

ΜΑΡΙΟΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΜΠΙΡΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ



**"Μελέτη  
οικιακού συστήματος τριπαραγωγής  
με φωτοβολταϊκούς συλλέκτες,  
ηλιοθερμικούς συλλέκτες και  
αντλία θερμότητας"**

**Επιβλέπων: Σωτήριος Καρέλλας , Καθηγητής ΕΜΠ**

**Τομέας Θερμότητας – Εργαστήριο Ατμοκινητήρων  
και Λέβητων**

**Αθήνα 2023**



MARIOS-DIMITRIOS BIRIS

SCHOOL OF MECHANICAL ENGINEERING

**"Study  
of a residential trigeneration  
system with photovoltaic  
modules, solar thermal collectors  
and heat pump"**

**Supervisor: Sotirios Karellas, Professor, Director of  
Thermal Engineering sector**

**Laboratory of Steam Boilers and Thermal Plants,  
National Technical University of Athens**



**Athens 2023**



## Ευχαριστίες

Με αφορμή την εκπόνηση της διπλωματικής μου θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς ευχαριστίες μου σε όλους εκείνους τους ανθρώπους που συνέβαλαν στην ολοκλήρωση των σπουδών μου καθένας με τον δικό του τρόπο, αλλά και σε εκείνους οι οποίοι με βοήθησαν στην επιλογή και ολοκλήρωση της παρούσης διπλωματικής εργασίας.

Ιδιαίτερα ευχαριστώ τον επιβλέποντα καθηγητή Κύριο Σωτήριο Καρέλλα για την ανάθεση της διπλωματικής εργασίας στο εργαστήριο Ατμοκινητήρων και Λεβήτων της σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών του Ε.Μ.Π. .

Ευχαριστώ τον κύριο Χαραλαμπίδη Αντώνιο για την παροχή σημαντικών πληροφοριών και συμβουλών απαραίτητων για την ολοκλήρωση του θέματος, χωρίς τη βοήθεια και τις οδηγίες του θα ήταν εξαιρετικά δύσκολη η εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και όλα τα αγαπημένα πρόσωπα για την διαρκή στήριξη και κάθε είδους βοήθεια που μου πρόσφεραν και μου προσφέρουν όλα αυτά τα χρόνια.

## **Υπεύθυνη δήλωση για λογοκλοπή και για κλοπή πνευματικής ιδιοκτησίας:**

Έχω διαβάσει και κατανοήσει τους κανόνες για τη λογοκλοπή και τον τρόπο σωστής αναφοράς των πηγών που περιέχονται στον οδηγό συγγραφής Διπλωματικών Εργασιών.

Δηλώνω ότι, από όσα γνωρίζω, το περιεχόμενο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι προϊόν δικής μου εργασίας και υπάρχουν αναφορές σε όλες τις πηγές που χρησιμοποίησα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτή τη Διπλωματική εργασία είναι του συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών ή του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Μάριος-Δημήτριος Μπίρης

## Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	5
Υπεύθυνη δήλωση για λογοκλοπή και για κλοπή πνευματικής ιδιοκτησίας:.....	6
Περιεχόμενα.....	7
Σύνοψη - περίληψη.....	10
Abstract 11	
Συνοτμήσεις – Αρκτικόλεξα.....	12
direct-expansion, Αμέσου εκτόνωσης.....	12
Κατάλογος συμβόλων.....	14
Κεφάλαιο 1ο- Εισαγωγή.....	16
1.1.    Πλαίσιο.....	16
1.2.    Σκοπός, ερωτήματα και στόχοι.....	16
1.3.    Οριοθέτηση.....	17
1.4.    Διάρθρωση της εργασίας.....	18
Κεφάλαιο 2ο- Το παρόν και το μέλλον της χρήσης της ενέργειας.....	20
2.1.    Η ενέργεια και ο ρόλος της.....	20
2.2.    Ανάγκες και βασικές πηγές ενέργειας.....	21
2.3.    Ενεργειακό πρόβλημα.....	21
2.4.    Βιώσιμη ή αειφόρος ανάπτυξη.....	22
2.5.    Ενεργειακός σχεδιασμός.....	23
2.6.    Ενέργεια και περιβάλλον.....	24
2.7.    Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ).....	24
Κεφάλαιο 3ο - Είδη ενέργειας.....	25
3.1    Βασικές μορφές ενέργειας.....	25
3.2    Τελικές χρήσεις ενέργειας.....	26
3.3    Ενεργειακές πηγές και η κατάσταση σήμερα.....	26
3.3.1    Μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.....	26
3.3.2    Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.....	27
3.3.3    Οι Κύριες Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας.....	27
3.3.4    Δυναμικό των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας.....	29
3.3.5    Πλεονεκτήματα της ανάπτυξης των ΑΠΕ.....	30
3.4    ΑΠΕ και Ελλάδα.....	30
Κεφάλαιο 4ο -Ενέργεια από τον ήλιο.....	33
4.1    Ηλιακή ενέργεια.....	33
4.2    Εφαρμογές Ηλιακής Ενέργειας.....	34
4.3    Ηλιοθερμικά Συστήματα - Γενικά.....	34
4.3.1    Γενικά.....	34
4.3.2    Τρόπος Λειτουργίας.....	35
4.3.3    Σύστημα ηλιοθερμίας.....	36

4.3.4	Σημαντικές παρατηρήσεις.....	36
4.4	Φωτοβολταϊκό σύστημα .....	37
4.4.1	Γενικά.....	37
4.4.2	Αρχή λειτουργίας Φ/Β κυττάρων .....	37
4.4.3	Τεχνολογία φωτοβολταϊκών συστημάτων.....	38
4.4.4	Ηλιακά Πάνελ και εξέλιξη .....	39
4.4.5	Διάκριση Φ/Β συστημάτων .....	39
4.4.6	Βαθμός απόδοσης ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου .....	40
4.4.7	Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα Φ/Β συστημάτων .....	41
4.4.8	Πληροφορίες για φ/β στον ελληνικό χώρο .....	41
Κεφάλαιο 5ο	- Αντλίες θερμότητας .....	42
5.1	Εισαγωγικά στοιχεία για αντλίες θερμότητας .....	42
5.1.1	Ορισμός .....	42
5.1.2	Αρχή λειτουργίας των αντλιών θερμότητας .....	42
5.2	Πλεονεκτήματα των Αντλιών Θερμότητας.....	43
5.3	Κύρια μέρη μιας αντλίας θερμότητας (Εικόνα 8) .....	44
5.4	Είδη αντλιών θερμότητας.....	45
5.5	Βαθμός απόδοσης αντλίας θερμότητας .....	45
5.5.1	Βαθμός απόδοσης σε λειτουργία θέρμανσης .....	46
5.5.2	Βαθμός απόδοσης σε λειτουργία ψύξης .....	46
5.5.3	Παράγοντες που επηρεάζουν τους βαθμούς COP και EER .....	47
5.6	Εργαζόμενα μέσα .....	48
5.7	Μελέτη Κόστους θέρμανσης του ΕΜΠ .....	50
Κεφάλαιο 6ο	- Εξεταζόμενο Σύστημα .....	53
6.1	Περιγραφή Συστήματος Τριπαραγωγής.....	53
6.2	Ενεργειακές απαιτήσεις κτιρίου.....	54
6.2.1	Κλιματικά δεδομένα.....	54
6.2.2	Προδιαγραφές – Ανάγκες Φορτίου του Κτιρίου .....	56
6.3	Ηλιακό Θερμικό Σύστημα.....	61
6.3.1	Περιγραφή συστήματος - Μοντελοποίηση .....	61
6.3.2	Προσομοίωση Συστήματος .....	63
6.4	Αντλία Θερμότητας Νερού - Αέρος.....	66
6.4.1	Περιγραφή συστήματος - Μοντελοποίηση .....	66
6.4.2	Εργαζόμενα Μέσα.....	69
6.4.3	Διαδικασία Βελτιστοποίησης.....	70
6.5.1	Υπολογισμός Ηλ. Κατανάλωσης.....	74
6.5	Φωτοβολταϊκό Σύστημα.....	75
6.5.1	Περιγραφή συστήματος .....	75
6.5.2	Μοντελοποίηση .....	77
6.5.3	Διαστασιολόγηση.....	82
Κεφάλαιο 7ο	- Συμπεράσματα .....	89
7.1	Κεφάλαιο 2 (Το παρόν και το μέλλον της χρήσης της ενέργειας) .....	88



