



Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας  
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών

---

# Ειδικά κεφάλαια παραγωγής ενέργειας

**Ενότητα 3 (γ):** Ηλιακή ενέργεια. Φωτοβολταϊκά συστήματα, διαστασιολόγηση και βασικοί υπολογισμοί, οικονομική ανάλυση.

Αν. Καθηγητής Γεώργιος Μαρνέλλος  
(Γραφείο 208)

Τηλ.: 24610 56690,

e-mail: [gmarnellos@uowm.gr](mailto:gmarnellos@uowm.gr)

Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών

---



Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας



# Άδειες Χρήσης

---

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



# Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ψηφιακά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

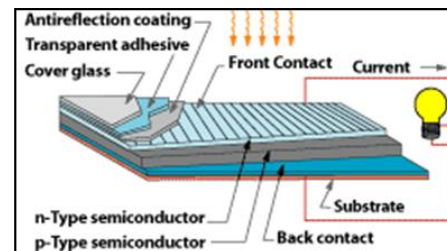
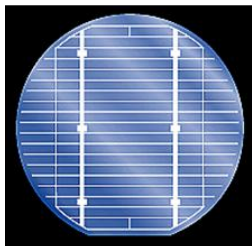


# Τεχνολογίες Φ/Β στοιχείων (1/4)

Οι εμπορικές τεχνολογίες, σήμερα, των Φ/Β στοιχείων είναι αυτές του:

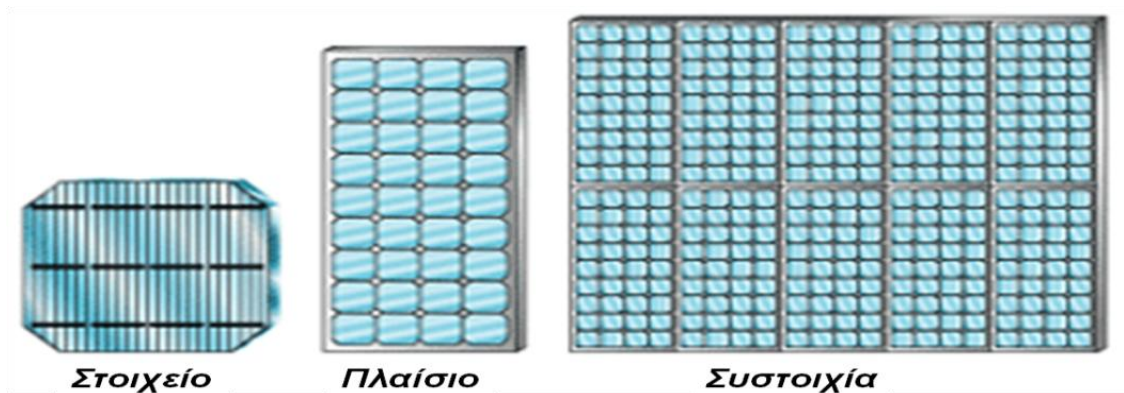
- μονοκρυσταλλικού πυριτίου (c-Si) με μέγιστες αποδόσεις εμπορικών εφαρμογών 12 – 14 %.
- πολυκρυσταλλικού πυριτίου (p-Si) με μέγιστες αποδόσεις εμπορικών εφαρμογών 10 – 12 %.
- του άμορφου πυριτίου (a-Si) με μέγιστες αποδόσεις εμπορικών εφαρμογών 5 – 7 %, ενώ οι τεχνολογίες ημιαγωγών  $\text{CuInSe}_2$ ,  $\text{CdTe}$  και  $\text{GaAs}$  βρίσκονται ακόμη σε ερευνητικό στάδιο.

Τα **Φ/Β στοιχεία** αποτελούνται από δίσκους πυριτίου, οι οποίοι βρίσκονται σφραγισμένοι σε πλαστική ύλη για προστασία από τις καιρικές συνθήκες. Η μπροστινή όψη προστατεύεται από ανθεκτικό γυαλί.



# Τεχνολογίες Φ/Β στοιχείων (2/4)

Τα **Φ/Β στοιχεία** ενσωματώνονται σε **Φ/Β πλαίσια** το οποία με τη σειρά τους σχηματίζουν **Φ/Β συστοιχίες** οι οποίες τοποθετούνται σε κατασκευές στήριξης με μηχανικές διατάξεις μεταβολής της κλίσης ενός άξονα ή δύο αξόνων. Ένα **φωτοβολταϊκό πλαίσιο** είναι μία διάταξη που συνήθως περιλαμβάνει **36 Φ/Β στοιχεία** συνδεδεμένα σε σειρά, ώστε να εμφανίζουν τάση ανοικτού κυκλώματος από 17 μέχρι 22 V.



# Τεχνολογίες Φ/Β στοιχείων (3/4)

Τα τυπικά δεδομένα για εμπορικά Φ/Β πλαίσια μονοκρυσταλλικού πυριτίου δίνονται στον Πίνακα 1, όπου τα ηλεκτρικά μεγέθη ισχύουν σε κανονικές συνθήκες ( $AM = 1,5$ ,  $T_c = 25 \text{ }^\circ\text{C}$  και  $I = 1.000 \text{ W/m}^2$ ).

Πίνακας 1 Τυπικά λειτουργικά και γεωμετρικά μεγέθη εμπορικών Φ/Β πλαισίων μονοκρυσταλλικού πυριτίου

διαστάσεις	644 x 1.282	mm
πάχος	35	mm
βάρος	8,5	kg
ονομαστική MPP	100	Wp
$V_{MPP}$	34,5	Volt
$I_{MPP}$	2,9	Ampere
$V_{OC}$	42,5	Volt
$I_{SC}$	3,2	Ampere



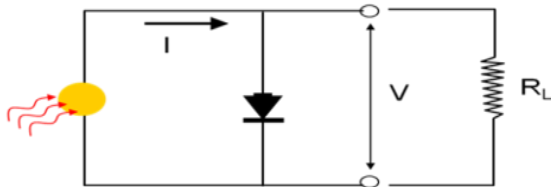
# Τεχνολογίες Φ/Β στοιχείων (4/4)

Ένα συγκρότημα Φ/Β συστοιχιών, συνδεδεμένων σε σειρά, παράλληλα ή μεικτά, ανάλογα με την επιθυμητή τάση και ένταση στους τελικούς ακροδέκτες του, ονομάζεται **φωτοβολταϊκό πάρκο ή φωτοβολταϊκός σταθμός**. Το φωτοβολταϊκό πάρκο περιλαμβάνει διατάξεις για τον έλεγχο της φόρτισης των συσσωρευτών και τη μετατροπή του παραγόμενου συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο.

