



ΑΝΩΤΑΤΗ ΣΧΟΛΗ ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ

Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Ενότητα 1: Ηλιακά Θερμικά Συστήματα

Δρ. Γεώργιος Μητσόπουλος

Μαθησιακοί Στόχοι

- ▶ Κατανόηση της λειτουργίας και των τύπων ηλιακών συλλεκτών
- ▶ Ανάλυση ενεργειακών απωλειών και αποδόσεων
- ▶ Διαστασιολόγηση συστήματος ΖΝΧ
- ▶ Αναγνώριση εφαρμογών στην Ελλάδα

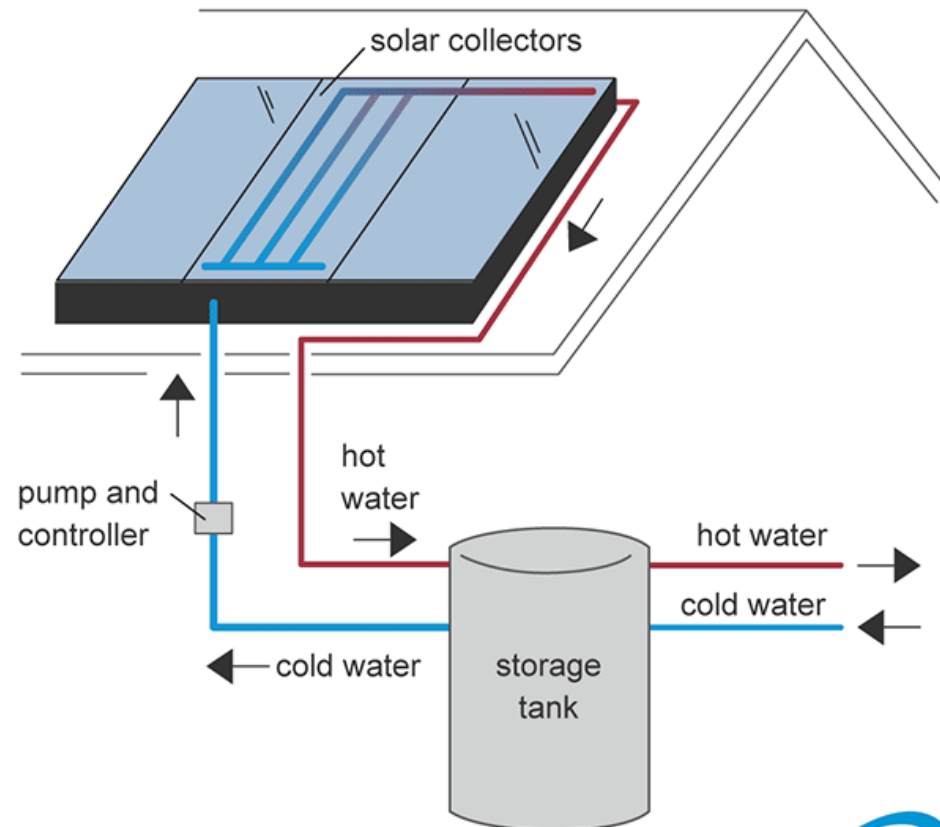
Περιεχόμενα Ενότητα

- ▶ Ηλιακή ακτινοβολία και ενεργειακές μετατροπές
- ▶ Τεχνολογίες ηλιακών συλλεκτών
- ▶ Υδραυλικά κυκλώματα και αποθήκευση
- ▶ Διαστασιολόγηση συστημάτων ΖΝΧ
- ▶ Εφαρμογές και παραδείγματα
- ▶ Άσκηση με λύση
- ▶ Βιβλιογραφία

Εισαγωγή στην Ηλιακή Ενέργεια

- ▶ Ο Ήλιος ως πηγή θερμότητας (5 800 Κ στη φωτόσφαιρα)
- ▶ Η ηλιακή σταθερά $G_0 \approx 1367 \text{ W/m}^2$
- ▶ Ατμοσφαιρική απορρόφηση και διάχυση

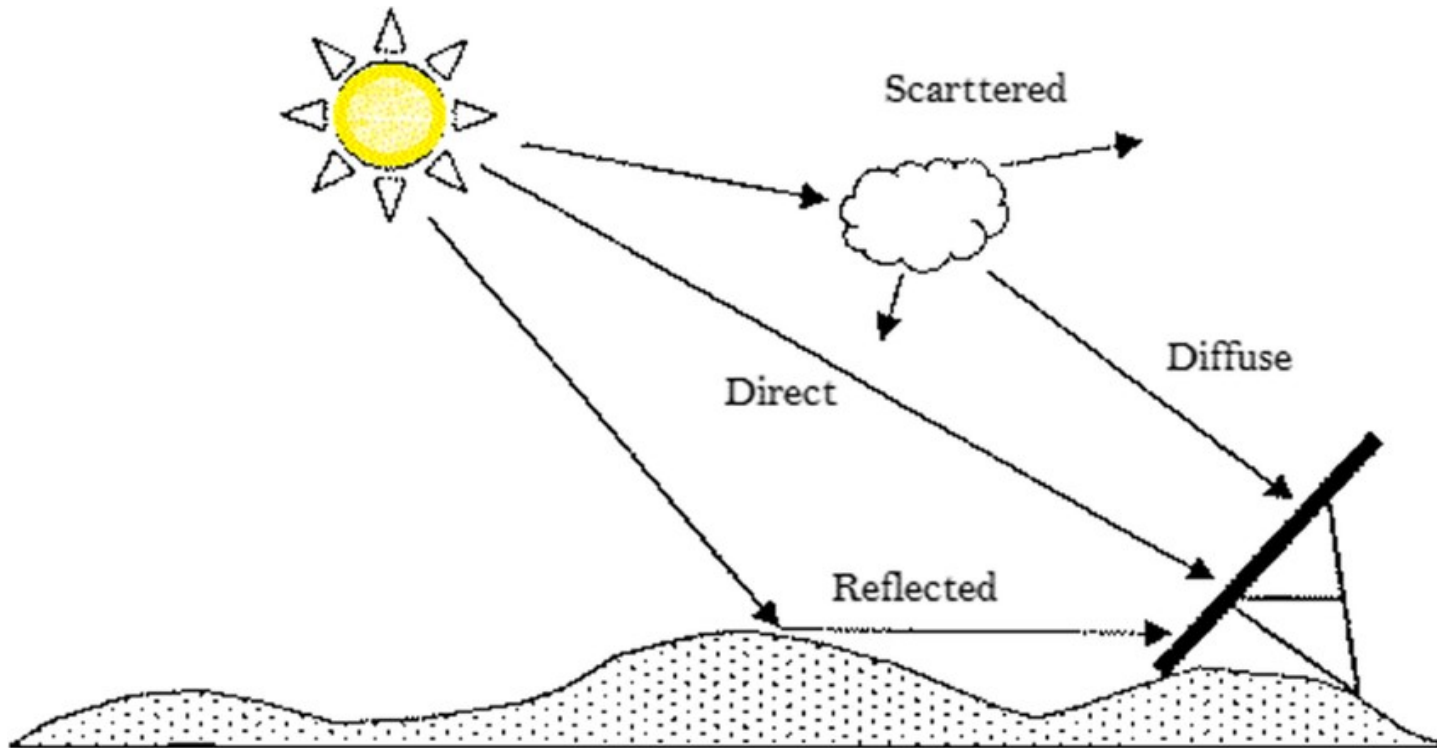
Non-concentrating and concentrating solar collectors



Source: U.S. Energy Information Administration
Note: This is a simplified diagram of a drainback-type solar water heating system.

