

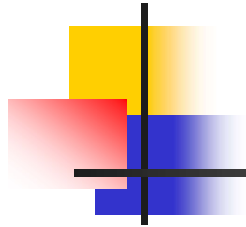
ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΤΜ. ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Ενεργειακή Διαχείριση & Εξοικονόμηση Ενέργειας

ΔΙΑΛΕΞΗ 10: ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΑΠΕ ΣΤΑ ΚΤΗΡΙΑ
ΜΕΡΟΣ Α

Δρ. Τριανταφυλλιά Νικολάου

Βιβλιογραφία: Ι. Κατσίγιαννης, Σεμινάρια Ενεργειακών Επιθεωρητών ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΚΡΗΤΗΣ



1. Εισαγωγή στις ΑΠΕ



Τι είναι οι ΑΠΕ;

Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) μπορούν να οριστούν ως:

«...ροές ενέργειας που ανανεώνονται στον ίδιο ρυθμό με τον οποίο χρησιμοποιούνται...»

Η βασική πηγή των ΑΠΕ είναι η ηλιακή ακτινοβολία



Τεχνολογίες ΑΠΕ

- Φωτοβολταϊκά
- Ηλιοθερμικά
- Αιολική ενέργεια
- Βιομάζα
- Υδροηλεκτρική ενέργεια
- Γεωθερμία
- Ενέργεια των θαλασσών (κύματα, ρεύματα, ...)
- Παλιρροιακή ενέργεια
- Υδρογόνο? (φορέας ενέργειας, όχι πηγή ενέργειας)



Πλεονεκτήματα ΑΠΕ

- Καθαρή πηγή ενέργειας
- Δεν εκπέμπουν αέρια θερμοκηπίου και δεν παράγουν απόβλητα και (με εξαίρεση ορισμένες κατηγορίες βιομάζας)
- Μπορούν να λειτουργήσουν αυτόνομα, και για το λόγο αυτό είναι κατάλληλες για χρήση σε απομονωμένες περιοχές
- Η χρήση τους μειώνει την εξάρτηση μιας χώρας από τα συμβατικά καύσιμα



Μειονεκτήματα ΑΠΕ

- Υψηλό κόστος
- Εξάρτηση από φυσικά φαινόμενα (αντιμετωπίζεται ικανοποιητικά με την αποθήκευση ενέργειας)
- Χαμηλές αποδόσεις για την πλειονότητα των τεχνολογιών

Μειονεκτήματα συμβατικών καυσίμων

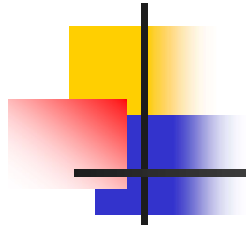


- Εξαντλούνται
- Προκαλούν μόλυνση στο περιβάλλον και εκπέμπουν αέρια φαινομένου θερμοκηπίου
- Εξάρτηση από ξένες αγορές
- Αυξάνεται συνεχώς το κόστος τους



ΑΠΕ και κτηριακός τομέας

- Το ενεργειακό πρόβλημα δε λύνεται πλήρως με την εφαρμογή των ΑΠΕ δεδομένου ότι ορισμένες τεχνολογίες έχουν υψηλό αρχικό κόστος, προβλήματα στην ενσωμάτωση στα κτήρια, αλλά και σε ορισμένες περιπτώσεις, έλλειψη τεχνογνωσίας στη μελέτη και εγκατάστασή τους. Οι ΑΠΕ όμως μπορούν να συμβάλουν σημαντικά στην επίλυση του ενεργειακού προβλήματος
- Στα κτήρια βασικός στόχος πρέπει να είναι η μείωση των θερμικών και ψυκτικών φορτίων που μπορεί να επιτευχθεί με συνδυασμό ενεργειών (εφαρμογή σωστού αρχιτεκτονικού σχεδιασμού, μελέτη του κτηρίου και των ηλεκτρομηχανολογικών (Η/Μ) εγκαταστάσεων, εξασφάλιση σωστής κατασκευής και λειτουργίας, μείωση θερμικών απωλειών το χειμώνα και ηλιακών κερδών το καλοκαίρι, χρήση ενεργειακά αποδοτικών συστημάτων και τεχνολογιών)



2. Θερμικά Ηλιακά Συστήματα



Συστήματα ηλιακών συλλεκτών

- Χρησιμοποιούνται για την παραγωγή θερμικής ενέργειας με την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας
- Αυτή η θερμική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη θέρμανση του ζεστού νερού χρήσης (ZNX) ή/και για τη θέρμανση χώρων ή/και για ψύξη (ηλιακός κλιματισμός)
- Υπάρχουν διάφοροι τύποι ηλιακών συλλεκτών, που μπορούν να εγκατασταθούν σε ένα κτήριο, ανάλογα με τη χρήση και τη διαθέσιμη επιφάνεια εγκατάστασης



Στατιστικά στοιχεία

- Η παγκόσμια εγκατεστημένη ισχύς των ηλιακών συλλεκτών ήταν περίπου $172,4\text{GW}_{\text{th}}$ (2009)
- Η συνολική εγκατεστημένη επιφάνεια συλλεκτών για θέρμανση νερού στην ΕΕ υπολογίζεται ότι είναι $43 \cdot 10^6\text{m}^2$ (με δυναμικό που φτάνει τα $1,4 \cdot 10^9\text{m}^2$) η οποία ισοδυναμεί με $30,2\text{GW}_{\text{th}}$
- Στη Γερμανία είναι εγκατεστημένο το μεγαλύτερο ποσοστό των συλλεκτών (38%) της ευρωπαϊκής αγοράς, ενώ η Αυστρία, η Γαλλία, η Ελλάδα, η Ιταλία και η Ισπανία μαζί διαθέτουν το 39%
- Η Κύπρος, όπου πάνω από το 90% των κατοικιών είναι εξοπλισμένα με ηλιακούς συλλέκτες, έχει τον υψηλότερο δείκτη στην Ευρώπη με $554,0\text{kW}_{\text{th}}/1000$ κατοίκους και ακολουθεί η Αυστρία με $314,5\text{kW}_{\text{th}}/1000$ κατοίκους και η Ελλάδα με $265,8\text{kW}_{\text{th}}/1000$ κατοίκους

Συστήματα ηλιακών συλλεκτών στην Ελλάδα

- Το 40% της ελληνικής βιομηχανικής παραγωγής εξάγεται σε χώρες εντός και εκτός της ΕΕ
- Τα ηλιακά θερμικά συστήματα στην Ελλάδα υποκαθιστούν κυρίως ηλεκτρική ενέργεια (περί το 3% της κατανάλωσης σήμερα)
- Εάν δεν υπήρχαν τα θερμικά ηλιακά συστήματα εκτιμάται ότι θα χρειαζόνταν επιπλέον η κατασκευή και λειτουργία μιας ακόμη θερμικής μονάδας ηλεκτροπαραγωγής ισχύος 600MW τουλάχιστον
- Η χρήση ηλιακών συλλεκτών εξοικονομεί 474.159 τόνους ισοδύναμου πετρελαίου (ΤΙΠ) και μειώνει τις εκπομπές CO₂ κατά 1.502.161kg το χρόνο
- Το 2009, εγκαταστάθηκαν στην Ελλάδα περίπου 200.000m² συλλεκτών



Τμήματα θερμικών ηλιακών συστημάτων

- Σύστημα συλλογής της ηλιακής ενέργειας (ηλιακοί συλλέκτες)
- Σύστημα αποθήκευσης
- Βοηθητικό σύστημα παραγωγής θερμότητας
- Κυκλοφορητές και συστήματα ελέγχου (σε μεγάλες εγκαταστάσεις)

Τύποι ηλιακών συλλεκτών – Επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες



Τύποι ηλιακών συλλεκτών – Συγκεντρωτικοί συλλέκτες

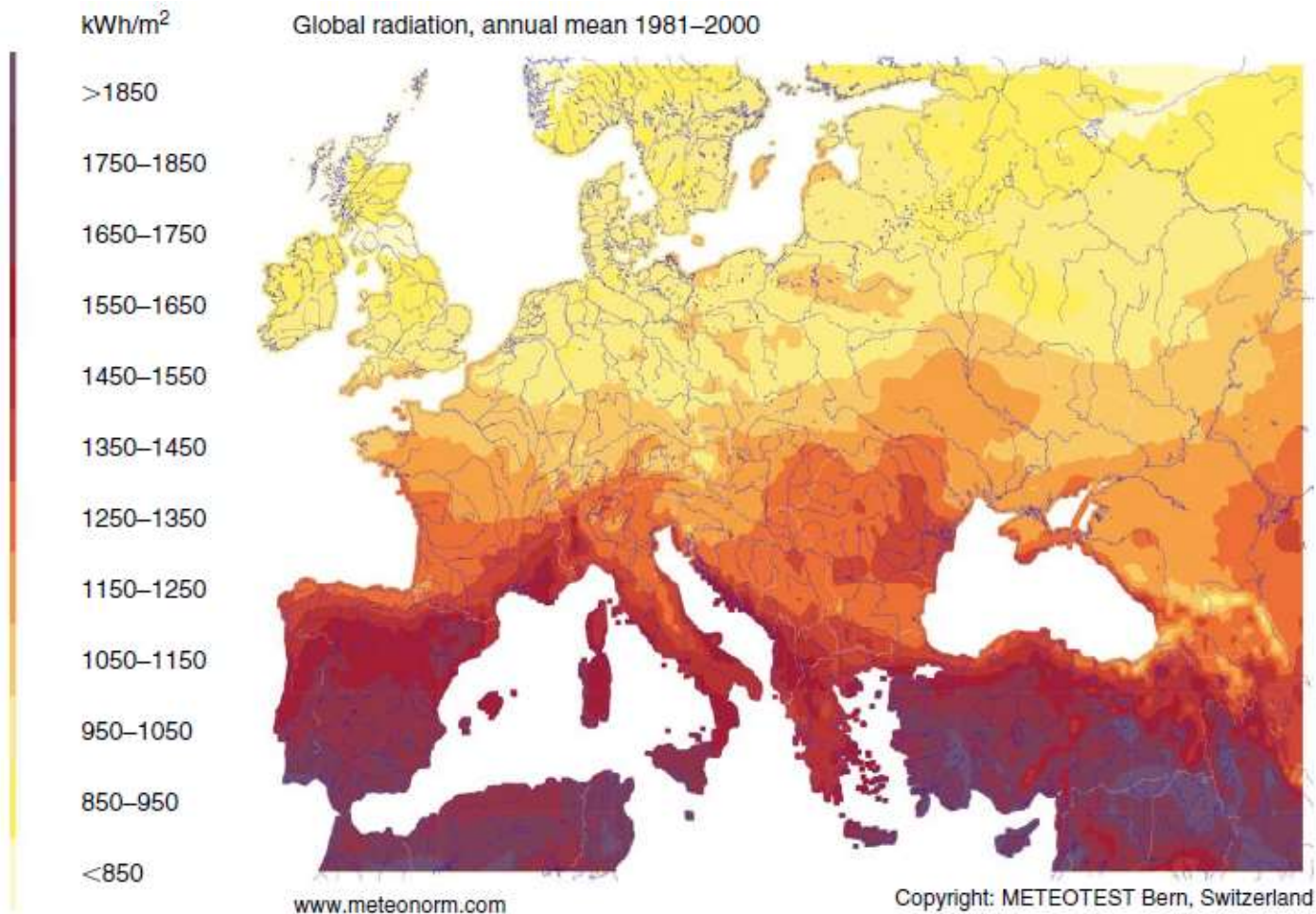


Γραμμικού τύπου

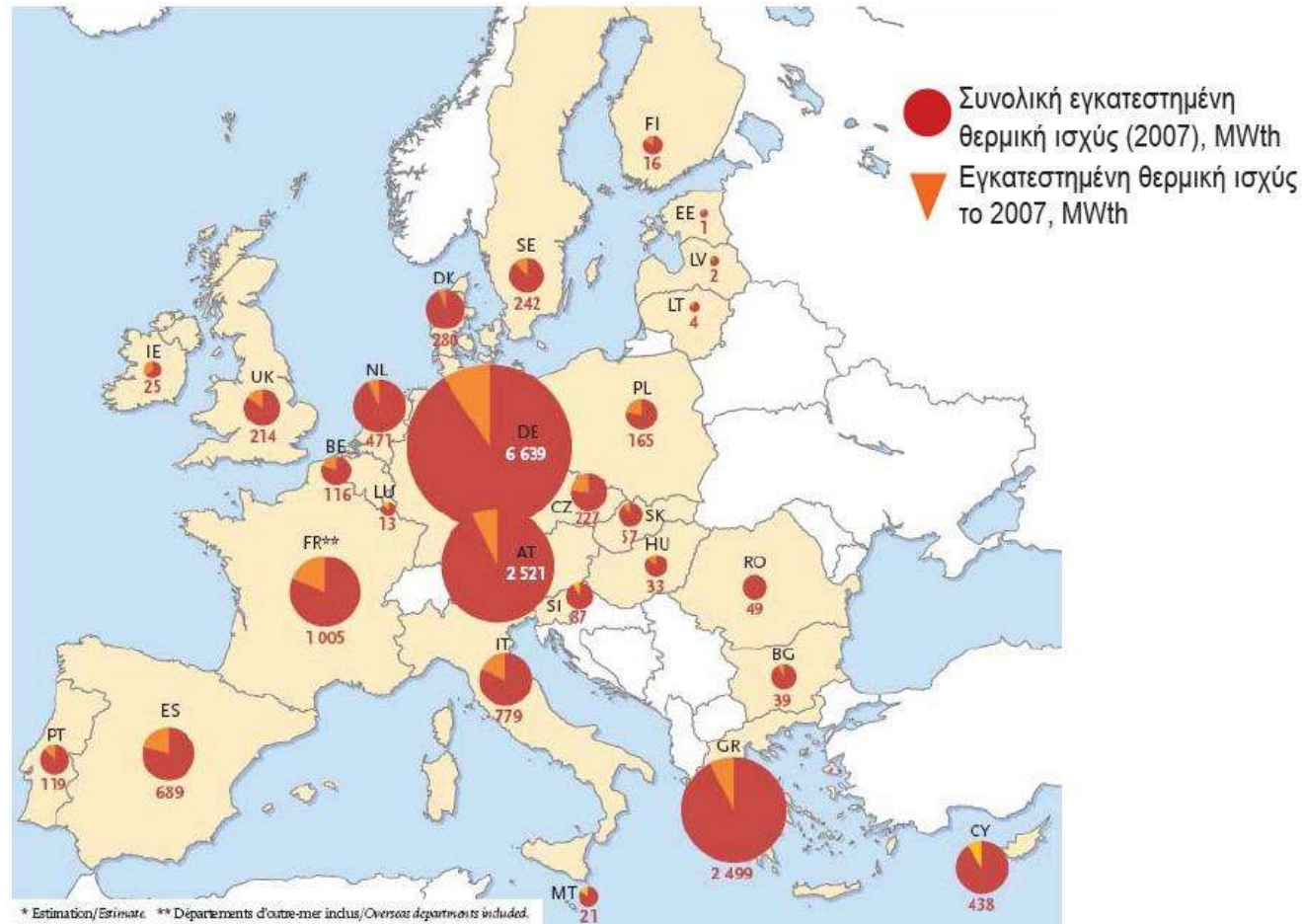


Σημειακής εστίασης

Ετήσια ολική ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντια επιφάνεια - Ευρώπη



Συνολική εγκατεστημένη θερμική ισχύς στην Ε.Ε.



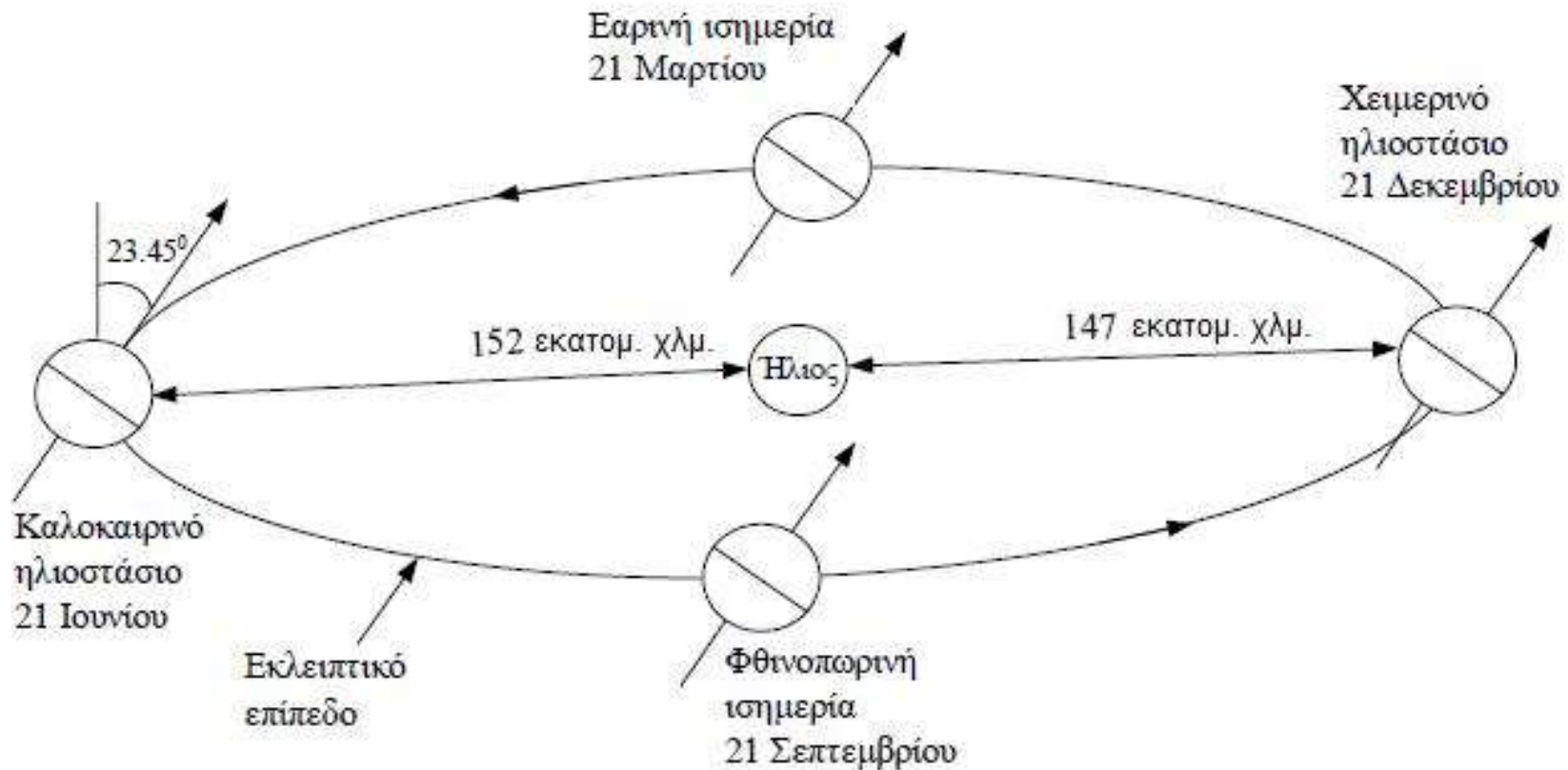


Η κίνηση της Γης γύρω από τον Ήλιο

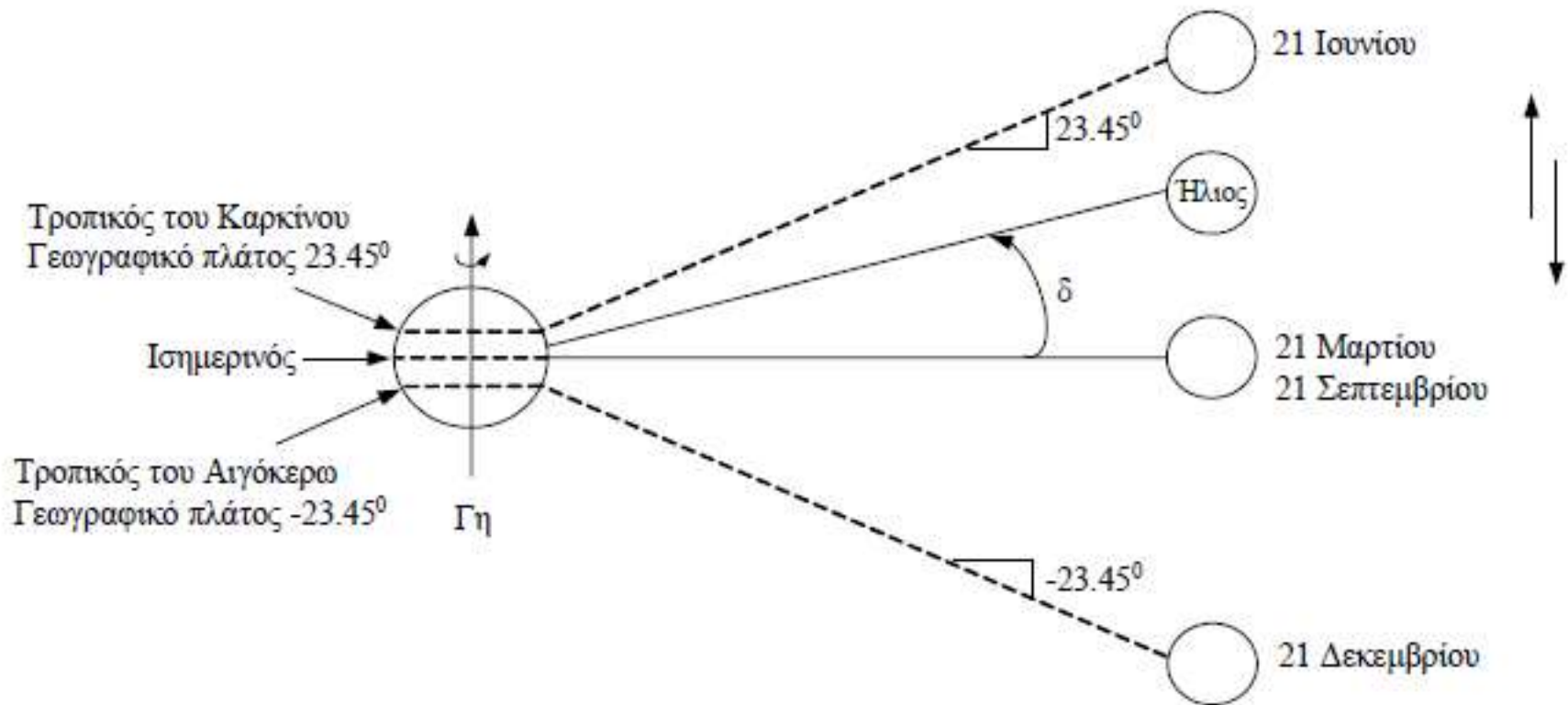
Η κίνηση της Γης γύρω από τον ήλιο μπορεί να αναλυθεί σε δύο κύριες συνιστώσες:

- Περιφορά γύρω από τον ήλιο, σε ελλειπτική τροχιά, με τον ήλιο στη μια από τις δύο εστίες
- Περιστροφή της Γης γύρω από τον άξονά της

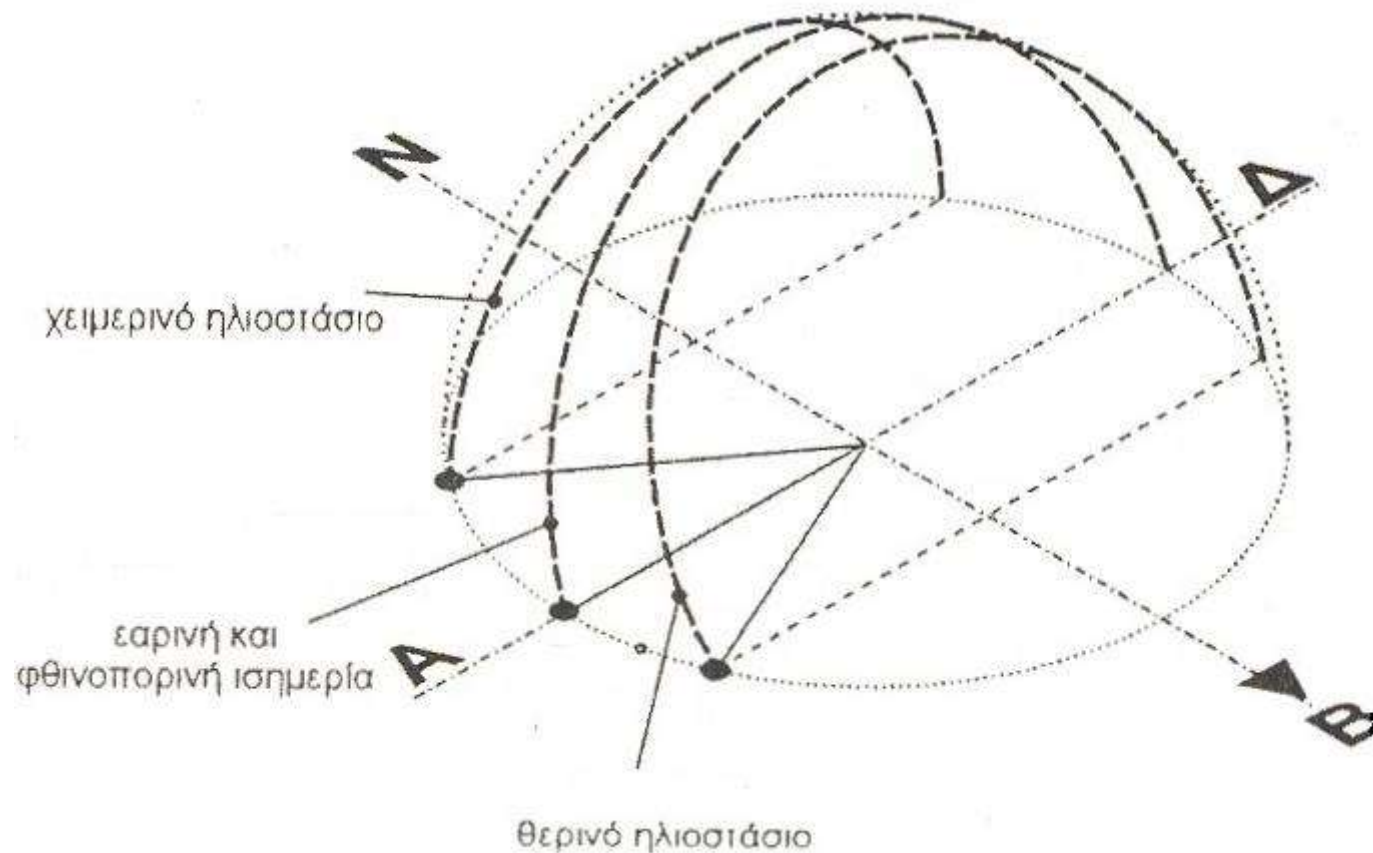
Ετήσια περιστροφή της Γης γύρω από τον Ήλιο



Γωνία ηλιακών ακτίνων σε σχέση με το επίπεδο του Ισημερινού



Διαδρομή του ηλίου (θέση τοπικού παρατηρητή)

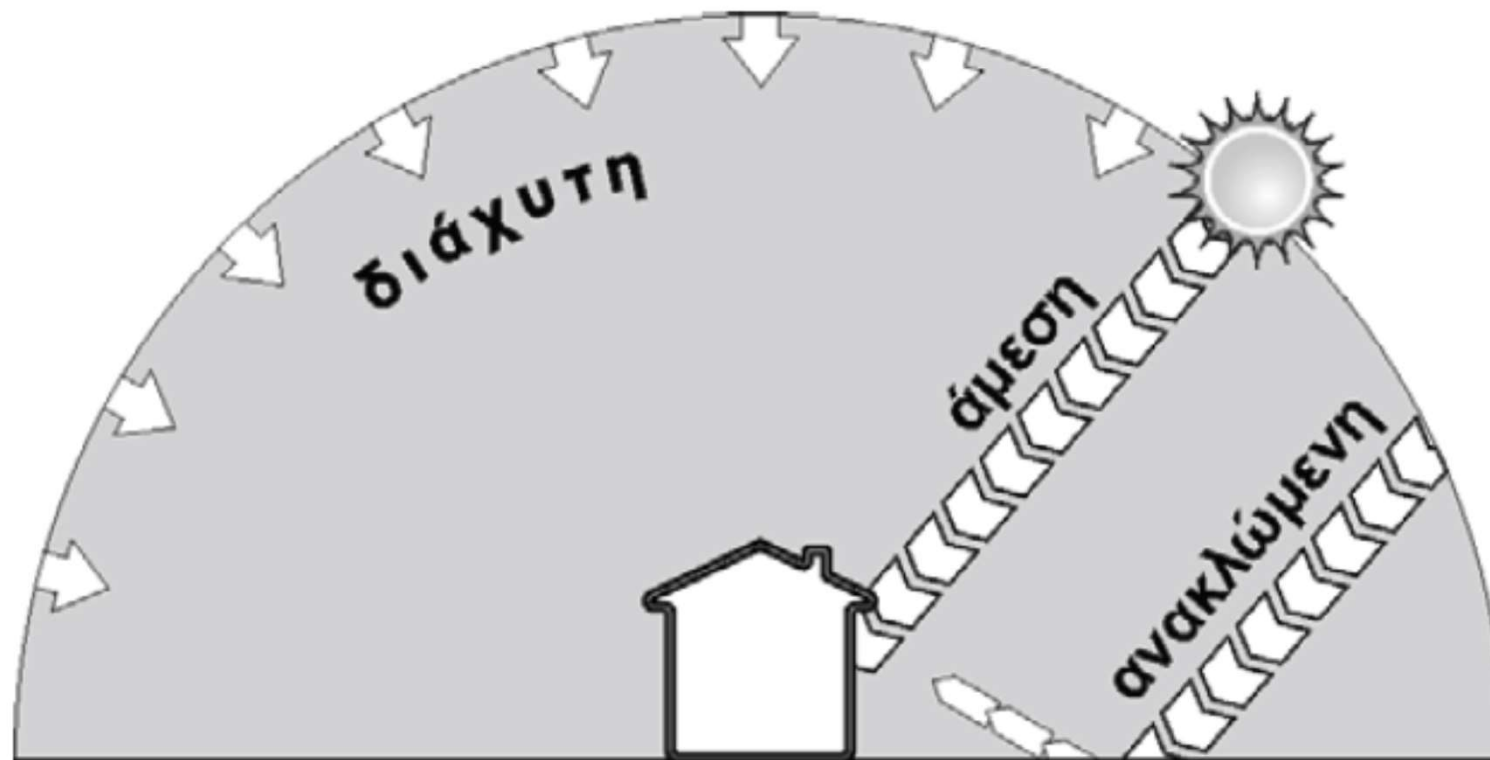




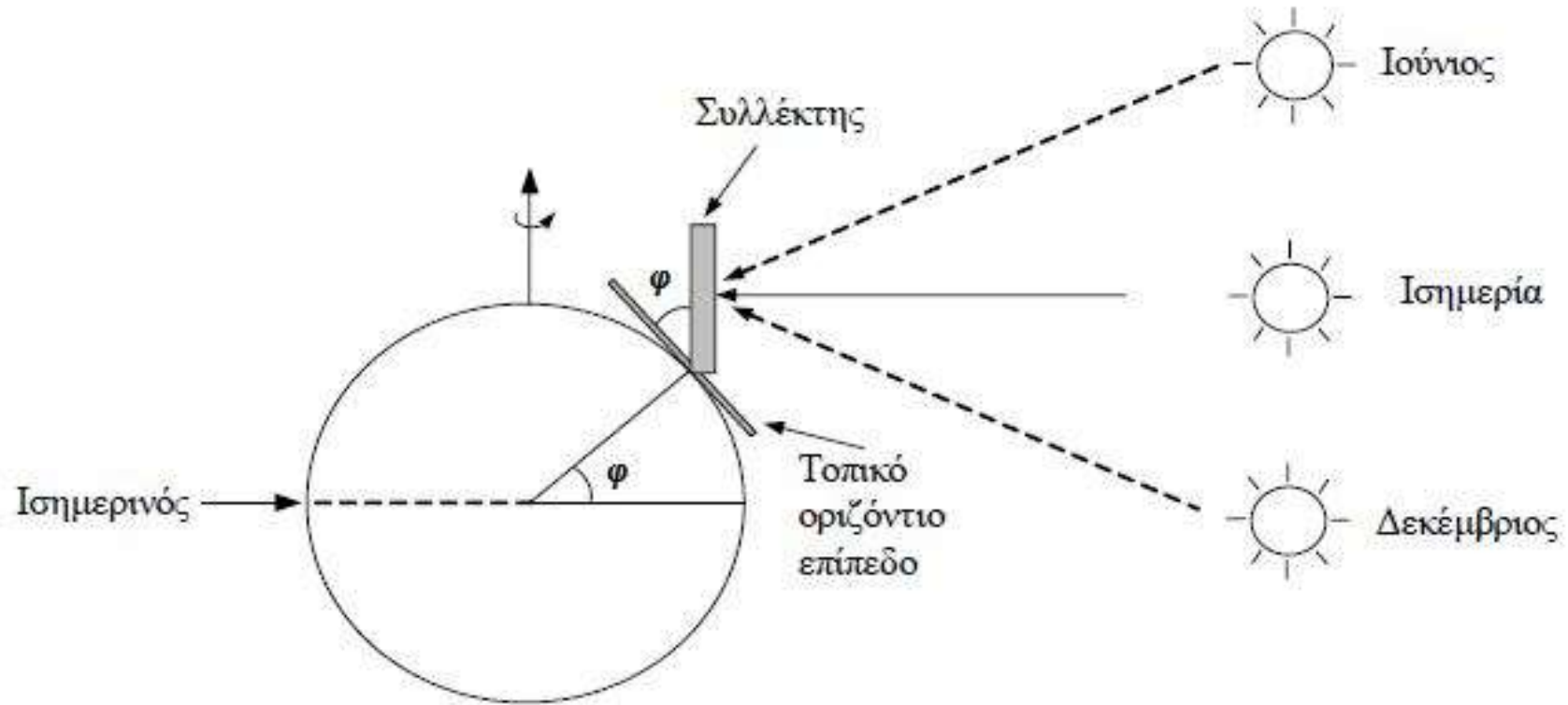
Ανάλυση ηλιακής ακτινοβολίας

- Η ποσότητα της οριζόντιας ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στην επιφάνεια της γης μπορεί να διαιρεθεί σε δύο συνιστώσες: την *άμεση* (ή *απευθείας*) *ακτινοβολία* και τη *διάχυτη ακτινοβολία*
- Η άμεση ακτινοβολία είναι το τμήμα της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στην επιφάνεια της γης χωρίς σκέδαση στην ατμόσφαιρα
- Η διάχυτη ακτινοβολία είναι το τμήμα της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στην επιφάνεια της γης με αλλαγμένη διεύθυνση, αφού έχει υποστεί σκέδαση στην ατμόσφαιρα και ανάκλαση από το έδαφος. Επομένως, η διάχυτη ακτινοβολία φτάνει στην επιφάνεια της γης με τυχαίες διευθύνσεις από όλο τον ουράνιο θόλο
- Επιπλέον, σε μια κεκλιμένη επιφάνεια ένα τμήμα της ηλιακής ακτινοβολίας μπορεί να προέρχεται και από αυτήν που ανακλάται διάχυτα από το έδαφος

Ανάλυση ηλιακής ακτινοβολίας



Κλίση συλλέκτη...

