

Ηλιοθερμικά Συστήματα



Γ. ΒΙΣΚΑΔΟΥΡΟΣ

Ηλεκτρονικός Μηχανικός & Μηχανικός Η/Υ, M.Eng, Phd

Ήλιος

- Οι περισσότερες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας προέρχονται άμεσα ή έμμεσα από τον ήλιο
- Ήλιος
- Ήλιος → Άνεμος
- Ήλιος + Άνεμος → Εξάτμιση
- Ήλιος+Νερό → Βλάστηση
- Γεωθερμία
- Ενέργεια των κυμάτων και παλίρροιας



Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

- Υδατόπτωση
- Θαλάσσια Κύματα - Ρεύματα
- Γεωθερμία
- Βιομάζα
- Αιολικά συστήματα, 2015: Παγκοσμ.: 282 GW,
Ευρώπη: 106 GW
Ελλάς: 1,75 GW
- Ηλιακά
 - Ηλιοθερμικά
 - Θερμικά εργοστάσια
 - ΦΒ συστήματα



ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

- Χαρακτηρίζεται το σύνολο των διαφόρων μορφών ενέργειας που προέρχονται από τον Ήλιο. Τέτοιες είναι το **φως** ή **φωτεινή ενέργεια**, η **θερμότητα** ή **θερμική ενέργεια** καθώς και **διάφορες ακτινοβολίες** ή **ενέργεια ακτινοβολίας**.
- 16,17 ΜΑΙΟΥ- Ευρωπαϊκή ημέρα Ήλιου.

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ:

Μεγάλη ποσότητα.

Χαμηλό κόστος

Δεν ρυπαίνει το περιβάλλον

ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ:

Μικρή πυκνότητα ενέργειας(ποσότητα ανά μονάδα επιφάνειας)

Πρόβλημα αποθήκευσης ενέργειας σε μεγάλες ποσότητες.

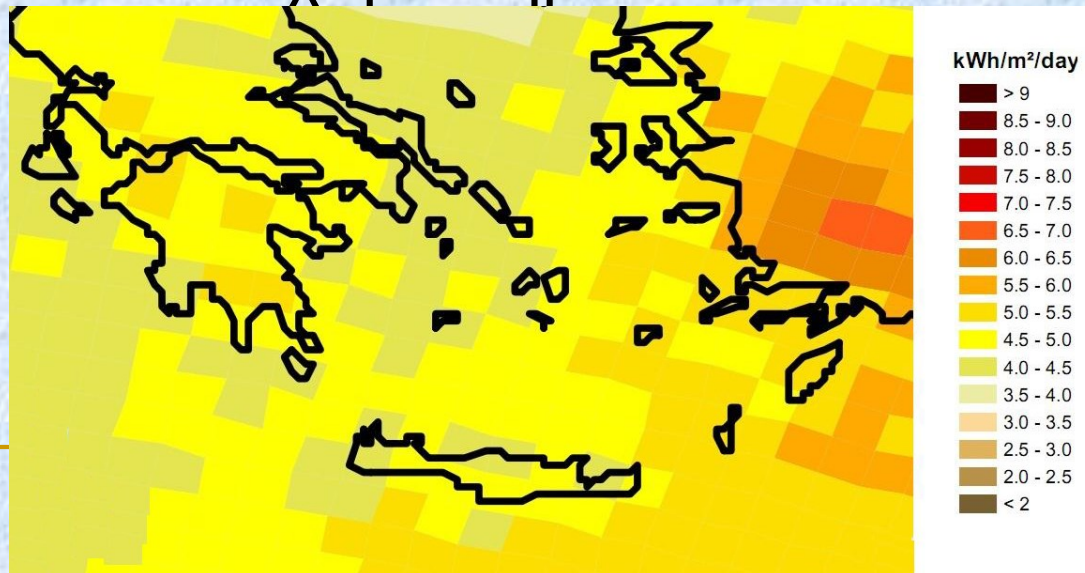


Μορφές των ΑΠΕ - Ηλιακή Ενέργεια

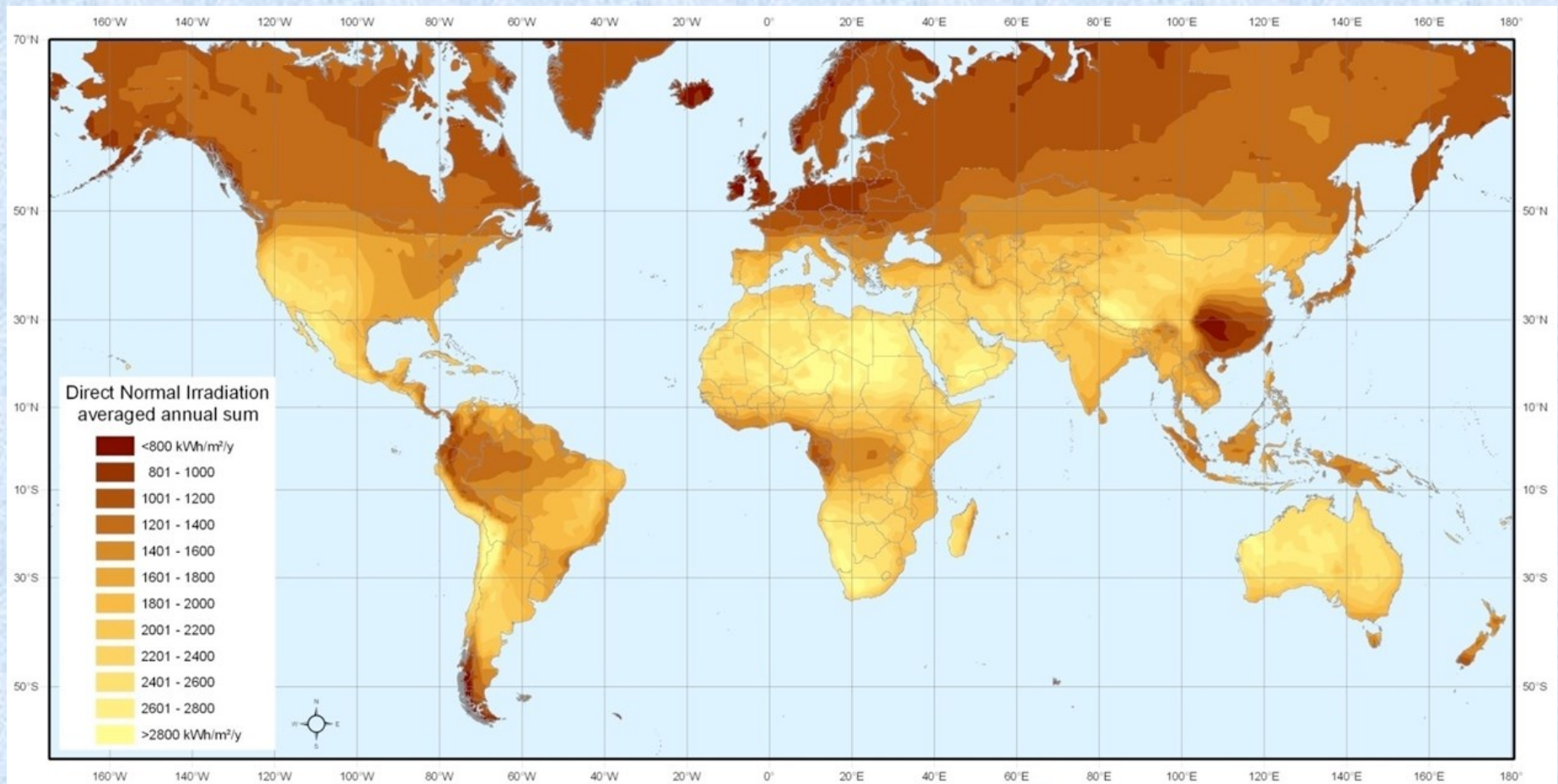
- ✓ **Ηλιακή Ενέργεια:** αξιοποιείται μέσω διάφορων τεχνολογιών που εκμεταλλεύονται τόσο τη θερμότητα όσο και τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα του ήλιου. Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας, διακρίνονται σε:
 - **Θερμικά Ηλιακά Συστήματα**
 - **Παθητικά Ηλιακά και Υβριδικά Συστήματα**
 - **Φωτοβολταϊκά Ηλιακά Συστήματα**

Ηλιακό Δυναμικό

- ❑ Αμεση ακτινοβολία, DNI (Direct Normal Irradiation) : προσπίπτει κάθετα στην επιφάνεια του συλλέκτη και ονομάζεται
- ❑ Μέγεθος με σημαντική μεταβλητότητα ακόμα και μεταξύ γειτονικών περιοχών
- ❑ Επηρεάζεται από μετεωρολογικές συνθήκες με έντονα τοπικά χαρακτηριστικά.

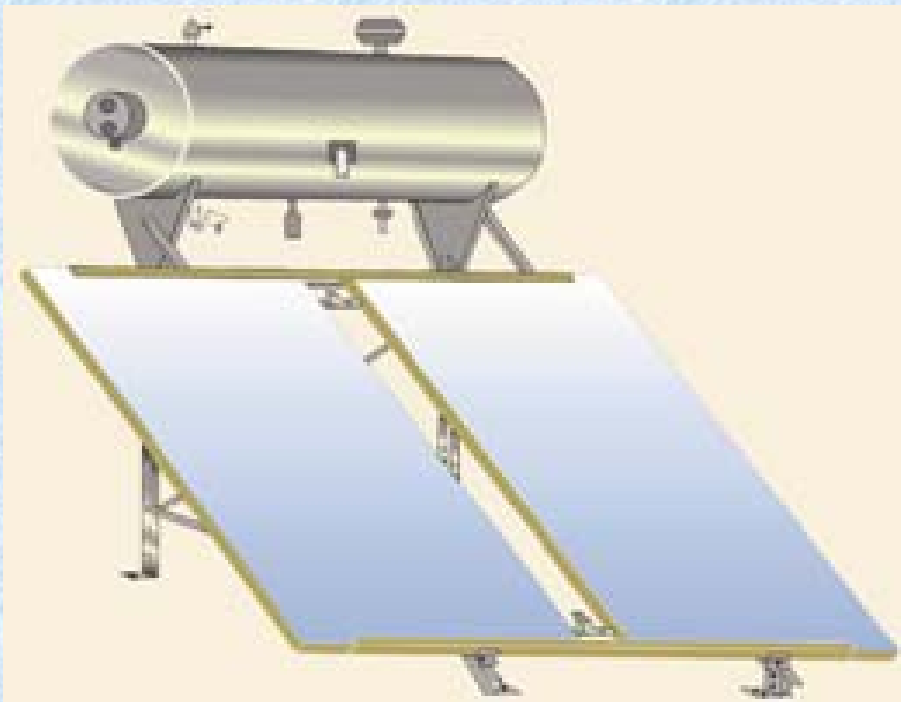


Ηλιακό Δυναμικό



Μορφές των ΑΠΕ

- **Θερμικά Ηλιακά Συστήματα:** μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε θερμότητα



Θερμικά Ηλιακά Συστήματα

- Συστήματα που μετατρέπουν την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία σε χρήσιμη θερμότητα
- Υπάρχουν τρεις γενικές κατηγορίες συστημάτων, ανάλογα με την παραγόμενη θερμοκρασία:
 - Συστήματα χαμηλών θερμοκρασιών ($<80^{\circ}\text{C}$)
 - Συστήματα μέσων θερμοκρασιών ($<200^{\circ}\text{C}$)
 - Συστήματα υψηλών θερμοκρασιών ($>200^{\circ}\text{C}$)

Θερμικά Ηλιακά Συστήματα

■ Ενεργητικά συστήματα

- Συστήματα που για την **συλλογή, αποθήκευση και διανομή** της ενέργειας χρησιμοποιούνται βοηθητικές συσκευές για την μεταφορά του αποθηκευτικού ή τελικά θερμαινόμενου ρευστού (κυκλοφορητές, αντλίες, ...)
- π.χ. ηλιοθερμικός συλλέκτης

■ Παθητικά συστήματα

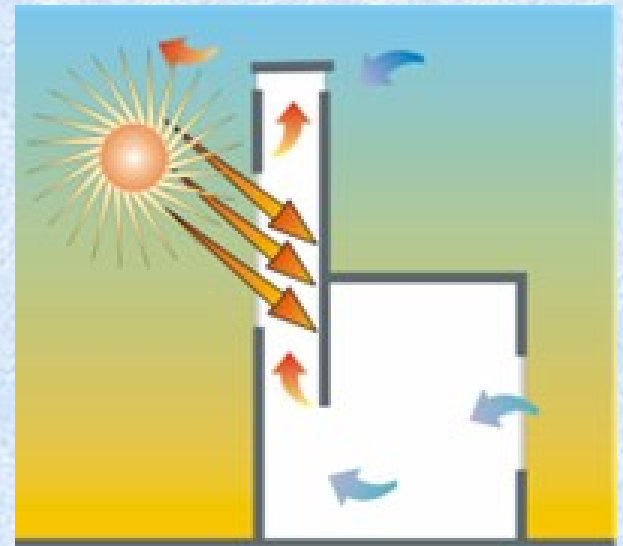
- Συστήματα που για την **συλλογή, αποθήκευση και διανομή** της ενέργειας δεν χρησιμοποιούνται βοηθητικές συσκευές για την μεταφορά του αποθηκευτικού ή τελικά θερμαινόμενου ρευστού
- (π.χ. παράθυρο ή τοίχος Trombe σε ένα κτίριο)

■ Υβριδικά συστήματα

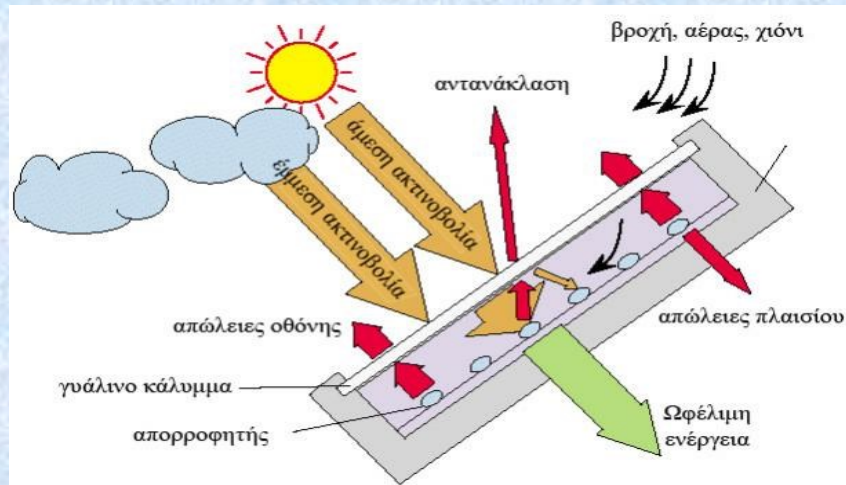
- Συνδυασμός παθητικών και ενεργητικών συστημάτων
- π.χ. ένα κτίριο εφοδιασμένο με παθητικά συστήματα στο οποίο έχουν εγκατασταθεί ηλιακοί συλλέκτες

Μορφές των ΑΠΕ

- **Παθητικά Ηλιακά και Υβριδικά Συστήματα:** αφορούν κατάλληλες αρχιτεκτονικές λύσεις και χρήση κατάλληλων δομικών υλικών για τη μεγιστοποίηση της απ' ευθείας εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας για θέρμανση, κλιματισμό ή φωτισμό