Είδη Ακτινοβολίας

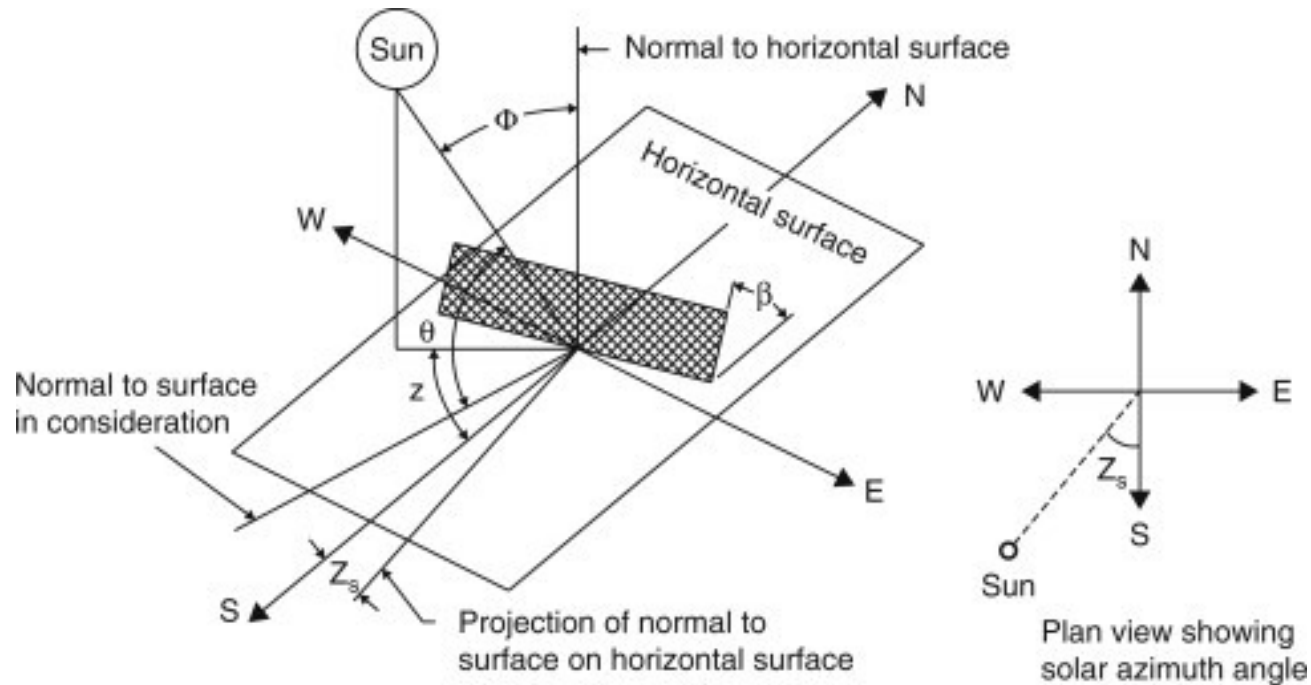
- ▶ Άμεση (G_b), διάχυτη (G_d), ανακλώμενη (G_r)
- ▶ Συνολική $G = G_b + G_d + G_r$
- ▶ Παράδειγμα Αθήνας: $G \approx 5.5 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{day}$