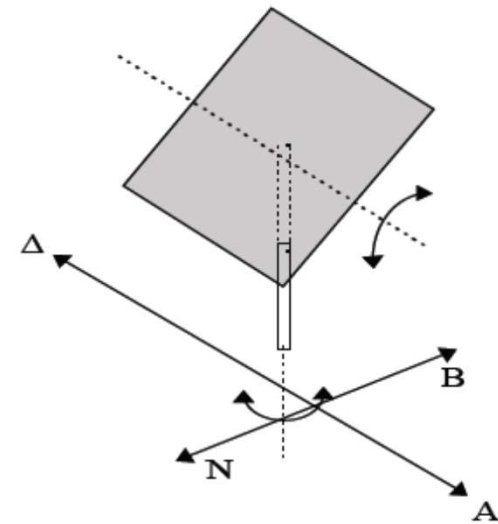
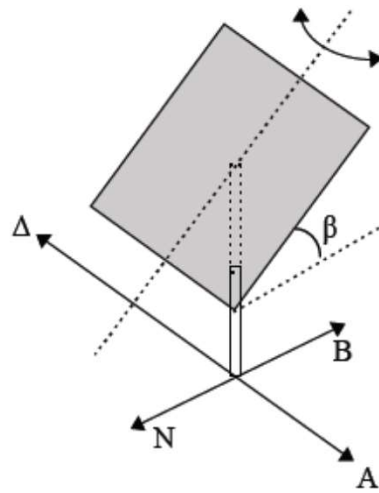
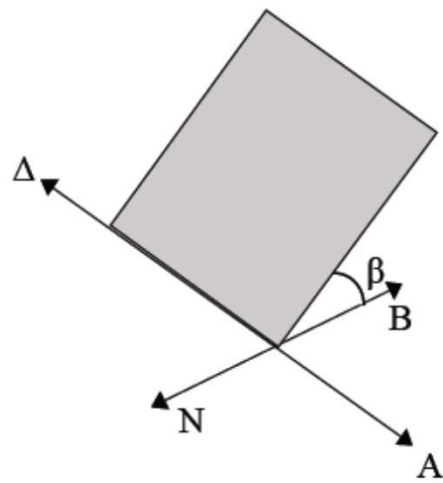




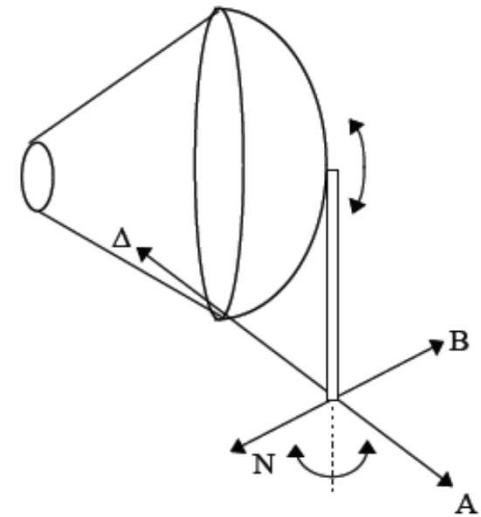
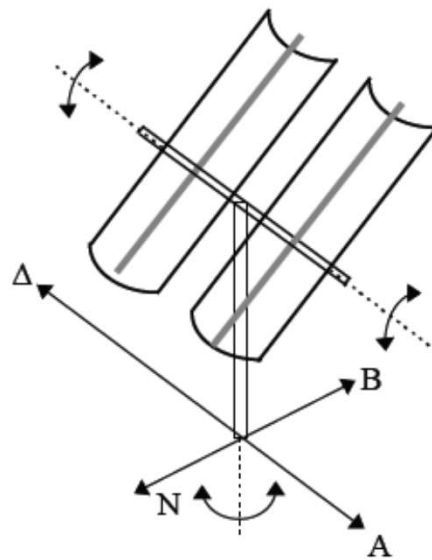
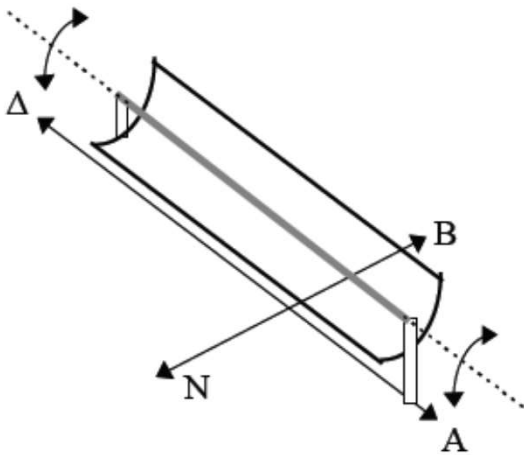
Συλλογή μέγιστης ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλιακούς συλλέκτες

- Η βέλτιστη γωνία κλίσης σε όλη τη διάρκεια του έτους θα πρέπει, σύμφωνα με τη θεωρία, να είναι ίση με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου. Στην πράξη συνιστώνται κλίσεις $\pm 5^\circ$ σε σχέση με το γεωγραφικό πλάτος
- Κατά την διάρκεια της **θερινής** περιόδου: Η βέλτιστη γωνία κλίσης πρέπει να είναι περίπου 20° **μικρότερη** από το γεωγραφικό πλάτος του τόπου
- Κατά την διάρκεια της **χειμερινής** περιόδου: Η βέλτιστη γωνία κλίσης πρέπει να είναι περίπου 15° **μεγαλύτερη** από το γεωγραφικό πλάτος του τόπου. Αν στο έδαφος υπάρχει επιφάνεια με μεγάλο συντελεστή ανάκλασης (π.χ., χιόνι) απαιτείται μεγαλύτερη κλίση
- Ο βέλτιστος προσανατολισμός (αζιμούθιο) για τους ηλιακούς συλλέκτες είναι ο νότιος με μικρή απόκλιση $\pm 5^\circ$

Συστήματα παρακολούθησης τροχιάς ήλιου (επίπεδοι συλλέκτες)

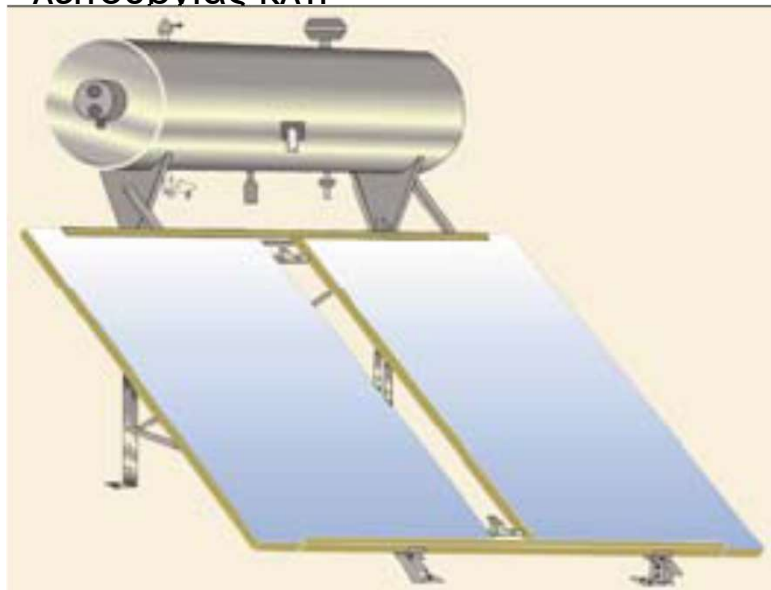


Συστήματα παρακολούθησης τροχιάς ήλιου (συγκεντρωτικοί συλλέκτες)



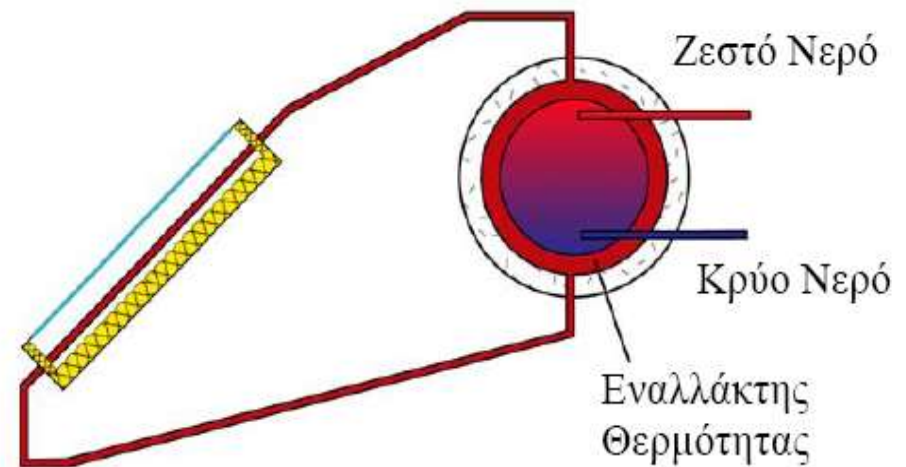
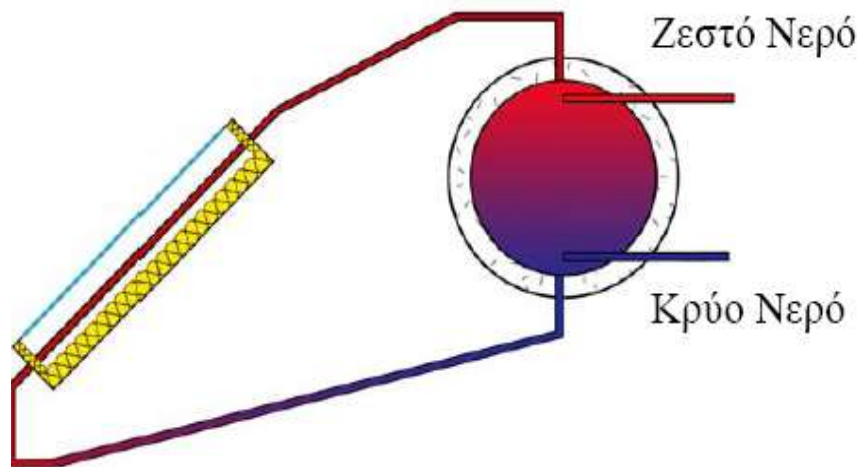
Κατηγορίες ηλιακών συλλεκτών (1)

- *Παθητικά ηλιακά συστήματα* (φυσικής κυκλοφορίας): Δεν χρησιμοποιούνται κυκλοφορητές ή αντλίες για τη μεταφορά της θερμότητας στο δίκτυο της εγκατάστασης (αρχή θερμοσιφώνου)
- *Ενεργητικά ηλιακά συστήματα* (εξαναγκασμένης κυκλοφορίας): Χρησιμοποιούνται σε μεγάλες κυρίως εγκαταστάσεις και περιλαμβάνουν κυκλοφορητές ή αντλίες (που καταναλώνουν κάποια ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας). Προσφέρουν περισσότερες δυνατότητες στον έλεγχο των επιμέρους λειτουργιών, της παραγόμενης θερμότητας, των θερμοκρασιών λειτουργίας κλπ



Κατηγορίες ηλιακών συλλεκτών (2)

- Ανοιχτού βρόχου
- Κλειστού βρόχου





Κατηγορίες ηλιακών συλλεκτών (3)

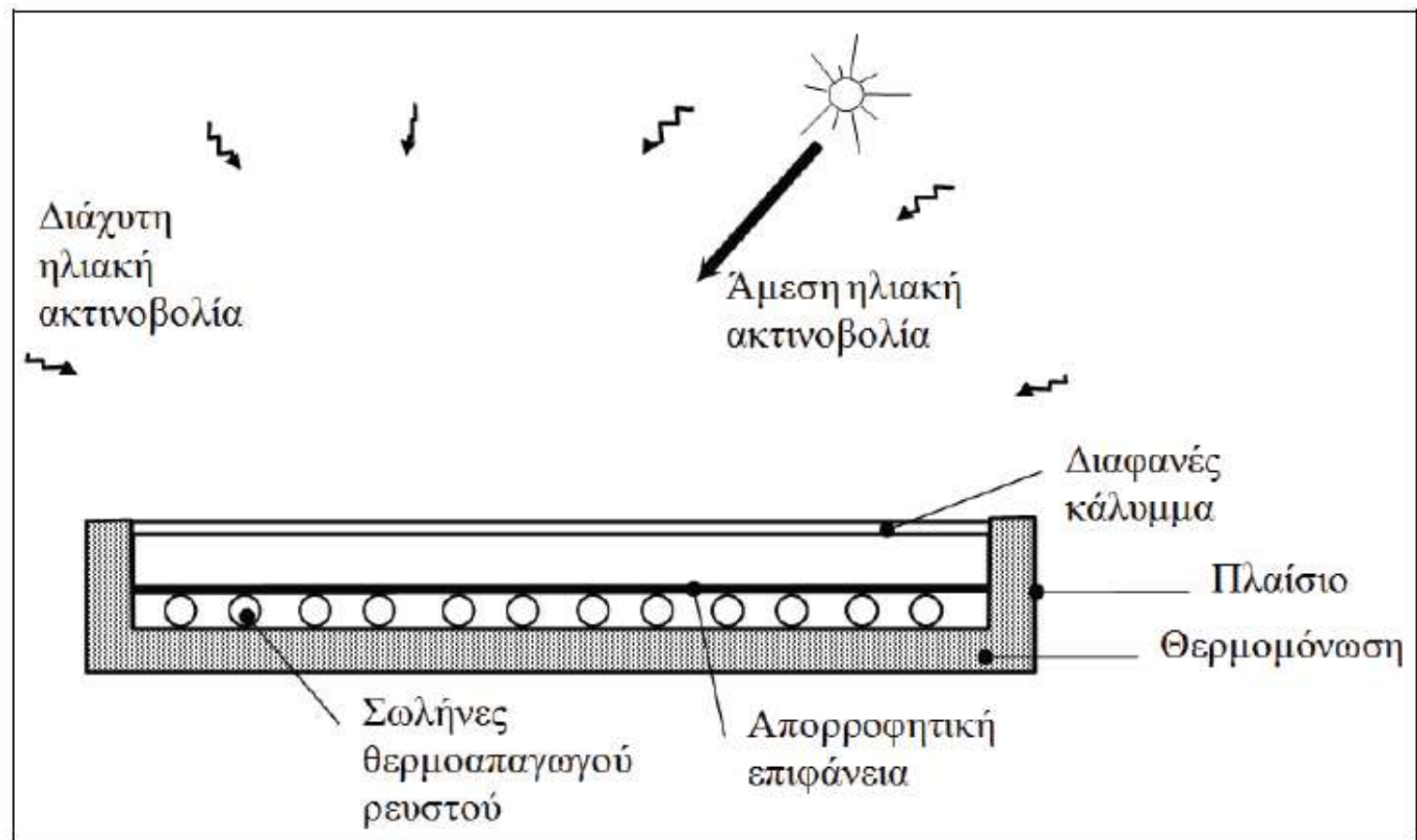
- *Διπλής ενέργειας:* Ο θερμοσίφοντας λειτουργεί εκμεταλλευόμενος είτε την ηλιακή ενέργεια είτε το ηλεκτρικό ρεύμα (π.χ., κατά την διάρκεια συννεφιάς οπότε η ηλιακή ενέργεια δεν είναι αρκετή για να ζεστάνει το νερό). Για τον σκοπό αυτό, υπάρχει ηλεκτρική αντίσταση τοποθετημένη εντός του τμήματος αποθήκευσης
- *Τριπλής ενέργειας:* Λειτουργεί όπως ο ηλιακός θερμοσίφοντας διπλής ενέργειας αλλά έχει επιπλέον μια είσοδο για να εκμεταλλευτεί ως θερμαντικό μέσο το ζεστό νερό του καλοριφέρ που παράγεται από τον λέβητα κεντρικής θέρμανσης



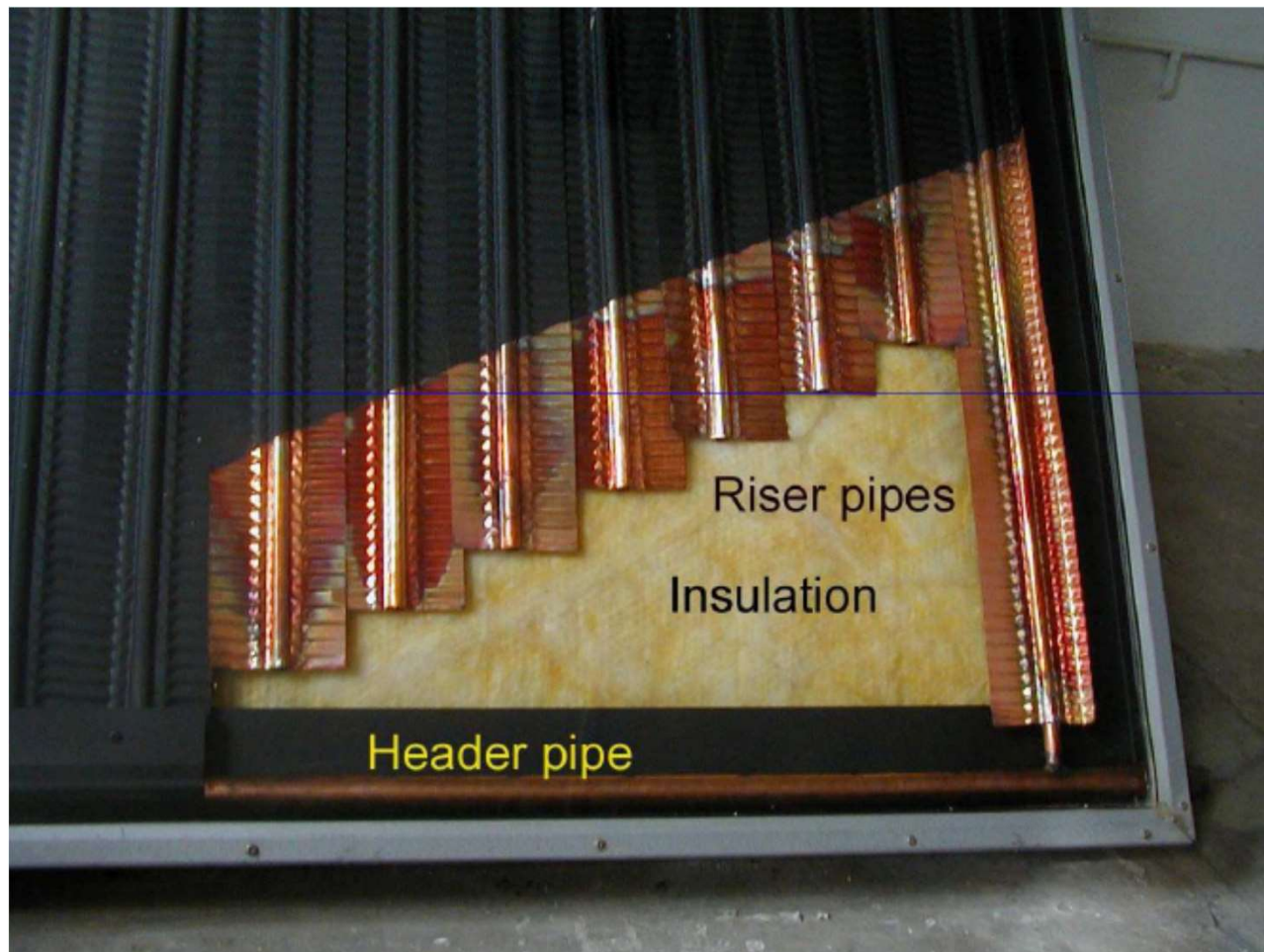
Επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες

- Είναι ο πλέον συνηθισμένος τύπος συλλέκτη που συνήθως χρησιμοποιείται για την παραγωγή ΖΝΧ (ηλιακός θερμοσίφοντας)
- Εκμεταλλεύονται την άμεση και διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία και χρησιμοποιούνται για εφαρμογές που απαιτούν σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες (50-80°C)
- Η λειτουργία τους βασίζεται στο φαινόμενο του θερμοκηπίου
- Οι υψηλότερες αποδόσεις παρουσιάζονται όταν έχουμε υψηλά ποσοστά ηλιακής ακτινοβολίας (π.χ., αίθρια ημέρα), αλλά μπορούν να λειτουργήσουν και σε μια συννεφιασμένη ημέρα (π.χ., μόνο διάχυτη ακτινοβολία) με χαμηλότερες αποδόσεις
- Μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συνδυασμό με ένα κεντρικό σύστημα θέρμανσης χώρων, που συνδέεται με ένα υποδαπέδιο σύστημα ή μονάδες στοιχείων ανεμιστήρα (fan coils), όπου απαιτούνται χαμηλές θερμοκρασίες (περίπου 40÷45°C)
- Αποτελούνται από τα ακόλουθα τμήματα:
 - Απορροφητής
 - Κάλυμμα
 - Θερμομόνωση απορροφητή
 - Πλαίσιο συλλέκτη

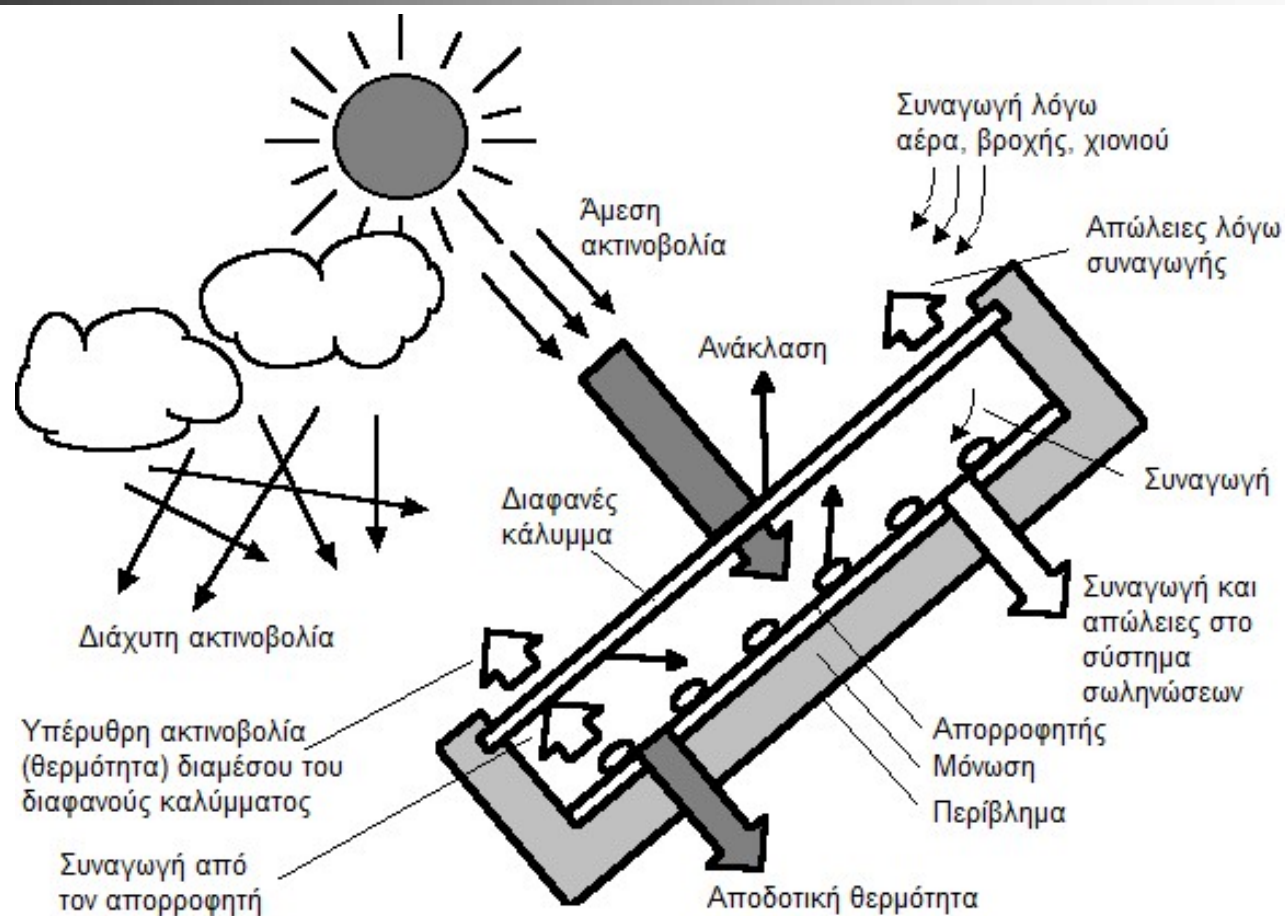
Τομή επίπεδου ηλιακού συλλέκτη



Τμήματα επίπεδου ηλιακού συλλέκτη

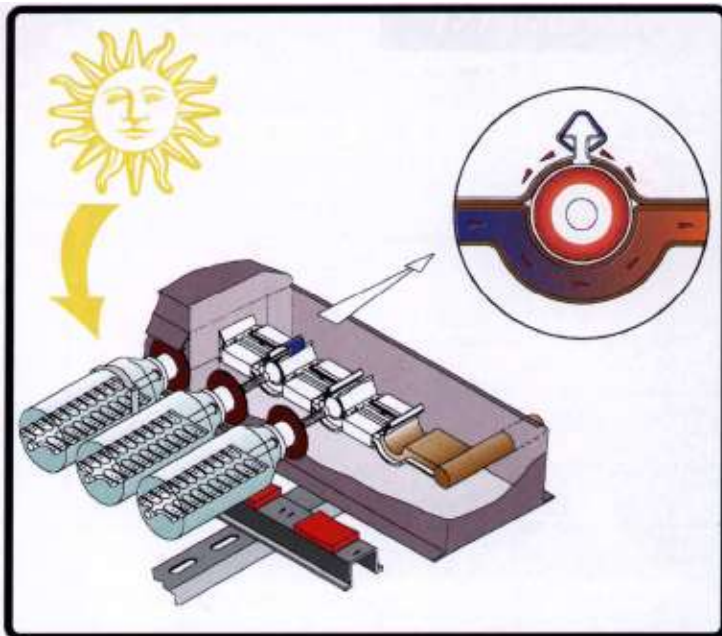


Μετάδοση θερμότητας σε επίπεδο ηλιακό συλλέκτη

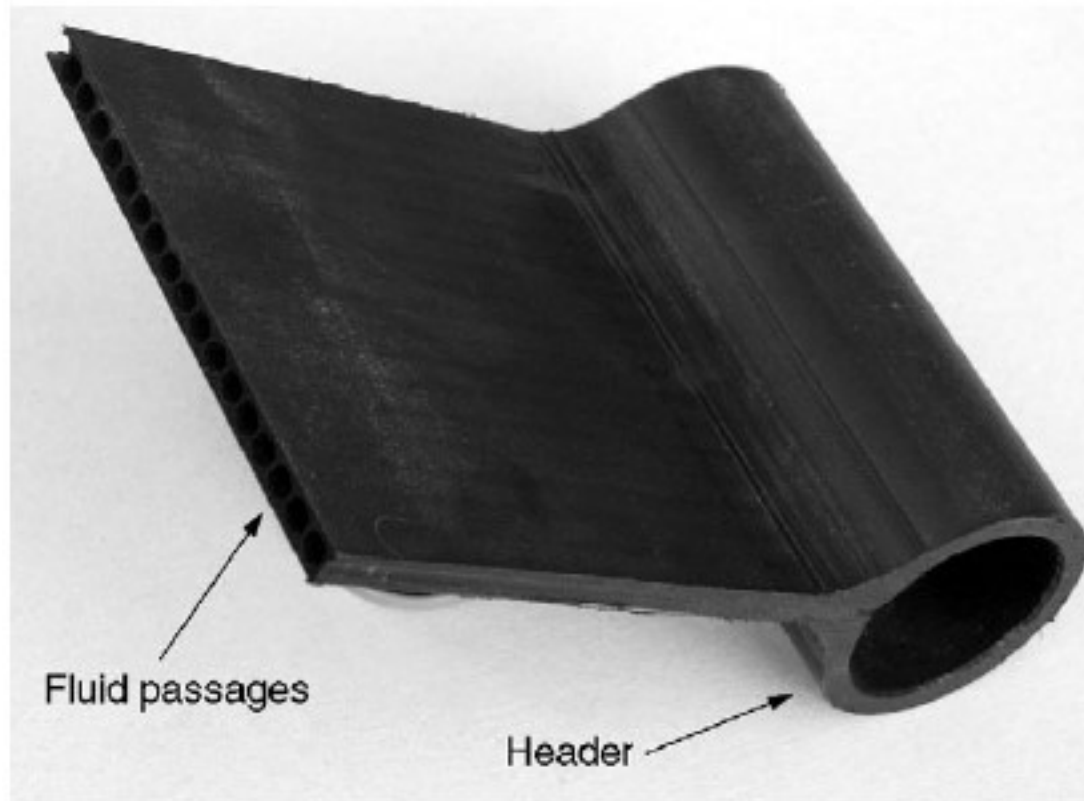


Συλλέκτες κενού

Διαφοροποιούνται από τους επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες στον τρόπο απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας και αποδίδουν ακόμα υψηλότερες θερμοκρασίες (της τάξης των 100-150°C)



Τομή πλαστικού συλλέκτη, χωρίς τζάμι (κάλυμμα) και μόνωση



Πλαστικοί συλλέκτες χωρίς κάλυμμα για θέρμανση πισίνας

Η επιφάνεια των ηλιακών συλλεκτών χρειάζεται να είναι περίπου το 50-80% της επιφάνειας της πισίνας

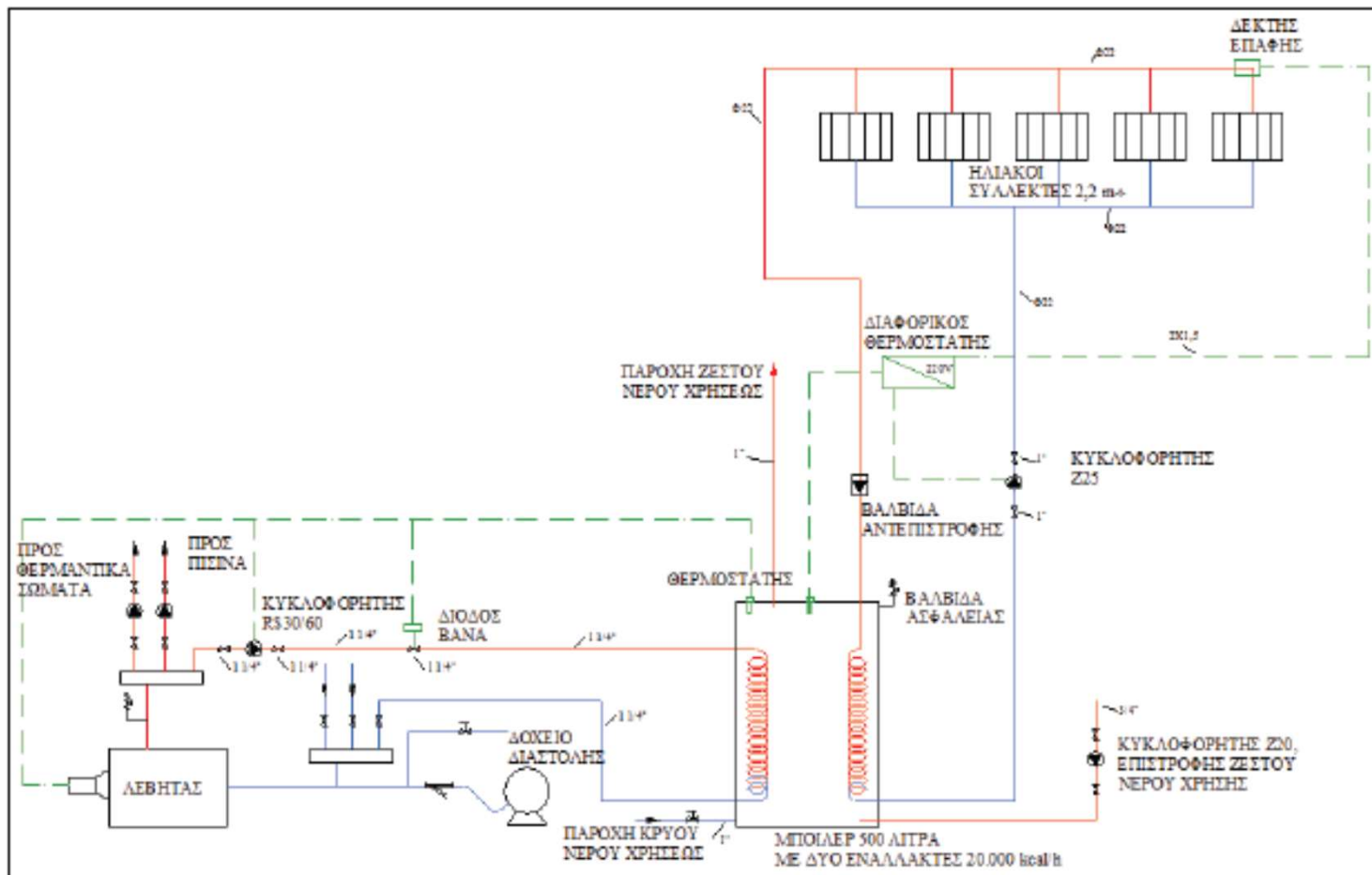




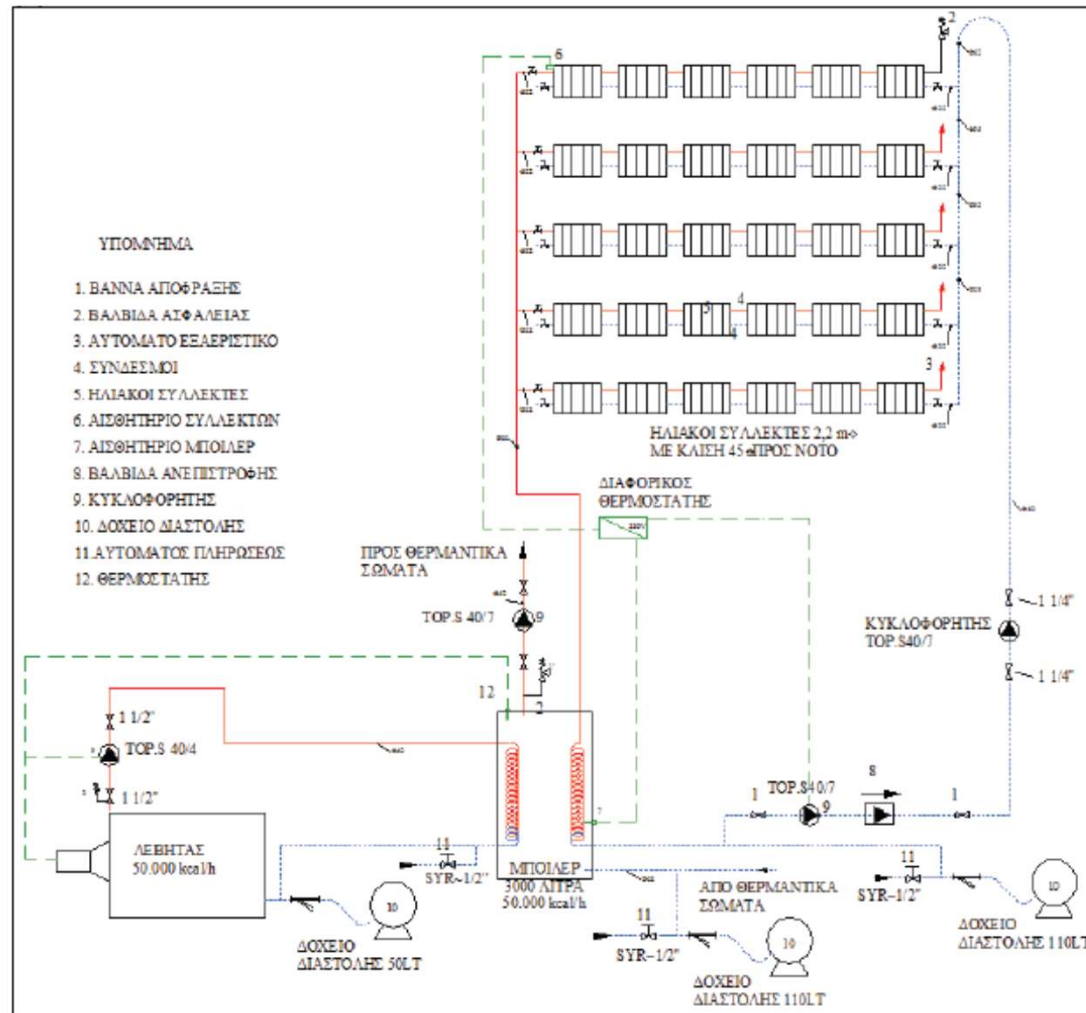
Ηλιακοί συλλέκτες αέρα

- Χρησιμοποιούν αέρα ως θερμοαπαγωγό ρευστό, ο οποίος από τους εσωτερικούς χώρους κυκλοφορεί μέσα στον ηλιακό συλλέκτη και αφού θερμανθεί επιστρέφει και αποδίδεται στο χώρο
- Εναλλακτικά, μπορεί να χρησιμοποιηθεί εξωτερικός αέρας ο οποίος θερμαίνεται και αποδίδεται στους εσωτερικούς χώρους
- Επίσης, μπορεί να γίνει παραγωγή ζεστού νερού, παρεμβάλλοντας έναν εναλλάκτη αέρα/νερού
- Οι ηλιακοί συλλέκτες αέρα δεν είναι τόσο διαδεδομένοι

