



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΚΑΙ
ΒΙΩΣΙΜΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Διευθυντής Εργαστηρίου Καθηγητής Θεοχάρης Τσούτσος

ΛΥΣΕΙΣ ΑΠΕ

Μπαράδακης Ευπρέπιος Msc

Ιούνιος 2019

Περιεχόμενα

1	Ενέργεια - Ισχύς	1
1.1	Εισαγωγή	1
1.1.1	Άσκηση	5
1.1.2	Άσκηση	6
1.1.3	Άσκηση	6
1.1.4	Άσκηση	7
2	Ηλιακή Ακτινοβολία	9
2.1	Εισαγωγή	9
2.1.1	Άσκηση	10
2.2	Θερμότητα - Ηλιοθερμικά	13
2.2.1	Άσκηση	14
2.2.2	Άσκηση	17
2.2.3	Άσκηση	18
2.2.4	Άσκηση	19
2.3	Φωτοβολταικά	19
2.3.1	Άσκηση	19
2.3.2	Άσκηση	21
2.3.3	Άσκηση	22
2.3.4	Άσκηση	22
2.4	Αιολική Ενέργεια	24
2.4.1	Άσκηση	24
2.4.2	Άσκηση	24
2.5	Ενέργεια από Βιομάζα	24
2.5.1	Άσκηση	24
2.5.2	Άσκηση	25
3	Άλλες μορφές ΑΠΕ	27
3.1	Υδροηλεκτρική Ενέργεια	27
3.1.1	Άσκηση	27

3.2	Γεωθερμική Ενέργεια	29
3.2.1	Άσκηση	29

Κεφάλαιο 1

Ενέργεια - Ισχύς

1.1 Εισαγωγή

Ενέργεια είναι μια ποσοτική μεταβλητή ιδιότητα ενός φυσικού συστήματος που εκφράζει την ικανότητα παραγωγής έργου ή θερμότητας. Ορίζεται ως το γινόμενο της δύναμης F με την απόσταση s .

$$E = \int F ds$$

Μονάδα μέτρησης της ενέργειας είναι το *joule* [J] και η διαστασιολογική ανάλυση του μεγέθους μας δίνει:

$$\dim E = \dim(F) \dim(s) = M L^2 T^{-2}$$

Στον πίνακα 1.1 παρουσιάζονται οι διαστάσεις των θεμελιωδών μεγεθών και οι μονάδες τους στο SI.

Η ενέργεια μπορεί να είναι δυναμική για ένα σώμα μάζας m που βρίσκεται σε ύψος h από ένα επίπεδο αναφοράς στην γη ή οποία έχει επιτάχυνση βαρύτητας g . Έτσι η ενέργεια δίνεται από τον τύπο:

$$E = m g h = \dim(m) \dim(g) \dim(h) = M L T^{-2} L = M L^2 T^{-2}$$

Η ενέργεια μπορεί να είναι κινητική για ένα σώμα μάζας m που κινείται με ταχύτητα u . Έτσι η ενέργεια δίνεται από τον τύπο:

$$E = \frac{1}{2} m u^2 = \dim(m) (\dim(u))^2 = M L^2 T^{-2}$$

Πίνακας 1.1: Πίνακας διαστάσεων των θεμελιωδών μεγεθών

Διάσταση (Dimension)	Σύμβολο	Μονάδα (SI)	Σύμβολο μονάδας (SI)
Μήκος (Length)	L	meter	m
Μάζα (Mass)	M	kilogram	kg
Χρόνος (Time)	T	second	s
Θερμοκρασία (Temperature)	Θ	kelvin	K
Ποσότητα ύλης (Amount of substance)	N	Mole	mol
Ένταση φωτός (Light Intensity)	J	candela	cd
Ηλεκτρικό ρεύμα (Electric Current)	I	ampere	A

Ισχύς είναι ο ρυθμός μεταβολής της ενέργειας. Θα ισχύει:

$$P = \frac{E}{t}$$

όπου E είναι η ενέργεια και t ο χρόνος που παίρνει/δίνει ενέργεια το φυσικό σύστημα. Στο διεθνές σύστημα μονάδων (SI), μονάδα για την ισχύ είναι το watt(W). Έτσι:

$$W = \frac{J}{s}$$

Μια εμπειρική μονάδα ευρέως χρησιμοποιούμενη για την ενέργεια είναι η κιλοβατώρα η οποία εκφράζει την ενέργεια που παίρνει/δίνει ένα φυσικό σύστημα όταν παίρνει/δίνει ενέργεια με ρυθμό 1 kW για μια ώρα(1 h). Ακολουθεί ο Πίνακας 1.2 με κάποιες χαρακτηριστικές περιπτώσεις μετατροπής μονάδων ενέργειας, ενώ ο Πίνακας 1.3 έχει κάποιες χαρακτηριστικές περιπτώσεις μετατροπής μονάδων ισχύος.

Πίνακας 1.2: Πίνακας με χαρακτηριστικές περιπτώσεις μετατροπής μονάδων ενέργειας

	ισούται με
1 watt second (Ws)	1 Joule (J)
1 watt minute (Wmin)	60 J
1 watt hour (Wh)	3,600 J
1 watt hour (Wh)	3.6 kJ
1 kilowatt hour (kWh)	3.6 MJ
1 megajoule (MJ)	0.278 kWh
1 kilowatt hour (kWh)	3,412 Btu
1 kilowatt hour (kWh)	860 kilocalories (kcal)
1.16 kilowatt hour (kWh)	1000 kcal
1 kilowatt hour (kWh)	3,600 kilojoules (kJ)
1 kilowatt hour (kWh)	1.34 horsepower hours (hph)
1 horsepower hour (hph)	0.746 kilowatt hours (kWh)
1 kilowatt hour (kWh)	1 thousand watt hours (Wh)
1 megawatt hour (MWh)	1 million watt hours (Wh)
1 gigawatt hour (GWh)	1 billion watt hours (Wh)
1 terawatt hour (TWh)	1 trillion watt hours (Wh)
1 gigawatt hour (MWh)	1 million kilowatt hours (kWh)
1 terawatt hour (TWh)	1 billion kilowatt hours (kWh)
1 terawatt hour (TWh)	1 million megawatt hours (MWh)

Πίνακας 1.3: Πίνακας με χαρακτηριστικές περιπτώσεις μετατροπής μονάδων ισχύος

	ισούται με
1 Joule per second (J/s)	1 watt (W)
1 Btu per second (Btu/s)	1.055 kilowatts (kW)
1 Btu per second (Btu/s)	1.415 horsepower (hp)
1 Btu per second (Btu/s)	0.252 kilocalories per second (kcal/s)
1 kilowatt (kW)	0.9478 Btu per second (Btu/s)
1 kilowatt (kW)	1.341 horsepower (hp)
1 kilowatt (kW)	0.2388 kilocalories per second (kcal/s)
1 horsepower (hp)	0.7457 kilowatts (kW)
1 horsepower (hp)	0.1781 kilocalories per second (kcal/s)
1 horsepower (hp)	0.7068 Btu per second (Btu/s)

Πίνακας 1.4: Πίνακας χαρακτηριστικών πολλαπλασίων ισχύος στο διεθνές σύστημα (SI)

Value	SI symbol	Name
10^3 W	kW	kilowatt
10^6 W	MW	megawatt
10^9 W	GW	gigawatt
10^{12} W	TW	terawatt
10^{15} W	PW	petawatt
10^{18} W	EW	exawatt
10^{21} W	ZW	zettawatt
10^{24} W	YW	yottawatt
10^{-3} W	mW	milliwatt
10^{-6} W	μW	microwatt
10^{-9} W	nW	nanowatt
10^{-12} W	pW	picowatt
10^{-15} W	fW	femtowatt
10^{-18} W	aW	attowatt
10^{-21} W	zW	zeptowatt
10^{-24} W	yW	yoctowatt

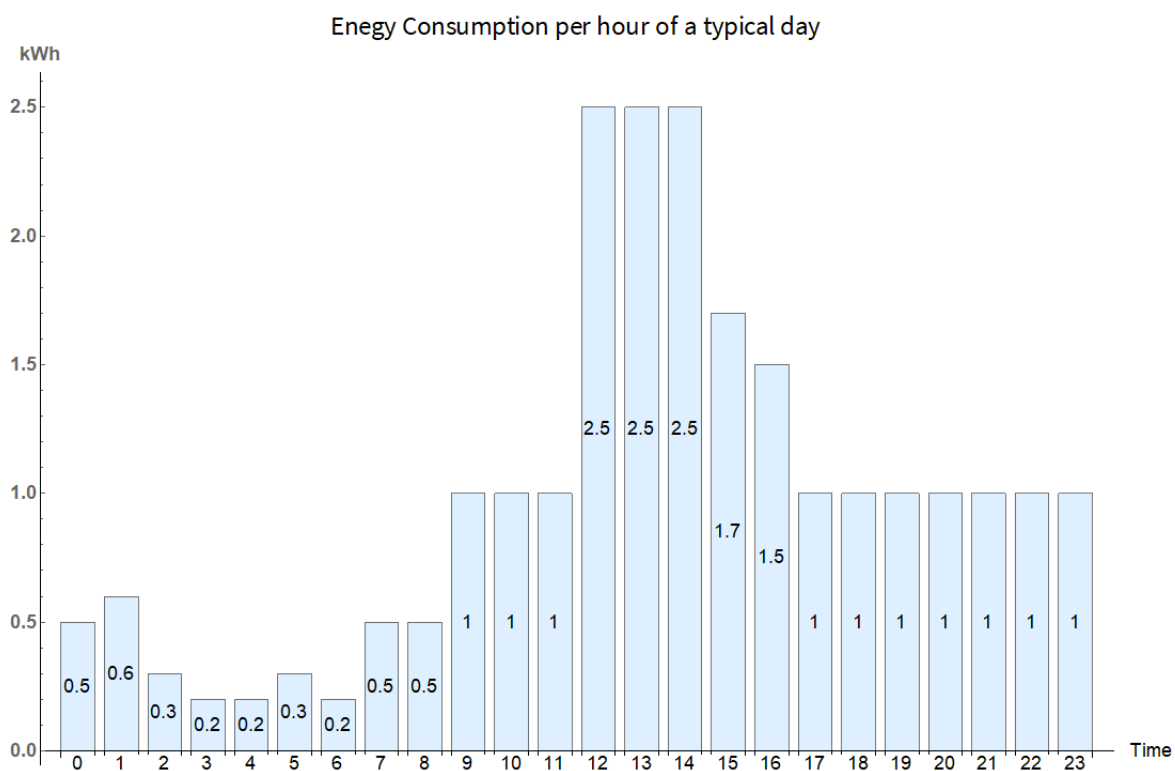
Προφανώς δεν χρειάζεται να απομνημονεύσουμε την κάθε μετατροπή. Παρόλα αυτά θα πρέπει να έχουμε μια αίσθηση της τάξης μεγέθους κάποιων βασικών μονάδων δηλαδή την ενέργεια που απαιτούν ή παράγουν κάποιες βασικές ανθρώπινες δραστηριότητες. Μερικά παραδείγματα είναι τα ακόλουθα:

