

Τεχνολογία Φωτοβολταϊκών Συστημάτων

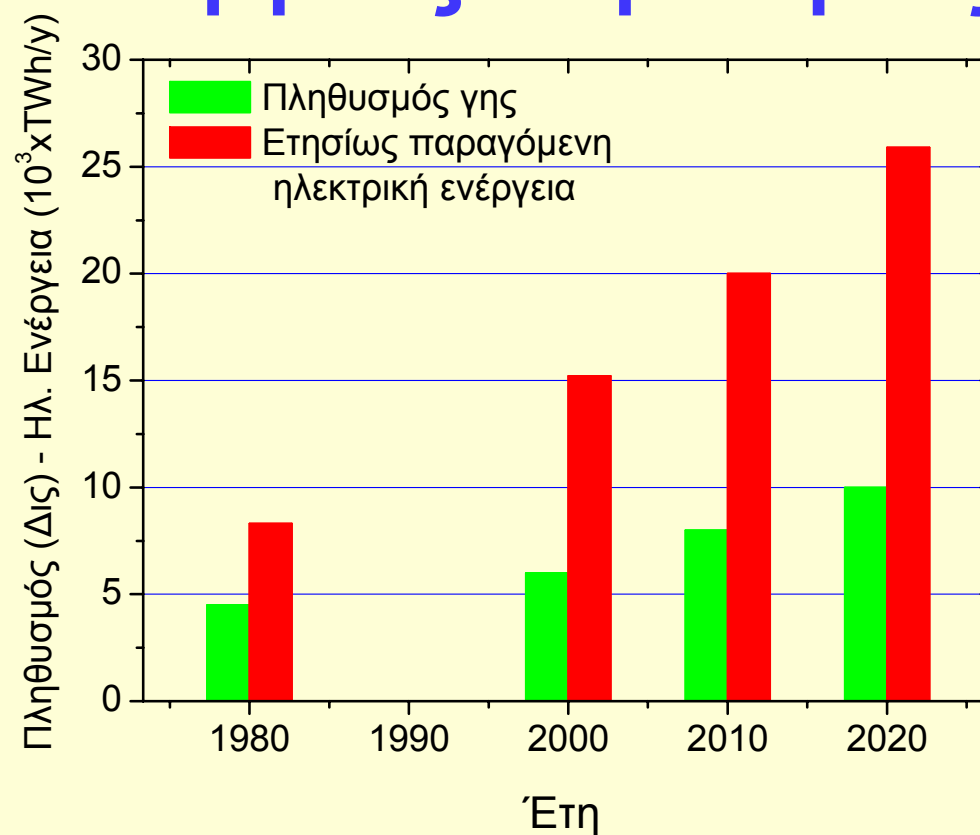


Ι. Φραγκιαδάκης

Εργαστήριο Φωτοβολταϊκής Τεχνολογίας και Εφαρμογών
«Φωτοβολταϊκό Πάρκο»

2008

Πληθυσμός και Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας Παγκοσμίως




2005: Το 1/3 του πληθυσμού της γης (>6,5 δισ), δεν είχε πρόσβαση στην ηλεκτρική ενέργεια (κυρίως, σε Αφρική και Ασία).

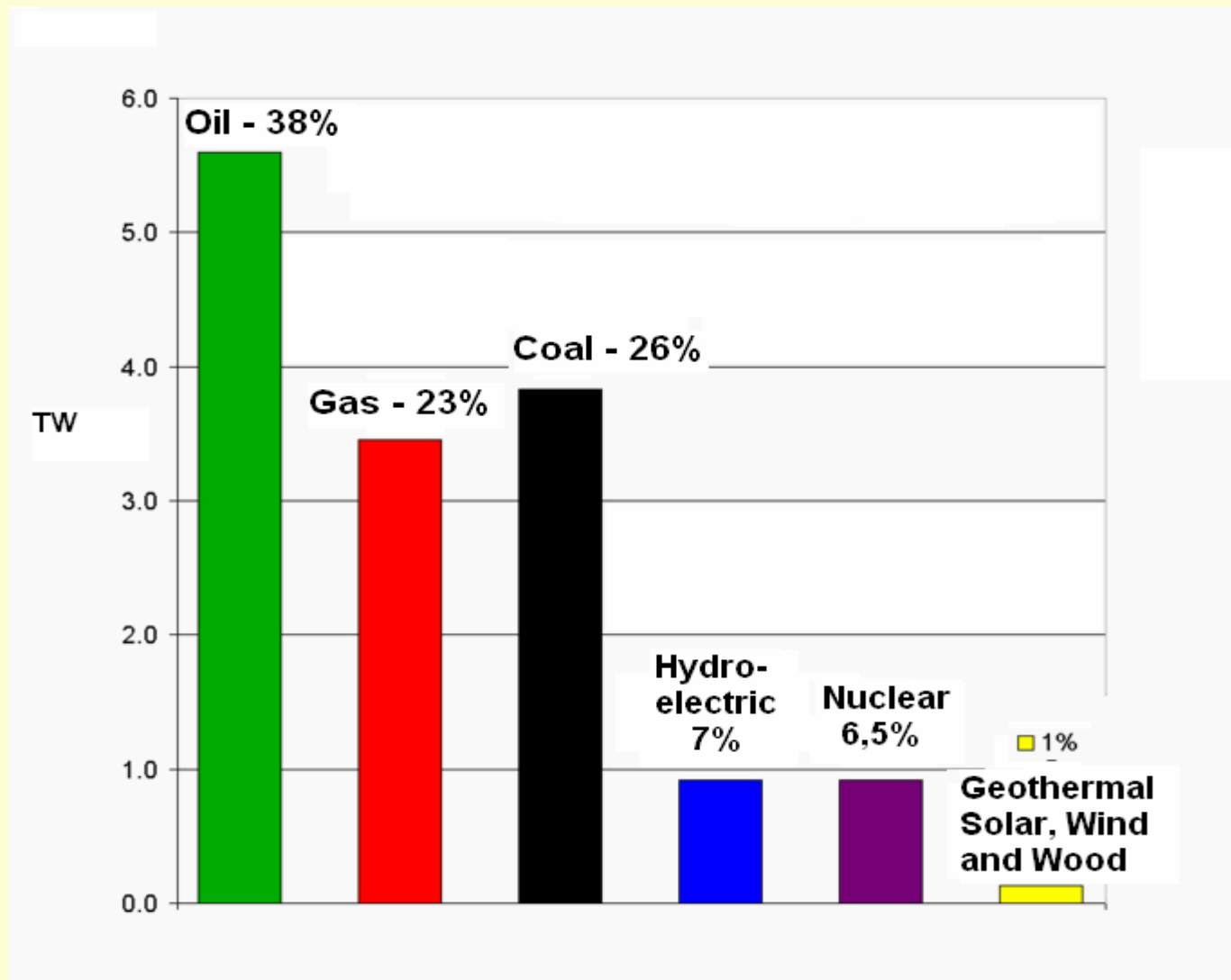


Συμβατικές Πηγές Ενέργειας

Πηγές αποθεμάτων

- Κάρβουνο
 - Πετρέλαιο
 - Φυσικό αέριο
 - Πυρηνική ενέργεια
- 

Κατανομή ανά πηγή ενέργειας



Ηλεκτρική ενέργεια από κάρβουνο και πετρέλαιο



Αρνητικές επιπτώσεις στο φαινόμενο θερμοκηπίου και
γενικότερα στο φυσικό περιβάλλον

Ηλεκτρική ενέργεια από πυρηνικά εργοστάσια



Το κυπαρίσσι δίπλα στις «πράσινες»
καμινάδες δεν είναι τυχαίο

Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

- Υδατόπτωση
- Θαλάσσια Κύματα - Ρεύματα
- Γεωθερμία
- Βιομάζα
- Αιολικά συστήματα, 2007: Παγκοσμ.: 94 GW,
Ευρώπη: 57 GW (61%)
Ελλάς: 871 MW (0,9%)

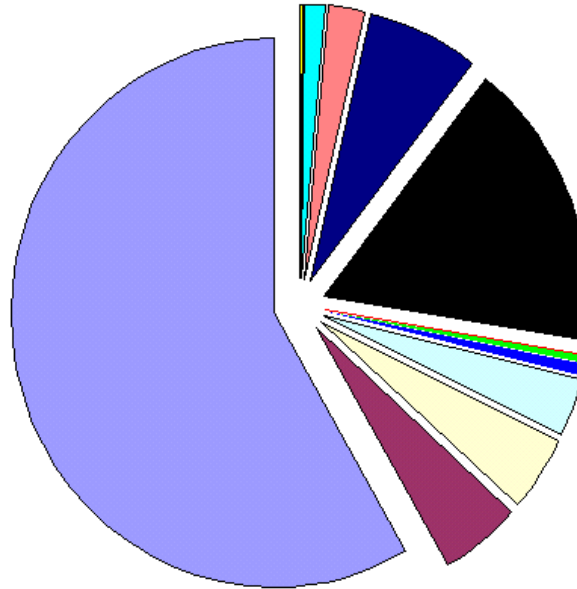


- Ηλιακά
 - Ηλιοθερμικά
 - Θερμικά εργοστάσια
 - ΦΒ συστήματα



Ηλεκτρική ενέργεια από ΑΠΕ, παγκοσμίως (%)

World Renewable Energy 2005



<div></div> Large hydro 58.23%	<div></div> Small hydro 5.12%	<div></div> Wind power 4.58%	<div></div> Biomass elec 3.42%
<div></div> Geothermal elec 0.72%	<div></div> Photovoltaic 0.42%	<div></div> Other elec** 0.05%	<div></div> Biomass heat* 17.08%
<div></div> Solar heat 6.83%	<div></div> Geothermal heat 2.17%	<div></div> Biodiesel fuel 1.21%	<div></div> Bioethanol fuel 0.16%




Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα ΑΠΕ

Πλεονεκτήματα

- Είναι πρακτικά ανεξάντλητες
- Συμβάλλουν στη μείωση της εξάρτησης από τις συμβατικές πηγές ενέργειας
- Ενισχύουν την ενεργειακή ανεξαρτησία σε εθνικό επίπεδο
- Είναι φιλικές προς το περιβάλλον και τον άνθρωπο

Μειονεκτήματα

- Έχουν χαμηλή πυκνότητα ισχύος και ενέργειας
 - Παρουσιάζουν διακυμάνσεις διαθεσιμότητάς
 - Χαρακτηρίζονται από χαμηλό συντελεστή χρησιμοποίησης, CF.
 - Το κόστος επένδυσης ανά μονάδα εγκατεστημένης ισχύος είναι ακόμη υψηλό.
- 



Α.Π.Ε. – Στόχοι Λευκής Βίβλου (1997)

Ποσοστό συμμετοχής των Α.Π.Ε. στην παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια, μέχρι το 2010 και μέχρι το 2020.