Διάγραμμα παροχής ΖΝΧ με ηλιακούς συλλέκτες και λέβητα



Διάγραμμα θέρμανσης χώρων με ηλιακούς συλλέκτες και λέβητα





Θερμική ισχύς ηλιακού συλλέκτη

$$Q = \underbrace{A_c \cdot G_T \cdot F_R(\tau\alpha)_n}_{\text{κέρδη}} - \underbrace{A_c \cdot F_R U_L \cdot (T_{\text{εισ}} - T_\alpha)}_{\text{απώλειες}}$$

"Q" ωφέλιμη συλλεγόμενη θερμική ισχύς (W)

"A_c" επιφάνεια συλλέκτη (m²)

"G_T" ένταση της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια του συλλέκτη (W/m²)

"F_R" συντελεστής θερμικής απολαβής του συλλέκτη

"T" διαπερατότητα του διαφανούς καλύμματος του συλλέκτη στην ηλιακή ακτινοβολία

"α" απορροφητικότητα του απορροφητήρα στην ηλιακή ακτινοβολία

"U_L" συνολικός ισοδύναμος συντελεστής ενεργειακών απωλειών του συλλέκτη (W/m²/°C)

"T_{εισ}" θερμοκρασία του ρευστού στην είσοδο του συλλέκτη (°C)

"T_α" θερμοκρασία περιβάλλοντος (°C)

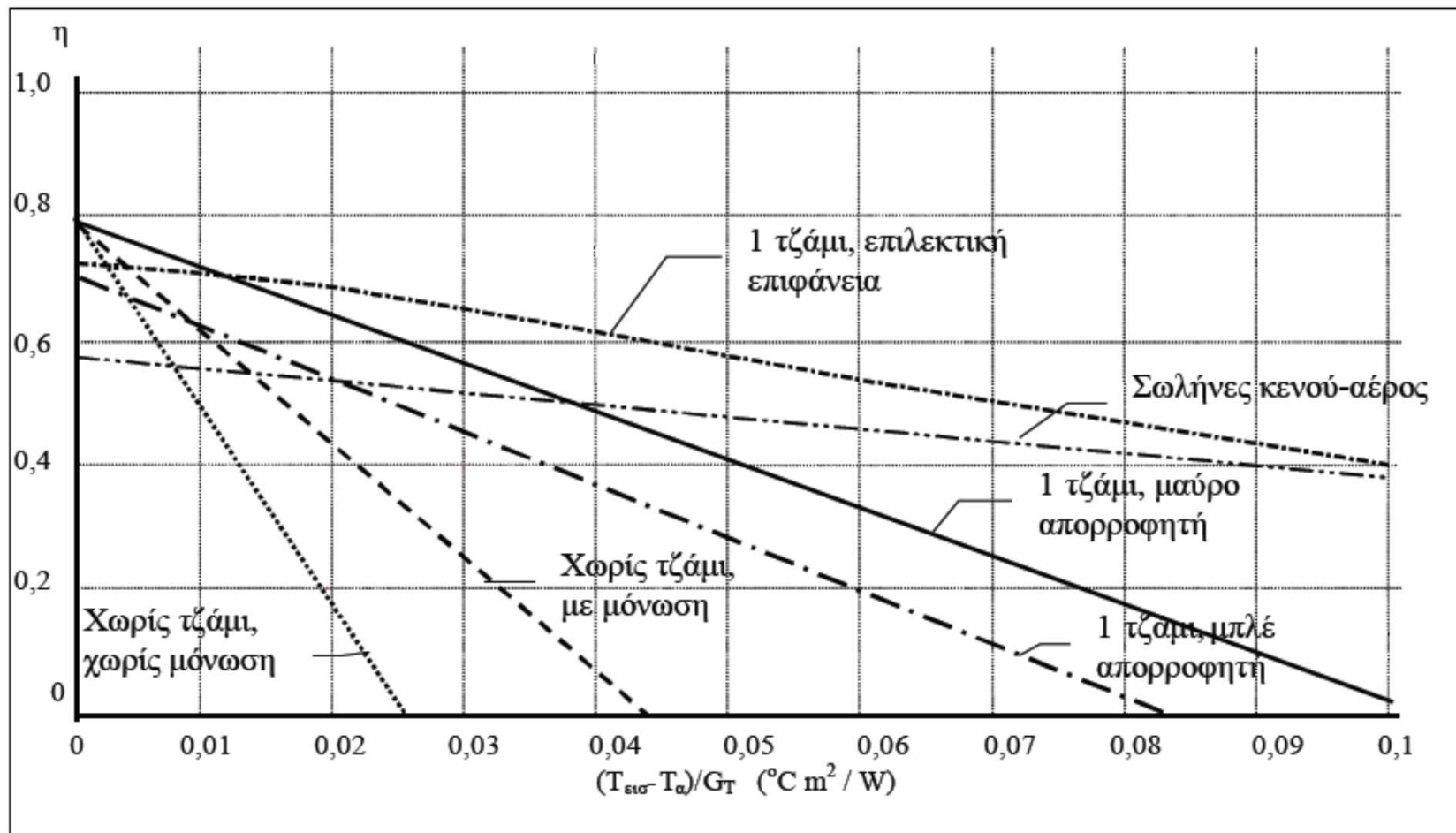


Βαθμός απόδοσης – παράμετροι απόδοσης ηλιακού συλλέκτη

$$\eta = \frac{Q}{A_c \cdot G_T} = F_R \cdot (\tau \cdot \alpha)_n - F_R \cdot U_L \cdot \frac{(T_{\text{εισ}} - T_a)}{G_T}$$

Περιγραφή συλλέκτη	$F_R(\tau\alpha)_n$	$F_R U_L$ (W/m ² °C)
Απλός συλλέκτης (πλαστικοί σωλήνες) χωρίς κάλυμμα και μόνωση (ταχύτητα ανέμου 2,2 m/s)	0,86	21,5
Μαύρο χρώμα – 1 υαλοπίνακας	0,82	7,5
Μαύρο χρώμα – 2 υαλοπίνακες ή επιλεκτική επιφάνεια με 1 υαλοπίνακα	0,75	5,0
Σωλήνες κενού-αέρος	0,57	1,82

Καμπύλες απόδοσης διαφορετικών τύπων ηλιακών συλλεκτών





Οικονομικά στοιχεία ηλιακών συλλεκτών

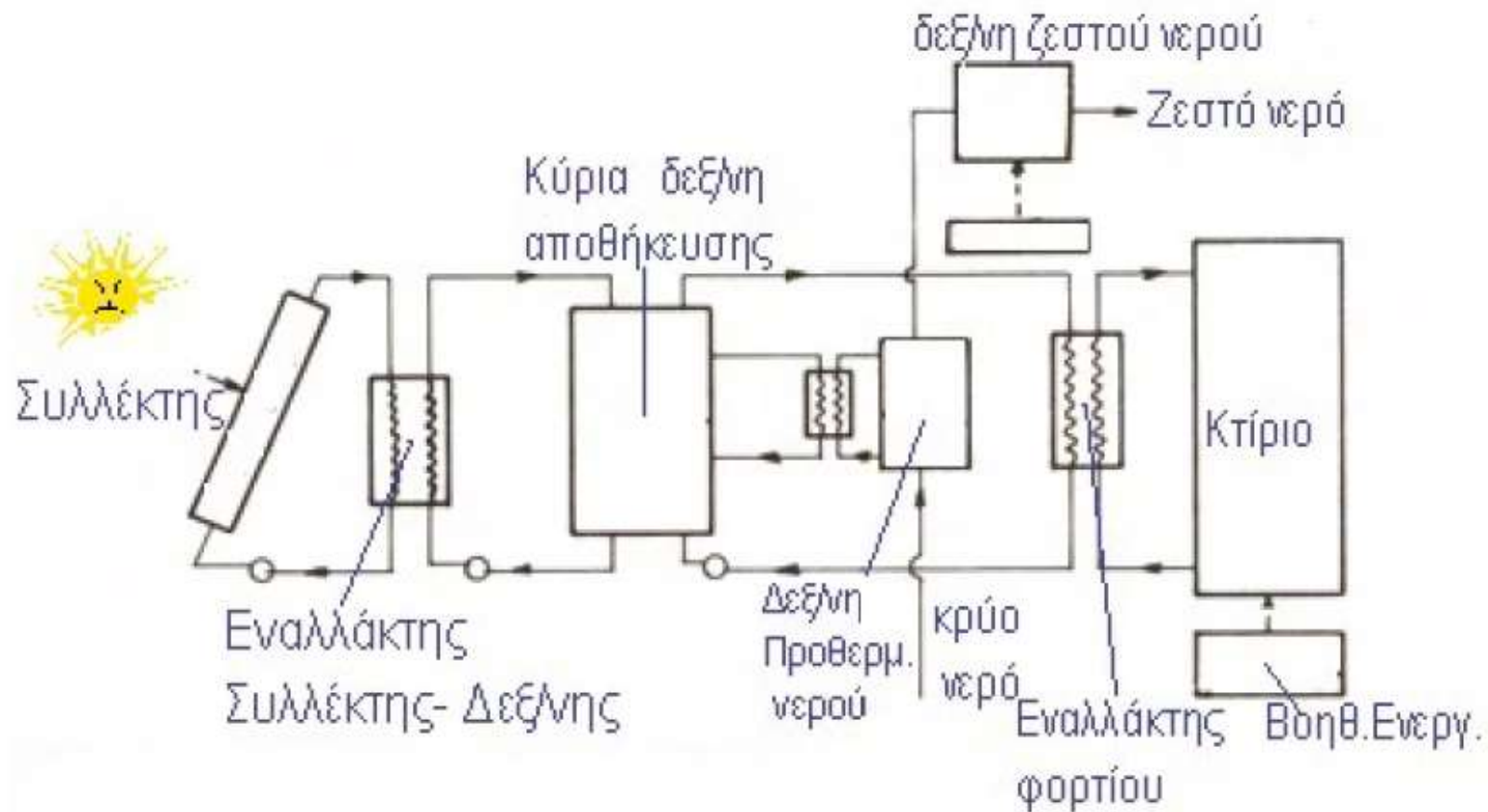
- Η οικονομική βιωσιμότητα των ηλιακών συλλεκτών εξαρτάται από πολλές παραμέτρους, όπως το εποχιακό φορτίο, το σχεδιασμό και τη διαστασιολόγηση της εγκατάστασης, το αρχικό και λειτουργικό κόστος των ηλιακών συλλεκτών ανάλογα με τον τύπο ηλιακού συλλέκτη, την αποθήκευση θερμότητας, το βοηθητικό εξοπλισμό και τους απαιτούμενους αυτοματισμούς, τη συντήρηση και τον έλεγχο λειτουργίας
- Το αρχικό κόστος των ηλιακών θερμικών συστημάτων συνήθως αυξάνεται με την αύξηση της επιθυμητής θερμοκρασίας εξόδου από τους συλλέκτες
- Όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία εισόδου στο συλλέκτη, τόσο μικρότερη είναι η απόδοσή του και συνήθως χρειάζεται μεγαλύτερη συλλεκτική επιφάνεια για να αποδοθεί η ισοδύναμη ενέργεια
- Σε μεγάλες εγκαταστάσεις, η δυνατότητα εκμετάλλευσης των ηλιακών συλλεκτών όλο το χρόνο για την παραγωγή ΖΝΧ και την κάλυψη των αναγκών θέρμανσης-ψύξης, βελτιώνει την οικονομική βιωσιμότητα των εγκαταστάσεων
- Το κόστος των ηλιακών συλλεκτών για παραγωγή ΖΝΧ είναι περίπου 800€ με 120lt δοχείο αποθήκευσης νερού, περίπου 1000€ με δοχείο 160lt και περίπου 1500€ με δοχείο 200lt



Μέθοδος καμπυλών f

- Χρησιμοποιείται για να αξιολογηθεί η απόδοση ενός κεντρικού συστήματος ηλιακού συλλέκτη σε σχέση με συγκεκριμένη ζήτηση φορτίου (θέρμανση χώρων ή/και ΖΝΧ)
- Η μέθοδος χρησιμοποιεί μηνιαίο βήμα και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της μηνιαίας, εποχιακής και ετήσιας θερμικής απόδοσης ενεργητικών ηλιακών συστημάτων υπολογίζοντας το ποσοστό του ολικού θερμικού φορτίου που θα καλυφθεί από την ηλιακή ενέργεια
- Υπολογίζει το συντελεστή κάλυψης f (το ποσοστό του μηνιαίου θερμικού φορτίου για θέρμανση χώρων και ΖΝΧ που καλύπτεται από την ηλιακή ενέργεια)
- Χρειάζεται προσοχή στις **μονάδες** των μεγεθών που περιλαμβάνονται στους υπολογισμούς

Μέθοδος καμπυλών f – Διάγραμμα συστήματος θέρμανσης





Μέθοδος καμπυλών f – Υπολογισμοί

Ποσοστό κάλυψης f ($0 \leq f \leq 1$):

$$f = 1,029 \cdot Y - 0,065 \cdot X - 0,245 \cdot Y^2 + 0,0018 \cdot X^2 + 0,0215 \cdot Y^3$$

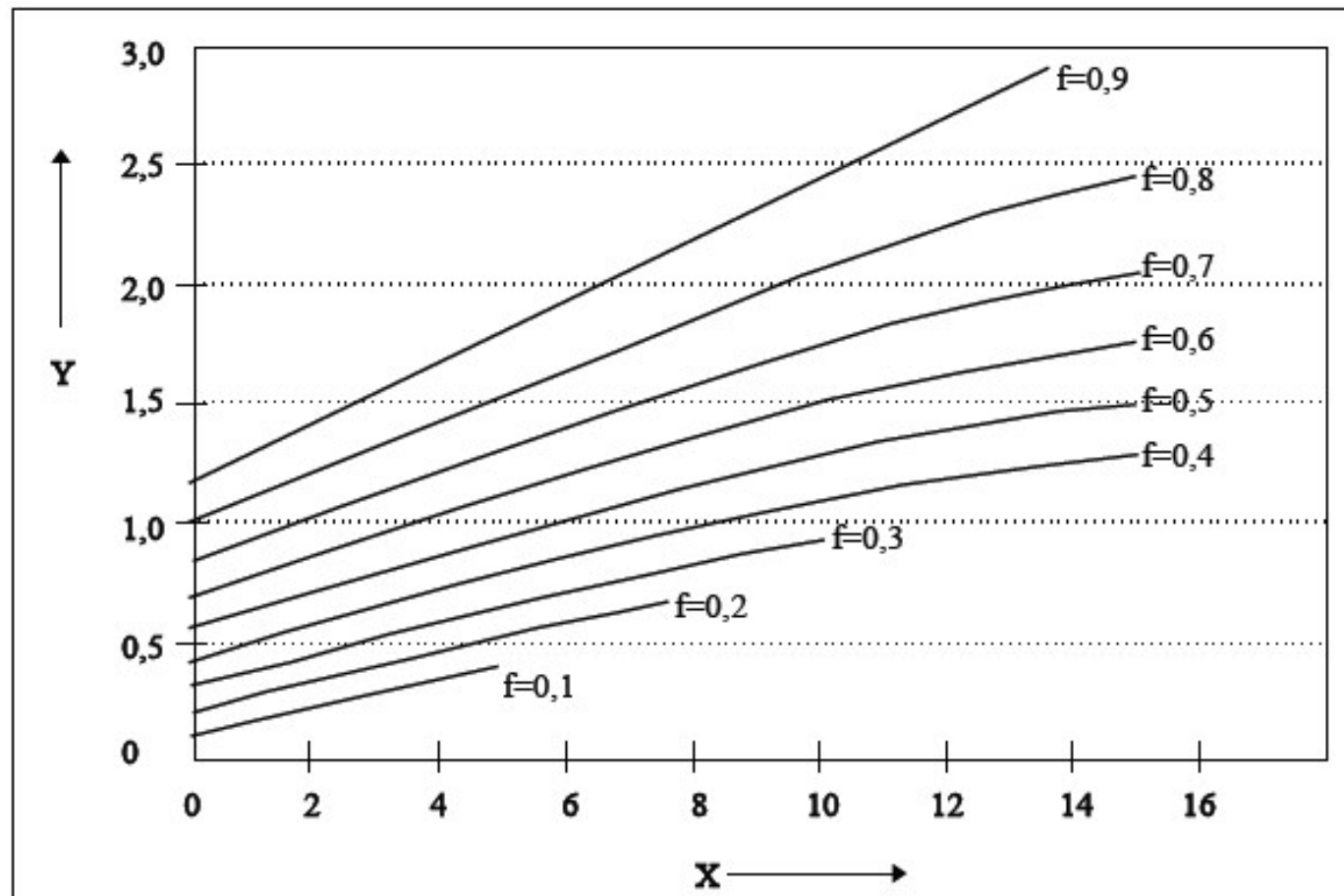
Ο αδιάστατος συντελεστής "X" εκφράζει το ποσό των ενεργειακών απωλειών προς το συνολικό θερμικό φορτίο του μήνα ($0 < X < 18$):

$$X = \left(\frac{A_c}{L} \right) \cdot F_R \cdot U_L \cdot \left(\frac{F'_R}{F_R} \right) \cdot (T_{\alpha\alpha\phi} - \bar{T}_\alpha) \cdot \Delta t \cdot k_1 \cdot k_2$$

Ο αδιάστατος συντελεστής "Y" εκφράζει το ποσό της ενέργειας που μπορεί να αξιοποιήσει ο ηλιακός συλλέκτης προς το συνολικό θερμικό φορτίο του μήνα ($0 < Y < 3$):

$$Y = \left(\frac{A_c}{L} \right) \cdot F_R (\tau\alpha)_n \cdot \left(\frac{F'_R}{F_R} \right) \cdot \left(\frac{\bar{\tau\alpha}}{(\tau\alpha)_n} \right) \cdot \bar{H}_\beta \cdot k_3$$

Διάγραμμα καμπυλών f





Υπολογισμός απαιτούμενου φορτίου

Το απαιτούμενο μηνιαίο φορτίο για παροχή ζεστού νερού " L_{ZNX} " υπολογίζεται από τη σχέση:

$$L_{ZNX} = N \cdot HK_{ZNX} \cdot \rho \cdot C_p \cdot (T_{ZNX} - T_K)$$

Το απαιτούμενο μηνιαίο φορτίο για τη θέρμανση χώρων " L_{Θ} " είναι ανάλογο των βαθμομερών θέρμανσης στη διάρκεια του μήνα και υπολογίζεται από τη σχέση:

$$L_{\Theta} = 24 \cdot 3600 \cdot (U \cdot A) \cdot DD \cdot k$$

Το συνολικό μηνιαίο φορτίο " L " είναι το άθροισμα του L_{ZNX} και του L_{Θ}

Υπολογισμός συντελεστών

$$k_1, k_2, k_3$$

" k_1 " διορθωτικός συντελεστής χωρητικότητας αποθήκης (δεξαμενής):

$$k_1 = \left[\frac{75}{M} \right]^{0,25}$$

" k_2 " διορθωτικός συντελεστής ζεστού νερού:

$$k_2 = \frac{11,6 + 1,18 \cdot T_{ZNX} + 3,86 \cdot T_k - 2,32 \cdot T_\alpha}{100 - T_\alpha}$$

" k_3 " διορθωτικός συντελεστής για τον εναλλάκτη θερμότητας φορτίου (για παραγωγή ZNX, ο συντελεστής παίρνει τιμή ίση με τη μονάδα ($k_3=1$) επειδή δεν παρεμβάλλεται εναλλάκτης φορτίου):

$$k_3 = 0,39 + 0,65 \cdot \exp \frac{-0,139 \cdot (U_L \cdot A_C)}{\varepsilon \cdot C_{\min}}$$



Μέση ετήσια κάλυψη F

- Η μέση μηνιαία ωφέλιμη ενέργεια είναι το γινόμενο της μηνιαίας κάλυψης f επί το μέσο μηνιαίο θερμικό φορτίο L , για κάθε μήνα
- Η μέση ετήσια κάλυψη F , είναι το πηλίκο του αθροίσματος των τιμών της μέσης μηνιαίας ωφέλιμης ενέργειας προς το μέσο ετήσιο φορτίο και υπολογίζεται από τη σχέση:

$$F = \frac{\sum(L_i \cdot f_i)}{\sum(L_i)} \quad \text{όπου } i = 1-12$$

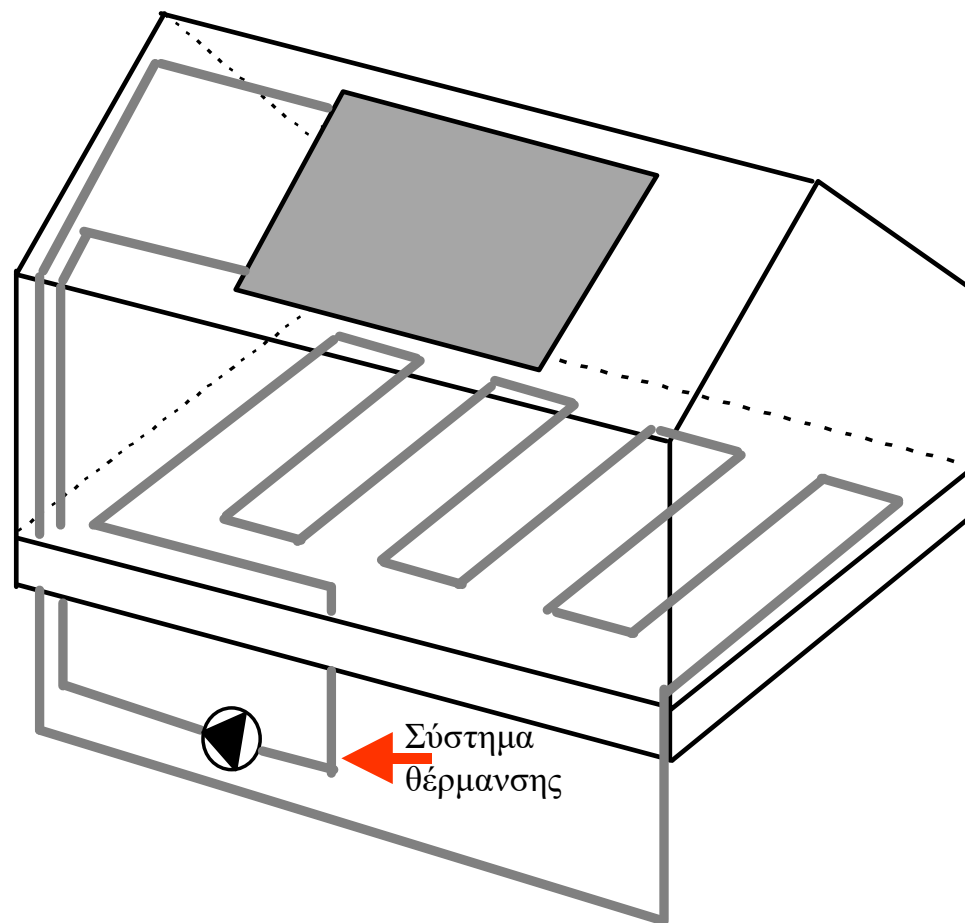


Υποδαπέδιο σύστημα θέρμανσης

- Το ζεστό νερό κυκλοφορεί από τον συλλέκτη μέσω σωλήνων που βρίσκονται μέσα στο δάπεδο του χώρου
- Το δάπεδο λειτουργεί σαν αποθηκευτικός χώρος, συνεπώς απαιτείται κατάλληλη θερμοχωρητικότητα του δαπέδου (π.χ., μπετόν με κατάλληλο πάχος)
- Η θερμότητα αποδίδεται στον χώρο με ακτινοβολία και με συναγωγή, όταν η θερμοκρασία του χώρου είναι μικρότερη από την θερμοκρασία της επιφάνειας του δαπέδου



Υποδαπέδιο σύστημα θέρμανσης





Συστήματα combi (ZNX και θέρμανση χώρων)

- Στην Ελλάδα οι περισσότερες εγκαταστάσεις ηλιακών συλλεκτών είναι αυτόνομοι επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες για την παραγωγή ZNX, που εξυπηρετούν ένα νοικοκυριό, ή κεντρικές εγκαταστάσεις ZNX σε κτήρια του τριτογενή τομέα (π.χ., ξενοδοχεία)
- Στο εξωτερικό, συνηθίζονται κεντρικές εγκαταστάσεις για την παραγωγή ZNX σε συνδυασμό με τη θέρμανση χώρων (συστήματα combi), εκμεταλλευόμενοι το ίδιο πεδίο ηλιακών συλλεκτών
- Μερίδιο συστημάτων combi: Ελλάδα 5%, Αυστρία 40%, Ελβετία 35%, Ολλανδία 20%, Δανία 15%, Γαλλία 5%, Ευρώπη (συνολικά) 15%

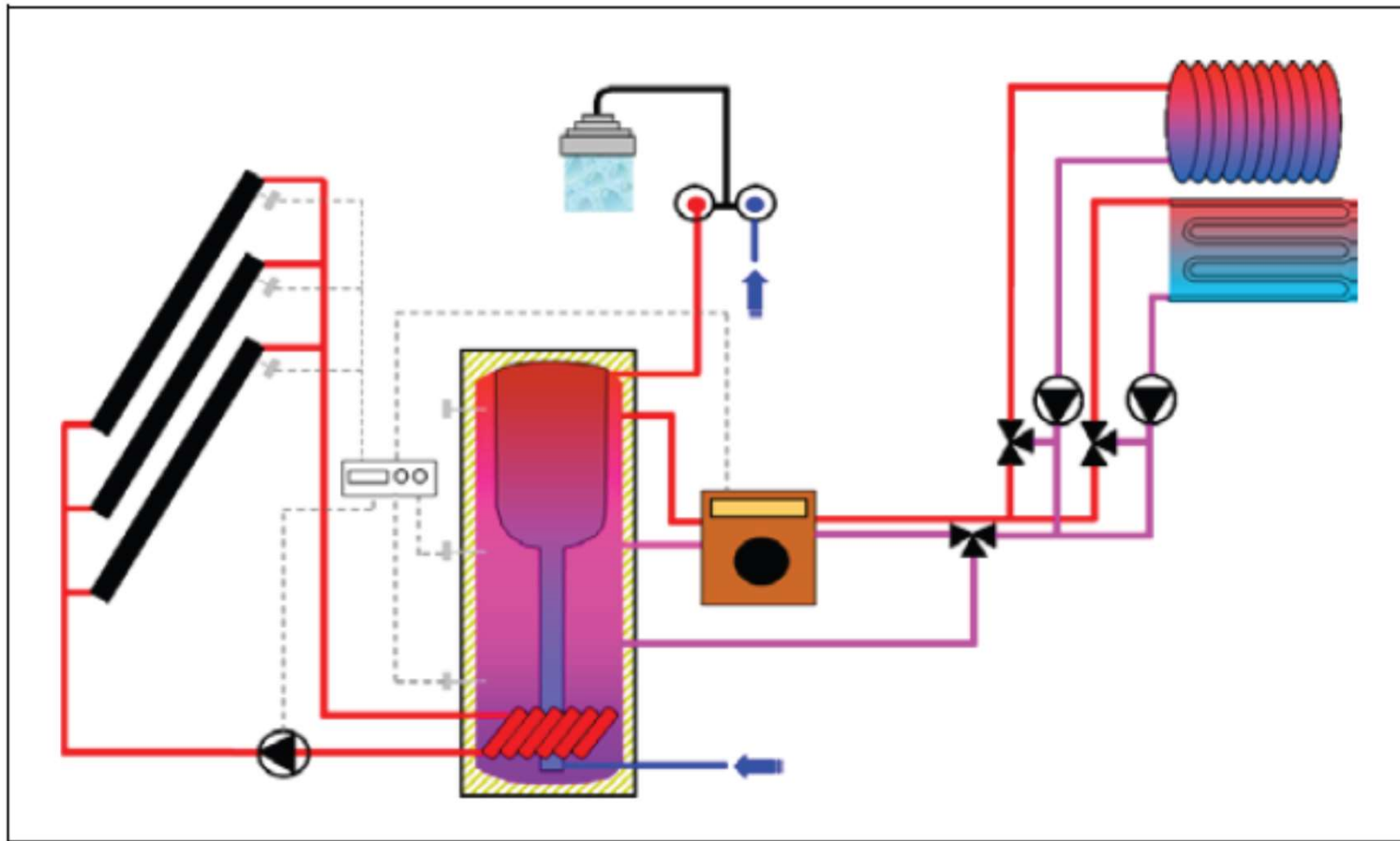
- Ζεστό Νερό Χρήσης (ZNX)
 - Θέρμανση Χώρων
- } Ηλιακά
} Συστήματα Combi



Χαρακτηριστικά συστημάτων combi

- Μια τυπική εγκατάσταση ηλιακού συστήματος combi αποτελείται από τους ηλιακούς συλλέκτες, μια δεξαμενή αποθήκευσης ζεστού νερού και ένα εφεδρικό σύστημα θέρμανσης (π.χ., λέβητα)
- Ένα σύστημα combi απαιτεί μεγαλύτερη επιφάνεια ηλιακών συλλεκτών σε σχέση με ένα σύστημα παραγωγής ΖΝΧ προκειμένου να καλύψει τα απαιτούμενα φορτία
- Η εγκατάσταση μπορεί να περιλαμβάνει μια δεξαμενή αποθήκευσης θερμότητας και ένα ανεξάρτητο μπόιλερ ΖΝΧ
- Τα παραπάνω μπορούν όμως να συνδυαστούν σε ένα δοχείο με κάθετη θερμοκρασιακή διαστρωμάτωση έτσι ώστε να μπορούν να καλυφθούν οι διαφορετικές θερμοκρασιακές απαιτήσεις για ΖΝΧ και θέρμανση χώρων

