



$$\text{COP}_R = \frac{T_C}{T_H - T_C} \quad \text{Απόδοση ψύξης Carnot}$$

$$\text{COP}_H = \frac{T_H}{T_H - T_C} \quad \text{Απόδοση θέρμανσης Carnot}$$

$$\eta = 1 - \frac{T_C}{T_H} \quad \text{Απόδοση Carnot}$$

$$E_p = \eta_p \cdot \eta_t \cdot \eta_{pv} \cdot E_{sun} \cdot A \quad \text{Ενέργεια από φ/β}$$

$$P_p = \eta_p \cdot \eta_t \cdot \eta_{pv} \cdot P_{sun} \cdot A \quad \text{Ισχύς από φ/β}$$

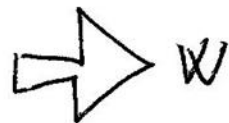
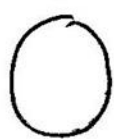
$$L_w = m \cdot c_p \cdot (T_d - T_s) \quad \text{Ενέργεια θέρμανσης}$$

$$\dot{L} = (UA)_h \cdot (T_d - T_s) \quad \begin{array}{l} \text{Ισχύς απωλειών} \\ \text{δεξαμενής} \end{array}$$

$$\dot{L} = S \cdot U_p \quad \begin{array}{l} \text{Ισχύς απωλειών σε} \\ \text{σωλήνες} \end{array}$$



500 K T_H



300 K T_C

Ideal = Carnot
so efficiency

$$\eta = 1 - \frac{T_C}{T_H}$$

$$\eta = 1 - \frac{300}{500} = 0.4$$

40%

Αν η ενέργεια που παίρνουμε από την θερμή δεξαμενή είναι 10 kWh σε θερμοκρασία 500 K, υπολογίστε πόση ποσότητα νερού αντιστοιχεί λαμβάνοντας υπόψη ότι σε αυτή τη θερμοκρασία το $C_p = 1954 \text{ J/kg K}$.



9. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΥΣΙΜΩΝ

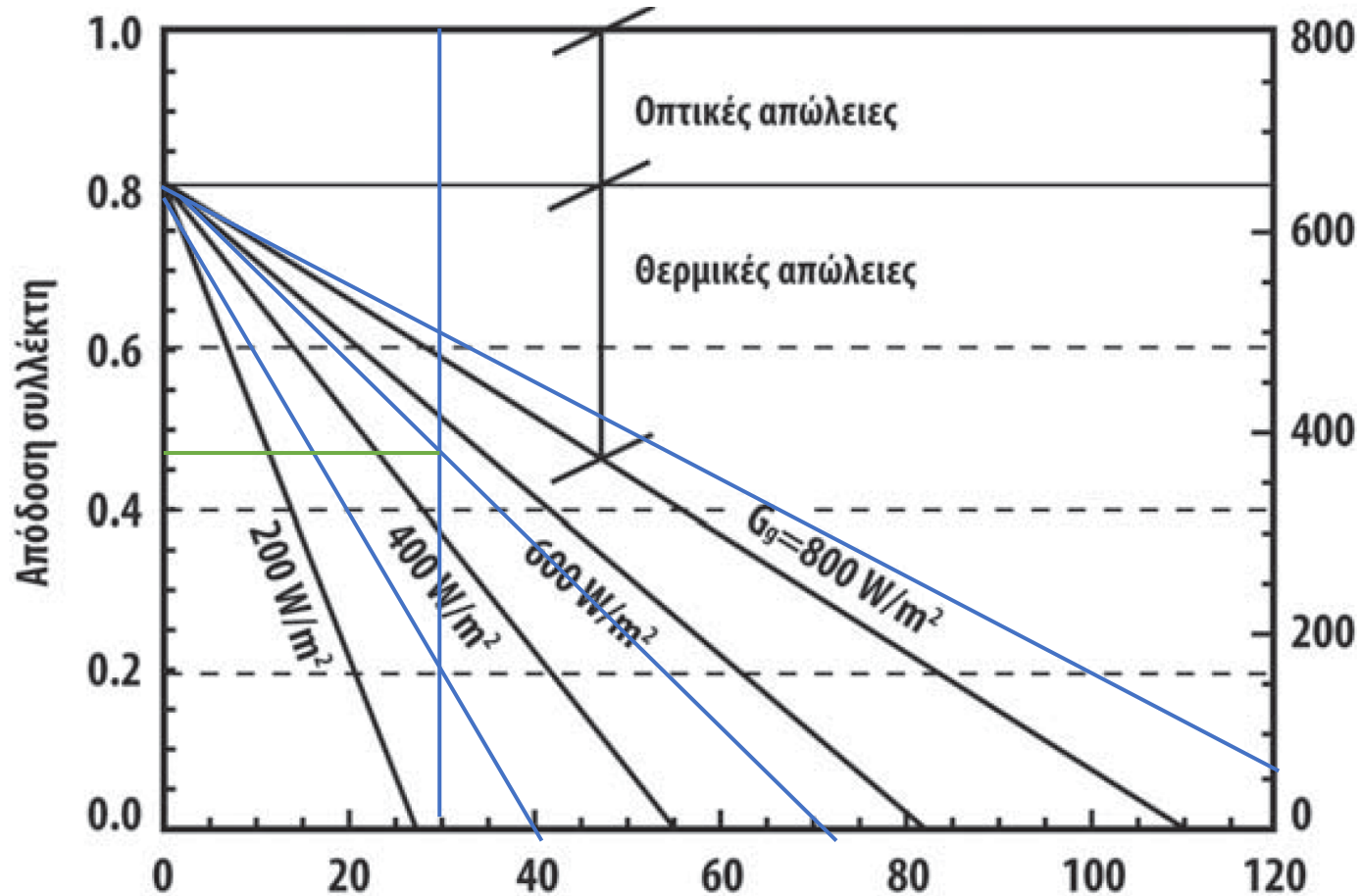
Στον πίνακα 7.1. δίνονται οι εκπομπές αερίων ρύπων για διάφορα καύσιμα που χρησιμοποιούνται στον κτηριακό τομέα.

Πίνακας 7.1. Συντελεστής εκπομπής αέριων ρύπων για διάφορα καύσιμα που χρησιμοποιούνται στον κτηριακό τομέα.

