Μεταφέρει θερμότητα → πέφτει η θερμοκρασία του συλλέκτη
- ▶ Όταν πέσει κάτω από το δοχείο → κυκλοφορητής OFF

Αυτό δημιουργεί **πριονωτό θερμοκρασιακό προφίλ**, χαρακτηριστικό σωστής λειτουργίας.

Συνολικός Βαθμός Απόδοσης Συστήματος

Ο συνολικός βαθμός απόδοσης λαμβάνει υπόψη:

$$\eta_{\text{system}} = \eta_{\text{collector}} \cdot \eta_{\text{storage}} \cdot \eta_{\text{control}}$$

Όπου:

- ▶ $\eta_{\text{collector}}$: απόδοση συλλέκτη
- ▶ η_{storage} : απώλειες δοχείου
- ▶ η_{control} : σωστή λειτουργία ελέγχου & υδραυλικής ισορροπίας

Τυπικά:

- ▶ καλό σύστημα → 40-55%
- ▶ πολύ καλό → 55-65%

Η Μέθοδος f-chart (Εισαγωγή)

Η μέθοδος f-chart προβλέπει:

το ποσοστό της θερμικής ζήτησης που καλύπει η ηλιακή εγκατάσταση σε μηνιαία βάση.

Δηλαδή:

$$f = f\left(\frac{A_c F_R (\tau\alpha) H_T}{L}, \frac{A_c F_R U_L (T_{req} - T_a) t_m}{L}\right)$$

Όροι:

- ▶ H_T : μηνιαίο G_T
- ▶ L : θερμική ζήτηση
- ▶ T_{req} : θερμοκρασία χρήσης

Η μέθοδος δεν είναι εξίσωση αλλά εμπειρικός συσχετισμός.

Πότε Χρησιμοποιείται η Μέθοδος f-chart

Η μέθοδος είναι ιδανική για:

- ✓ ZNX
- ✓ Θέρμανση με χαμηλές θερμοκρασίες
- ✓ Εκτιμήσεις ενεργειακής κάλυψης χωρίς δυναμική προσομοίωση
- ✓ Γρήγορη διαστασιολόγηση

Δεν ενδείκνυται για:

- ✗ υψηλές θερμοκρασίες
- ✗ συγκεντρωτικά συστήματα
- ✗ συστήματα με πολλαπλές πηγές θερμότητας

Τι Υπολογίζει Πρακτικά η Μέθοδος f-Chart

Η μέθοδος f-chart δίνει:

f = η μηνιαία κάλυψη της θερμικής ζήτησης από τους συλλέκτες"

Όπου $0 \leq f \leq 1$

Γιατί δεν χρησιμοποιούμε απευθείας τους συλλέκτες;

Επειδή:

- ▶ η λειτουργία εξαρτάται από μεταβαλλόμενη ακτινοβολία,
- ▶ το δοχείο αποθήκευσης αποθηκεύει/εκφορτίζει θερμότητα,
- ▶ η ζήτηση διαφέρει μέσα στον μήνα.

✓ Η μέθοδος "πακετάρει" όλα αυτά σε έναν αξιόπιστο εμπειρικό συσχετισμό.

Οι Δύο Βασικές Αδιάστατες Παράμετροι του f-chart

Η μέθοδος χρησιμοποιεί δύο αδιάστατες παραμέτρους:

1) Παράμετρος Υ (θερμική παραγωγή συλλέκτη)

$$Y = \frac{A_c F_R (\tau\alpha) H_T}{L}$$

2) Παράμετρος Χ (θερμικές απώλειες συλλέκτη)