Διάταξη συστήματος combi





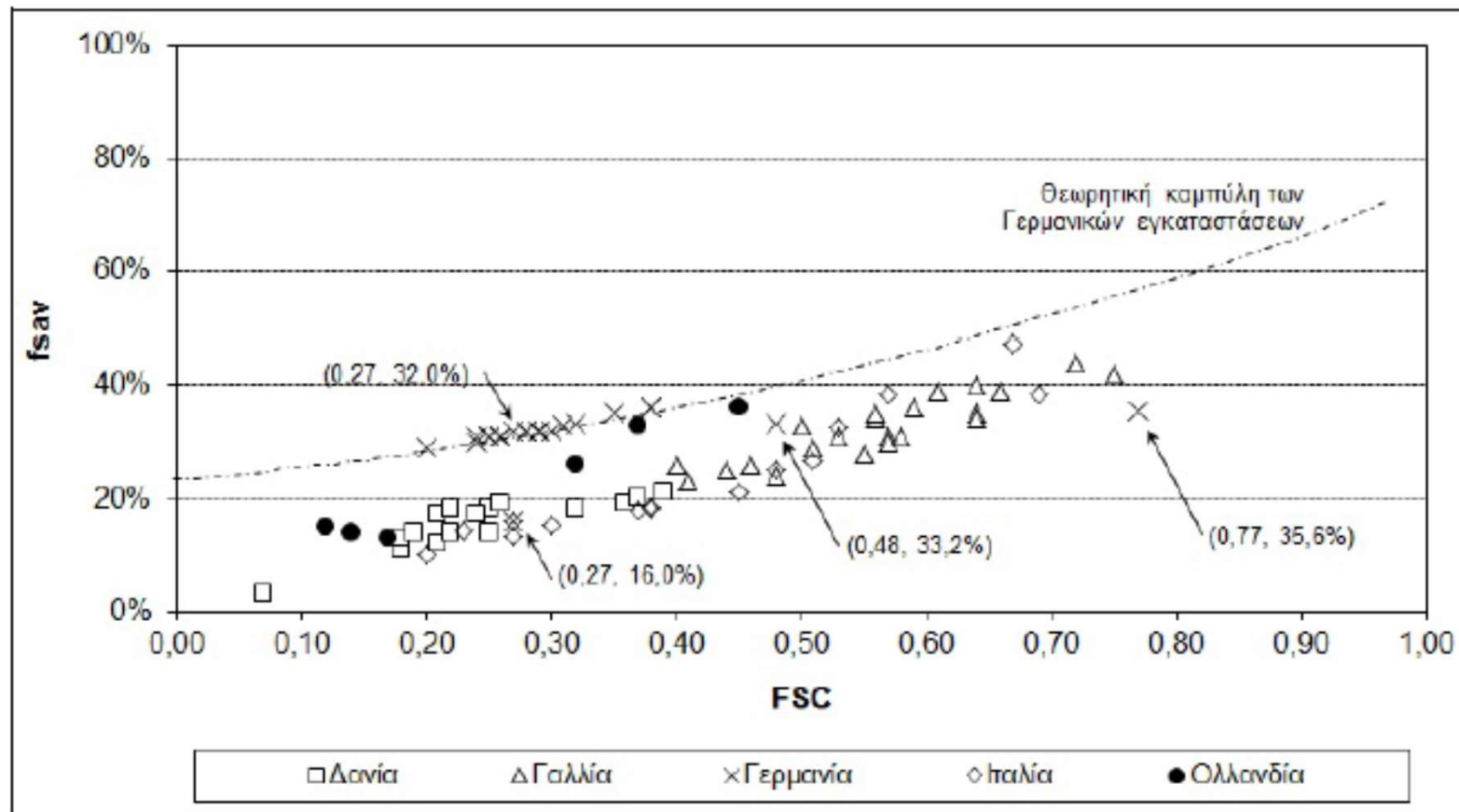
Απόδοση και κάλυψη συστημάτων combi

- Σε ετήσια βάση, η απόδοση των ηλιακών συλλεκτών (αποδιδόμενη θερμότητα προς την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία) κυμαίνεται μεταξύ 40÷55% και εξαρτάται από τον τύπο του συλλέκτη, την αποθήκη του ζεστού νερού και το εφεδρικό σύστημα θέρμανσης
- Ο μέσος ετήσιος συντελεστής εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας, λαμβάνοντας υπόψη τις απώλειες από τη δεξαμενή θερμότητας και την απορριπτόμενη θερμότητα, κυμαίνεται από 20÷25%
- Τα συστήματα combi μπορούν να καλύψουν 10÷60% των συνολικών φορτίων για ΖΝΧ και θέρμανση χώρων στην κεντρική και βόρεια Ευρώπη (απαιτούμενη επιφάνεια ηλιακών συλλεκτών για μια κατοικία στην Αυστρία: 12÷20 m²)
- Απαιτούν συγκεκριμένη μελέτη και σχεδιασμό έτσι ώστε να αποφεύγονται λειτουργικά προβλήματα το καλοκαίρι, εξαιτίας του μεγάλου πεδίου ηλιακών συλλεκτών σε σχέση με τα χαμηλά θερμικά φορτία, που έχουν σαν αποτέλεσμα την υπερθέρμανση (π.χ., με χρήση δοχείου αδράνειας μέσω αυτορυθμιζόμενου κυκλοφορητή)

Τεχνοοικονομικά στοιχεία συστημάτων combi

- Ο όγκος της δεξαμενής αποθήκευσης ανά μονάδα επιφάνειας ηλιακών συλλεκτών εξαρτάται από τις συνθήκες σχεδιασμού και τα φορτία (σε σχέση με τις βαθμοήμερες θέρμανσης (BHΘ))
- Για διάφορες ευρωπαϊκές χώρες κυμαίνεται από 26,8 lt/m² στη Γαλλία (BHΘ=3170) έως 116,7 lt/m² στην Σουηδία (BHΘ=4521)
- Το μέσο κόστος των εγκαταστάσεων είναι 765€ ανά μονάδα επιφάνειας συλλεκτών, αλλά μπορεί να παρουσιάζει σημαντικές διαφοροποιήσεις
- Μια απλή μέθοδος για να μπορούν να χαρακτηριστούν και να συγκριθούν τα διαφορετικά συστήματα combi βασίζεται στη χρήση ενός αδιάστατου συντελεστή που ονομάζεται **Κλασματική Ηλιακή Κατανάλωση** (Fractional Solar Consumption, **FSC**), που ορίζεται ως το πηλίκο της διαθέσιμης θερμότητας που αποδίδεται από ένα σύστημα (εκμεταλλεύσιμη ηλιακή ενέργεια από μια συγκεκριμένη επιφάνεια ηλιακών συλλεκτών) προς τη συνολική απαιτούμενη θερμότητα χωρίς το ηλιακό σύστημα combi
- Η τιμή του συντελεστή FSC είναι θεωρητική και διαφοροποιείται από την πραγματική κλασματική εξοικονόμηση ενέργειας (fractional thermal energy savings, **fsav**)

Συσχέτιση FSC και fsav



Συστήματα combi-plus

(ZNX, θέρμανση και ψύξη χώρων)

- Τα συστήματα combi-plus μπορούν να καλύψουν τις ανάγκες για ZNX, θέρμανση και ψύξη χώρων
- Εκμεταλλεύονται το γεγονός ότι τα μέγιστα ψυκτικά φορτία το καλοκαίρι συμπίπτουν με την υψηλή διαθεσιμότητα ηλιακής ενέργειας



Σύστημα combi-plus



Ηλιακοί συλλέκτες



Ψύκτης απορρόφησης



Ζεστό νερό χρήσης (ZNX)
στην επιθυμητή
θερμοκρασία

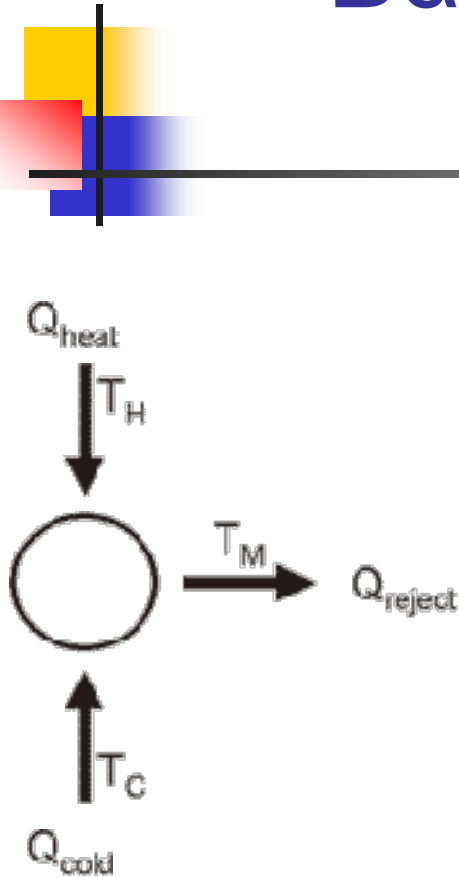
Ψυχρό νερό για
κλιματισμό στους 7°C



Θερμό νερό για ZNX
στους 40°C - 50°C



Βασικό σχέδιο διαδικασίας ηλιακού κλιματισμού



- T_H : Επίπεδο υψηλής θερμοκρασίας
- T_C : Επίπεδο χαμηλής θερμοκρασίας στο οποίο λειτουργεί η διαδικασία ψύξης
- Q_{cold} : θερμότητα που απορρίπτεται από το ψυχρό νερό στον εξατμιστή του ψύκτη (ψυκτική ενέργεια)
- Q_{heat} : Η απαιτούμενη θερμότητα αναγέννησης (τροφοδοσίας)
- Q_{reject} : Το άθροισμα των Q_{cold} και Q_{heat} που πρέπει να απορριφθεί σε μέσο επίπεδο θερμοκρασίας T_M .
- Το Q_{heat} παρέχεται είτε από το ηλιακό σύστημα, είτε από εφεδρικές πηγές θερμότητας (π.χ., τηλεθέρμανση, καυστήρας φυσικού αερίου)



Τμήματα εγκατάστασης ηλιακού κλιματισμού

Μια τυπική εγκατάσταση ηλιακού κλιματισμού αποτελείται από:

- τους ηλιακούς συλλέκτες (παρέχουν την απαιτούμενη θερμότητα για τη λειτουργία του ψύκτη)
- μια δεξαμενή αποθήκευσης ζεστού νερού
- τη μονάδα ψύξης
- το σύστημα κλιματισμού και
- το εφεδρικό σύστημα θέρμανσης – ψύξης (ενσωματώνεται στην εγκατάσταση είτε ως εφεδρική θέρμανση, είτε ως εφεδρικός ψύκτης ή και τα δύο)



COP εγκατάστασης ηλιακού κλιματισμού

- Στα συστήματα ηλιακού κλιματισμού, ο Θερμικός Συντελεστής Απόδοσης (COP) που περιγράφει την αποδοτικότητα του θερμοκίνητου ψύκτη ορίζεται ως ο λόγος της θερμότητας που απορρίπτεται από το κύκλωμα ψυχρού νερού προς την απαραίτητη θερμότητα αναγέννησης, δηλ.
- $COP_{thermal} = Q_{cold} / Q_{heat}$
- Ο $COP_{thermal}$ είναι επομένως διαφορετικός από τον COP ενός συμβατικού ηλεκτροκίνητου ψύκτη συμπίεσης



COP εγκατάστασης ηλιακού κλιματισμού

- Στα συστήματα ηλιακού κλιματισμού, ο ορισμός του COP δεν περιλαμβάνει οποιαδήποτε άλλη πρόσθετη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας
- Μια ρεαλιστική σύγκριση διαφορετικών τεχνολογιών απαιτεί την εκτίμηση της συνολικής ενέργειας που χρειάζεται για την τροφοδοσία ενέργειας, αντλίες, ανεμιστήρες, κλπ, η οποία όμως σπάνια υπερβαίνει τα 15kW
- Όσο μικρότερος είναι ο COP, τόσο περισσότερη τροφοδοσία θερμότητας απαιτείται, και περισσότερη θερμότητα πρέπει να απορριφθεί από τον ψυκτικό πύργο
- Θερμοκρασίες ψυχρού νερού που απαιτούνται: $6 \div 15^{\circ}\text{C}$



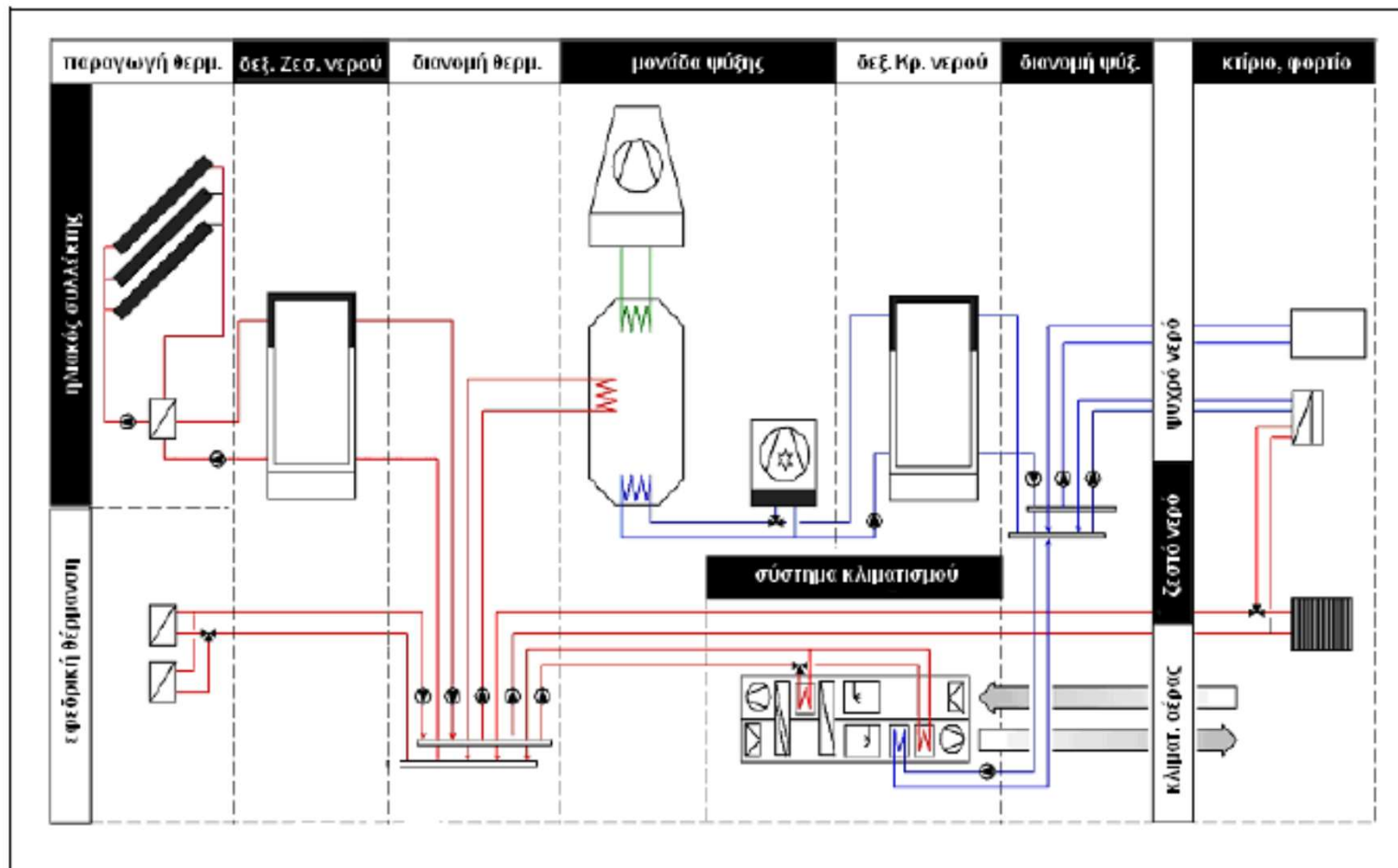
Βασικές τεχνολογίες ηλιακού κλιματισμού

- **Κλειστού κύκλου** συστήματα, όπως ψύκτες **απορρόφησης** και **προσρόφησης** με:
 - (α) *υγρά μέσα απορρόφησης*, όπως τα συστήματα με νερό ως ψυκτικό μέσο και υδατικό διάλυμα βρωμιούχου λιθίου ως μέσο απορρόφησης ($\text{H}_2\text{O}/\text{LiBr}$), ή ως ψυκτικό μέσο την αμμωνία και μέσο απορρόφησης το νερό ($\text{NH}_3/\text{H}_2\text{O}$)
 - (β) *στερεά μέσα απορρόφησης*, όπως τα συστήματα με νερό ως ψυκτικό μέσο και μέσο απορρόφησης πήκτωμα πυριτίου ($\text{H}_2\text{O}/\text{silica gel}$), ή νέας τεχνολογίας συστήματα που βρίσκονται ακόμη στο στάδιο έρευνας, (π.χ., αμμωνία ως ψυκτικό μέσο και άλατα ή άλλες θερμοχημικές διαδικασίες)
- **Ανοικτού κύκλου** συστήματα, με:
 - (α) *στερεά αφυγραντικά υλικά απορρόφησης*, όπως οι τροχοί αφύγρανσης, σε συνδυασμό με ηλιακούς συλλέκτες αέρα ή νερού
 - (β) *υγρά αφυγραντικά υλικά απορρόφησης*, σε νέας τεχνολογίας συστήματα που βρίσκονται ακόμη στο στάδιο έρευνας

Σύγκριση των βασικών τεχνολογιών ηλιακού κλιματισμού

Σύστημα	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Απορρόφησης	<ul style="list-style-type: none"> Υπάρχει μόνο ένα κινητό μέρος (αντλία), ενδεχομένως χωρίς κανένα κινητό μέρος στα μικρά συστήματα Είναι εφικτή η παροχή θερμότητας χαμηλής θερμοκρασίας 	<ul style="list-style-type: none"> Χαμηλός θερμικός συντελεστής απόδοσης (COP) Δεν μπορεί να επιτευχθεί πολύ χαμηλή θερμοκρασία εξάτμισης Το σύστημα είναι αρκετά πολύπλοκο
Προσρόφησης	<ul style="list-style-type: none"> Δεν υπάρχει κινητό τμήμα (εκτός της βαλβίδας) Είναι δυνατόν να επιτευχθεί χαμηλή θερμοκρασία λειτουργίας Ο θερμικός συντελεστής απόδοσης (COP) είναι υψηλότερος σε σύγκριση με άλλα συστήματα 	<ul style="list-style-type: none"> Μεγάλο βάρος και χαμηλή θερμική αγωγιμότητα του προσοροφητή Η απαίτηση για χαμηλή λειτουργική πίεση καθιστά δύσκολη την αεροστεγανότητα Είναι πολύ ευαίσθητο σε χαμηλές θερμοκρασίες, ιδιαίτερα στην πτώση της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της νύχτας Αποτελεί σύστημα διαλείποντος έργου
Ψύξης ανοικτού κύκλου	<ul style="list-style-type: none"> Είναι σύστημα φιλικό προς το περιβάλλον, καθώς χρησιμοποιεί νερό για τη λειτουργία του Μπορεί να ενσωματωθεί σε σύστημα εξαερισμού και θέρμανσης 	<ul style="list-style-type: none"> Δεν μπορεί να λειτουργήσει σωστά σε περιοχές με υψηλή υγρασία Δεν είναι κατάλληλο για περιοχές με έλλειψη νερού Απαιτεί συντήρηση εξαιτίας του περιστρεφόμενου τροχού

Τυπική διάταξη ηλιακού κλιματισμού





Χαρακτηριστικά συστημάτων ηλιακού κλιματισμού

- Οι ψύκτες απορρόφησης $H_2O/LiBr$ είναι τα πλέον διαδεδομένα συστήματα
- Είναι δυνατή η εκμετάλλευση της απορριπτόμενης θερμότητας από το συμπυκνωτή για να τροφοδοτήσει επιπλέον στάδια απορρόφησης (ψύκτες απορρόφησης 2 ή περισσότερων βαθμίδων)
- Οι μονοβάθμιοι ψύκτες απορρόφησης (με COP από $0,7 \div 0,8$) και διβάθμιοι (με COP από $1,0 \div 1,2$) αποτελούν σήμερα δοκιμασμένη και εμπορικά διαθέσιμη τεχνολογία
- Η έρευνα επικεντρώνεται πλέον σε ψύκτες τριών και τεσσάρων βαθμίδων, οι οποίοι μπορούν να πετύχουν βελτιωμένες αποδόσεις, με COP λειτουργίας από $1,7 \div 2,2$ πλησιάζοντας έτσι τις αποδόσεις των συμβατικών ψυκτών συμπίεσης
- Στα συστήματα απορρόφησης η **οδηγός θερμοκρασία** (η μέση θερμοκρασία του ρευστού μεταξύ της εισόδου και εξόδου του θερμικού συστήματος) κυμαίνεται μεταξύ $60 \div 165^\circ C$
- Τα συστήματα προσρόφησης έχουν χαμηλότερο COP, με μέση τιμή 0,59, λειτουργούν όμως και σε χαμηλότερη οδηγό θερμοκρασία (μεταξύ $52,5 \div 82^\circ C$)



Χαρακτηριστικά συστημάτων ηλιακού κλιματισμού

- Σε ευρωπαϊκό επίπεδο, το ποσοστό χρήσης των οι επίπεδων ηλιακών συλλεκτών σε συστήματα combi-plus είναι 63%, των συλλέκτων κενού 21%, των παραβολικών συλλεκτών χωρίς μηχανισμό κίνησης 10%, και των σύνθετων παραβολικών συλλέκτων με μηχανισμό κίνησης σχεδόν μηδενικό
- Τα συστήματα προσρόφησης και απορρόφησης συνήθως απαιτούν επιφάνεια επίπεδων ηλιακών συλλεκτών στο εύρος $2\div 5 \text{ m}^2/\text{kW}$
- Οι εμπορικά διαθέσιμοι ψύκτες απορρόφησης κυμαίνονται από μέσης ψυκτικής ισχύος μηχανήματα ($40\div 100\text{kW}$) μέχρι μεγάλες μονάδες ($>300\text{kW}$)
- Με δεδομένη όμως τη συνεχιζόμενη αύξηση των απαιτήσεων για κλιματισμό σε κατοικίες και μικρά κτήρια, υπάρχει μια συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση για μικρής ισχύος μηχανήματα ($<10\text{kW}$)



Κόστος συστημάτων ηλιακού κλιματισμού

- Το μέσο αρχικό κόστος είναι περίπου 4000 €/kW
- Το κόστος ποικίλλει σημαντικά ανάλογα με την ψυκτική ισχύ της μονάδας, τον τύπο ηλιακών συλλεκτών, το στάδιο ανάπτυξης και την αρχή λειτουργίας του συστήματος
- Τα συστήματα απορρόφησης με $\text{H}_2\text{O}/\text{LiBr}$ έχουν το χαμηλότερο μέσο αρχικό κόστος (3100 €/kW), ενώ τα συστήματα απορρόφησης $\text{NH}_3/\text{H}_2\text{O}$ έχουν το υψηλότερο κόστος (6500 €/kW) καθώς απαιτούν μεγαλύτερη επιφάνεια ηλιακών συλλεκτών
- Τα συστήματα προσρόφησης κοστίζουν κατά μέσο όρο 3500 €/kW



Εφαρμογές συστημάτων combi και combi-plus στην Ελλάδα

- **Ηλιακό χωριό** (Πεύκη Αττικής): Κατασκευάστηκε το 1988 και αποτελεί τη μεγαλύτερη αυτού του είδους εγκατάσταση στην Ελλάδα και από τις μεγαλύτερες σε όλο τον κόσμο. Διάφοροι τύποι ηλιακών συλλεκτών καλύπτουν ανάγκες ΖΝΧ και θέρμανσης χώρων
- **Αμερικανικό Κολέγιο Ελλάδος**: Πραγματοποιήθηκε η πρώτη μεγάλη εφαρμογή εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας για την παραγωγή ψύξης (1984). Σήμερα η εγκατάσταση έχει παροπλιστεί
- **Βιομηχανία καλλυντικών "Σαράντης"** (Βοιωτία): Ηλιακοί συλλέκτες συνολικής επιφάνειας 2700m² τροφοδοτούν δυο ψύκτες προσρόφησης (350kW ο κάθε ένας) με νερό θερμοκρασίας 70÷75°C. Οι ψύκτες παράγουν νερό θερμοκρασίας 8÷10°C που καλύπτει τις ανάγκες των κλιματιζόμενων χώρων επιφάνειας 22000m² (130000m³). Δυο λέβητες των 1200kW ο κάθε ένας καλύπτουν τις ανάγκες το βράδυ ή όταν έχει συννεφιά. Το χειμώνα οι ηλιακοί συλλέκτες κυκλοφορούν ζεστό νερό 55°C κατευθείαν στους θερμαινόμενους χώρους. Είναι μία από τις μεγαλύτερες εγκαταστάσεις ηλιακού κλιματισμού στον κόσμο



Εφαρμογές συστημάτων combi και combi-plus στην Ελλάδα

- **Ξενοδοχείο "Rethimno Village"** (Κρήτη): 60 κλινών (3000m²), εγκατάσταση 500m² επίπεδων ηλιακών συλλεκτών και ενός ψύκτη απορρόφησης 105kW. Το καλοκαίρι οι ηλιακοί συλλέκτες τροφοδοτούν τον ψύκτη με νερό θερμοκρασίας 75÷80°C. Το ζεστό νερό από τους ηλιακούς συλλέκτες αποθηκεύεται σε επτά δεξαμενές νερού (συνολικού όγκου 1000lt). Ο ψύκτης λειτουργεί επτά ώρες κάθε ημέρα με μέσο COP περίπου 0,6. Η εγκατάσταση διαθέτει έναν ηλεκτρικό ψύκτη συμπίεσης 170kW που καλύπτει τα υπόλοιπα φορτία. Ως εφεδρικό σύστημα χρησιμοποιείται ένας λέβητας προπανίου 290kW, ενώ ένας μικρότερος λέβητας προπανίου 174,6kW χρησιμοποιείται για να καλύπτει τις ανάγκες ΖΝΧ, όταν δεν επαρκεί η εγκατάσταση των ηλιακών συλλεκτών. Επιτυγχάνεται Εξοικονόμηση ενέργειας 42%. Κόστος επένδυσης 264.000€ (χρηματοδότηση 50% της επένδυσης)
- **Κτήριο γραφείων ΚΑΠΕ:** Κάλυψη αναγκών θέρμανσης και ψύξης σε ένα κτήριο γραφείων (427m²). Το σύστημα περιλαμβάνει τους ηλιακούς συλλέκτες (95m²), υπόγεια διεποχιακή θερμική αποθήκη νερού (ΥΔΑΝ, 58m³), το θερμικό ψύκτη απορρόφησης (35kW), τις μονάδες απόρριψης θερμότητας (πύργο ψύξης και γεωθερμικούς εναλλάκτες θερμότητας) γύρω από την υπόγεια δεξαμενή αποθήκευσης και μια αντλία θερμότητας (12kW) που χρησιμοποιείται ως βοηθητική πηγή ενέργειας

Εφαρμογές ηλιακού κλιματισμού

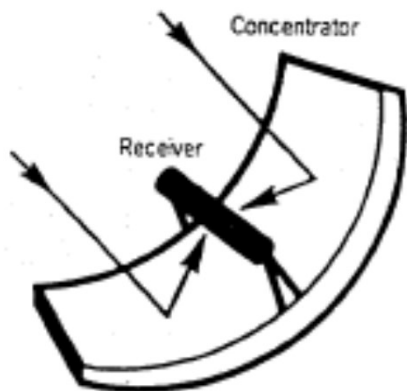


Βιομηχανία καλλυντικών "Σαράντης"

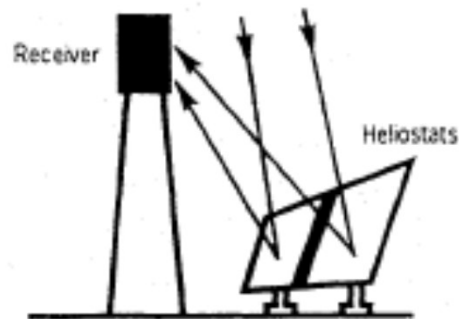


Ξενοδοχείο "Rethimno Village"

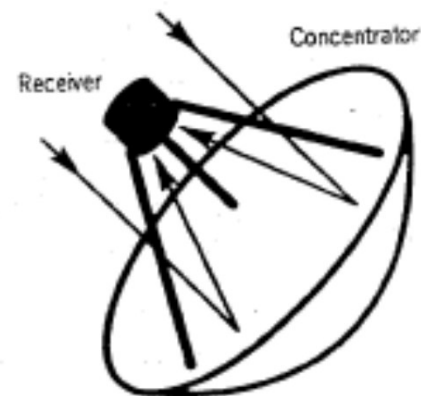
Ηλιακοί συλλέκτες για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας



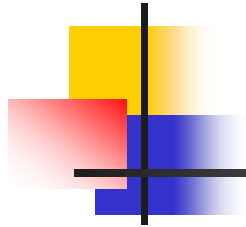
Παραβολικοί συλλέκτες γραμμικού τύπου
(10-200 MW)



Κεντρικός δέκτης με ηλιοστάτες
(10-150 MW)

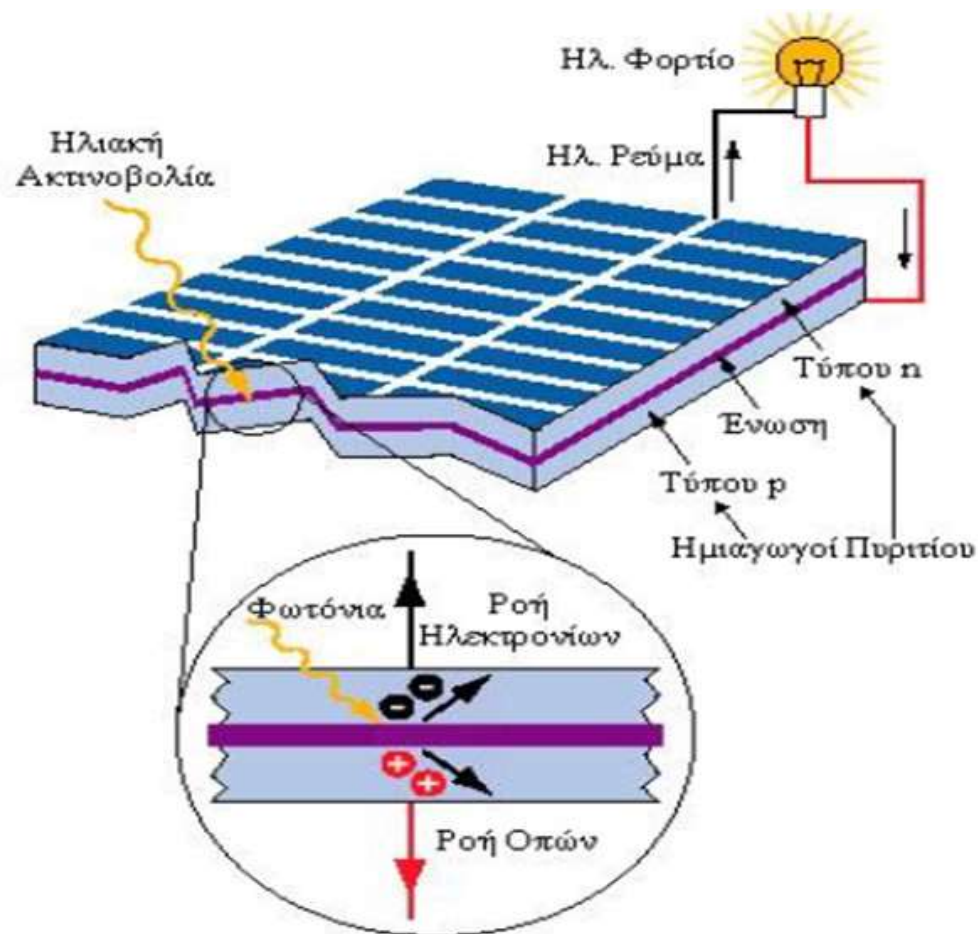


Συγκεντρωτικοί συλλέκτες τύπου "πιάτου"
(0.01-0.4 MW)



3. Φωτοβολταϊκά (Φ/Β) Συστήματα

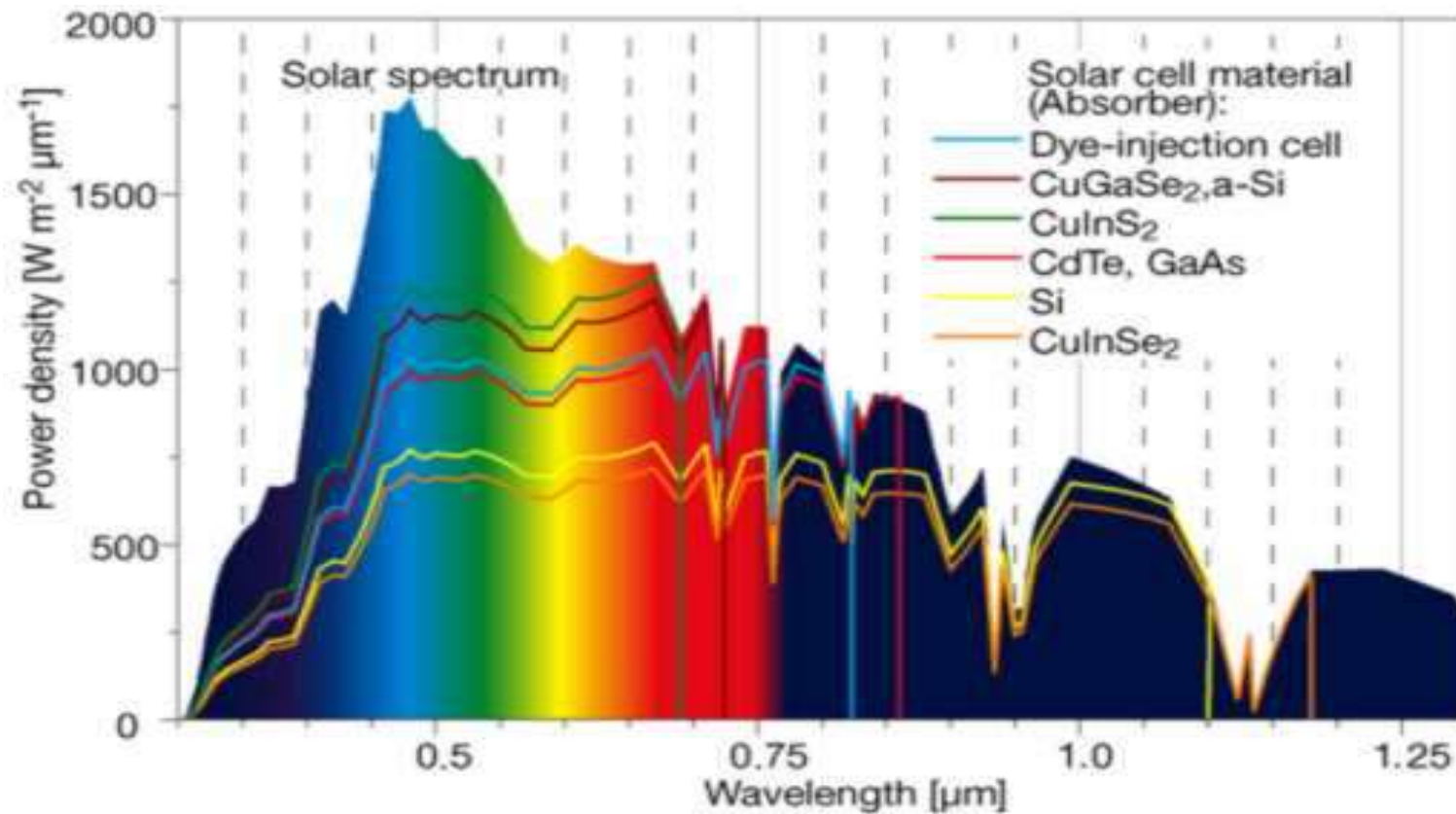
Το φωτοβολταϊκό (Φ/Β) φαινόμενο



Για το πυρίτιο (Si) το ενεργειακό χάσμα είναι $1,08\text{eV}$: Όλα τα φωτόνια με ενέργεια μεγαλύτερη από αυτή την τιμή, εφόσον απορροφηθούν θα ενεργοποιήσουν τα ηλεκτρόνια και τις οπές του υλικού του Φ/Β.