- **Ευρωπαϊκή Ένωση:**


2010: 22,1%

2020: 33,0% (και 20% της συνολικής)

- **Ελλάς:**

2010: 20,1% (2008: 5,5% του εθν. ενεργ. ισοζ.)

2020: 29.0%



Φωτοβολταϊκές Εφαρμογές

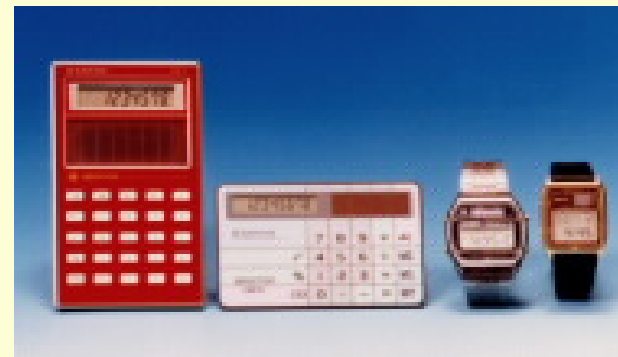


Fig. 2 – Italian Feed-in Programme: 50 kW PV plant in Brentonico, Trento (photo GSE).

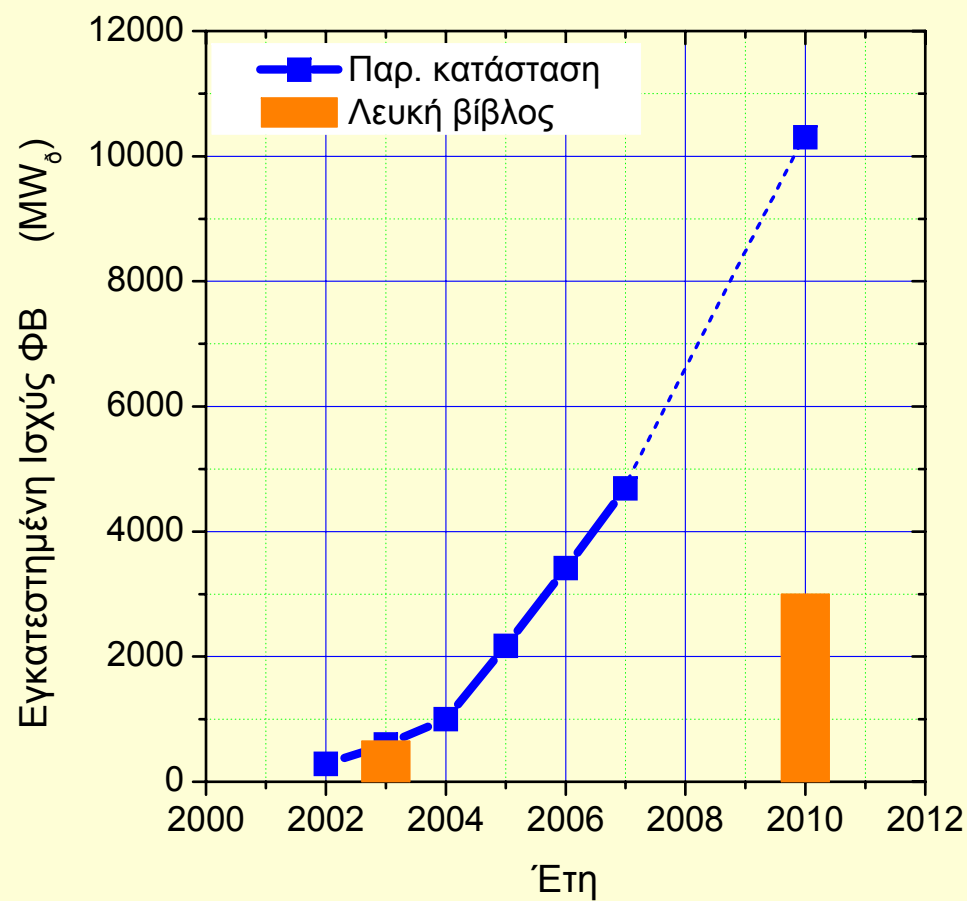


Fig. 1 - The 17,6 kWp installation on the roof of Oslo Innovation Centre in Oslo (photo Norsk Solkraft as).

Ευρωπαϊκή Ένωση


Εγκαταστημένη ισχύς ΦΒ συστημάτων

Σύγκριση τάσεων με στόχους Λευκής Βίβλου



ΦΒ συστήματα Εγκατεστημένη ισχύς, 2007

- Παγκοσμίως: $\sim 11 \text{ GW}_p$
- Ευρώπη: $4,7 \text{ GW}_p$
- Γερμανία: $3,9 \text{ GW}_p$ (83%)
- ΗΠΑ: 1 GW_p
- Ιαπωνία: 2 GW_p
- Ελλάδα: $9,2 \text{ MW}_p$



Φωτοβολταϊκή ηλεκτρική ενέργεια


Φωτοβολταϊκό φαινόμενο:
Μετατροπή ΗΜ ακτινοβολίας
σε ηλεκτρική ενέργεια

Το φαινόμενο εμφανίζεται

A) Σε ημιαγωγούς: Επαφή ημιαγωγών + φως

B) Σε οργανικά υλικά: οργαν. ή πολυμερικά διαλ.+ φως

[Φωτοσύνθεση → Ηλεκτρολυτικά διαλύματα
(Becquerel, 1836) → Ηλεκτροχημικό στοιχείο (Calvin,
0,01%, 1961 - Graetzel, 10%, 1991) → Πολυμερικά
ΦΒ (~4%, 2005)]





Το ΦΒ φαινόμενο

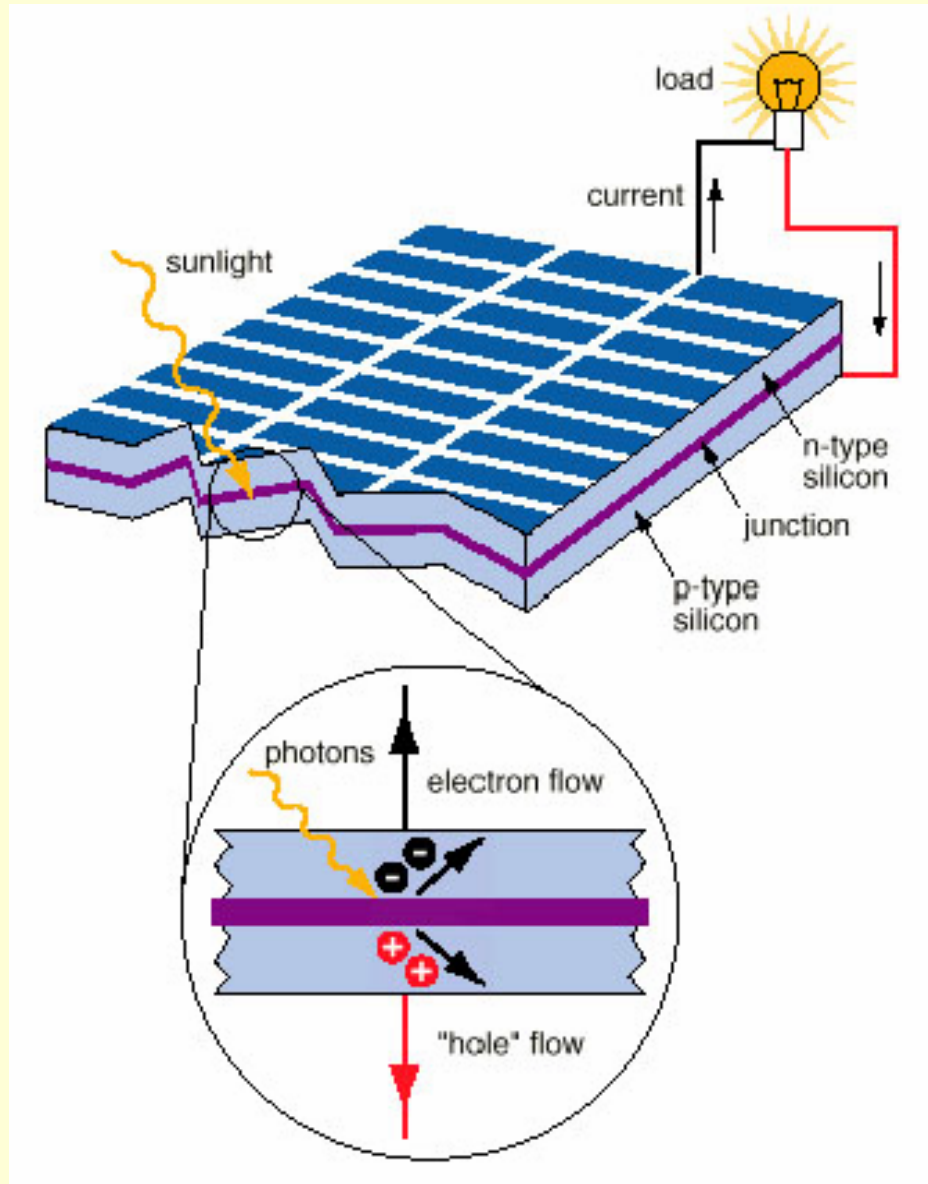
Το ΦΒ φαινόμενο εμφανίζεται σε
φωτοαγώγιμα υλικά σε επαφή