Πηγή: City of Calgary, “Residential solar collectors - sample drawing”, 2019

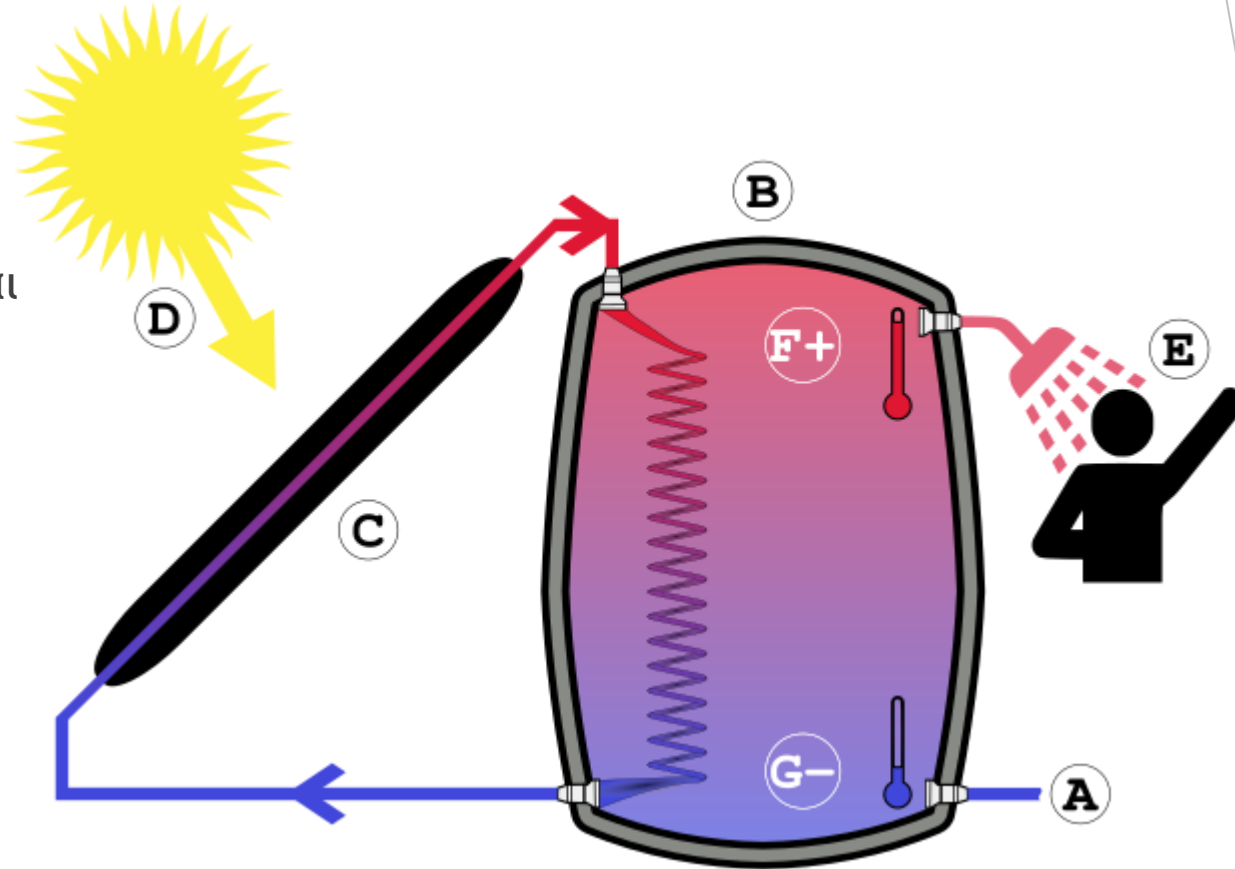
Κινηματική Ήλιου & Γωνίες

- ▶ Ορισμοί γωνιών: κλίση β , αζιμούθιο γ , ζενίθεια θ_z
- ▶ Υπολογισμός πρόσπτωσης σε κεκλιμένη επιφάνεια
- ▶ Παράδειγμα Αθήνας ($\varphi = 37.9^\circ$): $\beta_{opt} \approx 30-35^\circ$



Μηχανισμοί Απωλειών

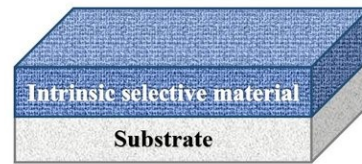
- ▶ Αγωγή μέσω τοιχωμάτων
- ▶ Συναγωγή στο διάκενο και στην επιφάνεια
- ▶ Ακτινοβολία προς τον ουρανό
- ▶ Συντελεστής UL ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$)



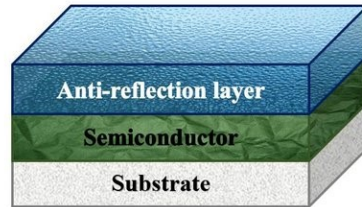
Πηγή: Inkwibbna, “Thermal-solar.svg”, Wikimedia Commons, CC BY-SA 4.0

Επιλεκτικές Επιστρώσεις

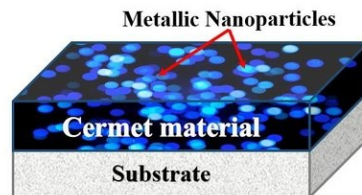
- ▶ Απορροφητικότητα $\alpha \approx 0.95$, εκπεμπτικότητα $\varepsilon \approx 0.05$
- ▶ Υλικά: TiNOX, Bluetec, black chrome



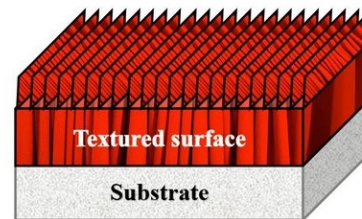
(i)



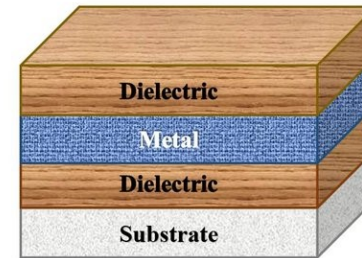
(ii)



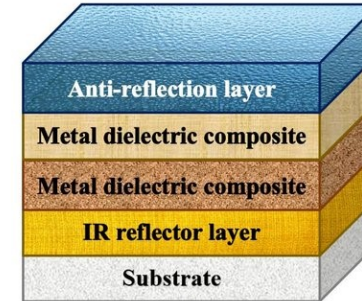
(iii)



(iv)



(v)



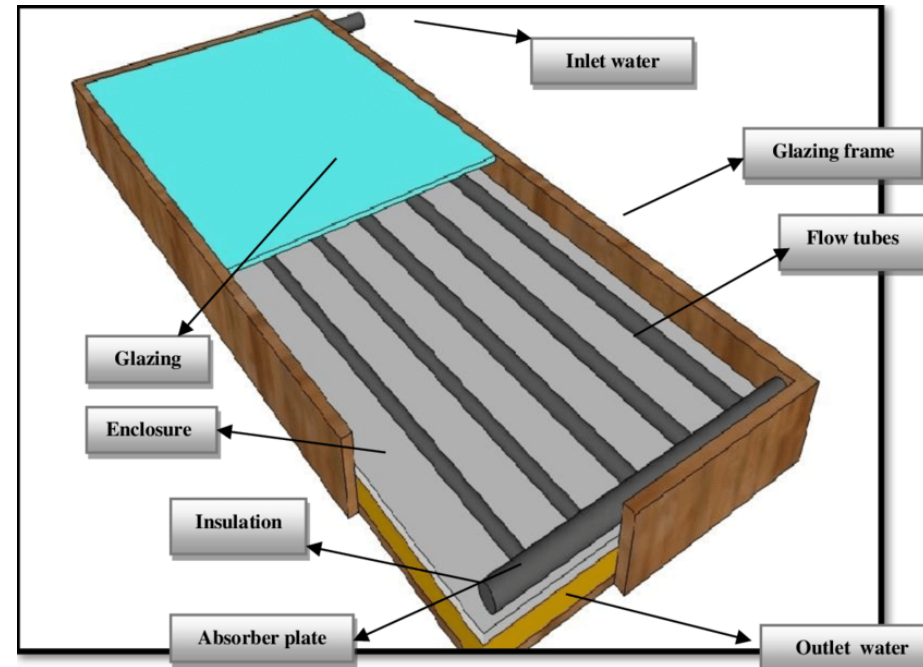
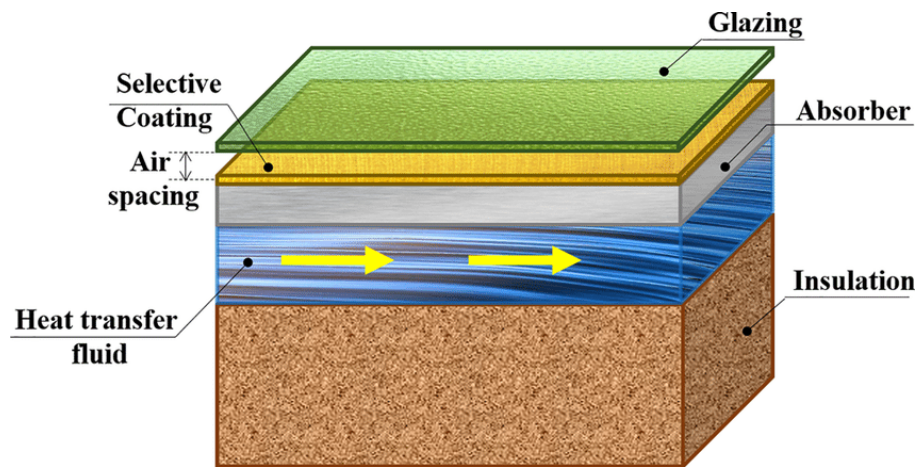
(vi)