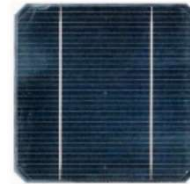
Μέγιστη θεωρητική απόδοση Φ/Β πλαισίου Si: 25%

Απορρόφηση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας για διαφορετικά υλικά Φ/Β

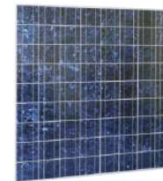


Τύποι Φ/Β συστημάτων

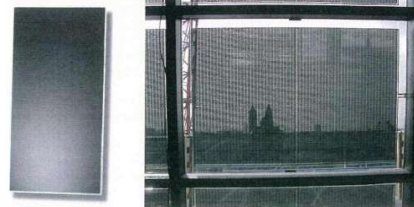
- Μονοκρυσταλλικού πυριτίου (mono-Si)



- Πολυκρυσταλλικού πυριτίου (poly-Si)

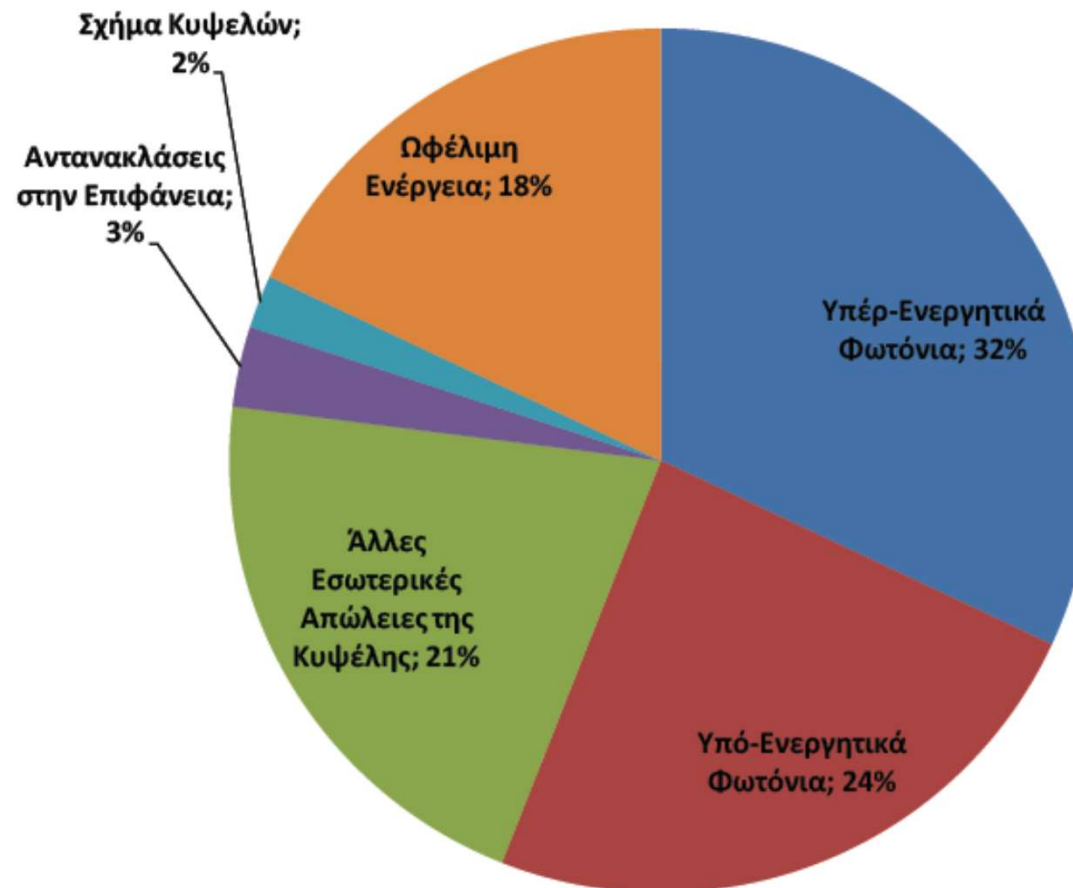


- Άμορφου πυριτίου (a-Si)



- Άλλοι τύποι (CIS (δισεληνοϊνδιούχος χαλκός), CdTe (τελουριούχο κάδμιο), GaAs (αρσενικούχο γάλλιο), οργανικά Φ/Β...)

Απώλειες ηλιακής ενέργειας στο Φ/Β φαινόμενο





Ταξινόμηση Φ/Β: STC

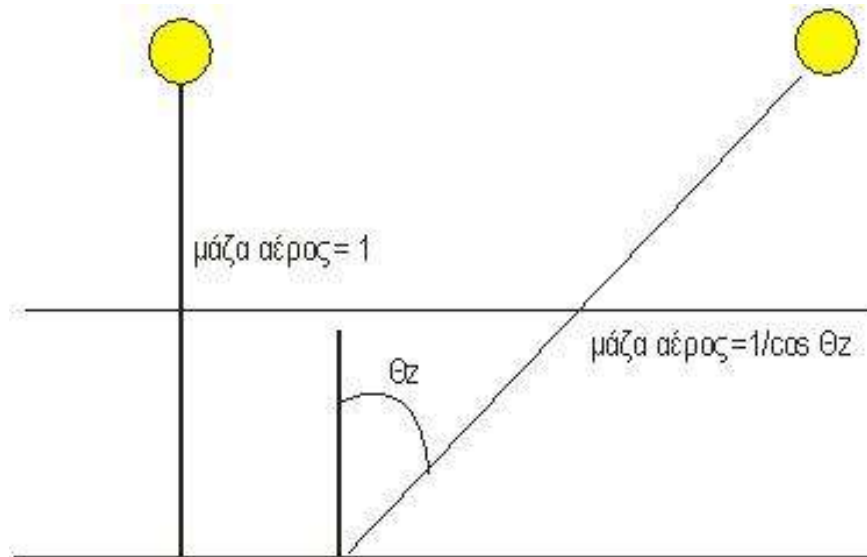
Η ταξινόμηση των ΦΒ πλαισίων γίνεται ανάλογα με την ισχύ που αυτά αποδίδουν κάτω από τις *πρότυπες συνθήκες δοκιμής* (Standard Test Conditions – *STC*), που αναφέρονται σε:

- Πυκνότητα ισχύος ηλιακής ακτινοβολίας 1 kW/m^2
- Θερμοκρασία πλαισίου 25°C
- Τιμή μάζας αέρα AM1.5

Η ισχύς εξόδου που μετράται υπό STC εκφράζεται σε “Watt αιχμής” ή W_p

Μάζα αέρα (Air Mass – AM)

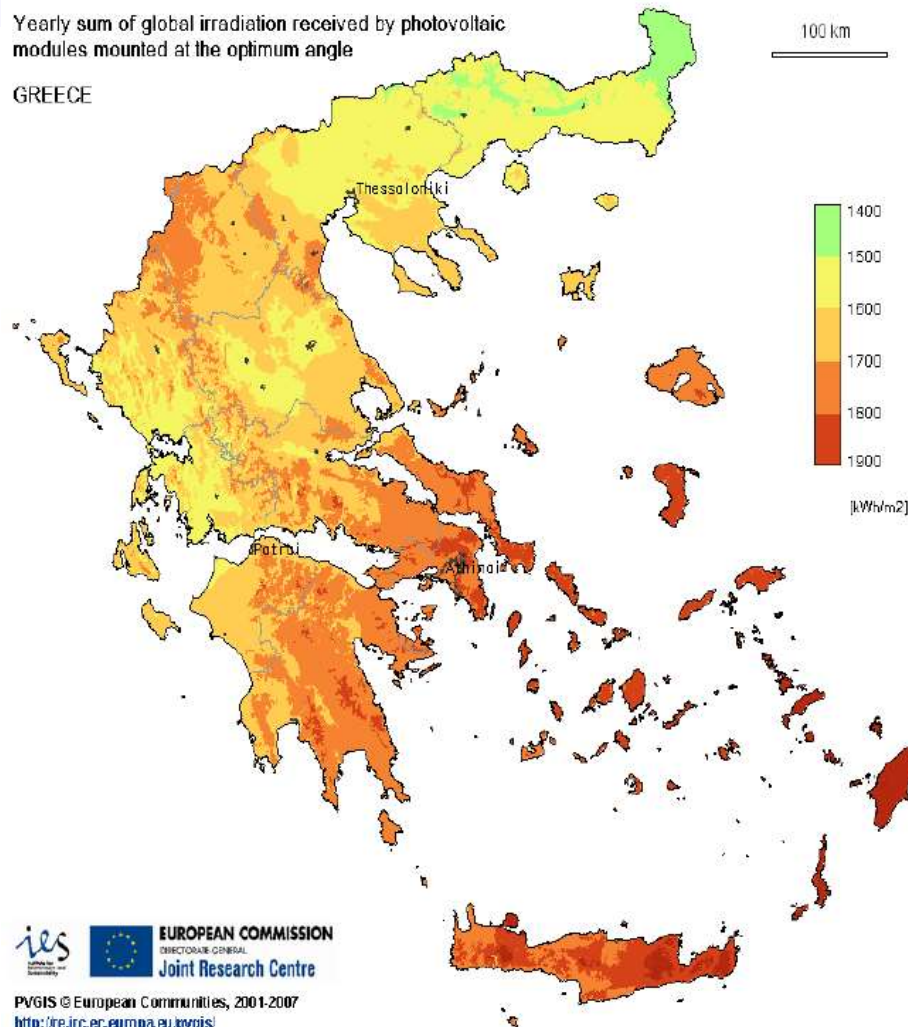
Χαρακτηρίζει την επίδραση της καθαρής ατμόσφαιρας πάνω στο ηλιακό φως, και είναι ίση με το σχετικό μήκος της διαδρομής της απευθείας δέσμης διαμέσου της ατμόσφαιρας. Εξαρτάται από τη γωνία ζενίθ του ήλιου θ_z και τυπική τιμή της είναι η AM 1.5.



Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

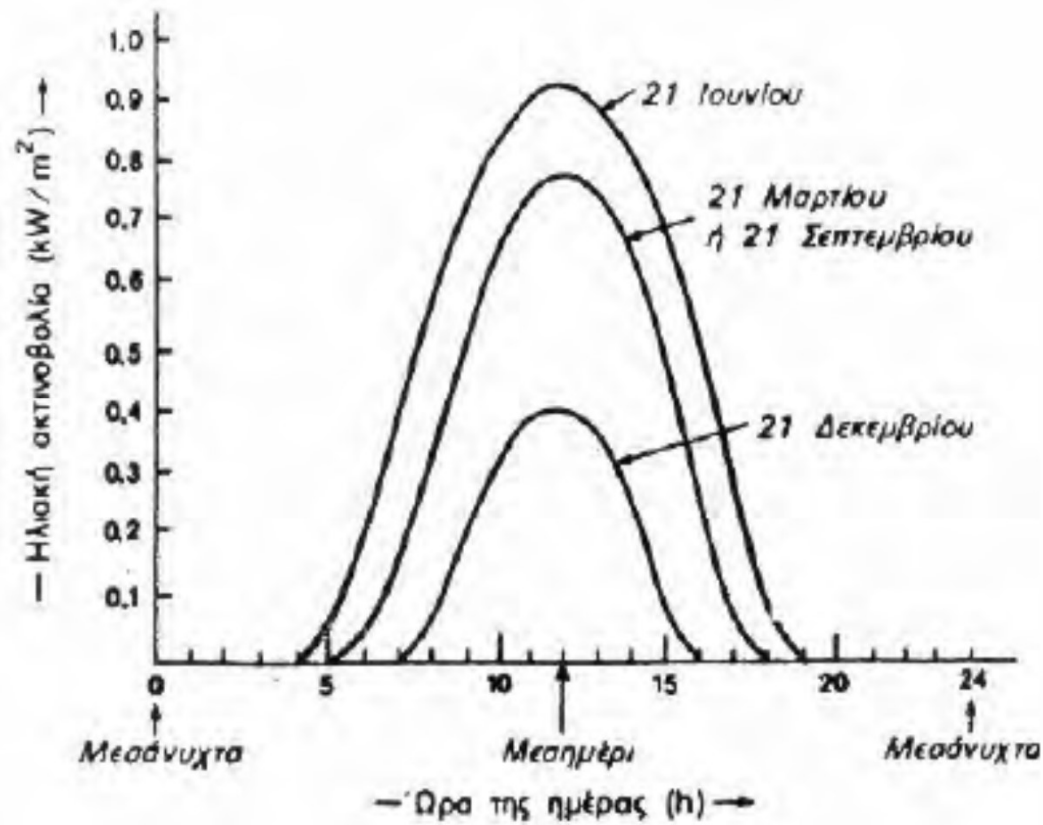
Yearly sum of global irradiation received by photovoltaic modules mounted at the optimum angle

GREECE

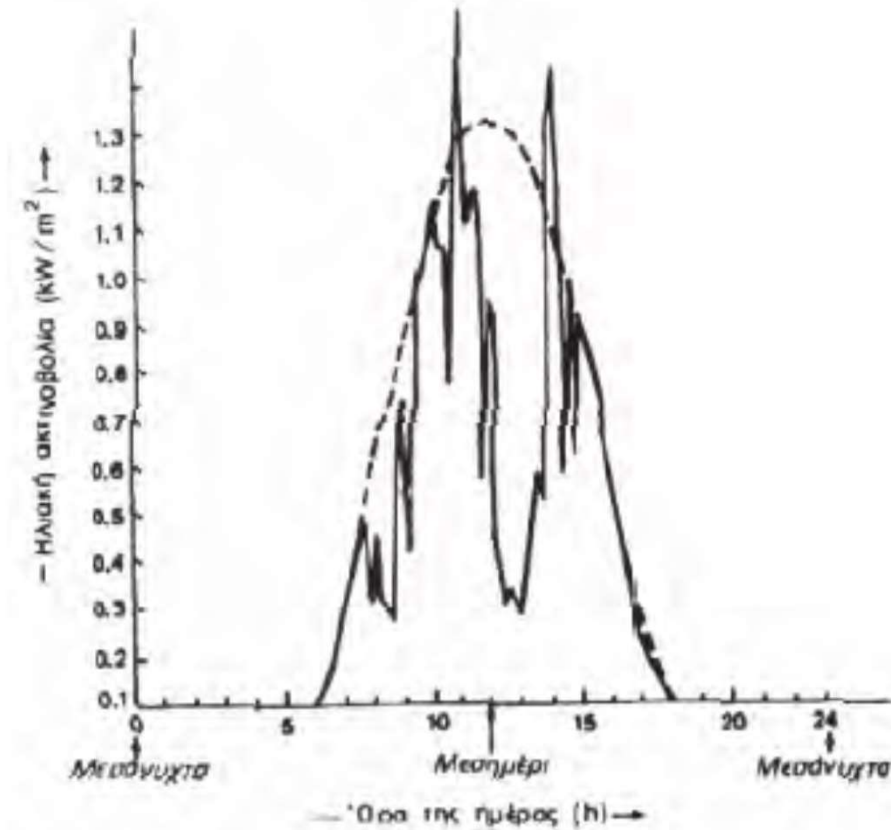


Τα Φ/Β
εκμεταλλεύονται
τόσο την άμεση
όσο και τη
διάχυτη ηλιακή
ακτινοβολία

Διακύμανση έντασης ηλιακής ακτινοβολίας

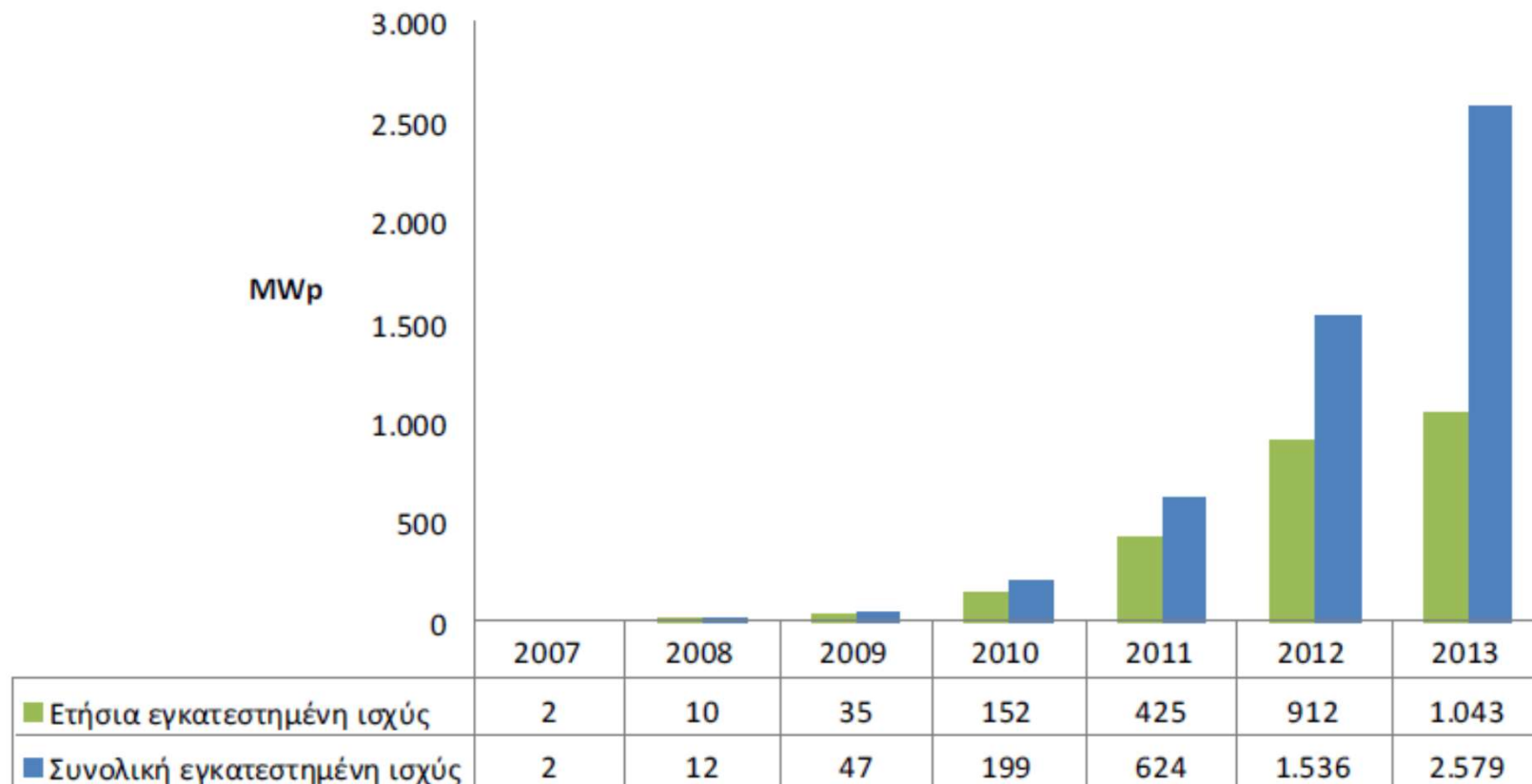


Διακύμανση έντασης ηλιακής ακτινοβολίας (μερική νέφωση)



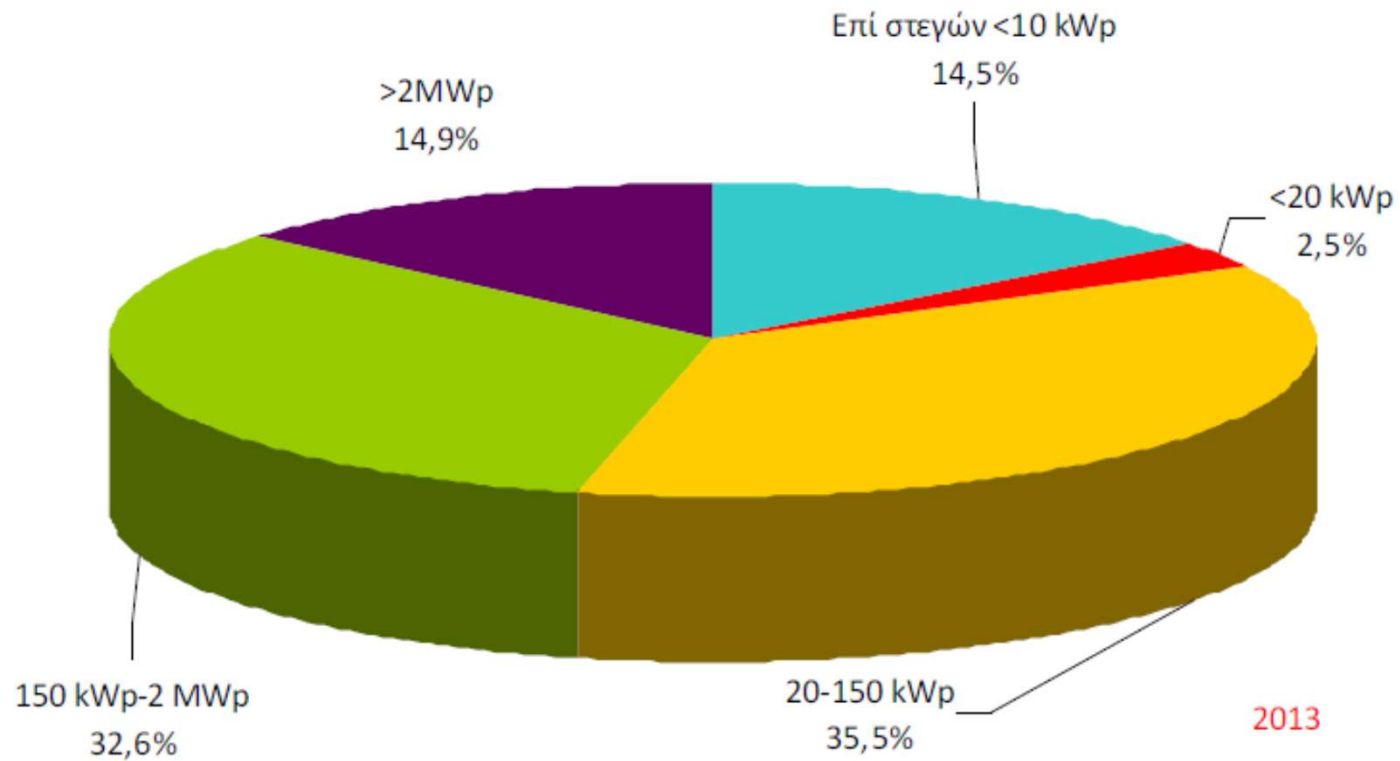
Ελληνική αγορά Φ/Β

Ελληνική αγορά φωτοβολταϊκών



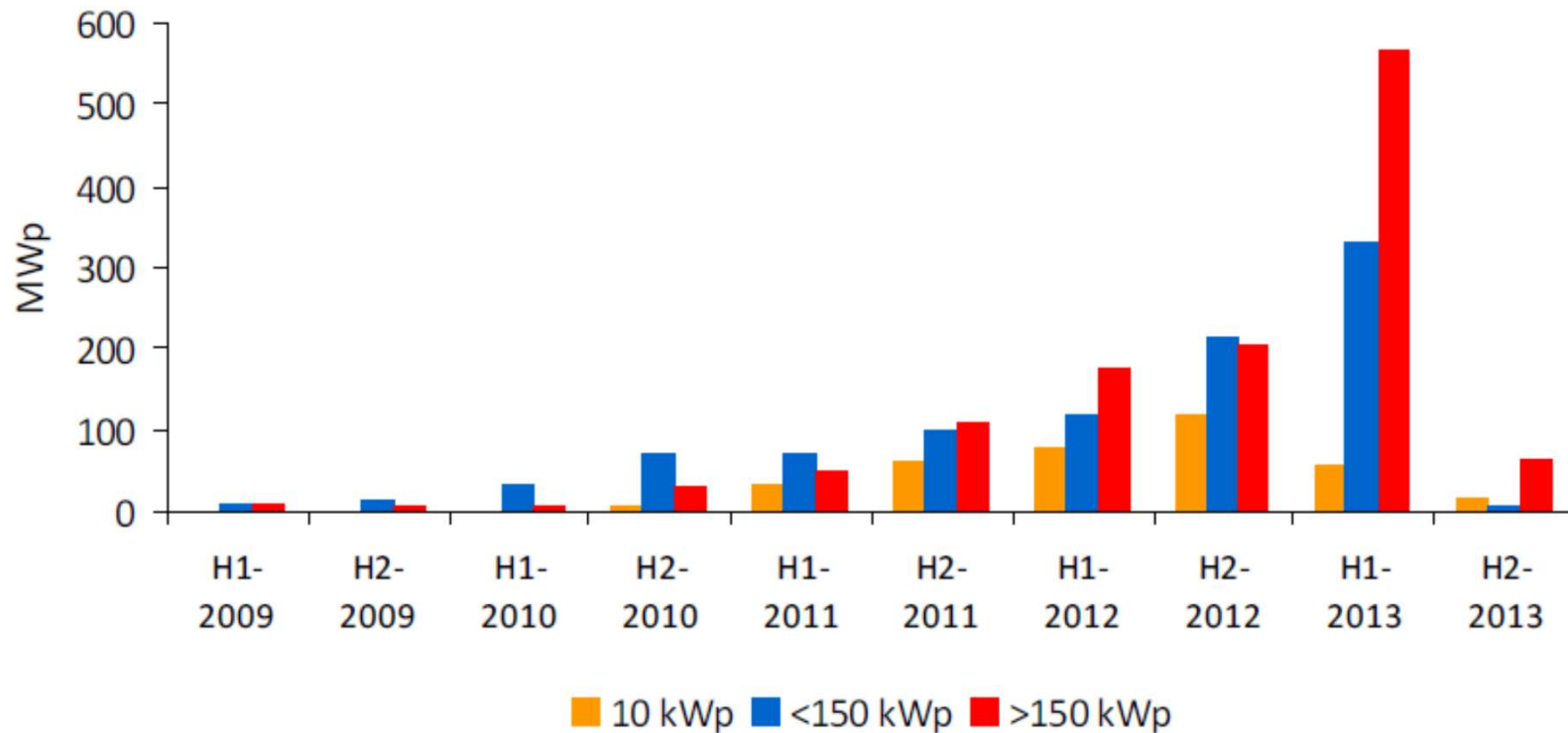
Ελληνική αγορά Φ/Β

Κατανομή διασυνδεδεμένων συστημάτων ανά ισχύ

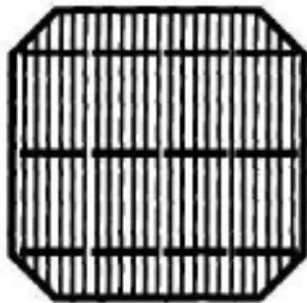


Ελληνική αγορά Φ/Β

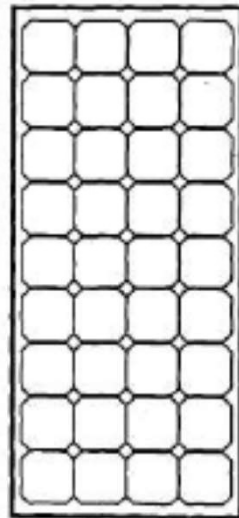
Νέες εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών



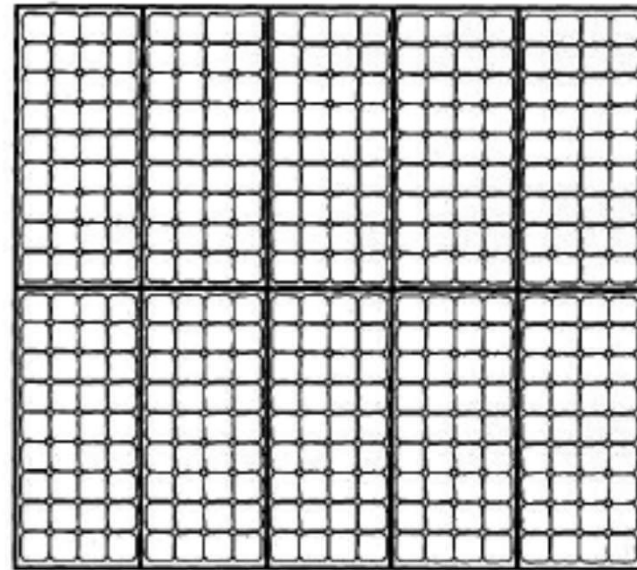
Ιεραρχία Φ/Β συστημάτων κρυσταλλικού πυριτίου



ΦB στοιχείο



ΦB πλαίσιο



ΦB συστοιχία

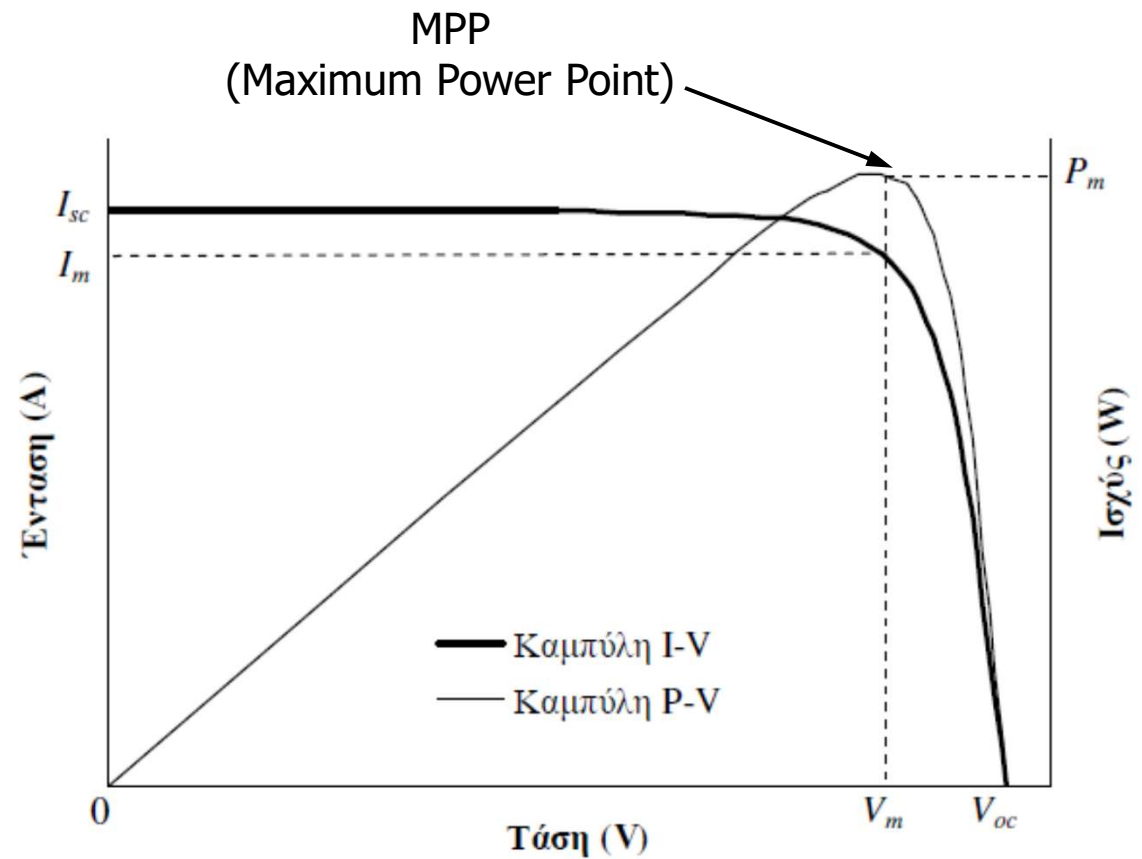


Τάση και ρεύμα Φ/Β στοιχείου

- Η τάση ενός Φ/Β στοιχείου εξαρτάται από το υλικό του
- Όλα τα στοιχεία από πυρίτιο παράγουν περίπου 0,5 Volt, ανεξάρτητα από την επιφάνειά τους
- Η ποσότητα ρεύματος που παράγει ένα Φ/Β είναι ανάλογη της ποσότητας ακτινοβολίας που προσπίπτει πάνω στο στοιχείο
- Για το λόγο αυτό, το ρεύμα αυξάνεται με την επιφάνεια του στοιχείου καθώς και με την ένταση της ακτινοβολίας

Καμπύλες I-V και P-V Φ/B

V_{oc} : Τάση ανοιχτοκύκλωσης
 I_{sc} : Ένταση βραχυκύκλωσης
MPP: Σημείο μέγιστης ισχύος
 P_m : Μέγιστη παραγόμενη ισχύς
 V_m : Τάση MPP
 I_m : Ένταση MPP





Συντελεστής πλήρωσης Φ/Β

- **Συντελεστής πλήρωσης** (fill factor, FF): Αποτελεί χαρακτηριστικό μέγεθος το οποίο καθορίζει την ποιότητα του Φ/Β. Ορίζεται από το λόγο της μέγιστης παραγόμενης ισχύος " P_{max} " προς τη μέγιστη θεωρητικά παραγόμενη ισχύ η οποία ορίζεται από το γινόμενο του ρεύματος βραχυκυκλώσεως " I_{sc} " επί την τάση ανοιχτοκυκλώσεως " V_{oc} ". Ο συντελεστής πλήρωσης των φωτοβολταϊκών κρυσταλλικού πυριτίου είναι περίπου $0,75 \div 0,85$ και των φωτοβολταϊκών άμορφου πυριτίου $0,56 \div 0,61$

$$FF = \frac{P_m}{V_{oc} \cdot I_{sc}} = \frac{V_m \cdot I_m}{V_{oc} \cdot I_{sc}}$$