Επαφή φωτοαγώγιμων υλικών + Φως
→ Φωτόρευμα

Διαρκεί όσο υπάρχει φωτισμός



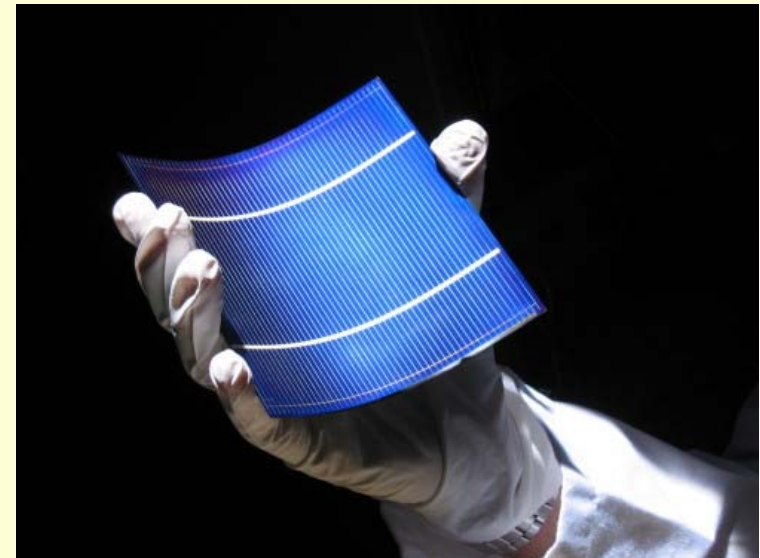
ΦΒ στοιχείο



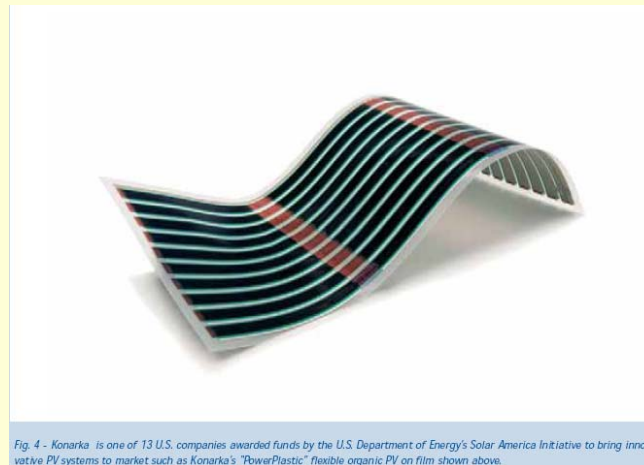
Τύποι ΦΒ στοιχείων



**Κρυσταλλικό
Πυρίτιο**



**Λεπτό εύκαμπτο ΦΒ
στοιχείο
Πολυκρυσταλλικού
Πυριτίου**



**ΦΒ στοιχείο
λεπτού υμενίου**


Fig. 4 - Konarka is one of 13 U.S. companies awarded funds by the U.S. Department of Energy's Solar America Initiative to bring innovative PV systems to market such as Konarka's "PowerPlastic" flexible organic PV on film shown above.

Συγκεντρωτικά ΦΒ

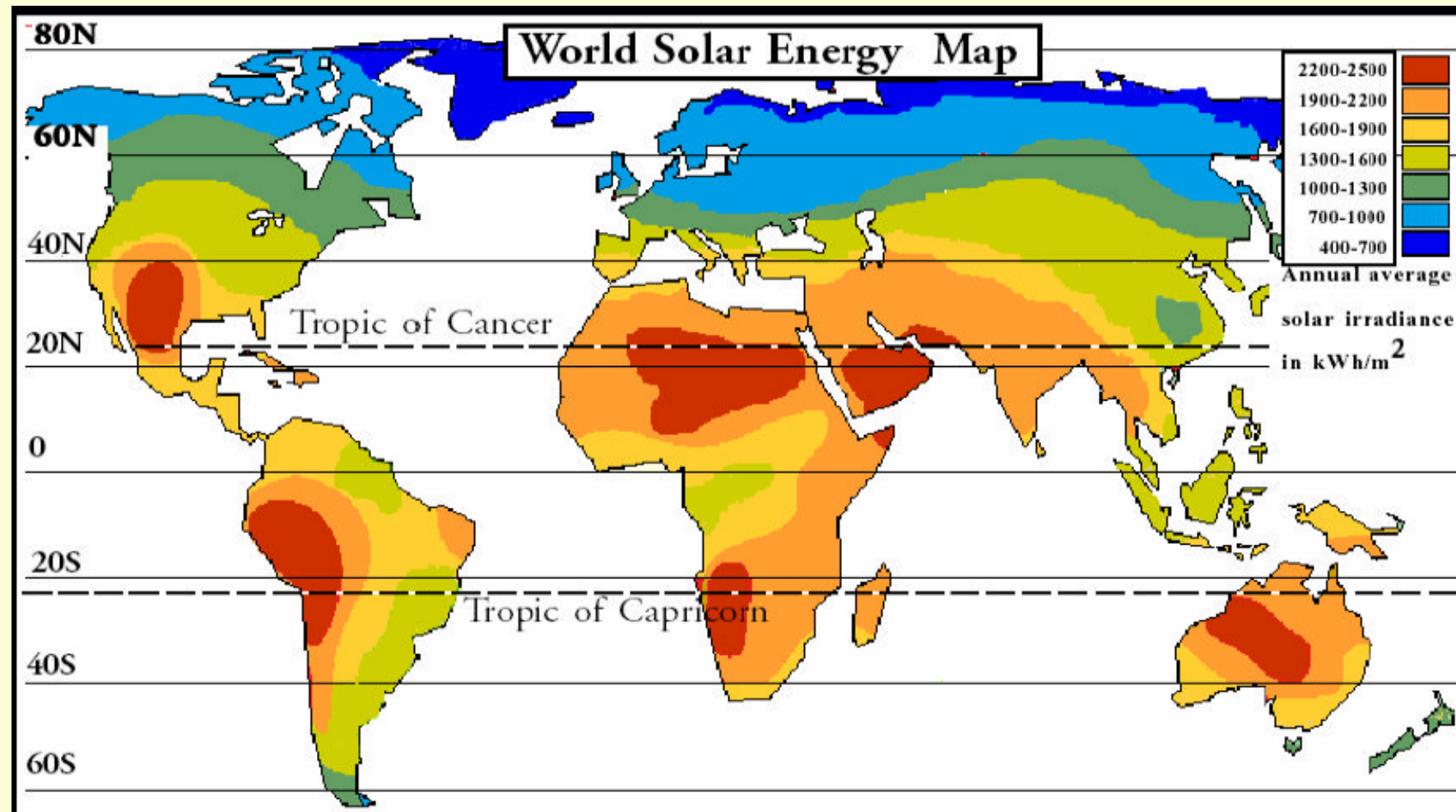




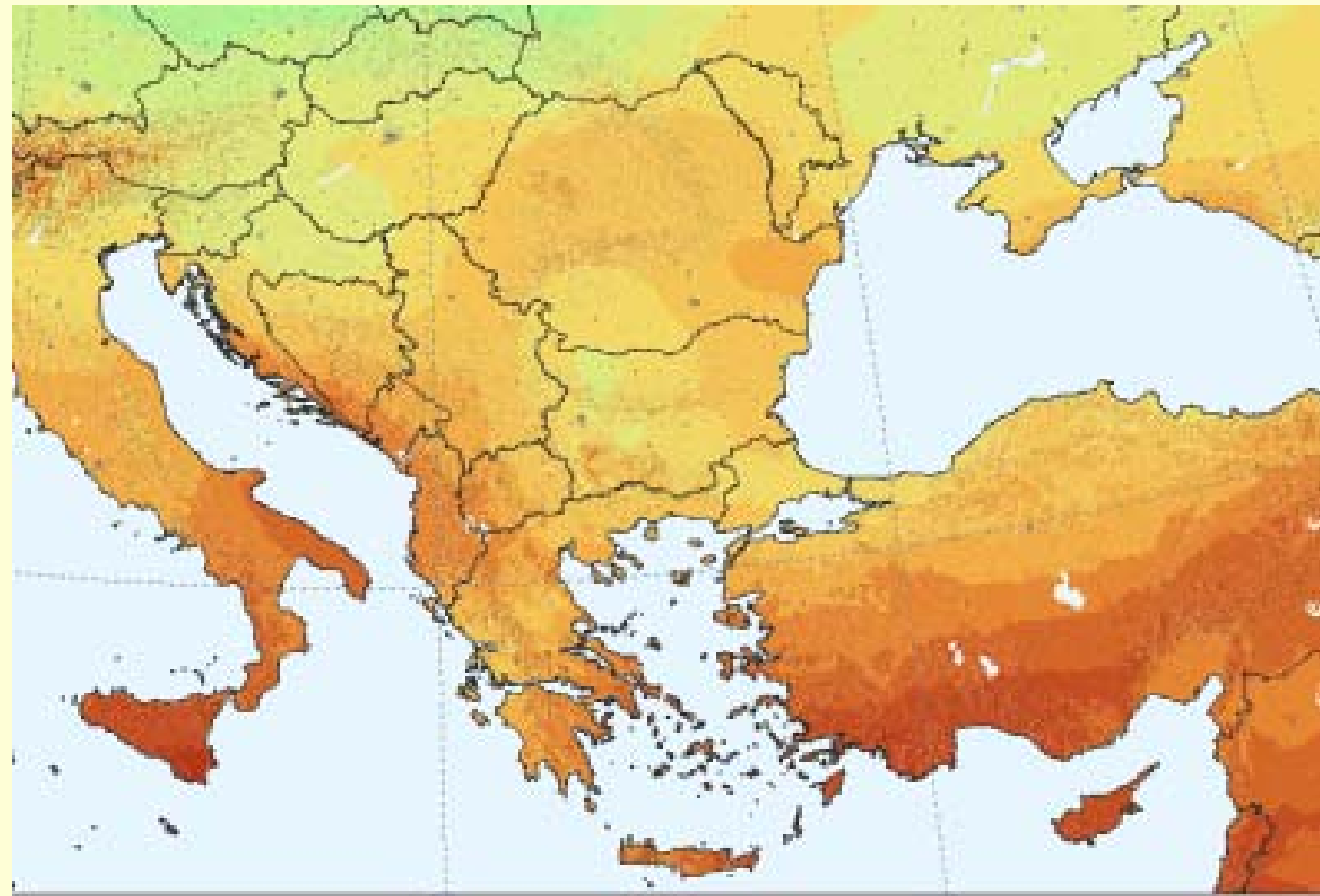
Ενέργεια από τον ήλιο

- Η ημερήσια ηλιακή ενέργεια που προσπίπτει στην επιφάνεια της γης υπερκαλύπτει το σύνολο των ηλεκτρικών ενεργειακών απαιτήσεων του πλανήτη.
 - Την ενεργειακή αυτή απαίτηση θα μπορούσαν να την αποδίδουν ΦΒ στοιχεία που θα κάλυπταν κάτι παραπάνω από την έκταση της Σαχάρας.
- 