7.2	Κεφάλαιο 3 (Είδη Ενέργειας).....	89
7.3	Κεφάλαιο 4 (Ενέργεια από τον ήλιο) .....	90
7.4	Κεφάλαιο 5 (Αντλίες Θερμότητας).....	91
7.5	Κεφάλαιο 6 (Εξεταζόμενο Σύστημα) .....	90
7.6	ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ .....	91
	Κατάλογος Σχημάτων .....	93
	Κατάλογος Διαγραμμάτων .....	94
	Κατάλογος Πινάκων .....	95
	Κατάλογος Εικόνων .....	967
	Κατάλογος Αναφορών.....	97
	Παράρτημα Ι – Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ) .....	101
1.1	Εισαγωγικό Σημείωμα .....	101
1.2	Επισκόπηση και διαδικασία κατάρτισης του σχεδίου .....	101
1.3	Γενική στρατηγική σε σχέση με τις πέντε διαστάσεις της Ενεργειακής Ένωσης .....	102
1.4	Προτεραιότητες και Μέτρα Εθνικής Πολιτικής.....	103
1.4.1	Οι προτεραιότητες της πολιτικής.....	103
1.4.2	Προτεραιότητες πολιτικής για τις ΑΠΕ .....	104
1.4.3	Προτεραιότητες πολιτικής για Βελτίωση ενεργειακής απόδοσης, .....	104
1.5	Εθνικοί στόχοι και επιδιώξεις.....	105
1.6	Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας.....	1078
1.7	Προκλήσεις .....	109
1.7.1	ΑΠΕ για ηλεκτροπαραγωγή.....	109
1.7.2	ΑΠΕ για θέρμανση και ψύξη .....	109
1.8	Βελτίωση ενεργειακής απόδοσης .....	110
1.9	Εσωτερική αγορά ενέργειας.....	110
1.10	Έρευνα, καινοτομία και ανταγωνιστικότητα.....	110
1.10.1	Η συμμετοχή των νέων τεχνολογιών ΑΠΕ στην ικανοποίηση αναγκών παραγωγής, μεταφοράς, διανομής και αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία θα επιτευχθεί με: .....	110
1.10.2	Η συμμετοχή των νέων τεχνολογιών ΑΠΕ στην ικανοποίηση αναγκών σε θερμότητα και ψύξη, η οποία θα επιτευχθεί με: .....	111
	Παράρτημα ΙΙ – Προσομοίωση Συστήματος με το Λογισμικό σχεδιασμού και προσομοίωσης ηλιακών θερμικών συστημάτων “TSOL” .....	112
II.1	Εισαγωγή .....	112
II.2	Συνοπτική έκθεση .....	112

## Σύνοψη - περίληψη

Στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζεται η δυνατότητα κάλυψης, από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, των αναγκών σε ενέργεια για την κάλυψη του θερμικού φορτίου μίας πενταόροφης πολυκατοικίας στο κέντρο της Αθήνας. Το συνολικό φορτίο μιας κατοικίας περιλαμβάνει τις ανάγκες θέρμανσης / ψύξης των χώρων και την κατανάλωση ζεστού νερού.

Η απαιτούμενη ενέργεια θα προέλθει από τη χρήση φωτοβολταϊκών και ηλιακών θερμικών συλλεκτών στη ταράτσα της πολυκατοικίας πέντε ορόφων και συνολικού εμβαδού 510 m<sup>2</sup> (102 m<sup>2</sup> έκαστος όροφος). Η χρήση ηλιακών θερμικών πάνελ μπορεί να καλύψει σε μεγάλο ποσοστό τις απαιτήσεις για ζεστό νερό χρήσης. Εν συνεχεία, η αντλία θερμότητας αναλαμβάνει τα αναγκαία φορτία ψύξης – θέρμανσης με τον κλιματισμό των εσωτερικών χώρων της πολυκατοικίας ο οποίος θα γίνει δυνατός με την εγκατάσταση σωμάτων Fan Coil (FCU) αλλά και παροχής ΖΝΧ μέσω δοχείου αποθήκευσης που παρεμβάλλεται μεταξύ αυτής και του ηλιακού. Τέλος, το φωτοβολταϊκό σύστημα θα τροφοδοτήσει τον συμπιεστή της Α/Θ με ηλεκτρική ισχύ.

Η πλεονάζουσα ηλεκτρική ισχύς μετά τον μετατροπέα παρέχεται μέσω ενεργειακού συμψηφισμού στο δίκτυο ενώ η επιλογή του πλήθους των Φ/Β πάνελ αντιστοιχεί στη λειτουργία όπου το σύνολο της κατανάλωσης της αντλίας θερμότητας καλύπτεται από τα πάνελ. Για την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας μελετήθηκε η εγκατάσταση 18 m<sup>2</sup> θερμικών ηλιακών συλλεκτών, 29,30 m<sup>2</sup> φωτοβολταϊκών συλλεκτών μέγιστης ισχύος 6,15 kW σε σύνδεση μετατροπέα τάσης ισχύος 6 kW, ένα δοχείο χωρητικότητας 1 m<sup>3</sup>, μία αντλία θερμότητας αέρος νερού ονομαστικής ισχύος 27,55 kW σε λειτουργία θέρμανσης και 22,70 kW σε λειτουργία ψύξης.

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη, η βελτιστοποίηση, η διαστασιολόγηση και η αξιολόγηση των τριών υποσυστημάτων του παραπάνω συστήματος για χρήση σε κατοικίες.

Τα πλαίσια του ηλιακού και του φωτοβολταϊκού συστήματος ελήφθησαν από μοντέλα που κυκλοφορούν στην αγορά και βάση των χαρακτηριστικών τους εκπονήθηκε η μελέτη στα αντίστοιχα υποκεφάλαια. Αναφορικά με την αντλία θερμότητας, μέσω της διαδικασίας βελτιστοποίησης «κατασκευάστηκε» μια custom Α/Θ η οποία προέκυψε από τον κατάλληλο συνδυασμό εργαζόμενου μέσου, συμπιεστή (όγκος εμβολισμού – στροφές) και πλακοειδούς εναλλάκτη (αριθμός πλακών), με τα τελευταία δύο να αποτελούν εμπορικά μοντέλα.

## Abstract

In this thesis the possibility of covering, from renewable energy sources, the energy needs to cover the thermal load of a five-story apartment building in the center of Athens is being examined. The total load of a residence includes the heating/cooling needs of the premises and the consumption of hot water.

The required energy will be supplied from the use of photovoltaic and solar thermal collectors on the roof of the five-story apartment building with a total surface of 510 m<sup>2</sup> (102 m<sup>2</sup> on each floor). The use of solar thermal panels can cover a large percentage of domestic hot water requirements. Subsequently, the heat pump takes over the necessary cooling/ heating loads with the air conditioning of the interior spaces of the apartment building, which will become possible with the installation of Fan Coil units (FCU) as well as DHW supply through a storage tank interposed between it and the solar thermal system. Finally, the photovoltaic system will supply the heat pump's compressor with electrical power.

The excess electrical power is provided through energy compensation to the grid while the selection of the number of PV panels corresponds to the mode where the entire consumption of the heat pump is covered by the panels. For the exploitation of solar energy the installation of 18 m<sup>2</sup> of thermal solar collectors, 29.30 m<sup>2</sup> of photovoltaic collectors with a maximum power of 6.15 kW connected to a 6 kW voltage inverter and a storage tank with a capacity of 1 m<sup>3</sup>. Based on the above mentioned details an air-water heat pump was studied with a nominal power of 27.55 kW in heating mode and 22.70 kW in cooling mode.

The aim of this thesis is the study, optimization, dimensioning and evaluation of the three subsystems of the above system for residential use.

The frames of the solar and photovoltaic system were taken from models available on the market and based on their characteristics the study was made in each chapter. Regarding the heat pump, through the optimization process a custom heat pump was "built" which resulted in an appropriate combination of a working medium, compressor (embolization volume - revolutions) and plate heat exchanger (number of plates), with the last two being commercial models.

## Συνομεύσεις – Αρκτικόλεξα

ΔΙΕΘΝΗ ΟΡΟΛΟΓΙΑ	
CFCs	Chlorofluorocarbons, χλωροφθοράνθρακες
COP	Coefficient of Performance , συντελεστής απόδοσης
CO <sub>2</sub>	Carbon dioxide
CPC	compound parabolic collector , Σύνθετος παραβολικός συλλέκτης
CR	Capacity ratio
DX	direct-expansion, Αμέσου εκτόνωσης
EER	Energy Efficiency Ratio , βαθμός ενεργειακής απόδοσης
GWP	Global warming potential
HCFCs	Hydrochlorofluorocarbons, υδροχλωροφθοράνθρακες
HFCs	Hydrofluorocarbons ,υδροφθοράνθρακες
HTP	Heat pump
MPPT	Maximum Power Point Tracking
NEM	Net Energy Metering, Ενεργειακός Συμψηφισμός
ODP	Ozone Depletion Potential
PV	Photovoltaics , Φωτοβολταϊκή κυψέλη
PVT	Photovoltaic-thermal , Θερμοφωτοβολταϊκό
PVGIS	Photovoltaic Geographical Information System
SCOP	Seasonal Coefficient of Performance,
SEER	Seasonal Energy Efficiency Ratio
SI	International System of Units
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΟΡΟΛΟΓΙΑ	
ΑΠΕ	Ανανεώσιμες Πηγές ενέργειας
ΑΘ	Αντλία θερμότητας
Δ.Ε.Η	Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού
ΕΣΕΚ	Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα
ΕΚΕΤΑ	Εθνικό Κέντρο Έρευνας και Τεχνολογικής Ανάπτυξης
ΕΜΥ	Ελληνική Μετεωρολογική Υπηρεσία
ΖΝΧ	Ζεστό Νερό Χρήσης
ΟΗΕ	Οργανισμός Ηνωμένων Εθνών
Φ/Β	Φωτοβολταϊκό

abs	Απορροφούμενη
air	Αέρας
am	Περιβάλλον
coil	Σπειροειδής σωλήνας εντός του εναλλάκτη
col	Συλλέκτης
com	Συμπιεστής
cond	Συμπυκνωτής
ev	Ατμοποιητής
el	Ηλεκτρικός
en	Ενέργεια
ex	Εξέργεια
heat	Θέρμανση
hp	Αντλία θερμότητας
in	Είσοδος
ins	Μόνωση συλλέκτη
inv	Μετατροπέας (inverter)
loss	Θερμικές απώλειες
load	Φορτίο – προς την αντλία θερμότητας
out	Έξοδος
ref	Ψυκτικό μέσο
s	Ηλιακό
th	Θερμικός
u	Χρήσιμη