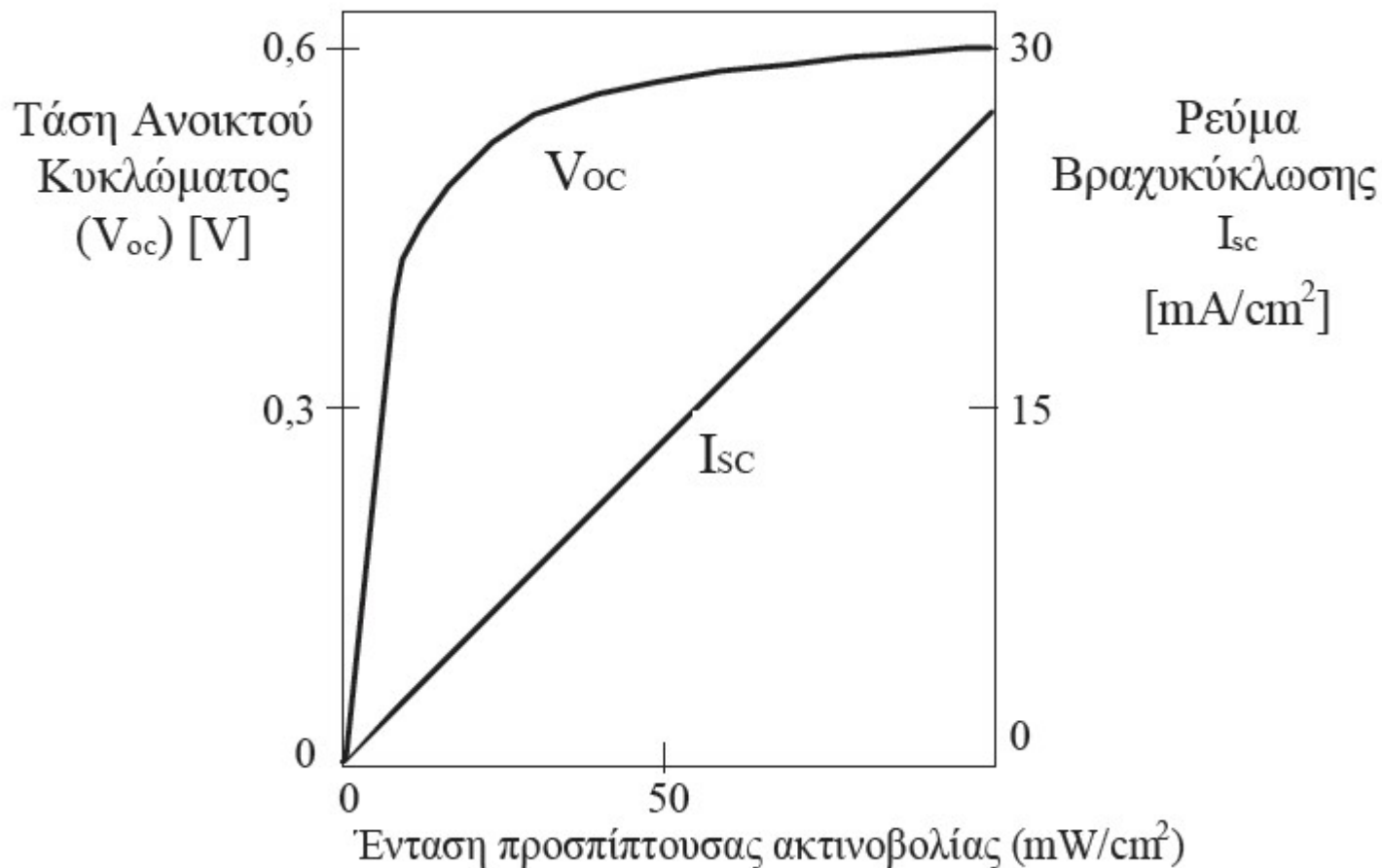


Βαθμός απόδοσης Φ/Β

- **Βαθμός απόδοσης "η"**: Είναι ο λόγος της ηλεκτρικής ισχύος "P" που παράγεται προς τη διαθέσιμη ηλιακή ενέργεια, η οποία καθορίζεται ως το γινόμενο της έντασης της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας "G" επί το εμβαδόν "A" της επιφάνειας του Φ/Β. Ουσιαστικά δείχνει το βαθμό αξιοποίησης της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας

$$\eta = \frac{P}{G \cdot A}$$

Εξάρτηση V_{oc} και I_{sc} από την ηλιακή ακτινοβολία





Υπολογισμός θερμοκρασίας Φ/Β στοιχείου

Η θερμοκρασία πλαισίου "θ" υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\theta = \theta_{\alpha} + k \cdot G$$

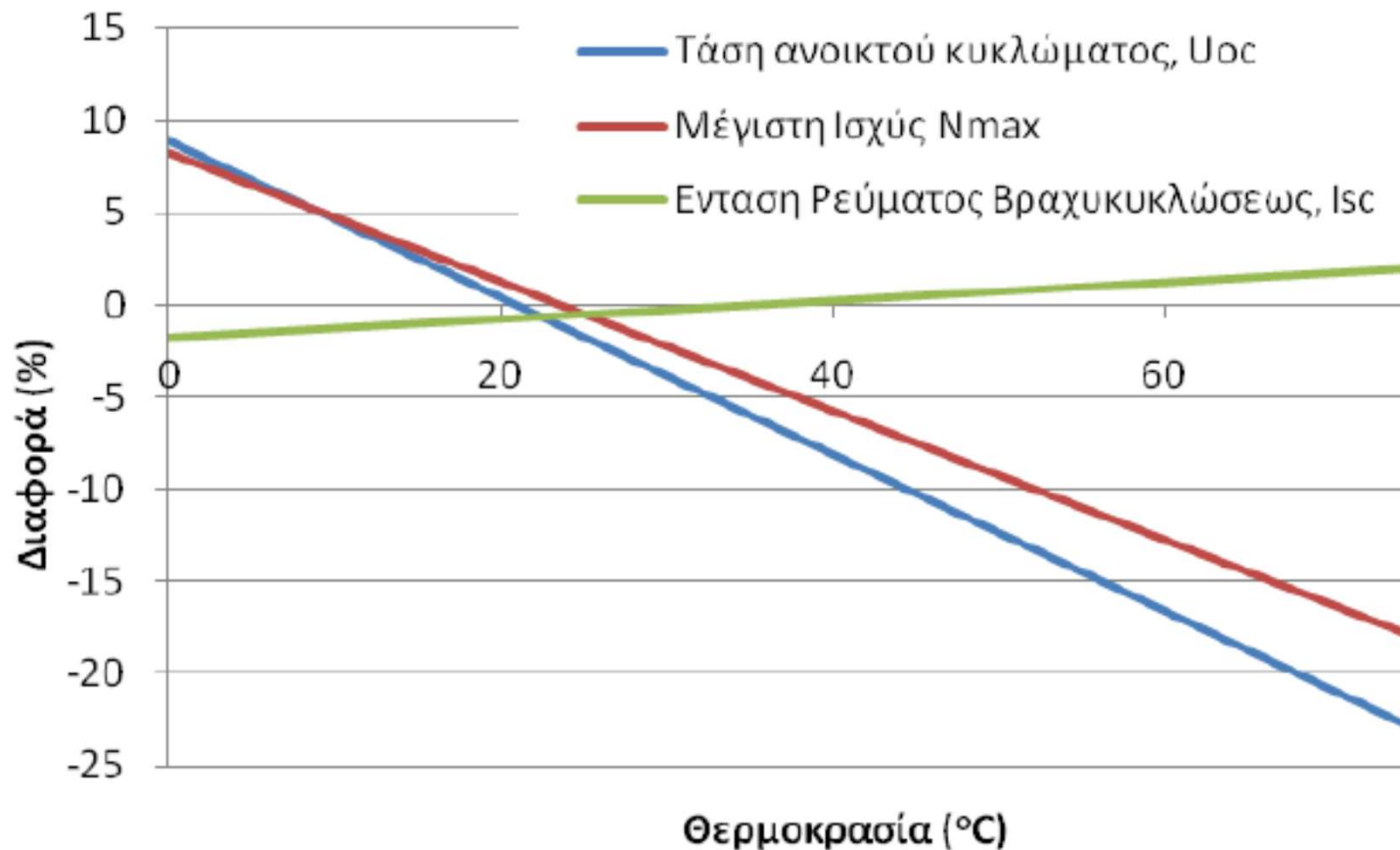
όπου:

" θ_{α} ": η θερμοκρασία περιβάλλοντος,

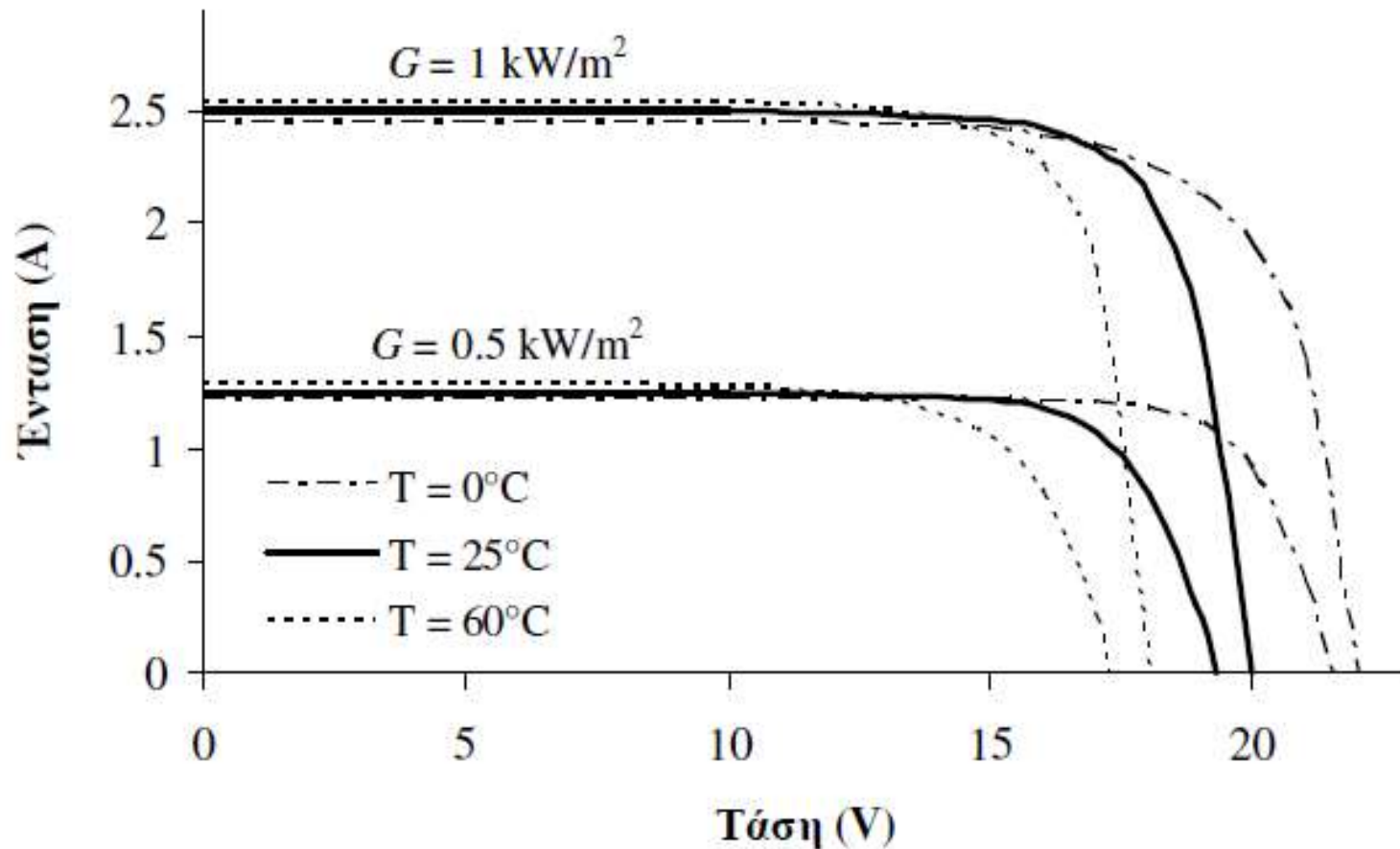
"G": η στιγμιαία ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας και

"k": θερμοκρασιακή σταθερά η οποία εξαρτάται από τις συνθήκες λειτουργίας και μετάδοσης θερμότητας του Φ/Β πλαισίου και κυμαίνεται μεταξύ $0,02^{\circ}\text{C}/(\text{W}/\text{m}^2)$ και $0,04^{\circ}\text{C}/(\text{W}/\text{m}^2)$

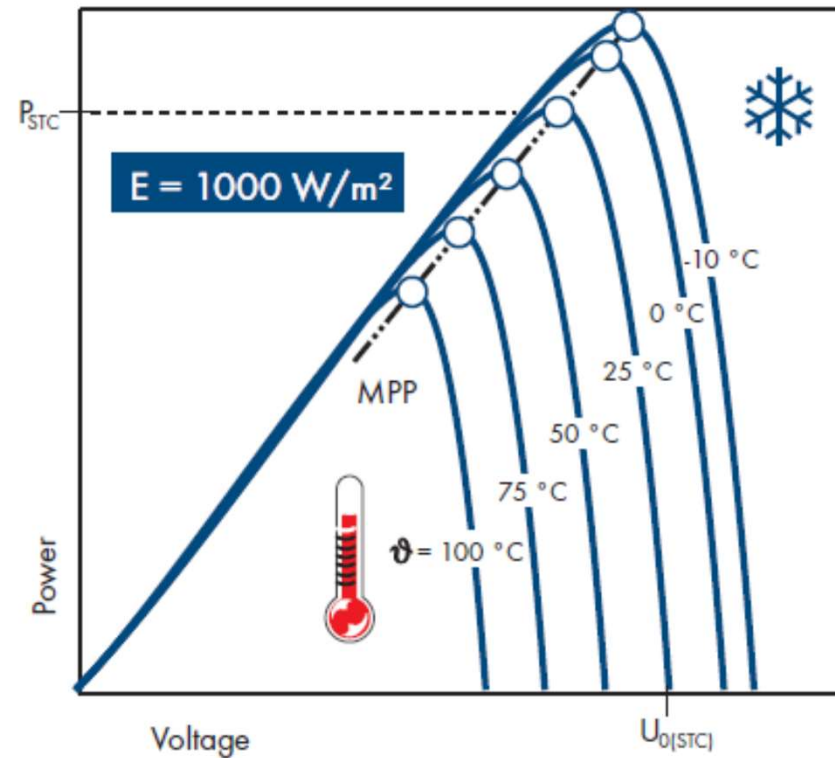
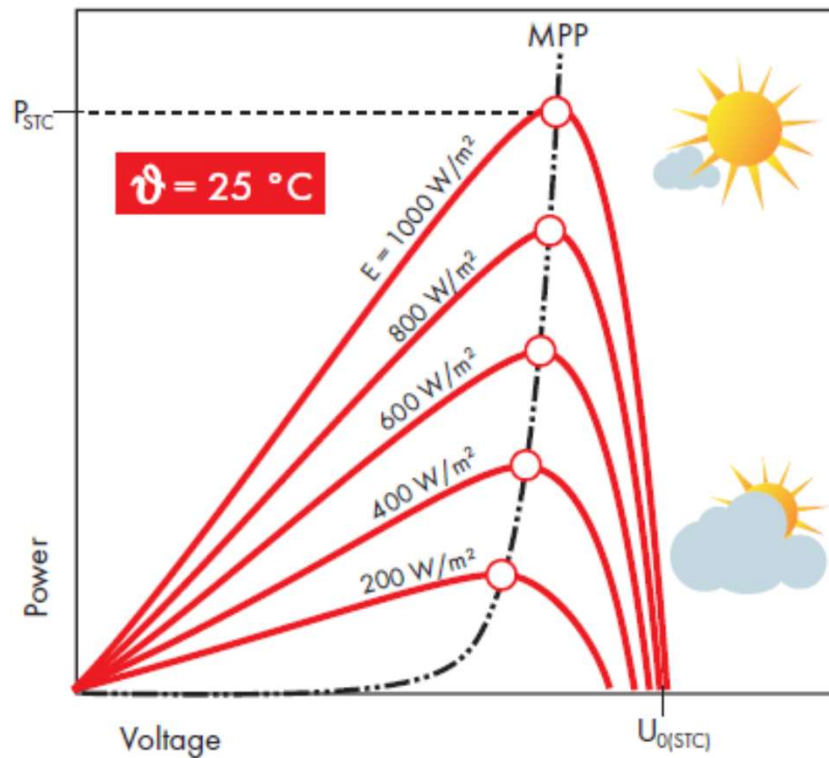
Επίδραση θερμοκρασίας στη συμπεριφορά ενός Φ/Β στοιχείου



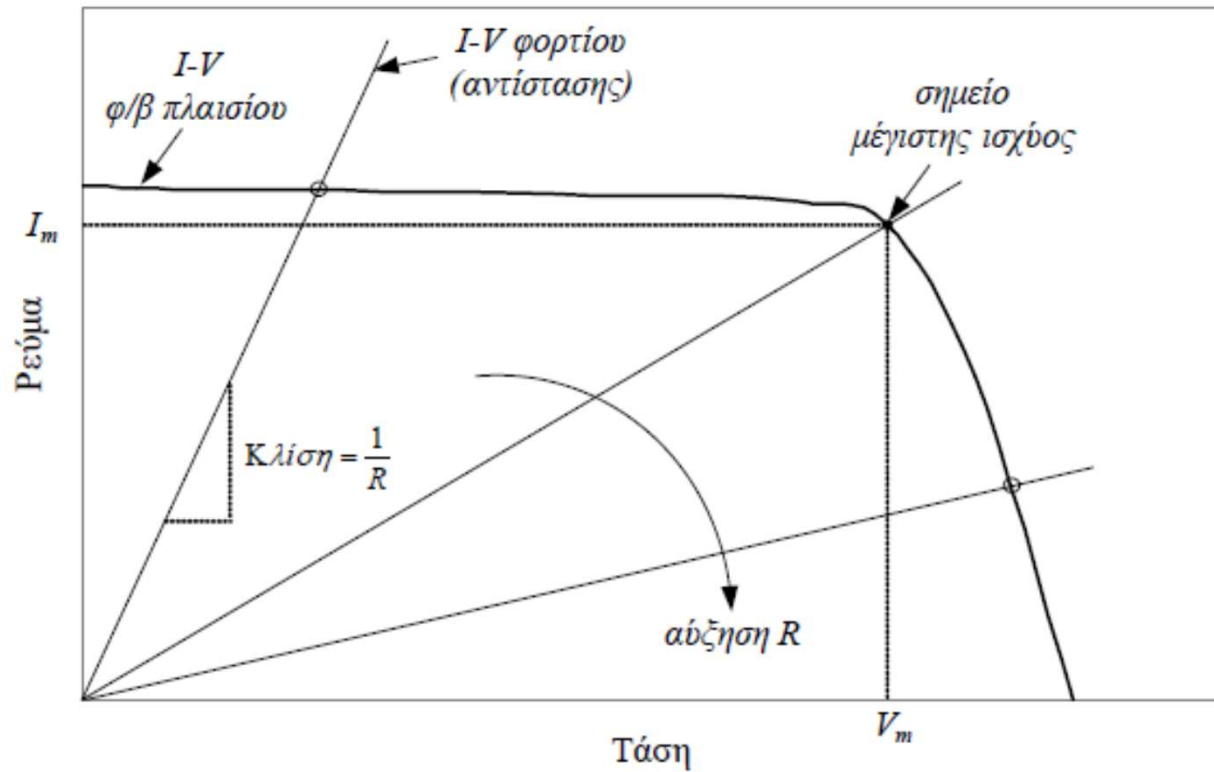
Εξάρτηση καμπύλης I-V από την ηλιακή ακτινοβολία και τη θερμοκρασία



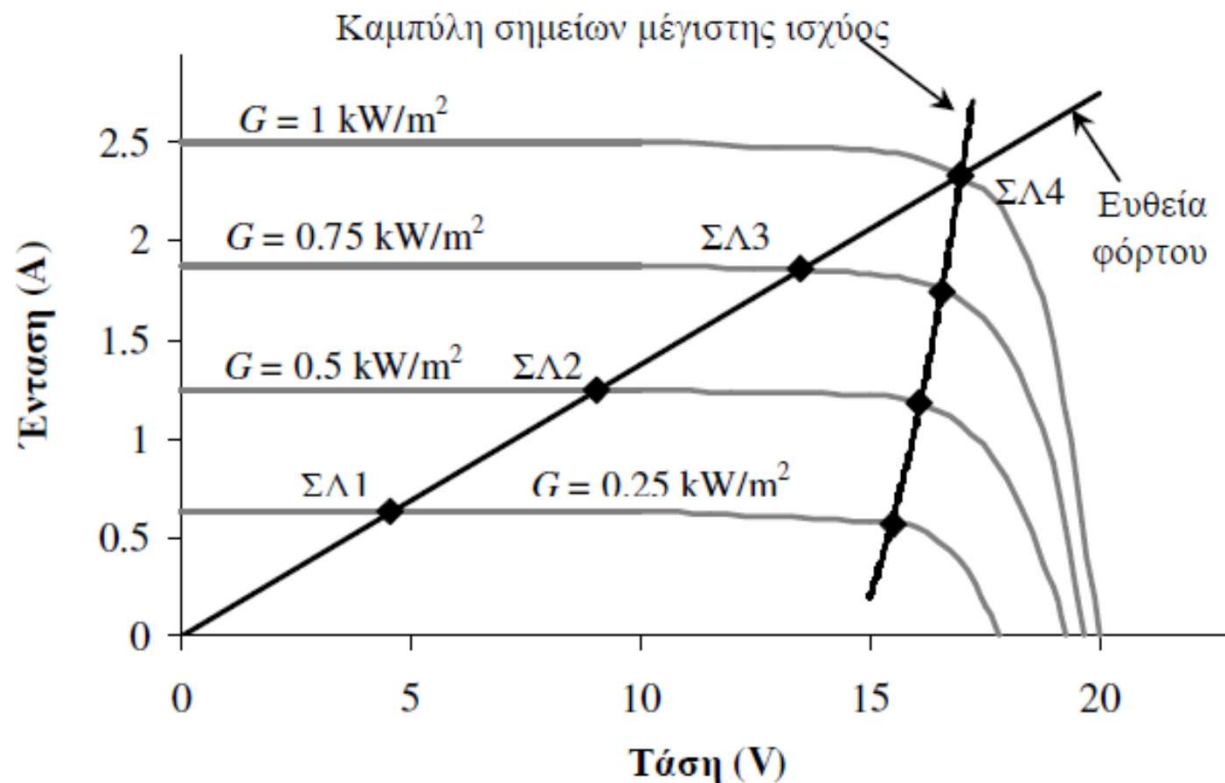
Εξάρτηση καμπύλης P-V από τη ηλιακή ακτινοβολία και τη θερμοκρασία



Φ/Β πλαίσιο που παρέχει ισχύ σε ωμικό φορτίο

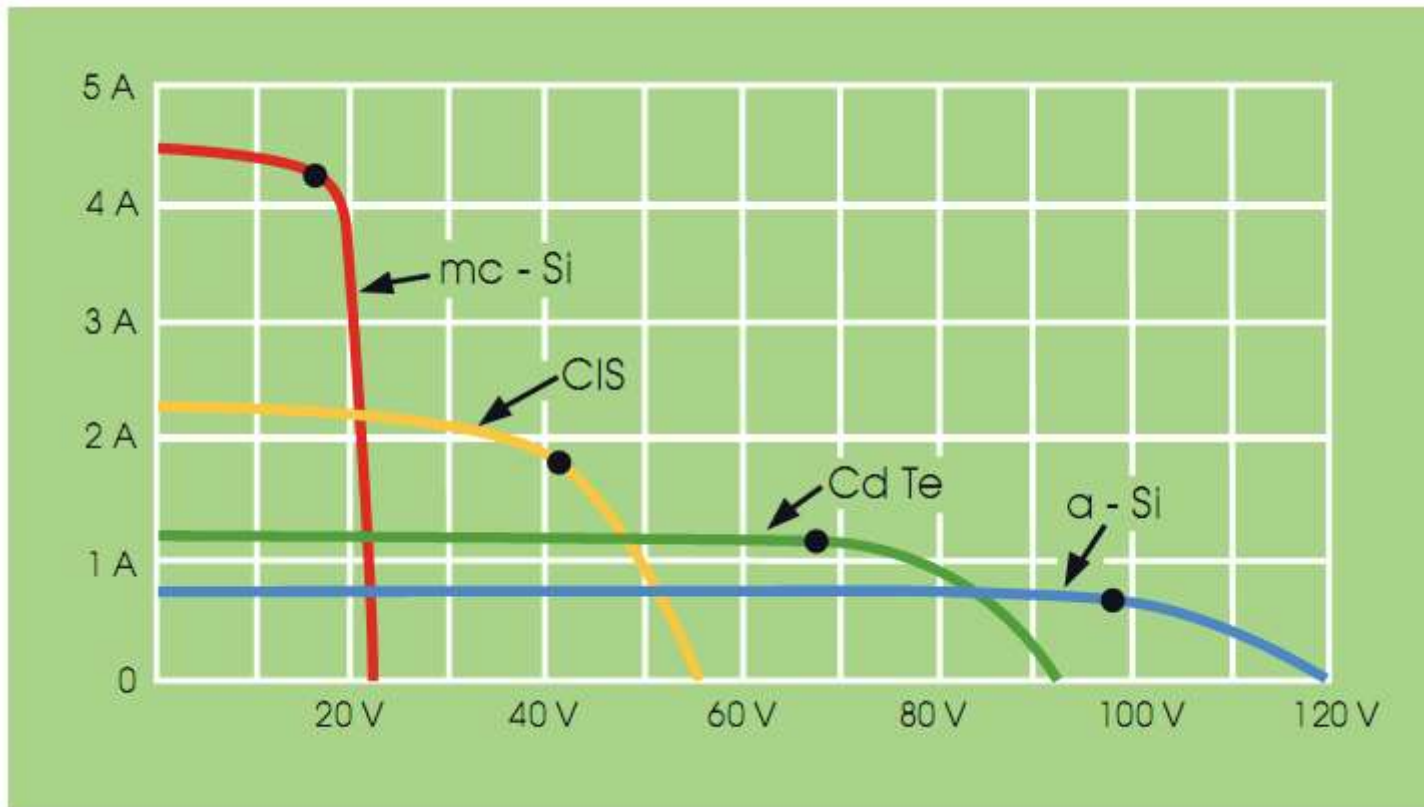


Σημεία λειτουργίας (ΣΛ) Φ/Β πλαισίου για διαφορετική ακτινοβολία



Το πρόβλημα αντιμετωπίζεται με τη χρήση ανιχνευτή σημείου μέγιστης ισχύος (Maximum Power Point Tracker – MPPT)

Καμπύλες I-V για διαφορετικούς τύπους Φ/Β ισχύος $75 W_p$

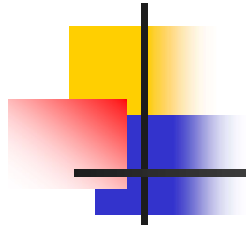




Συλλογή μέγιστης ηλιακής ακτινοβολίας σε σταθεροποιημένα Φ/Β





- Κατά προσέγγιση η βέλτιστη κλίση του Φ/Β πλαισίου "β" είναι εκείνη η οποία επιτυγχάνει την κατά το δυνατό κάθετη πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας για την υπό μελέτη χρονική περίοδο
- Για τις περιοχές της χώρας μας, η προτεινόμενη κλίση των πλαισίων είναι περίπου **55°÷60°** για τη **χειμερινή περίοδο**, και **10°÷15°** για την **καλοκαιρινή περίοδο**
- Εάν επιθυμούμε τη μεγιστοποίηση της **ετήσιας** παραγόμενης ηλιακής ακτινοβολίας επιλέγεται η αξιοποίηση της ηλιακής ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, δηλαδή " **$\beta \approx \varphi - 15^\circ$** ", όπου "φ" το γεωγραφικό πλάτος του τόπου. Στην περίπτωση όμως αυτή, η παραγόμενη ενέργεια κατά τη διάρκεια του χειμώνα είναι σαφώς μικρότερη αυτής του καλοκαιριού, επειδή τόσο η ένταση της διαθέσιμης ακτινοβολίας όσο και η διάρκεια της ημέρας είναι μικρότερες
- Αντίθετα εάν επιθυμούμε την **ενεργειακή αυτονομία** της εγκατάστασης, επιλέγεται γωνία κλίσης " **$\beta \approx \varphi + 15^\circ$** ", η οποία έχει ως αποτέλεσμα τη μεγιστοποίηση της ενεργειακής απολαβής κατά το χειμώνα καθώς και μια σχεδόν σταθερή απόδοση καθ' όλη τη διάρκεια του έτους
- Βάρος Φ/Β με βάση στήριξης: 20-25 kgr/m² (για έλεγχο στατικών)

Βέλτιστη κλίση Φ/Β πλαισίων ανά μήνα



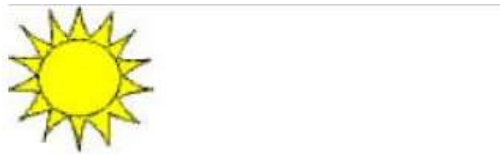
Μήνας	Γωνία Τοποθέτησης "β"	Μήνας	Γωνία Τοποθέτησης "β"
Ιανουάριος	$\varphi+29^\circ$	Ιούλιος	$\varphi-24^\circ$
Φεβρουάριος	$\varphi+18^\circ$	Αύγουστος	$\varphi-10^\circ$
Μάρτιος	$\varphi+3^\circ$	Σεπτέμβριος	$\varphi-2^\circ$
Απρίλιος	$\varphi-10^\circ$	Οκτώβριος	$\varphi+10^\circ$
Μάιος	$\varphi-22^\circ$	Νοέμβριος	$\varphi+23^\circ$
Ιούνιος	$\varphi-25^\circ$	Δεκέμβριος	$\varphi+30^\circ$

Ενδεικτική απόδοση ανάλογα με τον προσανατολισμό και τη κλίση του Φ/Β

Κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο	Προσανατολισμός		
	Νότιος	Νοτιοανατολικός Νοτιοδυτικός	Ανατολικός Δυτικός
0 ° 	90%	90%	90%
15 ° 	98%	95%	88%
30 ° 	100%	95%	85%
90 ° 	60%	60%	50%

Συστήματα παρακολούθησης τροχιάς του ήλιου (ιχνηλάτες)

Τα ΦΒ μπορεί να είναι σταθεροποιημένα, ή να συνδυάζονται με συστήματα παρακολούθησης της τροχιάς του ήλιου (ιχνηλάτες - tracking systems)



