

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΑΠΕ



Γ. ΒΙΣΚΑΔΟΥΡΟΣ
Ι. Φραγκιαδάκης – Φ. Μαυροματάκης

ΦΒ σύστημα

Ενεργειακοί υπολογισμοί

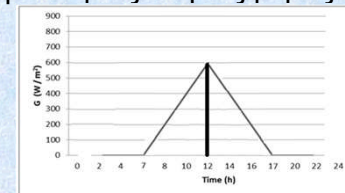
Γενικοί τύποι

ΦΒ συστο ιχία	Παραγόμενη ΦΒ ηλ. ενέργεια	$E_{\Phi B} = P_p \cdot PR \cdot \frac{\bar{H}_t}{G_{STC}}$
	Ενεργειακό ισοζύγιο	$E_{\Phi B} = m \cdot \left[\left(\frac{E_{L,\alpha}}{\eta_{\alpha}} + \frac{E_{L,\varepsilon}}{\eta_{\varepsilon}} \right) + \left(\frac{n}{N-n} \right) \cdot \frac{E_L}{\eta_{\varepsilon}} \right]$
Συσσωρευτής		$C(n) = \frac{(n+b) \cdot m \cdot E_L}{\eta_{V,B} \cdot \eta_{\varepsilon\kappa\phi} \cdot \beta_{\varepsilon\kappa\phi} \cdot V_B}$ $E_{L,\alpha} + E_{L,\varepsilon} = E_L \quad \mu\epsilon \quad b = \frac{E_{L,\varepsilon}}{E_L}$

Ενεργειακοί Υπολογισμοί

Παράδειγμα (1)

- Θεωρήστε ότι η πυκνότητα ισχύος μεταβάλλεται όπως στο γράφημα κατά τη διάρκεια μιας αίθριας μέρας



$$H_t = \int G_t dt = \int_{t=7}^{t=17} G_t dt = \frac{G_{7-12} \cdot \Delta t}{2} + \frac{G_{12-17} \cdot \Delta t}{2} = 2 \cdot \frac{600 \cdot 5}{2} = 3 \text{ kWh/m}^2$$

Ενεργειακοί Υπολογισμοί

Παράδειγμα (1)

- Να υπολογίσετε την ονομαστική ισχύ του ΦΒ συστήματος που απαιτείται για την κάλυψη $E_{L,E} = 6\text{kWh}$ με $\eta_E = 0.78$ και λόγω επίδοσης $PR=0.75$ με συντελεστή περιθωρίου $m=1.20$.

$$E_{\Phi B} = m \cdot \left[\left(\frac{E_{L,\alpha}}{\eta_\alpha} + \frac{E_{L,\varepsilon}}{\eta_\varepsilon} \right) + \left(\frac{n}{N-n} \right) \cdot \frac{E_L}{\eta_\varepsilon} \right] = P_p \cdot PR \cdot \frac{\bar{H}_t}{G_{STC}}$$

$$E_{\Phi B} = m \cdot \frac{E_{L,\varepsilon}}{\eta_\varepsilon} = P_p \cdot PR \cdot \frac{\bar{H}_t}{G_{STC}}$$

$$P_p = m \cdot G_{STC} \cdot \frac{E_{L,\varepsilon}}{PR \cdot \bar{H}_t \cdot \eta_\varepsilon} = 1.2 \cdot 1\text{kW} / \text{m}^2 \cdot \frac{6\text{kWh}}{0.75 \cdot 3\text{kWh} / \text{m}^2 \cdot 0.78} = \frac{7.2}{1.76} = 4.09\text{kW}$$

Ενεργειακοί Υπολογισμοί

Παράδειγμα (1)

Εάν ο συντελεστής γήρανσης είναι $\eta_v=0.9$, $\eta_{\text{εκφ}}=0.91$, $\beta_{\text{εκφ}}=0.6$ και $V_\beta=48\text{V}$ να υπολογίσετε την χωρητικότητα των συσσωρευτών σε Ah και Cb.