- 1) Η μέση κατανάλωση ανά άτομο στην Ελλάδα ηλεκτρικής ενέργειας είναι 4 kWh/day .
- 2) Η μέση ισχύς που χρειάζεται ένας επιτραπέζιος υπολογιστής είναι 80 W .
- 3) Η μέση ισχύς που καταναλώνεται στο Πολυτεχνείο Κρήτης είναι 450 kW ενώ η ενέργεια που καταναλώνεται σε ένα χρόνο είναι (το μέγιστο τα τελευταία 10 χρόνια) 4.3 GWh . Πρόκειται για κτίρια συνολικής οριζόντιας έκτασης 60 στρεμμάτων στα οποία επιτελούνται εκπαιδευτικές δραστηριότητες που καλύπτουν τις ανάγκες $6,000$ εγγεγραμμένων φοιτητών.
- 4) Για να ανεβάσουμε την θερμοκρασία 1 m^3 νερού κατά 1°C χρειαζόμαστε περίπου 1 kWh -(1.16 για την ακρίβεια)- θερμική ενέργεια.
- 5) Η θερμική ισχύς που χρειάζεται ένα γραφείο στα Χανιά είναι περίπου 2 kW .
- 6) Η μέση κατανάλωση νερού για γρήγορο μπάνιο είναι περίπου $50 - 70 \text{ L}$.

1.1.1 Άσκηση

Ένα σπίτι στην Ελλάδα βρίσκεται σε απομονωμένη περιοχή και χωρίς ηλεκτρικό δίκτυο φιλοξενώντας οικογένεια 5 ατόμων.

- I) Δώστε μια εκτίμηση της ημερήσιας κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας.
- II) Αν θεωρήσουμε ότι κάποιο μήνα το σχήμα 1.1 δίνει την τυπική κατανάλωση ενέργειας του σπιτιού προτείνετε τρόπους για να καλυφθεί αυτή η ζήτηση δίνοντας την ισχύ του κάθε συστήματος.



Σχήμα 1.1: Τυπική ημερήσια κατανάλωση σπιτιού. Για κάθε ώρα (0..23) φαίνεται η ενέργεια που καταναλώθηκε.

Λύση:

- I) Η μέση κατανάλωση ανά άτομο την ημέρα στην Ελλάδα είναι 4 kWh/day . Άρα για 5 άτομα θα είναι προσεγγιστικά 20 kWh/day .
- II) Για τις ώρες μεταξύ 11 – 16 προτείνουμε φωτοβολταϊκό σύστημα το οποίο δίνει ηλεκτρική ισχύ στο σπίτι ως $2,5 \text{ kW}$. Για τις υπόλοιπες ώρες άλλα και για την

κάλυψη του σπιτιού σε περίπτωση μη ηλιοφάνειας ή μη κάλυψης από το φωτοβολταϊκό σύστημα μπορούμε να έχουμε γεννήτρια με βιοντίζελ ισχύος $2,5\text{ kW}$. Αν θέλουμε να έχουμε κάποια ασφάλεια ότι η ζήτηση μας θα ικανοποιείται πάντα είναι λογικό η γεννήτρια βιοντίζελ να είναι 3 kW .

1.1.2 Άσκηση

Ένα σπίτι στην Ελλάδα θερμαίνεται/ψύχεται από τρία κλιματιστικά, το καθένα έχει μέση ισχύ 600 W ενώ η μέγιστη ισχύς του μπορεί να φθάσει το $1,5\text{ kW}$.

- I) Πόση ενέργεια χρειαζόμαστε ημερησίως;
- II) Αν θεωρήσουμε ότι έχουμε ένα σύστημα για να καλύψουμε αυτή τη ζήτηση, ποια θα είναι η ελάχιστη ισχύς του συστήματος;

Λύση:

- I) Η μέση ισχύ κάθε κλιματιστικού είναι 600 W άρα και για τα τρία κλιματιστικά θα έχουμε μέση ισχύ 1800 W ή $1,8\text{ kW}$. Εφόσον μιλάμε για μέση ισχύ μιλάμε για 24 ώρες λειτουργίας. Οπότε η ενέργεια που απαιτούν τα τρία κλιματιστικά θα είναι $E = Pt = 1,8\text{ kW} \cdot 24\text{ h} = 43,2\text{ kWh}$.
- II) Η πιο δυσμενής περίπτωση είναι να λειτουργούν και τα τρία κλιματιστικά στο μέγιστο της ισχύς τους. Κατά συνέπεια θα χρειάζονται ισχύ $3 \cdot 1,5\text{ kW} = 4,5\text{ kW}$ η οποία θα πρέπει να είναι η ελάχιστη διαθέσιμη ισχύς του συστήματος που τους δίνει ενέργεια.

1.1.3 Άσκηση

Στην Νότια Αυστραλία το 2017 τοποθετήθηκε για την υποστήριξη του ηλεκτρικού δικτύου της περιοχής σύστημα συσσωρευτών με τα χαρακτηριστικά για όλο το σύστημα $100\text{ MW} / 129\text{ MWh}$.

- I) Τι πληροφορίες μας δίνουν αυτά τα χαρακτηριστικά;
- II) Βρείτε τον ελάχιστο χρόνο που χρειαζόμαστε για να αδειάσουν οι συσσωρευτές.
- III) Αν το ηλεκτρικό δίκτυο απαιτεί 20 MW ισχύ για 6 ώρες μπορεί αυτό το σύστημα μπαταριών να ανταποκριθεί;

Λύση:

- I) Οι 129 MWh είναι η ηλεκτρική ενέργεια που αποθηκεύει το σύστημα. Ενώ 100 MW είναι η μέγιστη ισχύς που μπορεί να δώσει το σύστημα. Δεν μπορεί να δώσει παραπάνω ισχύ λόγω των περιορισμών από την ισχύ που μπορούν

να μεταφέρουν με καλή απόδοση τα καλώδια αλλά και η εσωτερική δομή του συστήματος. Σε περίπτωση που δώσουμε μεγαλύτερη ισχύ θα έχουμε μεγάλες απώλειες σε θερμότητα και ίσως έχουμε και λιώσιμο ή καταστροφή καλωδίων ή άλλων συστημάτων του συστήματος συσσωρευτών.

- II) Ο ελάχιστος χρόνος για να καταναλώσουμε την ενέργεια των 129 MWh μπορεί να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας την μεγαλύτερη ισχύ δηλαδή 100 MW . Αλλά

$$E = Pt \implies t = \frac{E}{P} = \frac{129\text{ MWh}}{100\text{ MW}} = 1.29\text{ h}$$

Για τον υπολογισμό θεωρούμε ότι το σύστημα των συσσωρευτών έχει την δυνατότητα να δώσει όλη του την ενέργεια, καθώς επίσης αγνοούνται και οι απώλειες σε θερμότητα της διαδικασίας.

- III) Χρησιμοποιώντας πάλι τον τύπο $E = Pt$ θα έχουμε ότι θα πρέπει να ισχύει ότι:

$$E \geq Pt \implies 129\text{ MWh} \geq 20\text{ MW} \cdot 6\text{ h} \implies 129\text{ MWh} \geq 120\text{ MWh}$$

Οπότε ναι το σύστημα μπορεί να δώσει 20 MW ισχύ για 6 ώρες.

1.1.4 Άσκηση

Μία γρήγορη λύση για εξοικονόμηση ενέργειας είναι η αντικατάσταση ενεργοβόρων λαμπτήρων με λαμπτήρες πιο νέας τεχνολογίας. Οι συνήθεις λαμπτήρες φθορίου έχουν απόδοση 80 lumen/W όπου *lumen* είναι μονάδα μέτρησης της φωτεινής ροής. Ένα κτίριο φωτίζεται από λαμπτήρες φθορίου συνολικής ισχύος 5 kW και λειτουργούν κατά μέσο όρο 6 ώρες την ημέρα για 365 ημέρες το χρόνο. Υπολογίστε πόση ενέργεια θα εξοικονομήσουμε αν τους αντικαταστήσουμε με λαμπτήρες που έχουν απόδοση 150 lumen/W .

Λύση: Με τους λαμπτήρες φθορίου έχουμε 80 lumen/W . Για κατανάλωση λοιπόν $5\text{ kW} = 5.000\text{ W}$ θα έχουμε $5.000\text{ W} \cdot 80\text{ lumen/W} = 400.000\text{ lumen}$. Οι νέοι λαμπτήρες θα πρέπει να μας δώσουν την ίδια φωτεινή ροή δηλαδή 400.000 lumen . Η ισχύ που χρειάζονται είναι $\frac{400.000\text{ lumen}}{150\text{ lumen/W}} = 2.666\text{ W}$. Η διαφορά ισχύος μετά την επέμβαση θα είναι λοιπόν $(5000 - 2.666)\text{ W} = 2.333\text{ W}$. Η ενέργεια που θα εξοικονομήσουμε για κάθε χρόνο θα είναι: $E = Pt \implies E = 2,33\text{ kW} \cdot 6\text{ h} \cdot 365\text{ days} \implies E = 5.103\text{ kWh}$.