Σύστημα παρακολούθησης οριζόντιου άξονα

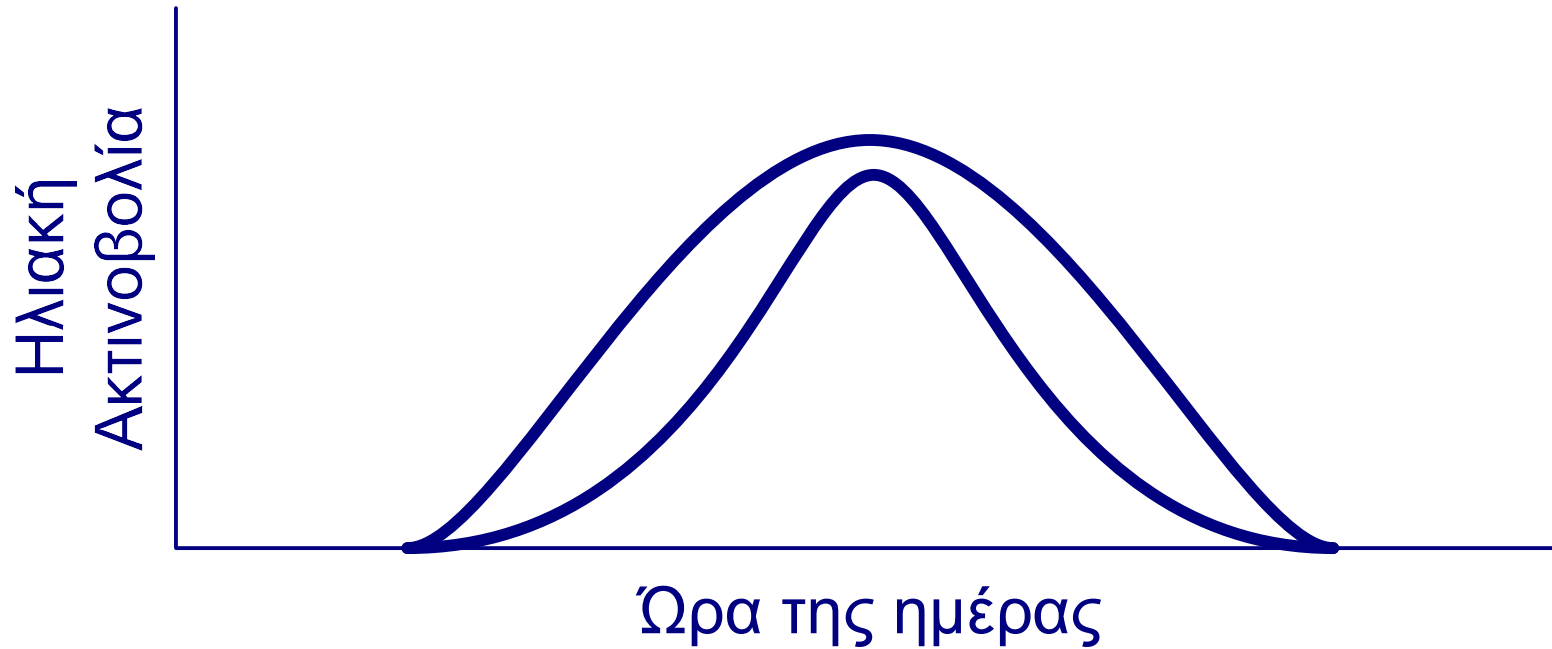


Σύστημα παρακολούθησης κατακόρυφου άξονα

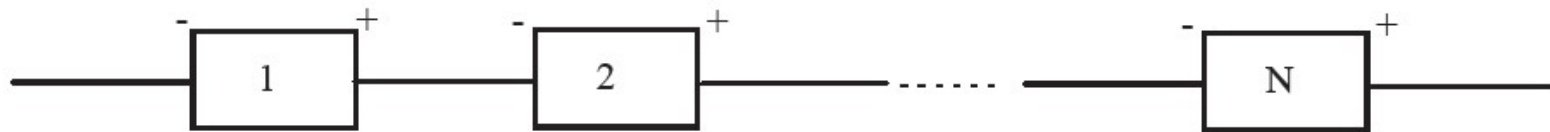


Σύστημα παρακολούθησης δύο αξόνων

Διαφοροποίηση στη συλλογή ηλιακής ακτινοβολίας με ιχνηλάτες



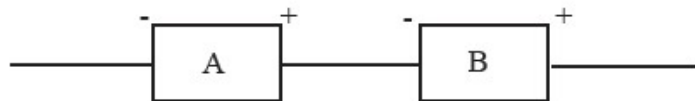
Συνδεσμολογία Φ/Β σε σειρά



$$V = V_1 + V_2 + \dots + V_N$$

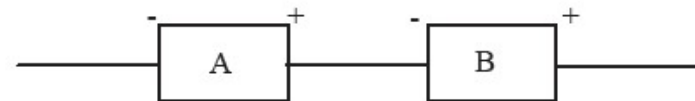
$$I = I_1 = I_2 = I_N \quad (\text{όμοια στοιχεία})$$

$$I = I_{\min} \quad (\text{ανόμοια στοιχεία})$$



$$V = V_A + V_B$$

$$I = I_A = I_B$$



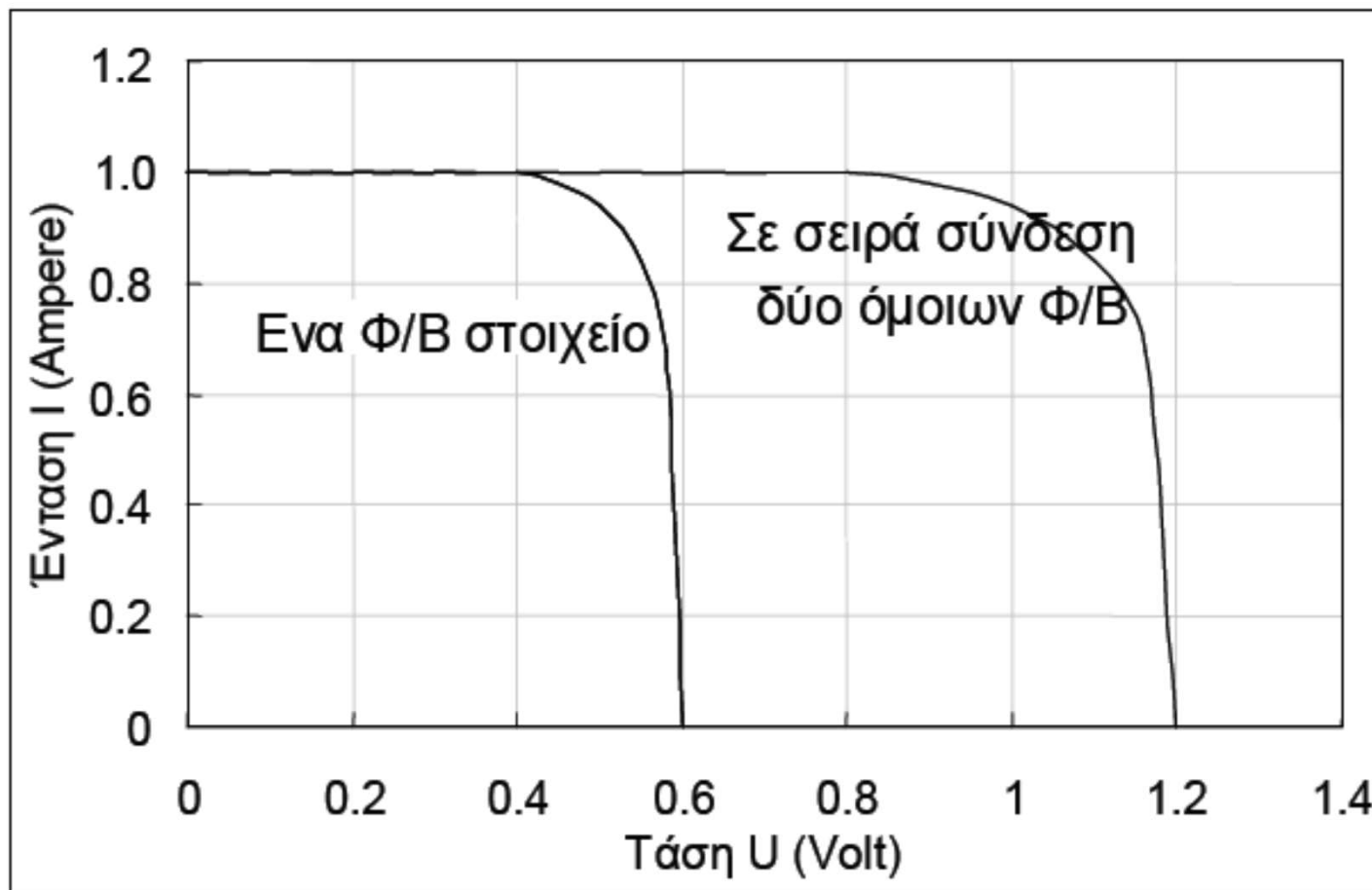
$$V = V_A + V_B$$

$$I = I_B \quad \text{όπου } I_B < I_A$$

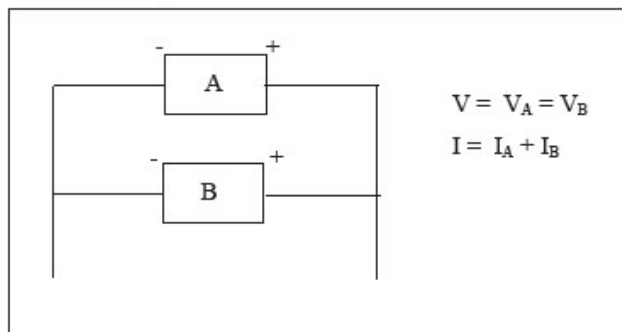
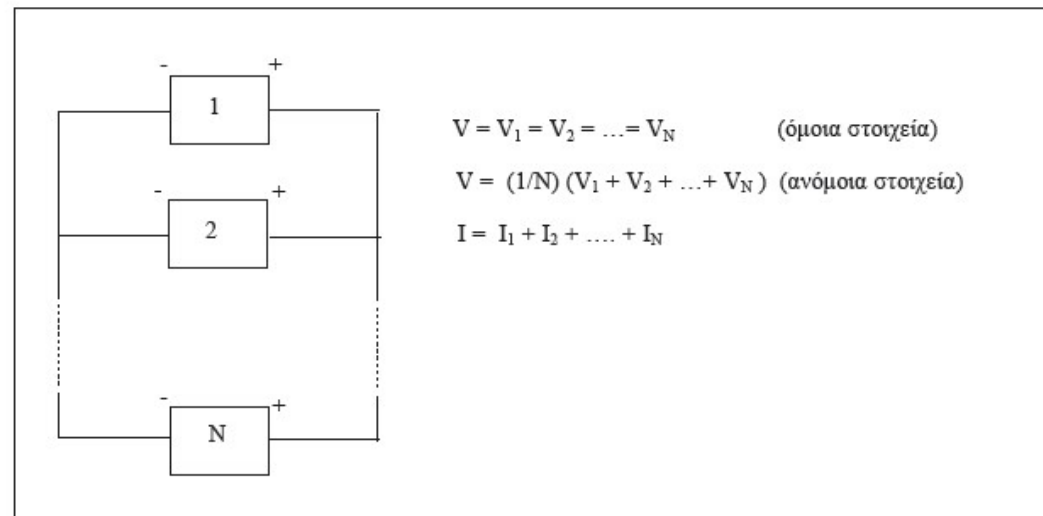
Όμοια στοιχεία

Ανόμοια στοιχεία

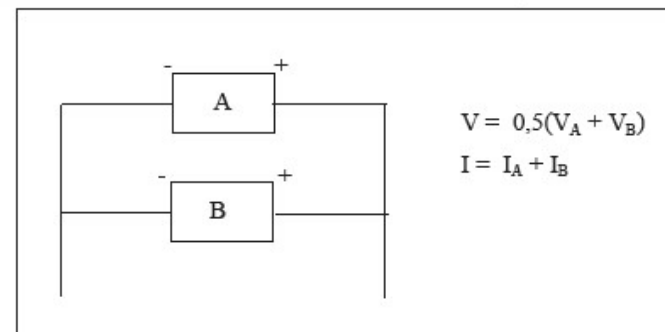
Συνδεσμολογία Φ/B σε σειρά



Συνδεσμολογία Φ/Β παράλληλα

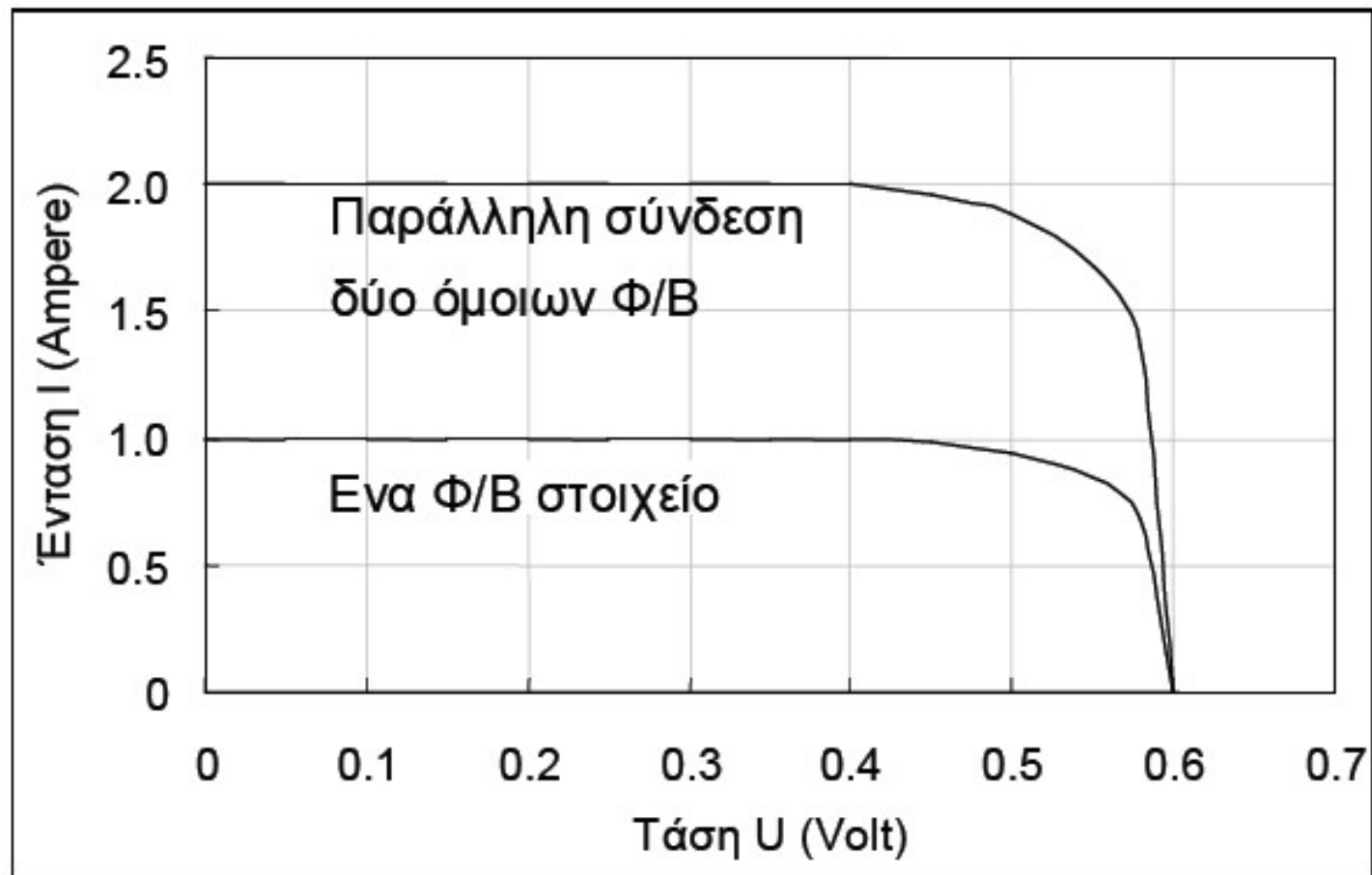


Όμοια στοιχεία

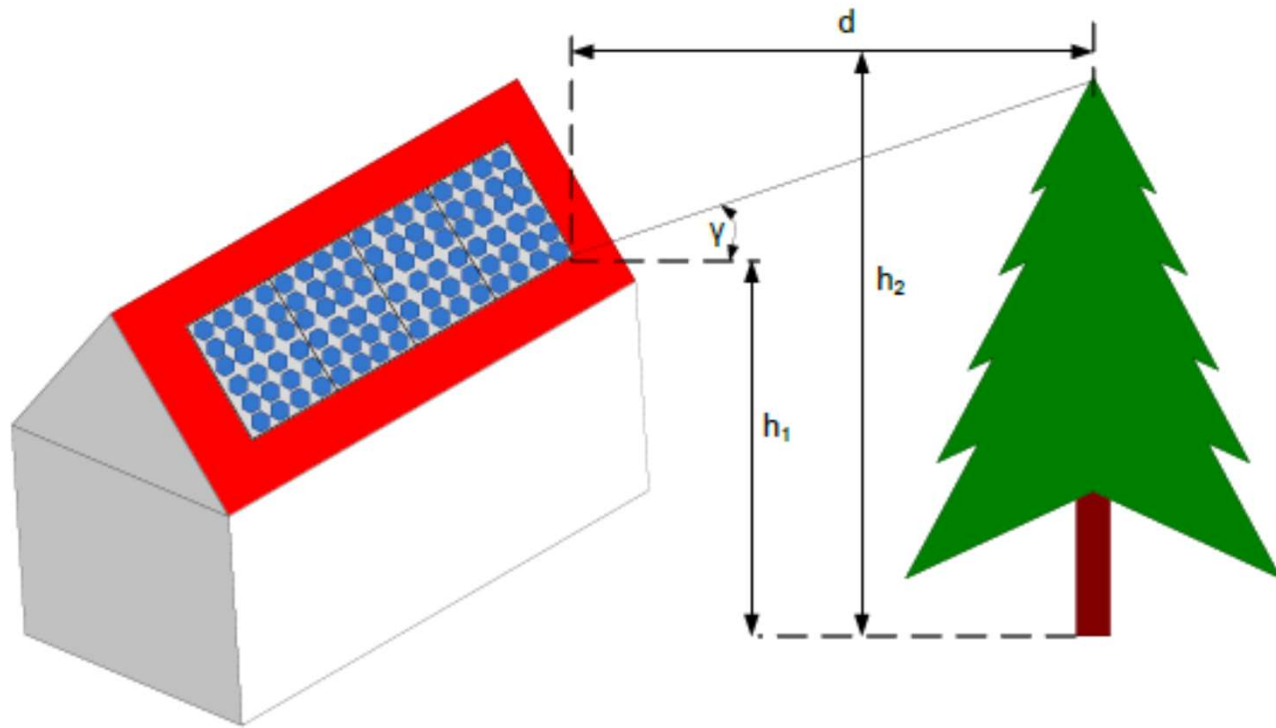


Ανόμοια στοιχεία

Συνδεσμολογία Φ/Β παράλληλα



Υπολογισμός γωνίας ύψους εμποδίου σκίασης των Φ/Β



$$\gamma = \arctan\left(\frac{h_2 - h_1}{d}\right)$$

Σκίαση Φ/Β

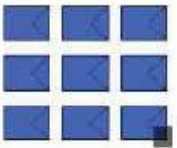
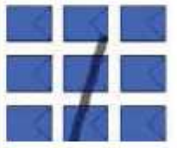



Ένας εμπειρικός κανόνας για να βεβαιωθούμε ότι το Φ/Β σύστημα δεν θα αποδίδει λιγότερο λόγω σκιάσεων, είναι ο εξής:

Η απόσταση από το τυχόν εμπόδιο (κτήριο, δέντρο, κλπ) πρέπει να είναι **τουλάχιστον διπλάσια** του ύψους του εμποδίου



$x > 2h$: ελάχιστη απόσταση μεταξύ συστοιχιών για αποφυγή σκιάσεων

Απώλειες από σκίαση

Τρόπος σκίασης	Σκίαση (%)	Ενδεικτική απώλεια ισχύος (1 string x 9 modules)	Ενδεικτική απώλεια ισχύος (3 string x 3 modules)
	0,15%	-3,7%	-1,7%
	2,6%	-16,7%	-7%
	13,9%	-22,2%	-36,8%
	11,1%	-36,5%	-30,5%
	12,5%	-18,3%	-17%

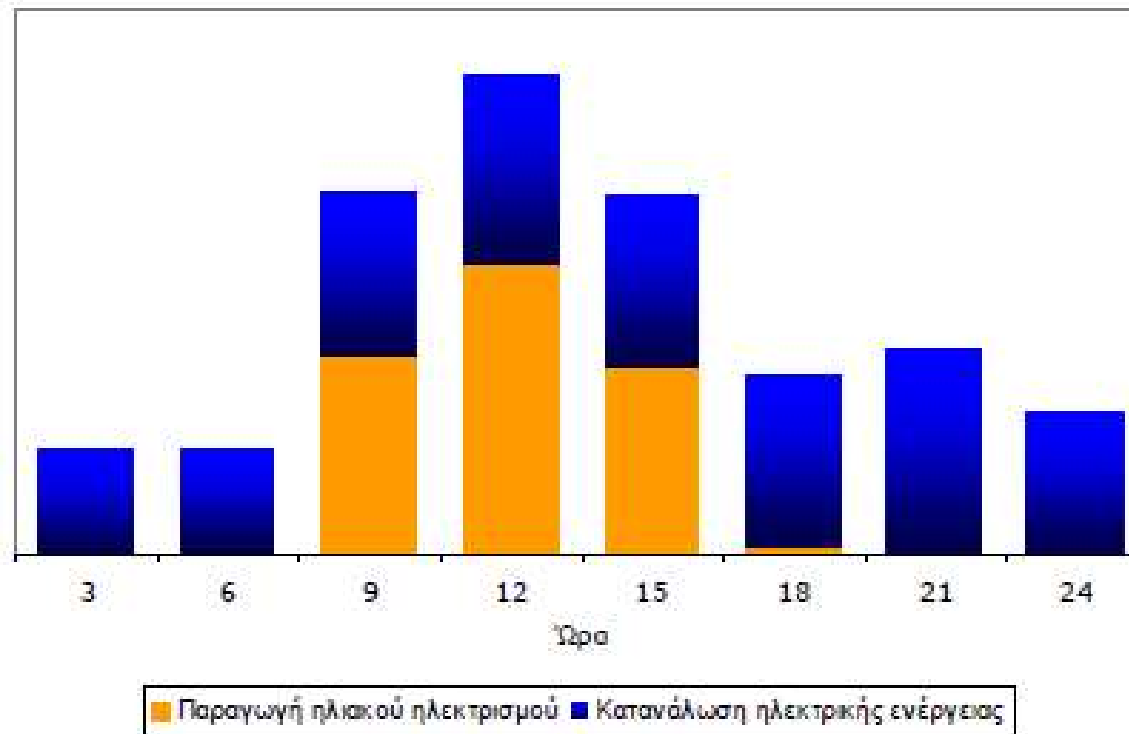


Αποδόσεις Φ/Β

- Υπάρχει συνεχής βελτίωση των Φ/Β αποδόσεων
- Αποδόσεις εμπορικά διαθέσιμων Φ/Β:
 - Άμορφο Πυρίτιο: 9÷11%
 - Κρυσταλλικό πυρίτιο: 16÷18%
- Πρακτικά, η απόδοση σχετίζεται με την επιφάνεια που καταλαμβάνει Φ/Β δεδομένης ισχύος αιχμής
- Σε ένα κτήριο, το πόσα τετραγωνικά μέτρα χρειάζονται εξαρτάται από το χώρο εγκατάστασης (δώμα ή κεκλιμένη στέγη) και από την τεχνολογία των Φ/Β. Για κρυσταλλικά πλαίσια, σε ένα δώμα θα χρειαστούν περίπου $15 \text{ m}^2/\text{kW}_p$, ενώ σε μια κεραμοσκεπή $7-10 \text{ m}^2/\text{kW}_p$

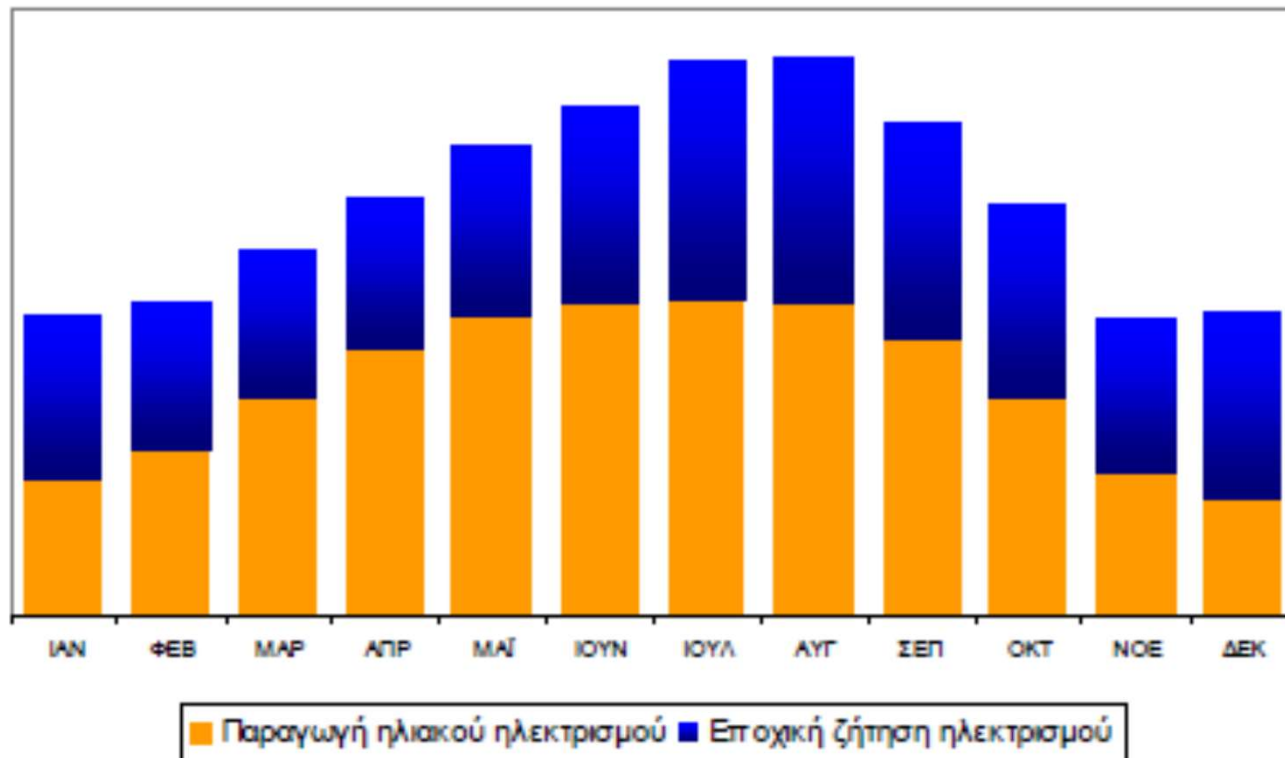
Συσχέτιση παραγωγής Φ/Β και κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας

Τα φωτοβολταϊκά καλύπτουν τη μεσημεριανή αιχμή της κατανάλωσης

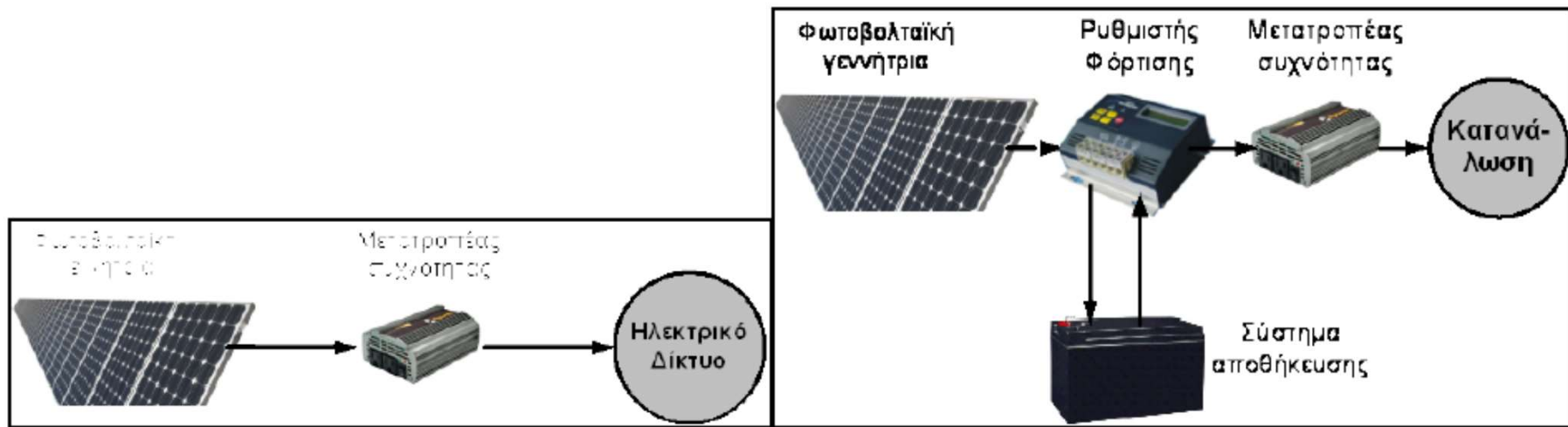


Συσχέτιση παραγωγής Φ/Β και κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας

Η παραγωγή ηλιακού ηλεκτρισμού ακολουθεί την εποχική ζήτηση



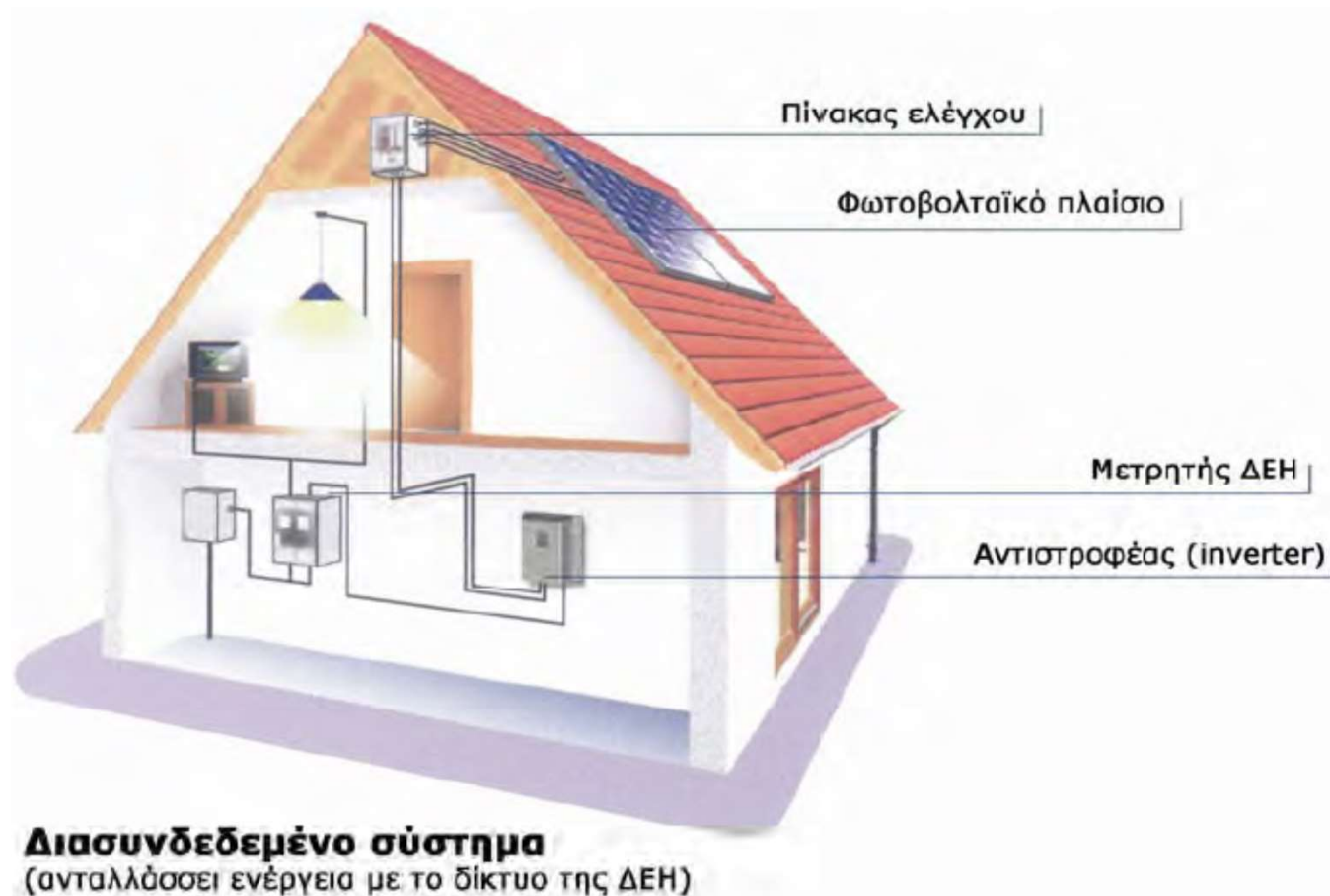
Διασυνδεδεμένα και αυτόνομα Φ/Β συστήματα



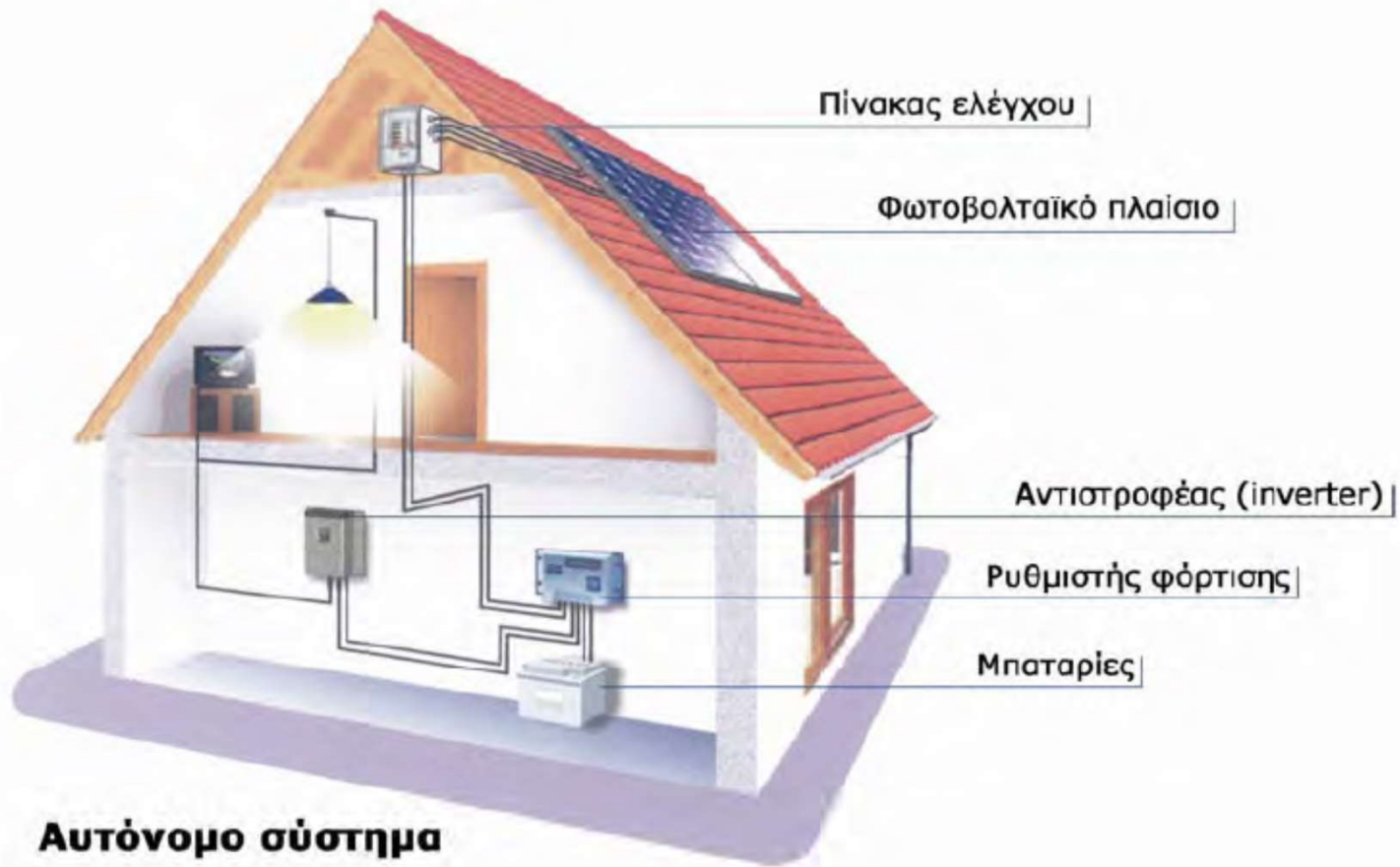
Διασυνδεδεμένο Φ/Β σύστημα

Αυτόνομο Φ/Β σύστημα

Διασυνδεδεμένο Φ/Β σύστημα



Αυτόνομο Φ/Β σύστημα





Κόστος Φ/Β

- **Τεχνολογία (τύπος) ΦΒ**
Τα Φ/Β άμορφου πυριτίου κοστίζουν λιγότερο, απαιτούν όμως περίπου διπλάσια επιφάνεια εγκατάστασης σε σχέση με τα μονοκρυσταλλικά.
- **Χώρα προέλευσης ΦΒ & άλλου εξοπλισμού**
Τα Ευρωπαϊκά μπορεί να είναι ακριβότερα αλλά πρέπει να συνυπολογίζεται και η αξιοπιστία τους
- **Φορτία - Μέγεθος εγκατάστασης**
Οι μικρές εγκαταστάσεις έχουν υψηλότερο κόστος ανά εγκατεστημένο kW
- **Ευκολία εγκατάστασης & σύνδεσης με το δίκτυο**
Δυσπρόσιτες περιοχές και εγκαταστάσεις με αυξημένη τεχνική δυσκολία έχουν υψηλό κόστος εγκατάστασης

Εφαρμογές Φ/Β σε κτήρια





Τύποι συσσωρευτών

Τύπος συσσωρευτή	Ειδική ενέργεια (Wh/kg)	Πυκνότητα ενέργειας (Wh/L)	Ειδική ισχύς (W/kg)	Ονομαστική τάση κυψέλης (V)
Μολύβδου-οξέος	30	75	250	2.0
Νικελίου-καδμίου	50	80	150	1.2
Νικελίου-μεταλλικού υδριδίου	65	150	200	1.2
Λιθίου-ιόντος	90	150	300	3.6
Ψευδαργύρου-αέρα	230	270	105	1.65