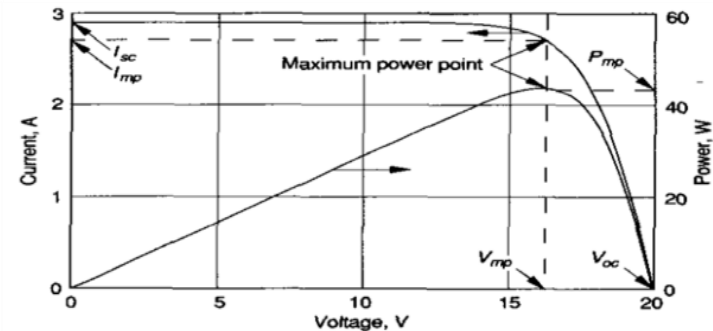


# Συμπεριφορά Ρεύματος – Τάσης Φ/Β στοιχείων (1/4)

Ισοδύναμο κύκλωμα Φ/Β στοιχείου  
Φ/Β στοιχείου.



Τυπικό διάγραμμα  $I - V$  και  $P - V$ .



Η  $R_L$  αποτελεί την αντίσταση φορτίου, δηλαδή την ηλεκτρική κατανάλωση που καλείται να καλύψει το Φ/Β και μεταβάλλεται απρόβλεπτα με το χρόνο.

- Όταν  $R_L = 0$  (συνθήκες βραχυκύκλωσης, short circuit - SC), το ρεύμα που παράγεται από το Φ/Β λαμβάνει τη μέγιστη τιμή του και το δυναμικό στους δύο ακροδέκτες του Φ/Β είναι μηδέν:

$$I_{max} = I_{sc} \text{ [Ampere] , } V_{min} = V_{sc} = 0 \text{ [Volt].}$$





# Συμπεριφορά Ρεύματος – Τάσης Φ/Β στοιχείων (2/4)

- Όταν  $R_L = \infty$  (συνθήκες ανοικτού κυκλώματος, open circuit – OC), το ρεύμα που παράγεται από το Φ/Β μηδενίζεται και το δυναμικό στους δύο ακροδέκτες του Φ/Β λαμβάνει τη μέγιστη τιμή του:

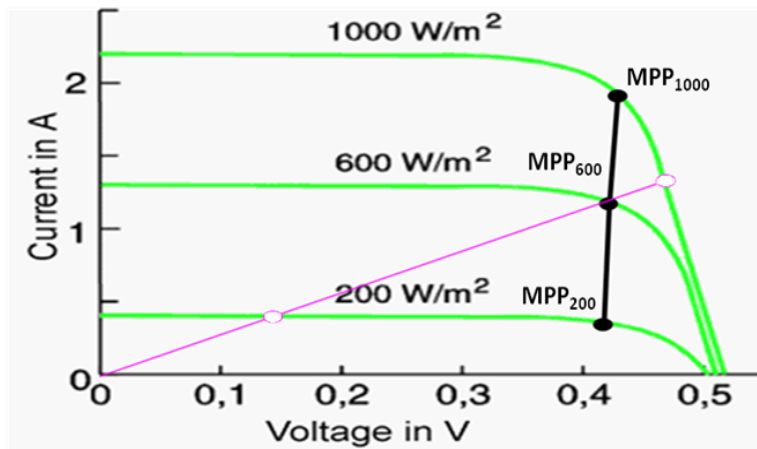
$$I_{\min} = I_{OC} = 0 \text{ [Ampere]}, V_{\max} = V_{OC} \text{ [Volt]}.$$

- Μεταβάλλοντας την  $R_L$  μεταξύ των παραπάνω ακραίων τιμών, λαμβάνεται διάγραμμα ρεύματος – δυναμικού ( $I - V$ ) του Φ/Β στοιχείου, από το οποίο μπορεί να εξαχθεί και το διάγραμμα ισχύος – δυναμικού ( $P - V$ ), αφού  $P = I \times V \text{ W}$ .
- Για κατάλληλη τιμή  $R_{MPP}$  της αντίστασης φορτίου επιτυγχάνεται μεγιστοποίηση παραγόμενης ισχύος, κυρίως λόγω μεταβολής της παραγόμενης τάσης και όχι του ρεύματος.
- **Αντίθετα με άλλες πηγές, η παραγωγή ισχύος από Φ/Β εξαρτάται από το φορτίο.**



# Συμπεριφορά Ρεύματος – Τάσης Φ/Β στοιχείων (3/4)

Μετατόπιση της καμπύλης  $I - V$  με την ένταση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας.



- Το σημείο μεγιστοποίησης της παραγόμενης ισχύος (Maximum Power Point – MPP) χαρακτηρίζεται από τις αντίστοιχες τιμές δυναμικού λειτουργίας ( $V_{MPP}$ ) και παραγόμενου ρεύματος ( $I_{MPP}$ ):

$$P_{MPP} = I_{MPP} \times V_{MPP} [W]$$

- Τα Φ/Β συστήματα επιβάλλεται να λειτουργούν συνεχώς στο σημείο μέγιστης απόδοσης. Για να συμβαίνει αυτό, η αντίσταση  $R_L$  ρυθμίζεται αυτόματα ώστε το δυναμικό στα άκρα του Φ/β να είναι κάθε στιγμή ίσο με το  $V_{MPP}$ .