Καύσιμο	Κατώτερη θερμογόνος δύναμη	Πυκνότητα των καυσίμου	CO ₂	SO ₂	NO _x
	[kWh/kg]	[kg/m ³]	[g/kWh]	[g/kWh]	[g/kWh]
Πετρέλαιο θέρμανσης	11,92		263,6	0,1	200,0
Υγραέριο	12,73		238,0	0,0	165,1
Φυσικό αέριο	13,83		196,3	0,0	152,0
Βιομάζα (τυποποιημένη ή μη)	4,31		--	--	--
Λιγνίτης			1320,0	1,2	1,0
Ηλεκτρισμός (περιοχές που είναι διασυνδεδεμένες με το ηπειρωτικό ηλεκτρικό δίκτυο)			850,0	15,5	1,2
Ηλεκτρισμός (νησιά που δεν είναι διασυνδεδεμένα με το ηπειρωτικό ηλεκτρικό δίκτυο)			1062,5	19,4	1,5
Θερμική ενέργεια από τηλεθέρμανση			346,6	1,5	0,6

Πίνακας 5.14. Ενδεικτικές αποδόσεις μονάδων συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας / ψύξης.

Τύπος μονάδας συμπαραγωγής	Ονομαστική ηλεκτρική ισχύς	Ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης	Θερμικός βαθμός απόδοσης	Συνολικός βαθμός απόδοσης	Λόγος ηλεκτρικής / θερμική	Θερμ/σία εξόδου καυσαερίων
	[kW]	[%]	[%]	[%]	[-]	[°C]
Κυψέλες καυσίμου	3 - 30	20 - 30	25 - 35	45 - 60	0,7 - 1,0	140 - 200
Μηχανή Stirling	3 - 100	35 - 45	50 - 60	80 - 85	0,5 - 0,8	400 - 500
Μηχανή OTTO	15 - 1.300	32 - 35	50 - 60	80 - 85	0,5 - 0,8	400 - 450
Μηχανή DIESEL	100 - 20.000	35 - 45	40 - 45	70 - 80	0,7 - 0,9	320 - 450
Μικροτουρμπίνα	25 - 200	25 - 35	40 - 50	70 - 80	0,6 - 0,8	200 - 300
Ατμοστρόβιλος απομάστευσης	500 - 100.000	25 - 30	40 - 60	60 - 80	0,1 - 0,3	180 - 200
Αεριοστρόβιλος με λέβητα ανάκτησης θερμότητας	100 - 30.000	25 - 35	40 - 50	70 - 80	0,25 - 0,8	400 - 600



Σχήμα 1: Νομόγραμμα απόδοσης ηλιακού συλλέκτη

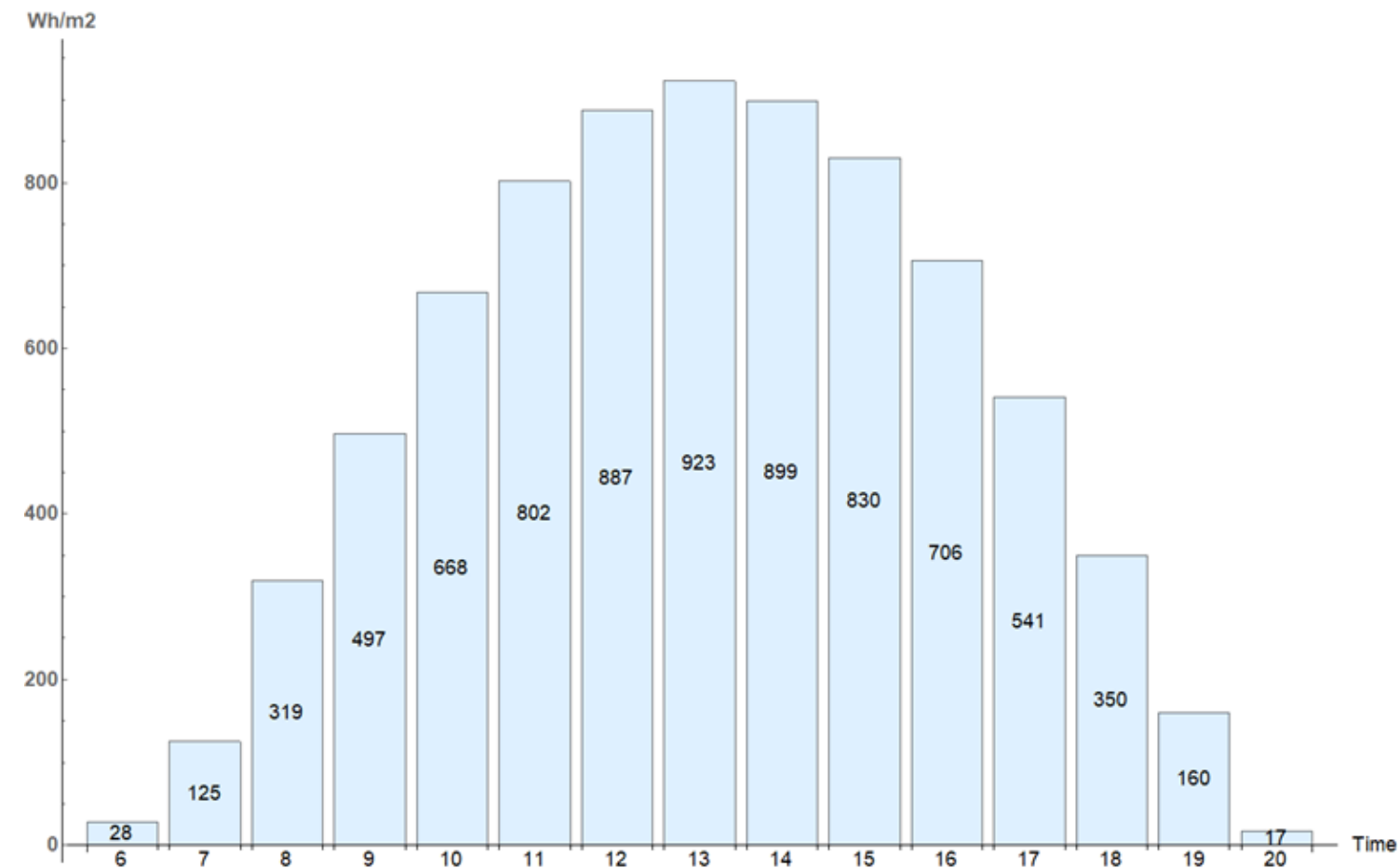
Με βάση το νομόγραμμα του σχήματος 1 και το διάγραμμα πυκνότητας ηλιακής ενέργειας του σχήματος 2 και θεωρώντας ότι έχουμε παροχή νερού με θερμοκρασία 15 °C και θέλουμε να έχει θερμοκρασία 45 °C εκτιμήστε:

1. Την συνολική θερμική ενέργεια που λαμβάνει το ηλιοθερμικό μας σύστημα
2. Το ποσοστό επί της συνολικής ενέργειας που λαμβάνει το σύστημά μας μεταξύ
 1. 06:00 -> 12:00
 2. 12:00 -> 18:00
 3. 18:00 -> 21:00
3. Την μέση ισχύ του συστήματος

06:00 -> 07:00 : Πυκνότητα ηλιακής ενέργειας 28 Wh/m². Εφόσον είναι για μια ώρα η μέση πυκνότητα ηλιακής ισχύος είναι 28 W/m². Επίσης $\Delta T = 30$ °C οπότε από το νομόγραμμα έχουμε σχεδόν 0 ενέργεια για αυτό το χρονικό διάστημα.