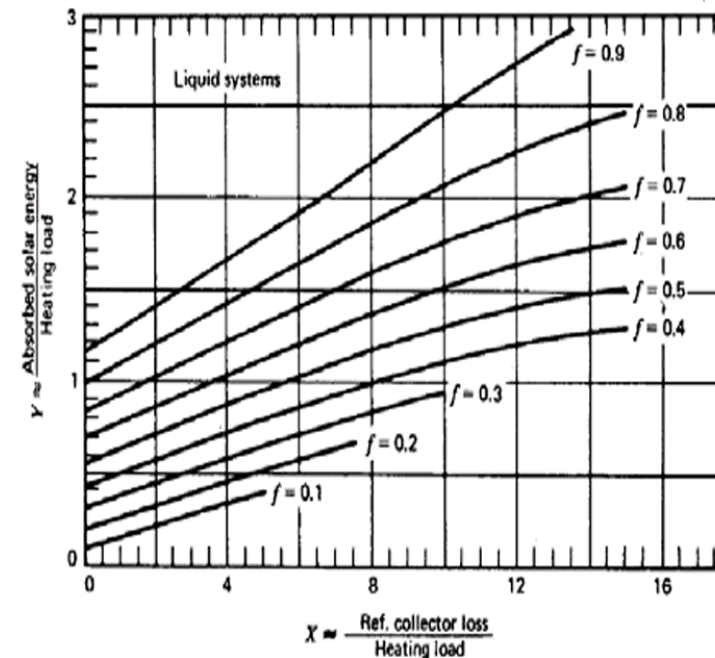
$$X = \frac{A_c F_R U_L (T_{req} - T_a) t_m}{L}$$

Όπου:

- ▶ A_c : συνολική επιφάνεια συλλεκτών
- ▶ F_R : συντελεστής ανάκτησης
- ▶ $(\tau\alpha)$: οπτική απόδοση
- ▶ H_T : μηνιαία ακτινοβολία στο κεκλιμένο επίπεδο (MJ/m^2)
- ▶ L : μηνιαίο θερμικό φορτίο (MJ)
- ▶ T_{req} : απαιτούμενη θερμοκρασία χρήσης
- ▶ T_a : μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος
- ▶ t_m : ώρες μήνα (π.χ. 720 h)

Φυσική ερμηνεία:

- ▶ $Y \rightarrow$ ικανότητα συλλέκτη να παράγει ενέργεια
- ▶ $X \rightarrow$ απώλειες συλλέκτη λόγω θερμοκρασίας λειτουργίας



Τελικός Εμπειρικός Συσχετισμός f-chart

Ο συσχετισμός που δίνει το ποσοστό κάλυψης είναι:

$$f = 1.029X - 0.065X^2 + 0.245X^3 - 0.0018Y - 0.0035Y^2$$

Όρια εγκυρότητας:

- ▶ Χρήση για ΖΝΧ και χαμηλές θερμοκρασίες
- ▶ Κλίση συλλεκτών 30°-60°
- ▶ Συλλέκτες επίπεδοι ή κενού
- ▶ Τυπικά $0 < X < 1.5$, $0 < Y < 1.0$

Τι σημαίνει f:

- ▶ $f = 0.0$: καθόλου ηλιακή κάλυψη
- ▶ $f = 0.5$: κάλυψη 50% των μηνιαίων αναγκών
- ▶ $f = 1.0$: πλήρης κάλυψη (στη θεωρία)

Ερμηνεία των Παραμέτρων X και Y

► Όσο μεγαλύτερο το X :

- ✓ μεγαλύτερη επιφάνεια συλλεκτών
- ✓ μεγαλύτερη ηλιακή παραγωγή → αυξάνεται το f

► Όσο μεγαλύτερο το Y :

- ✓ υψηλότερες θερμοκρασίες ζήτησης
- ✓ αυξημένες απώλειες από τον συλλέκτη → μειώνεται το f

Συμπέρασμα:

- Αν το σύστημα δουλεύει σε χαμηλές θερμοκρασίες (π.χ. 40-50°C) → υψηλό f
- Για υψηλές θερμοκρασίες (80-90°C) → χαμηλότερο f , περισσότεροι συλλέκτες

Παράδειγμα Υπολογισμού f (Βήμα-Βήμα)

Δεδομένα για μήνα:

- ▶ $A_c = 8 \text{ m}^2$
- ▶ $F_R(\tau\alpha) = 0.70$
- ▶ $F_R U_L = 3.5$
- ▶ $H_T = 420 \text{ MJ/m}^2$
- ▶ $T_{req} = 60^\circ\text{C}$, $T_a = 20^\circ\text{C}$
- ▶ $L = 1200 \text{ MJ}$
- ▶ $T_m = 420 \text{ h}$

Υπολογισμός X :

$$X = \frac{8 \cdot 0.70 \cdot 420}{1200} = \frac{2352}{1200} = 1.96$$

Υπολογισμός Y :

$$Y = \frac{8 \cdot 3.5 \cdot (60 - 20) \cdot 420}{1200}$$
$$Y = \frac{8 \cdot 3.5 \cdot 40 \cdot 420}{1200}$$
$$Y = \frac{470\,400}{1200} = 392$$

→ Επειδή το Y είναι πολύ μεγάλο → αναποτελεσματική ηλιακή κάλυψη (υψηλή απαίτηση θερμοκρασίας).