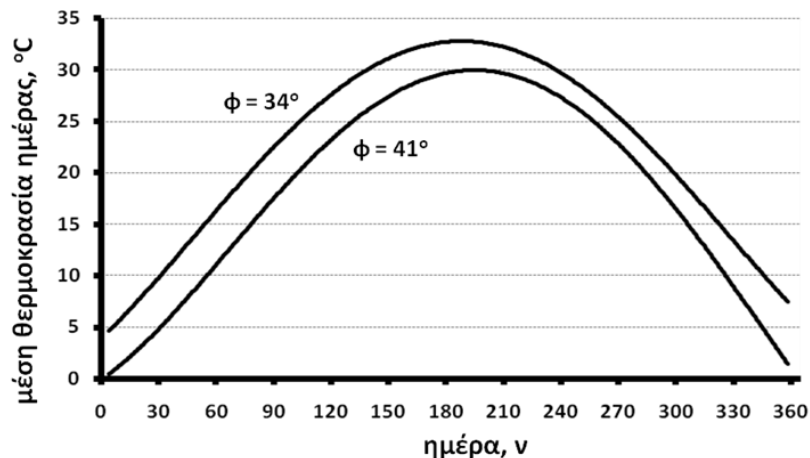
# Συμπεριφορά Ρεύματος – Τάσης Φ/Β στοιχείων (4/4)

- Το  $I_{max}$  ( $I_{SC}$ ) μεταβάλλεται σχεδόν ανάλογα με την ένταση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας, ενώ το  $V_{max}$  ( $V_{OC}$ ) επηρεάζεται πολύ λίγο, οδηγώντας στη συμπεριφορά της καμπύλης  $I - V$  του σχήματος.
- Η μετατόπιση της καμπύλης  $I - V$  προς τα κάτω, έχει σαν αποτέλεσμα την μετατόπιση του MPP προς ελαφρά χαμηλότερα δυναμικά. Έτσι, η αντίσταση  $R_L$  θα πρέπει να προσαρμόζεται στις μεταβολές της έντασης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας, ώστε το Φ/Β να λειτουργεί συνεχώς στο σημείο MPP.
- Επίσης, το δυναμικό λειτουργίας του Φ/Β εξαρτάται από τη διαφορά δυναμικού στα άκρα του, το οποίο καθορίζεται κάθε στιγμή από το σύνολο των αντιστάσεων της κατανάλωσης που καλύπτει και που μεταβάλλεται απρόβλεπτα.
- Τα Φ/Β συστήματα έχουν ενσωματωμένο ένα αυτόματο σύστημα παρακολούθησης του MPP (MPPT – Maximum Power Point Tracker), το οποίο ρυθμίζει κάθε στιγμή την αντίσταση  $R_L$  στην τιμή  $R_{MPP}$  και επιτρέπει στο Φ/Β να λειτουργεί κάθε στιγμή στο MPP, ανεξάρτητα από τις τυχαίες μεταβολές στην ένταση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας και του ηλεκτρικού φορτίου στα άκρα του.



# Απόδοση Φ/Β στοιχείων (1/2)

Μέση θερμοκρασία ημέρας, σε σχέση με την ημέρα του έτους και το γεωγραφικό πλάτος.



Βαθμός απόδοσης η Φ/Β στοιχείου:

$$\eta = \frac{I_{MPP} \times V_{MPP}}{I \times A} = \frac{P_{MPP}}{I \times A}$$

όπου  $I$ , η ένταση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας [ $W/m^2$ ] και  $A$  η επιφάνεια του πλαισίου [ $m^2$ ].

Για συγκεκριμένη χρονική περίοδο, η απόδοση δίνεται από τη σχέση:

$$\eta = \frac{t \times P_{MPP}}{H_t \times A}$$

όπου  $t$  η διάρκεια που το πλαίσιο δέχεται ηλιακή ακτινοβολία και  $H_t$ , η ειδική ενέργεια ( $Wh/m^2$ ) που δέχεται το Φ/Β στο χρόνο  $t$ .



# Απόδοση Φ/Β στοιχείων (2/2)

Η ονομαστική απόδοση  $\eta_n$  δίνεται από τον κατασκευαστή και αναφέρεται σε πρότυπες συνθήκες ( $I = 1000 \text{ W/m}^2$  και  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Η πραγματική απόδοση  $\eta$ , ελαττώνεται με την ελάττωση της ακτινοβολίας και την αύξηση της θερμοκρασίας του στοιχείου, βάση των συντελεστών  $\eta_i$  και  $\eta_T$ :

$$\eta_i = - 0,446 \times I^2 + 0,96 \times I + 0,48 \text{ [I σε kW/m}^2\text{]} .$$

$$\eta_T = - 0,00002 \times T^2 - 0,001 \times T + 1,042 \text{ [T σε }^\circ\text{C]} .$$

και η πραγματική απόδοση γίνεται:  $\eta = \eta_n \times \eta_i \times \eta_T$ .

Η θερμοκρασία του πλαισίου δίνεται, κατά προσέγγιση, από τη σχέση:  $T_{\Phi B} = T_a + h_w \times I \text{ [}^\circ\text{C]}$

όπου  $T_a$ , η θερμοκρασία του αέρα,  $h_w = 0,03 \text{ m}^2 \times \text{ }^\circ\text{C} / \text{W}$  και  $I$  η ένταση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας [ $\text{W/m}^2$ ], ενώ η διακύμανση της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας  $T_a$  στην Ελλάδα παρουσιάζεται στο Σχήμα.



# Παράδειγμα 6 (1/4)

Να υπολογισθεί η ετήσια ηλεκτροπαραγωγή Φ/Β πάρκου 1.000 Φ/Β πλαισίων με τα τυπικά χαρακτηριστικά του Πίνακα 1 και αυτό χωροθετηθεί α) στην Ορεστιάδα ή β) στην Ιεράπετρα, με τη βέλτιστη μηνιαία κλίση των πλαισίων του.

διαστάσεις	644 x 1.282	mm
πάχος	35	mm
βάρος	8,5	kg
ονομαστική MPP	100	Wp
$V_{MPP}$	34,5	Volt
$I_{MPP}$	2,9	Ampere
$V_{OC}$	42,5	Volt
$I_{SC}$	3,2	Ampere



# Παράδειγμα 6 (2/4)

## Λύση

- Η ονομαστική απόδοση του κάθε πλαισίου είναι:  
$$\eta_n = (100 \text{ W}) / (0,644 \times 1,282 \text{ m}^2 \times 1.000 \text{ W/m}^2) = 12,1 \%$$
- Η μέση μηνιαία ειδική ακτινοβολία ( $\text{kWh/m}^2$ ) σε επιφάνεια βέλτιστης κλίσης έχει υπολογιστεί, για τη μέση ημέρα κάθε μήνα. Διαιρώντας την ακτινοβολία αυτή με τις ημέρες του μήνα, υπολογίζεται η μέση ημερήσια ακτινοβολία, κάθε μήνα του έτους (Στήλη 3).
- Η ωριαία γωνία δύσης του ηλίου έχει υπολογιστεί. Με βάση τις τιμές της  $\omega_\Delta$  υπολογίζεται η μέση διάρκεια της ημέρας, το συγκεκριμένο μήνα του έτους, σε ώρες (Στήλη 5).
- Διαιρώντας τα αποτελέσματα των Σηλών 3 και 5, προκύπτει η μέση ισχύς  $I_n$  της ηλιακής ακτινοβολίας τον αντίστοιχο μήνα (Στήλη 6) και υπολογίζεται ο συντελεστής  $\eta_i$  (Στήλη 7).