07:00 -> 08:00 : Πυκνότητα ηλιακής ενέργειας 125 Wh/m². Εφόσον είναι για μια ώρα η μέση πυκνότητα ηλιακής ισχύος είναι 125 W/m². Από το νομόγραμμα έχουμε σχεδόν 0 ενέργεια για αυτό το χρονικό διάστημα.

08:00 -> 09:00 : Πυκνότητα ηλιακής ενέργειας 319 Wh/m². Εφόσον είναι για μια ώρα η μέση πυκνότητα ηλιακής ισχύος είναι 319 W/m². Από το νομόγραμμα έχουμε 20 % απόδοση του ηλιοθερμικού οπότε η ενέργεια που λαμβάνουμε είναι $0,2 \cdot 319 \text{ Wh/m}^2 = 63,8 \text{ Wh/m}^2$



Σχήμα 2: Πυκνότητα Ηλιακής Ενέργειας μια τυπική ημέρα του Ιουλίου στα Χανιά

09:00 -> 10:00 : Πυκνότητα ηλιακής ενέργειας 497 Wh/m^2 . Εφόσον είναι για μια ώρα η μέση πυκνότητα ηλιακής ισχύος είναι 497 W/m^2 . Από το νομόγραμμα έχουμε περίπου 50 % απόδοση του ηλιοθερμικού οπότε η ενέργεια που λαμβάνουμε είναι $0,45 \cdot 497 \text{ Wh/m}^2 = 223,65 \text{ Wh/m}^2$

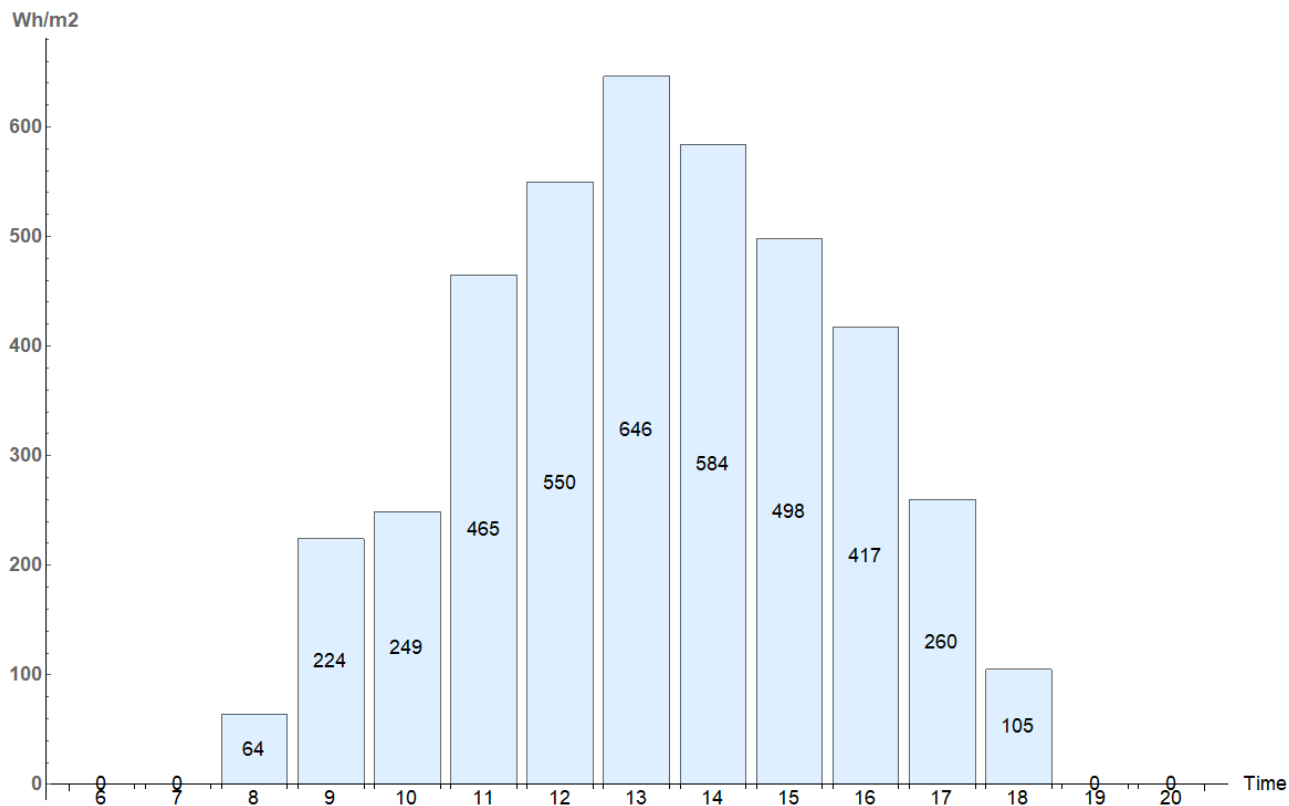
10:00 -> 11:00 : Πυκνότητα ηλιακής ενέργειας 668 Wh/m^2 . Εφόσον είναι για μια ώρα η μέση πυκνότητα ηλιακής ισχύος είναι 668 W/m^2 . Από το νομόγραμμα έχουμε περίπου 50 % απόδοση του ηλιοθερμικού οπότε η ενέργεια που λαμβάνουμε είναι $0,45 \cdot 668 \text{ Wh/m}^2 = 248,5 \text{ Wh/m}^2$