## Κατάλογος συμβόλων

A	Επιφάνεια	$m^2$
$\alpha$	Διορθωτικός Συντελεστής Θερμικής Τάσης	
b	Συντελεστής θερμοκρασίας φωτοβολταϊκού	$K^{-1}$
$C_d$	Παράγοντας Υποβαθμίσης	%
$C_p$	Ειδική θερμοχωρητικότητα	$kJ\ kg^{-1}\ K^{-1}$
CR	Λόγος Χωρητικότητας	%
D	Διάμετρος	m
$d_{in}$	Εσωτερική διάμετρος σωλήνα	m
$d_{out}$	Εξωτερική διάμετρος σωλήνα	m
E	Ενέργεια	kWh
$E_x$	Παραγόμενη εξέργεια	kW
G	Προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία	$W\ m^{-2}$
h	Ειδική ενθαλπία	$kJ\ kg^{-1}$
HT	Ωριαία προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία	$kWh\ m^{-2}$
I	Ένταση ηλ. Ρεύματος	A
k	Σταθερά Boltzmann	J/K
L	Μήκος	m
$\dot{m}$	Παροχή μάζας	$kg\ s^{-1}$
$\dot{m}_{evap}$	Παροχή μάζας εργαζόμενου μέσου εντός Ατμοποιητή	$kg\ s^{-1}$
$\dot{m}_{cond}$	Παροχή μάζας εργαζόμενου μέσου εντός Συμπυκνωτή	$kg\ s^{-1}$
N	Στροφές Συμπιεστή	RPM
$P_{el, hp}$	Ηλεκτρική ισχύς που καταναλώνεται στην αντλία θερμότητας	W
$P_{grid}$	Ηλεκτρική ισχύς προς το δίκτυο	W
Q	Θερμική Ισχύς	W
$Q_{cond}$	Ισχύς Συμπυκνωτή	W
$Q_{evap}$	Ισχύς Ατμοποιητή	W
R	Ηλεκτρική Αντίσταση	$\Omega$
S	Απορροφούμενη ηλιακή ακτινοβολία	$W\ m^{-2}$
T	Θερμοκρασία	$^{\circ}C$
$T_o$	Θερμοκρασία αναφοράς	K
$\bar{T}_w$	Μέση θερμοκρασία αέρα εντός εναλλάκτη	K
UT	Συντελεστής θερμικών απωλειών δοχείου	$W\ m^{-2}\ K^{-1}$
U	Συντελεστής θερμικής διαπερατότητας εναλλάκτη	$W\ m^{-2}\ K^{-1}$
V	Ογκομετρική παροχή	$m^3s^{-1}$
V	Τάση ηλ. Ρεύματος	V
$V_T$	Όγκος δοχείου αποθήκευσης	$m^3$
$U_{wind}$	Ταχύτητα ανέμου	$ms^{-1}$



## Κεφάλαιο 1ο- Εισαγωγή

### 1.1. Πλαίσιο

Η εξοικονόμηση ενέργειας αποτελεί κινητήριο μοχλό στο κομμάτι της έρευνας νέων τεχνολογιών. Στο τομέα των συστημάτων θέρμανσης κατοικιών είναι πολύ σημαντικό να υπάρξει μια νέα εφαρμόσιμη τεχνολογία η οποία να μας απομακρύνει από τα συμβατικά συστήματα θέρμανσης - ψύξης. Η χρήση των ορυκτών καυσίμων παγκοσμίως είναι αναγκαίο να μειωθεί με αποτέλεσμα οποιαδήποτε προσπάθεια εξέλιξης και καινοτομίας να έχει εστιάσει στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Ένα εξελιγμένο σύστημα θέρμανσης που θα απαιτεί λιγότερη ενέργεια λειτουργίας θα μπορούσε να επιτύχει υψηλή εξοικονόμηση ενέργειας, καθώς η εφαρμογή του μόνο στις κατοικίες θα επηρέαζε σημαντικά έναν κλάδο υπεύθυνο για το 36% της συνολικής τελικής καταναλισκόμενης ενέργειας στην Ευρώπη.

Η ανάγκη ενεργειακής μελέτης πρωτότυπων συστημάτων, με απώτερο στόχο την προώθηση της ενσωμάτωσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στον κτιριακό τομέα για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και την εξάλειψη προβλημάτων που προκύπτουν λόγω της συνεχούς αύξησης της τιμής του ηλεκτρικού ρεύματος, αποτελεί κίνητρο για την παρούσα διατριβή.

Αυτή η διπλωματική κάνει χρήση της ηλιακής ενέργειας και ενός διαφορετικού τρόπου διαχείρισης της ενέργειας αυτής, προσαρμοσμένη στις ανάγκες μίας πολυκατοικίας στην Αθήνα με απώτερο στόχο την ενεργειακή επάρκεια

### 1.2. Σκοπός, ερωτήματα και στόχοι

Η παρούσα διατριβή πραγματεύεται την αξιοποίηση ΑΠΕ για τη θέρμανση, ψύξη κτιρίων και την παροχή ΖΝΧ σε αυτά, με τη χρήση αντλιών θερμότητας στις οποίες δοκιμάζονται διαφορετικά χαμηλής θερμοκρασίας εργαζόμενα μέσα και διαφορετικές ρυθμίσεις στον συμπιεστή.

Ειδικότερα, η **αξιοποίηση** της ηλιακής θερμικής ενέργειας με τη χρήση ηλιακών συλλεκτών και την **αποθήκευση** αυτής σε δοχείο αποθήκευσης, η **χρήση** αντλίας θερμότητας αέρος - νερού, η **κάλυψη** της απαιτούμενης ηλεκτρικής ενέργεια από φωτοβολταϊκό σύστημα εγκατεστημένο στο προς εξέταση κτίριο είναι οι κυριότερες τεχνολογίες που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτή την εργασία.



Από τη σύνταξη του μοντέλου προσομοίωσης έως την εξαγωγή των αποτελεσμάτων αυτής τέθηκαν τα παρακάτω **ερωτήματα**, τα οποία και καλείται η παρούσα μελέτη να απαντήσει:

- Πόσα τετραγωνικά μέτρα ηλιοθερμικών συλλεκτών απαιτείται για την ενεργειακή επάρκεια του συστήματος και ποιος είναι ο καλύτερος συνδυασμός επιφάνειας – χωρητικότητας δοχείου;
- Πόση ισχύ θα πρέπει να έχει η αντλία θερμότητας ώστε να καλύψει ενεργειακά τις μεγαλύτερες ημερήσιες απαιτήσεις ;
- Εάν χρησιμοποιήσω διαφορετικό εργαζόμενο μέσο στην προς μελέτη αντλία θα έχω διαφορά στην απόδοσή και ποιο θα είναι οικονομικότερο ή φιλικότερο προς το περιβάλλον;
- Σε ποια λειτουργία (θερινή/χειμερινή) αξίζει να επικεντρωθούμε και πως αυτή επηρεάζει βαθμούς/δείκτες απόδοσης.
- Υπάρχει διαφορά στα αποτελέσματα του παραπάνω ερωτήματος εάν τροποποιήσω τις στροφές του συμπιεστή ή/και την αποτελεσματικότητα του εναλλάκτη;
- Πόσης ισχύος Φωτοβολταϊκό σύστημα (kW) και σε ποια κλίση θα τοποθετηθεί έτσι ώστε να βρεθεί το βέλτιστο σύστημα που θα ικανοποιήσει τις ετήσιες ηλεκτρικές ανάγκες ψύξης/θέρμανσης;

**Στόχος** της μελέτης είναι η εξεύρεση του καταλληλότερου ζεύγους εργαζόμενου μέσου – συμπιεστή, το οποίο εάν το πρώτο τοποθετηθεί και τροποποιηθεί αναλόγως το δεύτερο στη συγκεκριμένη αντλία θα είναι από πλευράς απόδοσης το καλύτερο για τα κλιματολογικά δεδομένα της Αθήνας και αυτού του τύπου κατοικιών. Σε κάθε περίπτωση, αυτό μας δίνει τη δυνατότητα να υπολογίσουμε για τις θερμοκρασίες (εξωτερική/ εσωτερική) που μας ενδιαφέρουν την απόδοση της αντλίας, έτσι ώστε να μπορέσουμε να υπολογίσουμε καλύτερα το πραγματικό ενεργειακό κόστος λειτουργίας.