$$C(n) = \frac{(n+b) \cdot m \cdot E_L}{\eta_{v,B} \cdot \eta_{\text{εκφ}} \cdot \beta_{\text{εκφ}} \cdot V_B}$$

$$C(0) = \frac{(0+1) \cdot 1.2 \cdot 6\text{kWh}}{0.90 \cdot 0.91 \cdot 0.60 \cdot 48\text{V}} = \frac{7.2\text{kWh}}{23.59\text{V}} = 305.21\text{Ah}$$

$$C(0) = 305.21\text{Ah} = 305.21\text{Ah} \cdot 3600 \frac{\text{Cb}}{\text{Ah}} = 1098756\text{Cb} \approx 1.1 \cdot 10^6\text{Cb}$$

Ενεργειακοί Υπολογισμοί

Παράδειγμα (2)

- Σύστημα παράγει 25.5kWh ανά ημέρα τον Σεπτέμβριο. Εάν η ενεργειακή απολαβή είναι $6.21\text{kWh}/\text{m}^2$ και ο λόγος επίδοσης είναι 0.82 υπολογίστε την ονομαστική ισχύ της συστοιχίας.

$$E_{\Phi B} = P_p \cdot PR \cdot \frac{\bar{H}_t}{G_{STC}}$$

$$P_p = \frac{E_{\Phi B} \cdot G_{STC}}{PR \cdot \bar{H}_t} = \frac{25.5\text{kWh} \cdot 1\text{kW} / \text{m}^2}{0.82 \cdot 6.21\text{kWh} / \text{m}^2} = \frac{25.5}{5.09} \text{kW} = 5.01\text{kW}$$

Ενεργειακοί Υπολογισμοί

Παράδειγμα (3)

- ΦΒ συστοιχία καλύπτει $E_{L,A}=3\text{kWh}$ με $\eta_A=0.8$ και $E_L=8\text{kWh}$ με $\eta_E=0.7$. Η ονομαστική ισχύς είναι 2.74kW ενώ η H_t είναι $4.9\text{kWh}/\text{m}^2$. Βρείτε το λόγο επίδοσης του συστήματος.

$$E_{\Phi B} = m \cdot \left[\left(\frac{E_{L,\alpha}}{\eta_\alpha} + \frac{E_{L,\varepsilon}}{\eta_\varepsilon} \right) + \left(\frac{n}{N-n} \right) \cdot \frac{E_L}{\eta_\varepsilon} \right] = P_p \cdot PR \cdot \frac{\bar{H}_t}{G_{STC}}$$

$$PR = \frac{m \cdot G_{STC}}{P_p \cdot \bar{H}_t} \cdot \left[\left(\frac{E_{L,\alpha}}{\eta_\alpha} + \frac{E_{L,\varepsilon}}{\eta_\varepsilon} \right) + \left(\frac{n}{N-n} \right) \cdot \frac{E_L}{\eta_\varepsilon} \right]$$

$$PR = \frac{1 \cdot 1\text{kW} / \text{m}^2 \cdot \left[\left(\frac{3\text{kWh}}{0.8} + \frac{(8-3)\text{kWh}}{0.7} \right) \right]}{2.74 \cdot 4.9\text{kWh} / \text{m}^2} = \frac{1}{13.43} (3.75 + 7.14) \approx 0.81$$

Ενεργειακοί Υπολογισμοί

Παράδειγμα (4α)

Υπολογίστε την % μεταβολή της ονομαστικής ισχύος συστήματος σχεδιασμένου να καλύψει νυχτερινό φορτίο $N=30$ και $n=2 \rightarrow N=30, n=7$

$$E_{\Phi B} = m \cdot \left[\left(\frac{E_{L,\alpha}}{\eta_\alpha} + \frac{E_{L,\varepsilon}}{\eta_\varepsilon} \right) + \left(\frac{n}{N-n} \right) \cdot \frac{E_L}{\eta_\varepsilon} \right] = P_p \cdot PR \cdot \frac{\bar{H}_t}{G_{STC}}$$