11:00 -> 12:00 : Μέση πυκνότητα ηλιακής ισχύος είναι 802 W/m^2 . Από το νομόγραμμα έχουμε περίπου 58 % απόδοση του ηλιοθερμικού οπότε η ενέργεια που λαμβάνουμε είναι $0,58 \cdot 802 \text{ Wh/m}^2 = 465,16 \text{ Wh/m}^2$

12:00 -> 13:00 : Μέση πυκνότητα ηλιακής ισχύος είναι 887 W/m^2 . Από το νομόγραμμα έχουμε περίπου 62 % απόδοση του ηλιοθερμικού οπότε η ενέργεια που λαμβάνουμε είναι $0,62 \cdot 887 \text{ Wh/m}^2 = 549,94 \text{ Wh/m}^2$

13:00 -> 14:00 : Μέση πυκνότητα ηλιακής ισχύος είναι 923 W/m^2 . Από το νομόγραμμα έχουμε περίπου 70 % απόδοση του ηλιοθερμικού οπότε η ενέργεια που λαμβάνουμε είναι $0,70 \cdot 923 \text{ Wh/m}^2 = 646,1 \text{ Wh/m}^2$

14:00 -> 15:00 : Μέση πυκνότητα ηλιακής ισχύος είναι 899 W/m^2 . Από το νομόγραμμα έχουμε περίπου 65 % απόδοση του ηλιοθερμικού οπότε η ενέργεια που λαμβάνουμε είναι $0,65 \cdot 899 \text{ Wh/m}^2 = 584,35 \text{ Wh/m}^2$



Σχήμα 3: Ενέργεια που αποδίδει το σύστημα μας ανά ώρα

15:00 -> 16:00 : Μέση πυκνότητα ηλιακής ισχύος είναι 830 W/m^2 . Από το νομόγραμμα έχουμε περίπου 60 % απόδοση του ηλιοθερμικού οπότε η ενέργεια που λαμβάνουμε είναι $0,60 \cdot 830 \text{ Wh/m}^2 = 498 \text{ Wh/m}^2$

16:00 -> 17:00 : Μέση πυκνότητα ηλιακής ισχύος είναι 706 W/m^2 . Από το νομόγραμμα έχουμε περίπου 59 % απόδοση του ηλιοθερμικού οπότε η ενέργεια που λαμβάνουμε είναι $0,59 \cdot 706 \text{ Wh/m}^2 = 416,54 \text{ Wh/m}^2$

17:00 -> 18:00 : Μέση πυκνότητα ηλιακής ισχύος είναι 541 W/m^2 . Από το νομόγραμμα έχουμε περίπου 48 % απόδοση του ηλιοθερμικού οπότε η ενέργεια που λαμβάνουμε είναι $0,48 \cdot 541 \text{ Wh/m}^2 = 259,68 \text{ Wh/m}^2$

18:00 -> 19:00 : Μέση πυκνότητα ηλιακής ισχύος είναι 350 W/m^2 . Από το νομόγραμμα έχουμε περίπου 30 % απόδοση του ηλιοθερμικού οπότε η ενέργεια που λαμβάνουμε είναι $0,30 \cdot 350 \text{ Wh/m}^2 = 105 \text{ Wh/m}^2$

19:00 -> 20:00 : Μέση πυκνότητα ηλιακής ισχύος είναι 160 W/m^2 . Από το νομόγραμμα έχουμε έχουμε σχεδόν 0 ενέργεια για αυτό το χρονικό διάστημα.

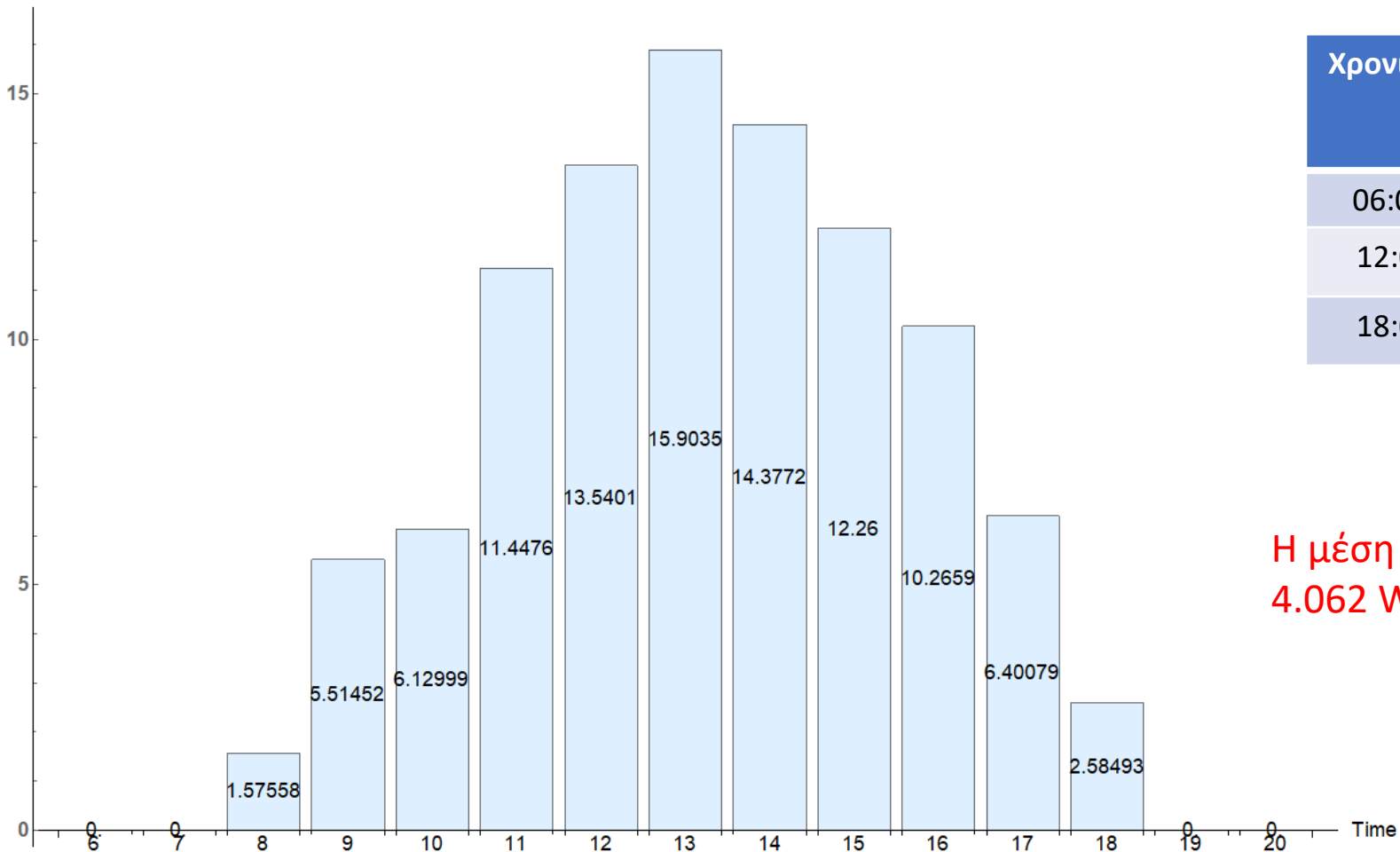
20:00 -> 21:00 : Μέση πυκνότητα ηλιακής ισχύος είναι 17 W/m^2 . Από το νομόγραμμα έχουμε έχουμε σχεδόν 0 ενέργεια για αυτό το χρονικό διάστημα.