### 1.3. Οριοθέτηση

---

Η αστείρευτη ηλιακή ενέργεια που μπορούν να μας διαθέσουν τα φωτοβολταϊκά συστήματα για ηλεκτρική ενέργεια καθώς και τα ηλιοθερμικά για ζεστό νερό χρήσης αποτελεί την πρώτη βασική παραδοχή της παρούσης εργασίας.

**Ο συνδυασμός αντλίας θερμότητας, και ενός φωτοβολταϊκού συστήματος με Net metering και ηλιοθερμικού συστήματος, είναι ικανός να ελαττώσει ως και να εκμηδενίσει τα κόστη για ηλεκτρισμό, θέρμανση και ψύξη ή κλιματισμό, αλλά και παροχής των ζεστών νερών χρήσης (ZNX).**

Η έννοια της αυτοπαραγωγής ενέργειας (net metering) υφίσταται σε πολλές χώρες, όπως και στην Ελλάδα από τον Απρίλιο του 2013 οπότε τίθεται σε ισχύ η δυνατότητα αυτοπαραγωγής ρεύματος σε κάθε κτίριο (κατοικία ή επιχείρηση).<sup>1</sup>

Για την κάλυψη των αναγκών για θέρμανση, ψύξη και ΖΝΧ συγκροτήματος κατοικιών βασιζόμενοι στα μετεωρολογικά δεδομένα της Αθήνας επιλέγεται η χρήση αντλιών θερμότητας ως η καταλληλότερη και οικονομικότερη, όπως πρόσφατη μελέτη του Εργαστηρίου Ατμοκινητήρων και Λεβήτων του ΕΜΠ απέδειξε.

Τέλος, σε όλες τις δοκιμές τα περισσότερα μέρη του εξεταζόμενου μοντέλου παραμένουν τα ίδια πλην του σημείου στο οποίο θα πρέπει να γίνει η κατάλληλη επιλογή ψυκτικού μέσου σύμφωνα με τους εκάστοτε περιορισμούς και πάντα ακολουθώντας τις διεθνείς οδηγίες και οι ρυθμίσεις στο συμπιεστή, για την εξαγωγή χρήσιμων αποτελεσμάτων αναφορικά με την επιλογή του ψυκτικού υγρού με το αποδοτικότερο ζεύγος COP/EER.

#### **1.4. Διάρθρωση της εργασίας**

---

Η παρούσα διατριβή χωρίζεται σε δύο μέρη. Το Α' μέρος περιλαμβάνει πέντε κεφάλαια όπου γίνεται η βιβλιογραφική ανασκόπηση του θέματος.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή για το θέμα με το οποίο πραγματεύεται η διπλωματική εργασία. Περιλαμβάνει μια γενική εισαγωγή του θέματος που θα εξεταστεί εκτενέστερα στην συνέχεια και τους στόχους της. Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή που αναφέρεται στο παρόν και το μέλλον της χρήσης της ενέργειας εστιάζοντας κυρίως στο ενεργειακό πρόβλημα, ενεργειακή ασφάλεια και σχεδιασμό για ένα βιώσιμο και αειφόρο ανάπτυξη ενώ γίνεται και μία αναφορά στο ΕΣΕΚ (Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα)

Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύονται οι βασικές μορφές ενέργειας, οι ενεργειακές πηγές και η σημερινή κατάσταση. Επίσης σημαντικό κομμάτι του κεφαλαίου αφιερώνεται στις ΑΠΕ, το δυναμικό του και τα πλεονεκτήματα από τη χρήση τους. Στο τέταρτο κεφάλαιο δίνονται οι βασικές αρχές της ηλιακής ενέργειας και στη συνέχεια αναλύονται οι αρχές λειτουργίας ηλιακών συστημάτων επίσης τα ηλιοθερμικά και φωτοβολταϊκά συστήματα. Ακολουθεί η ανάλυση των Φ/Β συστημάτων και η σημασία τους στην Ελλάδα.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στις αντλίες θερμότητας (αρχές λειτουργίας, πλεονεκτήματα, είδη). Επίσης σημαντική ανάλυση γίνεται για το βαθμό απόδοσης μιας

---

<sup>1</sup> Ο αυτοπαραγωγός ηλεκτρικής ενέργειας παράγει την ενέργεια που χρειάζεται με τη βοήθεια ΑΠΕ, την καταναλώνει απευθείας στο κτίριο του και όταν δεν του αρκεί αντί να έχει σύστημα αποθήκευσης απορροφά από το δίκτυο (ΔΕΔΔΗΕ). Με τον τρόπο αυτό αποφεύγεται το κόστος των μπαταριών οι οποίες είναι το τμήμα εκείνο ενός αυτόνομου συστήματος το πιο κοστοβόρο και θέλει αντικατάσταση γρηγορότερα και φυσικά υπάρχει μεγαλύτερη ευελιξία.

A/Θ ενώ το κεφάλαιο τελειώνει με αναφορά στη μελέτη του ΕΜΠ για τη σημασία της A/Θ στην οικονομία.

Το Β' μέρος περιλαμβάνει 2 κεφάλαια στα οποία γίνεται η παρουσίαση του μοντέλου του ηλιακού και Φ/Β συστήματος, του συστήματος θέρμανσης και ψύξης κτηρίου (A/Θ), οι προσομοιώσεις και οι συγκρίσεις των αποτελεσμάτων με τον σχολιασμό τους.

Συγκεκριμένα, στο πέμπτο κεφάλαιο αρχικά παρουσιάζεται η κτιριακή εγκατάσταση πάνω στην οποία θα γίνει η μελέτη, συγκεκριμένα παραθέτονται οι προδιαγραφές (απαιτήσεις ισχύος, συνολική επιφάνεια) του κτιρίου αλλά και τα κλιματικά δεδομένα για την Αθήνα. Επιπλέον, γίνεται αναλυτική αναφορά των βασικών υπολογιστικών μοντέλων των επιμέρους υποσυστημάτων, ενώ με αυτά στη συνέχεια πραγματοποιούνται προσομοιώσεις πάντα με βάση τις προδιαγραφές της πολυκατοικίας από τις οποίες γίνεται η εκλογή/διαστασιολόγηση του βέλτιστου υποσυστήματος. Βασισμένοι στα παραπάνω έγινε η σύζευξη των τριών υποσυστημάτων σε ένα σύστημα τριπαραγωγής σύμφωνα με την ακολουθία :

- ➔ Ηλιακό Θερμικό σύστημα (Πλήρης κάλυψη θερμικών Φορτίων ΖΝΧ κατά τους θερινούς μήνες) – Υπολογισμός ενέργειας στο δοχείο αδράνειας
- ➔ Αντλία Θερμότητας Αέρος – Νερού (Κάλυψη Ψυκτικών/Θερμικών Φορτίων μείον Φορτίου Ηλιακού) – Υπολογισμός ετήσιας ηλεκτρικής κατανάλωσης
- ➔ Φωτοβολταϊκό Σύστημα (Κάλυψη ηλεκτρικών καταναλώσεων συμπιεστή A/Θ) – Διαστασιολόγηση με βάση τις ετήσιες ηλ. καταναλώσεις

Τέλος, τα συμπεράσματα, τα στοιχεία πρωτοτυπίας και οι προτάσεις για μελλοντική έρευνα της παρούσας διατριβής παρουσιάζονται στο έκτο κεφάλαιο. Γενικότερα, αποδείχθηκε ότι είναι δυνατή η επίτευξη κάλυψης των ετήσιων θερμικών/ψυκτικών αναγκών μιας ολόκληρης πολυκατοικίας, με αυτό βέβαια να εξαρτάται ισχυρά από την διαθέσιμη/εκμεταλλεύσιμη επιφάνεια του εκάστοτε κτιρίου. Με άλλα λόγια ένα τέτοιο σύστημα έχει θέση στο άμεσο μέλλον αναλογιζόμενοι τις νέες νομοθεσίες και ενεργειακά πλαίσια σε εθνικό/πανευρωπαϊκό επίπεδο. Δεν πραγματοποιήθηκε οικονομοτεχνική μελέτη του συστήματος ως επένδυση από την εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας που επιτυγχάνεται, καθώς αυτό ξεφεύγει από τα όρια ανάλυσης της παρούσας διατριβής.

## Κεφάλαιο 2ο- Το παρόν και το μέλλον της χρήσης της ενέργειας

### 2.1. Η ενέργεια και ο ρόλος της

Η ενέργεια υπήρξε πάντα η κινητήρια δύναμη για την ανάπτυξη και την εξέλιξη της ανθρωπότητας. Λόγω της σπουδαιότητας της στη λειτουργία της κοινωνίας και των ανθρωπινων δραστηριοτήτων, αποτελεί καθοριστικό παράγοντα της παγκόσμιας οικονομίας και της ποιότητας ζωής του ανθρώπου.