$$P_p = \frac{m \cdot G_{STC}}{PR \cdot \bar{H}_t \cdot \eta_\varepsilon} \left[\left(\frac{E_{L,\alpha}}{\eta_\alpha} + \frac{E_{L,\varepsilon}}{\eta_\varepsilon} \right) + \left(\frac{n}{N-n} \right) \cdot \frac{E_L}{\eta_\varepsilon} \right] = \frac{m \cdot G_{STC}}{PR \cdot \bar{H}_t \cdot \eta_\varepsilon} \left[\left(1 + \frac{n}{N-n} \right) \cdot \frac{E_{L,\varepsilon}}{\eta_\varepsilon} \right]$$

$$P_{p,2} = \frac{m \cdot G_{STC}}{PR \cdot \bar{H}_t \cdot \eta_\varepsilon} \left[\left(1 + \frac{2}{30-2} \right) \cdot \frac{E_{L,\varepsilon}}{\eta_\varepsilon} \right] \Rightarrow P_{p,2} = \left(1 + \frac{2}{30-2} \right) \cdot \frac{30}{28} = \frac{23}{28} \Rightarrow P_{p,2} = \frac{23}{28} P_{p,7}$$

$$P_{p,7} = \frac{m \cdot G_{STC}}{PR \cdot \bar{H}_t \cdot \eta_\varepsilon} \left[\left(1 + \frac{7}{30-7} \right) \cdot \frac{E_{L,\varepsilon}}{\eta_\varepsilon} \right]$$

$$\% \text{Μεταβολή} = \frac{P_{p,7} - P_{p,2}}{P_{p,2}} \cdot 100\% = \frac{P_{p,7} - \frac{23}{28} P_{p,7}}{\frac{23}{28} P_{p,7}} \cdot 100\% = \frac{5}{23} \cdot 100\% = 21.7\%$$

Ενεργειακοί Υπολογισμοί

Παράδειγμα (4β)

- Τι μπορείτε να πείτε για τις απαιτούμενες χωρητικότητες των συσσωρευτών ;

$$C(n) = \frac{(n+b) \cdot m \cdot E_L}{\eta_{V,B} \cdot \eta_{\text{εκφ}} \cdot \beta_{\text{εκφ}} \cdot V_B}$$

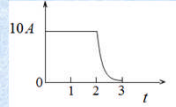
$$C(2) = \frac{(2+b) \cdot m \cdot E_L}{\eta_{V,B} \cdot \eta_{\text{εκφ}} \cdot \beta_{\text{εκφ}} \cdot V_B} \Rightarrow \frac{C(2)}{C(7)} = \frac{(2+b)}{(7+b)} \Rightarrow \frac{C(2)}{C(7)} = \frac{3}{8}$$

$$\% \text{Μεταβολή} = \frac{C(7) - \frac{3}{8} \cdot C(7)}{\frac{3}{8} \cdot C(7)} \cdot 100\% = \frac{5}{3} \cdot 100\% = 167\%$$

Ενεργειακοί Υπολογισμοί

Παράδειγμα (5)

- Συσσωρευτής εκφορτίζεται πλήρως, ως εξής



$$I = \begin{cases} 10A & , \text{για } t \in [0h, 2h] \\ 10A \frac{(t-3h)^2}{h^2} & , \text{για } t \in [2h, 3h] \end{cases}$$

Εάν ο βαθμός απόδοσης του φορτίου είναι 0.92 να υπολογιστεί το φορτίο φόρτισης $Q_{\text{φορτ}}$ σε Ah και Cb.

$$Q_{\text{εκφ}} = 10A \cdot 2h + \int_{2h}^{3h} 10A \frac{(t-3)^2}{h^2} dt = 20Ah + \frac{10A}{h^2} \int_{2h}^{3h} (t-3)^2 dt = 20Ah + \frac{10A}{h^2} \left[\frac{(t-3)^3}{3} \right]_{2h}^{3h}$$

$$Q_{\text{εκφ}} = 20Ah + 10A \cdot \frac{1}{3}h = 23.33Ah$$

$$\eta_{\text{φορτισ}} = \frac{Q_{\text{εκφ}}}{Q_{\text{φορτ}}} \Rightarrow Q_{\text{φορτ}} = \frac{Q_{\text{εκφ}}}{\eta_{\text{φορτισ}}} = \frac{23.33Ah}{0.92} = 25.36Ah \text{ ή } 9.13 \cdot 10^4 Cb$$