Κεφάλαιο 2

Ηλιακή Ακτινοβολία

2.1 Εισαγωγή

Τα δεδομένα ηλιακής ακτινοβολίας είναι το βασικό εργαλείο το οποίο μας επιτρέπει να σχεδιάσουμε ένα ηλιοθερμικό ή φωτοβολταϊκό σύστημα ή να υπολογίσουμε τα ποσά θερμότητας που λαμβάνει ένα κτίριο, μια δεξαμενή ή οποιαδήποτε κατασκευή για την οποία το φυσικό μέγεθος της θερμοκρασίας αλλά και η θερμότητα που δίνει ή παίρνει από το περιβάλλον και τον ήλιο είναι σημαντικά για την λειτουργία της. Ο ήλιος είναι μια ανεξάντλητη πηγή ενέργειας. Για να σχεδιάσουμε τον τρόπο χρησιμοποίησης της θα πρέπει να έχουμε την τιμή της ηλιακής ακτινοβολίας σε όσο το δυνατόν πιο τακτά χρονικά διαστήματα. Μερικές βασικές αρχές σχεδιασμού είναι:

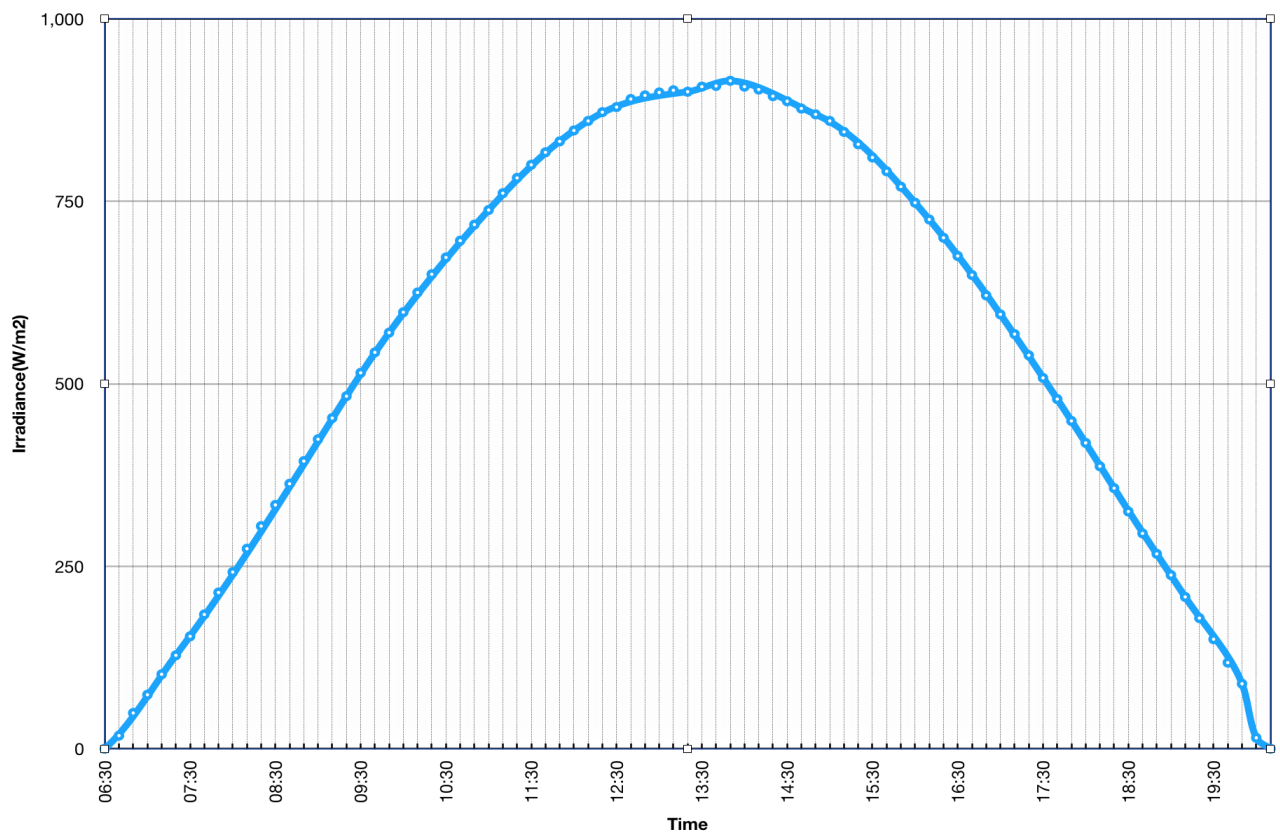
- I) Για φωτοβολταϊκά συστήματα μας ενδιαφέρει η ολική ηλιακή ακτινοβολία ενώ για ηλιοθερμικά η άμεση ηλιακή ακτινοβολία.
- II) Η ηλιακή ακτινοβολία σε ένα σώμα είναι η μέγιστη δυνατή όταν το σώμα είναι προσανατολισμένο προς τον ισημερινό. Αυτό σημαίνει ότι αν πχ είμαστε στο Βόρειο ημισφαίριο το σώμα θα πρέπει να έχει προσανατολισμό νότιο.
- III) Η ηλιακή ακτινοβολία σε ένα σώμα είναι η μέγιστη δυνατή όταν το σώμα έχει κλίση 0 ή 45° .
- IV) Μια σωστή μελέτη θα πρέπει να προσομοιώνει την συμπεριφορά της κατασκευής μας για όσο το δυνατόν μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Καλό είναι λοιπόν να έχουμε δεδομένα πολλών ετών ώστε το αποτέλεσμα μας να είναι αντιπροσωπευτικό και αξιόπιστο. Τα δεδομένα ηλιακής ακτινοβολίας μαζί με δεδομένα θερμοκρασίας και υγρασίας της περιοχής είναι πολύτιμα για την αξιόπιστη πρόβλεψη των θερμικών αναγκών της κατασκευής μας.

2.1.1 Άσκηση

Το παρακείμενο φύλλο excel περιέχει τις μετρήσεις του πυρανομέτρου του εργαστηρίου στις 10/07/2014 όπως μετρήθηκε με το πυρανόμετρο του φορητού μετεωρολογικού σταθμού στο χώρο του εκπαιδευτικού εργαστηρίου του Resel) καθώς και το διάγραμμα που προκύπτει από αυτές. Υπολογίστε με δυο τρόπους την ημερήσια πυκνότητα ηλιακής ακτινοβολίας (ενέργειας) που προσπίπτει σε οριζόντια επιφάνεια:

- I) μέσω των τιμών του φύλλου excel.
- II) μέσω του διαγράμματος (γραφικός τρόπος).
- III) Συγκρίνετε τις τιμές που βρήκατε με τους δυο τρόπους.
- IV) Υπολογίστε (κατά προσέγγιση) την μηνιαία (για τον μήνα Ιούλιο) ηλιακή ακτινοβολία (με βάση τη τιμή για την 10/07/2014) και συγκρίνετε με την τιμή που δίνεται για τα Χανιά από τον πίνακα κλιματικών δεδομένων του TEE (δίνεται 229 kWh/m^2).

Time (h:min)	Irradiance W/m^2	Time (h:min)	Irradiance W/m^2	Time (h:min)	Irradiance W/m^2	Time (h:min)	Irradiance W/m^2
6:30	0	10:10	625	13:50	915	17:30	508
6:40	18	10:20	650	14:00	907	17:40	479
6:50	49	10:30	673	14:10	903	17:50	449
7:00	74	10:40	696	14:20	894	18:00	419
7:10	102	10:50	718	14:30	887	18:10	387
7:20	128	11:00	738	14:40	877	18:20	357
7:30	154	11:10	761	14:50	869	18:30	325
7:40	184	11:20	782	15:00	860	18:40	295
7:50	214	11:30	800	15:10	845	18:50	267
8:00	242	11:40	817	15:20	828	19:00	238
8:10	274	11:50	832	15:30	810	19:10	208
8:20	305	12:00	847	15:40	791	19:20	179
8:30	334	12:10	860	15:50	770	19:30	150
8:40	363	12:20	872	16:00	748	19:40	118
8:50	394	12:30	879	16:10	725	19:50	89
9:00	424	12:40	890	16:20	700	20:00	15
9:10	453	12:50	895	16:30	675	20:10	0
9:20	483	13:00	899	16:40	649	20:20	0
9:30	515	13:10	902	16:50	621	20:30	0
9:40	543	13:20	900	17:00	595	20:40	0
9:50	570	13:30	907	17:10	568	20:50	0
10:00	598	13:40	908	17:20	539	21:00	0



Λύση:

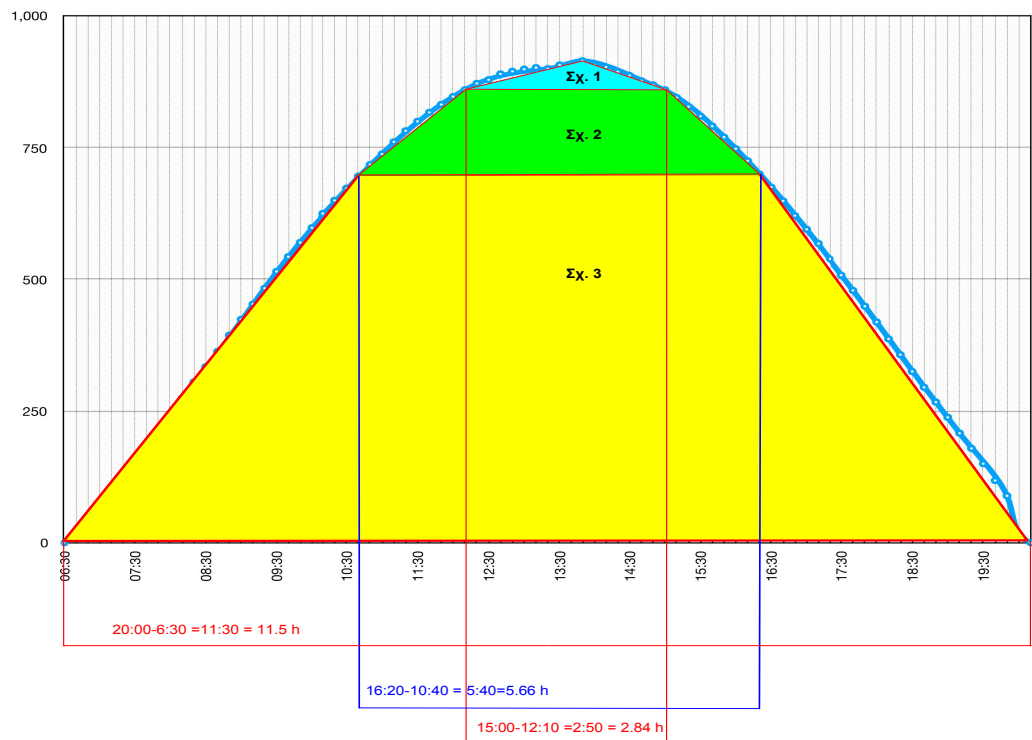
- I) Στο συγκεκριμένο φύλλο του excel έχουμε δεδομένα της πυκνότητας ηλιακής ισχύος (Irradiance) και χρόνου. Είναι γνωστό ότι η ενέργεια ισούται με την ισχύ επί τον χρόνο, δηλ. $E_i = P_i t_i$. Έτσι δημιουργούμε μια καινούργια στήλη την οποία ονομάζουμε πυκνότητα ηλιακής ενέργειας (Irradiation). Κάθε κελί της συγκεκριμένης στήλης θα ισούται με $P_i t_i$ όπου το P_i θα είναι σε W/m^2 ενώ ο χρόνος θα πρέπει να είναι σε h ώστε το αποτέλεσμα μας να είναι σε Wh/m^2 . Λαμβάνοντας δε υπόψη ότι τα χρονικά βήματα είναι ίσα μεταξύ τους και έχουν την τιμή $10 min$ έχουμε ότι $t_i = 10 min \frac{1}{60} \frac{h}{min} = 0,17 h$. Οπότε ο πίνακας θα πάρει την παρακάτω μορφή:

Time (h:min)	Irradiance (W/m^2)	Irradiation (Wh/m^2)
Time	Irradiance	Irradiance * 0.17

Η ημερήσια πυκνότητα ηλιακής ακτινοβολίας θα είναι το άθροισμα της στήλης

Irradiation δηλ. θα έχουμε ότι
$$E_{day} = \sum_{t=6:30}^{t=21:00} E_i t_i = 7,591 kWh$$

II) Για την γραφική λύση χωρίζουμε τις περιοχές του διαγράμματος σε τρία σχήματα όπως φαίνεται παρακάτω:



Για τα σχήματα 3 και 2 έχουμε ότι το εμβαδόν τους είναι:

Σχήμα 3: $E_3 = \frac{B+b}{2} h_3$, όπου B, b η μεγάλη και μικρή βάση του τραπεζίου. Η μεγάλη βάση $B = 20 : 00 - 6 : 30 (h) = 11,5 h$, ενώ η μικρή $b = 16 : 20 - 10 : 40 (h) = 5,66 h$. Το ύψος του τραπεζίου είναι η τιμή της ηλιακής ακτινοβολίας όταν η ώρα είναι 10:40, δηλ. $h_3 = 696 W/m^2$. Τελικά το εμβαδόν του σχήματος 3 θα είναι: $E_3 = \frac{11,5+5,66}{2} 696 \frac{Wh}{m^2} = 5.971,68 \frac{Wh}{m^2}$.

Σχήμα 2: Η μεγάλη βάση $B = 16 : 20 - 10 : 40 (h) = 5.66 h$, ενώ η μικρή $b = 15 : 00 - 12 : 10 (h) = 2,84 h$. Το ύψος του τραπεζίου είναι η τιμή της ηλιακής ακτινοβολίας όταν η ώρα είναι 15:00 ($860 W/m^2$) μείον την τιμή της η-

λιακής ακτινοβολίας όταν η ώρα είναι 10:40 (696 W/m^2), δηλ. $h_2 = 164 \text{ W/m}^2$. Τελικά το εμβαδόν του σχήματος 2 θα είναι: $E_2 = \frac{5.66+2.84}{2} 164 \frac{\text{Wh}}{\text{m}^2} = 697 \frac{\text{Wh}}{\text{m}^2}$.

Σχήμα 1: Το σχήμα αυτό είναι τρίγωνο με βάση $b = 2,84 h$ και ύψος την μέγιστη τιμή της ηλιακής ακτινοβολίας μείον την τιμή της ηλιακής ακτινοβολίας την ώρα 15:00, οπότε για το εμβαδόν του θα έχουμε: $E_1 = \frac{2,8455}{2} \frac{\text{Wh}}{\text{m}^2} = 78,1 \frac{\text{Wh}}{\text{m}^2}$.

Τελικά λοιπόν θα είναι $E_{total} = E_1 + E_2 + E_3 = 6.746,78 \frac{\text{Wh}}{\text{m}^2}$.

- III) Η τιμή που παίρνουμε με τον γραφικό τρόπο είναι σε σχέση με την τιμή που μας δίνει ο υπολογισμός στο excel περίπου 11% μικρότερη. Η πραγματικότητα είναι ότι και οι δύο υπολογισμοί εμπεριέχουν ποσοστό λάθους. Ο υπολογισμός στο excel για κάθε χρονικό βήμα θεωρεί σταθερή την τιμή της ηλιακής ακτινοβολίας. Έτσι λοιπόν όσο πιο μικρό είναι το χρονικό βήμα τόσο πιο ακριβή αποτελέσματα θα έχουμε με αυτή την μέθοδο. Με την συγκεκριμένη μέθοδο έχουμε υπερεκτίμηση της τιμής.

Όσον αφορά την γραφική μέθοδο το σφάλμα που προκύπτει οφείλεται στο ότι δεν μπορούμε να προσεγγίσουμε με απόλυτη ακρίβεια το εμβαδόν χρησιμοποιώντας μόνο 2 ή 3 σχήματα. Για το αν το αποτέλεσμα μας είναι μικρότερο ή μεγαλύτερο από την πραγματική τιμή δεν μπορούμε να έχουμε ένα γενικό συμπέρασμα. Όπως δουλέψαμε στην συγκεκριμένη περίπτωση το αποτέλεσμα δείχνει (από το σχήμα) να είναι κάτω από την πραγματική μας τιμή.

- IV) Θεωρώντας ότι η τιμή που πήραμε συμπίπτει με την μέση τιμή της πυκνότητας ηλιακής ενέργειας για τον Ιούλιο θα έχουμε χρησιμοποιώντας το αποτέλεσμα της γραφική μέθοδο ότι συνολική πυκνότητα ηλιακής ενέργειας για τον Ιούλιο θα είναι $E_{July-graph} = 31 \text{ day} 6,75 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \text{ day}} = 209,25 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$ για τον Ιούλιο. Αν χρησιμοποιήσουμε την τιμή που πήραμε χρησιμοποιώντας το excel θα έχουμε $E_{July-excel} = 31 \text{ day} * 7,59 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \text{ day}} = 235,29 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$ για τον Ιούλιο.

2.2 Θερμότητα - Ηλιοθερμικά

Σε αυτή την ενότητα εξετάζουμε την δυνατότητα να αντλήσουμε θερμική ενέργεια από τον ήλιο και να την χρησιμοποιήσουμε. Όταν παράγουμε ενέργεια χαμηλής και μέσης ενθαλπίας (θερμότητα με θερμοκρασίες ως 250°C) μπορούμε να την χρησιμοποιήσουμε αποδοτικά στην ίδια μορφή που την παράγουμε δηλαδή χωρίς την μετατροπή της. Την θερμότητα υψηλής ενθαλπίας (θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 250°C) μπορούμε να την χρησιμοποιήσουμε και για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η σχέση του Carnot μας δίνει την δυνατότητα να εξετάσουμε την απόδοση της μετατροπής. Όταν έχουμε μια θερμή θερμική δεξαμενή με θερμοκρασία $T_H(^{\circ}\text{K})$ και μια ψυχρή δεξαμενή

με θερμοκρασία $T_C(^{\circ}K)$ τότε μπορούμε να παράγουμε έργο με απόδοση $\eta = 1 - \frac{T_C}{T_H}$. Στις περισσότερες πραγματικές εφαρμογές η πραγματική απόδοση που πετυχαίνουμε είναι περίπου στο 60% της απόδοσης του Carnot. Ένα άλλο σημαντικό στοιχείο της στρατηγικής μας στο σχεδιασμό συστημάτων θέρμανσης είναι η απόσταση από το σημείο που παράγουμε την θερμότητα ως το σημείο που την χρησιμοποιούμε. Η ιδανική περίπτωση είναι να έχουμε την μικρότερη δυνατή απόσταση από το σημείο παραγωγής ως το σημείο κατανάλωσης. Αν για παράδειγμα σχεδιάζετε την θέρμανση διάσπαρτων κτιρίων η καλύτερη στρατηγική είναι να κάνετε μικρές επιτόπιες μονάδες παραγωγής θερμότητας και όχι ένα κεντρικό σύστημα παραγωγής. Ένας άλλος τομέας που σχετίζεται άμεσα με την ηλιακή ακτινοβολία είναι η θερμική συμπεριφορά των κτιρίων. Πάνω από το 50% της ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρώπη σήμερα καταναλώνεται στην θέρμανση και ψύξη των κτιρίων. Είναι προφανές λοιπόν ότι ο σωστός σχεδιασμός των κτιρίων αποτελεί σημαντική προτεραιότητα για έναν μηχανικό.