Σύμφωνα με την ιεράρχηση των αναγκών του ανθρώπου, όπως φαίνεται στο **Σχήμα 1**, πρέπει να ικανοποιηθούν πρώτα οι βασικές ανάγκες του, οι οποίες αφορούν η ανάγκη για τροφή, νερό, θέρμανση και βρίσκονται στη βάση της πυραμίδας, για να προχωρήσει προς την κορυφή με την ικανοποίηση μερικών αυτών. Όσο ο άνθρωπος δεν ικανοποιείται με τα επιτευχθέντα τόσο παρακινείται για να τα αποκτήσει.<sup>2</sup>



**Σχήμα 1: Πυραμίδα Αναγκών του Αβραάμ Μάσλοου**

<https://el.wikipedia.org/wiki>

Η οικονομική ανάπτυξη, που πρέπει να επιδιώκεται από κάθε χώρα, είναι ένας μακροχρόνιος στόχος όλων των σύγχρονων κρατών και έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των παραγωγικών δυνατοτήτων της οικονομίας. Βέβαια, η επιδίωξη του στόχου αυτού, επιφέρει σοβαρό κοινωνικό και περιβαλλοντικό κόστος. Οι φυσικοί και οι ανθρωπικοί πόροι, το υλικό κεφάλαιο, η τεχνολογία και ο καταμερισμός της εργασίας είναι ορισμένοι

<sup>2</sup> Η ιεράρχηση αναγκών του Μάσλοου απεικονίζεται σε σχήμα πυραμίδας με τις μεγαλύτερες, πιο θεμελιώδεις ανάγκες στο κάτω μέρος και την ανάγκη για αυτοπραγμάτωση και υπέρβαση στην κορυφή. Διαθέσιμο στο <https://el.wikipedia.org/wiki>

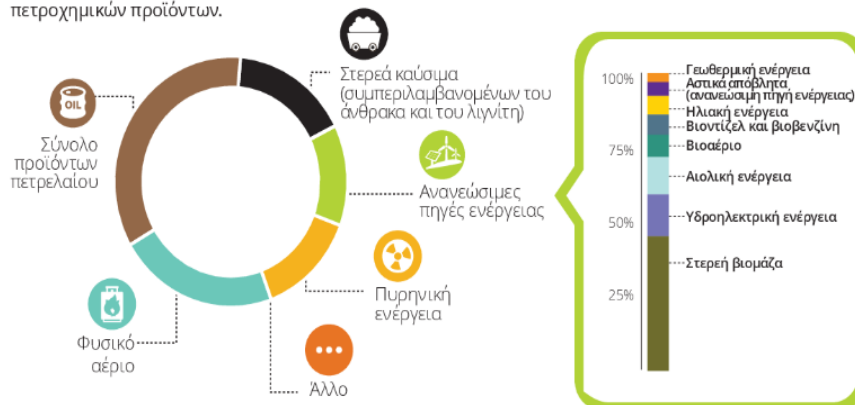
από τους παράγοντες που συντελούν στην οικονομική ανάπτυξη η οποία, κατά γενική ομολογία, εξαρτάται από τον δευτερογενή τομέα στον οποίο συμπεριλαμβάνεται μεταξύ άλλων και ο κλάδος της ενέργειας.

## 2.2. Ανάγκες και βασικές πηγές ενέργειας

Η ανάπτυξη της οικονομίας συνεχίζεται, όπως και η αύξηση της ενεργειακής κατανάλωσης. Σύμφωνα με το **Σχήμα 2**, τα ορυκτά καύσιμα συνεχίζουν να κυριαρχούν στη σύνθεση των ενεργειακών πηγών — περίπου το 79 % των ενεργειακών αναγκών του μέσου Ευρωπαίου καλύπτεται από τον άνθρακα, το φυσικό αέριο και το πετρέλαιο. Περίπου το 13 % προέρχεται από πυρηνική ενέργεια και το υπόλοιπο 8 % προέρχεται από τις ραγδαία αναπτυσσόμενες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ιδίως αιολική και ηλιακή ενέργεια).<sup>3</sup>

### Ακαθάριστη εσωτερική κατανάλωση ενέργειας ανά καύσιμο στην ΕΕ (2015)

Ως ακαθάριστη εσωτερική κατανάλωση ενέργειας νοείται η ποσότητα ενέργειας που είναι αναγκαία για την ικανοποίηση της εγχώριας κατανάλωσης μιας χώρας. Μικρό μέρος χρησιμοποιείται -εκτός από την παραγωγή ωφέλιμης ενέργειας (μη ενεργειακές χρήσεις)- για άλλους σκοπούς όπως για την παραγωγή πετροχημικών προϊόντων.



**Σχήμα 2: Κατανάλωση Ενέργειας ανά Καύσιμο στην ΕΕ**

<https://www.eea.europa.eu/el/themes/energy/about-energy>

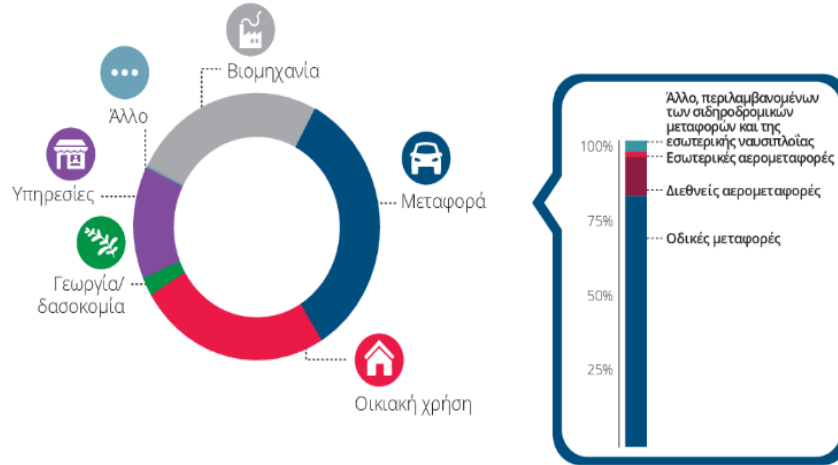
## 2.3. Ενεργειακό πρόβλημα

Το ενεργειακό πρόβλημα στις μέρες μας, δηλαδή η συσχέτιση των ενεργειακών αποθεμάτων των συμβατικών καυσίμων που διαρκώς μειώνονται, με τις απαιτήσεις για κατανάλωση ενέργειας που διαρκώς αυξάνονται όπως φαίνεται το **Σχήμα 3**, εμφανίζεται οξύτερο από ποτέ.

<sup>3</sup> Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος, “Σχετικά με την ενέργεια”, διαθέσιμο στο <https://www.eea.europa.eu/el/themes/energy/about-energy>

### Τελική κατανάλωση ενέργειας στην ΕΕ ανά τομέα (2015)

Η τελική κατανάλωση ενέργειας είναι η συνολική ενέργεια που καταναλώνεται από τους τελικούς χρήστες, όπως τα νοικοκυριά, η βιομηχανία και η γεωργία. Είναι η ενέργεια που φθάνει στην πόρτα του τελικού καταναλωτή, εξαιρουμένης της ενέργειας την οποία χρησιμοποιεί ο ίδιος ο ενεργειακός τομέας.



**Σχήμα 3: Τελική κατανάλωση ενέργειας στην ΕΕ ανά τομέα**

<https://www.eea.europa.eu/el/themes/energy/about-energy>

Το ενεργειακό πρόβλημα ήταν πάντα στην επικαιρότητα τις τελευταίες δεκαετίες και πολλές φορές υπήρξε το αίτιο (ως διεκδικούμενος φυσικός πόρος ή ως πηγή ισχύος) για μεγάλες στρατιωτικο-πολιτικό-οικονομικές ανακατατάξεις στον παγκόσμιο χάρτη. Τα τελευταία χρόνια μάλιστα και με δεδομένο ότι κάποιοι από τους φυσικούς πόρους είναι πεπερασμένοι (άνθρακας, πετρέλαιο, φυσικό αέριο) ο ανταγωνισμός για τον έλεγχο της αγοράς ενέργειας έχει γίνει ακόμα πιο έντονος.<sup>4</sup>

#### 2.4. Βιώσιμη ή αειφόρος ανάπτυξη

Οι 17 στόχοι του ΟΗΕ για τη Βιώσιμη Ανάπτυξη του **Σχήμα 4**, για έναν ειρηνικό κόσμο, περιβαλλοντολογικά θέματα και την καταπολέμηση της φτώχειας, αποκτούν δύναμη παγκόσμιου βεληνεκούς. Αυτό συμβαίνει καθώς έχει ξεκινήσει μια 10ετή παγκόσμια προσπάθεια που φιλοδοξεί να καινοτομήσει στα παραπάνω καιρία ζητήματα και να επιλύσει πολλά από αυτά (AGENDA 2030). Η Ατζέντα αυτή, υιοθετήθηκε τον Σεπτέμβριο του 2015 στη 70ή Γενική Συνέλευση των Ηνωμένων Εθνών. Ουσιαστικά εμπεριέχει 17 Στόχους Βιώσιμης Ανάπτυξης, οι οποίοι έρχονται να ενώσουν όλες τις χώρες του κόσμου για να επιλύσουν από κοινού μείζονα θέματα που αφορούν στα οικονομικά, κοινωνικά και περιβαλλοντικά προβλήματα.<sup>5</sup>