Η συνολική ενέργεια που αποδίδει το σύστημα είναι το άθροισμα των ωριαίων απολαβών ενέργειας και είναι 4.062 Wh/m^2



Τα ποσοστά ανά τα διαστήματα που ζητήθηκαν δίνονται από τον παρακάτω πίνακα.

% of Total Energy per Day



Χρονική Περίοδος	Ενέργεια ως ποσοστό της συνολικής ημερήσιας ενέργειας
06:00 -> 12:00	24,67 %
12:00 -> 18:00	72,75 %
18:00 -> 21:00	2,58 %

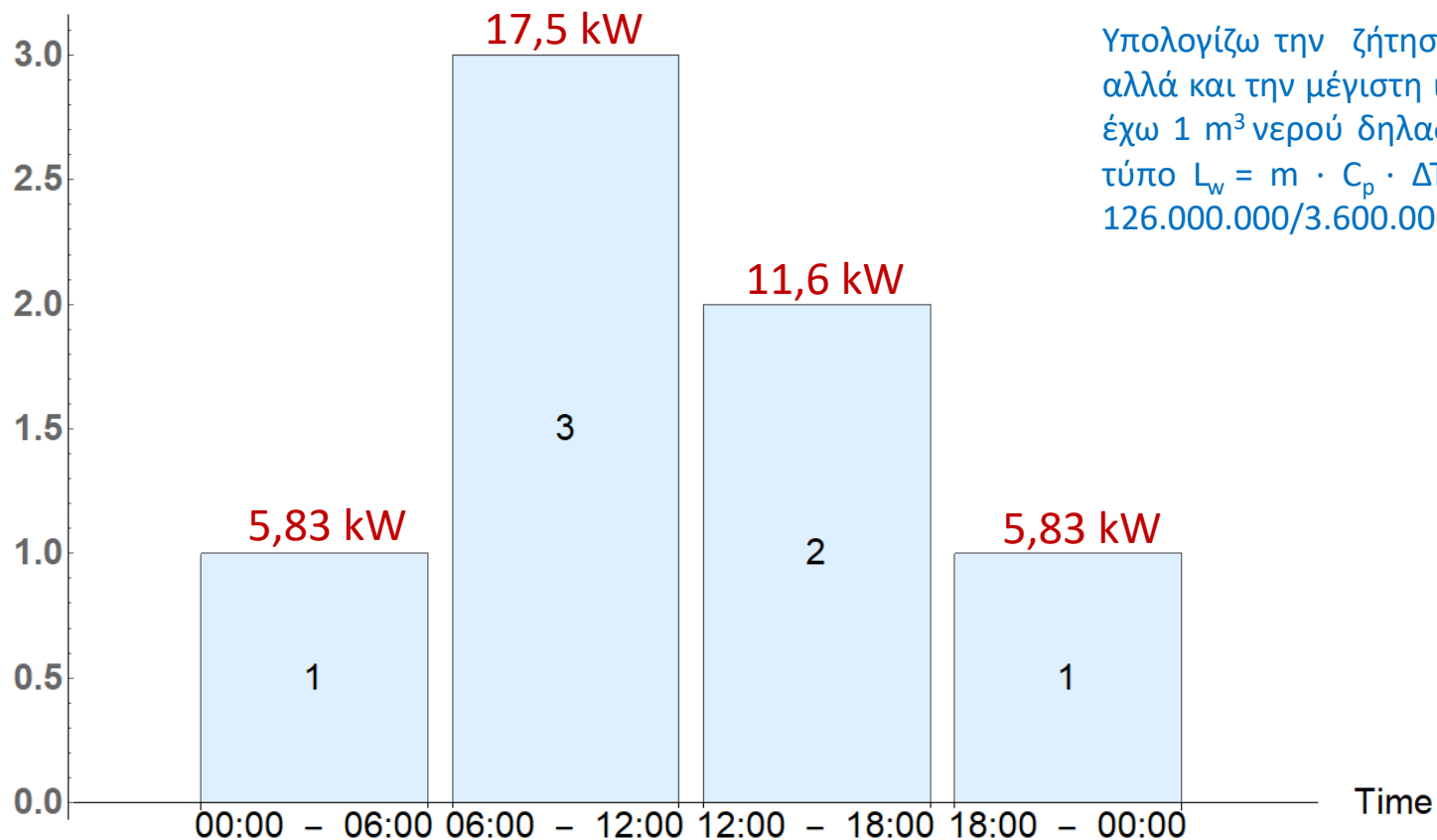
Η μέση ισχύς του συστήματος είναι
 $4.062 \text{ Wh/m}^2 / 15 \text{ h} = 270,8 \text{ W/m}^2$

Σχήμα 4: Ενέργεια ως ποσοστό της συνολικής ημερήσιας ενέργειας που αποδίδει το σύστημα μας ανά ώρα



Υποθέστε ότι η ζήτηση νερού για τη φοιτητική εστία δίνετε από το σχήμα 1. Απαιτείται νερό θερμοκρασίας 45 °C ενώ η θερμοκρασία δικτύου είναι 15 °C και η ειδική θερμοχωρητικότητα του νερού $C_p = 4.200 \text{ J/kg } ^\circ\text{C}$. Αγνοήστε τις απώλειες στους σωλήνες και της δεξαμενής αποθήκευσης του νερού.

Cubic meters



Σχήμα 1: Ημερήσια ζήτηση ζεστού νερού.