ΦΒ σύστημα

Οικονομικά Στοιχεία

Οικονομικά Στοιχεία

- N : έτη επένδυσης (20 ή 25)
- N_R : έτη αντικατάστασης (inverter ,ΦΒ πλαίσια , ηλ. υλικό)
- i (inflation) : πληθωρισμός είναι η συνεχής αύξηση του γενικού επιπέδου των τιμών μιας οικονομίας μέσα σε μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Ο πληθωρισμός μπορεί να είναι είτε θετικός, είτε αρνητικός (οπότε μιλάμε για αποπληθωρισμό)
- d (discount rate) : Επιτόκιο δανεισμού, προεξόφλησης, επένδυσης ή καταθέσεων
- r (rate) : αποπληθωρισμένο επιτόκιο $\rightarrow r = [(1+d)/(1+i)] - 1$

Οικονομικά Στοιχεία

- PVF (Present Value Factor) $\rightarrow PVF = (1+r)^{-NR}$
Παράγοντας παρούσης αξίας : η αξία της εγκατάστασης μετά την αντικατάσταση τμημάτων της επένδυσης
- CRF (Capital Recovery Factor) $\rightarrow CRF = r/1 - (1+r)^{-N}$
Παράγοντας ανάκτησης κεφαλαίου : Τα κεφάλαια που αποπληρώνονται σε σχέση με τον πληθωρισμό (Συντελεστής τοκοχρεολυτικής απόσβεσης)
- Κόστος ΦΒ πλαισίων, C_{pv} (€/Watt) : 0.5-0.8€/ Watt
- Κόστος Inverter, C_{inv} (€/Watt) : 0.3-0.6€/ Watt
- Κόστος Συσσωρευτών, C_{bat} (€/Watt) : 0.1-0.15€/ Wh

Οικονομικά Στοιχεία

- Κόστος Εγκατάστασης και υλικών, C_{contr} (€)
- Κόστος ηλεκτρολογικών υλικών, $C_{el} = C_{inv} + C_{contr}$ (€)
- Κόστος τοποθέτησης ΦΒ πλαισίων, $C_{inst} = 15\% C_{PV}$ (€)
- Αρχικό κόστος εγκατάστασης, $C_0 = C_{el} + C_{PV} + C_{inst}$ (€)
- Κόστος συντήρησης και λειτουργίας, $C_{O\&M}$ (€)/ έτος
Cost Operation and Maintenance : $\sim 1\% C_0$ €/ έτος
- Κόστος συντήρησης και λειτουργίας, συνολικά $C_{O\&M} = C_{O\&M,y}/CRF$
- Κόστος αντικατάστασης τμημάτων επένδυσης, $C_R = \sum_{i=1}^j PVF_i \cdot C_{R,i}$
- Εναπομείνουσα Αξία Επένδυσης, $S = 15\% C_0$ (€)

Οικονομικά Στοιχεία

- Κόστος κύκλου ζωής επένδυσης, $LCC = C_0 + C_R + C_{O\&M} - S$
- Καθαρό Ετήσιο Οικονομικό Όφελος : $ΚΕΟΟ = ΑΚΕΟΟ + ΕΚΕΟΟ$
- Έμμεσο Καθαρό Ετήσιο Οικονομικό Όφελος, $ΕΚΕΟΟ$
 - Περιορισμός Οικολογικής Επιβάρυνσης
 - Μείωση κοινωνικών δαπανών που προκαλούνται από συμβατικά καύσιμα
- Άμεσο Καθαρό Ετήσιο Οικονομικό Όφελος, $ΑΚΕΟΟ$

$$ΑΚΕΟΟ = \left(\frac{\text{Περίοδος Αξιοποίησης}}{\text{μέσα στο έτος, σε ημέρες}} \right) \times \left(\frac{\text{Κόστος Ηλεκτρικής}}{\text{Κιλοβατώρας}} \right) \times \left(\frac{\text{Πλήθος ΦΒ κιλοβατώραν}}{\text{ανά ημέρα}} \right)$$
- Εμπειρικά προκύπτει : $ΕΚΕΟΟ = 50\% ΑΚΕΟΟ \rightarrow ΚΕΟΟ = 1.5 ΑΚΕΟΟ$