<sup>4</sup> Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος, “Σχετικά με την ενέργεια”, διαθέσιμο στο <https://www.eea.europa.eu/el/themes/energy/about-energy>

<sup>5</sup> ΟΗΕ, Περιφερειακό Κέντρο Πληροφόρησης του ΟΗΕ, “Στόχοι για τη Βιώσιμη Ανάπτυξη”, διαθέσιμο στο <https://unric.org/el>



Σχήμα 4: Οι 17 Στόχοι για τη Βιώσιμη Ανάπτυξη του ΟΗΕ

<https://unric.org/el/>

Σύμφωνα με τους παραπάνω στόχους η φτηνή και καθαρή ενέργεια αποτελεί τον 7<sup>ο</sup> στόχο της ατζέντας. Η ενέργεια είναι κεντρικής σημασίας για κάθε σοβαρή πρόκληση και ευκαιρία με την οποία έρχεται αντιμέτωπος ο κόσμος μας. Η εργασία, η ασφάλεια, η κλιματική αλλαγή, η παραγωγή τροφίμων και η αύξηση του εισοδήματος προϋποθέτουν απαραίτητως πρόσβαση σε ενέργεια.

## 2.5. Ενεργειακός σχεδιασμός

Η ευρωπαϊκή στρατηγική στοχεύει προπάντων στην ενεργειακή ασφάλεια και ανεξαρτησία της ΕΕ. Σύμφωνα με την Ενεργειακή Ένωση (2015), οι πέντε κύριοι στόχοι τους Σχήμα 5 της ενεργειακής πολιτικής της ΕΕ<sup>6</sup> επιδιώκουν:



Σχήμα 5: Οι πέντε κύριοι στόχοι της ΕΕ για την ενέργεια

<https://www.consilium.europa.eu/el/infographics/national-energy-and-climate-plans/>

<sup>6</sup> Συμβούλιο της ΕΕ και Ευρωπαϊκό Συμβούλιο, (2020), "Ενημερωτικό γράφημα - Εθνικά σχέδια για την ενέργεια και το κλίμα", διαθέσιμο στο <https://www.consilium.europa.eu/el/infographics/national-energy-and-climate-plans/>

## 2.6. Ενέργεια και περιβάλλον

Ο τομέας της ενέργειας είναι ένας από τους σημαντικότερους πυλώνες για μετάβαση σε μία βιώσιμη οικονομική ανάπτυξη. Η περιβαλλοντική υποβάθμιση που έχει συντελεστεί λόγω και των επιλογών στο μίγμα της ενέργειας έως σήμερα, έχει άμεσες και έμμεσες συνέπειες τόσο στον οικονομικό τομέα όσο και στο κοινωνικό σύνολο. Η αύξηση συμμετοχής των ΑΠΕ στο ενεργειακό μίγμα αποτελεί αναγκαιότητα καθώς και η διαφοροποίηση των πηγών, που θα συμβάλλουν στη μείωση της ενεργειακής εξάρτησης.

Οι επενδύσεις σε νέες τεχνολογίες ΑΠΕ θα έχουν θετική επίδραση στους τομείς της οικονομικής δραστηριότητας και ταυτόχρονα θετικό περιβαλλοντικό αποτύπωμα. Απαιτούμενη προϋπόθεση για την αποτελεσματικότητα όλων των παραπάνω αλλαγών, είναι η αποδοχή τους από το κοινωνικό σύνολο. Γι' αυτό το λόγο οι πολιτικές επιλογές θα πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τις κοινωνικές ανησυχίες και αντιστοίχως στο κοινωνικό σύνολο να επικρατεί η αντίληψη του ευρύτερου καλού και όχι του ατομικού.

## 2.7. Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ) 7

Με την υπό αριθμό. 4/23.12.2019 Απόφαση του Κυβερνητικού Συμβουλίου Οικονομικής Πολιτικής (**ΦΕΚ Β' 4893**) κυρώθηκε το Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ).

Το **Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ)** αποτελεί για την Ελληνική Κυβέρνηση ένα Στρατηγικό Σχέδιο για τα θέματα του Κλίματος και της Ενέργειας και παρουσιάζεται σε αυτό ένας **αναλυτικός οδικός χάρτης για την επίτευξη συγκριμένων Ενεργειακών και Κλιματικών Στόχων έως το έτος 2030**. Το ΕΣΕΚ παρουσιάζει και αναλύει Προτεραιότητες και Μέτρα Πολιτικής σε ένα ευρύ φάσμα αναπτυξιακών και οικονομικών δραστηριοτήτων προς όφελος της Ελληνικής κοινωνίας, καθιστώντας το κείμενο αναφοράς για την επόμενη δεκαετία.

Συμπληρωματικά στο ΕΣΕΚ αναπτύσσεται η Μακροχρόνια Στρατηγική για το έτος 2050 που αποτελεί έναν οδικό χάρτη για τα θέματα του Κλίματος και της Ενέργειας, στο πλαίσιο της συμμετοχής της χώρας στο συλλογικό Ευρωπαϊκό στόχο της επιτυχούς και βιώσιμης μετάβασης σε μια οικονομία κλιματικής ουδετερότητας έως το έτος 2050, σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης. Η Μακροχρόνια Στρατηγική έχει ως σημείο αναφοράς το έτος 2030 και προϋποθέτει την επίτευξη των σχετικών στόχων του ΕΣΕΚ.

Περισσότερες πληροφορίες όσο και κατά πόσο το ΕΣΕΚ θα επηρεάσει το εγγύς μέλλον φαίνονται στο **Παράρτημα Ι – Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ)**

<sup>7</sup> Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, “Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα”, διαθέσιμο στο <https://ypen.gov.gr/energeia/esek/>



## Κεφάλαιο 3ο - Είδη ενέργειας

### 3.1 Βασικές μορφές ενέργειας<sup>8</sup>

Βασικές μορφές είναι η μηχανική (που συνίσταται από την κινητική και τη δυναμική ενέργεια ενός σώματος), η ηλεκτρική, η πυρηνική, η θερμική και η χημική ενέργεια. Η κύρια μονάδα μέτρησής της στο παγκόσμιο σύστημα μονάδων είναι (SI) είναι το Joule (J).<sup>9</sup> Αναλυτικότερα έχουμε:



- Κινητική ενέργεια είναι αυτή που έχει ένα σώμα όταν κινείται και αναφέρεται στην ικανότητα του να παράγει έργο.
- Δυναμική ενέργεια, η ενέργεια δηλαδή που έχει το σώμα όταν βρίσκεται σε κάποιο πεδίο δυνάμεων, διακρίνεται σε ενέργεια θέσεως, (π.χ. η βαρύτητα) και ενέργεια μορφής, που εμφανίζεται όταν συμπιέζουμε, τεντώνουμε ή λυγίζουμε ένα υλικό αλλάζοντας τη φυσική του μορφή π.χ. το παραμορφωμένο μέταλλο.
- Πυρηνική ενέργεια, η οποία είναι η δυναμική ενέργεια που είναι εγκλεισμένη στους πυρήνες των ατόμων λόγω της αλληλεπίδρασης των σωματιδίων που τα συνιστούν και απελευθερώνεται κατά τη σχάση ή τη σύντηξη των πυρήνων.
- Η θερμική ενέργεια αποτελείται από το σύνολο της κινητικής ενέργειας των σωματιδίων που συγκροτούν τα υλικά σώματα καθώς αυτά κινούνται στο εσωτερικό τους.
- Η ηλεκτρική ενέργεια αναφέρεται στην κινητική ενέργεια των κινούμενων ηλεκτρονίων, λόγω της ύπαρξης διαφοράς δυναμικού στα άκρα ενός αγωγίμου υλικού με αποτέλεσμα τη δημιουργία ηλεκτρικού ρεύματος.
- Ως χημική ενέργεια ορίζεται το σύνολο της ενέργειας που συνέβαλε στη συγκρότηση μορίων χημικών ουσιών από διάφορα άτομα, κάτω από την αλληλεπίδραση ηλεκτρομαγνητικών δυνάμεων. Η χημική ενέργεια μετασχηματίζεται συνήθως σε θερμική