(vii)

Επίπεδοι Συλλέκτες

- ▶ Δομή: υάλωση - απορροφητής - σωλήνες - μόνωση
- ▶ Θερμοκρασίες λειτουργίας 30-90 °C



Εξίσωση Απόδοσης

$$\eta = F_R(\tau\alpha) - F_R U_L \frac{(T_m - T_a)}{G}$$

Όπου:

- η : στιγμιαία απόδοση συλλέκτη (-)
- F_R : συντελεστής ανάκτησης θερμότητας (-)
- $(\tau\alpha)$: γινόμενο διαπερατότητας υάλωσης και απορροφητικότητας απορροφητή (-)
- U_L : συνολικός συντελεστής θερμικών απωλειών (W/m^2K)
- T_m : μέση θερμοκρασία ρευστού συλλέκτη ($^{\circ}C$)
- T_a : θερμοκρασία περιβάλλοντος ($^{\circ}C$)
- G : προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στην επιφάνεια του συλλέκτη (W/m^2)

Σωληνωτοί Κενού

- ▶ Υψηλός περιορισμός απωλειών → T ως 150 °C
- ▶ Heat pipe ή U-tube



Πηγή: Suad Hassan Danook et al., IET Renewable Power Generation (2022)

Συγκεντρωτικοί Συλλέκτες

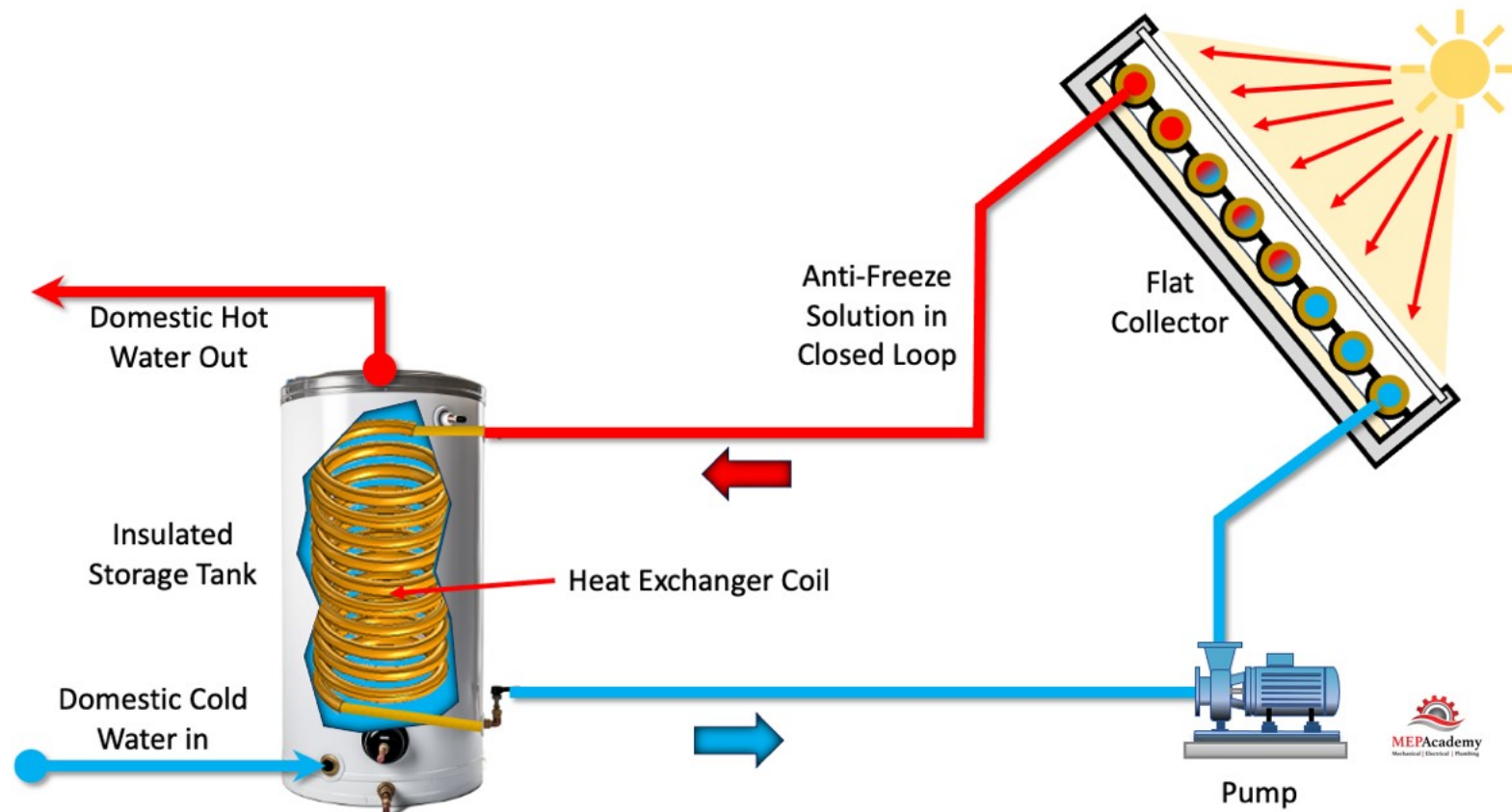
- ▶ CPC, παραβολικοί, ηλιοστατικοί
- ▶ Για $T > 150 \text{ }^{\circ}\text{C}$