# Παράδειγμα 6 (3/4)

- Από το Σχήμα 15, εκτιμάται η μέση θερμοκρασία κατά τη διάρκεια της ημέρας, τον αντίστοιχο μήνα (Στήλη 8) και από την Εξ. 44 η θερμοκρασία των Φ/Β πλαισίων (Στήλη 9).
- Στη Στήλη 10 υπολογίζεται η τιμή του συντελεστή  $\eta_T$ .
- Στη Στήλη 11 υπολογίζεται ο πραγματικός συντελεστής απόδοσης  $\eta$ ,
- και στη Στήλη 12 η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια:

$$E_e = [H H_k^* \times \eta] \text{ kWh/m}^2 \times [1.000 \times 0,644 \times 1,282] \text{ m}^2 [\text{kWh}].$$





# Παράδειγμα 6 (4/4)

## α. Ορεσιάδα

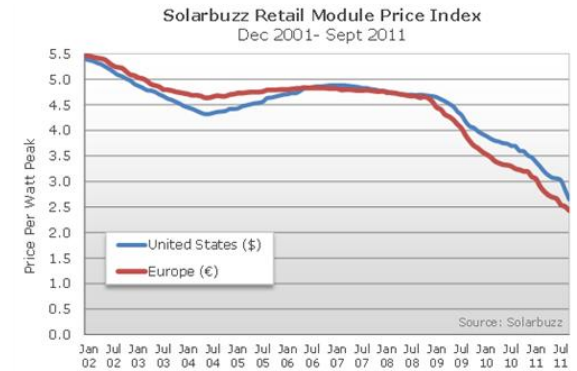
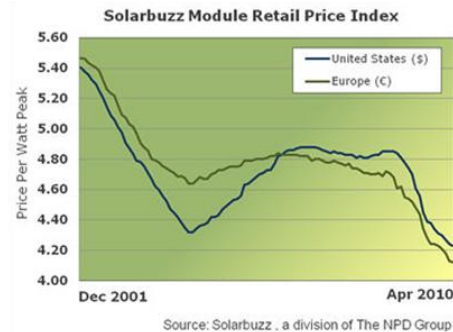
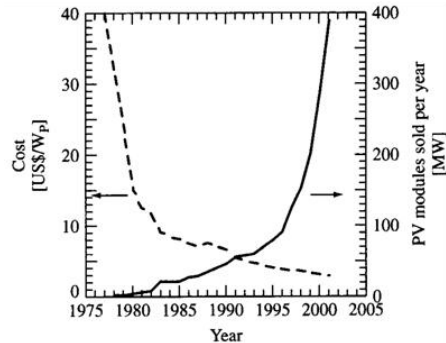
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	μηνιαίο $H_{HK}, kWh/m^2$	ημερήσιο $H_{HK}, kWh/m^2$	$\omega_{\Delta}, ^\circ$	$T, h$	$I, kW/m^2$	$\eta_I$	$T, ^\circ C$	$T_{\Phi\Theta}, ^\circ C$	$\eta_T$	$\eta$	$Ee, MWh$
15/1	101,044	3,259	70,04	9,34	0,35	0,76	2	12	1,01	0,092	7,687
14/2	107,03	3,823	77,71	10,36	0,37	0,77	7,5	19	1,00	0,093	8,178
15/3	133,027	4,291	87,5	11,67	0,37	0,77	13	24	0,98	0,091	10,030
15/4	137,806	4,594	98,35	13,11	0,35	0,76	20	31	0,97	0,089	10,072
15/5	165,401	5,336	107,37	14,32	0,37	0,78	25	36	0,95	0,089	12,118
15/6	173,131	5,771	112,26	14,97	0,39	0,78	27,5	39	0,94	0,089	12,702
15/7	176,578	5,696	110,34	14,71	0,39	0,78	30	42	0,94	0,088	12,866
15/8	165,61	5,342	102,56	13,67	0,39	0,79	28	40	0,94	0,089	12,174
15/9	144,145	4,805	92,09	12,28	0,39	0,79	25	37	0,95	0,090	10,700
15/10	139,033	4,485	81,6	10,88	0,41	0,80	20	32	0,96	0,093	10,619
15/11	109,75	3,658	72,37	9,65	0,38	0,78	12,5	24	0,99	0,092	8,354
15/12	97,768	3,154	67,81	9,04	0,35	0,76	5	15	1,00	0,092	7,394
											<u>122,894</u>

## β. Ιεράπετρα

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	μηνιαίο $H_{HK}, kWh/m^2$	ημερήσιο $H_{HK}, kWh/m^2$	$\omega_{\Delta}, ^\circ$	$T, h$	$I, kW/m^2$	$\eta_I$	$T, ^\circ C$	$T_{\Phi\Theta}, ^\circ C$	$\eta_T$	$\eta$	$Ee, MWh$
15/1	117,474	3,789	74,22	9,90	0,38	0,78	7,5	19	1,00	0,094	9,069
14/2	118,427	4,230	80,24	10,70	0,40	0,79	19	31	0,97	0,092	8,968
15/3	143,786	4,638	88,02	11,74	0,40	0,79	21	33	0,96	0,091	10,827
15/4	159,217	5,307	96,66	12,89	0,41	0,80	26	38	0,95	0,091	11,944
15/5	183,498	5,919	103,78	13,84	0,43	0,81	29	42	0,94	0,091	13,773
15/6	190,858	6,362	107,59	14,35	0,44	0,82	32	45	0,93	0,091	14,316
15/7	194,463	6,273	106,09	14,15	0,44	0,82	33	46	0,92	0,091	14,535
15/8	183,676	5,925	99,99	13,33	0,44	0,82	32	45	0,93	0,091	13,785
15/9	160,911	5,364	91,68	12,22	0,44	0,82	28	41	0,94	0,092	12,199
15/10	151,816	4,897	83,33	11,11	0,44	0,82	24	37	0,95	0,093	11,669
15/11	120,616	4,021	76,04	10,14	0,40	0,79	20	32	0,96	0,092	9,116
15/12	106,615	3,439	72,49	9,67	0,36	0,77	10	21	0,99	0,091	8,021
											<u>138,223</u>