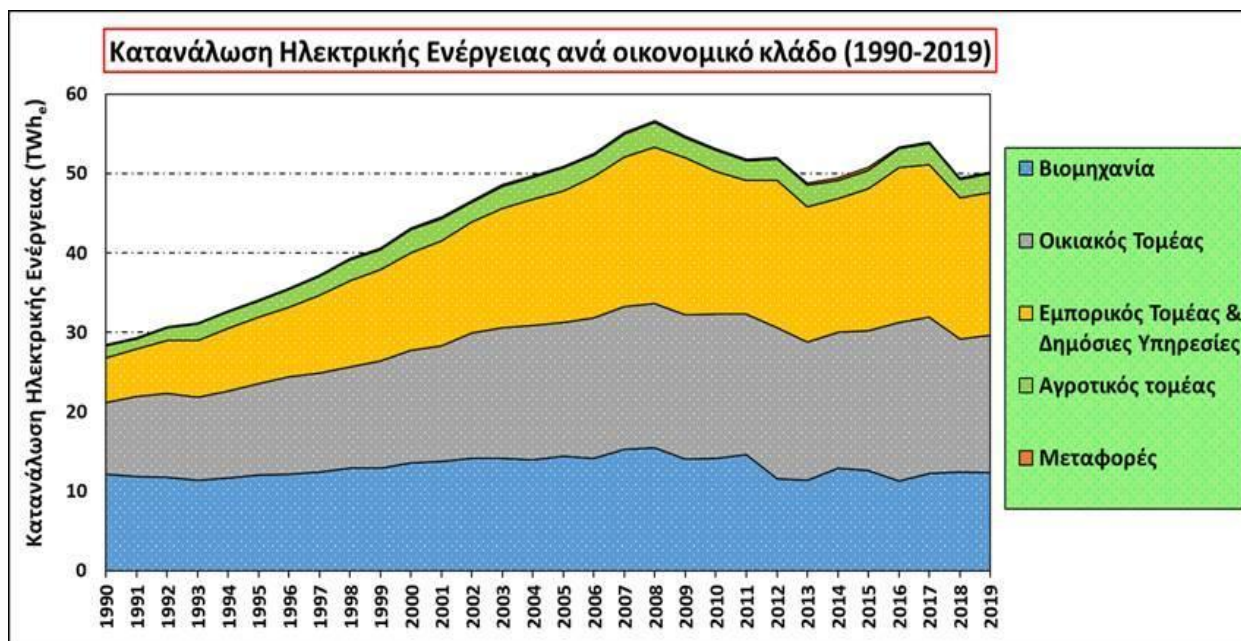
<sup>8</sup> Ανδρίτσος Ν.,(2008) “Ενέργεια και περιβάλλον”, Διδακτικές Σημειώσεις, σελ 12.

<sup>9</sup> Κατσαπρακάκης Δ.,(2015), Σύνθεση Ενεργειακών Συστημάτων, σελίδα 12-13.

ή ηλεκτρική, όταν γίνεται η αντίστροφη διαδικασία και τα μόρια διασπώνται και πάλι σε άτομα.

### 3.2 Τελικές χρήσεις ενέργειας<sup>10</sup>

Οι διάφορες τελικές χρήσεις της ενέργειας ταξινομούνται συνήθως στους παρακάτω τομείς και έχουν όπως στο **Σχήμα 6**, αναφορικά με την κατανάλωση τους ανά οικονομικό τομέα:



Σχήμα 6: Κατανάλωση Ηλεκτρικής Ενέργειας ανά οικονομικό κλάδο στο χρονικό διάστημα 1990-2019

<https://news.b2green.gr/16138/>

### 3.3 Ενεργειακές πηγές και η κατάσταση σήμερα

Οι πηγές ενέργειας ταξινομούνται γενικά σε δύο βασικές κατηγορίες: μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

#### 3.3.1 Μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας χαρακτηρίζονται οι πηγές οι οποίες δεν αναπληρώνονται ή αναπληρώνονται εξαιρετικά αργά για τα ανθρώπινα μέτρα από φυσικές διαδικασίες. Στις μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας περιλαμβάνονται κυρίως ο άνθρακας, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο, γνωστά και ως ορυκτά καύσιμα.

<sup>10</sup> Ανδρίτσος Ν.,(2008), "Ενέργεια και περιβάλλον", Διδακτικές Σημειώσεις, σελ 14



Έτσι η χρήση των συμβατικών καυσίμων για την παραγωγή ενέργειας παρουσιάζει δύο κυρίως μειονεκτήματα, την εξάρτηση από εξαντλήσιμες πηγές ενέργειας αφού οι ποσότητες των συμβατικών καυσίμων είναι περιορισμένες και τη ρύπανση του περιβάλλοντος δεδομένου ότι φαινόμενα όπως αυτό του θερμοκηπίου αλλά και της όξινης βροχής οφείλονται πρωτίστως στους ρύπους που εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα κατά την καύση των καυσίμων αυτών

### 3.3.2 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Ως Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Α.Π.Ε.) έχουν οριστεί οι ενεργειακές πηγές, οι οποίες υπάρχουν σε αφθονία στο φυσικό περιβάλλον και ανανεώνονται ετησίως με ρυθμούς υψηλότερους από την κατανάλωση ενέργειας από τον άνθρωπο.

Σύμφωνα με την Οδηγία 2001/77/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 27ης Σεπτεμβρίου 2001, ως μη ορυκτές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας καταγράφονται, η αιολική, η ηλιακή, η γεωθερμική ενέργεια, η ενέργεια κυμάτων, η παλιρροϊκή ενέργεια, η υδραυλική ενέργεια, τα αέρια τα εκλυόμενα από χώρους υγειονομικής ταφής, από εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού και τα βιοαέριο

### 3.3.3 Οι Κύριες Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας<sup>11</sup>

Οι ΑΠΕ ταξινομούνται στις παρακάτω κατηγορίες: ενώ στην **Εικόνα 1** βλέπουμε τις συνηθισμένες εφαρμογές αυτών<sup>12</sup>

- **Ηλιακή ενέργεια:** Η ηλιακή γίνεται εκμεταλλεύσιμη ακτινοβολία με τη βοήθεια των κατάλληλων υλικών μέσων και η ενέργεια που λαμβάνεται αποτελεί την ηλιακή ενέργεια.
- **Αιολική ενέργεια:** είναι η κινητική ενέργεια του ανέμου, η οποία μέσω κατάλληλων αεροδυναμικών σχηματισμών και μηχανισμών μετατρέπεται σε μηχανική.
- **Υδραυλική ενέργεια:** είναι η δυναμική ενέργεια του νερού, η οποία προέρχεται από τις υδατοπτώσεις. Μετασχηματίζεται σε κινητική μέσω κατάλληλων φυσικών ή τεχνητών αγωγών και ο τελικός σκοπός είναι η μετατροπή της σε ηλεκτρική ενέργεια.
- **Βιομάζα:** είναι αποτέλεσμα της διαδικασίας της φωτοσύνθεσης, η οποία χρησιμοποιώντας την ηλιακή ακτινοβολία, με μια σειρά διεργασιών συμβάλλει στην ανάπτυξη φυτικών οργανισμών, τόσο χερσαίας όσο και υδρόβιας προέλευσης.

<sup>11</sup> Κατσαπρακάκης Δ.,(2015), “Σύνθεση Ενεργειακών Συστημάτων”, σελ 20-22.

<sup>12</sup> Ευρωπαϊκό Ελεγκτικό Συνέδριο, “Ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές για βιώσιμη αγροτική ανάπτυξη: σημαντικές δυνατότητες συνεργιών που παραμένουν εν πολλοίς αναξιοποίητες”, διαθέσιμο στο <https://op.europa.eu/webpub/eca/special-reports/renewable-energy-5-2018/el/>

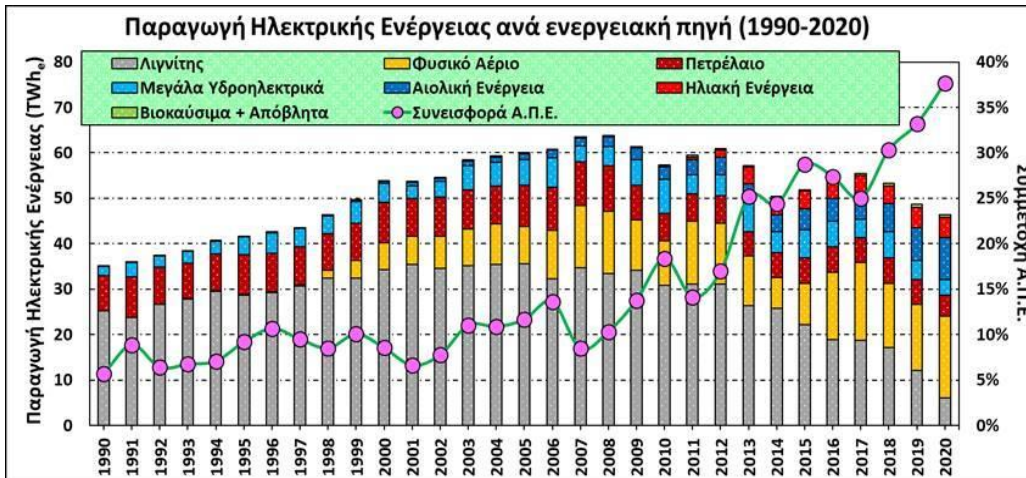
- **Γεωθερμική ενέργεια:** αποτελεί το σύνολο της θερμικής ενέργειας που προέρχεται από το εσωτερικό της Γης
- **Η ενέργεια από τη θάλασσα:**