Ετήσια ενεργειακή απολαβή ηλιακής ακτινοβολίας (kWh/m²d)



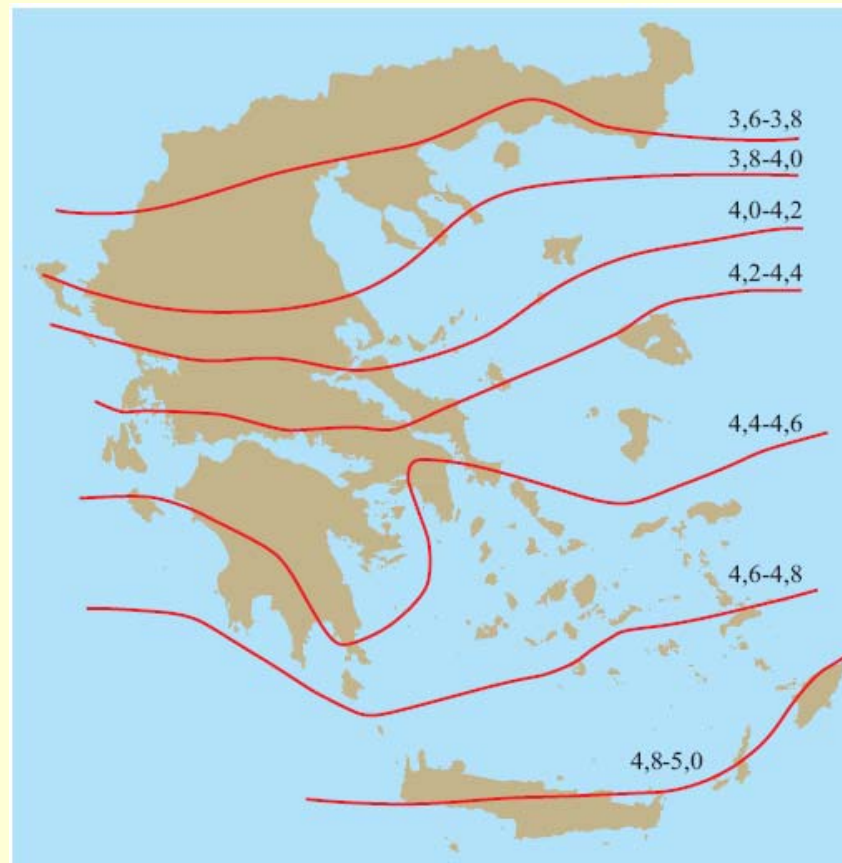
Κατανομή
ετήσιας
ενεργειακής
απολαβής
ηλιακής
ακτινοβολίας,
& της
αποδιδόμενης
ηλεκτρικής
ενέργειας ανά
 kW_p



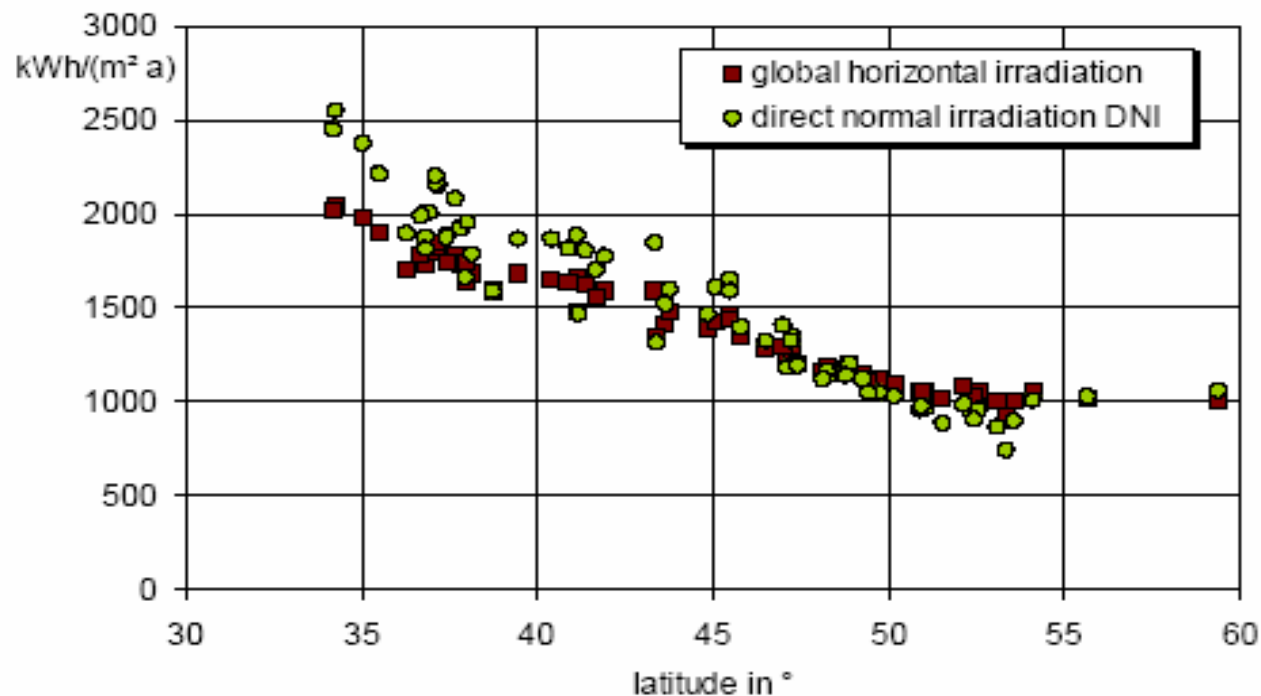
$H \text{ (kWh/m}^2\text{.a)}$
 $E \text{ (kWh/kW}_p\text{)}$



Ηλιακό δυναμικό στη χώρα μας (kWh/m²/d)



Ηλιακό δυναμικό σε συνάρτηση με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου



Volker Quaschnig ¹⁾, Manuel Blanco Muriel ²⁾

VGB Congress Power Plants 2001 · Brussels · October 10 to 12, 2001

ΦΒ κυψελίδα (ή ΦΒ στοιχείο)



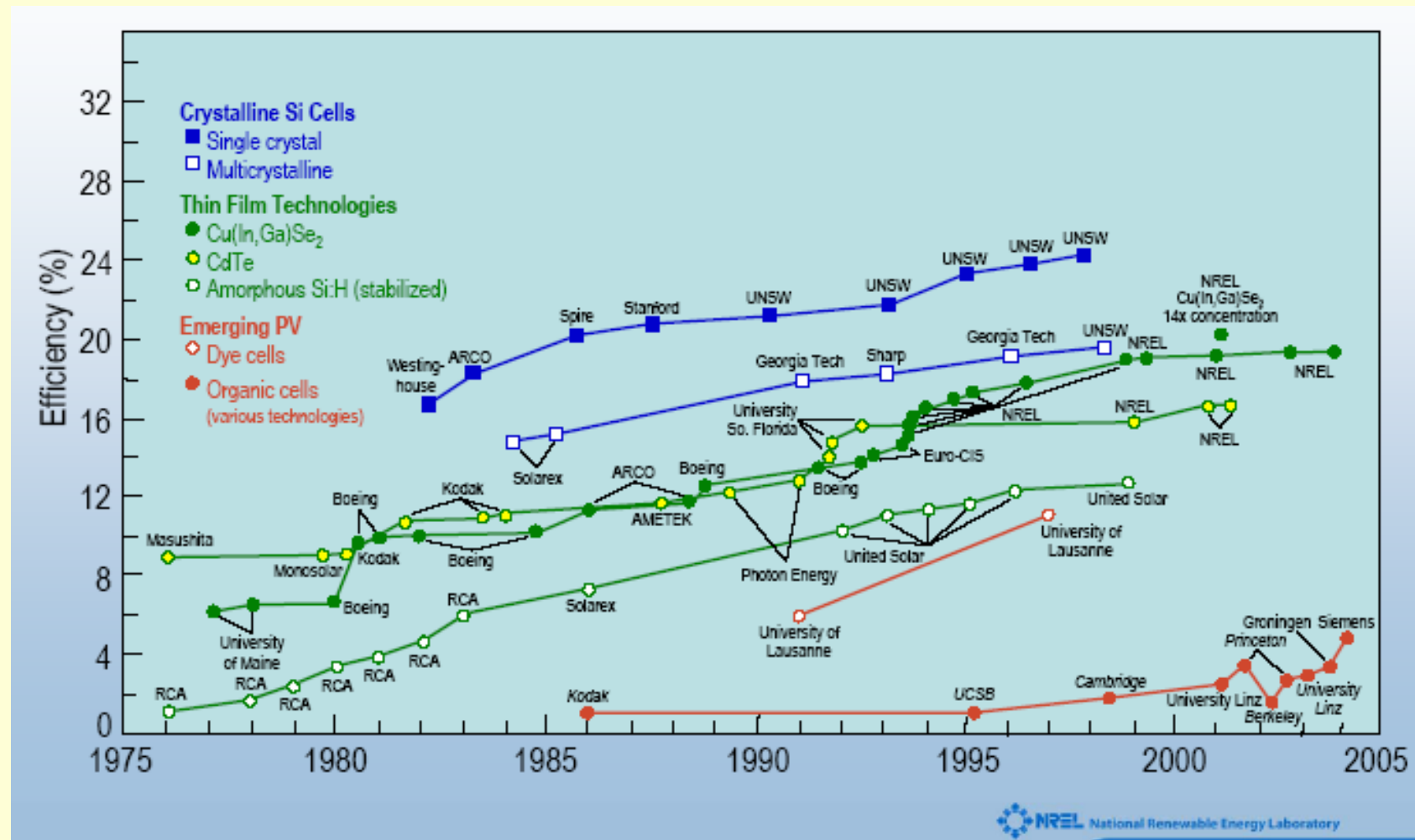
$V_{oc} = \sim 0,6V$ και $I_{sc} = 30-40 \text{ mA/cm}^2$ με $E=1000 \text{ W/m}^2$