# Στοιχεία κόστους Φ/Β συστημάτων και ανάλυση οικονομικής βιωσιμότητας (1/3)



	€/watt	€/watt	€/watt	€/watt			
		Dec 2010	3.09	Dec 2009	4.23	Dec 2008	4.68
		Nov 2010	3.19	Nov 2009	4.24	Nov 2008	4.71
Oct 2010	2.37	Oct 2010	3,20	Oct 2009	4.24	Oct 2008	4.72
Sep 2010	2.43	Sep 2010	3.33	Sep 2009	4.28	Sep 2008	4.69
Aug 2010	2.51	Aug 2010	3.49	Aug 2009	4.34	Aug 2008	4.71
Jul 2010	2.54	Jul 2010	3.65	Jul 2009	4.44	Jul 2008	4.70
Jun 2010	2.66	Jun 2010	3.81	Jun 2009	4.48	Jun 2008	4.70
May 2010	2.69	May 2010	3.97	May 2009	4.52	May 2008	4.71
Apr 2010	2.73	Apr 2010	4.13	Apr 2009	4.54	Apr 2008	4.71
Mar 2010	2.80	Mar 2010	4.14	Mar 2009	4.55	Mar 2008	4.73
Feb 2010	2.90	Feb 2010	4.19	Feb 2009	4.62	Feb 2008	4.74
Jan 2010	3.05	Jan 2010	4.22	Jan 2009	4.61	Jan 2008	4.74



# Στοιχεία κόστους Φ/Β συστημάτων και ανάλυση οικονομικής βιωσιμότητας (2/3)

---

- Τον Οκτώβριο του 2011 η μέση τιμή διάθεσης των Φ/Β πλαισίων μονοκρυσταλλικού πυριτίου είναι 2,37 €/Wp και το 52 % των πλαισίων κόστιζε λιγότερο από την τιμή αυτή. Η χαμηλότερη τιμή διάθεσης καταγράφηκε στα 0,95 €/W.
- Οι μέσες τιμές διάθεσης Φ/Β πλαισίων πολυκρυσταλλικού πυριτίου ήταν 20 % χαμηλότερη με την ελάχιστη να καταγράφεται στα 1,03 €/W.

([solarbuzz.com/moduleprices.html](http://solarbuzz.com/moduleprices.html))



# Στοιχεία κόστους Φ/Β συστημάτων και ανάλυση οικονομικής βιωσιμότητας (3/3)

Για τα διασυνδεδεμένα Φ/Β πάρκα, το συνολικό κόστος εγκατάστασης τους διαρθρώνεται ως εξής:

✓ Φ/Β πάνελ	2 – 3	€/Wp
✓ συστήματα στήριξης	0,5 – 0,75	€/Wp
✓ ανόρθωση/μετασχηματιστής ισχύος	0,5	€/Wp
✓ μελέτη/εγκατάσταση, λοιπά κόστη	0,3	€/Wp

## Ορισμός της Παρούσας Αξίας:

- Με την πάροδο του χρόνου, το χρήμα εμφανίζεται να χάνει μέρος της αξίας του, φαινόμενο το οποίο είναι γνωστό ως πληθωρισμός.
- Έτσι, η ίδια ονομαστική αξία χρημάτων (π.χ. 1.000 €) διαθέτει διαφορετική πραγματική αξία (αγοραστική δύναμη) σε διαφορετική χρονική στιγμή.
- Αν  $\pi$  είναι το ύψος του ετήσιου πληθωρισμού, εκφρασμένο ως ποσοστό, τότε η Παρούσα Αξία (Present Value - PV) μίας μελλοντικής χρηματοροής ( $S$ ),  $n$  έτη μετά από σήμερα, δίνεται από τη σχέση:  $PV = S / (1 + \pi)^n$



# Παράδειγμα 10 (1/6)

---

Να υπολογισθεί η απαιτούμενη τιμή διάθεσης της ηλεκτρικής MWh, ώστε το Φ/Β πάρκο του Παραδείγματος 6 να αποπληρωθεί σε 10 έτη, αν αυτό χωροθετηθεί α) στην Ορεστιάδα ή β) στην Ιεράπετρα, και είναι διασυνδεδεμένο. Η τιμή αυτή να θεωρηθεί σταθερή σε όλη τη διάρκεια ζωής του πάρκου και ο πληθωρισμός 3 %.



# Παράδειγμα 10 (2/6)

## Λύση

Για τη μέση τιμή διάθεσης Φ/Β του Οκτωβρίου 2011:

Φ/Β πάνελ	100 kWp x 2,37 €/Wp	237.000 €
συστήματα στήριξης		75.000 €
ανόρθωση/μετασχηματιστής ισχύος		50.000 €
μελέτη/εγκατάσταση, λοιπά κόστη		<u>30.000 €</u>
		392.000 € x 1,23 = 482.160 €

Για την ελάχιστη τιμή διάθεσης Φ/Β του Οκτωβρίου 2011:

Φ/Β πάνελ	100 kWp x 0,95 €/Wp	95.000 €
συστήματα στήριξης		50.000 €
ανόρθωση/μετασχηματιστής ισχύος		50.000 €
μελέτη/εγκατάσταση, λοιπά κόστη		<u>30.000 €</u>
		225.000 € x 1,23 = 276.750 €



# Παράδειγμα 10 (3/6)

Αν  $T$  η σταθερή τιμή διάθεσης της ηλεκτρικής MWh από το Φ/Β πάρκο, τότε οι ετήσιες χρηματοροές και η παρούσα αξία τους από τη λειτουργία του πάρκου στην Ορεστιάδα είναι:

έτος	χρηματοροή	παρούσα αξία
1	$122,894 \times T$	$122,894 \times T / 1,03 = 119,315 \times T.$
2	$122,894 \times T$	$122,894 \times T / 1,03^2 = 115,839 \times T.$
3	$122,894 \times T$	$122,894 \times T / 1,03^3 = 112,465 \times T.$
4	$122,894 \times T$	$122,894 \times T / 1,03^4 = 109,190 \times T.$
5	$122,894 \times T$	$122,894 \times T / 1,03^5 = 106,009 \times T.$
6	$122,894 \times T$	$122,894 \times T / 1,03^6 = 102,922 \times T.$
7	$122,894 \times T$	$122,894 \times T / 1,03^7 = 99,924 \times T.$
8	$122,894 \times T$	$122,894 \times T / 1,03^8 = 97,014 \times T.$
9	$122,894 \times T$	$122,894 \times T / 1,03^9 = 94,188 \times T.$
10	$122,894 \times T$	$122,894 \times T / 1,03^{10} = \underline{91,445 \times T.}$ $1048,311 \times T.$



# Παράδειγμα 10 (4/6)

---

Προκειμένου το πάρκο να αποπληρωθεί σε 10 έτη, θα πρέπει η συνολική παρούσα αξία των εσόδων από την πώληση ηλεκτρικής ενέργειας στη διάρκεια μίας δεκαετίας θα πρέπει να είναι ίση με το αρχικό κόστος εγκατάστασης του πάρκου. Έτσι για τη μέση τιμή διάθεσης των Φ/Β πλαισίων σήμερα η τιμή διάθεσης της ηλεκτρικής MWh είναι:

$$1.048,311 \times T = 482.160 \Leftrightarrow T = 459,94 \text{ €/MWh.}$$

Ενώ για την ελάχιστη τιμή διάθεσης των Φ/Β πλαισίων σήμερα η τιμή διάθεσης της ηλεκτρικής MWh είναι:

$$1.048,311 \times T = 276.750 \Leftrightarrow T = 264,00 \text{ €/MWh.}$$





# Παράδειγμα 10 (5/6)

Αντίστοιχα για το πάρκο στην Ιεράπετρα:

	έτος	χρηματοροή	παρούσα αξία		
1	$138,223 \times T$	$138,223 \times T / 1,03$	=	$134,197 \times T.$	
2	$138,223 \times T$	$138,223 \times T / 1,03^2$	=	$130,288 \times T.$	
3	$138,223 \times T$	$138,223 \times T / 1,03^3$	=	$126,493 \times T.$	
4	$138,223 \times T$	$138,223 \times T / 1,03^4$	=	$122,809 \times T.$	
5	$138,223 \times T$	$138,223 \times T / 1,03^5$	=	$119,232 \times T.$	
6	$138,223 \times T$	$138,223 \times T / 1,03^6$	=	$115,760 \times T.$	
7	$138,223 \times T$	$138,223 \times T / 1,03^7$	=	$112,388 \times T.$	
8	$138,223 \times T$	$138,223 \times T / 1,03^8$	=	$109,115 \times T.$	
9	$138,223 \times T$	$138,223 \times T / 1,03^9$	=	$105,936 \times T.$	
10	$138,223 \times T$	$138,223 \times T / 1,03^{10}$	=	<u><math>102,851 \times T.</math></u>	
				$1179,070 \times T.$	



# Παράδειγμα 10 (6/6)

Προκειμένου το πάρκο να αποπληρωθεί σε 10 έτη, θα πρέπει η συνολική παρούσα αξία των εσόδων από την πώληση ηλεκτρικής ενέργειας στη διάρκεια μίας δεκαετίας θα πρέπει να είναι ίση με το αρχικό κόστος εγκατάστασης του πάρκου. Έτσι για τη μέση τιμή διάθεσης των Φ/Β πλαισίων σήμερα η τιμή διάθεσης της ηλεκτρικής MWh είναι:

$$1.179,070 \times T = 482.160 \Leftrightarrow T = 408,93 \text{ €/MWh.}$$

Ενώ για την ελάχιστη τιμή διάθεσης των Φ/Β πλαισίων σήμερα η τιμή διάθεσης της ηλεκτρικής MWh είναι:

$$1.179,070 \times T = 276.750 \Leftrightarrow T = 234,72 \text{ €/MWh.}$$



# Παράδειγμα (1/6)

---

Να υπολογιστεί ο χρόνος αποπληρωμής των πάρκων του προηγούμενου παραδείγματος με βάση τις τιμές διάθεσης της ηλεκτρικής ενέργειας που προβλέπονται από τον Νόμο 3851/2010, θεωρώντας ότι η κατασκευή του πάρκου έχει επιδοτηθεί κατά 40 %.

## Λύση

Τα κόστη εγκατάστασης των πάρκων έχουν υπολογιστεί στο προηγούμενο παράδειγμα. Η τιμή διάθεσης της ηλεκτρικής MWh με βάση το νόμο 3851/2010 είναι (θεωρώντας ότι τα πάρκα εκκινούν τη λειτουργία τους τον Φεβρουάριο του 2012):



# Παράδειγμα (2/6)

	$v$	οριακή τιμή συστήματος, €/MWh*	τιμή διάθεσης από το πάρκο, MWh**
έως τον 8 <sup>ο</sup> του 2012	0,5	$87,85 \times (1 + \pi)^{0,5} = 89,16$	375,54.
έως τον 2 <sup>ο</sup> του 2013	1	$87,85 \times (1 + \pi)^1 = 90,49$	353,55.
έως τον 8 <sup>ο</sup> του 2013	1,5	$87,85 \times (1 + \pi)^{1,5} = 91,83$	336,23.
έως τον 2 <sup>ο</sup> του 2014	2	$87,85 \times (1 + \pi)^2 = 93,20$	316,55.
έως τον 8 <sup>ο</sup> του 2014	2,5	$87,85 \times (1 + \pi)^{2,5} = 94,59$	302,56.
έως τον 2 <sup>ο</sup> του 2015	3	$87,85 \times (1 + \pi)^3 = 96,00$	293,59
το 2015	4	$87,85 \times (1 + \pi)^4 = 98,88$	134,39
το 2016	5	$87,85 \times (1 + \pi)^5 = 101,84$	138,43
το 2017	6	$87,85 \times (1 + \pi)^6 = 104,90$	142,58
το 2018	7	$87,85 \times (1 + \pi)^7 = 108,04$	146,86
το 2019	8	$87,85 \times (1 + \pi)^8 = 111,29$	151,26
το 2020	9	$87,85 \times (1 + \pi)^9 = 114,62$	155,80

....

\* Από τη σημερινή τιμή των 87,85 €/MWh θεωρείται ότι αυξάνει σύμφωνα με τον ετήσιο πληθωρισμό.