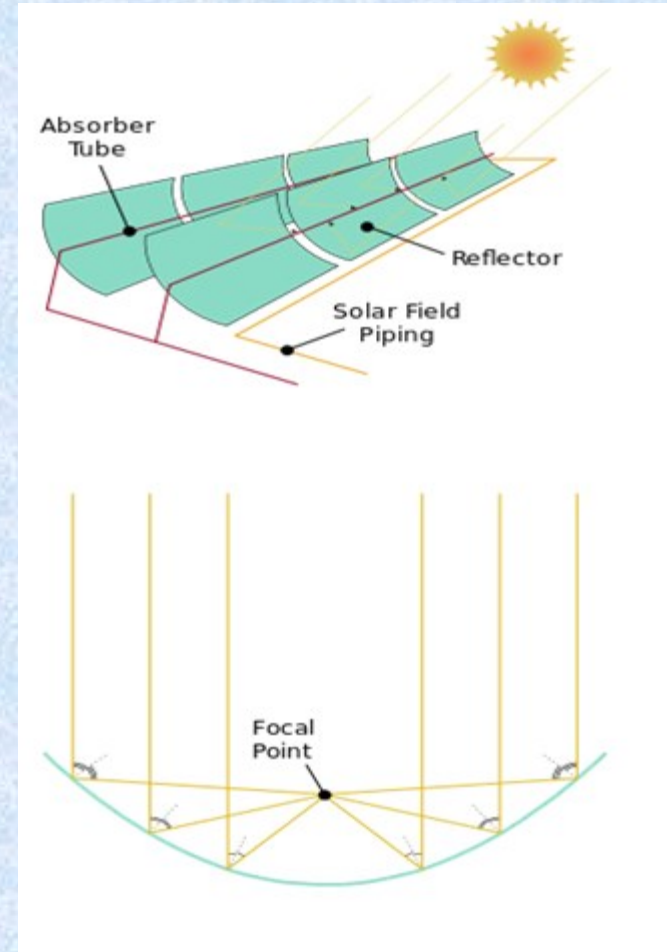
Ενεργητικά Θερμικά Ηλιακά Συστήματα



Επίπεδος Συλλέκτης



Ημισφαιρικός ηλιακός συλλέκτης

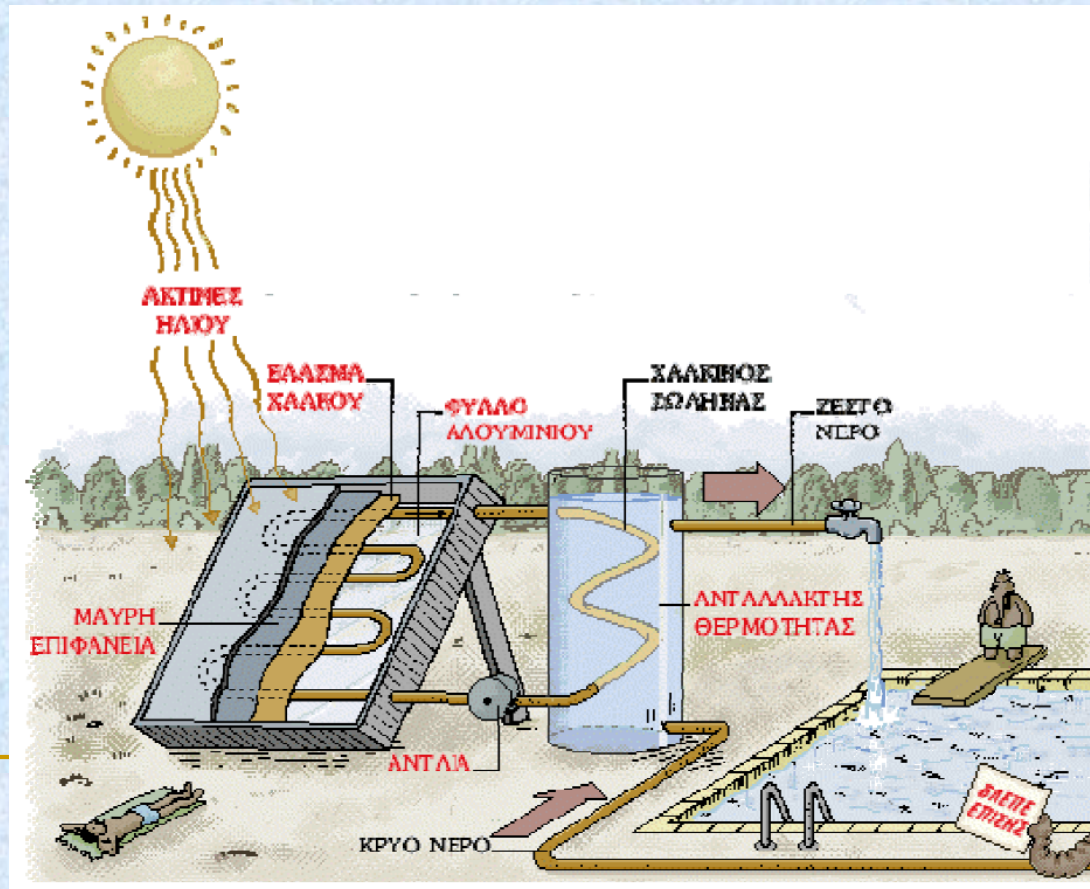


Παραβολικός ηλιακός συλλέκτης

Θερμικά Ηλιακά Συστήματα

■ Τα θερμικά ηλιακά συστήματα χαμηλών θερμοκρασιών αποτελούνται από τρία κύρια τμήματα:

- Τμήμα συλλογής
 - Τμήμα αποθήκευσης
 - Τμήμα διανομής
- διαχείρισης



Επίπεδοι Συλλέκτες

- Η αρχή λειτουργίας του επίπεδου συλλέκτη (φαινόμενο του θερμοκηπίου):
 - Η διαπερατότητα της γυάλινης κάλυψης στην ηλιακή ακτινοβολία, που θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μεγαλύτερη
 - Η απορροφητικότητα της πλάκας στην ηλιακή ακτινοβολία, που θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μεγαλύτερη
 - Ο συντελεστής μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολίας της πλάκας, που θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μικρότερος
 - Η διαπερατότητα της γυάλινης κάλυψης στην μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία, που θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μικρότερη

Επίπεδοι Συλλέκτες

Χαρακτηριστικά ηλιακών συλλεκτών

- **Οπτική απόδοση:** Επηρεάζεται από το είδος του υαλοπίνακα
- **Θερμοκρασία ακινησίας:** Είναι η θερμοκρασία του απορροφητή όταν δεν παρέχεται θερμότητα στο συλλέκτη. Ο καθορισμός της μέγιστης θερμοκρασίας ακινησίας καθορίζει το χρόνο ζωής του συλλέκτη
- **Πτώση πίεσης:** Παράγοντας που καθορίζει την ενέργεια που απαιτείται για τη λειτουργία αντλιών, κλπ. σε μεγάλες εγκαταστάσεις συλλεκτών

Επίπεδοι Συλλέκτες

- Βελτίωση χαρακτηριστικών συλλέκτη
 - Αύξηση της οπτικής απόδοσης με χρήση κατάλληλου υαλοπίνακα (μείωση ανακλαστικότητας)=4% αύξηση.
 - Μείωση απωλειών θερμικής ακτινοβολίας με χρήση κατάλληλων υλικών (οι θερμικές απώλειες είναι τα 2/3 των συνολικών απωλειών) ή με χρήση διπλού υαλοπίνακα (μείωση της οπτικής απόδοσης).
 - Χρήση πλαϊνών ανακλαστήρων (απλή και οικονομική λύση). Μπορούν να προκαλέσουν πρόβλημα σκίασης και μη ομοιογενή ηλιακή ακτινοβολία κατά τη διάρκεια της ημέρας).

Επίπεδοι Συλλέκτες

■ Συλλέκτες ανοικτού-κλειστού βρόχου

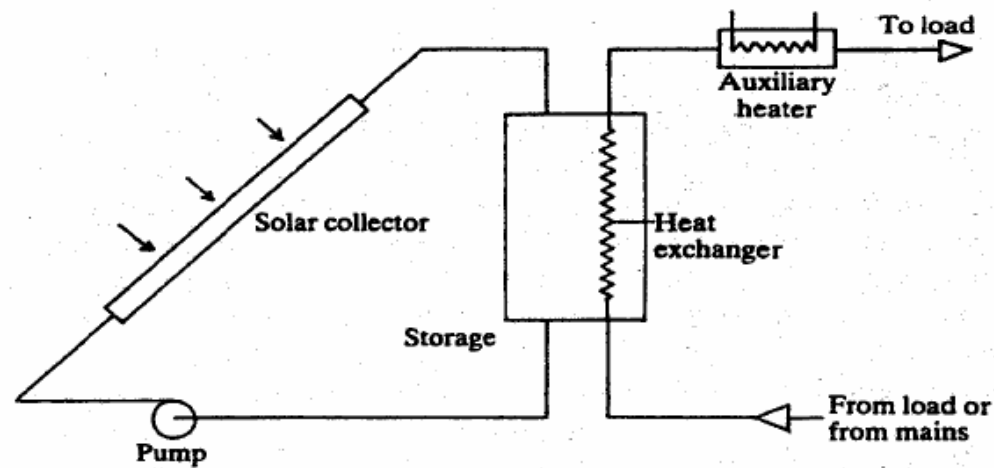
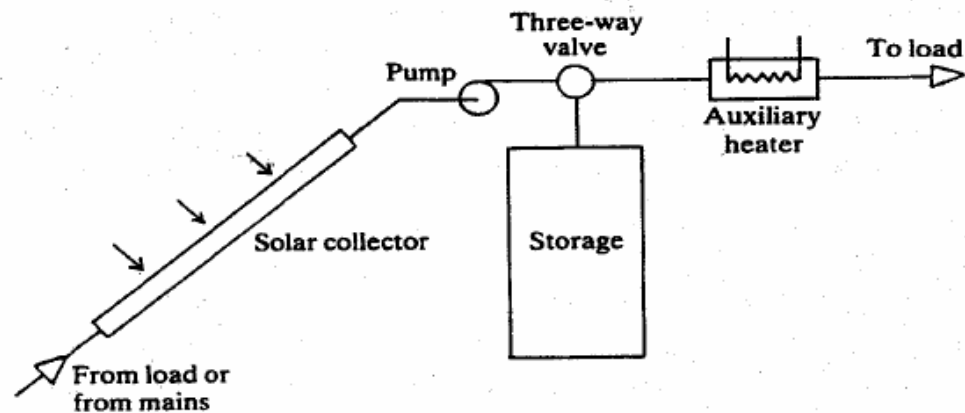
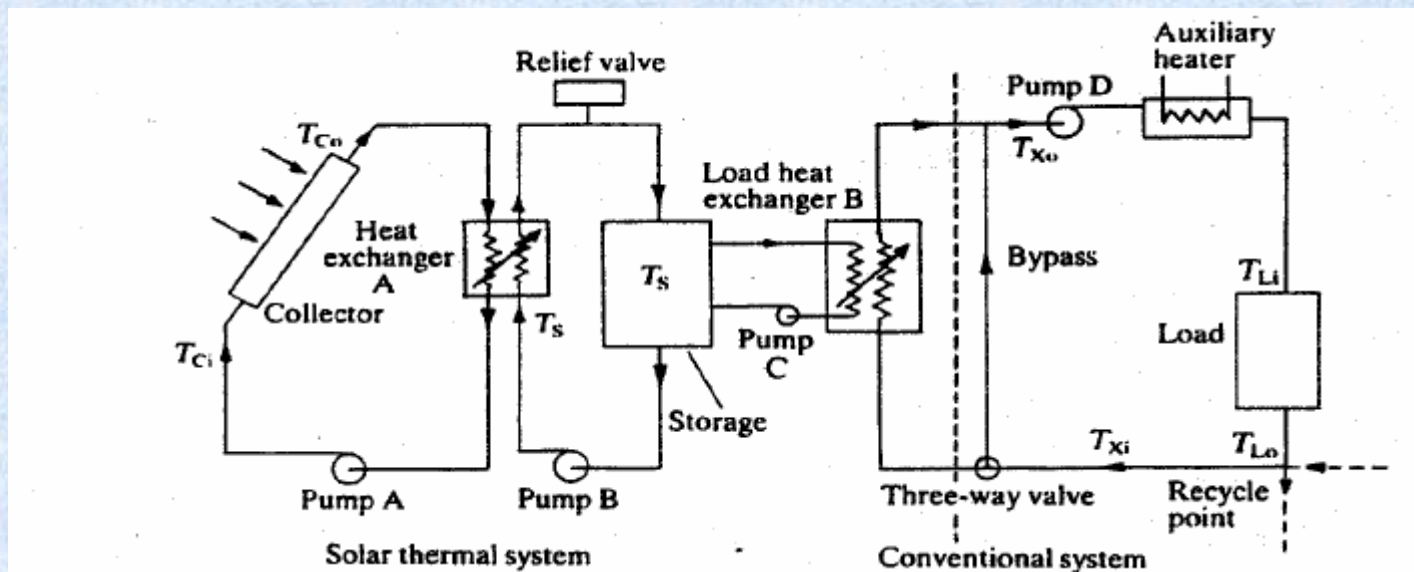


FIGURE 19.16 Schematic of a closed-loop solar system.



Επίπεδοι Συλλέκτες

■ Συλλέκτες κλειστού βρόχου



Ηλιακή Ενέργεια στο παρελθόν

Τα πρώτα ΘΗΣ στις ΗΠΑ



Ηλιακός θερμοσίφωνας, Ramona Valley 1911

Ηλιακή θέρμανση πισίνας

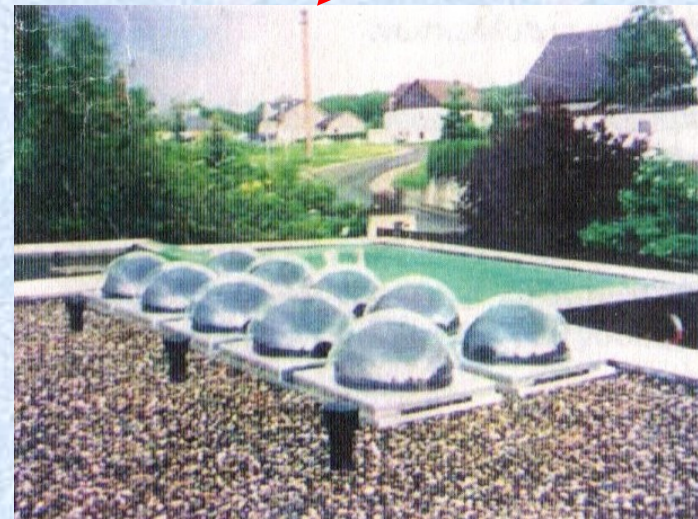
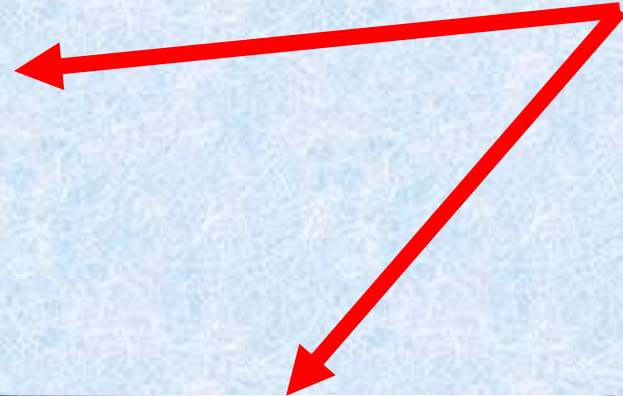


Ηλιακοί συλλέκτες

Ημισφαιρικοί Συλλέκτες



Ηλιακοί συλλέκτες



Η αγορά των ΘΗΣ

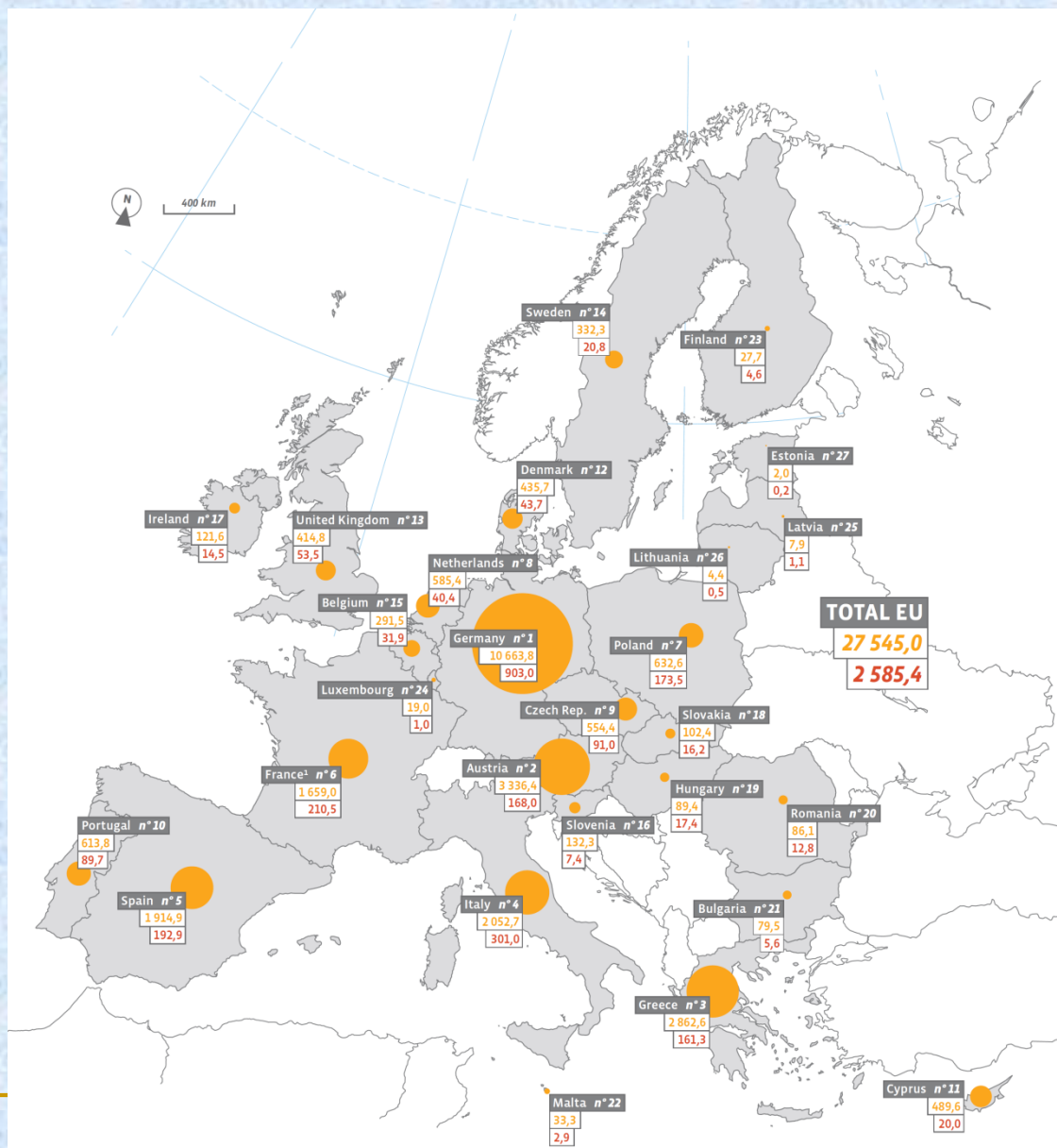
- Η Ελλάδα κατέχει την 6^η θέση παγκοσμίως σε **απόλυτες τιμές** εγκατεστημένης θερμικής ισχύος από θερμικά ηλιακά συστήματα
- Η Ελλάδα κατέχει τη 3^η θέση στην Ευρώπη και την 4^η παγκοσμίως στην επιφάνεια συλλεκτών εν λειτουργία, αν αυτή **αναχθεί** στον πληθυσμό της