Από τους παραπάνω τύπους συσσωρευτών, οι συσσωρευτές μολύβδου-οξέος παραμένουν η επικρατέστερη λύση για απομονωμένα συστήματα λόγω του μικρότερου κόστους ανά μονάδα χωρητικότητας



Συσσωρευτής Μολύβδου – Θειϊκού οξέος

Οι πιο σημαντικοί παράγοντες που επηρεάζουν την επίδοση ενός συσσωρευτή είναι:

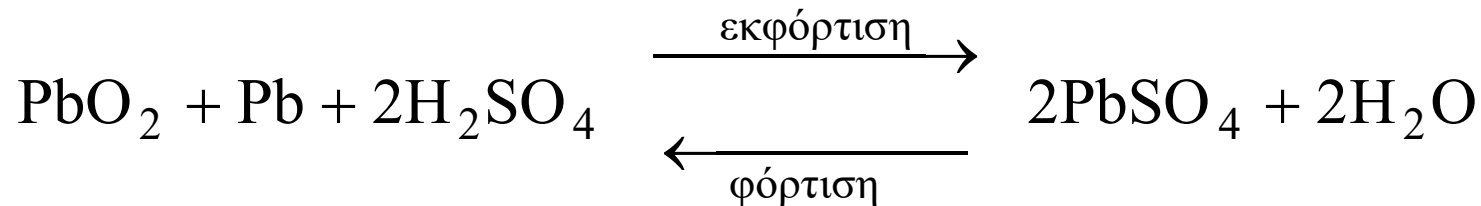
- η χωρητικότητα
- η απόδοση
- ο ρυθμός φόρτισης και εκφόρτισης
- η διάρκεια ζωής

Δευτερεύοντες παράγοντες που επηρεάζουν την επίδοση ενός συσσωρευτή είναι:

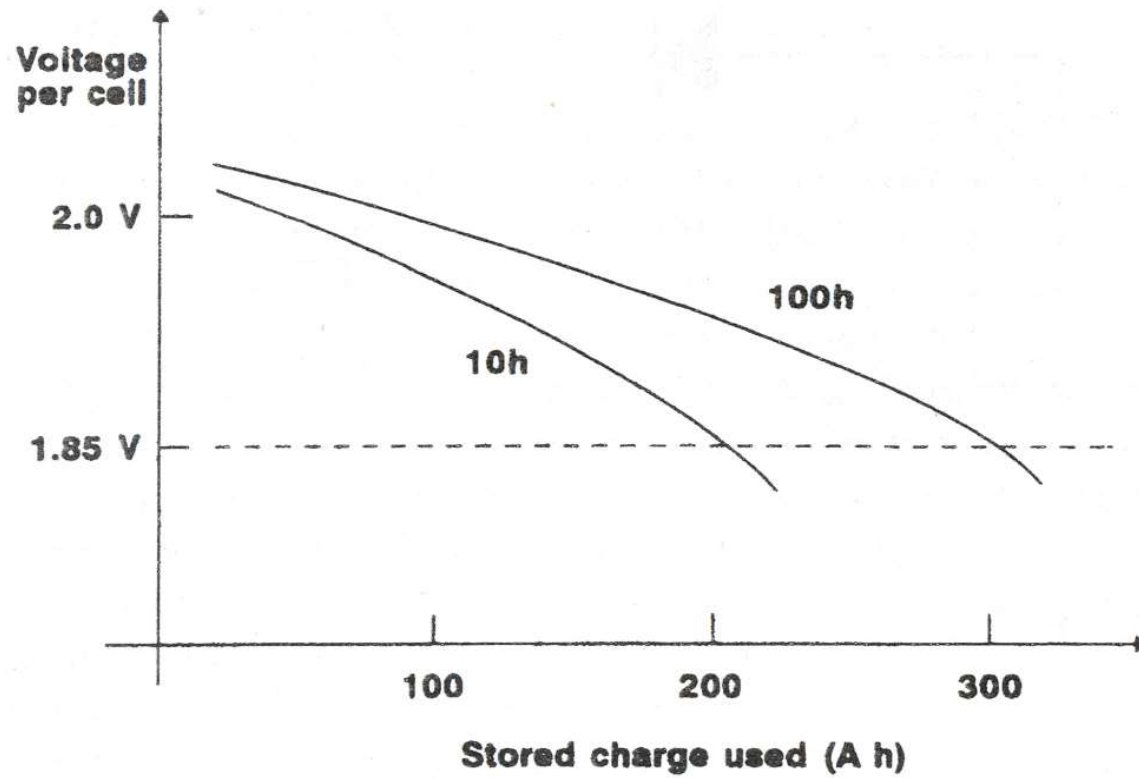
- η θερμοκρασία
- η αυτοεκφόρτιση
- η γήρανση

Συσσωρευτής Μολύβδου – Θειικού οξέος

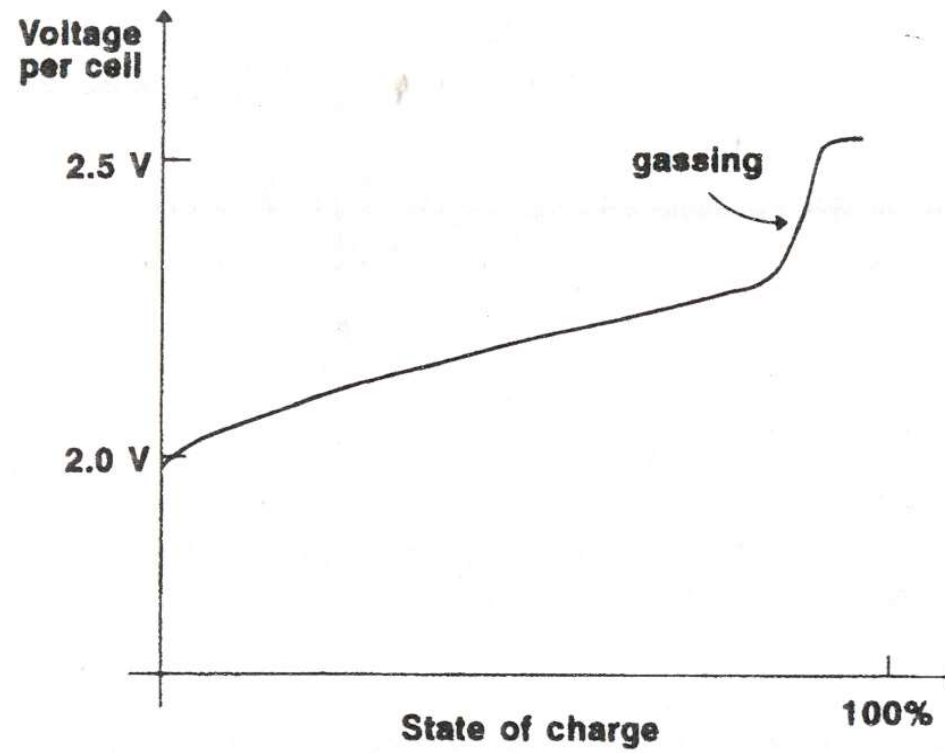
- Τα ηλεκτρόδιά του κατασκευάζονται από πλάκες μολύβδου με τη μορφή κυψελών
- Τα ηλεκτρόδια είναι βυθισμένα σε ηλεκτρολυτικό διάλυμα H_2SO_4
- Συνολική απόδοση: 80% – 85%



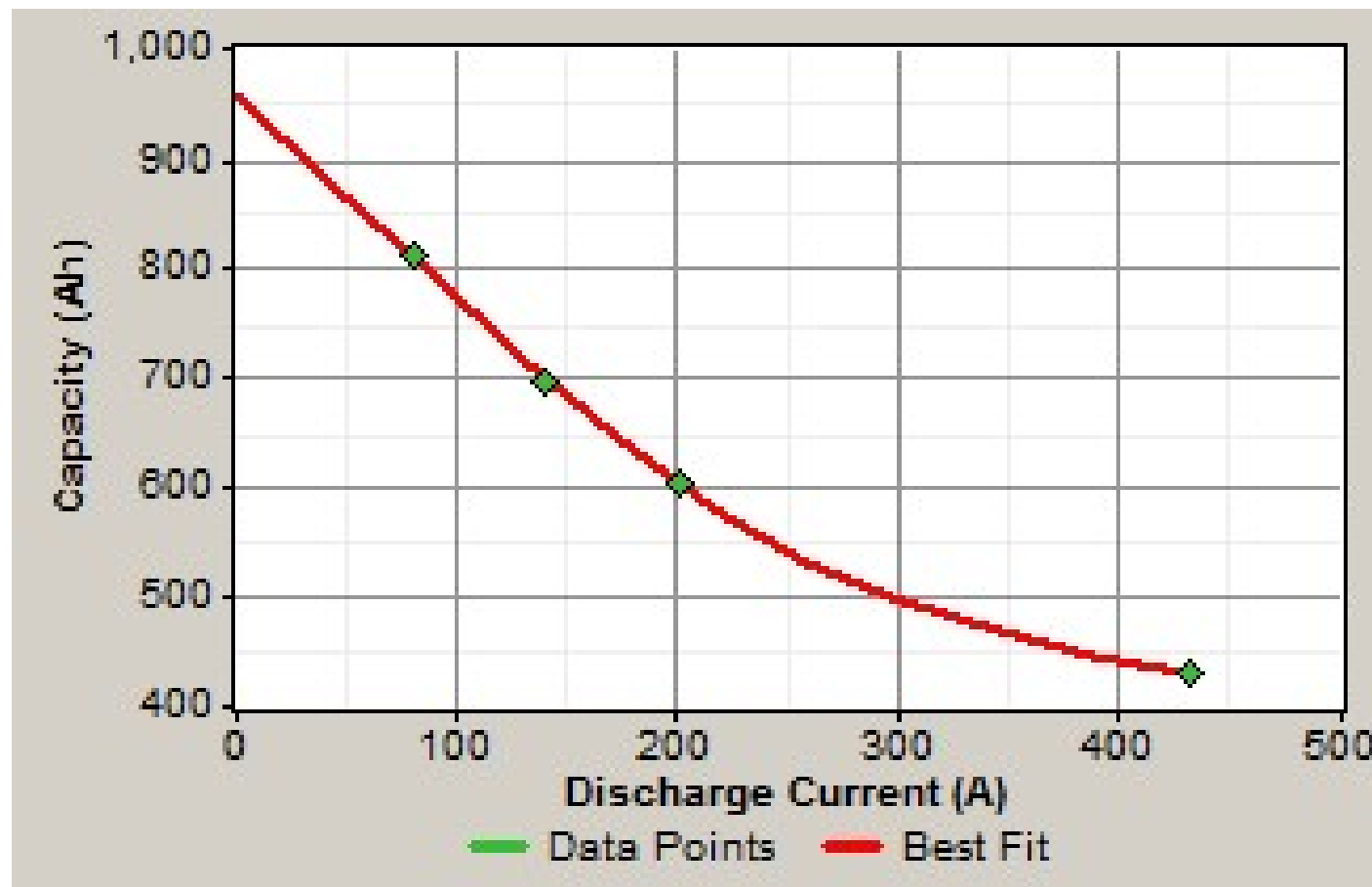
Εκφόρτιση



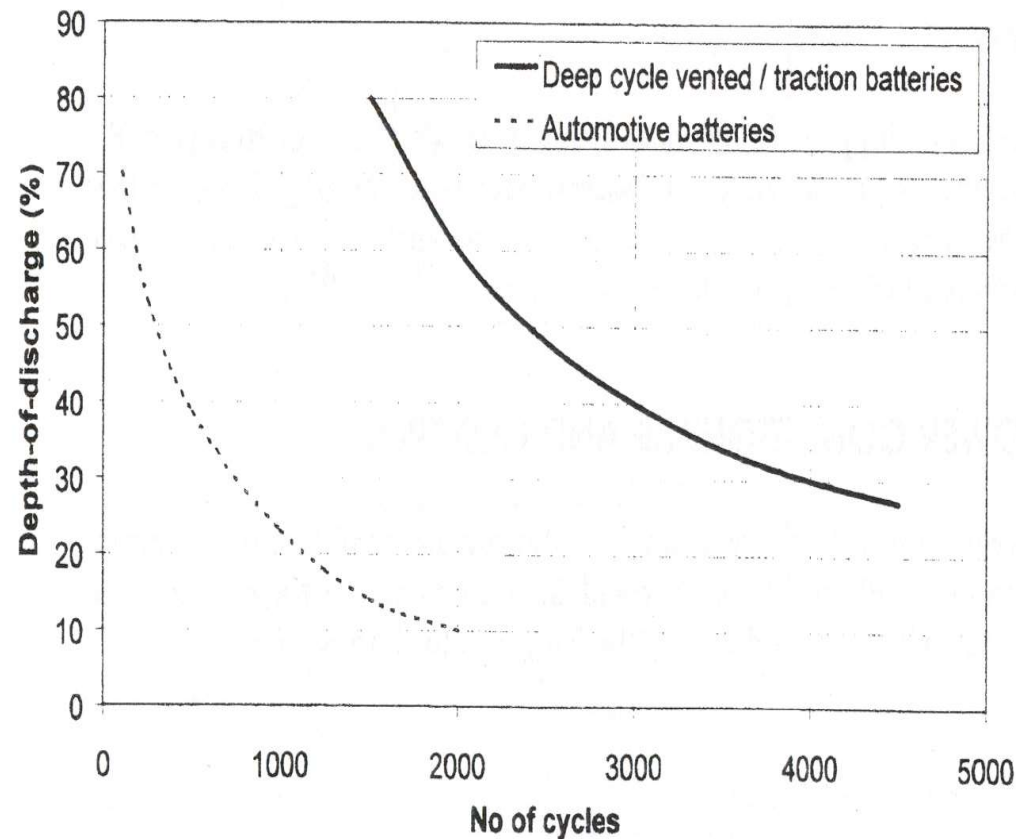
Φόρτιση



Επίδραση του χωρητικότητας ως συνάρτηση του ρεύματος εκφόρτισης



Επίδραση του αριθμού κύκλων λειτουργίας ως συνάρτηση του βάθους εκφόρτισης



Διαστασιολόγηση αυτόνομου Φ/Β συστήματος

Για κάθε μήνα (ή ημέρα) του έτους υπολογίζεται το πεδίο μεταβολής του αριθμού των απαιτούμενων Φ/Β πλαισίων "z", ως:

$$z_{\min} \leq z \leq z_{\max}; \quad z_{\min} = \frac{E_o / (\eta_{CC} \cdot \eta_{INV} \cdot \eta_{KAL})}{(H_T \cdot \eta_{PV}) \cdot S_{\text{ΠΛΑΙΣΙΟΥ}} \cdot \eta_{\text{ΘΕΡΜ}} \cdot \eta_{\text{ΚΑΘΑΡ}} \cdot \eta_{\text{ΓΗΡ}}} \quad z_{\max} = z_{\min} / \eta^*$$

- H_T : η μηνιαία ηλιακή ενέργεια (kWh/mo/m²) στην περιοχή εγκατάστασης για κλίση Φ/Β "β"
- η_{CC} : η μέση μηνιαία απόδοση του ρυθμιστή φόρτισης (87%÷93%)
- η_{INV} : η μέση μηνιαία απόδοση του μετατροπέα συχνότητας (inverter) (90%÷96%)
- η_{KAL} : λαμβάνει υπόψη τις απώλειες των καλωδιώσεων μεταφοράς (96%÷99%)
- η_{PV} : η αναμενόμενη μέση μηνιαία ενεργειακή απόδοση των Φ/Β πλαισίων (8%÷17%)
- $\eta_{\text{ΘΕΡΜ}}$: λαμβάνει υπόψη τη μεταβολή της απόδοσης των Φ/Β στοιχείων λόγω διαφορετικής θερμοκρασίας λειτουργίας των από τους 20°C (85%÷95%)
- $\eta_{\text{ΚΑΘΑΡ}}$: μεταβολή της απόδοσης των Φ/Β πλαισίων λόγω επικαθήσεων σκόνης (96%÷99%)
- $\eta_{\text{ΓΗΡ}}$: ποσοστό γήρανσης Φ/Β ανά έτος (90%÷95%)
- $S_{\text{ΠΛΑΙΣΙΟΥ}}$: το εμβαδόν του τυπικού Φ/Β πλαισίου που συγκροτεί τη γεννήτρια
- η^* : η συνολική απόδοση του συστήματος αποθήκευσης και απόδοσης της αποθηκευμένης ενέργειας στο μετατροπέα συχνότητας (inverter)



Υπολογισμός συσσωρευτών

Η χωρητικότητα της συστοιχίας των συσσωρευτών Q_{\max} (σε Ah) υπολογίζεται από τη σχέση (**ΠΡΟΣΟΧΗ ΣΤΙΣ ΜΟΝΑΔΕΣ**):

$$Q_{\max} = \frac{d_o \cdot (E_{\text{ΕΤΗΣΙΑ}} / 8760)}{\eta_{\text{db}} \cdot \text{DOD}_L \cdot U_{\text{ΣΥΣ}}}$$

d_o : αριθμός τυπικών ημερών απαιτούμενης ενεργειακής αυτονομίας

$E_{\text{ΕΤΗΣΙΑ}}$: ετήσια κατανάλωση ενέργειας

η_{db} : ο βαθμός απόδοσης του κλάδου εκφόρτισης των συσσωρευτών, συμπεριλαμβανομένου του μετατροπέα συχνότητας και των αντίστοιχων καλωδιώσεων

DOD_L : μέγιστο επιτρεπόμενο βάθος εκφόρτισης των συσσωρευτών

$U_{\text{ΣΥΣ}}$: τάση λειτουργίας συσσωρευτών (συνήθως 12V ή 24V ή 48V)



Συντελεστής χρησιμοποίησης Φ/Β

Η πραγματική αποδοτικότητα μιας Φ/Β εγκατάστασης υπολογίζεται μέσω του συντελεστή χρησιμοποίησης (capacity factor, CF). Ο CF αναφέρεται σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Ο **ετήσιος** CF διαιρεί την ενέργεια που παράγει η Φ/Β εγκατάσταση σε ένα χρόνο E_y (σε kWh) με την ενέργεια που θα παρήγαγε θεωρητικά η Φ/Β εγκατάσταση εάν λειτουργούσε στην ισχύ αιχμής P_o (σε kW_p) για όλες τις ώρες (Δt) του έτους (8760 ή 8784 για δίσεκτο έτος):

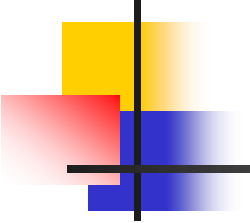
$$CF = \frac{E_y}{P_o \cdot \Delta t}$$

Για την Ελλάδα ο μέσος ετήσιος CF των Φ/Β εγκαταστάσεων που έχουν τοποθετηθεί σε βέλτιστη κλίση κυμαίνεται μεταξύ **15÷20%** (αναμενόμενη ετήσια ενεργειακή παραγωγή **1300÷1800 kWh/kW_p**)



Ονομαστική ισχύς ρυθμιστή φόρτισης και μετατροπέα συχνότητας

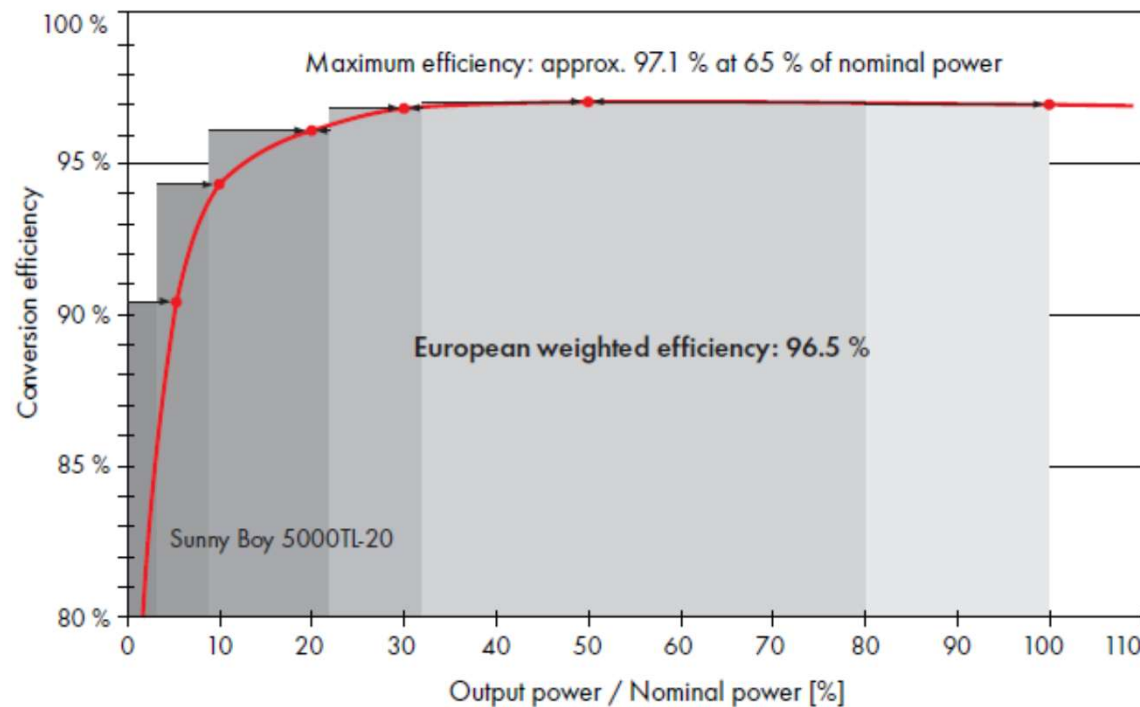
- Για την επιλογή του ρυθμιστή φόρτισης, η ονομαστική του ισχύς καθορίζεται μεγαλύτερη ή ίση με αυτή της Φ/Β γεννήτριας, ενώ οι τιμές τάσεως εισόδου και εξόδου αντιστοιχούν στην τιμή της τάσεως της Φ/Β γεννήτριας και της συστοιχίας των συσσωρευτών. Σε περιπτώσεις απαίτησης μεγάλης έντασης ηλεκτρικού ρεύματος επιλέγεται η λύση περισσότερων μονάδων συνδεδεμένων εν παραλλήλω
- Η ονομαστική ισχύς του μετατροπέα συχνότητας καθορίζεται από τη μέγιστη ζήτηση φορτίου της κατανάλωσης προσαυξημένη κατά ένα ποσοστό, ώστε να συνυπολογίζεται και η πιθανή αύξηση της ζήτησης στο επόμενο χρονικό διάστημα. Η απαιτούμενη τάση λειτουργίας των φορτίων της κατανάλωσης προσδιορίζει και την τάση εξόδου του μετατροπέα συχνότητας της εγκατάστασης



Λόγος ισχύος (ΛΙ) μετατροπέα συχνότητας – Φ/Β πάρκου

- Ορίζεται ως ο λόγος της ισχύος εισόδου του μετατροπέα συχνότητας προς την ονομαστική ισχύ του Φ/Β
- Για εγκαταστάσεις με βέλτιστη κλίση Φ/Β, το εύρος του ΛΙ είναι συνήθως 95%-115% (οι υψηλότερες τιμές αντιστοιχούν σε Φ/Β συστήματα με ιχνηλάτες)
- Ο ΛΙ δεν αρκεί για τον χαρακτηρισμό μιας οποιασδήποτε Φ/Β εγκατάστασης. Για παράδειγμα, για Φ/Β πλαίσια που είναι τοποθετημένα σε κατακόρυφους τοίχους (μακριά δηλαδή από τη βέλτιστη κλίση), ο ΛΙ μπορεί να παίρνει χαμηλότερες τιμές, ακόμα και μικρότερες από 80%

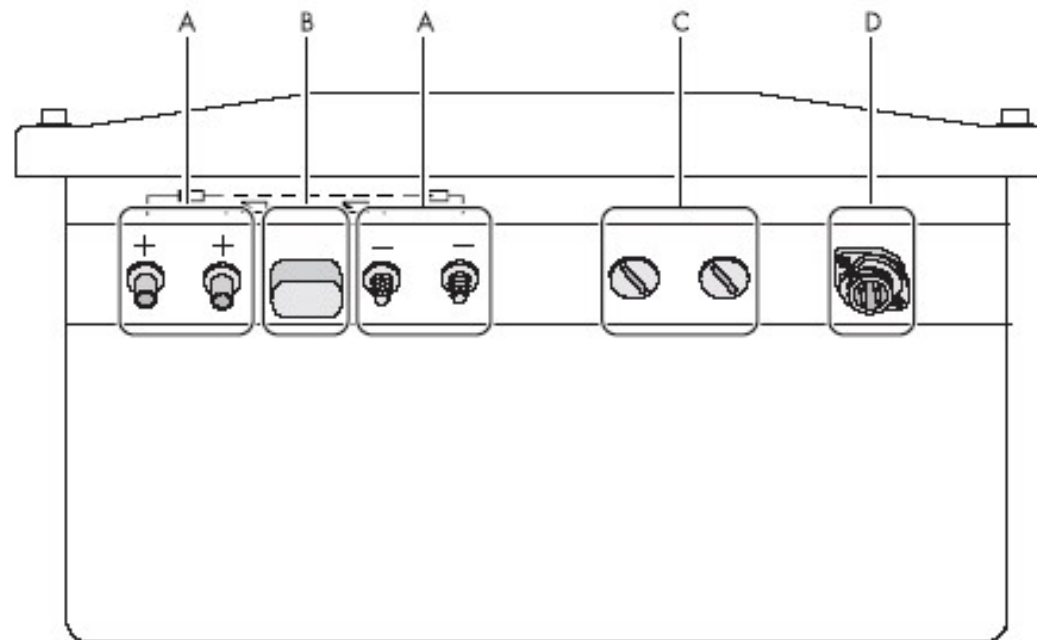
Βαθμός απόδοσης μετατροπείας συχνότητας



Χρησιμοποιείται ο Ευρωπαϊκός διαβαθμισμένος βαθμός απόδοσης:

$$n_{euro} = 0.03 \cdot n_{5\%P_n} + 0.06 \cdot n_{10\%P_n} + 0.13 \cdot n_{20\%P_n} + 0.10 \cdot n_{30\%P_n} + 0.48 \cdot n_{50\%P_n} + 0.20 \cdot n_{100\%P_n}$$

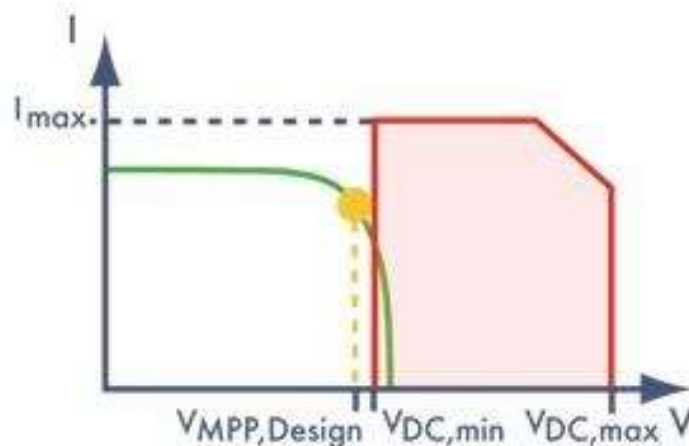
Είσοδοι – έξοδοι μετατροπέα συχνότητας



Αντικείμενο	Περιγραφή
A	Ηλεκτρικός συνδετήρας για τη σύνδεση της φωτοβολταϊκής στοιχειοσειράς
B	Ένθεμα υποδοχής για τη σύνδεση του αποζεύκτη φορτίου DC Electronic Solar Switch (ESS)
C	Δίοδος καλωδίου για την επικοινωνία (με πώματα σφράγισης)
D	Βύσμα για σύνδεση AC

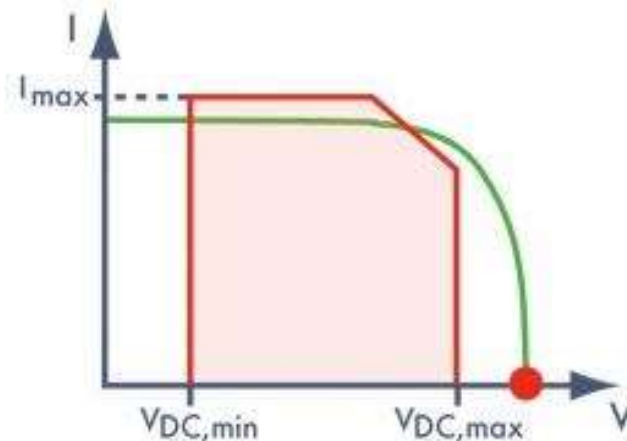
Πρόβλημα 1: Χαμηλή MPP τάση

Στην περίπτωση αυτή, η τάση MPP του Φ/Β είναι μικρότερη από την ελάχιστη τάση εισόδου του μετατροπέα συχνότητας. Το αποτέλεσμα είναι **μη κρίσιμο** για τη λειτουργία του μετατροπέα συχνότητας. Συγκεκριμένα, ο μετατροπέας συχνότητας λειτουργεί παράγοντας και τροφοδοτώντας το δίκτυο με ενέργεια που παράγεται από το MPP του Φ/Β



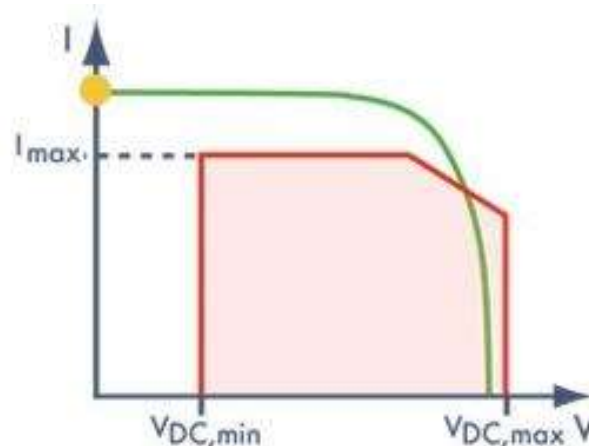
Πρόβλημα 2: Υψηλότερη τάση ανοιχτοκύκλωσης

Στην περίπτωση αυτή, η τάση ανοιχτοκύκλωσης του Φ/Β είναι μεγαλύτερη από τη μέγιστη επιτρεπτή τάση εισόδου του μετατροπέα συχνότητας. Το αποτέλεσμα είναι **κρίσιμο** για τη λειτουργία του μετατροπέα συχνότητας. Συγκεκριμένα, ο μετατροπέας συχνότητας δεν λειτουργεί, ενώ ανάλογα με την τάση και τη θερμοκρασία μπορεί να οδηγηθούμε σε καταστροφή του



Πρόβλημα 3: Υψηλότερο ρεύμα βραχυκύκλωσης

Στην περίπτωση αυτή, τα Φ/Β μπορούν να παράγουν περισσότερη ισχύ και να δώσουν περισσότερο ρεύμα από τον μετατροπέα συχνότητας. Το αποτέλεσμα είναι **μη κρίσιμο** για τη λειτουργία του μετατροπέα συχνότητας. Συγκεκριμένα, ο μετατροπέας συχνότητας θα συνεχίσει να τροφοδοτεί το δίκτυο με τη μέγιστη ισχύ του



Τεχνικά χαρακτηριστικά μετατροπέα συχνότητας



Please also refer to the SMA design tool Sunny Design which can be downloaded free-of-charge at www.SMA.de.



SUNNY BOY 1200 / 1700

SUNNY BOY 2100TL

SUNNY BOY 2000HF

SUNNY BOY 2500HF

SUNNY BOY 2500 / 3000

SUNNY BOY 3000HF

SUNNY BOY 3000TL

SUNNY BOY 3300TL HC

Technical Abbreviation	SB 1200 / SB 1700	SB 2100TL	SB 2000HF-30	SB 2500HF-30	SB 2500 / SB 3000	SB 3000HF-30	SB 3000TL-20	SB 3300TL HC
Input (DC)								
Max. DC power	1320 W / 1850 W	2200 W	2100 W	2650 W	2700 W / 3200 W	3150 W	3200 W	3440 W
Max. DC voltage	400 V	600 V	700 V	700 V	600 V	700 V	550 V	750 V
PV voltage range, MPPT (at nominal power output)	100 V - 320 V / 139 V - 320 V	200 V - 480 V	175 V - 560 V	175 V - 560 V	224 V - 480 V / 268 V - 480 V	210 V - 560 V	188 V - 440 V	125 V - 600 V
Max. input current	12.6 A	11 A	12 A	15 A	12 A	15 A	17 A	11 A
Number of MPPT trackers	1	1	1	1	1	1	1	1
Max. number of strings (parallel)	2	2	2	2	3	2	2	2
Output (AC)								
Nominal AC output	1200 W / 1550 W	1950 W	2000 W	2500 W	2300 W / 2750 W	3000 W	3000 W	3000 W
Max. AC power	1200 W / 1700 W	2100 W	2000 W	2500 W	2500 W / 3000 W	3000 W	3000 W	3300 W
Max. output current	6.1 A / 8.6 A	11 A	11.4 A	14.2 A	12.5 A / 15 A	16 A	16 A	16 A
Nominal AC-voltage	220 V - 240 V	220 V - 240 V	220 V - 240 V	220 V - 240 V	220 V - 240 V	220 V - 240 V	220 V - 240 V	220 V - 240 V
AC-Grid frequency	50 Hz / 60 Hz	50 Hz	50 Hz / 60 Hz	50 Hz / 60 Hz	50 Hz / 60 Hz	50 Hz / 60 Hz	50 Hz / 60 Hz	50 Hz
Power factor (cos φ)	1	1	1	1	1	1	1	1
AC connection	single-phase	single-phase	single-phase	single-phase	single-phase	single-phase	single-phase	single-phase
Efficiency								
Max. efficiency	92.1 % / 93.5 %	96.0 %	> 96 %	> 96 %	94.1 % / 95.0 %	> 96 %	97.0 %	96.0 %
Euro ETA	90.9 % / 91.8 %	95.2 %	> 95 %	> 95 %	93.2 % / 93.6 %	> 95 %	96.3 %	94.6 %
Protection devices								
DC reverse polarity protection	●	●	●	●	●	●	●	●
DC load-disconnecting unit ESS	●	●	●	●	●	●	●	●
AC short-circuit protection	●	●	●	●	●	●	●	●
Ground fault monitoring	●	●	●	●	●	●	●	●
Grid monitoring [SMA Grid Guard]	●	●	●	●	●	●	●	●
Galvanically isolated / all-pole sensitive fault current monitoring unit	●/-	-/●	●/-	●/-	●/-	●/-	-/●	-/●