2.2.1 Άσκηση

Για μια κατοικία έχει σχεδιαστεί σύστημα που προμηθεύει ζεστό νερό χρήσης θερμοκρασίας $45^{\circ}C$ με ηλιακούς συλλέκτες. Το νερό μπαίνει στους συλλέκτες σε θερμοκρασία $14^{\circ}C$ (για το μήνα Μάρτιο) ενώ η καθημερινή ποσότητα ζεστού νερού που χρειαζόμαστε είναι 300 L (για μια τετραμελή οικογένεια). Η δεξαμενή έχει συντελεστή θερμικών απωλειών $11\text{ W}/^{\circ}C$ ενώ το σύστημα σωλήνων έχει συντελεστή θερμικών απωλειών $1,5\text{ W}/m$ με συνολικό μήκος δικτύου 25 m . Υπολογίστε:

- I) Το συνολικό εβδομαδιαίο και μηνιαίο θερμικό φορτίο που θα χρειαστούμε για το μήνα Μάρτιο σε J και σε kWh .
- II) Πώς θα επηρεαστεί το εβδομαδιαίο και μηνιαίο φορτίο αν μειωθεί η κατανάλωση νερού στο μισό;
- III) Πώς θα επηρεαστεί το εβδομαδιαίο φορτίο αν διατηρηθεί σταθερή η κατανάλωση και μειωθεί η θερμοκρασία του ζεστού νερού στους $40^{\circ}C$;
- IV) Πώς θα επηρεαστεί το εβδομαδιαίο φορτίο αν κάνουμε πιο αποτελεσματική τη μόνωση του δοχείου αποθήκευσης μειώνοντας στο μισό τον συντελεστή θερμικών απωλειών;

Στους υπολογισμούς του II ερωτήματος θεωρείστε ότι οι απώλειες από την δεξαμενή και τους σωλήνες μεταφοράς του νερού είναι ανάλογες του θερμικού φορτίου που διακινείται. Δίνεται ότι η πυκνότητα του νερού είναι $1\text{ kg}/L$ και ειδική θερμοχωρητικότητα νερού $C_p = 4.190\text{ J}/Kg^{\circ}C$. Η μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος για το μήνα Μάρτιο είναι $20^{\circ}C$.

Λύση:

I) Το θερμικό φορτίο που θα χρειαστούμε για την ικανοποίηση των αναγκών σε ζεστό νερό χρήσης αναλύεται ως εξής:

- 1) Σε θερμικό φορτίο που χρειάζεται για την θέρμανση του νερού από την θερμοκρασία που βρίσκεται αρχικά T_s (supply temperature) που στην περίπτωση μας είναι $T_s = 14^\circ C$ σε μια θερμοκρασία T_d (delivery temperature) που είναι $T_d = 45^\circ C$. Εφόσον η μάζα του νερού που θα πρέπει να θερμανθεί είναι $m = 300 L \cdot 1 kg/L = 300 kg$ και η ειδική θερμοχωρητικότητα του νερού είναι $C_p = 4.190 J/kg^\circ C = 1,16 Wh/kg^\circ C$ θα έχουμε ότι η θερμική ενέργεια που χρειαζόμαστε κάθε ημέρα (24 h), L_{w-day} , για να αποκτήσει το νερό την απαιτούμενη θερμοκρασία θα επαληθεύει την σχέση:

$$L_{w-day} = m C_p (T_d - T_s)$$

Αντικαθιστώντας θα έχουμε $L_{w-day} = 300 kg \cdot 1,16 Wh/kg^\circ C (45 - 14)^\circ C = 10.788 Wh$

- 2) Σε θερμική ενέργεια L_{t-day} που χάνεται καθημερινά λόγω απωλειών θερμότητας από την δεξαμενή αποθήκευσης με συντελεστή θερμικών απωλειών $(UA)_t$ όταν η θερμοκρασία του περιβάλλοντος είναι T_a (ambient temperature) και η θερμοκρασία της δεξαμενής είναι T_t (tank temperature). Έτσι έχουμε:

$$L_{t-day} = (UA)_t (T_t - T_a) 24 hours = 11 W/^\circ C (45 - 20)^\circ C 24 h = 6.600 Wh$$

Αξίζει να προσεχθεί ότι η ενέργεια των απωλειών από την δεξαμενή είναι παραπάνω από το μισό της ενέργειας που χρειαζόμαστε για να ζεστάνουμε το νερό χρήσης. Επίσης να επισημάνουμε ότι ο τύπος αυτός δεν εμπεριέχει στοιχεία γεωμετρίας ή μάζας του σώματος. Δεχόμαστε λοιπόν ότι η τιμή του $(UA)_t$ αντιπροσωπεύει τα γεωμετρικά στοιχεία της δεξαμενής καθώς και τον τρόπο χρήσης της κατανάλωσης.

- 3) Για μήκος σωληνώσεων $d = 25 m$ και συντελεστή απωλειών $(UA)_p = 1,5 W/m$ η θερμική ενέργεια που θα καταναλωθεί στους σωλήνες θα είναι $L_{p-day} = (UA)_p d 24 hours = 1,5 W/m \cdot 25 m \cdot 24 h = 900 Wh$

Τελικά η συνολική ενέργεια $L_{total-day}$ που χρειαζόμαστε για να ικανοποιήσουμε τις ανάγκες της κατοικίας σε ζεστό νερό χρήσης για μία ημέρα θα είναι $L_{total-day} = L_w + L_t + L_p = 10.788 Wh + 6.600 Wh + 900 Wh = 18.288 Wh = 18,29 kWh = 65.836.800 J$.

Για την εβδομάδα:

$$L_{total-week} = L_{total-day} 7 = 128.016 Wh = 128,02 kWh = 460.857.600 J$$

Για το μήνα Μάρτιο:

$$L_{total-month} = L_{total-day} 31 = 566.928 Wh = 566,93 kWh = 2.040.940.800 J$$

- II) Αν μειωθεί η κατανάλωση του νερού στο μισό θα έχουμε μείωση μόνο του L_w στο μισό καθώς οι απώλειες της δεξαμενής και οι απώλειες στις σωληνώσεις δεν εξαρτώνται από την μάζα του νερού. Έτσι για την συνολική ημερήσια κατανάλωση ενέργειας θα έχουμε:

$$L_{total-day} = \frac{L_w}{2} + L_t + L_p = 5.394 Wh + 6.600 Wh + 900 Wh = 12.894 Wh = 12,89 kWh = 46.418.400 J.$$

Για την εβδομάδα:

$$L_{total-week} = L_{total-day} 7 = 90.258 Wh = 90,26 kWh = 324.928.800 J$$

Για το μήνα Μάρτιο:

$$L_{total-month} = L_{total-day} 31 = 399.714 Wh = 399,71 kWh = 1.438.970.400 J$$

Παρατηρήστε ότι με μείωση της κατανάλωσης νερού στο 50% έχουμε για το ποσοστό μεταβολής $\frac{90.26-128.02}{128.02} 100\% = -29,5\%$ δηλ. έχουμε μείωση 29,5% των θερμικών απαιτήσεων.

- III) Αν διατηρηθεί σταθερή η κατανάλωση και μειωθεί η θερμοκρασία του ζεστού νερού στους $40^\circ C$ τότε θα έχουμε μεταβολή του θερμικού φορτίου που χρειάζεται για να ζεσταθεί το νερό αλλά και μείωση των απωλειών της δεξαμενής. Στην πραγματικότητα θα αλλάξει και ο συντελεστής απωλειών των σωληνών. Στην συγκεκριμένη άσκηση θεωρούμε ότι σε αυτό το εύρος της θερμοκρασιακής μεταβολής θα είναι σταθερός. Έχουμε λοιπόν:

$$L_{w-day} = m C_p (T_d - T_s) = 9.048 Wh = 9,05 kWh = 32.572.800 J \implies \\ L_{w-week} = L_{w-day} 7 = 63.336 Wh = 63,34 kWh = 228.009.600 J$$

$$L_{t-day} = (UA)_t (T_t - T_a) 24 hours = 5.280 Wh = 5,28 kWh = 19.008.000 J \implies \\ L_{t-week} = L_{t-day} 7 = 36.960 Wh = 36,96 kWh = 133.056.000 J$$

$$L_{p-week} = 7900 Wh = 6,3 kWh$$

Το συνολικό εβδομαδιαίο φορτίο (το) είναι $L_{total-week} = 63,34 kWh + 36,96 kWh + 6,3 kWh = 106,6 kWh$

Η ποσοστιαία (%) μεταβολή από την αρχική τιμή ($128,02 kWh$) θα είναι: $\frac{106,6-128,02}{128,02} 100\% = -16,73\%$ δηλαδή έχουμε μείωση περίπου 17% των ενεργειακών απαιτήσεων.

IV) Σε αυτή την περίπτωση έχουμε μεταβολή μόνο του $L_{p-week-new} = \frac{L_{p-week}}{2} = 3,15 kWh$

Οι συνολικές θερμικές απαιτήσεις θα είναι $L_{total-week} = 103,45 kWh$ και η ποσοστιαία μείωση της κατανάλωσης 19%.

2.2.2 Άσκηση

Κτίριο έχει συντελεστή θερμικών απωλειών $(UA)_h = 335 W/^{\circ}C$ και θέλουμε να διατηρείται σε θερμοκρασία $20^{\circ}C$.