→ Το παράδειγμα δείχνει πόσο ευαίσθητο είναι το f στη θερμοκρασία του συστήματος.

Ερμηνεία του Παραδείγματος

Το προηγούμενο παράδειγμα δείχνει:

- ▶ Το σύστημα απαιτεί **υψηλές θερμοκρασίες (60°C)** → αυξημένες απώλειες
- ▶ Το f θα είναι **πολύ χαμηλό ($<10\%$)**
- ▶ Δεν έχει νόημα να αυξήσουμε συλλέκτες χωρίς αλλαγή στη θερμοκρασία χρήσης

Μηχανολογικό συμπέρασμα:

Για θέρμανση χώρων με θερμοκρασίες νερού $>60^{\circ}\text{C}$, οι επίπεδοι συλλέκτες έχουν χαμηλό f .

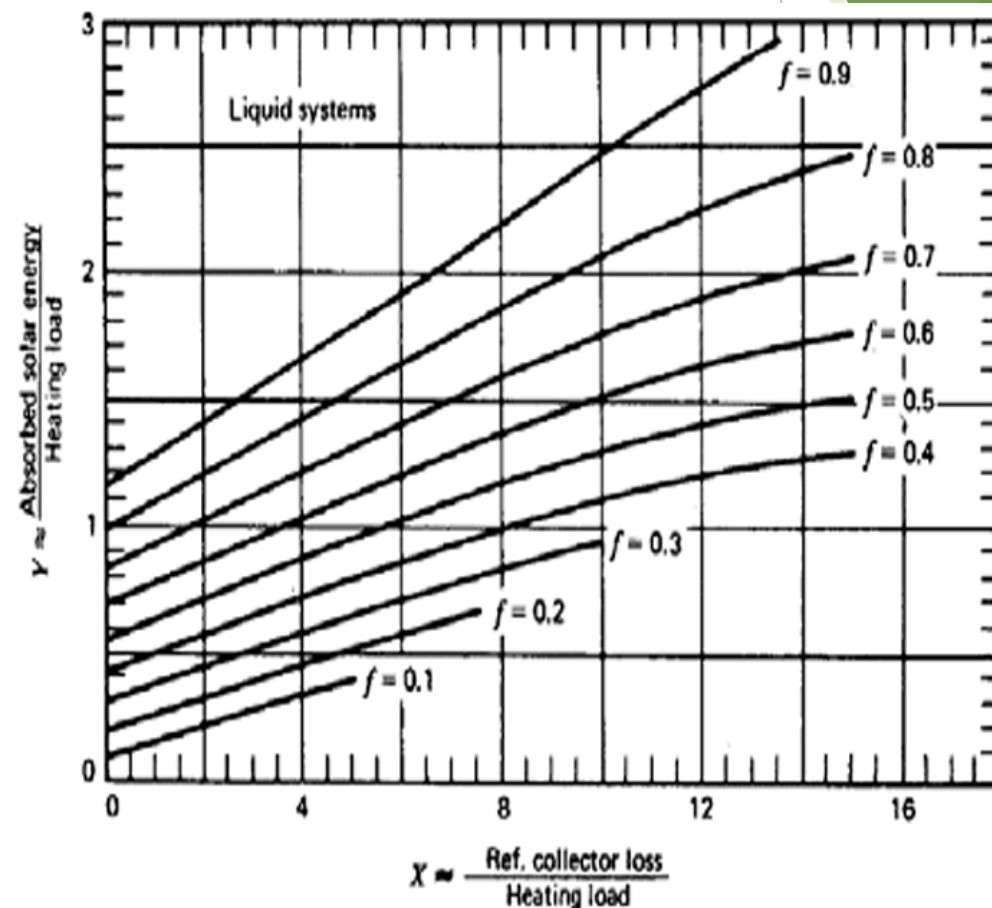
Για ΖΝΧ, το f μπορεί εύκολα να φτάσει 50-70%.