Πηγή: Wikipedia - “Parabolic trough”, CC BY-SA 3.0

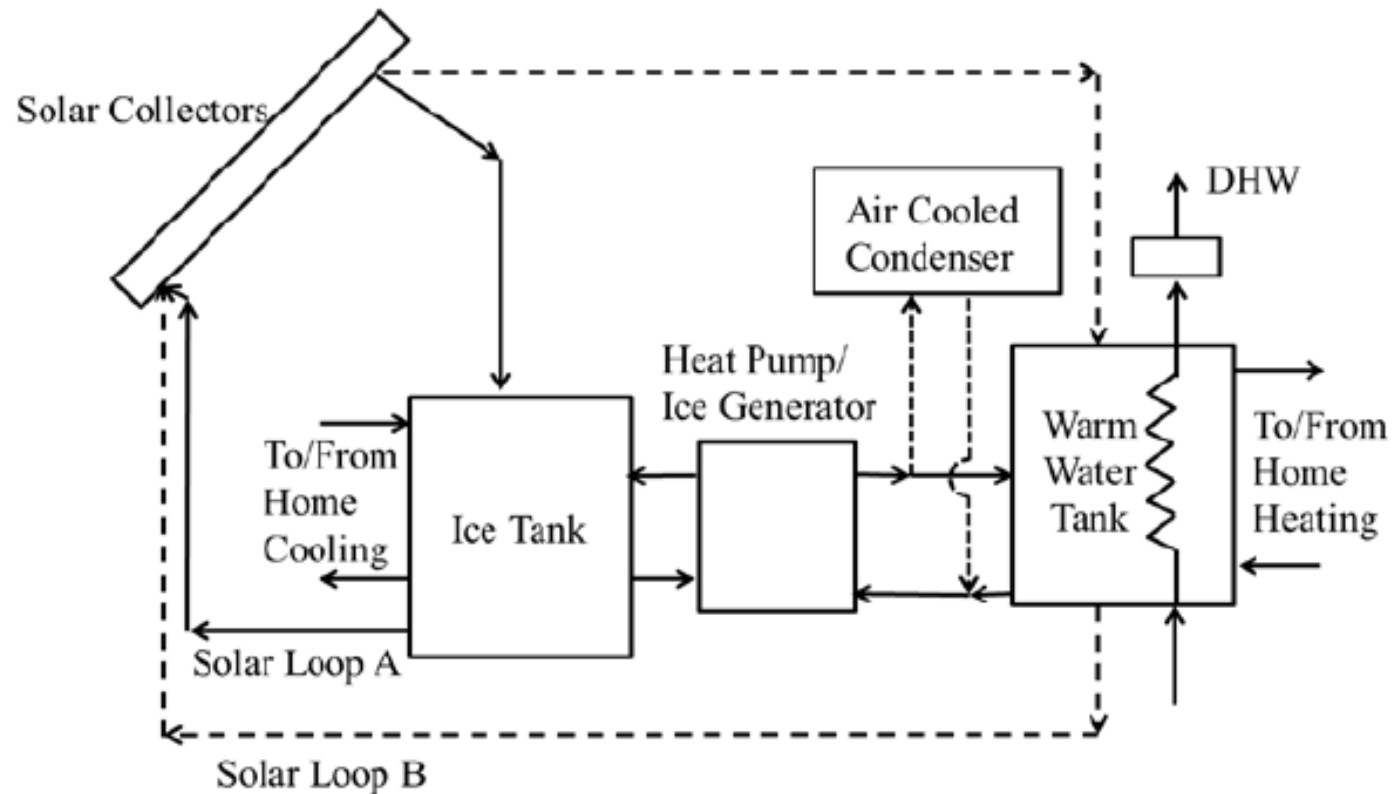
Αποθήκευση Θερμότητας

- ▶ Νερό (αισθητή) ή PCM (λανθάνουσα)
- ▶ $Q = m c \Delta T$
- ▶ Δεξαμενές στρωμάτωσης



Υδραυλικά Κυκλώματα

- ▶ Ανοικτό / κλειστό, φυσική / αναγκαστική ροή
- ▶ Εναλλάκτης, αντλία, δοχείο διαστολής

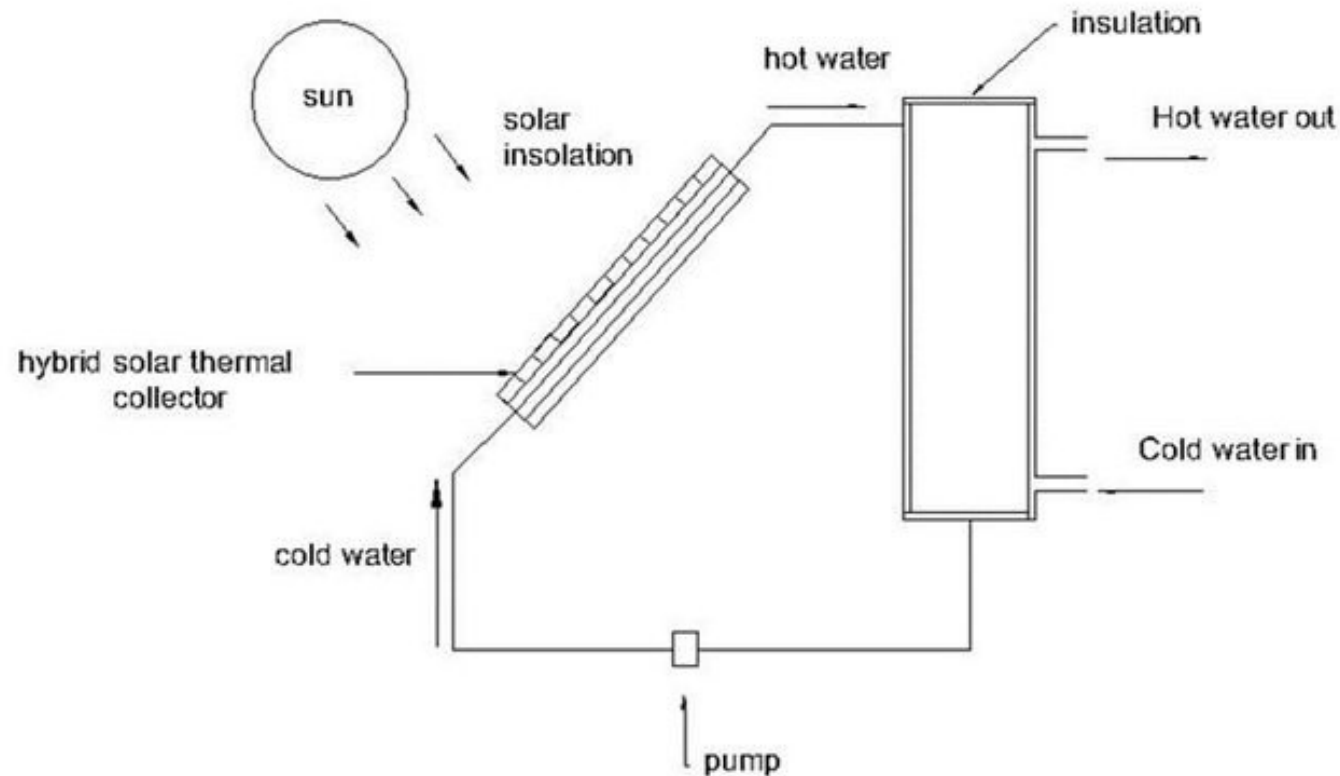


Έλεγχοι και Αυτοματισμοί

- ▶ Διαφορικός θερμοστάτης ($\Delta T_{on/off}$)
- ▶ Αισθητήρες T_{col} , T_{tank}