● Πυκνότητα Ισχύος αιχμής: $\sim 150 \text{ W}_p/\text{m}^2$

● Απόδοση: c-Si, cell: 24,4%, Mod:14-22,7%

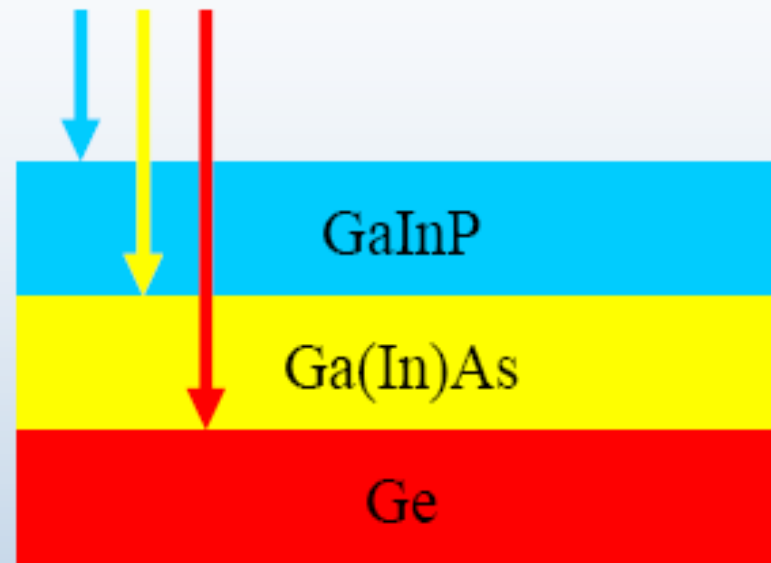
GaAs, cell: 25,1%, Mod:19-20%

Εξέλιξη απόδοσης ΦΒ στοιχείων διαφόρων τύπων (2004)



Multijunction 37,3% efficiency

Spectrolab
2004

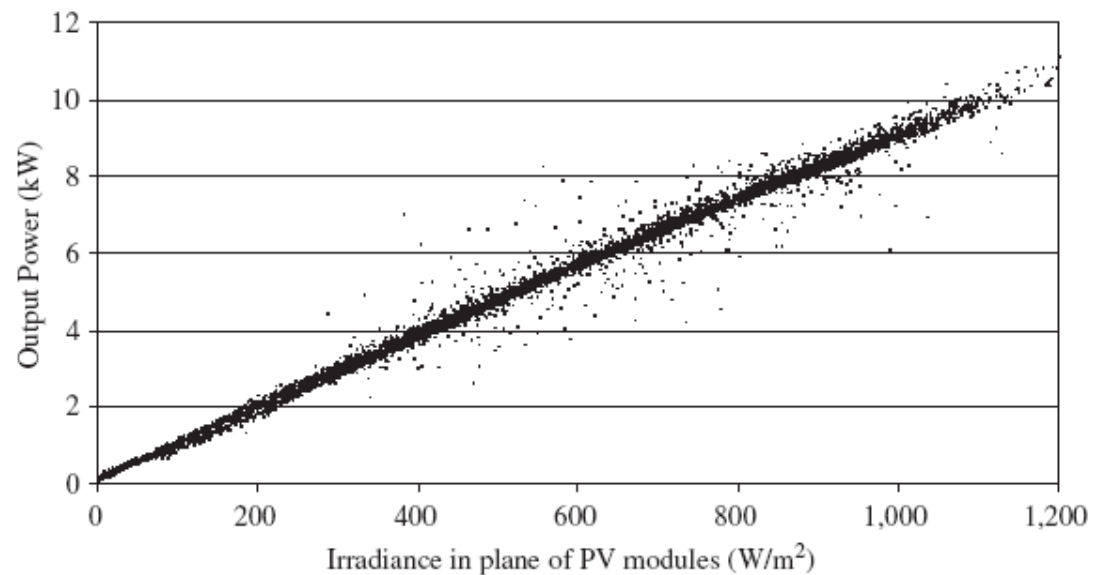


ΦΒ πλαίσιο (Module)

Βασική βιομηχανική μονάδα




Φωτοβολταϊκή συστοιχία 10 kW_p



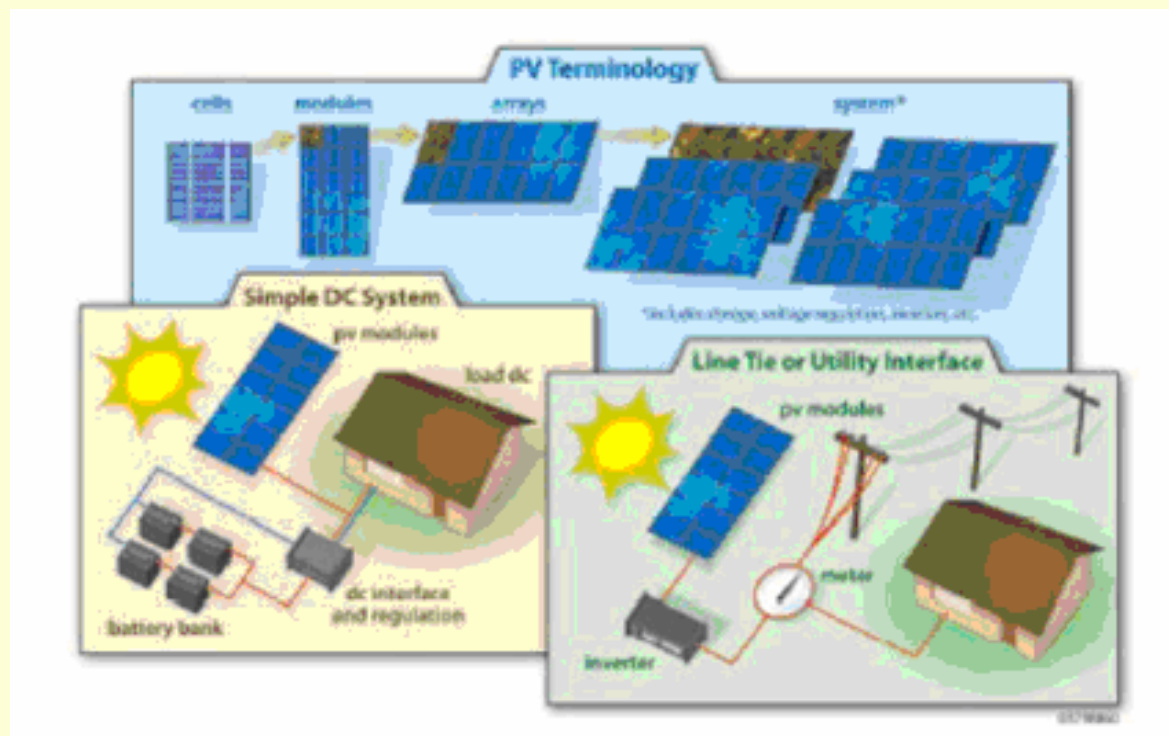


ΦΒ συστοιχία – Αποθήκευση Ηλ. Ενέργειας

- Σύνδεση ΦΒ πλαισίων σε σειρά ή/και παράλληλα, για μεταφορά της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας με τις ελάχιστες απώλειες στις γραμμές μεταφοράς.
 - 1kW_p απαιτεί επιφάνεια εγκατάστασης από 10 έως 20 m^2 , ανάλογα με τον τύπο και
 - Παράγει από 2 – 4,5 kWh ηλεκτρικής ενέργειας ημερησίως, κατά μέσο όρο ετησίως
- 