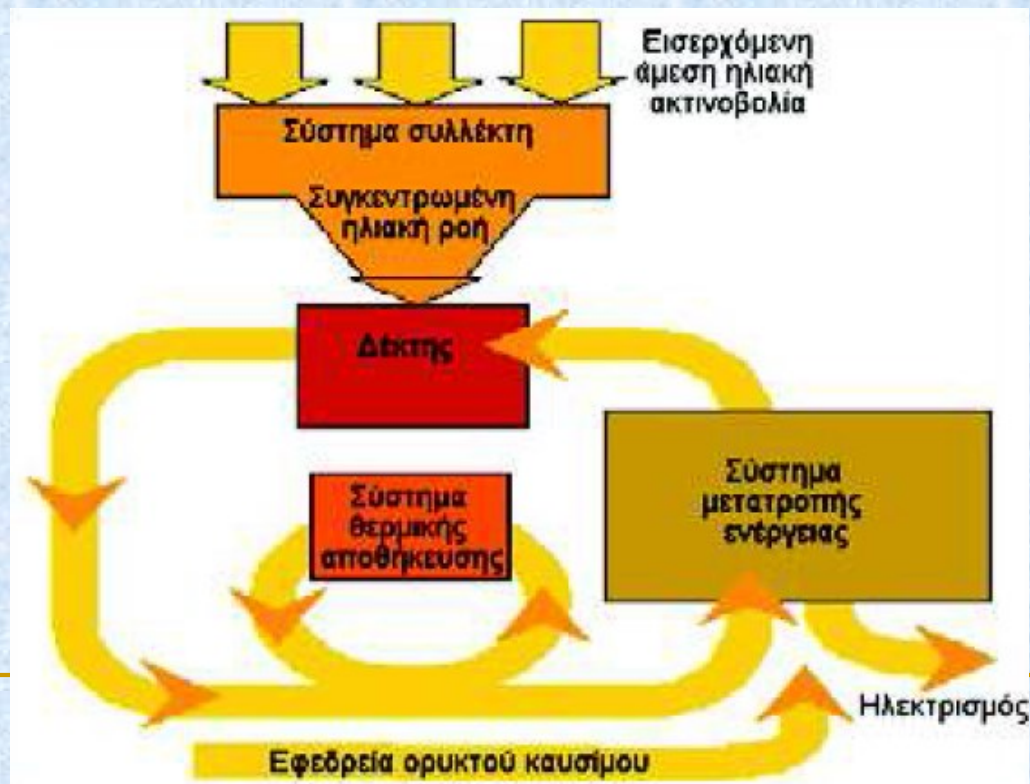
Ηλιακή ενέργεια– Θερμικά Ηλιακά Συστήματα

Συνολική εγκατεστημένη ισχύς
στην ΕΕ-27 στο τέλος του 2011
(MW_{th})

- ✓ Ελλάδα (2010): ~11,3% των εγκατεστημένων συλλεκτών στην ΕΕ-27 (4,086 εκατ. m² – 2860 MW_{th})
- ✓ Greece (2011): ~10,1% των εγκατεστημένων συλλεκτών στην ΕΕ-27 (4,089 εκατ. m² – 2863 MW_{th})



Ηλιοθερμικοί Σταθμοί για παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας

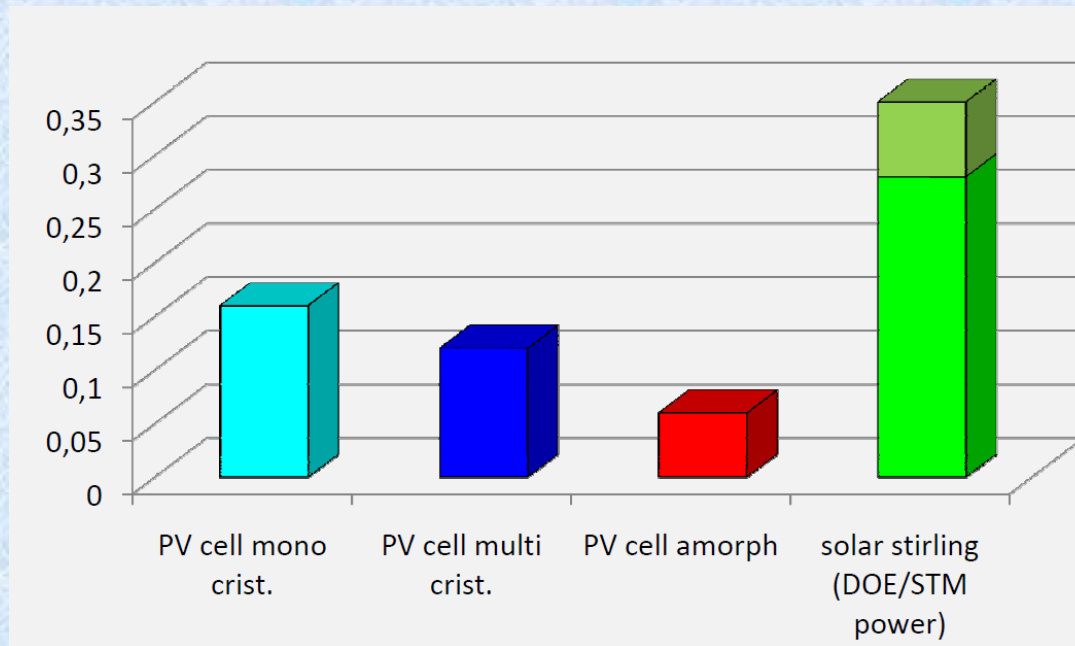


Ηλιοθερμικοί Σταθμοί

- Σε σύγκριση με συμβατικές μονάδες (ορυκτά καύσιμα)
 - Σημαντική μείωση εκπομπών αερίων θερμοκηπίου
 - Μείωση εξάρτησης από εισαγόμενες πρώτες ύλες και μεταβολές των τιμών τους
 - Ενέργεια εξίσου υψηλής ενθαλπίας (υπέρθερμος ατμός) σε **ανταγωνιστικό κόστος**
 - Στην ουσία, η Η/Θ σταθμοί είναι ουσιαστικά θερμικοί σταθμοί βάσης, το μόνο που αλλάζει είναι ο τρόπος παραγωγής του ατμού (με ηλιακή ενέργεια αντί για καύσιμο)
- Σε σύγκριση με φωτοβολταϊκά
 - Σχεδόν μισό κόστος κιλοβατώρας
 - Δυνατότητα **εγγύησης ισχύος** με σύστημα αποθήκευσης ή καύσιμο / βιοκαύσιμο
 - Μικρότερες απαιτήσεις γης ανά εγκατεστημένο κιλοβάτ που όμως απαιτείται πιο ενιαία
- Σε σύγκριση με τα αιολικά
 - Πιο **προβλέψιμη παραγωγή** ενέργειας
 - Μέγιστη δυνατή απορρόφηση από το σύστημα λόγω ταύτισης της διακύμανσης παραγωγής και ζήτησης σε αντίθεση με την απόκλιση υψηλής παραγωγής από άνεμο σε περιόδους χαμηλής ζήτησης (π.χ. νύχτες εκτός των μηνών αιχμής)
 - Ανεξάντλητο και πλούσιο ηλιακό δυναμικό

Ηλιοθερμικοί Σταθμοί

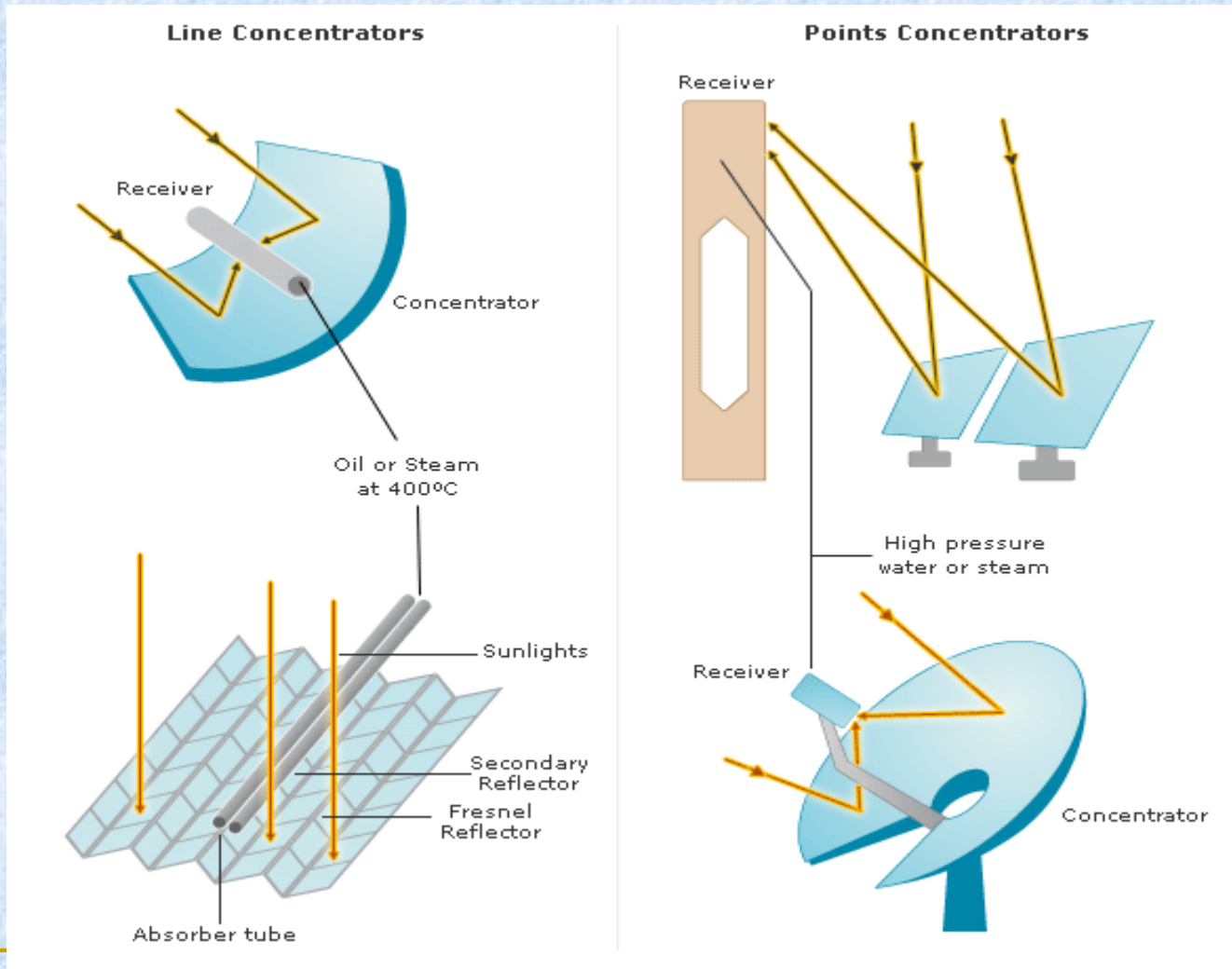
■ Απόδοση Διαφορετικών Τεχνολογιών



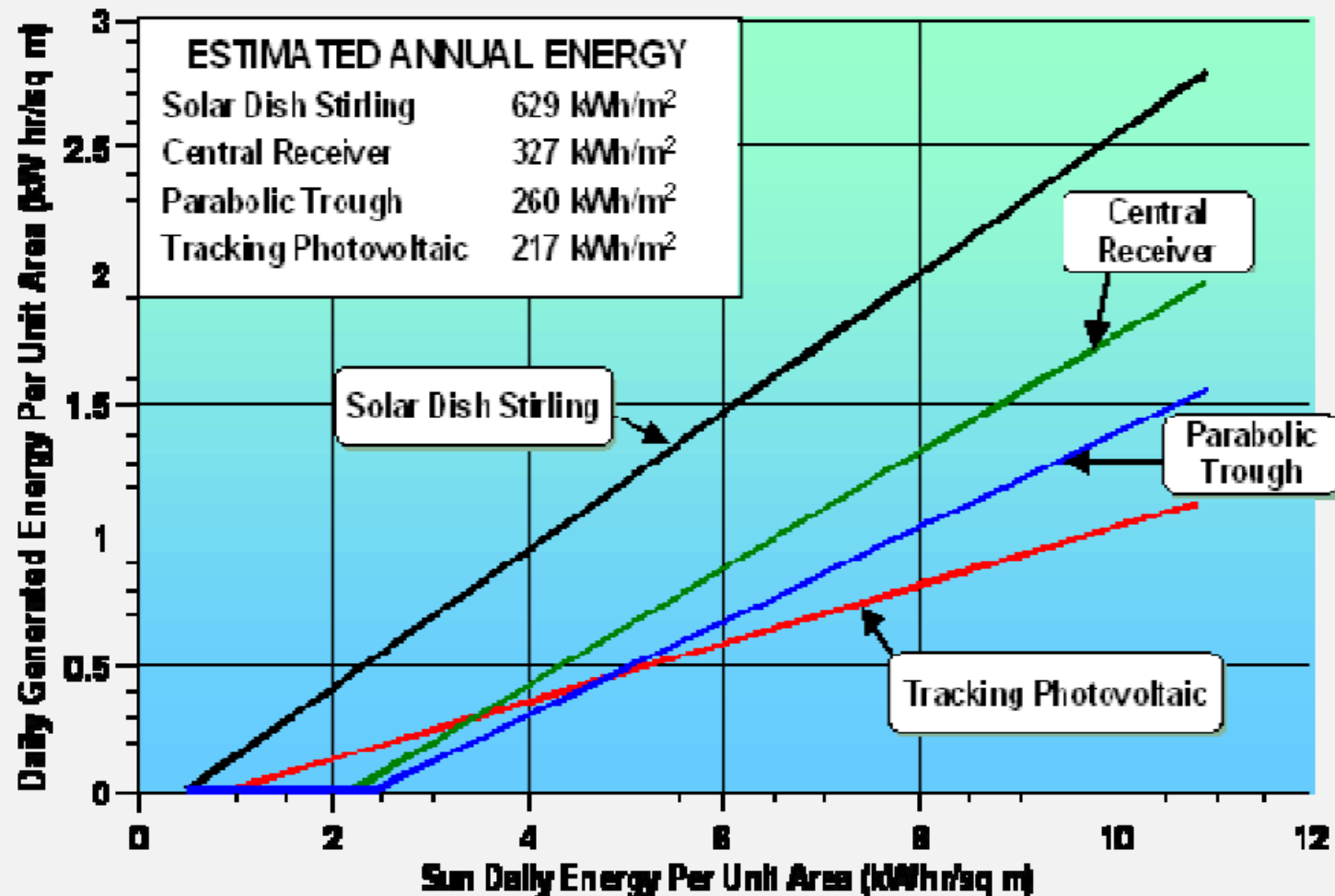
Τα ηλιοθερμικά συστήματα με κάτοπτρα

- Τα ηλιοθερμικά κατοπτρικά συστήματα
θερμαίνουν κάποιο ρευστό σε θερμοκρασίες πάνω από 300 °C, με το οποίο παράγουν ατμό που τον χρησιμοποιούν σε κατάλληλες τουρμπίνες (ατμο-στροβίλους) ώστε να περιστρέψουν ηλεκτρικές γεννήτριες και να παράξουν ηλεκτρισμό.
- Οι εγκαταστάσεις αυτές πρέπει να υποστηρίζονται από σύστημα θερμικής αποθήκευσης του θερμαινόμενου ρευστού για συνεχή αδιάλειπτη λειτουργία.
- Τα συστήματα αυτά είναι :
 - ❑ Ηλιοθερμικοί πύργοι
 - ❑ Ηλιοθερμικά πιάτα
 - ❑ Παραβολικά κατοπτρικά συστήματα (κυλινδροπαραβολικά)

Ηλιοθερμικά συστήματα



Ηλιοθερμικά συστήματα



Source: Southern California Edison and Sandia National Laboratories

Ηλιοθερμικοί Σταθμοί



Ηλιοθερμικό Πιάτο



Γραμμικό fresnel



ANDASOL (Κυλινδροπαραβολικά)