Διαστασιολόγηση ΖΝΧ

- ▶ Κατανάλωση νερού $L/day \times \Delta T$
- ▶ Απόδοση συλλέκτη η
- ▶ Εμβαδόν $A_{col} = Q_{load} / (\eta G)$



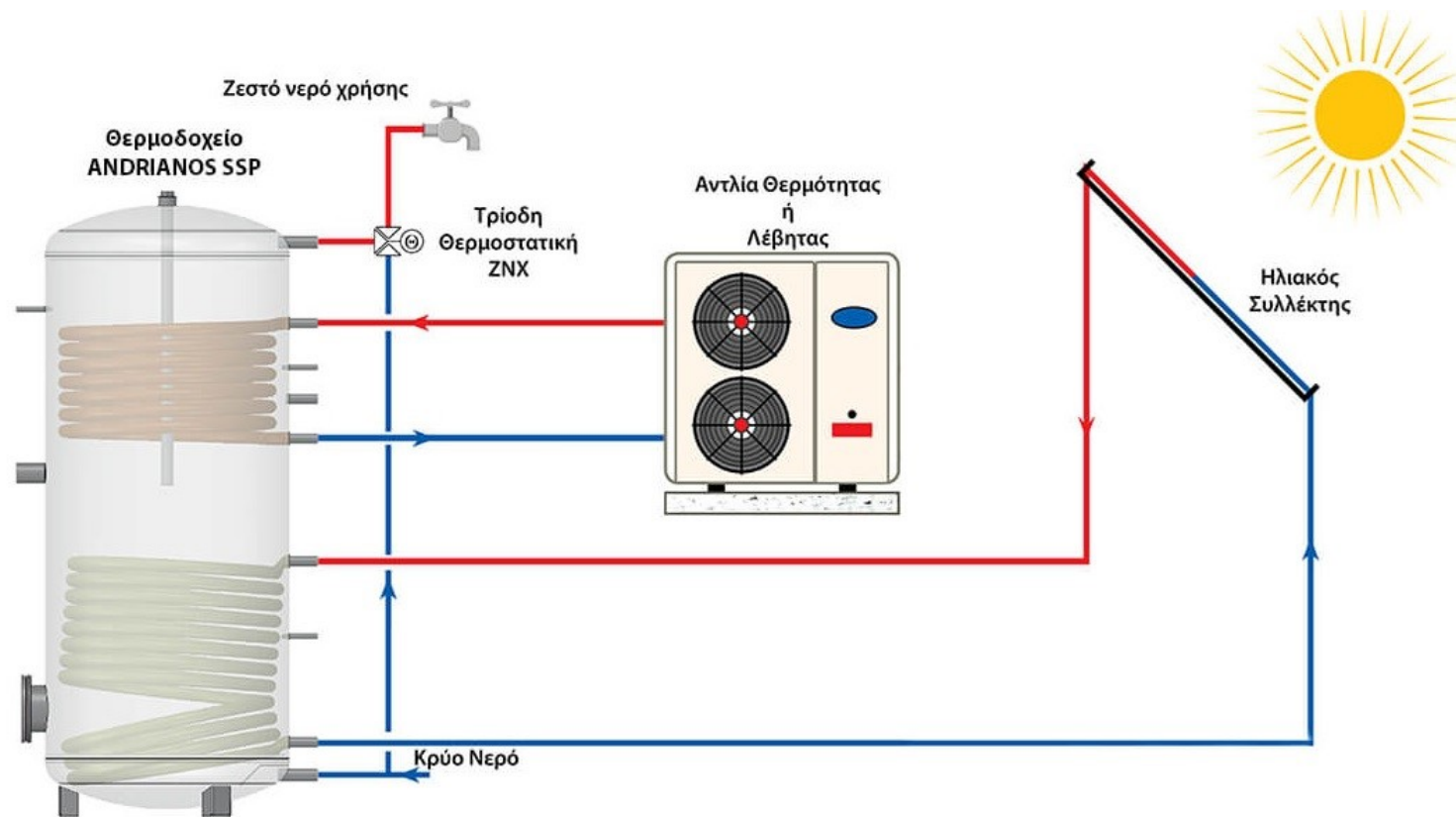
Πηγή: Saurabh A. et al., ResearchGate 2020, CC BY 3.0

Κλιματικά Δεδομένα Αθήνας

- ▶ Μέση ακτινοβολία $1700 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{έτος}$
- ▶ $G_{\text{Tilt}} \approx 1800 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{έτος}$ ($\beta = 30^\circ$)