- I) Πόση είναι η θερμοκρασία αναφοράς αν ο εσωτερικός ρυθμός προσφοράς θερμικής ενέργειας είναι $1,34 kW$;
- II) Αν θεωρήσουμε ότι το κτίριο βρίσκεται στα Χανιά και οι βαθμοημέρες DD για τους μήνες Ιανουάριο και Απρίλιο είναι $263^{\circ}C$ και $129^{\circ}C$ αντίστοιχα, υπολογίστε τα θερμικά φορτία που θα χρειαστούμε αυτούς τους μήνες.
- III) Πόσο θα ήταν το αντίστοιχο φορτίο θέρμανσης για τον μήνα Ιανουάριο στην Ορεστιάδα (βαθμοημέρες: $540^{\circ}C$); Σχολιάστε το αποτέλεσμα.

Λύση:

- I) Εφόσον $(UA)_h$ είναι ο συντελεστής των θερμικών απωλειών και T_h η εσωτερική θερμοκρασία του κτιρίου, θα ισχύει ότι:

$$T_h = T_b + \frac{\dot{q}}{(UA)_h}$$

όπου $\dot{q}$ η ενεργειακή απολαβή του κτιρίου και T_b η θερμοκρασία αναφοράς. Επιλύοντας ως προς T_b θα έχουμε ότι: $T_b = T_h - \frac{\dot{q}}{(UA)_h} \implies T_b = 20^{\circ}C - \frac{1.340 W}{335 W/^{\circ}C} = 16^{\circ}C$

- II) Αν είναι γνωστές οι βαθμοημέρες θέρμανσης ενός μήνα $(DD)_h$ μπορεί να υπολογιστεί το θερμικό φορτίο L , με την βοήθεια της σχέσης:

$$L = (DD)_h (UA)_h (3600 \cdot 24) [J]$$

Για τον Ιανουάριο Χανιά: $L = 263^{\circ}C \cdot 335 W/^{\circ}C \cdot (3.600 \cdot 24) sec [J] = 7.612.272.000 J = 2.114,52 kWh$

Για τον Απρίλιο Χανιά: $L = 129^{\circ}C \cdot 335 W/^{\circ}C \cdot (3.600 \cdot 24) sec [J] = 3.733.776.000 J = 1.037,16 kWh$

- III) Για τον Ιανουάριο Ορεστιάδα: $L = 540^{\circ}C \cdot 335 W/^{\circ}C \cdot (3.600 \cdot 24) sec [J] = 15.629.760.000 J = 4.341,6 kWh$

Από την σύγκριση συμπεραίνουμε ότι οι ανάγκες θέρμανσης στην Ορεστιάδα είναι πάνω από δύο φορές μεγαλύτερες από ότι στα Χανιά για τον μήνα Ιανουάριο.

2.2.3 Άσκηση

Σχεδιάζεται το σύστημα του ζεστού νερού χρήσης ενός κτηρίου στην περιοχή της Θεσσαλονίκης. Η ημερήσια κατανάλωση νερού θερμοκρασίας 45°C εκτιμάται 500 L και είναι σταθερή σε όλο το έτος. Ο συντελεστής προσαύξησης λόγω απωλειών είναι 1,2. Να υπολογιστεί το μέσο μηνιαίο φορτίο που απαιτείται για τη θέρμανση και τη διανομή του ζεστού νερού χρήσης κατά το μήνα Μάρτιο. Η Θεσσαλονίκη έχει θερμοκρασία κρύου νερού για τον παραπάνω μήνα 11°C .

Λύση:

Το θερμικό φορτίο που χρειάζεται για την θέρμανση του νερού από την θερμοκρασία που βρίσκεται αρχικά T_s (supply temperature) που στην περίπτωση μας είναι $T_s = 11^{\circ}\text{C}$ σε μια θερμοκρασία T_d (delivery temperature) που είναι $T_d = 45^{\circ}\text{C}$. Εφόσον η μάζα του νερού που θα πρέπει να θερμανθεί είναι $m = 500\text{ L } 1\text{ kg/L} = 500\text{ kg}$ και η ειδική θερμοχωρητικότητα του νερού είναι $C_p = 4.200\text{ J/kg}^{\circ}\text{C} = 1,16\text{ Wh/kg}^{\circ}\text{C}$ θα έχουμε ότι η θερμική ενέργεια που χρειαζόμαστε κάθε ημέρα, L_w , για να αποκτήσει το νερό την απαιτούμενη θερμοκρασία θα επαληθεύει την σχέση:

$$L_w = m C_p (T_d - T_s)$$

όπου C_p η ειδική θερμοχωρητικότητα του υλικού. Για το νερό $C_p = 4.200\frac{\text{J}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}}$ δηλαδή χρειαζόμαστε ενέργεια 4.200 J για να αυξήσουμε την θερμοκρασία 1 kg νερού κατά 1°C . Στο πρόβλημά μας έχουμε ότι:

$$m = 500\text{ L } 1\frac{\text{kg}}{\text{L}} = 500\text{ kg}$$

$$C_p = 4.200\frac{\text{J}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}}$$

$$\Delta T = T_d - T_s = (45 - 11)^{\circ}\text{C} = 34^{\circ}\text{C}$$

οπότε για κάθε ημέρα

$$L_w = 500kg \cdot 4.200 \frac{J}{kg^{\circ}C} \cdot 34^{\circ}C = 71.400.400 J = 71.400.400 J \cdot \frac{1}{3.600.000} \frac{kWh}{J}$$

$$\text{Άρα } L_w = 19,83 kWh$$

Έχουμε βέβαια και απώλειες με συντελεστή απωλειών 1.2. Άρα η ενέργεια που θα χρειαστούμε είναι $L_w = 1,2 \cdot 19,83 kWh = 23,8 kWh$ για κάθε ημέρα. Οπότε για τον μήνα Μάρτιο η ενέργεια που χρειαζόμαστε είναι:

$$\Delta Q = 23,8 kWh/day \cdot 31 days = 737,68 kWh$$

2.2.4 Άσκηση

Χρησιμοποιώντας τα δεδομένα και τα αποτελέσματα της προηγούμενης άσκησης να υπολογιστεί η απαιτούμενη επιφάνεια και το πλήθος των επίπεδων ηλιακών συλλεκτών με τιμή μέσης θερμικής ενέργειας ανά μονάδα επιφάνειας ανά μέρα $3 kWh/m^2/day$ και εμβαδόν επιφάνειας $1 m^2$.

Λύση:

Έχουμε ημερήσιες απαιτήσεις $23,8 kWh$ και ημερήσια θερμική ενέργεια από τα ηλιοθερμικά $3 kWh/m^2$. Άρα θα χρειαστούμε $\frac{23,8 kWh}{3 kWh/m^2} = 7,93 m^2$ δηλαδή επιφάνεια $8 m^2$ ηλιοθερμικά. Κάθε πλαίσιο έχει επιφάνεια $1 m^2$ οπότε χρειαζόμαστε 8 πλαίσια.

2.3 Φωτοβολταικά

2.3.1 Άσκηση

Έχουμε μια Φ/Β συστοιχία ισχύος $3 kW$ η οποία αποτελείται από Φ/Β πλαίσια μονοκρυσταλλικού πυριτίου (σαν αυτό που έχουμε στο εργαστήριο) τα οποία έχουν συνδεθεί παράλληλα και σε σειρά μεταξύ τους. Το κάθε Φ/Β πλαίσιο έχει επιφάνεια $0,04 m^2$ και δίνει ισχύ $5W_p$. Πρόκειται να εγκατασταθούν στην Αθήνα (υπο κλίση 45°) όπου η μέση μηνιαία ηλιακή ενέργεια ανά μονάδα επιφάνειας (για γωνία κλίσης 45°) για όλο τον χρόνο δίνεται από τον Πίνακα 1. Αν η συστοιχία έχει μέσο συντελεστή απόδοσης 0,11 υπολογίστε:

1. την μέγιστη και ελάχιστη ηλεκτρική ενέργεια ανά μήνα που μπορεί να μας δώσει αυτή η Φ/Β συστοιχία

2. Πόσο τις εκατό θα μειωθεί η μέγιστη παραγόμενη ενέργεια της Φ/Β συστοιχίας αν οι συντελεστές απωλειών (διόρθωσης) για την θερμοκρασία και την ρύπανση είναι 0,90 και 0,95 αντίστοιχα;
3. Πόσο τις εκατό θα μειωθεί η μέγιστη παραγόμενη ενέργεια της Φ/Β συστοιχίας αν οι συντελεστές απωλειών (διόρθωσης) για την θερμοκρασία και την ρύπανση είναι 0,90 και 0,95 αντίστοιχα;
4. Ας υποθέσουμε ότι την ηλεκτρική ενέργεια που μας παρέχει η Φ/Β συστοιχία την χρησιμοποιούμε μια τυπική ημέρα του Απριλίου για να τροφοδοτήσουμε λαμπτήρες φωτισμού για μια οικία. Πόσοι λαμπτήρες μπορούν να λειτουργούν ταυτόχρονα για χρονική διάρκεια 8 ωρών αν ο κάθε λαμπτήρας είναι ισχύος 12 W; (αγνοήστε συντελεστές απωλειών για την θερμοκρασία και την ρύπανση).
5. Για μια τυπική ημέρα του Απριλίου υπολογίστε τον «Ισοδύναμο αριθμό ωρών ηλιοφάνειας, PSH» (PSH: Peak Solar Hours)
1. Με βάση τα δεδομένα της άσκησης έχουμε ονομαστική ισχύ της συστοιχίας $P = 3 kW_p = 3.000 W_p$. Κάθε πλαίσιο έχει ισχύ $5 W_p$ οπότε ο αριθμός των πλαισίων θα είναι $n = \frac{3.000}{5} = 600$ πλαίσια.
Εφόσον δεν λάβουμε υπόψη μας τους συντελεστές διόρθωσης για θερμοκρασία και ρύπανση θα λάβουμε την μέγιστη ενέργεια ανά μήνα τον μήνα Αύγουστο όπου υπάρχει η μέγιστη ηλιακή ακτινοβολία στα πάνελ στην δεδομένη γωνία, ενώ θα λάβουμε την ελάχιστη ενέργεια ανά μήνα τον μήνα Δεκέμβριο με την ελάχιστη ηλιακή ακτινοβολία στα πάνελ. Έτσι θα έχουμε:

$$E_{pvmax} = 0,11188 \frac{kWh}{m^2} 24 m^2 = 496,32 kWh$$

$$E_{pvmin} = 0,1194 \frac{kWh}{m^2} 24 m^2 = 248,16 kWh$$

2. Αν είναι E η παραγόμενη ενέργεια χωρίς τους συντελεστές διόρθωσης και E_{corr} η διορθωμένη τιμή θα έχουμε: $E_{corr} - E = (0,90 \cdot 0,95 - 1)E = -0,145 E$
Αρα έχουμε μείωση 14,5 %.
3. Η ενέργεια που θα πάρουμε όλο τον Απρίλιο είναι:
 $E_{pvApril} = 0,11144 \frac{kWh}{m^2} 24 m^2 = 380,16 kWh$
Μια τυπική μέρα του Απριλίου θα έχουμε ενέργεια $E_{DayApril} = \frac{380,16 kWh}{30 days} = 12,67 kWh$
Η ενέργεια που καταναλώνει κάθε λάμπα ισούται με την ισχύ της επί τον χρόνο που λειτουργεί και θα είναι $E_{lamp} = 12 W \cdot 8 h = 96 Wh = 0,096 kWh$
Οπότε ο αριθμός των λαμπτήρων θα είναι $m = \frac{12,67}{0,096} = 131 lamps$
4. Η έννοια "Ισοδύναμος αριθμός ωρών ηλιοφάνειας" αντιστοιχεί σε πόσες ώρες μέγιστης ηλιακής ακτινοβολίας/ m^2 (δηλαδή σε πόσα πολλαπλάσια της $1 \frac{kWh}{m^2}$)

αντιστοιχεί η ακτινοβολία που έχουμε. Για τον Απρίλιο παίρνουμε ακτινοβολία $\frac{144}{30} kWh/day = 4,8 kWh/day$ η οποία είναι η ακτινοβολία που θα μας έδινε ο ήλιος εφόσον μας έδινε το μέγιστό του δηλ. $1 kW$ ισχύ για 4.8 ώρες. Άρα ο Ισοδύναμος αριθμός ωρών ηλιοφάνειας $= 4,8 h$.

Πίνακας 2.1: Πίνακας τιμών ηλιακής ακτινοβολίας και θερμοκρασίας στην Αθήνα

Μήνας	Μέση ηλιακή ακτινοβολία στις 45° στην Αθήνα (KWh/m^2)	Μέση μηνιαία θερμοκρασία περιβάλλοντος ($^\circ C$)
Ιανουάριος	95	10.5
Φεβρουάριος	104	11.6
Μάρτιος	128	12.9
Απρίλιος	144	17.1
Μάιος	162	21.9
Ιούνιος	163	26.6
Ιούλιος	179	29.3
Αύγουστος	188	29.2
Σεπτέμβριος	167	25.3
Οκτώβριος	142	20
Νοέμβριος	115	16.3
Δεκέμβριος	94	12.5
Ετήσιο Σύνολο (kWh)	1681	

2.3.2 Άσκηση

Να υπολογιστεί η ημερήσια ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο επιφάνειας $0,2 m^2$ και συντελεστή απόδοσης 12%, το οποίο είναι εγκατεστημένο σε περιοχή με μέση ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία $6 kWh/m^2$. Ο συντελεστής διόρθωσης για τη θερμοκρασία είναι 0,8 και ο συντελεστής διόρθωσης για τη ρύπανση είναι 0,95.

Λύση:

Η ενέργεια που παίρνουμε από το πλαίσιο συνυπολογίζοντας τις απώλειες λόγω θερμοκρασίας (n_T) και τις απώλειες λόγω ρύπανσης (n_p) και θεωρώντας ότι η ενέργεια που έρχεται στο πλαίσιο από τον ήλιο είναι $E_{sun} (\frac{kWh}{m^2})$ σε πλαίσιο εμβαδού A δίνεται

από τον τύπο $E_{pv} = n n_T n_p E_{sun} A$.

Οπότε θα έχουμε $E_{pv} = 0,120,80,956 kWh/m^2 0,2m^2 = 0,11 kWh$

2.3.3 Άσκηση

Χρησιμοποιώντας τα δεδομένα και τα αποτελέσματα της προηγούμενης Άσκησης να υπολογιστεί η επιφάνεια και το πλήθος των φωτοβολταϊκών πλασίων που απαιτούνται για την κάλυψη ημερήσιου φορτίου $5 kWh$.

Λύση:

Με βάση τα δεδομένα της προηγούμενης άσκησης έχουμε παραγωγή $0,11 kWh$ την ημέρα ενώ χρειαζόμαστε $5 kWh$. Συνεπώς χρειαζόμαστε $\frac{5}{0,11} = 45,45$ πλαίσια δηλ. 46 πλαίσια τα οποία έχουν επιφάνεια $A = 46 0,2 = 9,2 m^2$.

2.3.4 Άσκηση

Θεωρήστε ότι έχουμε στην διαθεσή μας ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντια επιφάνεια $6,25 kWh/m^2$.

- I) Οι ανάγκες του εργαστηρίου για ηλεκτρική ενέργεια τον μήνα Ιούλιο (31 ημέρες) είναι $365 kWh$. Πόση θα πρέπει να είναι η απόδοση των Φ/B πλασίων που είναι εγκατεστημένα στην οροφή του για να ανταποκριθούν σ' αυτές τις ανάγκες; Δίνεται ότι η συνολική επιφάνεια των Φ/B είναι $25 m^2$. Επίσης δίνεται ότι ο συντελεστής διόρθωσης για την θερμοκρασία (καθώς η μέση θερμοκρασία τον μήνα Ιούλιο είναι πάνω από $25^\circ C$) είναι 0,96 και ο συντελεστής διόρθωσης για την ρύπανση 0,98. Αναφέρατε οποιαδήποτε παραδοχή χρειάζεται να κάνετε για να δώσετε απάντηση στο ερώτημα.
- II) Η συνολική ισχύς της Φ/B εγκατάστασης είναι $3,15 kW$. Το εμβαδόν που καλύπτει κάθε ξεχωριστό πάνελ είναι $1,2 m^2$. Υπολογίστε τον αριθμό των εγκατεστημένων πλασίων καθώς την ονομαστική ισχύ κάθε Φ/B πλαισίου σε W .
- III) Ας υποθέσουμε ότι η εγκατάσταση των Φ/B λειτουργεί μια ημέρα του Ιουλίου κατά μέσο όρο με το 60% της ισχύος της για χρονικό διάστημα 8 ωρών. Με την ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από την εγκατάσταση χρειάζεται να καλυφθεί αποκλειστικά η λειτουργία τριών κλιματιστικών ηλεκτρικής ισχύος $600 W$ το καθένα. Για πόσες ώρες μπορούν να λειτουργούν ενεργειακά ταυτόχρονα και τα τρία κλιματιστικά; **Αγνοείτε την απόδοση του αντιστροφέα**

και την ενέργεια που πηγαίνει στο εξωτερικό ηλεκτρικό δίκτυο και υποθέστε ότι όλη η ενέργεια που παράγουν τα Φ/Β καταναλώνεται στα κλιματιστικά.

Λύση:

- I) Αν n είναι ο ζητούμενος συντελεστής απόδοσης του φωτοβολταϊκού συστήματος θα έχουμε ότι η συνολική ενέργεια που παράγεται από τα Φ/Β συνολικής έκτασης 25 m^2 θα πρέπει να είναι ίσος με την αιτούμενη ζήτηση. Άρα από την ποσότητα που μας δίνει ο ήλιος πρέπει να έχουμε τέτοιο ποσοστό εκμετάλλευσης ώστε να καλύψουμε τις 365 kWh . Επίσης θεωρούμε ότι η μέση ηλιακή ακτινοβολία για τον Ιούλιο είναι η τιμή 6.25 kWh/m^2 . Δηλ.

$$E_{\text{July-demand}} = n \cdot 0.96 \cdot 0.98 \cdot 6.25\text{ kWh/m}^2 \cdot 25\text{ m}^2 \cdot 6.25 \cdot 31 \implies 365\text{ kWh} = n \cdot 4557 \implies n = 0.08 \implies n = 8\%$$

- II) Συνολική ισχύς $3,15\text{ kW}$ άρα $\frac{3,15\text{ kW}}{25\text{ m}^2} = 0,126\text{ kW/m}^2$. Κάθε πλαίσιο έχει εμβαδό $1,2\text{ m}^2$. Άρα έχει ισχύ $P_{\text{panel}} = 1,2\text{ m}^2 \cdot 0,126\text{ kW/m}^2 = 0,1512\text{ kW} = 151\text{ W}$. Θέλουμε ισχύ $3,15\text{ kW}$, οπότε χρειαζόμαστε $\frac{3,15\text{ kW}}{0,1512\text{ kW}} = 20,83$, δηλαδή 21 πλαίσια.
- III) Το σύστημα λειτουργεί για 8 ώρες με ισχύ $0,6 \cdot 3,15\text{ kW} = 1,89\text{ kW}$. Τα τρία κλιματιστικά έχουν ισχύ $3 \cdot 600\text{ W} = 1800\text{ W} = 1,8\text{ kW}$. Άρα ναι μπορούν να λειτουργούν ταυτόχρονα για 8 ώρες αφού η ζήτηση τους καλύπτεται.