Υπολογίζω την ζήτηση και τον ρυθμό αυτής. Δηλαδή την ενέργεια που χρειάζομαι, αλλά και την μέγιστη ισχύ για το σύστημα. Η θερμική ενέργεια που χρειάζομαι για να έχω 1 m³ νερού δηλαδή 1000 kg νερού από τους 15 °C στους 45 °C δίνεται από τον τύπο $L_w = m \cdot C_p \cdot \Delta T = 1000 \text{ kg} \cdot 4.200 \text{ J/kg } ^\circ\text{C} \cdot (45 - 15) ^\circ\text{C} = 126.000.000 \text{ J} = 126.000.000 / 3.600.000 \text{ kWh} = 35 \text{ kWh}$

Για τα (1 + 3 + 2 + 1) m³ νερού δηλαδή 7 m³ νερού η ενέργεια που χρειαζόμαστε είναι $7 \cdot 35 \text{ kWh} = 245 \text{ kWh}$ **θερμικής ενέργειας**.

Εδώ πρέπει να δούμε με τι ρυθμό θα δώσουμε αυτή την ενέργεια. Αν θεωρήσουμε ότι δίνουμε την θερμική ενέργεια με ίδιο ρυθμό με την ζήτηση της (αποφεύγοντας ή με μικρή δεξαμενή αποθήκευσης) και θεωρώντας ότι έχουμε ένα σταθερό ρυθμό ζήτησης (δηλαδή η μέση τιμή της ισχύος είναι αντιπροσωπευτική) τότε για κάθε περίπτωση οι μέσες τιμές θερμικής ισχύος είναι:

- 00:00 -> 06:00 -> $35 \text{ kWh} / 6\text{h} = 5,83 \text{ kW}$
- 06:00 -> 12:00 -> $105 \text{ kWh} / 6\text{h} = 17,5 \text{ kW}$
- 12:00 -> 18:00 -> $70 \text{ kWh} / 6\text{h} = 11,6 \text{ kW}$
- 18:00 -> 00:00 -> $35 \text{ kWh} / 6\text{h} = 5,83 \text{ kW}$

Οπότε το σύστημα που θα θερμαίνει το νερό θα δίνει μέγιστη θερμική ισχύ 17,5 kW.



Έχουμε στην διάθεση μας:

- Ηλιοθερμικά με μέση ισχύ $0,3 \text{ kW/m}^2$ (μέση ημερήσια ηλιοφάνεια 10 ώρες)
- Αντλία θερμότητας με $\text{COP} = 4$
- Φωτοβολταϊκά με μέσο συντελεστή απόδοσης 0,11 και συντελεστές για θερμοκρασία και ρύπανση 0,9 και 0,96. Η μέση ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία στα Χανιά είναι 5 kWh/m^2
- Λέβητας βιομάζας με ενεργειακό περιεχόμενο καυσίμου $h_k = 3,5 \text{ kWh/kg}$ σε ξηρή βάση και συντελεστή απόδοσης λέβητα $\eta_\lambda = 90\%$

Διαστασιολογήστε

1. Τον συνδυασμό ηλιοθερμικών με αντλία θερμότητας
2. Τον συνδυασμό φωτοβολταϊκών με αντλία θερμότητας
3. Τον συνδυασμό λέβητα βιομάζας με ηλιοθερμικά
4. Έναν συνδυασμό αυτόνομο

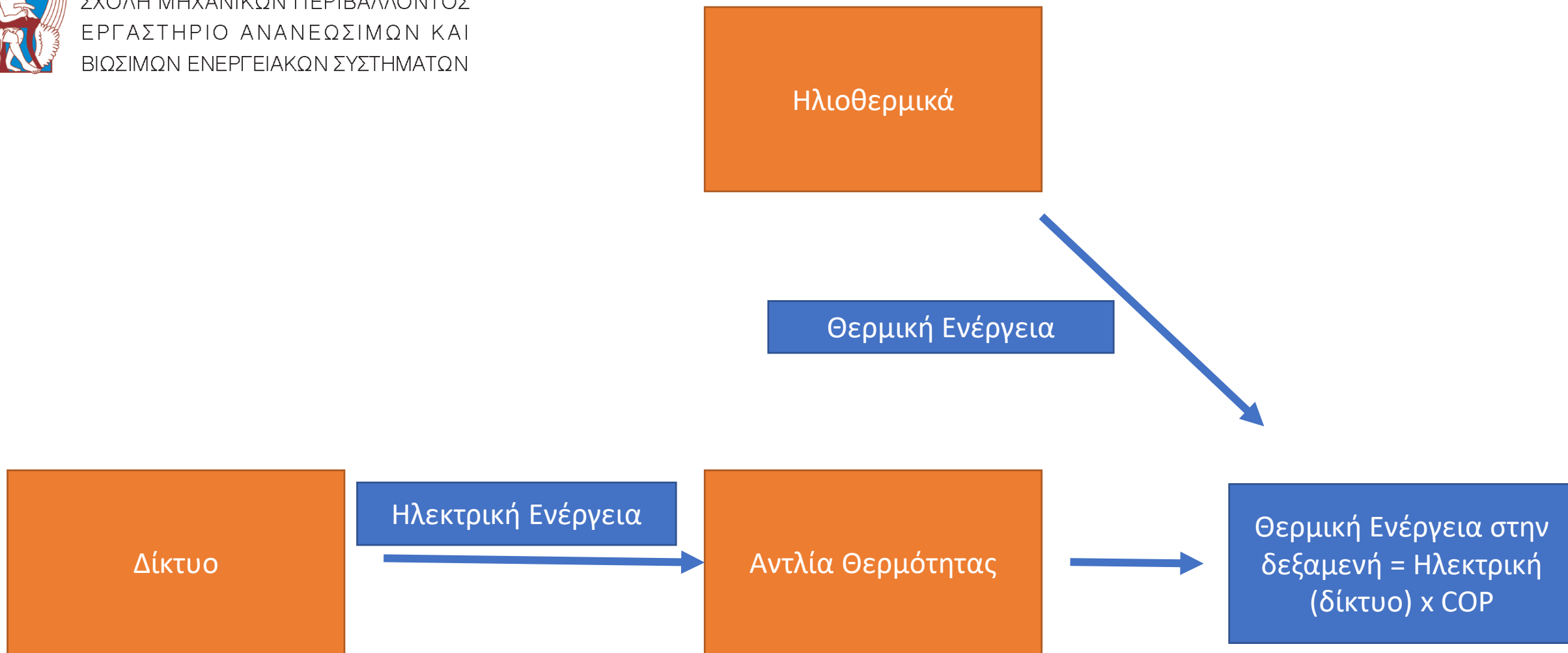
Για τις περιπτώσεις που δεν έχουμε ηλιοφάνεια ή έχουμε μέτρια ηλιοφάνεια χρειάζεται και ένα δεύτερο σύστημα να δώσει την θερμική ενέργεια που χρειαζόμαστε. Η αντλία θερμότητας (και τα γνωστά μας κλιματιστικά είναι αντλίες θερμότητας) είναι μια εξαιρετική επιλογή για να πάρουμε θερμική ενέργεια. Η αντλία θερμότητας καταναλώνει ηλεκτρική ενέργεια και μας δίνει θερμική ενέργεια τέτοια ώστε: Θερμική ενέργεια αντλίας θερμότητας (ΑΘ) = ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνει η ΑΘ $\times \text{COP}$, όπου COP ή coefficient of performance είναι η μέση απόδοση της ΑΘ. Έτσι για μια ΑΘ με $\text{COP} = 4$ για κάθε kWh ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνει η ΑΘ μας δίνει 4 kWh θερμικής. Για το πρόβλημά μας η μέγιστη θερμική ισχύ που απαιτείται είναι 17.5 kW άρα η μέγιστη ηλεκτρική ισχύς της ΑΘ θα είναι $17,5 \text{ kW} / \text{COP} = 17,5 \text{ kW} / 4 = 4,38 \text{ kW}$. Συνολικά η ηλεκτρική ενέργεια που θα καταναλώσει η ΑΘ για να ζεστάνει και τα 7 m^3 μια μέρα που δεν θα έχει ήλιο θα είναι $245 \text{ kWh} / 4 = 61,25 \text{ kWh}$ ηλεκτρικής ενέργειας. Το δεύτερο σύστημα θα πρέπει να έχει μεγαλύτερη ισχύ ώστε να καλύψει και περιπτώσεις αυξημένης ζήτησης.