\*\* Σύμφωνα με το νόμο 3851/2010 (από το 2015 η τιμή είναι ίση με 1,4 επί τη μέση οριακή τιμή συστήματος το προηγούμενο έτος).



# Παράδειγμα (3/6)

Για την Ορεσιτιάδα:	τιμή διάθεσης από το πάρκο, €MWh**	έσοδα,€	παρούσα αξία, €	υπολειπόμενη αξία, € 0,6*482.160 =
2 <sup>ος</sup> του 2012 289.296				
έως τον 8 <sup>ο</sup> του 12	375,54	61,447*375,54	22.737,27	266.558
έως τον 2 <sup>ο</sup> του 13	353,55	61,447*353,55	21.091,83	245.467
έως τον 8 <sup>ο</sup> του 13	336,23	61,447*336,23	19.764,29	225.467
έως τον 2 <sup>ο</sup> του 14	316,55	61,447*316,55	18.334,48	207.368
έως τον 8 <sup>ο</sup> του 14	302,56	61,447*302,56	17.267,09	190.101
έως τον 2 <sup>ο</sup> του 15	293,59	61,447*293,59	16.509,36	173.592
το 2015	124,79	122,894*134,39	14.674,50	158.917
το 2016	128,54	122,894*138,43	14.674,50	144.243
το 2017	132,39	122,894*142,58	14.674,50	129.568
το 2018	136,37	122,894*146,86	14.674,50	114.894
το 2019	140,46	122,894*151,26	14.674,50	100.219
το 2020	144,67	122,894*155,80	14.674,50	85.545
το 2021	149,01	122,894*160,47	14.674,50	70.870
το 2022	153,48	122,894*165,29	14.674,50	56.196
το 2023	158,09	122,894*170,25	14.674,50	41.521
το 2024	162,83	122,894*175,35	14.674,50	26.847
το 2025	167,71	122,894*180,61	14.674,50	12.172
<b>το 2026</b>	172,75	122,894*186,03	14.674,50	-2.502



# Παράδειγμα (4/6)

Για την Ιεράπετρα:	τιμή διάθεσης από το πάρκο, €MWh**	έσοδα,€	παρούσα αξία, €	υπολειπόμενη αξία, € 0,6*482.160 =
2 <sup>ος</sup> του 2012 289.296				
έως τον 8 <sup>ο</sup> του 12	375,54	69,112*375,54	25.573,37	263.723
έως τον 2 <sup>ο</sup> του 13	353,55	69,112*353,55	23.722,69	240.000
έως τον 8 <sup>ο</sup> του 13	336,23	69,112*336,23	22.229,56	217.770
έως τον 2 <sup>ο</sup> του 14	316,55	69,112*316,55	20.621,40	197.149
έως τον 8 <sup>ο</sup> του 14	302,56	69,112*302,56	19.420,87	177.728
έως τον 2 <sup>ο</sup> του 15	293,59	69,112*293,59	18.568,63	159.159
το 2015	124,79	138,223*134,39	16.504,90	142.665
το 2016	128,54	138,223*138,43	16.504,90	126.150
το 2017	132,39	138,223*142,58	16.504,90	109.645
το 2018	136,37	138,223*146,86	16.504,90	93.140
το 2019	140,46	138,223*151,26	16.504,90	76.635
το 2020	144,67	138,223*155,80	16.504,90	60.130
το 2021	149,01	138,223*160,47	16.504,90	43.625
το 2022	153,48	138,223*165,29	16.504,90	27.120
το 2023	158,09	138,223*170,25	16.504,90	10.615
<b>το 2024</b>	162,83	138,223*175,35	16.504,90	-5.890



# Παράδειγμα (5/6)

Για την Ορεσιτιάδα:	τιμή διάθεσης από το πάρκο, €MWh**	έσοδα,€	παρούσα αξία, €	υπολειπόμενη αξία, €
2 <sup>ος</sup> του 2012				0,6*276.750 = 166.050
έως τον 8 <sup>ο</sup> του 12	375,54	61,447*375,54	22.737,27	143.313
έως τον 2 <sup>ο</sup> του 13	353,55	61,447*353,55	21.091,83	122.221
έως τον 8 <sup>ο</sup> του 13	336,23	61,447*336,23	19.764,29	102.457
έως τον 2 <sup>ο</sup> του 14	316,55	61,447*316,55	18.334,48	84.122
έως τον 8 <sup>ο</sup> του 14	302,56	61,447*302,56	17.267,09	66.855
έως τον 2 <sup>ο</sup> του 15	293,59	61,447*293,59	16.509,36	50.346
το 2015	124,79	122,894*134,39	14.674,50	36.719
το 2016	128,54	122,894*138,43	14.674,50	20.997
το 2017	132,39	122,894*142,58	14.674,50	6.322
<b>το 2018</b>	136,37	122,894*146,86	14.674,50	-8.352



# Παράδειγμα (6/6)

## Για την Ιεράπετρα:

2<sup>ος</sup> του 2012

$$0,6 * 276.750 = 166.050$$

έως τον 8 <sup>ο</sup> του 12	375,54	69,112*375,54	25.573,37	140.477
έως τον 2 <sup>ο</sup> του 13	353,55	69,112*353,55	23.722,69	116.754
έως τον 8 <sup>ο</sup> του 13	336,23	69,112*336,23	22.229,56	94.524
έως τον 2 <sup>ο</sup> του 14	316,55	69,112*316,55	20.621,40	73.903
έως τον 8 <sup>ο</sup> του 14	302,56	69,112*302,56	19.420,87	54.482
έως τον 2 <sup>ο</sup> του 15	293,59	69,112*293,59	18.568,63	35.913
το 2015	124,79	138,223*134,39	16.504,90	19.409
το 2016	128,54	138,223*138,43	16.504,90	2.904
<b>το 2017</b>	132,39	138,223*142,58	16.504,90	-13.601