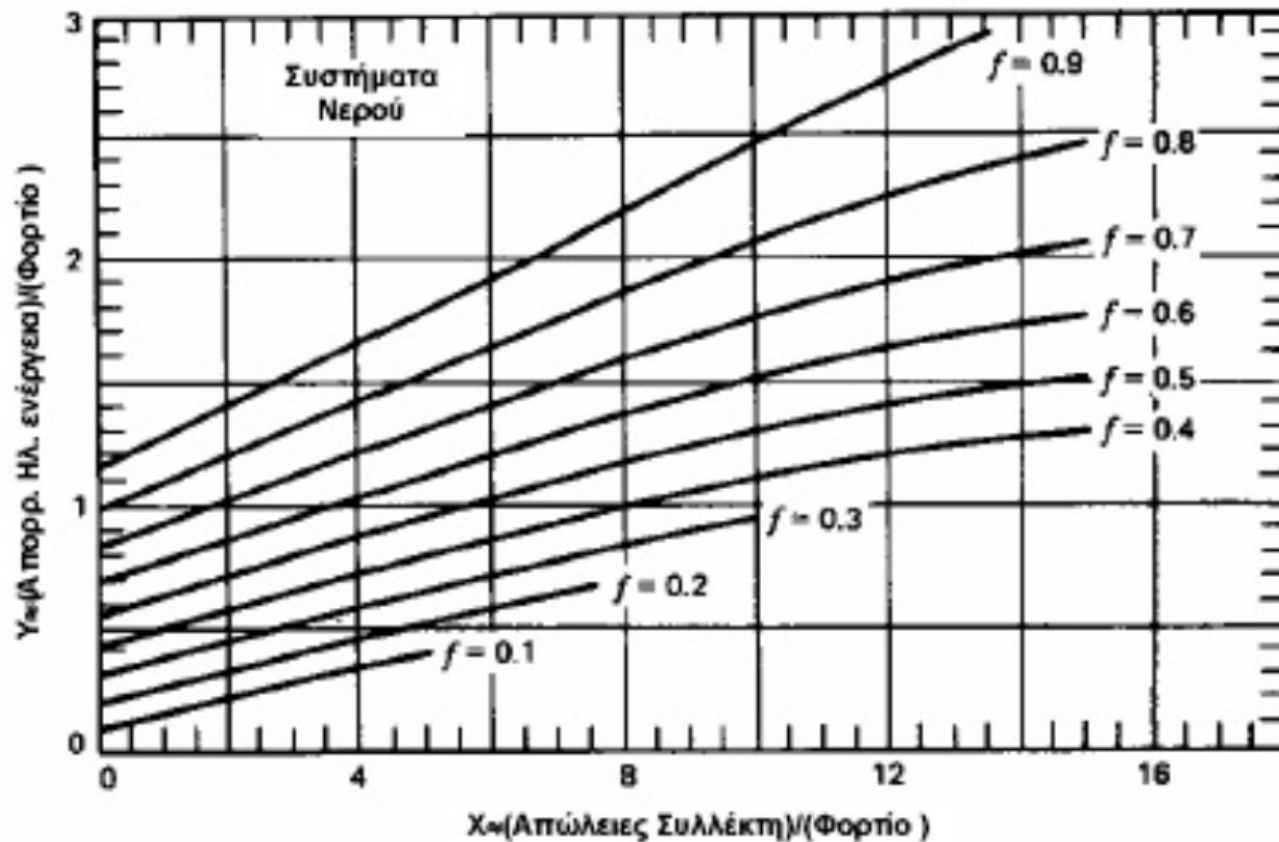
Δοχείο Αποθήκευσης

- ▶ 40-70 L/m² συλλέκτη
- ▶ Στρωμάτωση, μόνωση $\lambda \leq 0.035$ W/mK



Μέθοδος f-chart

- ▶ Εκτίμηση κάλυψης ηλιακής ενέργειας
- ▶ Εμπειρική σχέση $f = a + b X + c Y$



Εφαρμογές ZNX

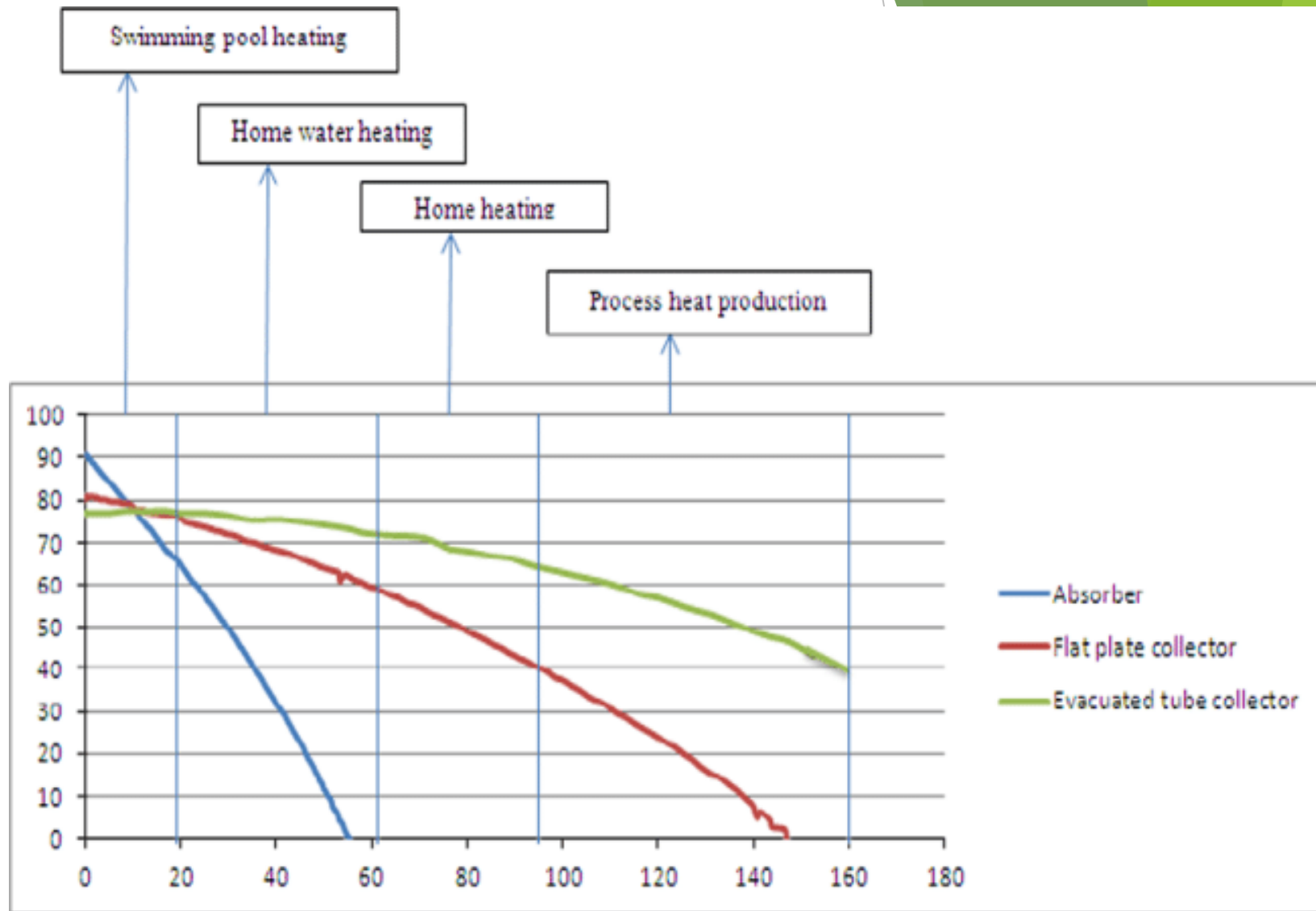
- ▶ Οικιακές / ξενοδοχειακές εγκαταστάσεις
- ▶ Συνδυασμός με Α/Θ ή λέβητα

Θέρμανση Χώρου

- Θερμοκρασίες χαμηλής βαθμίδας
- Ενδοδαπέδια συστήματα

- Σε μικρή διαφορά θερμοκρασίας (π.χ. θέρμανση πισίνας), ο απλός απορροφητής έχει υψηλή απόδοση.
- Όσο αυξάνεται η απαιτούμενη θερμοκρασία (π.χ. ΖΝΧ, θέρμανση κατοικίας, βιομηχανική θερμότητα), η απόδοση των απλών συλλεκτών πέφτει έντονα.
- Οι συλλέκτες κενού διατηρούν υψηλή απόδοση σε μεγάλες θερμοκρασιακές διαφορές.