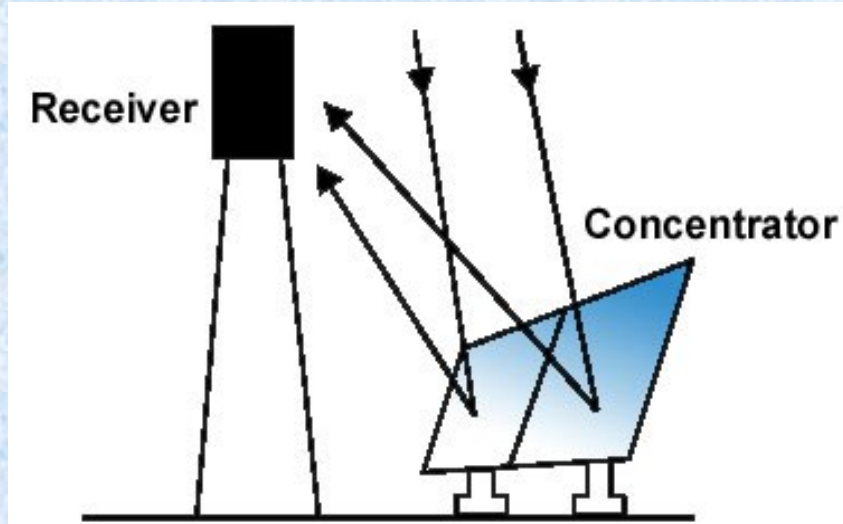


Πύργος

Ηλιοθερμικός Πύργος (Power Tower)



Ηλιοθερμικός Πύργος (Power Tower)



- ❑ Χρησιμοποιούν έναν αριθμό κατόπτρων για να εστιάσουν την ηλιακή ακτινοβολία σε ένα κεντρικό δέκτη όπου περιέχει θερμικό ρευστό
- ❑ Το ρευστό είναι είτε υψηλής θερμοκρασίας συνθετικό λάδι είτε ειδικό αλάτι είτε απλό νερό το οποίο στην συνέχεια χρησιμοποιείται για παραγωγή ηλεκτρικής συνήθως ενέργειας από στροβίλους
- ❑ Η θερμοκρασία του ρευστού μπορεί να φτάσει τους 550°C

Ηλιοθερμικός Πύργος (Παράδειγμα)

- ❑ 110 κάτοπτρα τα οποία καλύπτουν συνολική έκταση 1100 m^2 .
- ❑ Συνολικό ύψος 15 m
- ❑ Κατασκευή : μεταλλική
- ❑ Στην κορυφή υπάρχει ένα μεταλλικό ντεπόζιτο
 - είναι εγκατεστημένος ο μηχανισμός συσσώρευσης της ηλιακής ακτινοβολίας.
 - Και το σύστημα αποθήκευσης της θερμότητας.

Ηλιοθερμικός Πύργος (Power Tower)



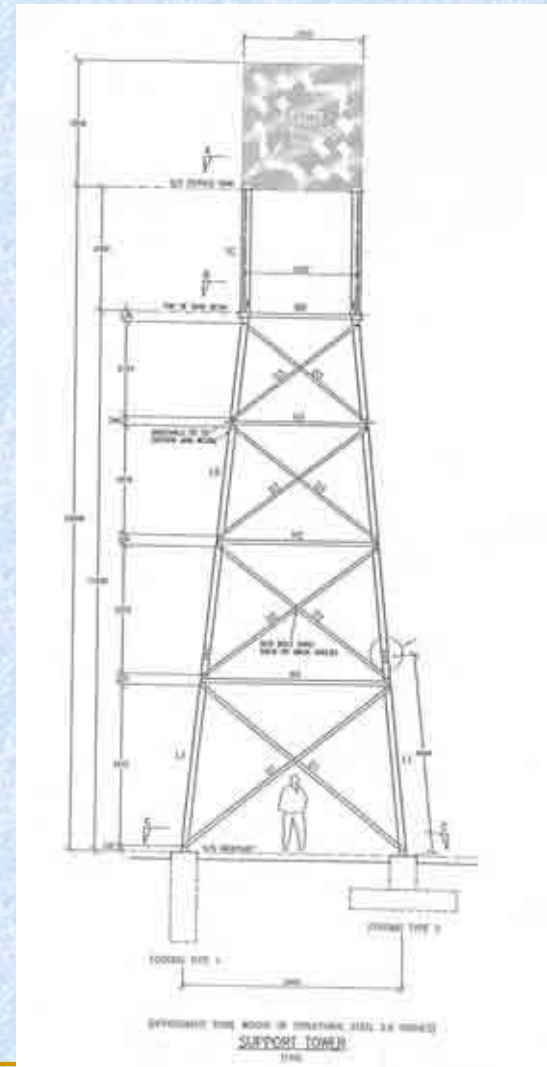
Κάτοπτρο (Μπροστά – Πίσω) με
βάση στήριξης, πέδιλο και μηχανισμό
κίνησης



Ηλιοθερμική μονάδα υπό κατασκευή

Ηλιοθερμικός Πύργος (Power Tower)

- Πύργος
 - Μεταλλική κατασκευή
 - Συνολικό ύψος 15 m
 - Εδράζεται σε τσιμεντένιο πέδιλο βάθους 1m
 - Εξωτερική επένδυση με τοπική πέτρα σε όλο του το ύψος ώστε να μειωθούν οι επιπτώσεις στο τοπίο από την παρουσία τους.



Ηλιοθερμικός Πύργος Ντεπόζιτο



κτίνες
θα είναι

Οc

Ηλιοθερμικός Πύργος

Κάτοπτρα

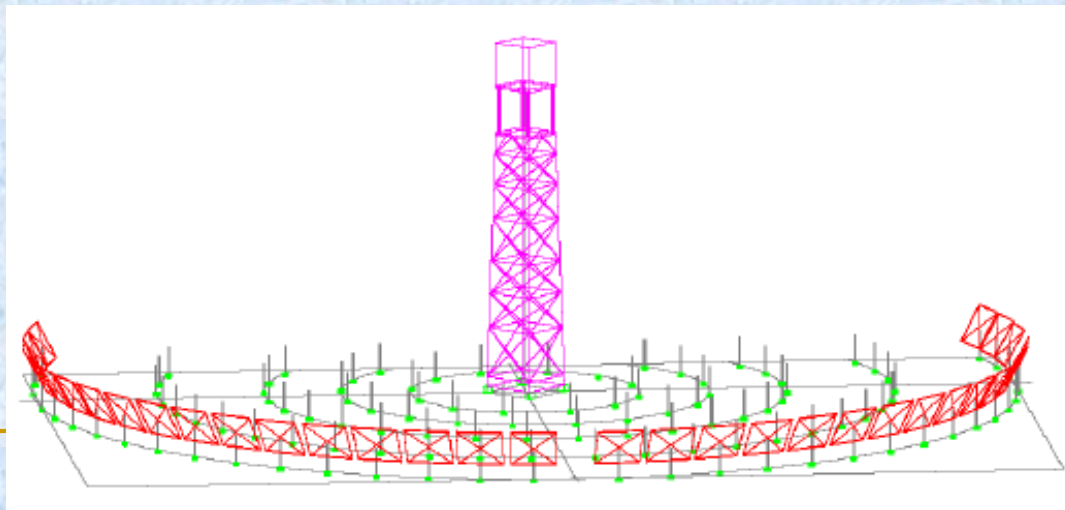
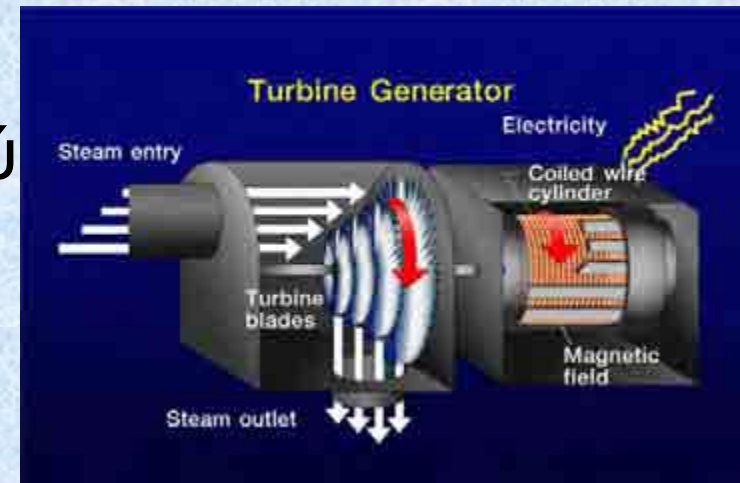
- ❑ Διαστάσεις 2,7 m x 2,7 m (περίπου 10m²)
- ❑ Τοποθέτηση : σε ύψος 1,5 m
- ❑ Πάνω σε βάση η οποία θα διαθέτει ηλεκτρονικό μηχανισμό που θα ιχνηλατεί τον ήλιο
- ❑ Κατασκευή : Μεταλλική με επένδυση στην πάνω πλευρά, με ειδικό ανακλαστικό υλικό
- ❑ Εστιακή απόσταση: κάθε κατόπτρου συμπίπτει με την απόσταση μεταξύ του κατόπτρου και της βάσης του ντεπόζιτου



Ηλιοθερμικός Πύργος

Γεννήτρια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

- Τίθεται σε κίνηση από την κινητική ενέργεια του ατμού
- Βρίσκεται σε ειδικό μονωμένο δωμάτιο



Ηλιοθερμικός Πύργος



Ηλιακός πύργος Julich,
Γερμανία



Ηλιακός πύργος Gemasolar,
ΗΠΑ

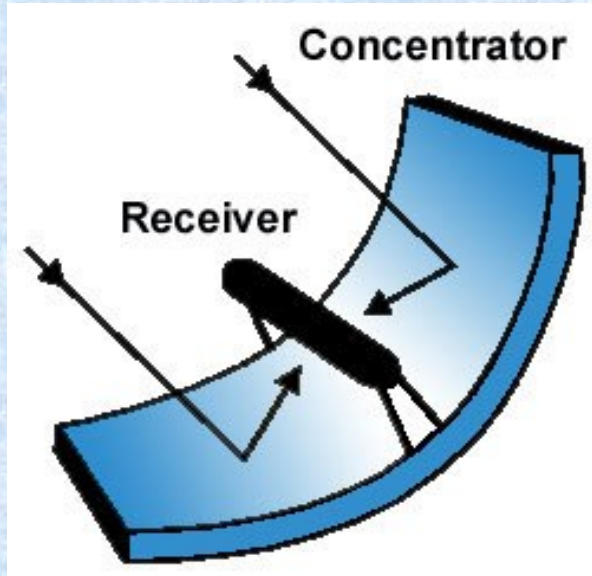
Ηλιοθερμικός Πύργος (Εν λειτουργεία)



<https://www.youtube.com/watch?v=LMWlgwvbrcM>

<https://vimeo.com/65344914>

Παραβολικά κάτοπτρα Διέλευσης



- ❑ Τοποθετούνται οριζόντια ή κατακόρυφα στον άξονα Ανατολή-Δύση για να μειωθούν οι ανάγκες για ευθυγράμμιση και κατά συνέπεια το κόστος.
- ❑ Τα κατακόρυφα συστήματα ακολουθούν τον ήλιο αλλάζοντας τον προσανατολισμό της σκάφης.

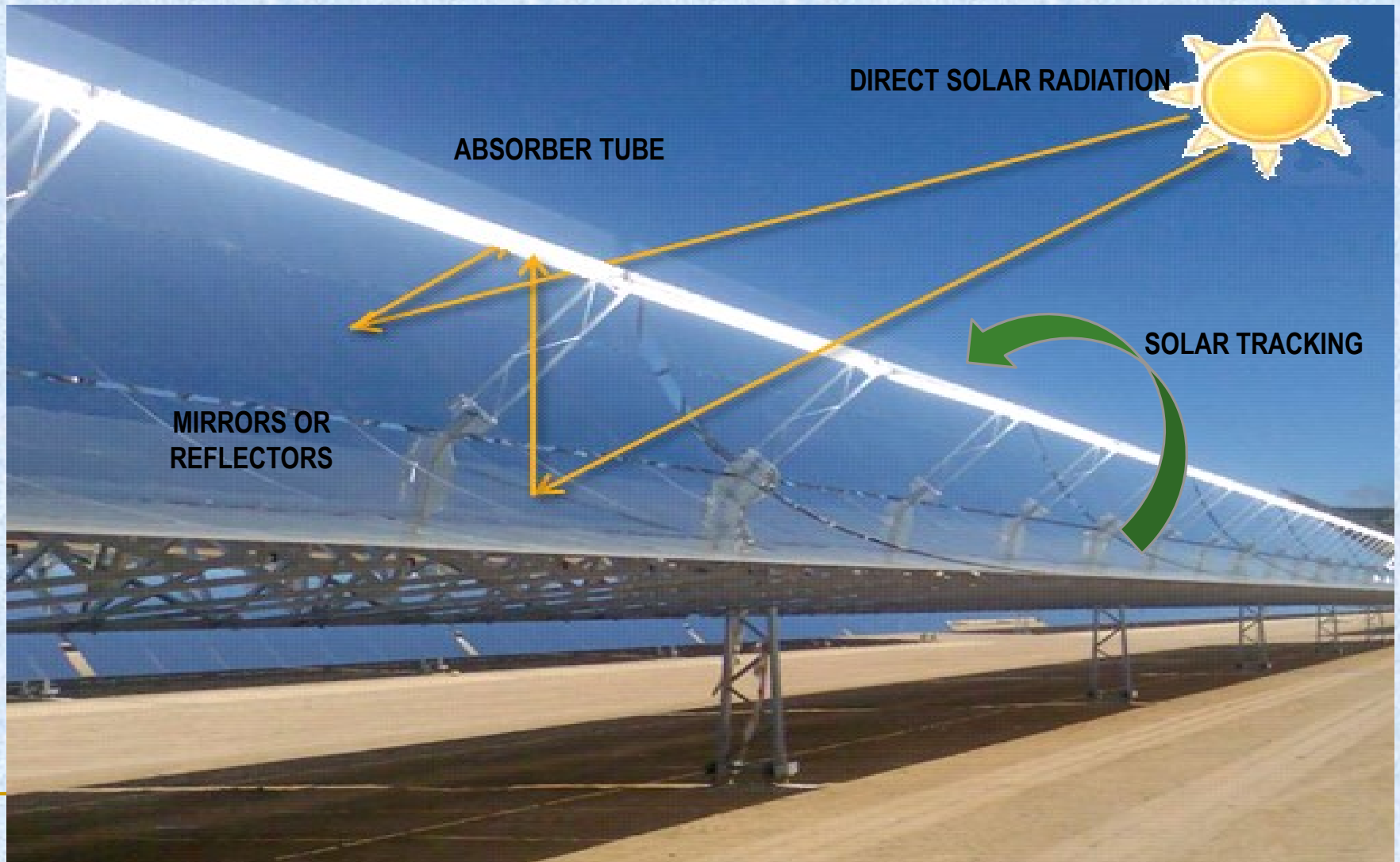
Παραβολικά κάτοπτρα Διέλευσης



Ηλιοθερμικός Σταθμός παραβολικών κατόπτρων

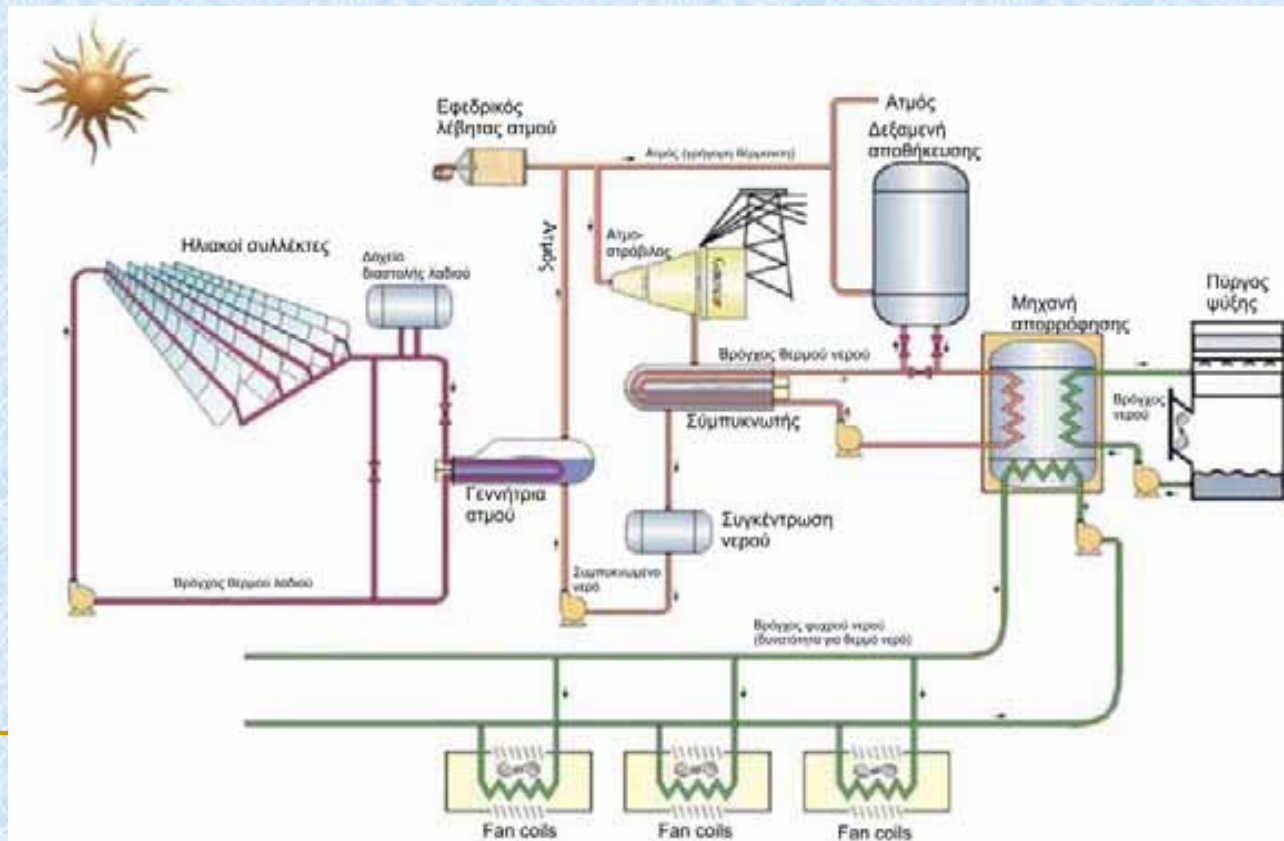
- ❑ Αποτελείται από πολλές παράλληλες σειρές ανακλαστήρων που συγκεντρώνουν την ηλιακή ακτινοβολία σε ένα δέκτη τοποθετημένο κατά μήκος των σειρών
- ❑ Ρευστό μεταφοράς θερμότητας : κυκλοφορεί διαμέσω του δέκτη
 - καταλήγει σε μια σειρά εναλλακτών θερμότητας (γεννήτρια ατμού) που παράγουν υπέρθερμο ατμό περίπου στους 400°C .
- ❑ Ο υπέρθερμος ατμός τροφοδοτείται σε έναν συμβατικό ατμοστρόβιλο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