# Τοποθέτηση Φ/Β πλαισίων σε παράλληλες σειρές (1/4)

Όταν τοποθετούμε τις Φ/Β συστοιχίες σε παράλληλες σειρές, θα πρέπει να γίνεται υπολογισμός των αποστάσεων μεταξύ των σειρών, για να αποφεύγεται το φαινόμενο της σκίασης των συλλεκτών. Η δυσμενέστερη περίπτωση είναι όταν ο ήλιος βρίσκεται στο χαμηλότερο ύψος, στις 22 Δεκεμβρίου. Για το ηλιακό μεσημέρι ( $\omega = 0$ ) η γωνία  $\eta$  που μας δίνει το ύψος του ήλιου, υπολογίζεται από τη σχέση:

$$H_{\max} = 90 - \phi + \delta_v$$

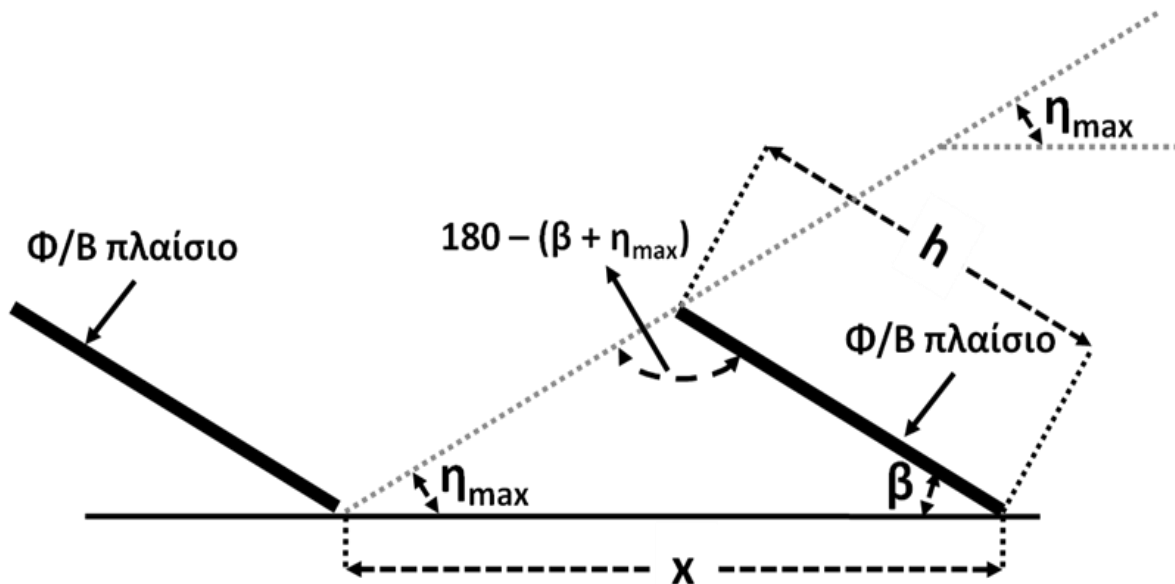
Όπου  $\phi$  το γεωγραφικό πλάτος και  $\delta_v$  = απόκλιση του ήλιου στις 22 Δεκεμβρίου. Ένας πρακτικός κανόνας για την τοποθέτηση των Φ/Β είναι ο μηδενισμός της μεταξύ τους σκίασης κατά το ηλιακό μεσημέρι της 22ας Δεκεμβρίου. Τοποθετώντας δύο σειρές Φ/Β πλαισίων μήκους  $h$ , σε απόσταση  $X$  μεταξύ τους και με κλίση  $\beta$  ως προς το οριζόντιο επίπεδο, σύμφωνα με τον νόμο των ημιτόνων, ισχύει:



# Τοποθέτηση Φ/Β πλαισίων σε παράλληλες σειρές (2/4)

$$\frac{x}{\eta\mu(180 - (\beta + \eta_{\max}))} = \frac{h}{\eta\mu\eta_{\max}}$$

και οι παραπληρωματικές γωνίες έχουν το ίδιο ημίτονο:  $\frac{x}{\eta\mu(\beta + \eta_{\max})} = \frac{h}{\eta\mu\eta_{\max}} \Leftrightarrow x = h \frac{\eta\mu(\beta + \eta_{\max})}{\eta\mu\eta_{\max}}$  [m]



# Τοποθέτηση Φ/Β πλαισίων σε παράλληλες σειρές (3/4)

Η συνολική έκταση που απαιτείται για την τοποθέτηση των σειρών των Φ/Β πλαισίων, με βάση τον παραπάνω πρακτικό κανόνα, θα υπολογίζεται από τη σχέση:

$$E = [(v - 1) \cdot x + h \cdot \text{συν}\beta] \cdot \mu \cdot \gamma \quad [m^2]$$

όπου:  $v$  ο αριθμός των σειρών των Φ/Β πλαισίων.  
 $x$  η απόσταση σε  $m$  ανάμεσα στις σειρές των Φ/Β πλαισίων.  
 $h$  το μήκος του Φ/Β πλαισίου.  
 $h \cdot \text{συν}\beta$  το μήκος της προβολής του Φ/Β πλαισίου.  
 $\mu$  το πλήθος των Φ/Β πλαισίων σε κάθε σειρά και,  
 $\gamma$  το πλάτος του Φ/Β πλαισίου.



# Τοποθέτηση Φ/Β πλαισίων σε παράλληλες σειρές (4/4)

Η συνολική έκταση που απαιτείται μαζί με την αναγκαία έκταση για άνετη κυκλοφορία περιμετρικά των σειρών των Φ/Β πλαισίων (κυκλοφορία οχήματος για έλεγχο, συντήρηση ή καθαρισμό) καθώς και μεταξύ των Φ/Β πλαισίων κάθε σειράς θα είναι:

$$E_T = [(v - 1) \cdot x + h \cdot \sigma \cdot \nu \beta + 2 x_\alpha] \cdot [\mu \cdot \gamma + 2x_b + (\mu - 1) \cdot x_c] \quad [m^2]$$

όπου:

$x_\alpha$  η απόσταση της πρώτης σειράς από τα όρια της ιδιοκτησίας (ίση με την απόσταση της τελευταίας σειράς από τα όρια της ιδιοκτησίας – συνήθως 2,5 m).

$x_b$  η απόσταση της αρχής της σειράς από τα όρια της ιδιοκτησίας (ίση με την απόσταση του τέλους της σειράς από τα όρια της ιδιοκτησίας – συνήθως 2,5 m).

$x_c$  η απόσταση μεταξύ των Φ/Β της ίδιας σειράς (συνήθως 1 m).

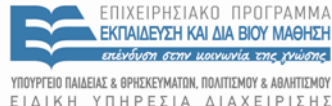


---

# Τέλος Ενότητας



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