ΦΒ συστήματα

- Απομονωμένα ΦΒ συστήματα
- Συνδεδεμένα στο δίκτυο





Πλεονεκτήματα των ΦΒ

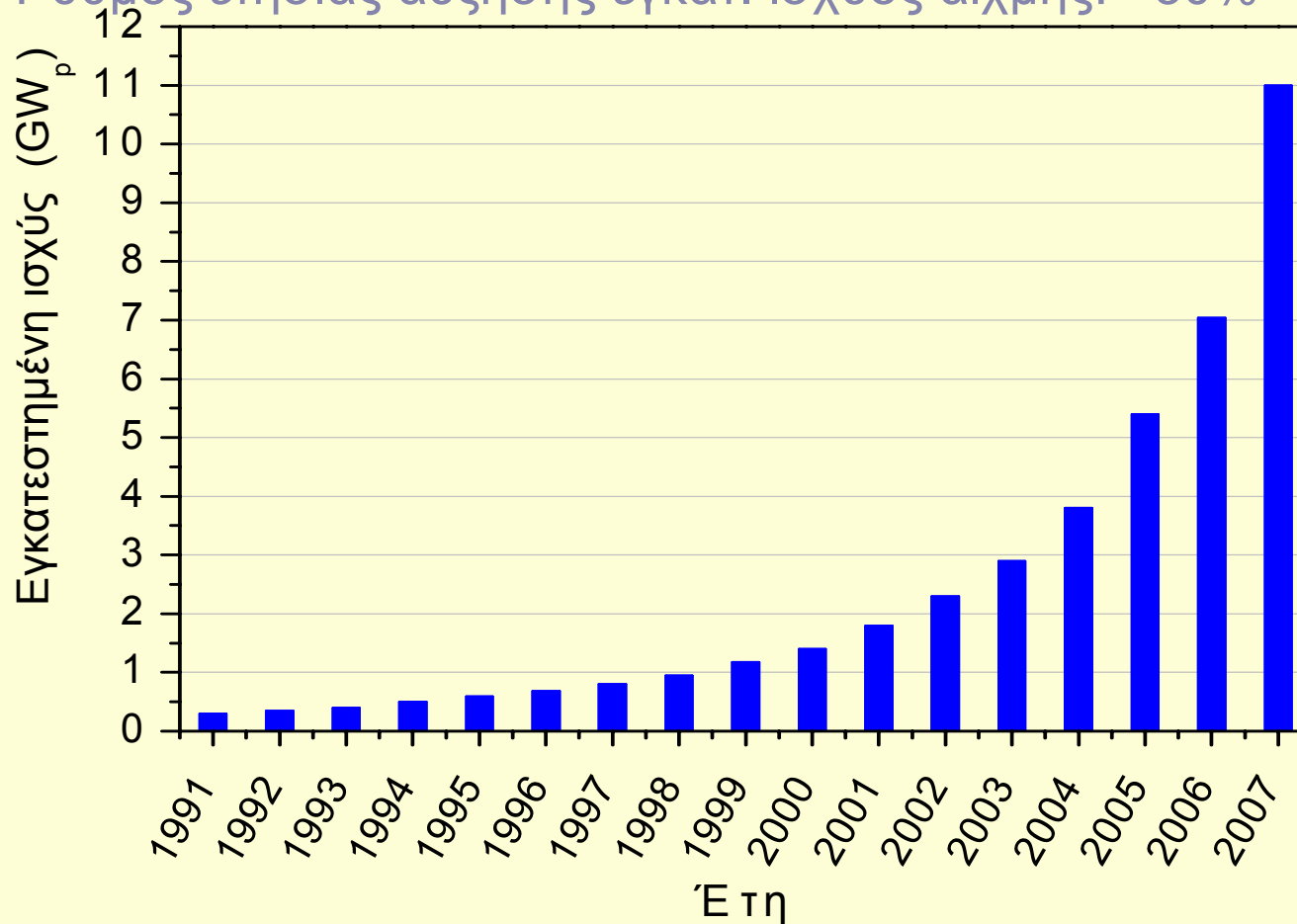
- Δεν ρυπαίνουν
 - Αξιόπιστη λειτουργία για πολλά έτη (>30)
 - Χαμηλό κόστος λειτουργίας και συντήρησης (O&M)
 - Δεν έχουν κινούμενα τμήματα
 - Μπορούν να συνδυαστούν με ευκολία σε μικρά ή μεγάλα συστήματα
 - Μπορούν να τοποθετηθούν παντού, όπου λιάζει
 - Ενσωματώνονται αρμονικά στο περιβάλλον χωρίς επίδραση στη λειτουργικότητα ή την αισθητική του χώρου (αρχαιολογικοί χώροι)
 - Μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε δασικές ή σε δυσπρόσιτες περιοχές (πυροπροστασία δασών, ηλεκτροδότηση κτηνοτροφικών μονάδων, αναμεταδότες τηλεπικοινωνιών)
 - Ηλεκτροδότηση θαλάσσιων εφαρμογών (φάρoi, μαρίνες, σκάφη,...)
 - Παράγουν κατά μέγιστο κατά τις ώρες αιχμής ζήτησης του δικτύου
 - Συμβάλλουν στη βελτίωση της ποιότητας ισχύος στη μείωση των απωλειών μεταφοράς και στην αύξηση της αξιοπιστίας παροχής ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο.
- 

Μειονεκτήματα ΦΒ

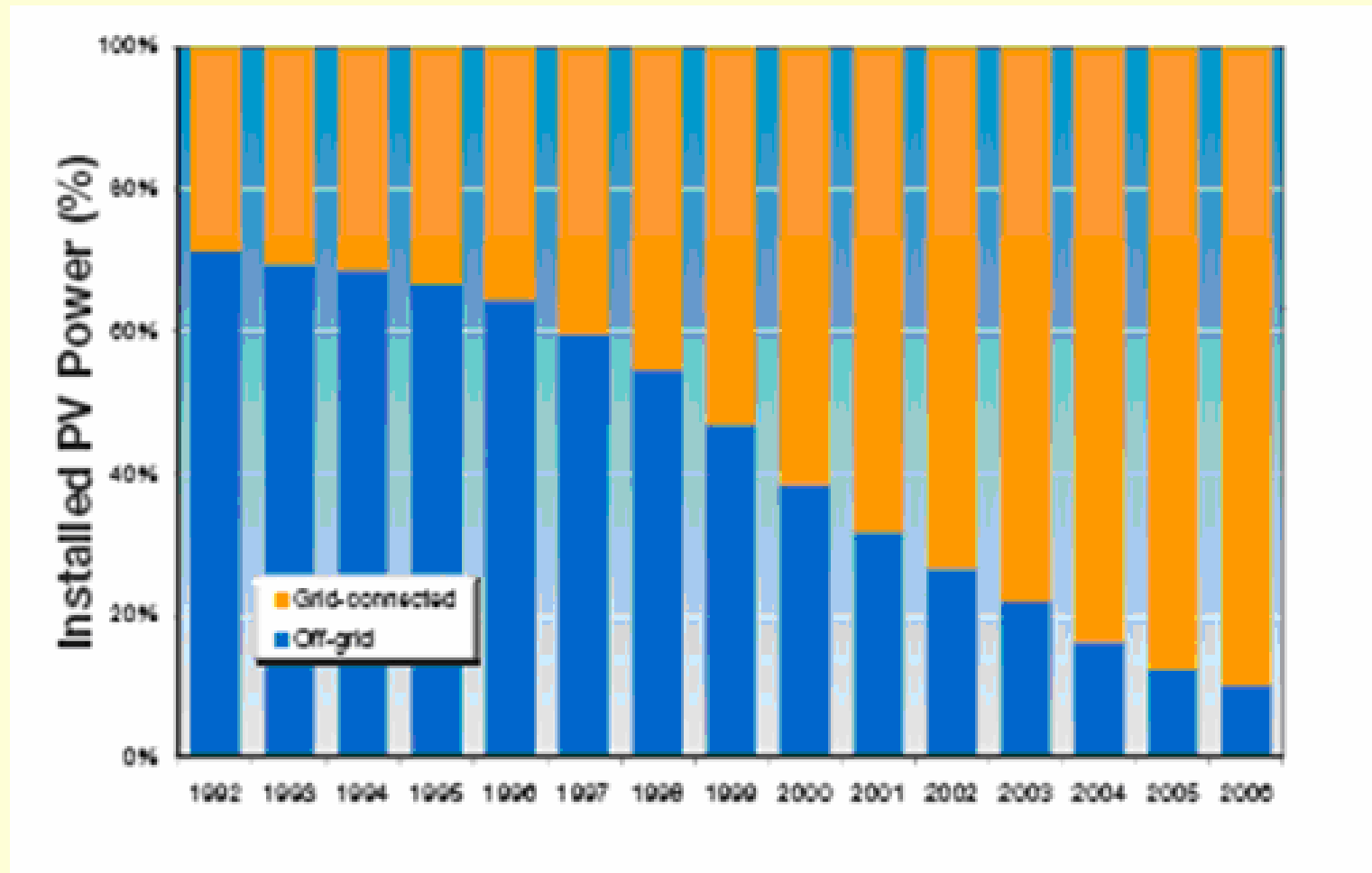
- Υψηλό αρχικό κόστος επένδυσης
- Χαμηλή πυκνότητα παραγόμενης ηλ. ισχύος (kWh/m² εγκατάστασης)