Λειτουργία παραβολικών κατόπτρων



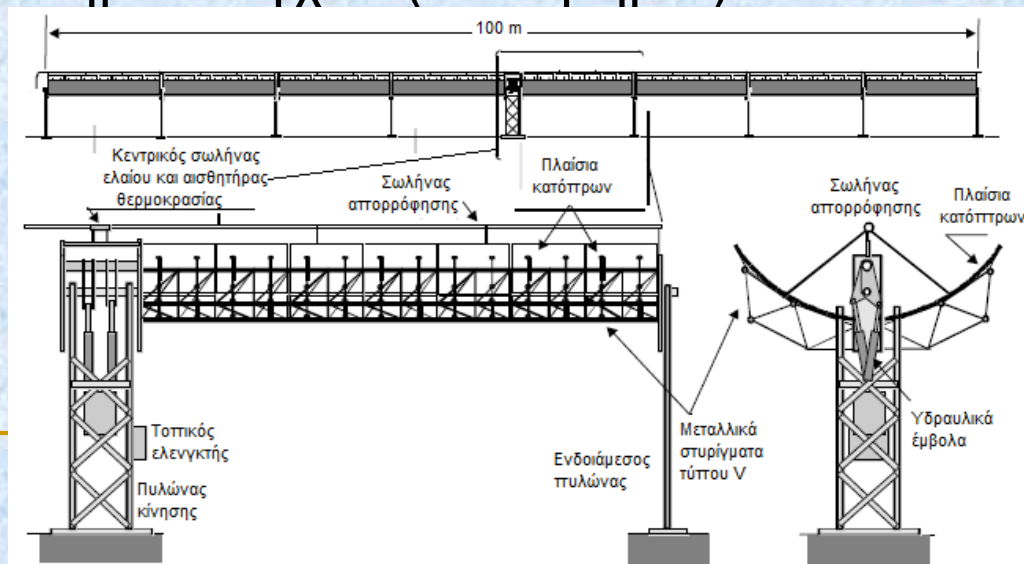
Ηλιοθερμικός Σταθμός παραβολικών κατόπτρων

- ❑ Ο ατμός οδηγείται στον συμπυκνωτή, με αποτέλεσμα την συμπύκνωση του ατμού σε κορεσμένο υγρό (λόγω ψύξης από πύργους).
- ❑ Πύργοι ψύξης, εναλλάκτες θερμότητας με ψυκτικό μέσον τον αέρα του περιβάλλοντος.



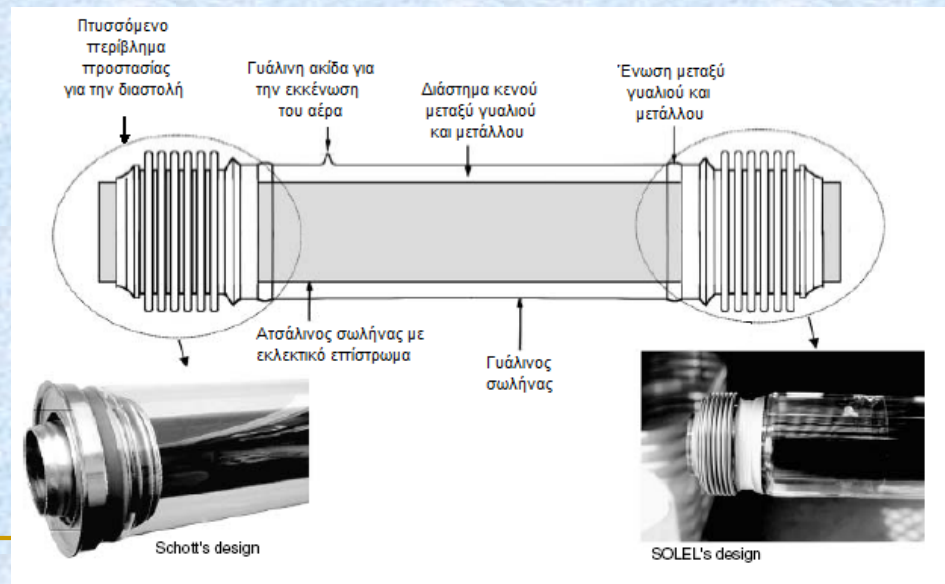
Ηλιοθερμικός Σταθμός παραβολικών κατόπτρων

- **Συλλέκτης** (ανακλαστήρας-συγκεντρωτής-ηλιοστάτης).
- Αποτελείται από
 - την ανακλαστική επιφάνεια (κάτοπτρα-καθρέπτες) που κατευθύνει τις ηλιακές ακτίνες στο δέκτη,
 - μια μεταλλική δομή στήριξης,
 - το σύστημα παρακολούθησης του ήλιου (ιχνηλάτηση)
 - το σύστημα ελέγχου (αισθητήρια)



Ηλιοθερμικός Σταθμός παραβολικών κατόπτρων Δέκτης

- Ο εξωτερικός σωλήνας
 - γυάλινος και
 - έχει μια «αντι-κατοπτρική» επίστρωση και στην εσωτερική και στην εξωτερική του επιφάνεια.
- Μεταξύ των δύο σωλήνων επικρατούν συνθήκες απόλυτου κενού.



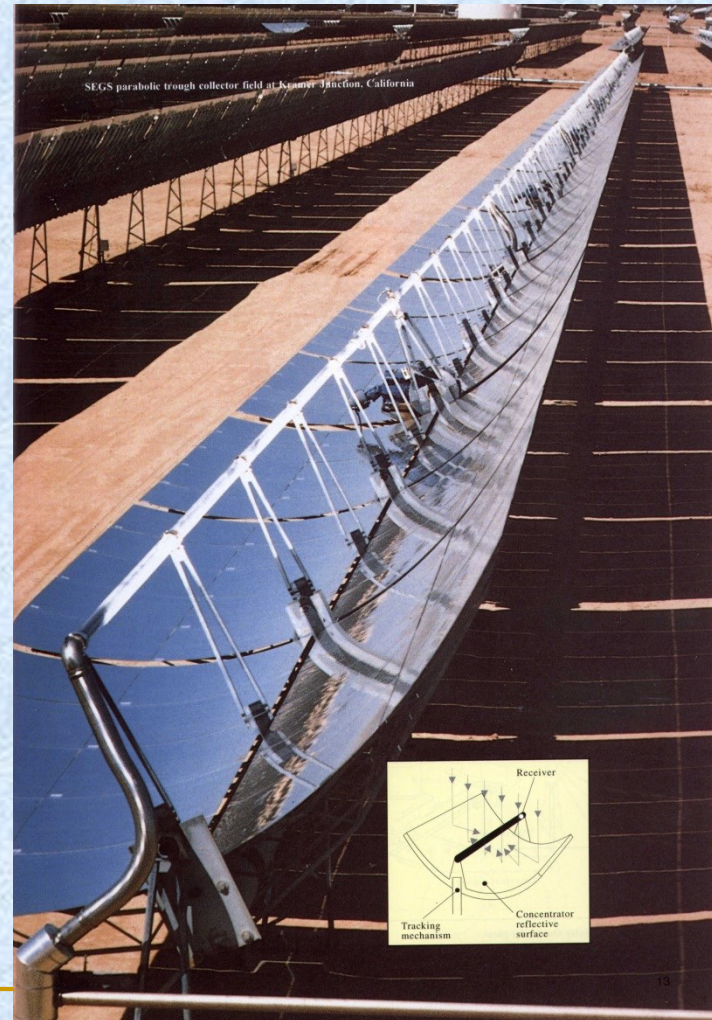
Ηλιοθερμικός Σταθμός παραβολικών κατόπτρων

Ιχνηλάτηση

- Ποια εποχή του έτους θα πρέπει το ηλιακό πεδίο να παράγει την περισσότερη ενέργεια;
 - Εάν απαιτείται περισσότερη ενέργεια το καλοκαίρι απ' ό,τι το χειμώνα, ο καταλληλότερος προσανατολισμός είναι βορρά-νότου.
- Είναι καλύτερα η ενέργεια να διανέμεται ομοιόμορφα κατά τη διάρκεια όλου του έτους, παρόλο που το χειμώνα η παραγωγή είναι σημαντικά μικρότερη απ' ό,τι το καλοκαίρι;
 - Εάν η απάντηση είναι ναι, ο καλύτερος προσανατολισμός είναι ανατολής-δύσης.
- Το ηλιακό πεδίο αναμένεται να παρέχει παρόμοια θερμική ενέργεια το καλοκαίρι και το χειμώνα;
 - Εάν η απάντηση είναι ναι, ο κατάλληλος προσανατολισμός είναι ανατολής-δύσης.

Ηλιοθερμικός Σταθμός παραβολικών κατόπτρων Ρευστό Μεταφοράς Θερμότητας

- ❑ Θερμικά έλαια για θερμοκρασίες πάνω από 200°C.
- ❑ Χρήση αφαλατωμένου νερού για υψηλές θερμοκρασίες/πιέσεις (400°C/100bar)
- ❑ Μίγμα νερού-γλυκόλης αιθυλενίου είτε υγρό ύδωρ διατηρημένο σε σταθερή ατμοσφαιρική πίεση για θερμοκρασίες κάτω από 200°C.



Ηλιοθερμικοί Σταθμοί παραβολικών κατόπτρων

- Η τεχνολογία των παραβολικών κατόπτρων έχει μικρότερο κόστος επένδυσης από τα φωτοβολταϊκά (περίπου 2 εκ.€ ανά παραγόμενη κατ' έτος GWh)
- Αυτό σημαίνει ότι για την παραγωγή του 40% της ελληνικής ηλεκτρικής ενέργειας (25000 GWh) χρειάζεται επένδυση τουλάχιστον 50 δις €.
- Η παραγωγή της KWh θα κόστιζε περίπου 0.18 € (25ετής απόσβεση με 6.5% επιτόκιο)
- Το μειονέκτημα της τεχνολογίας είναι ότι χρειάζεται νερό (για τους ατμοστροβίλους και την ψύξη και καθαρισμό των κατόπτρων)

Ηλιοθερμικοί Σταθμοί παραβολικών κατόπτρων



Καθαρισμός των κατόπτρων με νερό υψηλής πίεσης



Η θερμική ισχύς του σταθμού είναι πάντα ανάλογη της ροής μάζας του ελαίου

Ηλιοθερμικοί Σταθμοί παραβολικών κατόπτρων (Εν λειτουργία)

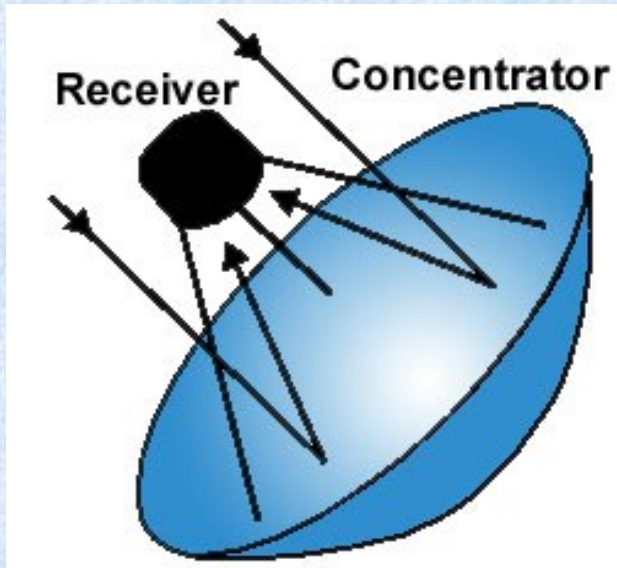


https://www.youtube.com/watch?v=ZAJeDVLO1_w

Ηλιοθερμικό Πιάτο



Ηλιοθερμικό Πιάτο



- Θερμοκρασία ρευστού στον δέκτη: $\sim 750^{\circ}\text{C}$
- Το θερμό ρευστό συχνά χρησιμοποιείται για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από γεννήτρια τοποθετημένη στον δέκτη
- Είναι τα περισσότερα αποδοτικά ηλιακά συστήματα με απόδοση περίπου 25%, όταν τα όλα τα άλλα έχουν μία απόδοση γύρω στο 20%

Ηλιοθερμικό Πιάτο



■ Πλεονεκτήματα

- ❑ Δίνει τη δυνατότητα κατασκευής μονάδων μικρής δυναμικότητας.
- ❑ Το ηλιακό πεδίο αποτελείται από ανεξάρτητους ηλιοστάτες.
 - Δεν απαιτούνται διασυνδέσεις σωλήνων στο ηλιακό πεδίο.
- ❑ Οι κινητήρες δεν απαιτούν τη χρήση νερού,
 - Η μόνη ποσότητα νερού που απαιτείται είναι αυτή για τον καθαρισμό των κατόπτρων.

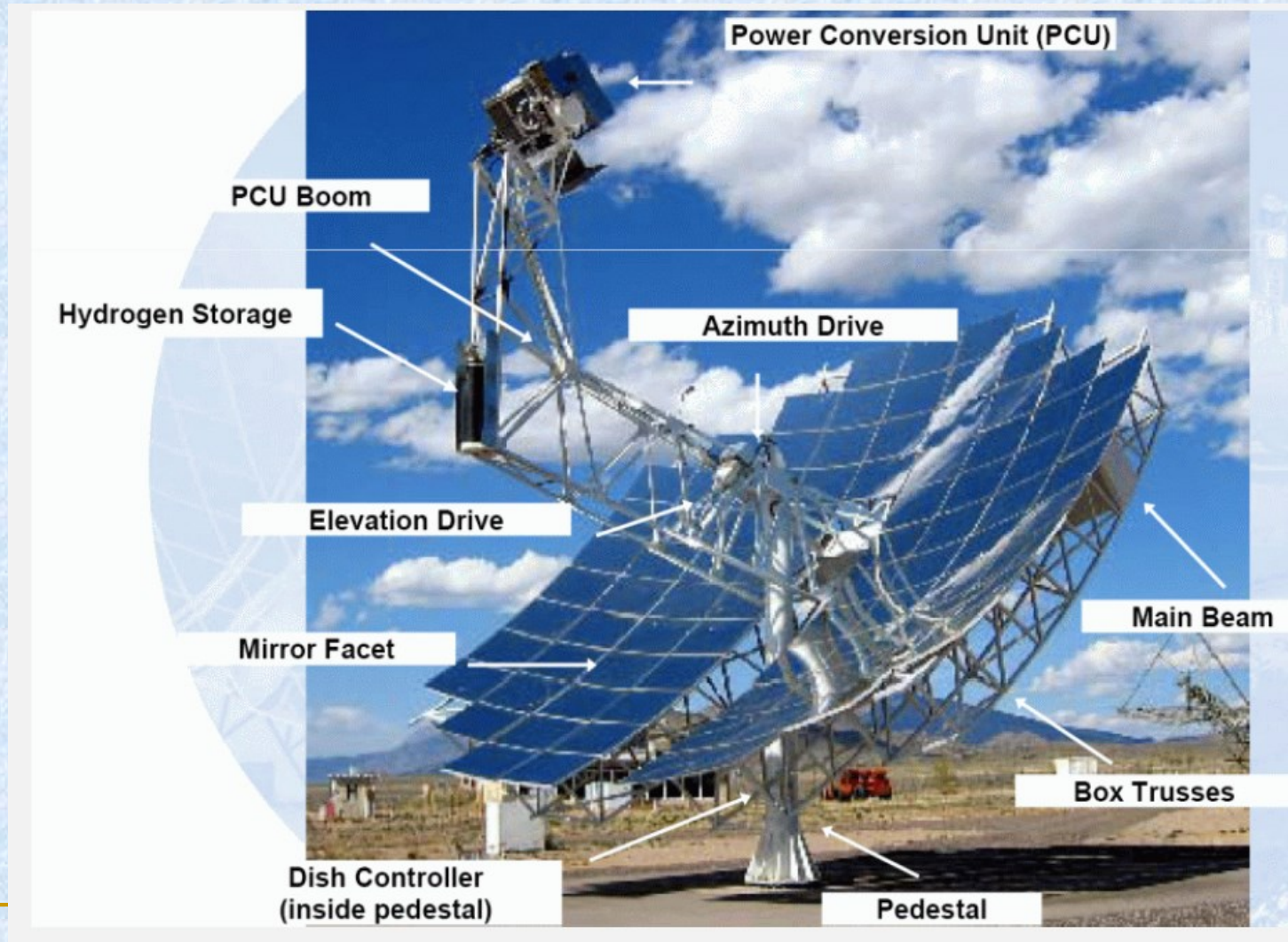
Ηλιοθερμικό Πιάτο

■ Πλεονεκτήματα

- ❑ Λόγω της απευθείας παραγωγής ατμού, απαιτούνται λιγότερες εγκαταστάσεις, όπως εναλλάκτες θερμότητας.
- ❑ Οι ηλιοστάτες μπορούν εύκολα να ενσωματωθούν στο φυσικό ανάγλυφο της περιοχής, με αποτέλεσμα να χρειάζονται μικρότερες γεωτεχνικές παρεμβάσεις.
- ❑ Μεγάλο μέρος του παραγωγικού εξοπλισμού μπορεί να κατασκευαστεί στην Ελλάδα.