η



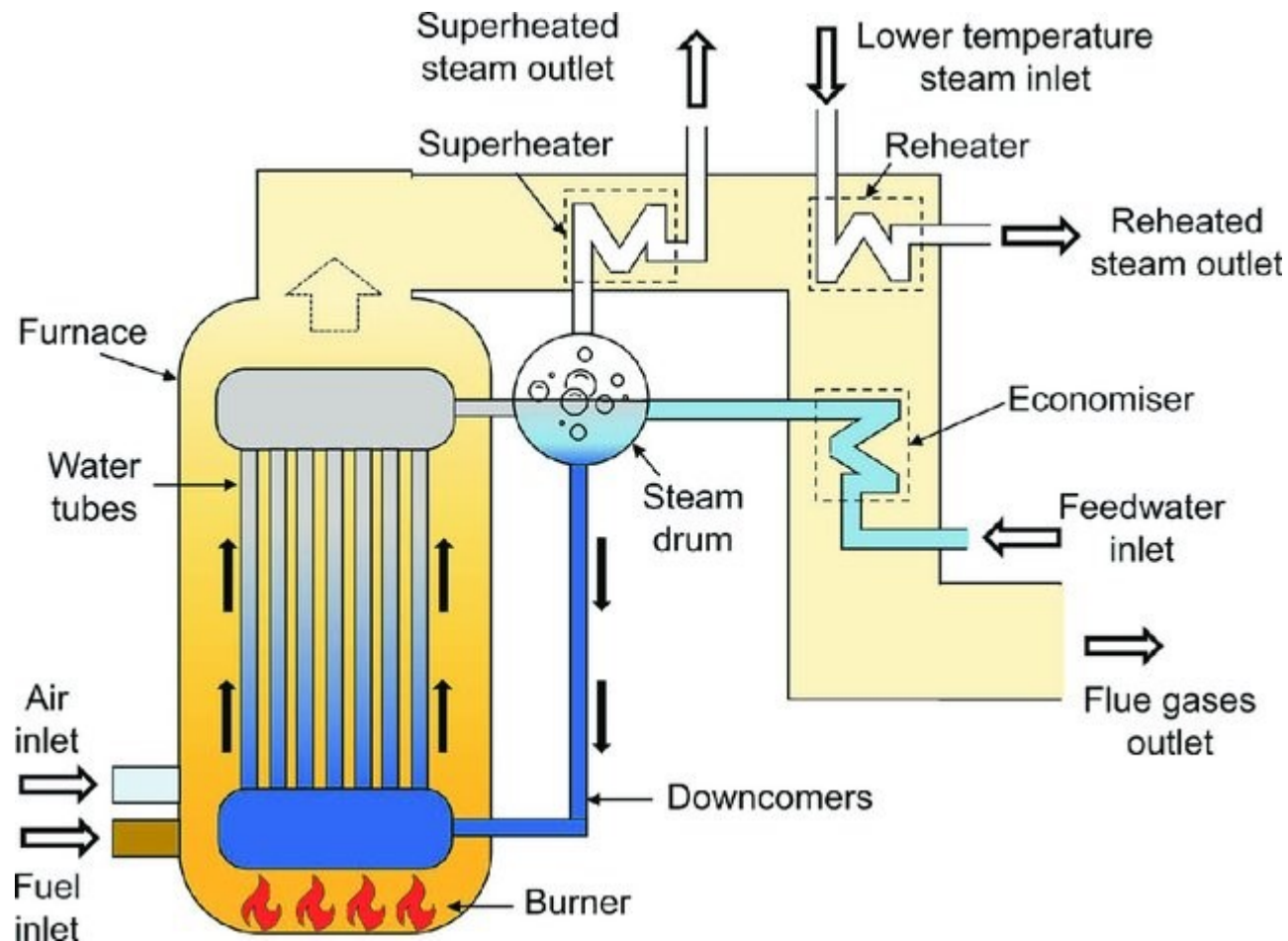
$$\Delta T = T_{\text{fluid}} - T_{\text{ambient}}$$

Βιομηχανικές Διεργασίες

- ▶ Θέρμανση νερού διεργασιών (60-120 °C)
- ▶ Ηλιοθερμική ψύξη με απορρόφησης (LiBr-H₂O)

Κόστος & Συντήρηση

- ▶ Κόστος $\approx 400-700 \text{ €/m}^2$
- ▶ Συντήρηση / καθαρισμός / έλεγχοι παγώματος



Πηγή: De la Cruz I.,
Ugalde-Loo C.E.,
“Solar collector
system”, CC BY 3.0

Πρότυπα & Πιστοποίηση

- ▶ EN 12975, ISO 9806, EN 12976
- ▶ Solar Keymark

Συχνά Σφάλματα

- ▶ Ανεπαρκής μόνωση, σκιάσεις, μικρή κλίση
- ▶ Κακή επιλογή δοχείου

Άσκηση

- ▶ Οικογένεια 4 ατόμων,
- ▶ ΖΝΧ = 50 L/άτομο/ημέρα στους 45 °C
- ▶ $T_{in} = 15$ °C,
- ▶ στόχος 70 % κάλυψης,
- ▶ $G = 1700$ kWh/m²,
- ▶ $\eta = 0.45$

Ποια είναι η απαιτούμενη επιφάνεια ηλιακού συλλέκτη?

Λύση

- ▶ $Q_{\text{day}} = m c \Delta T = 200 \times 4.186 \times 30 = 25\,116 \text{ kJ} \approx 6.98 \text{ kWh}$
- ▶ $Q_{\text{year}} = 6.98 \times 365 = 2547 \text{ kWh}$
- ▶ $Q_{\text{solar}} = 0.70 \times 2547 = 1783 \text{ kWh}$
- ▶ $A_{\text{col}} = 1783 / (0.45 \times 1700) = 2.33 \text{ m}^2$
- ▶ Επιλογή 2.5-3 m² συλλεκτών, $V_{\text{tank}} \approx 150 \text{ L}$

Σύνοψη

- ▶ Τεχνολογίες και αρχές σχεδιασμού
- ▶ Μεθοδολογία διαστασιολόγησης
- ▶ Εφαρμογές και παραδείγματα

Βιβλιογραφία

- ▶ Duffie J.A., Beckman W.A., Solar Engineering of Thermal Processes, Wiley, 2013.
- ▶ Kalogirou S., Solar Energy Engineering, Elsevier, 2014.
- ▶ ΚΑΠΕ, Τεχνικός Οδηγός Ηλιοθερμικών Συστημάτων, Αθήνα, 2020.
- ▶ EN ISO 9806, 2017.
- ▶ IEA SHC Task 49, Solar Process Heat, 2016.
- ▶ Solar Heat Europe, Market Report, 2022.
- ▶ Duffie & Beckman datasets - TRNSYS f-chart method.
- ▶ Viessmann Technical Brochures, 2021.
- ▶ Solar Keymark Network Guidelines, 2018.
- ▶ PVGIS - EU JRC Database, 2023.