Χρονική εξέλιξη ισχύος αιχμής (GW) εγκατεστημένων ΦΒ συστημάτων, παγκοσμίως

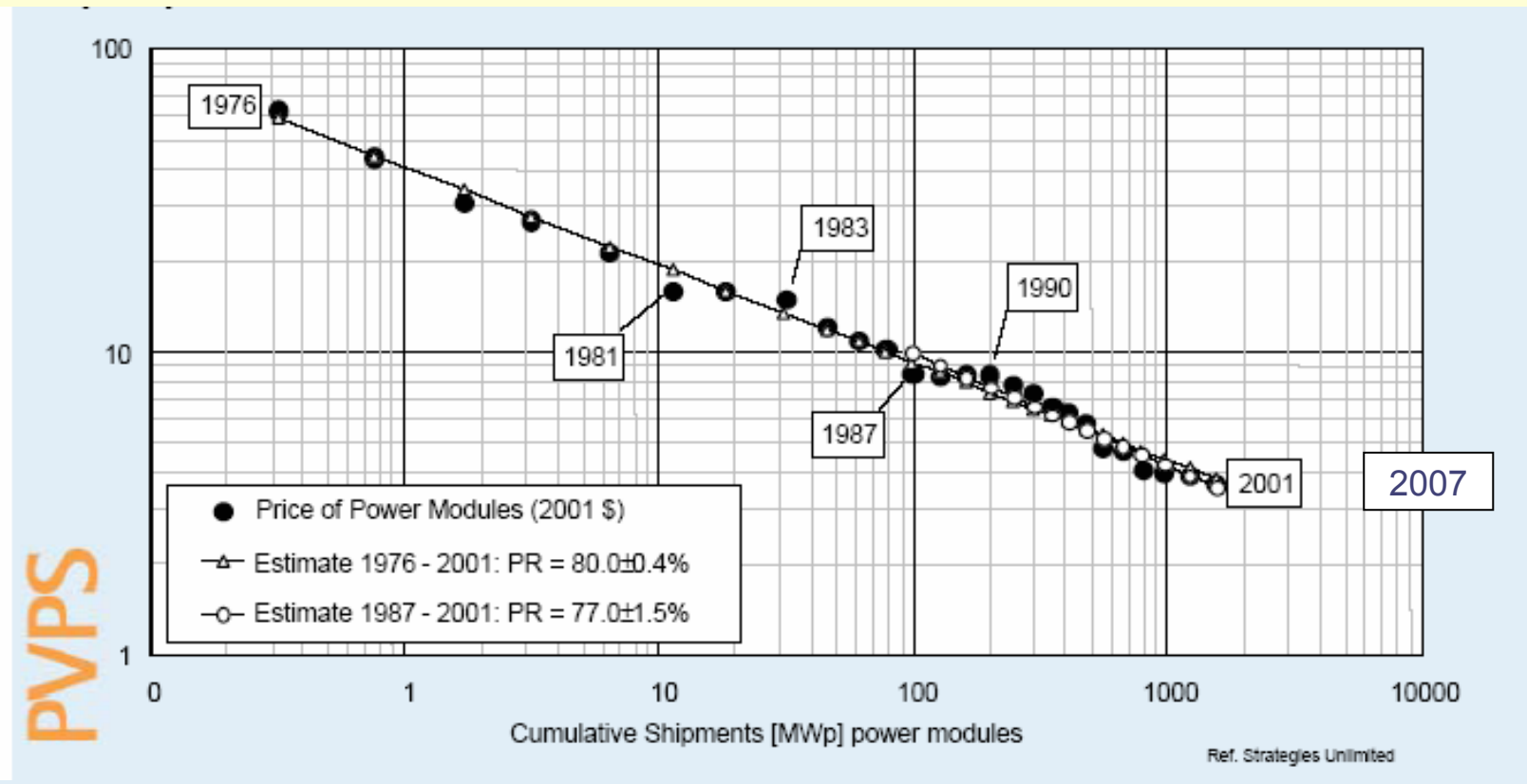
Ρυθμός ετήσιας αύξησης εγκατ. ισχύος αιχμής: ~30%



Χρονική εξέλιξη ποσοστού εγκατεστημένων ΦΒ συστημάτων εντός και εκτός δικτύου



Διαχρονική εξέλιξη κόστους ΦΒ (\$/W_p)



Stefan Nowak
Chairman IEA PVPS

Εφαρμογές

- Οικιακή και βιομηχανική χρήση
- Φωτισμός
- Ψύξη
- Άντληση - άρδευση
- Επικοινωνίες
- Κίνηση

ΦΒ πλαίσια ενσωματωμένα σε κτίρια



Μεγάλα ΦΒ συστήματα

~ 56 kW_p/στρέμμα, σε γ.π. 35°



ΦΒ συστήματα με ισχύ αιχμής 5 MW_p

5,3 MW_p



Germany Bürstadt 5 MW_p



ΦΒ σύστημα 6,3 MW_p



Γερμανία, Arnstein, 12 MW_p (Ηλιοτροπικά ΦΒ συστήματα)



Γερμανία, Arnstein, 12 MW_p



Γερμανία, Arnstein, 12 MW_p



Ισπανία, Beneixama, 20 MW_p



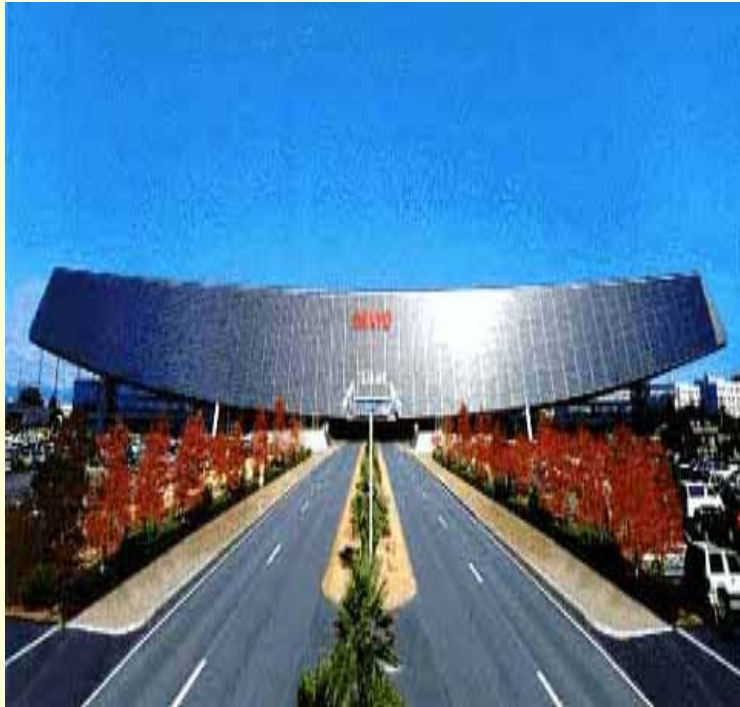
Γερμανία, Waldpolenz, 40 MW_p 720 στρέμματα



Συγκεντρωτικά ΦΒ συστήματα



Εντυπωσιακές ΦΒ εγκαταστάσεις



Gifu, Japan

● Barcelona, Spain



ΦΒ ηλιοτροπικά συστήματα ενός και δύο αξόνων



Amonix and Arizona Public Service

Ηλιοτρόπιο Δύο αξόνων: 50%
Αζιμουθιακό ηλιοτρόπιο: 30%

Ηλιοτρόπιο πολικού άξονα: 46%
Ζενιθιακής στροφής: 10%

Φωτοβολταϊκά και Αισθητική

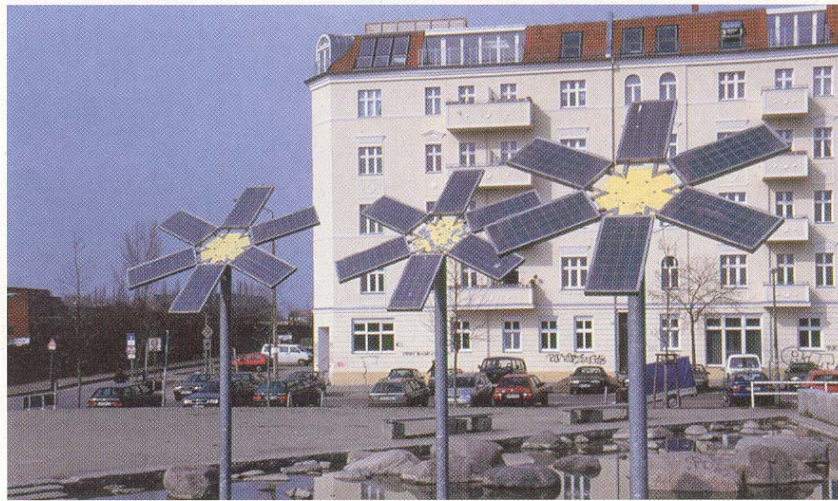



Fig. 5 - The PV gardening systems: PV Tree.



Ενεργειακά στοιχεία για την Κρήτη

- Ισχύς εγκατεστημένων
θερμικών μονάδων: 730 MW (+100 MW)
 - Ισχύς αιχμής ζήτησης: ~ 650 MW
 - Κόστος ενέργειας: 0,137 €/kWh
 - Ισχύς Α.Π.Ε. : ~100 MW
- 



Ισχύς αιχμής ΦΒ συστημάτων σε εθνική κλίμακα και στην Κρήτη

- *Εθνική κλίμακα: $\sim 9,17 \text{ MW}_p$*
- *Κρήτη (εκτίμηση): $\sim 800 \text{ kW}_p$*



Χαρακτηριστικά ΦΒ δυναμικού στην Κρήτη

- Ηλιοφάνεια: ~ 3100 h ετησίως
- Ηλιακό δυναμικό σε βέλτιστη γωνία κλίσης συλλέκτη: **$E=5,4 \text{ kWh/m}^2.\text{day}$** (Μέση ετησίως ημερήσια τιμή)
- Αποδοτικότητα ΦΒ συστοιχίας (Array Yield): $Y= 4,3 \text{ kWh/kW}_p.\text{day}$
- ΦΒ συστοιχία 1 kW_p στην Κρήτη, καλύπτει ετησίως, ~^p1200 kWh (ΑΦΣ) έως 1450 kWh (ΔΦΣ) καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας

Μεγάλα ΦΒ συστήματα στην Κρήτη

Βιοτεχνία επεξεργασίας
κρέατος 140 kW_p, Καρτερός



ΦΒ σταθμός 172 kW_p,
Σητεία



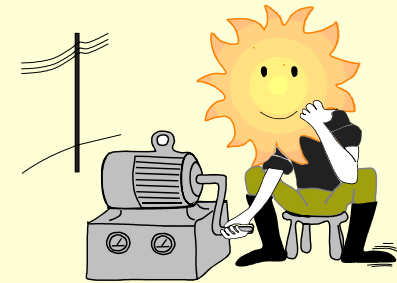
Οικονομικά στοιχεία

- Κόστος ΦΒ πλαισίου (2008): 3,5 – 5,5 €/W_p
- Κόστος ενέργειας: ΔΦΣ: ~0,7 €/kWh
Αυτόνομα: 1 - 1,2 €/kWh
- Χρόνος απόσβεσης επένδυσης μεγάλων ΔΦΣ στην Κρήτη (με επιδότηση 45%): ~ 7- 8 έτη.