Ηλιοθερμικό Πιάτο (Stirling Dish)



Ηλιοθερμικό Πιάτο (Stirling Dish)

■ Μονάδα μετατροπής ενέργειας

- ❑ Μετατρέπει την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική.
- ❑ Χρησιμοποιεί το αέριο υδρογόνο σε ένα κλειστό κύκλο θέρμανσης/εκτόνωσης - ψύξης/συμπίεσης
- ❑ Οδηγεί με υψηλή απόδοση ένα κινητήρα 380cm^3 με 4 κυλίνδρους της μηχανής Sterling
- ❑ Οι μηχανές Sterling ενεργοποιούν μια ηλεκτρική γεννήτρια με ισχύ εξόδου 3-25 kW
- ❑ Αποτελείται από 4 υποσυστήματα: τον υποδοχέα (Receiver), τη μηχανή Sterling, τη γεννήτρια (Radiator) και το σύστημα ψύξης (Fan)



Ηλιοθερμικό Πιάτο

■ Γεννήτρια

- ❑ Συνδεδεμένη με τη μηχανή Stirling για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας
- ❑ Παραγόμενη ισχύ 25kW ισχύ με τάση 600V AC και συχνότητας 50-60HZ.
- ❑ Ελάχιστη τιμή εισερχόμενης ηλιακής ενέργειας για εκκίνηση 200W/m^2
- ❑ Μέγιστη τιμή ηλιακής ενέργειας που μπορεί να δεχτεί 1.000 W/m^2 .
- ❑ Η έξοδος της γεννήτριας είναι συνδεδεμένη με σύστημα μεταφοράς ενέργειας της εγκατάστασης.

Ηλιοθερμικό Πιάτο (Stirling Dish)

■ Λειτουργία

- Εκκινεί από τη θέση αναμονής κατά την ανατολή του Ηλίου, και παύει τη λειτουργία του κατά τη δύση του Ηλίου.
- Το σύστημα παρακολούθησης τίθεται εκτός λειτουργίας όταν η ταχύτητα ανέμου είναι μεγαλύτερη από 16m/s, για την προστασία του συστήματος από βλάβες και ο μηχανισμός να οριζοντιώνεται,
- Το προβλεπόμενο εμβαδόν των κατόπτρων είναι 87,7m²
- Ο ηλιακός συντελεστής ανάκλασης ανέρχεται στο 97%

Ηλιοθερμικό Πιάτο

■ Πλεονεκτήματα

- ❑ Λόγω της τεχνολογίας στέρλινγκ μπορεί να γίνει εγκατάσταση μέχρι και ενός 1MW ενώ στις άλλες τεχνολογίες ηλιοθερμικών χρειάζονται περίπου 10MW για να υπάρχει ικανή παραγωγή ρεύματος που να δικαιολογεί το αρχικό κόστος της επένδυσης
- ❑ Σε περίπτωση βλάβης σε κάποιο δίσκο ή σε κάποιο block δεν σταματάει το σύνολο της παραγωγής
- ❑ Δεν καταναλώνει ποσότητα νερού ή κάποιου άλλου υγρού για την ψύξη του συστήματος
- ❑ Ευκολότερη εγκατάσταση σε ανομοιόμορφα εδάφη.
- ❑ Μειωμένο κόστος συντήρησης αφού η μηχανή στέρλινγκ δεν χρειάζεται συντήρηση

Ηλιοθερμικό Πιάτο

■ Μειονεκτήματα

- ❑ Υψηλό κόστος εγκατάστασης περίπου 3,5€/W
- ❑ Χαμηλή παραγωγή σε σύγκριση με Φ/Β σταθμούς όταν είναι εγκατεστημένα κυρίως στην κεντρική Ελλάδα
- ❑ Υψηλότερο κόστος συντήρησης σε σχέση με ένα Φ/Β σταθμό ίδιας ισχύος
- ❑ Μηδενίζουν την παραγωγή τους όταν η ταχύτητα του ανέμου ξεπεράσει τα 50 km/h

Ηλιοθερμικό Πιάτο (Stirling Dish)

Θέση προστασίας
από ανέμους



Ηλιοθερμικό Πιάτο (Stirling Dish)

■ Χαρακτηριστικά Συλλέκτη

Εμβαδόν συλλέκτη	87,7 m ²
Συνολική έκταση παραβολικών καθρεπτών	91 m ²
Ανακλαστικότητα καθρεπτών	0,97
Όριο ηλιακής ακτινοβολίας για την εκκίνηση του συστήματος ψύξης	200 W/m ²

■ Χαρακτηριστικά Αποδέκτη

Διάμετρος ανοίγματος δέκτη	0,184 m
Πάχος	0,075 m
Θερμική Αγωγιμότητα	0,06 W/mK
Απορροφητικότητα συστήματος απορρόφησης	0,9
Επιφάνεια συστήματος απορρόφησης	0,6 m ²
Κοιλότητα απορρόφησης	0,6
Επιφάνεια κοιλότητας απορρόφησης	0,6 m ²

Ηλιοθερμικό Πιάτο (Stirling Dish)

■ Χαρακτηριστικά μηχανής Stirling

Ισχύς μιας μονάδας	25 kW
Μέγιστη θερμοκρασία μηχανής	993 K
Ελάχιστη θερμοκρασία μηχανής	973 K
Ταχύτητα λειτουργίας μηχανής	1800 rpm
Όγκος που καταλαμβάνει η μηχανή	0,00038 m ³

Ηλιοθερμικό Πιάτο (Εν λειτουργία)



Εταιρία	Περιοχή	Ισχύς (MW)	Αριθμός SunCatcher™
Imperial Valley Solar , (San Diego Gas & Electric, SDG&E)	Imperial County, California	709	28.360
Calico Solar, (Southern California Edison, SCE)	San Bernardino County, California	850	34.000
Western Ranch Solar	Presidio County, Texas	27	1.080
Maricopa Solar, (Salt River Project)	Maricopa County - Peoria, Arizona	1.5	60 Σε λειτουργία από τον Ιανουάριο 2010

Ηλιοθερμικό Πιάτο (Εν λειτουργία)



<https://www.youtube.com/watch?v=Ur7TaijsLxM>

https://www.youtube.com/watch?v=wEIQ2FVL_ys

Σύγκριση των τριών τεχνολογιών

	Trough	Κεντρικός Συλλέκτης	Παραβολικό Πιάτο
Εφαρμογές	Διασυνδεδεμένοι στο δίκτυο σταθμοί, μέση προς υψηλή κατεργασία θερμότητας (80MWe)	Διασυνδεδεμένοι στο δίκτυο σταθμοί, υψηλή κατεργασία θερμότητας (10MWe)	Στέκονται μόνα, μικρά μη διασυνδεδεμένα στο δίκτυο συστήματα ή συγκεντρωμένα σε μεγαλύτερα και συνδεδεμένα (μεγέθους 25KWe)
Πλεονεκτήματα	Εμπορικά διαθέσιμα με θερμοκρασία λειτουργίας έως 500°C Αποδεδειγμένα σε εμπορικό επίπεδο έχουν απόδοση 14% Έχουν αποδειχθεί εμπορικά τα κόστη της επένδυσης και της λειτουργίας. Αρθρωτή κατασκευή Καλύτερη χρήση της γης από όλες τις ηλιακές τεχνολογίες Χαμηλότερη ζήτηση υλικών Υβριδικός σχεδιασμός Ικανότητα αποθήκευσης	Καλές μεσοπρόθεσμες προοπτικές για υψηλή απόδοση μετατροπής, δυνητική θερμοκρασία λειτουργίας πάνω από 1000°C. Αποθήκευση σε υψηλές θερμοκρασίες Πιθανή υβριδική λειτουργία	Πολύ υψηλές αποδόσεις μετατροπής Μέγιστη απόδοση μετατροπής από ηλιακή σε ηλεκτρική ενέργεια πάνω από 30% Αρθρωτή κατασκευή Πιθανή υβριδική λειτουργία Εμπειρία λειτουργίας από τα πρώτα σχέδια επίδειξης
Μειονεκτήματα	Η χρήση μέσου μεταφοράς θερμότητας που βασίζεται σε έλαιο περιορίζει την θερμοκρασία λειτουργίας στους 400°C , συμβάλλοντας στη μέτρια ποιότητα ατμού.	Οι σχεδιασμένες ετήσιες τιμές απόδοσης, το κόστος επένδυσης και λειτουργίας ακόμη πρέπει να αποδειχτούν σε εμπορικό επίπεδο.	Η αξιοπιστία χρειάζεται να αποδειχτεί Οι στόχοι για τα κόστη μαζικής παραγωγής πρέπει να επιτευχθούν

Το σχέδιο Desertec για την Ε.Ε.

Τα δεδομένα του σχεδίου Desertec

- Σε κάθε τ.μ. ερήμου στην περιοχή των χωρών της MENA (**Middle East and North Africa**) προσπίπτουν κατ' έτος περίπου 2000 KWh ηλιακής ενέργειας
- Με τις τεχνολογίες που υπάρχουν μπορούμε εύκολα να μετατρέψουμε τουλάχιστον το 1% σε ηλεκτρική ενέργεια
- Αυτό σημαίνει ότι με μια κατάλληλη εγκατάσταση μπορούμε να έχουμε από κάθε τετραγωνικό χιλιόμετρο τουλάχιστον 20 GWh, ήτοι μπορούμε να καλύψουμε την ενεργειακή κατανάλωση μιας πόλης περίπου 7000 κατοίκων

Η σημασία του σχεδίου Desertec για την Ε.Ε.

- Εάν υποθέσουμε ότι επιθυμούμε να καλύψουμε το 40-50% των αναγκών σε ηλεκτρισμό της ΕΕ, δηλαδή να παράγουμε περίπου 1250 TWh
- Θα χρειαστούμε μια έρημη ή ημιέρημη έκταση 62500 τ.χ. δηλαδή μια επιφάνεια 250χλμ. Χ 250χλμ.

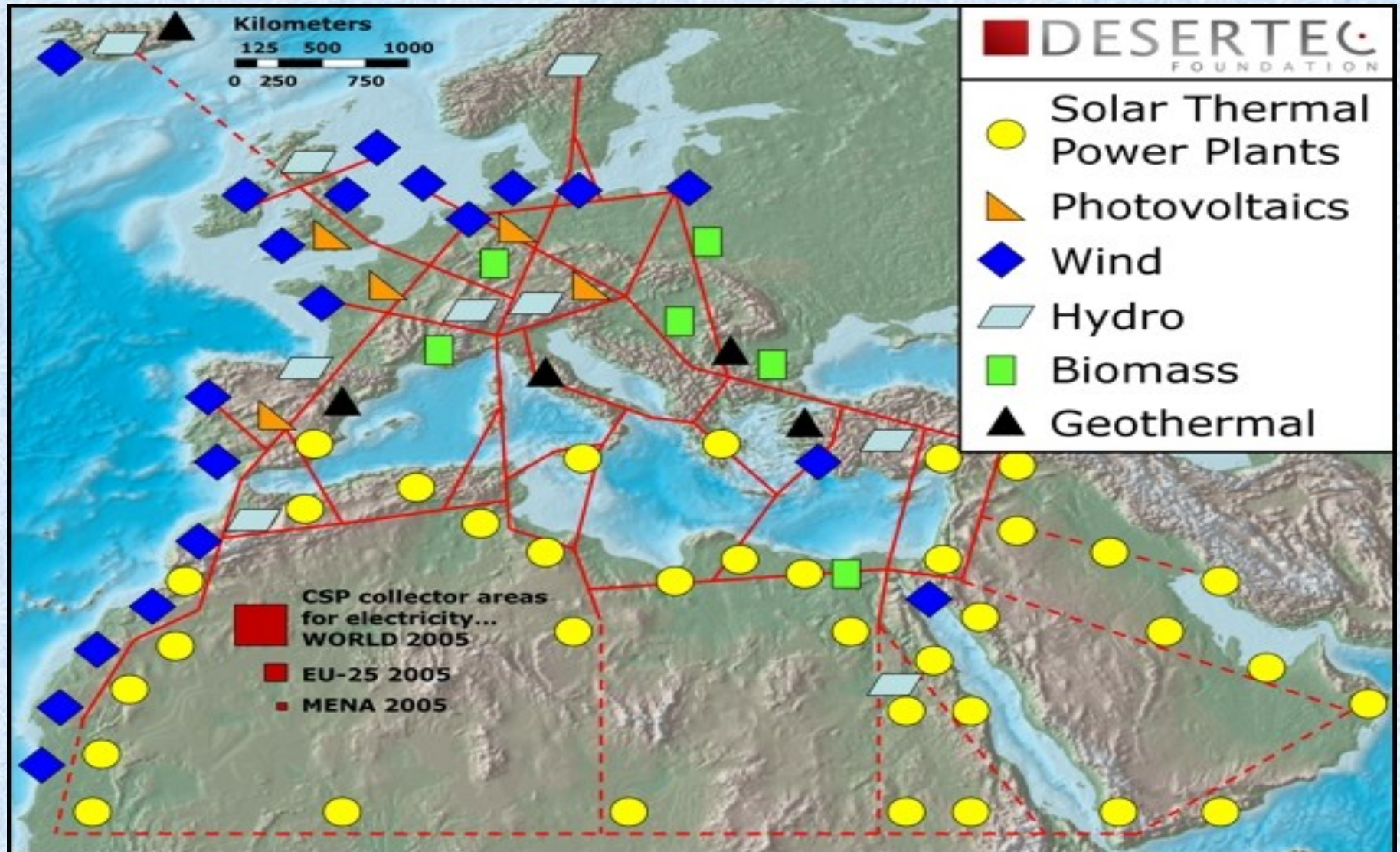
Η απαιτούμενη έκταση για το 40%-50% της ηλεκτρικής ενέργειας της ΕΕ



Τα δίκτυα μεταφοράς του ηλεκτρισμού στην Ε.Ε.

- ❑ Με ειδικές γραμμές μεταφοράς υπερ-υψηλής τάσης συνεχούς (UHVDC ± 800 KV) μπορούμε να μεταφέρουμε τον καθαρό ηλιακό ηλεκτρισμό στις νότιες χώρες τις ΕΕ και δι' αυτών στην υπόλοιπη Ευρώπη
- ❑ Οι ειδικές αυτές γραμμές μεταφοράς μπορούν να είναι υπέργειες, υπόγειες ή υποθαλάσσιες
- ❑ Οι απώλειες μεταφοράς είναι μικρότερες από 3% για 1000 χιλιόμετρα και το μέσο κόστος κατασκευής δεν υπερβαίνει το 1 δις € για κάθε 6 GW ηλεκτρικής ισχύος (~50% της ισχύος του Ελληνικού ηλεκτρικού δικτύου)

Το σχέδιο Desertec



Η σημασία του σχεδίου Desertec για την Ε.Ε.