Οικονομικά Στοιχεία

- Κόστος Ενέργειας (Cost of Energy): $COE = LCC \cdot CRF / E_y$
 - Το ετήσιο κόστος της παραγόμενης από το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας
 - E_y : Ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας
- Συντελεστής απόσβεσης επένδυσης σε έτη, $N_{\text{απόσβεσης}}$
 - Υπολογισμός των ετήσιων εσόδων (τιμή kWh(0.12-0.55) της ΔΕΗ x E_y)
 - Αρχικό κόστος εγκατάστασης + Ετήσιο Κόστος συντήρησης και λειτουργίας – Ετήσιες Απώλειες ΦΒ πλαισίων (1% ετησίως)
 - Εύρεση ισοζυγίου εσόδων – εξόδων σε N έτη.

Οικονομική Μελέτη

N=	20		Ερν(kWh/m)	
i=	-1.0%		Ιαν	10484
d=	8.0%		Φεβ	10434
$r = (d-i)/(1+i)$	0.091		Μαρ	13019
$N_{\text{a}} (\text{inv}) =$	7	14	Απρ	14339
$PVF = (1+r)^{-NR}$	0.544	0.296	Μαί	16471
$CRF = r / (1 - (1+r)^{-N})$	0.110		Ιουν	15535
$cpv(\text{Euro/W}) =$	0.5		Ιουλ	16221
$cinv(\text{Euro/W}) =$	0.4		Αυγ	16463
$P_p(\text{kW}) =$	80		Σεπ	15277
$P_{inv}(\text{kW}) =$	80		Οκτ	12760
			Νοε	9850
			Δεκ	8332
$CPV(\text{Euro}) =$	40000			
$Cinv(\text{Euro}) =$	32000			
$C_{\text{contr}}(\text{Euro}) =$	20000			
$C_{\text{el}} = C_{\text{inv}} + C_{\text{contr}}(\text{Euro})$	52000			
$C_{\text{eng}}(\text{Euro}) = 15\% \cdot C_{\text{el}}$	6000			
$CO(\text{Euro}) =$	98000			
$CO_{\text{a}} \text{ (year)} =$	800			
$CO_{\text{a}} \text{ (M)} = CO_{\text{a}} \cdot y / CRF$	7255.77			
$CR_{\text{inv}}(\text{Euro}) = PVF \cdot C_{\text{inv}}$	17403.24	9464.77		
$CR_{\text{total}}(\text{Euro}) = \Sigma CR_{\text{inv}}$	26868.01			
$S(\text{Euro}) = 15\% \cdot C_{\text{el}}$	6000			
$LCC = CO + CR + CO_{\text{a}} + S$	126123.78			
$E_y(\text{Annual Energy, kWh/y}) =$	159185.00			
$COE = LCC \cdot CRF / E_y$	0.087			

Οικονομική Μελέτη

- Αν η τιμή που αγοράζει η ΔΕΗ είναι 0,12€/kwh
 - Ποιο είναι το κέρδος σε 10 χρόνια
 - Σε πόσα χρόνια θα γίνει απόσβεση της επένδυσης;
 - Θεωρείστε ίδια παραγωγή κάθε χρόνο
 - Θεωρείστε σαν κόστος αναφοράς το LCC

Οικονομική Μελέτη

- Έσοδα σε 1 χρόνο : $E_y \cdot 0.12\text{€/kwh} = 19102.2\text{€}$
- Έσοδα σε 10 χρόνια : 191022 €
- Κέρδος = Έσοδα – LCC = 64898.22
- Απόσβεση (έτη) :

$$LCC / \text{κέρδος}(1 \text{ έτους}) = 126123.78 / 19102.2 = 6.6 \text{ έτη}$$