Θεσμικό πλαίσιο Α.Π.Ε. στην Ελλάδα


- Ισχύον θεσμικό πλαίσιο:
- Αναπτυξιακός Νόμος 3299/04 (Εταιρείες):
Επιδότηση αρχ. κόστους επένδυσης: 30-55% & επιδοτούμενο επιτόκιο σε περίπτωση δανεισμού
- **Νόμος 3468/2006**
- Τιμή πώλησης της ηλιακής κιλοβατώρας: 0,40-0,50 €, ανάλογα με την ισχύ του φωτοβολταϊκού συστήματος και τον τόπο εγκατάστασης. Μεγαλύτερη στα νησιά και μικρότερη στην ηπειρωτική χώρα.
- - Εγγυημένη πώληση στη ΔΕΗ της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας μέσω των φωτοβολταϊκών, για μία 20ετία,
- Αναπροσαρμογή της τιμής της kWh με βάση τον πληθωρισμό ή τις αυξήσεις των τιμολογίων της ΔΕΗ.
- Η σύμβαση πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας στη ΔΕΗ ισχύει για 10 έτη και μπορεί να παρατείνεται για επιπλέον 10 έτη, μονομερώς, με έγγραφη δήλωση του παραγωγού.

Εργαστήριο Φωτοβολταϊκό Πάρκο





Εργαστήριο Φωτοβολταϊκό Πάρκο

- Εγκατεστημένη ισχύς ΦΒ: $\sim 8 \text{ kW}_p$
 - Ερευνητικά προγράμματα (Interreg)
 - Εκπαίδευση: Τμ. Ηλεκτρολογίας & Μηχανολογίας
 - Έρευνα:
 - Μελέτη παραγόντων μείωσης αποδοτικότητας ΦΒ πλαισίων
 - Μοντέλα υπολογισμού ολικής επίδρασης της ατμόσφαιρας στη δίοδο της ηλιακής ακτινοβολίας
 - Ηλιοτροπικά συστήματα – Ηλιοστάτες
 - Οργανικά ΦΒ στοιχεία (Αρχιμήδης I)
 - Μελέτη ηλιακού δυναμικού και αποδοτικότητας ΦΒ πλαισίων στην Κρήτη (Αρχιμήδης II)
 - Θεωρητικός και πειραματικός προσδιορισμός των απωλειών σκίασης ΦΒ συστοιχιών, λόγω της διαδοχικής διάταξής τους σ' ένα ΦΒ πάρκο.
 - Μελέτες
- 

Καινοτομικό Αζιμουθιακό ηλιοτρόπιο

Σχετική αποδοτικότητα: 46% ως προς σταθερό σύστημα



Ι. Φραγκιαδάκης. Δίπλωμα ευρεσιτεχνίας Ο.Β.Ι. (Αριθμ. 1005380/15-12-2006).

**Ανάπτυξη Δικτύου Αξιοποίησης
Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας
μεταξύ των Συνόρων Ελλάδας και
Κύπρου**

INTERREG III-A Ελλάδα-Κύπρος

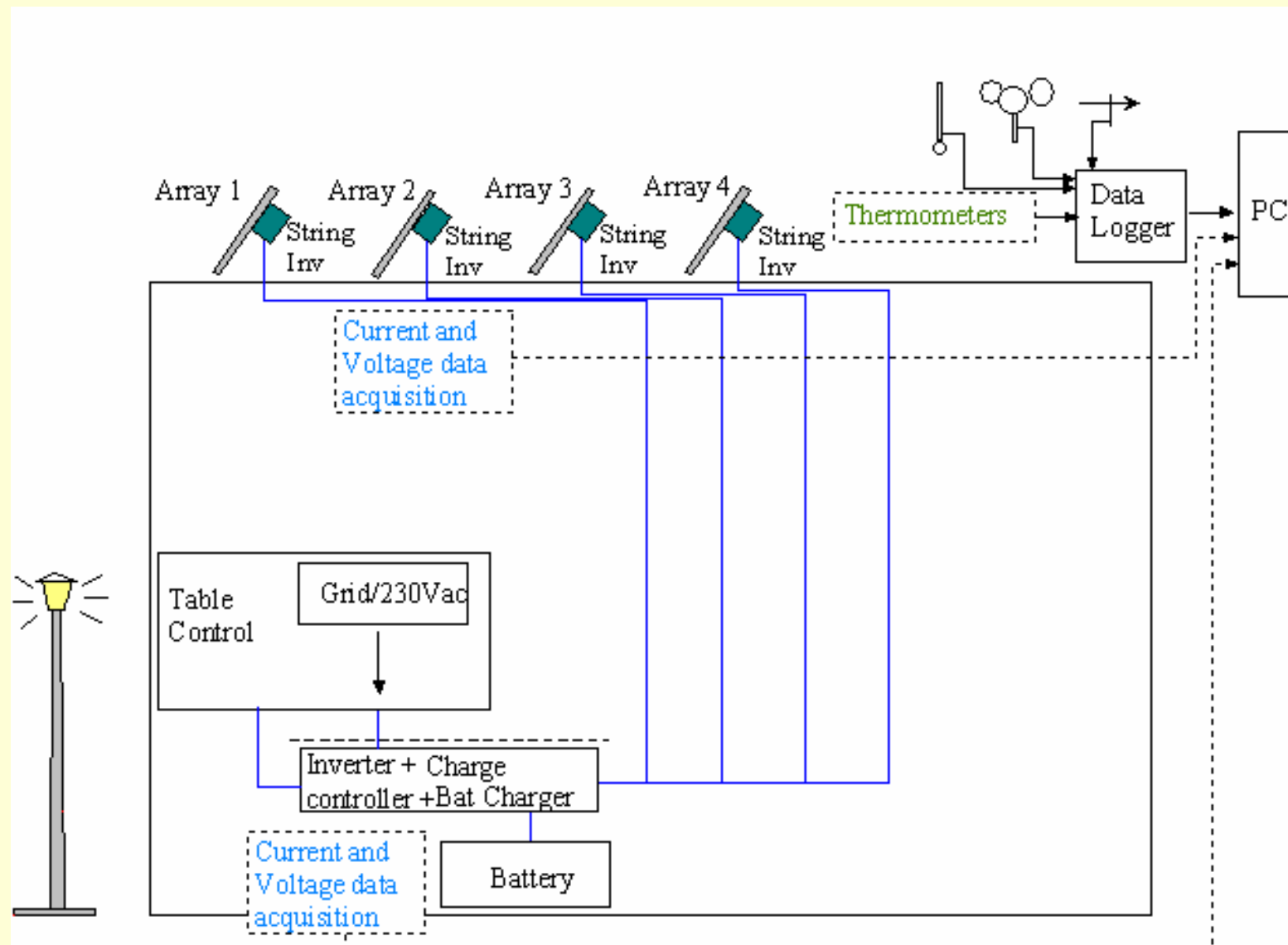


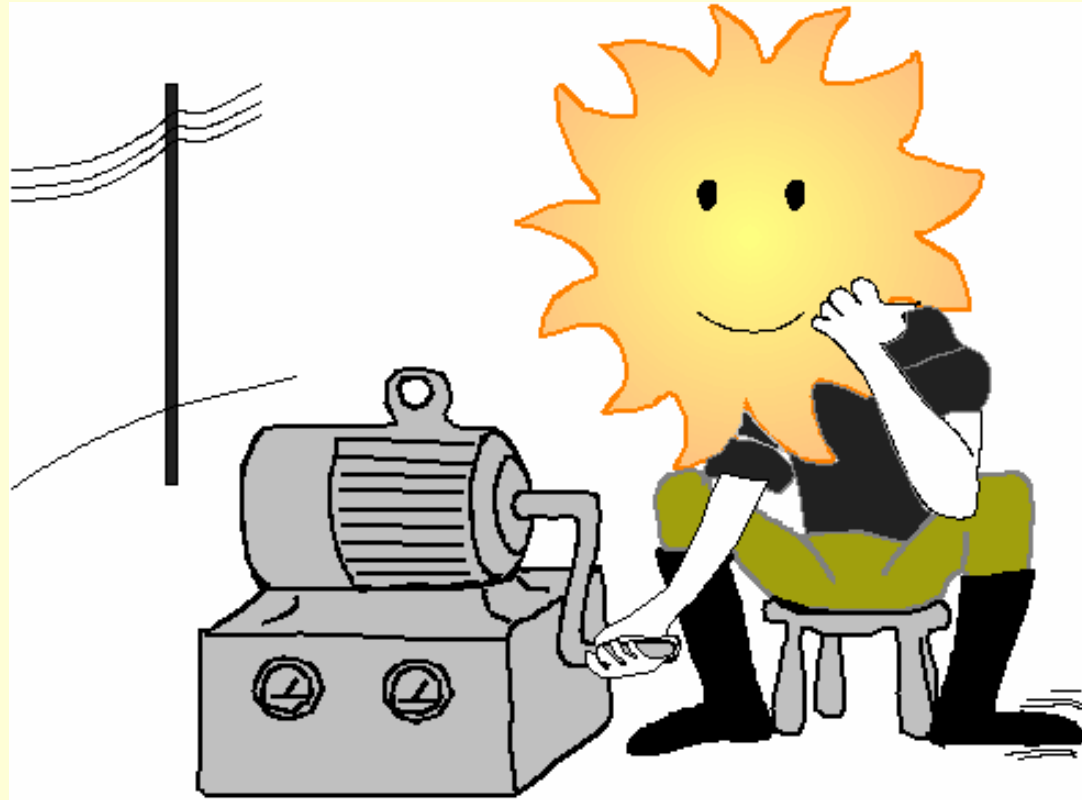
**Δημοτικό μέγαρο
Λατσιών Κύπρου**

**Δημοτικό μέγαρο
Ν. Αλικαρνασσού**



Μονογραμμικό διάγραμμα ΦΒ συστημάτων στα δημοτικά μέγαρα Λατσιών Κύπρου και Ν. Αλικαρνασσοῦ Ηρακλείου





Ευχαριστώ για την προσοχή σας