- ❑ 40% της ηλεκτροπαραγωγής της Ε.Ε. θα προέρχονταν από τον Ήλιο
- ❑ 25% από ΑΠΕ (Αιολικά, Υδροηλεκτρικά, Γεωθερμία κτλ)
- ❑ 20% από λιθανθρακικούς σταθμούς (ένα μεγάλο μέρος από αυτό μπορεί να είναι με την τεχνολογία διακράτησης και αποθήκευσης του CO₂ , (CCS technology)
- ❑ Το υπόλοιπο 15% από την πυρηνική ενέργεια και το εισαγόμενο Φυσικό αέριο
- ❑ Το μείγμα αυτό θα εξασφάλιζε ενεργειακή ασφάλεια
- ❑ Και το πιο σημαντικό θα έδειχνε τον δρόμο έμπρακτα για την επίτευξη του στόχου της αύξησης της θερμοκρασίας λιγότερο από 2 °C, για την καταπολέμηση των κλιματικών αλλαγών

Ηλιοθερμικά Συστήματα

Μέθοδος Καμπυλών f



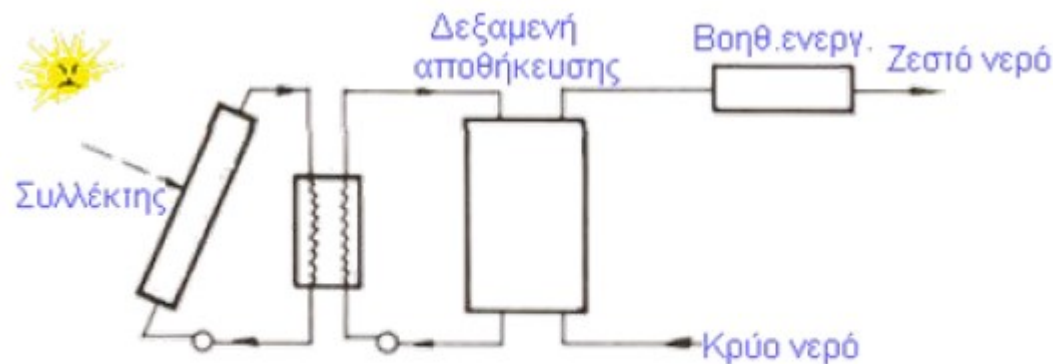
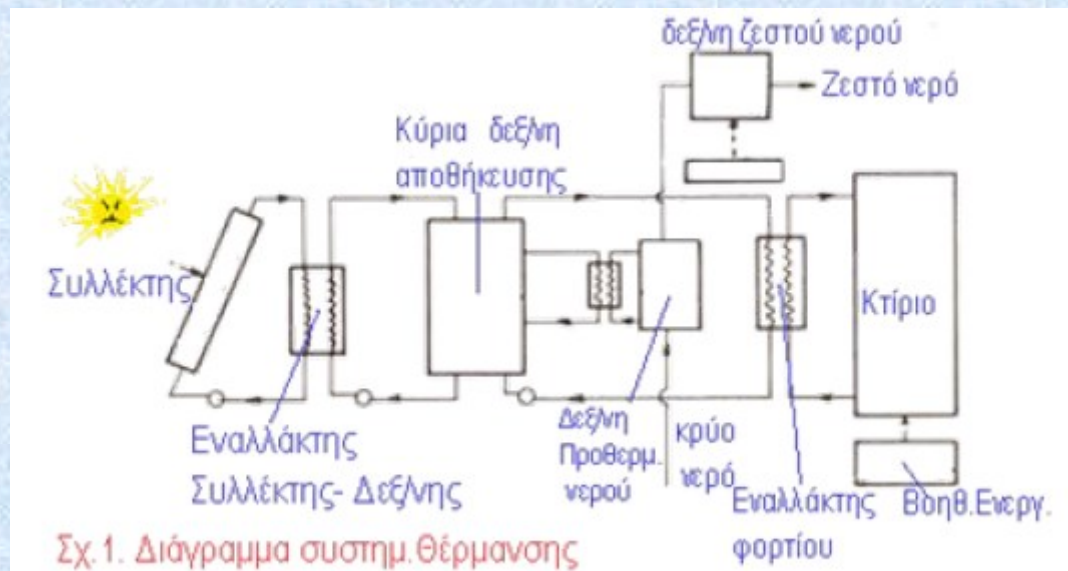
Γ. ΒΙΣΚΑΔΟΥΡΟΣ

Ηλεκτρονικός Μηχανικός & Μηχανικός Η/Υ

Μεθοδος καμπυλών f

- Για να γίνει η σχεδίαση ενός οικονομικά βιώσιμου ηλιακού συστήματος πρέπει να προηγηθεί ο υπολογισμός της θερμικής απόδοσης
- Η πιο γνωστή προσεγγιστική μέθοδος υπολογισμού είναι η μέθοδος των καμπυλών f που αναπτύχθηκε από τους Αμερικάνους S. Klein, W. Beckman και J. Duffie του πανεπιστημίου του Wiscosin
- Η μέθοδος είναι κατάλληλη για τον υπολογισμό των συστημάτων θέρμανσης, ενώ μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για υπολογισμό συστημάτων παραγωγής ζεστού νερού χρήσης, ή για συνδυασμό των δύο

Μεθοδος καμπυλών f



Μεθοδος καμπυλών f

- Το ποσοστό f, του μηνιαίου θερμικού φορτίου που καλύπτεται από την ηλιακή ενέργεια (ή απλά η κάλυψη) εκφράζεται εμπειρικά με τη βοήθεια δύο αδιάστατων συντελεστών X και Y
- Ο συντελεστής "X" εκφράζει το ποσό των ενεργειακών απωλειών προς το συνολικό θερμικό φορτίο του μήνα

$$X = F_R U_L \cdot \left(\frac{F'_R}{F_R} \right) \cdot (T_{ref} - \bar{T}_a) \cdot \Delta t \cdot \left(\frac{A_c}{L} \right) \cdot K_2 \cdot K_3$$

Όπου :

F_R : είναι ο συντελεστής θερμικής απολαβής του συλλέκτη

U_L : είναι ο συνολικός ισοδύναμος συντελεστής θερμικών απωλειών του συλλέκτη (σε W/m² °C).

F'_R/F_R : ο διορθωτικός συντελεστής συλλέκτη εναλλάκτη (Ανοικτό Σύστημα = 1)

T_{ref} : θερμοκρασία αναφοράς που ορίζεται ίση με 100°C

T_a : η μέση μηνιαία θερμοκρασία ημέρας

Δt : η χρονική περίοδος κάθε μήνα (sec)

A_c : η επιφάνεια των ηλιακών συλλεκτών (m²), (Περίπου 1m²/ατομο ή 1m² 700W~600kcal/h)

L : το μέσο μηνιαίο φορτίο (J) , Αθροισμα φορτίου για ZNX και θέρμανση χώρου

K₂ : συντελεστής χωρητικότητας δεξαμενής

K₃ : συντελεστής ζεστού νερού

Μεθοδος καμπυλών f

- Ο συντελεστής "Y" εκφράζει το ποσό της ενέργειας που μπορεί να αξιοποιήσει ο ηλιακός συλλέκτης προς το συνολικό θερμικό φορτίο του μήνα

$$Y = F_R (\tau \alpha)_n \cdot \left(\frac{F'_R}{F_R} \right) \cdot \frac{(\bar{\tau} \alpha)}{(\tau \alpha)_n} \cdot N \cdot \bar{H}_t \cdot \left(\frac{A_c}{L} \right) \cdot K_4$$

Όπου :

F_R : είναι ο συντελεστής θερμικής απολαβής του συλλέκτη

$(\tau \alpha)_n$: προκύπτει από το γινόμενο του συντελεστή διαπερατότητας τ και του συντελεστή απορρόφησης α της ηλιακής ακτινοβολίας

F'_R/F_R : ο διορθωτικός συντελεστής συλλέκτη εναλλάκτη (Ανοικτό Σύστημα = 1)

$(\tau \alpha)/(\tau \alpha)_n$: διορθωτικός συντελεστής λόγω της θέσης του συλλέκτη και της εποχής

N : Πλήθος ημερών του μήνα

$\bar{H}_t$: η μέση μηνιαία ακτινοβολία που προσπίπτει στο επίπεδο του συλλέκτη

A_c : η επιφάνεια των ηλιακών συλλεκτών (m^2), (Περίπου $1m^2$ /ατομο ή $1m^2$ 700W~600kcal/h)

L : το μέσο μηνιαίο φορτίο (J) , Αθροισμα φορτίου για ΖΝΧ και θέρμανση χώρου

K_4 : συντελεστής εναλλάκτη θερμότητας φορτίου

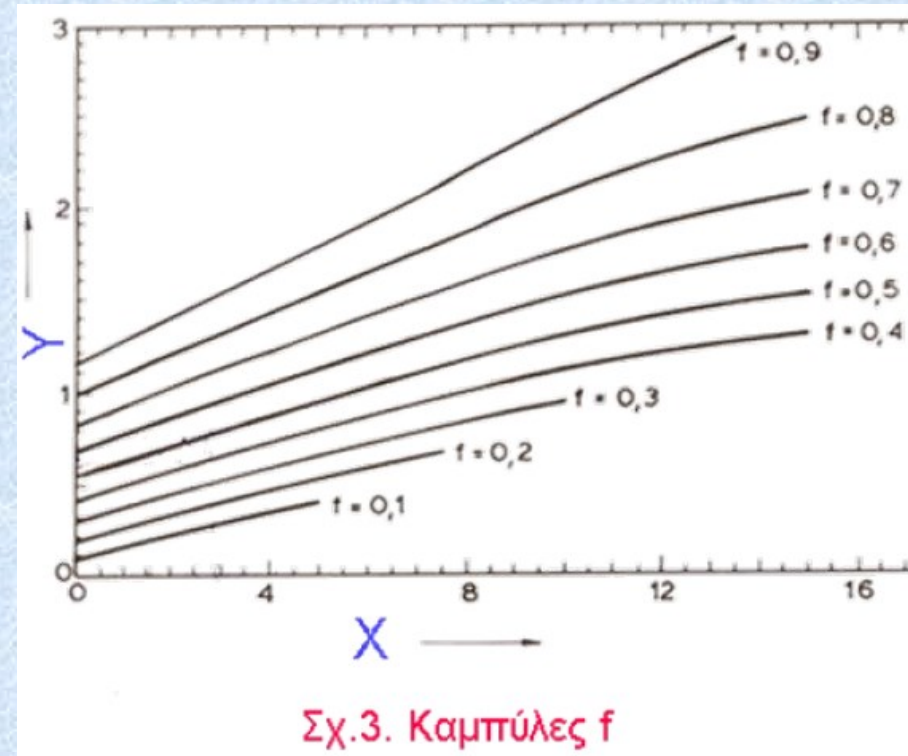
Μεθοδος καμπυλών f

- Η τιμή του f προκύπτει από το παρακάτω διάγραμμα, που παριστάνει τις καμπύλες f
- Το f βρίσκεται χωριστά για κάθε μήνα του χρόνου
- Η μέση μηνιαία ωφέλιμη ενέργεια είναι γινόμενο του f επί το μέσο μηνιαίο θερμικό φορτίο, L , για κάθε μήνα
- Η μέση ετήσια κάλυψη είναι το άθροισμα των $f \times L$ διαιρεμένο με το μέσο ετήσιο φορτίο

$$F = \frac{\sum f_i \cdot L_i}{\sum L_i}$$

- Η σχέση μεταξύ των X, Y και f εκφράζεται επίσης και με εξίσωση.

$$f = 1.029Y - 0.065X - 0.245Y^2 + 0.018X^2 + 0.0215Y^3 \quad \text{όπου } 0 < X < 18 \text{ και } 0 < Y < 3$$



Μεθοδος καμπυλών f – Υπολογισμός φορτίου

- L είναι το μέσο μηνιαίο θερμικό φορτίο για θέρμανση χώρων και παροχή ζεστού νερού (σε J), που είναι ίσο με : $L=L_s+L_w$
- όπου L_s είναι το μηνιαίο φορτίο για θέρμανση χώρου (σε J), και L_w είναι το απαιτούμενο μηνιαίο φορτίο για την παροχή ζεστού νερού (σε J). Το φορτίο L_s μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση :

$$L_s = 24 \cdot 3600 \cdot (U \cdot A) \cdot DD \cdot k$$

- όπου U είναι ο συντελεστής θερμοπερατότητας του κτιρίου (σε $W/m^2 \cdot ^\circ C$),
- A είναι το εμβαδό της επιφάνειας του κελύφους του κτιρίου (σε m^2),
- DD είναι ο αριθμός βαθμοημερών θέρμανσης του μήνα με βάση την επιθυμητή θερμοκρασία θέρμανσης χώρων ($^\circ C \cdot \text{ημέρα}$),
- και k είναι ο συντελεστής λειτουργίας του κτηρίου. Τυπικές τιμές του k για 24ωρη συνεχή λειτουργία είναι $k=1$ και για διακοπτόμενη λειτουργία $8 \div 16$ ώρες ημερησίως είναι $k=0.70 \div 0.85$.
- Σε περίπτωση χρήσης των ηλιακών συλλεκτών για ζεστό νερό χρήσης και θέρμανση χώρων, οι θερμικές απώλειες στο δίκτυο μεταφοράς νερού μπορεί να είναι σημαντικές ($10 \div 20\%$) ανάλογα με τη θερμομόνωση των σωλήνων του δικτύου
- Στην περίπτωση χρήσης των ηλιακών συλλεκτών για παραγωγή ζεστό νερό χρήσης σε μικρές εγκαταστάσεις, οι απώλειες θεωρούνται αμελητέες.

Μεθοδος καμπυλών f – Υπολογισμός φορτίου

- Το φορτίο L_w μπορεί να υπολογιστεί από την ακόλουθη σχέση:

$$L_w = N \cdot V_w \cdot \rho \cdot C_p \cdot (T_w - T_{w,in})$$

- όπου N είναι το πλήθος ημερών του μήνα,
- V_w είναι η μέση ημερήσια κατανάλωση ζεστού νερού (σε lt/ημέρα),
- ρ είναι η πυκνότητα του νερού (σε kg/lt),
- C_p είναι η ειδική θερμοχωρητικότητα του νερού (4190 J/kg°C),
- T_w είναι η επιθυμητή θερμοκρασία του ζεστού νερού (σε °C),
- και $T_{w,in}$ είναι η μέση θερμοκρασία προσαγωγής του νερού από το δίκτυο (σε °C).

Μεθοδος καμπυλών f – Συντελεστές Διόρθωσης

■ (α) K_2 , Συντελεστής χωρητικότητας δεξαμενής : Οι καμπύλες f έχουν αναπτυχθεί για χωρητικότητα δεξαμενής 75 l/m^2 , μπορούν όμως να χρησιμοποιηθούν και για τον υπολογισμό συστημάτων με άλλη χωρητικότητα δεξαμενής με τη βοήθεια του συντελεστή K_2 , που δίνεται από την παρακάτω εξίσωση: $K_2 = (M / 75)^{-0,25}$

Όπου M είναι η χωρητικότητα της αποθήκης σε λίτρα ανά τετραγωνικό μέτρο συλλεκτών. Για $M = 75$ είναι φανερό ότι $K_2 = 1$

■ (β) K_3 , Συντελεστής Ζεστού Νερού : Η μέθοδος των καμπυλών f έχει αναπτυχθεί για ηλιακά συστήματα που καλύπτουν ανάγκες θέρμανσης και ζεστού νερού χρήσης, με την προϋπόθεση όμως ότι το φορτίο για την θέρμανση του νερού χρήσης είναι μικρό ποσοστό του φορτίου για θέρμανση χώρου. Στην περίπτωση αυτή είναι $K_3 = 1$

■ Όταν το θερμικό φορτίο οφείλεται κυρίως στη θέρμανση νερού, τότε υπολογίζεται ο συντελεστής K_3 , που εξαρτάται από τη μέση μηνιαία θερμοκρασία του κρύου νερού T_{win} , την θερμοκρασία του περιβάλλοντος T_a και την επιθυμητή θερμοκρασία του ζεστού νερού T_w . Ο συντελεστής K_3 υπολογίζεται από :

$$K_3 = \frac{(11.6 + 1.18T_w + 3.86T_{win} - 2.32\bar{T}_a)}{(100 - \bar{T}_a)}$$

Μεθοδος καμπυλών f – Συντελεστές Διόρθωσης

- Η μέθοδος των καμπυλών f για τους υπολογισμούς εγκαταστάσεων ζεστού νερού ισχύει μόνο όταν:
- Η κατανομή αυτή κατανάλωσης είναι η μέση για κατοικίες.
- Άλλα κτίρια μπορεί να έχουν διαφορετική ημερήσια κατανομή κατανάλωσης
- Άλλη προϋπόθεση για την εφαρμογή της μεθόδου είναι ότι θεωρείται χαμένη η ηλιακή ενέργεια, που χρησιμοποιείται για να θερμανθεί το νερό της δεξαμενής πάνω από την θερμοκρασία T_w .
- Στην πραγματικότητα βέβαια κάτι τέτοιο δεν είναι απόλυτα σωστό, διότι μια ποσότητα ζεστού νερού θερμοκρασίας υψηλότερης από T_w , αναμειγνυόμενη με κρύο νερό δίνει μεγαλύτερη ποσότητα νερού θερμοκρασίας T_w
- Παρά τους περιορισμούς αυτούς όμως η μέθοδος των καμπυλών f παραμένει πολύ χρήσιμη για τον υπολογισμό της απόδοσης συστημάτων παραγωγής ζεστού νερού