Πρακτική Διαστασιολόγηση με f-chart

Βήματα:

1. Επιλογή κλίσης & προσανατολισμού συλλεκτών
2. Υπολογισμός μηνιαίας ακτινοβολίας (H_T)
3. Υπολογισμός θερμικού φορτίου (L)
4. Επιλογή τύπου συλλέκτη \rightarrow FR, UL, (τα)
5. Υπολογισμός X & Y για κάθε μήνα
6. Υπολογισμός f για κάθε μήνα
7. Εύρεση ετήσιας κάλυψης:

$$F_{\text{annual}} = \frac{\sum f_i L_i}{\sum L_i}$$



Παράδειγμα Διαστασιολόγησης ΖΝΧ (Ελλάδα)

Οικογένεια 4 ατόμων:

- ▶ Κατανάλωση ΖΝΧ: 50 L/άτομο/ημέρα
- ▶ Θερμοκρασία ΖΝΧ: 45 °C
- ▶ Δίκτυο: 15 °C
- ▶ Μηνιαία ακτινοβολία (Αθήνα, Νότιο προσανατολισμό):
π.χ. 350-850 MJ/m²

Για επιφάνεια συλλεκτών 4 m²:

- ▶ $f \approx 60\%$ τον χειμώνα
- ▶ $f \approx 95\%$ το καλοκαίρι
- ▶ ετήσιο $F \approx 75\%$

Συμπέρασμα:

✓ 4 m² είναι ιδανική τιμή για 4μελή οικογένεια με boiler 150-200 L.

Επιλογή Δοχείου Αποθήκευσης

Χρυσός κανόνας:

$$\frac{\text{όγκος δοχείου (L)}}{\text{συλλεκτική επιφάνεια (m}^2\text{)}} = 40-60$$

Για 4 m²:

► boiler 150-240 L

Αν το δοχείο είναι πολύ μικρό:

- ✗ υπερθέρμανση συλλεκτών
- ✗ λειτουργία κυκλοφορητή σε μειονεκτικά φορτία
- ✗ μειωμένη στρωμάτωση

Αν είναι πολύ μεγάλο:

- ✗ αργή φόρτιση
- ✗ υψηλές απώλειες δοχείου

Βιβλιογραφία

Βασικές Πηγές Ηλιακής Γεωμετρίας & Ακτινοβολίας

- ▶ Duffie, J. A., & Beckman, W. A. *Solar Engineering of Thermal Processes*, Wiley.
- ▶ Masters, G. M. *Renewable and Efficient Electric Power Systems*, Wiley.
- ▶ Kreith, F., & Kreider, J. F. *Principles of Solar Engineering*, CRC Press.
- ▶ Iqbal, M. *An Introduction to Solar Radiation*, Academic Press.
- ▶ ASHRAE Handbook – *Fundamentals*, Chapter “Solar Geometry & Radiation”.

Βασικές Πηγές Ηλιακών Θερμικών Συλλεκτών & Συστημάτων

- ▶ Kalogirou, S. A. *Solar Energy Engineering*, Academic Press.
- ▶ Hottel, H. C., & Woertz, B. *Evaluation of Flat-Plate Solar Heat Collectors*, MIT.
- ▶ ISO 9806: *Solar Energy – Solar Thermal Collectors – Test Methods*.
- ▶ EN 12975 / EN ISO 9806 (Ευρωπαϊκά Πρότυπα Συλλεκτών).
- ▶ Klein, S. A. *f-chart Method: Solar Heating Systems Performance*.
- ▶ Lunde, P. J. *Solar Thermal Engineering*, Wiley.

Επιστημονικές Βάσεις Δεδομένων & Online Πηγές

- ▶ PVGIS - European Commission Joint Research Centre (JRC)
- ▶ NASA Surface Meteorology & Solar Energy Database
- ▶ ASHRAE Solar Radiation Data (κλιματικοί πίνακες)