1. Συνδυασμός ηλιοθερμικών με αντλία θερμότητας

Η συνολική θερμική ενέργεια που χρειαζόμαστε είναι 245 kWh. Εφόσον έχουμε ηλιοφάνεια η ενέργεια που θα παίρνουμε ανά m^2 είναι $0,3 \text{ kW/m}^2 \cdot 10 \text{ h} = 3 \text{ kWh/m}^2$. Για να καλύψουμε την θερμική ενέργεια που χρειαζόμαστε θα χρησιμοποιήσουμε $245 \text{ kWh} / 3 \text{ kWh/m}^2 = 81,6 \text{ m}^2$ ηλιοθερμικά. Η μέση ισχύς αυτού του συστήματος θα είναι: $81,6 \text{ m}^2 \cdot 0,3 \text{ kW/m}^2 = 24,5 \text{ kW}$.

Χαρακτηρισμός του συστήματος

Είναι προφανές ότι όταν δεν έχει ηλιοφάνεια το σύστημα δεν μπορεί να καλύψει την ζήτηση. Για αυτό το λόγο σίγουρα η λύση μας χρειάζεται και δεύτερη πηγή παραγωγής θερμικής ενέργειας. Αλλά και σε περίπτωση που έχουμε ηλιοφάνεια ο ήλιος θα δώσει περίπου το 60 % της ενέργειας του μεταξύ 10:00 -> 18:00. Οπότε σίγουρα από 06:00 -> 12:00 θα πρέπει να υπάρχει αποθηκευμένο ζεστό νερό. Έτσι μια δεξαμενή 4 m^3 είναι απαραίτητη.