Μεθοδος καμπυλών f – Συντελεστές Διόρθωσης

- (γ) K_4 , Συντελεστής εναλλάκτη φορτίου : Ένα μέτρο του μεγέθους του εναλλάκτη που απαιτείται για ένα συγκεκριμένο κτίριο δίνεται από τον αδιάστατο παράγοντα $\varepsilon_L C_{\min}/(UA)_b$.
- Όπου ε_L είναι ο συντελεστής εκμετάλλευσης του εναλλάκτη του φορτίου. $C_{\min}$ είναι η ελάχιστη θερμοχωρητική παροχή στον εναλλάκτη, που συμπίπτει συνήθως με αυτή του αέρα. $(UA)_b$ είναι το γινόμενο του μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας επί την εξωτερική επιφάνεια του κτιρίου
- Η βέλτιστη τιμή του συντελεστή $\varepsilon_L C_{\min}/(UA)_b$ από θερμικής πλευράς είναι απεριόριστα μεγάλη. Αν λάβουμε όμως υπόψη το κόστος του εναλλάκτη, οι πιο οικονομικές τιμές του συντελεστή πρακτικά κυμαίνονται μεταξύ **1** και **3**
- Η μέθοδος f έχει αναπτυχθεί για $\varepsilon_L C_{\min}/(UA)_b = 2$. Για άλλες τιμές του συντελεστή, η απόδοση του συστήματος υπολογίζεται με τη βοήθεια του παράγοντα K_4

$$K_4 = 0.39 + 0.65 e^{\left[\frac{-0.39}{\varepsilon_L \cdot C_{\min}/(UA)_b} \right]} \quad \mu\varepsilon \quad 0.5 \leq \varepsilon_L \cdot C_{\min}/(UA)_b \leq 50$$

Μεθοδος καμπυλών f – Συντελεστές Διόρθωσης

- $(\tau a) / (\tau a)_n$: διορθωτικός συντελεστής λόγω της θέσης του συλλέκτη και της εποχής

$$\frac{(\bar{\tau} \alpha)}{(\tau \alpha)_n} = 1 - 0,0044 \cdot \theta + 0,00022 \cdot \theta^2 - 3,31 \cdot 10^{-6} \cdot \theta^3 \text{ για μονό τζάμι}$$

$$\frac{(\bar{\tau} \alpha)}{(\tau \alpha)_n} = 0,99065 - 0,000567 \cdot \theta + 8,2488 \cdot 10^{-5} \cdot \theta^2 - 2,26787 \cdot 10^{-6} \cdot \theta^3 \text{ για διπλό τζάμι}$$

$$\frac{(\bar{\tau} \alpha)}{(\tau \alpha)_n} = 0,99 \text{ συλλέκτες χωρίς κάλυμα και συλλέκτες κενού}$$

- θ : γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας κατά το ηλιακό μεσημέρι της τυπικής μέρας κάθε μήνα

Παράδειγμα – Υπολογισμός ZNX Κατοικίας Ηράκλειο Κρήτης, Ιούλιο-Δεκέμβριο

- $V_w=500 \text{ lt}$ (Ημερήσια κατανάλωση ZNX)
- $M=80 \text{ lt/m}^2$ (χωρητικότητα δεξαμενής-θερμοδοχείου)
- $C_p= 4190 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$ (ειδική θερμοχωρητικότητα νερού)
- $\rho=1 \text{ kg/lt}$ (πυκνότητα νερού)
- $T_w=45^\circ\text{C}$ (επιθυμητή θερμοκρασία)
- $T_{w,in}=27.3^\circ\text{C}$ (θερμοκρασία νερού δικτύου Ηράκλειο , Ιούλιος)
- $T_{w,in}=17.2^\circ\text{C}$ (θερμοκρασία νερού δικτύου Ηράκλειο , Δεκέμβριος)
- $T_a=26.2^\circ\text{C}$ (θερμοκρασία περιβάλλοντος, Ηράκλειο, Ιούλιος)
- $T_a=13.7^\circ\text{C}$ (θερμοκρασία περιβάλλοντος, Ηράκλειο, Δεκέμβριος)
- $H_t=5.97 \text{ kwh/m}^2.\text{d}$ (Ιούλιος) , $H_t=3.20 \text{ kwh/m}^2.\text{d}$ (Δεκέμβριος)
- $F_R U_L=4.2 \text{ W/m}^2\text{C}$, $F_R(\tau\alpha)_n=0.73$, $(\tau\alpha)/(\tau\alpha)_n=0.94$ σε 45° κλίση
- $F_R'/F_R=1$ (Σύστημα ανοικτού βρόγχου)
- $A_C= 7.53 \text{ m}^2$ (3 συλλέκτες με 2.51 m^2 ο καθένας)
- $V= 600 \text{ lt}$ (όγκος δεξαμενής, θερμοδοχείου, $M*A_C=80*7.53$)

Παράδειγμα – Υπολογισμός ZNX Κατοικίας Ηράκλειο Κρήτης, Ιούλιο-Δεκέμβριο

■ Υπολογισμός φορτίου $L_W(J) = N \cdot V_W \cdot \rho \cdot C_p \cdot (T_W - T_{w,in})$

□ Ιούλιος : $L_{W,7} = 31 \cdot 500 \cdot 1 \cdot 4190 \cdot (45 - 27.3) J = 1.15 GJ$

□ Δεκέμβριος : $L_{W,12} = 31 \cdot 500 \cdot 1 \cdot 4190 \cdot (45 - 17.2) J = 1.81 GJ$

■ Απώλειες Σωληνώσεων :

■ Μήκος : 50m, Θερμικές απώλειες : 0.19 (σε W/m² °C). Χρήση 15h/μέρα :

$$L_{W,απώλειες}(J) = N \cdot t \cdot \bar{U} \cdot \Delta\tau \cdot l$$

$$L_{W,απώλειες,pipes,7} = 31 \cdot 15 \cdot 3600 \cdot 0.19 \cdot (45 - 26.2) \cdot 50 = 0.30 GJ$$

$$L_{W,απώλειες,pipes,12} = 31 \cdot 15 \cdot 3600 \cdot 0.19 \cdot (45 - 13.7) \cdot 50 = 0.50 GJ$$

Παράδειγμα – Υπολογισμός ZNX Κατοικίας Ηράκλειο Κρήτης, Ιούλιο-Δεκέμβριο

- Απώλειες θερμοδοχείου-δεξαμενής με ($U_A=2.1\text{W/C}^\circ$) σε εξωτερική τοποθέτηση (χειρότερη περίπτωση)

- Ιούλιος : $L_{W,απώλειες,tank,7}(J) = 31 \cdot 24 \cdot 3600 \cdot 2.1 \cdot (45 - 26.2) = 0.11GJ$

- Δεκέμβριος $L_{W,απώλειες,tank,12}(J) = 31 \cdot 24 \cdot 3600 \cdot 2.1 \cdot (45 - 13.7) = 0.18GJ$

- Συνολικό φορτίο Ιούλιος :

$$L_{W,7,TOTAL} = L_{W,7} + L_{W,απώλειες,pipes,7} + L_{W,απώλειες,tank,7} = 1.11GJ + 0.30GJ + 0.11GJ = 1.56GJ$$

- Συνολικό φορτίο Δεκέμβριος

$$L_{W,12,TOTAL} = L_{W,12} + L_{W,απώλειες,pipes,12} + L_{W,απώλειες,tank,12} = 1.81GJ + 0.50GJ + 0.18GJ = 2.49GJ$$

Παράδειγμα – Υπολογισμός ZNX Κατοικίας Ηράκλειο Κρήτης, Ιούλιο-Δεκέμβριο

Υπολογισμός συντελεστών K_2 , K_3

- K_2 , Συντελεστής χωρητικότητας δεξαμενής -θερμοδοχείου: $K_2 = (M / 75)^{-0,25}$

$$K_2 = (80 / 75)^{-0,25} = 0.984$$

- K_3 , Συντελεστής Ζεστού Νερού: $K_3 = \frac{(11.6 + 1.18T_w + 3.86T_{win} - 2.32\bar{T}_a)}{(100 - \bar{T}_a)}$

□ Ιούλιος :

$$K_{3,7} = \frac{(11.6 + 1.18 \cdot 45 + 3.86 \cdot 27.3 - 2.32 \cdot 26.2)}{(100 - 26.2)} = 1.48$$

□ Δεκέμβριος

$$K_{3,12} = \frac{(11.6 + 1.18 \cdot 45 + 3.86 \cdot 17.2 - 2.32 \cdot 13.7)}{(100 - 13.7)} = 1.15$$

Παράδειγμα – Υπολογισμός ZNX Κατοικίας Ηράκλειο Κρήτης, Ιούλιο-Δεκέμβριο

Υπολογισμός συντελεστή X

$$X = F_R U_L \cdot \left(\frac{F'_R}{F_R} \right) \cdot (T_{ref} - \bar{T}_a) \cdot \Delta t \cdot \left(\frac{A_c}{L} \right) \cdot K_2 \cdot K_3$$

□ Ιούλιος :

$$X_7 = 4.20 \cdot 1.0 \cdot (100 - 26.2) \cdot 31 \cdot 24 \cdot 3600 \left(\frac{A_c}{1.56 GJ} \right) \cdot 0.984 \cdot 1.48 = 0.775 A_c$$

$$X_7 = 5.84$$

□ Δεκέμβριος

$$X_{12} = 4.20 \cdot 1.0 \cdot (100 - 13.7) \cdot 31 \cdot 24 \cdot 3600 \left(\frac{A_c}{2.49 GJ} \right) \cdot 0.984 \cdot 1.15 = 0.441 A_c$$

$$X_{12} = 3.32$$

Παράδειγμα – Υπολογισμός ZNX Κατοικίας Ηράκλειο Κρήτης, Ιούλιο-Δεκέμβριο

Υπολογισμός συντελεστή Υ

$$Y = F_R (\tau \alpha)_n \cdot \left(\frac{F'_R}{F_R} \right) \cdot \frac{(\bar{\tau} \alpha)}{(\tau \alpha)_n} \cdot N \cdot \bar{H}_t \cdot \left(\frac{A_c}{L} \right) \cdot K_4$$

□ Ιούλιος :

$$Y_7 = 0.73 \cdot 1.0 \cdot 0.94 \cdot 31 \cdot 5.97k \cdot \left(\frac{A_c}{1.56} \right) \cdot 1 = 0.293 A_c$$
$$Y_7 = 2.21$$

□ Δεκέμβριος

$$Y_{12} = 0.73 \cdot 1.0 \cdot 0.94 \cdot 31 \cdot 3.26k \cdot \left(\frac{A_c}{2.49} \right) \cdot 1 = 0.100 A_c$$
$$Y_{12} = 0.75$$

Παράδειγμα – Υπολογισμός ZNX Κατοικίας Ηράκλειο Κρήτης, Ιούλιο-Δεκέμβριο

Υπολογισμός f

$$f = 1.029Y - 0.065X - 0.245Y^2 + 0.018X^2 + 0.0215Y^3$$

□ Ιούλιος : $X = 0.775A_C = 5.84$, $Y = 0.293A_C = 2.21$,

$$f_7 = 1.029 \cdot (0.293A_C) - 0.065 \cdot (0.775A_C) - 0.245 \cdot (0.293A_C)^2 + 0.018 \cdot (0.775A_C)^2 + 0.0215 \cdot (0.293A_C)^3$$

$$f_7 = 0.251A_C - 0.02A_C^2 + 5.41A_C^3 = 1.54$$

□ Δεκέμβριος : $X = 0.441A_C = 3.32$, $Y = 0.100A_C = 0.75$

$$f_{12} = 1.029 \cdot (0.100A_C) - 0.065 \cdot (0.441A_C) - 0.245 \cdot (0.100A_C)^2 + 0.018 \cdot (0.441A_C)^2 + 0.0215 \cdot (0.100A_C)^3$$

$$f_{12} = 0.0742A_C - 0.0021A_C^2 + 2.15 \cdot 10^{-5} A_C^3 = 0.63$$

Παράδειγμα – Υπολογισμός ΖΝΧ Κατοικίας Ηράκλειο Κρήτης, Ιούλιο-Δεκέμβριο

■ Υπολογισμός f

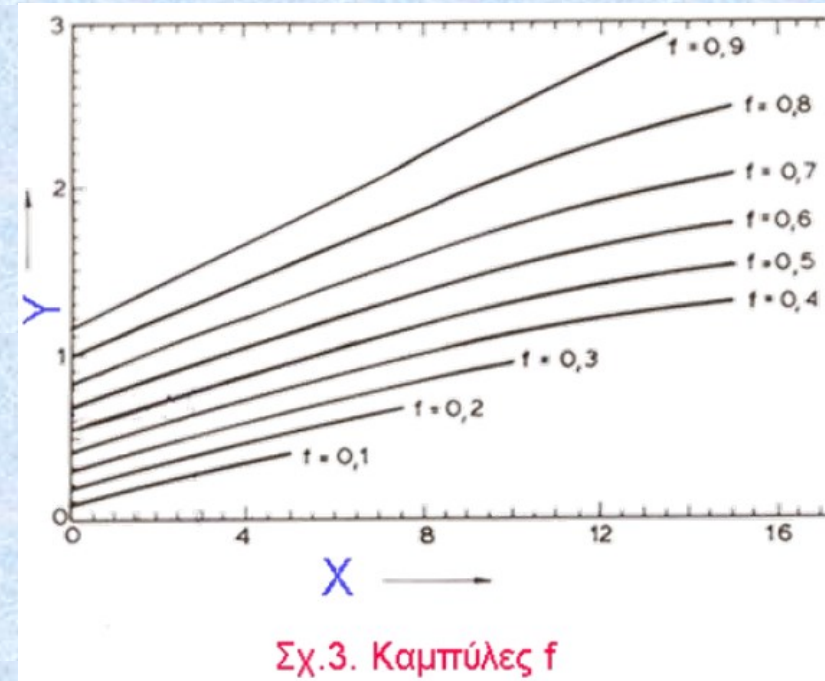
□ Ιούλιος : $f=1.54$

□ Δεκέμβριος : $f=0.63$

■ Η μέση μηνιαία ωφέλιμη ενέργεια είναι

□ Ιούλιος : $f_7 L_7 = 1.56 \cdot 1.54 = 2.40 \text{ GJ}$

□ Δεκέμβριος : $f_{12} L_{12} = 2.49 \cdot 0.63 = 1.57 \text{ GJ}$



Η μέση ετήσια κάλυψη είναι το άθροισμα των $f \times L$ διαιρεμένο με το μέσο ετήσιο φορτίο

$$F = \frac{\sum f_i \cdot L_i}{\sum L_i}$$

Παράδειγμα – Υπολογισμός ZNX Κατοικίας

Υπολογισμός Ταχύτητας νερού

- Παροχή νερού ανά συλλέκτη : Δεδομένα από φυλλάδιο κατασκευαστή ή σε απουσία δεδομένων $0.015 \text{ lt/sec} \cdot \text{m}^2$
- Επομένως σε επιφάνεια A_C έχουμε παροχή :

$$\Pi_w = 0.015 \cdot 2.51 = 3.77 \cdot 10^{-2} \frac{\text{lt}}{\text{sec}} = 136 \frac{\text{lt}}{\text{h}}$$

- Γνωρίζοντας ότι η παροχή είναι το γινόμενο του εμβαδού της διατομής των σωληνώσεων επί την ταχύτητα του νερού , μπορούμε να υπολογίσουμε την ταχύτητα του νερού για διάφορες διατομές

$$\Pi_w = A \cdot u \Rightarrow u = \frac{\Pi_w}{\pi \cdot D^2 / 4}$$

$$u(1' / 2) = 0.298 \text{ m / sec}$$

$$u(3' / 4) = 0.132 \text{ m / sec}$$

$$u(1') = 0.0744 \text{ m / sec}$$

Παράδειγμα – Υπολογισμός ZNX Κατοικίας Ηράκλειο Κρήτης, Ιούλιο-Δεκέμβριο

- Παρόμοια δεδομένα αλλά με άλλο συλλέκτη (χειρότερο)
- $F_R U_L = 6 \text{ W/m}^2\text{C}$, $F_R(\tau\alpha)_n = 0.70$, $(\tau\alpha)/(\tau\alpha)_n = 0.94$ σε 45° κλίση

$$X_7 = 1.11 A_C$$

$$Y_7 = 0.281 A_C$$

$$X_{12} = 0.63 A_C$$

$$Y_{12} = 0.0959 A_C$$

- Αν χρησιμοποιήσουμε 1 μόνο συλλέκτη έχουμε :

$$f_7(1 \text{ συλλ.}) = 0.46$$

$$f_{12}(1 \text{ συλλ.}) = 0.14$$

- Αν χρησιμοποιήσουμε 2 συλλέκτες έχουμε :

$$f_7(2 \text{ συλλ.}) = 0.74$$

$$f_{12}(2 \text{ συλλ.}) = 0.25$$

- Αν χρησιμοποιήσουμε 3 συλλέκτες έχουμε :

$$f_7(3 \text{ συλλ.}) = 0.88$$

$$f_{12}(3 \text{ συλλ.}) = 0.36$$