2.4 Αιολική Ενέργεια

2.4.1 Άσκηση

Η μέση τιμή της ταχύτητας του ανέμου σε μια τοποθεσία είναι $v = 7 \frac{m}{s}$. Να υπολογιστεί η ισχύς του ανέμου που διέρχεται από μια επιφάνεια εμβαδού $A = 100 m^2$. Θεωρήστε ότι η πυκνότητα του αέρα είναι $\rho = 1,2 \frac{kg}{m^3}$.

Λύση:

Η ισχύς που έχει ο άνεμος με δεδομένη ταχύτητα $v = 7 \frac{m}{s}$ για πυκνότητα αέρα $\rho = 1,2 \frac{kg}{m^3}$ και για έκταση εμβαδού $A = 100 m^2$ δίνεται από τον τύπο:

$$P = \frac{1}{2} \rho A v^3$$

με εφαρμογή του τύπου έχουμε $P = 20.580 W = 20,580 kW$

2.4.2 Άσκηση

Ποια είναι η μέγιστη ισχύς μιας ιδανικής ανεμογεννήτριας που εγκαθίσταται στην παραπάνω τοποθεσία;

Λύση:

Σύμφωνα με τον Albert Benz η ισχύς που μπορεί στην ιδανική περίπτωση να εκμεταλλευτεί μια ανεμογεννήτρια (χωρίς δηλ. να υπολογίσουμε απώλειες από τις μετατροπές της ενέργειας) θα είναι $P_m = 0,59 P_{wind}$ ή

$$P_m = 0,59 \frac{1}{2} \rho A v^3 = 12.142 W = 12,14 kW$$

2.5 Ενέργεια από Βιομάζα

2.5.1 Άσκηση

Έστω θερμοκήπιο έκτασης $2000 m^2$ με συντελεστή συνολικής απώλειας θερμότητας $10 \frac{W}{m^2 \circ C}$, απαιτούμενη θερμοκρασία $T = 22^\circ C$ και η μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος για όλο το έτος $T_{\Pi} = 12^\circ C$ (σταθερή για τις ανάγκες του παραδείγματος). Να υπολογιστεί η ισχύ και το απαιτούμενο θερμικό φορτίο ανά ημέρα και ανά έτος.

Λύση:

Η μέση ισχύς των απωλειών (δηλ. ο μέσος ρυθμός απωλειών) για μέση διαφορά θερμοκρασίας $\Delta T = (22 - 12)^\circ C$ δίνεται από τον τύπο

$$P_{loss} = k A \Delta T = 10 \frac{W}{m^2 \circ C} 2000 m^2 10^\circ C = 200 kW$$

Οπότε η ενέργεια που χρειάζεται το θερμοκήπιο ανά ημέρα (δηλαδή $24 h$) είναι

$$E_{day} = P_{loss} 24 h = 4.800 kWh$$

ενώ για ένα έτος η ενέργεια που θα χρειαστεί θα είναι

$$E_{year} = E_{day} 365 days = 1.752.000 kWh = 1.752 GWh$$

2.5.2 Άσκηση

Για καύσιμο βιομάζας με ενεργειακό περιεχόμενο $h_K = 3.500 kcal/kg$ σε ξηρή βάση και συντελεστή απόδοσης λέβητα $n_\Lambda = 90\%$ να υπολογιστεί η απαιτούμενη ποσότητα καυσίμου στην προηγούμενη Άσκηση.

Λύση:

Με βάση τα αποτελέσματα της προηγούμενης άσκησης και τον συντελεστή απόδοσης του λέβητα θα έχουμε ότι η συνολική χημική ενέργεια που χρειαζόμαστε θα είναι:

$$E_{chem} = \frac{1.752 GWh}{0.9} = 1,946,667 kWh$$

Αλλά $3500 kcal/kg = 3500 \cdot 0,001163 kWh/kg = 4,07 kWh/kg$. Οπότε θέλουμε $\frac{1.946.667}{4.07} kg = 478,296 tonnes$

Κεφάλαιο 3

Άλλες μορφές ΑΠΕ

3.1 Υδροηλεκτρική Ενέργεια

3.1.1 Άσκηση

Έστω ότι συγκρίνουμε τη διαθέσιμη ισχύ σε δύο υδροηλεκτρικά συστήματα που βρίσκονται στις θέσεις Α και Β. Και τα δύο συστήματα έχουν διαθέσιμο ύψος υδατόπτωσης 50 m . Η παροχή στη θέση Α είναι $3\text{ m}^3/\text{min}$ ενώ το κατάλληλο σύστημα αξιοποίησης έχει απόδοση 80%. Αντίστοιχα για τη θέση Β η παροχή θα είναι $100.000 \frac{\text{L}}{\text{h}}$ ενώ έχει απόδοση 90%. Να υπολογιστεί η διαθέσιμη ισχύς και στις δύο θέσεις.

Λύση:

Η θεωρητική ισχύς που περιέχεται σε μια μάζα νερού m όταν αυτή πέφτει από μια γεωδαιτική υψομετρική διαφορά $(h_{hw} - h_{tw})$ με ογκομετρικό ρυθμό q_w είναι:

$$P_{Wa,th} = \rho_w * g * (h_{hw} - h_{tw}) * q_w$$

όπου:

ρ_w : η πυκνότητα του νερού $= 1000\text{ kg/m}^3$

g : η επιτάχυνση βαρύτητας $= 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

$(h_{hw} - h_{tw})$ = γεωδαιτική υψομετρική διαφορά $= 50\text{ m}$

q_w : ο ογκομετρικός ρυθμός πτώσης νερού $= \frac{3}{60} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$

για την θέση Α ($q_w A$) και $q_w B = \frac{100.000}{1000 \cdot 3600} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$ οπότε τελικά $q_w A = 0,05 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$ και

$$q_w B = 0,0278 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}.$$

Η πραγματική απόδοση του συστήματος θα ισούται με την θεωρητική επί τον συντελεστή απόδοσης n . Έτσι θα έχουμε:

$$A: P_{W_{a,thA}} = 0,8 \cdot 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 50 \text{ m} \cdot 0,05 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 20.000 \text{ W} = 20 \text{ kW}$$

$$B: P_{W_{a,thB}} = 0,9 \cdot 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 50 \text{ m} \cdot 0,0278 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 12.500 \text{ W} = 12,5 \text{ kW}$$

3.2 Γεωθερμική Ενέργεια

3.2.1 Άσκηση

Έστω ταμιευτήρας ζεστού νερού θερμοκρασίας 60°C που βρίσκεται σε βάθος 2 km . Αν η θερμοκρασία στην επιφάνεια είναι 10°C και η θερμική αγωγιμότητα του βράχου $3 \frac{\text{W}}{\text{m}^{\circ}\text{C}}$, να υπολογιστεί η διαφορική κλίση της θερμοκρασίας και ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας. Αν η θερμοκρασία του ταμιευτήρα γίνει 35°C , ενώ τα υπόλοιπα δεδομένα παραμένουν σταθερά, ποιος θα είναι ο νέος ρυθμός μεταφοράς θερμότητας;

Λύση:

Σύμφωνα με τη σχέση:

$$Q = k \frac{\Delta\theta}{\Delta\zeta}$$

όπου:

Q η ροή θερμότητας που μεταφέρεται προς την επιφάνεια (αν θεωρηθεί ότι η μεταφορά της είναι μονοδιάστατη) σε $\frac{\text{W}}{\text{m}^2}$

k η θερμική αγωγιμότητα των πετρωμάτων της περιοχής σε $\frac{\text{W}}{\text{m}^{\circ}\text{C}}$

$\frac{\Delta\theta}{\Delta\zeta}$ η διαφορική κλίση της θερμοκρασίας

Η διαφορική κλίση της θερμοκρασίας θα είναι $\frac{\Delta\theta}{\Delta\zeta} = \frac{(60-10)^{\circ}\text{C}}{2000\text{ m}} = \frac{50^{\circ}\text{C}}{2000\text{ m}} = 0,025 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{m}}$ για την περίπτωση με διαφορά $(60 - 10)^{\circ}\text{C}$ ενώ η μισή για την περίπτωση με διαφορά $(60 - 35)^{\circ}\text{C}$ δηλ. $0.0125 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{m}}$. Οπότε ο ρυθμός μετάδοσης της θερμότητας θα είναι για την πρώτη περίπτωση $Q = k * \frac{\Delta\theta}{\Delta\zeta} = 3 \frac{\text{W}}{\text{m}^{\circ}\text{C}} * 0.025 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{m}} = 0,075 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$, ή $Q = 0,075 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$ και για την δεύτερη περίπτωση $Q = 0,0375 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$

ΤΥΠΟΛΟΓΙΟ

Πίνακας 3.1: Βασικό τυπολόγιο των ΑΠΕ

ΤΥΠΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
$E = P * t$	Ενέργεια
$L_w = m * C_p * (T_d - T_s)$	Ενέργεια που λαμβάνει/δίνει σώμα και μεταβάλλει την θερμοκρασία του κατά $(T_d - T_s)$
$L = (DD)_h * (UA)_h * (3600 * 24) [J]$	Υπολογισμός ενέργειας με βαθμολημέρες
$\dot{L}_{t-day} = (UA)_t * (T_t - T_a)$	Ισχύς θερμοκρασιακής ροής από T_t σε T_a
$L_p = U_p * S$	Ισχύς θερμοκρασιακών απωλειών σε σωλήνα μήκους S
$E_{pv} = n_{pv} * \sigma_\theta * \sigma_\rho * \Pi * A$	Ενέργεια απο Φ/B
$P = \frac{1}{2} * \rho * A * V^3$	Ισχύς Ανέμου
$P_{Wa,th} = n * \rho_w * g * (h_{hw} - h_{tw}) * q_w$	Ισχύς νερού υψ. διαφοράς $(h_{hw} - h_{tw})$ και παροχής q_w
$Q = k * \frac{\Delta\theta}{\Delta\zeta}$	Θερμική Ισχύς ανά m^2