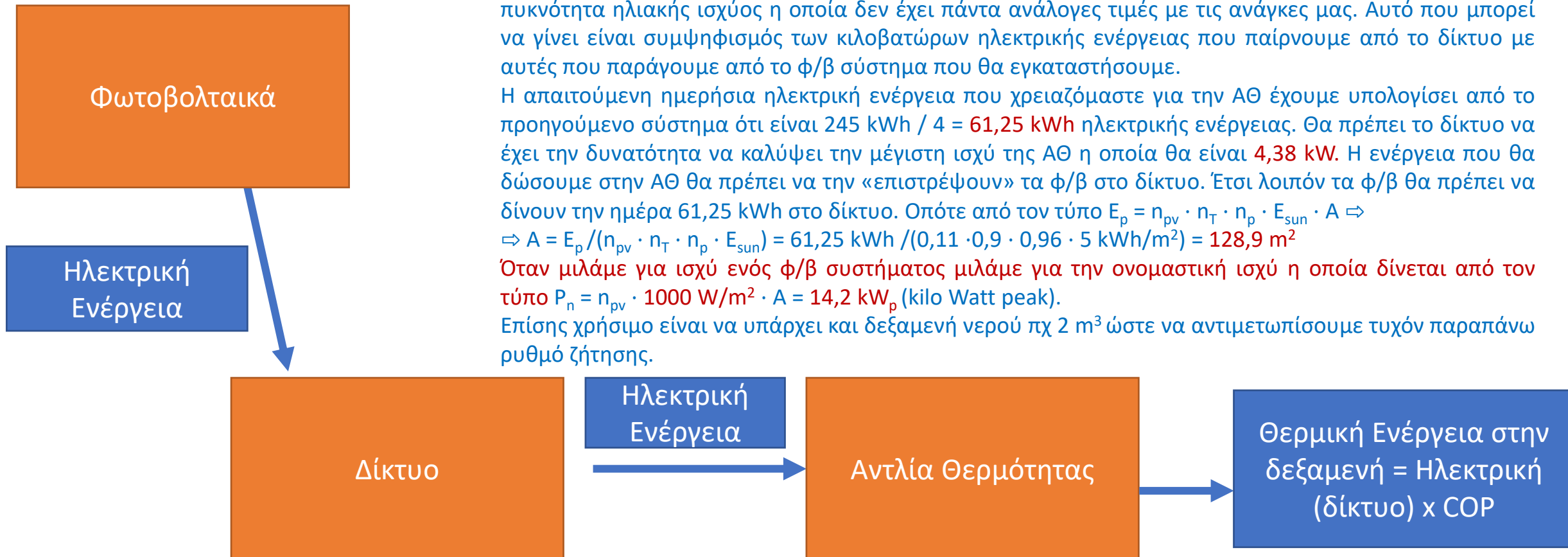
2. Συνδυασμός φ/β με αντλία θερμότητας

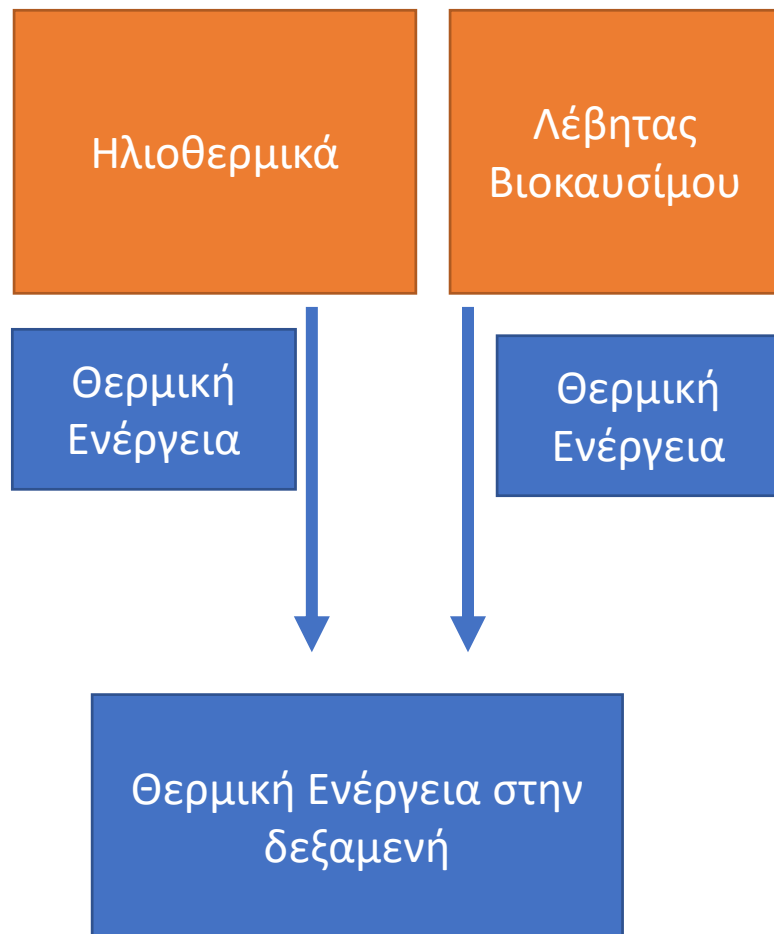
Ένα φ/β σύστημα παράγει μόνο ηλεκτρική ενέργεια. Χρειάζεται λοιπόν μια αντλία θερμότητας ώστε να μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια σε θερμική. Επίσης δεν νοείται κατευθείαν διοχέτευση της ηλεκτρικής ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά στην ΑΘ λόγω του ότι η ισχύς των φ/β έχει τιμές ανάλογες με την πυκνότητα ηλιακής ισχύος η οποία δεν έχει πάντα ανάλογες τιμές με τις ανάγκες μας. Αυτό που μπορεί να γίνει είναι συμψηφισμός των κιλοβατώραν ηλεκτρικής ενέργειας που παίρνουμε από το δίκτυο με αυτές που παράγουμε από το φ/β σύστημα που θα εγκαταστήσουμε.

Η απαιτούμενη ημερήσια ηλεκτρική ενέργεια που χρειαζόμαστε για την ΑΘ έχουμε υπολογίσει από το προηγούμενο σύστημα ότι είναι $245 \text{ kWh} / 4 = 61,25 \text{ kWh}$ ηλεκτρικής ενέργειας. Θα πρέπει το δίκτυο να έχει την δυνατότητα να καλύψει την μέγιστη ισχύ της ΑΘ η οποία θα είναι $4,38 \text{ kW}$. Η ενέργεια που θα δώσουμε στην ΑΘ θα πρέπει να την «επιστρέψουν» τα φ/β στο δίκτυο. Έτσι λοιπόν τα φ/β θα πρέπει να δίνουν την ημέρα $61,25 \text{ kWh}$ στο δίκτυο. Οπότε από τον τύπο $E_p = \eta_{pv} \cdot \eta_T \cdot \eta_p \cdot E_{sun} \cdot A \Leftrightarrow$
 $\Leftrightarrow A = E_p / (\eta_{pv} \cdot \eta_T \cdot \eta_p \cdot E_{sun}) = 61,25 \text{ kWh} / (0,11 \cdot 0,9 \cdot 0,96 \cdot 5 \text{ kWh/m}^2) = 128,9 \text{ m}^2$

Όταν μιλάμε για ισχύ ενός φ/β συστήματος μιλάμε για την ονομαστική ισχύ η οποία δίνεται από τον τύπο $P_n = \eta_{pv} \cdot 1000 \text{ W/m}^2 \cdot A = 14,2 \text{ kW}_p$ (kilo Watt peak).

Επίσης χρήσιμο είναι να υπάρχει και δεξαμενή νερού πχ 2 m^3 ώστε να αντιμετωπίσουμε τυχόν παραπάνω ρυθμό ζήτησης.





3. Συνδυασμός λέβητας βιομάζας με ηλιοθερμικά

Για τα ηλιοθερμικά έχουμε υπολογίσει το εμβαδόν τους καθώς και την ισχύ τους. Ανάλογα ο λέβητας βιομάζας θα πρέπει να έχει τέτοια ισχύ ώστε να μπορεί να αντικαταστήσει πλήρως τα ηλιοθερμικά. Η ισχύς ενός λέβητα εξαρτάται από το μέγεθος του καυστήρα και την τροφοδοσία του. Κάθε κιλό βιομάζας αποδίδει $0,9 \cdot 3,5 \text{ kWh/kg} = 3,15 \text{ kWh/kg}$. Η μέγιστη απαίτηση σε ισχύ είναι $17,5 \text{ kW}$ δηλαδή σε μια ώρα θα πρέπει να δίνει $17,5 \text{ kWh}$ άρα να καίει $17,5 \text{ kWh} / 3,15 \text{ kWh/kg} = 5,56 \text{ kg βιομάζας}$. Για να καλύψει όλη την θερμική ενέργεια που χρειαζόμαστε την ημέρα θα χρειαστεί $245 \text{ kWh} / 3,15 \text{ kWh/kg} = 77,78 \text{ kg βιομάζας}$.

Απαιτήσεις για δεξαμενή -> μικρή ($1 - 2 \text{ m}^3$).

Το εν λόγω σύστημα είναι και αυτόνομο, αρκεί να έχουμε μια μικρή αποθήκη για το pellet, άρα καλύπτουμε και το ερώτημα 4.