Εικόνα 1: Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, τεχνολογίες και συνήθειες εφαρμογές

<https://op.europa.eu/webpub/eca/special-reports/renewable-energy-5-2018/el/>

Στο **Σχήμα 8** βλέπουμε τη συνεισφορά των ΑΠΕ στην παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας τα τελευταία 30 χρόνια

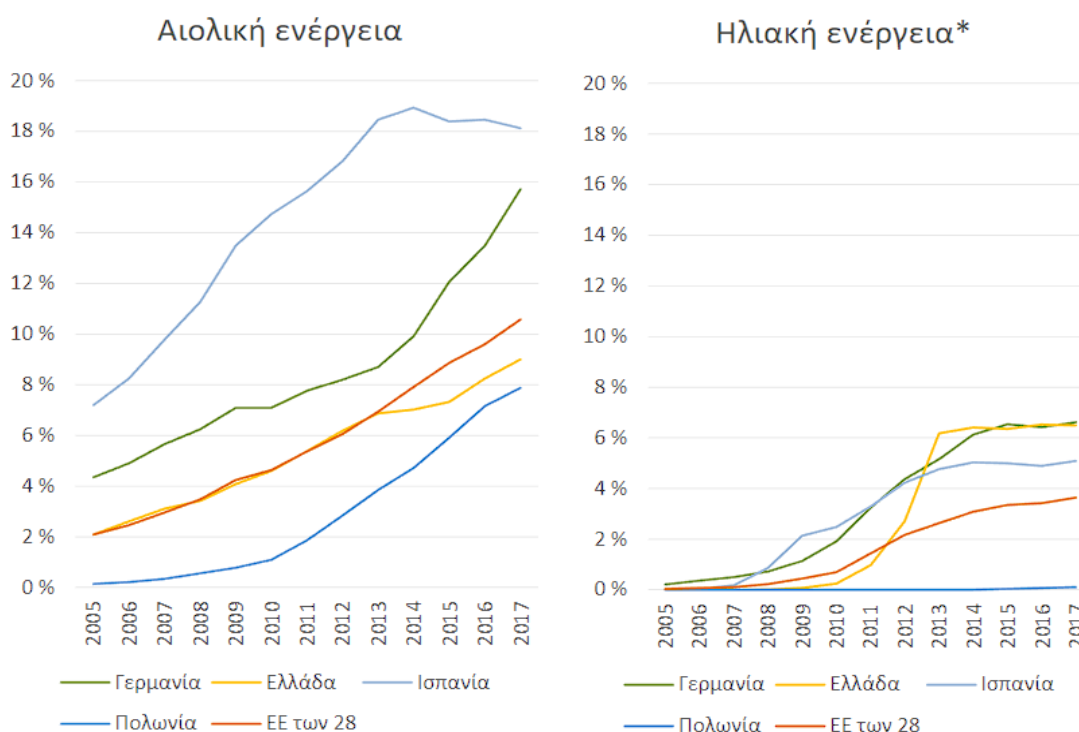


Σχήμα 7: Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας ανά ενεργειακή πηγή στο χρονικό διάστημα 1990-2020

<https://news.b2green.gr/16138/>

### 3.3.4 Δυναμικό των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας

Η ανάπτυξη των ΑΠΕ, και ιδιαιτέρως της αιολικής και της ηλιακής ενέργειας, προωθείται με συνεχώς αυξανόμενο ρυθμό σε όλο τον ανεπτυγμένο κόσμο με ισχυρά κίνητρα για επίδοξους επενδυτές από τα κράτη και τις ενώσεις κρατών. Ωστόσο, σε αυτό το σημείο πρέπει να τονιστούν ορισμένες δυσκολίες που παρουσιάζονται στην προσπάθεια αξιοποίησής τους. Η βασικότερη από αυτές είναι το σχετικά υψηλό κόστος τους ανά παραγόμενη kWh σε σχέση με το αντίστοιχο κόστος των ορυκτών καυσίμων και μία δεύτερη είναι η αστάθεια των καιρικών φαινομένων που δημιουργούν το δυναμικό τους. Από τις ήπιες μορφές ενέργειας, αυτές που έχουν επικρατήσει σε μαζικό επίπεδο χρήσης είναι η ηλιακή και η αιολική. Μεταξύ των δύο αυτών μορφών, οικονομικότερη σήμερα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας φαίνεται να είναι η αιολική, κυρίως με τη μορφή αιολικών πάρκων απευθείας συνδεδεμένων στο δίκτυο όπως φαίνεται και στο **Σχήμα 9**.<sup>13</sup>



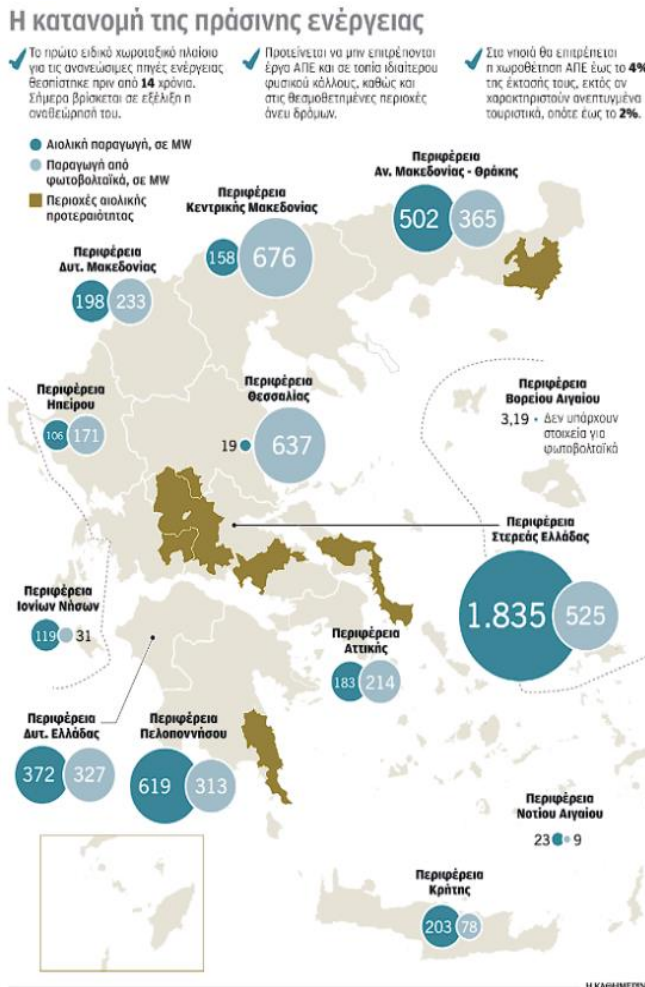
**Σχήμα 8: Συμμετοχή της αιολικής και της ηλιακής ενέργειας στη συνολική ηλεκτροπαραγωγή στα τέσσερα κράτη μέλη και στην ΕΕ των 28, 2005-2017**

<https://op.europa.eu/webpub/eca/special-reports/wind-solar-power-generation-8-2019/el/index.html>

<sup>13</sup> Ευρωπαϊκό Ελεγκτικό Συνέδριο, "Αιολική και ηλιακή ενέργεια για ηλεκτροπαραγωγή: χρειάζεται να ληφθούν ακόμη πολλά μέτρα προκειμένου να επιτευχθούν οι στόχοι της ΕΕ", διαθέσιμο στο <https://op.europa.eu/webpub/eca/special-reports/wind-solar-power-generation-8-2019/el/index.html>

### 3.3.5 Πλεονεκτήματα της ανάπτυξης των ΑΠΕ<sup>14</sup>

Η κατανομή της πράσινης ενέργειας στην Ελλάδα έχει στην



**Εικόνα 2** καθώς η χώρα μας εκμεταλλεύεται τα βασικά πλεονεκτήματα από τη χρήση ΑΠΕ, τα οποία είναι τα εξής :

- Είναι θεωρητικά και πρακτικά ανεξάντλητες και μειώνουν την εξάρτηση από τους λοιπούς ενεργειακούς πόρους
- Είναι γενικά αποδεκτές λόγω της φιλικότητας με το περιβάλλον με μηδαμινά κατάλοιπα και απόβλητα
- Είναι μια αποδεκτή λύση για τον περιορισμό των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα και του φαινομένου του θερμοκηπίου
- Είναι πηγές με τοπικό χαρακτήρα συμβάλλοντας στην αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος μειώνοντας τις απώλειες από τη μεταφορά της ενέργειας, στην εγχώρια ενεργειακή ανεξαρτησία και στον ενεργειακό ανεφοδιασμό
- Είναι ποικιλοτρόπως αξιοποιήσιμες ανάλογα τις ανάγκες κάθε χρήστη, σε όποια κλίμακα απαιτείται, με μικρό χρόνο κατασκευής και χαμηλό λειτουργικό κόστος

- Είναι παράγοντας αναπτυξιακού χαρακτήρα σε τοπικό επίπεδο, ιδίως σε υποβαθμισμένες περιοχές

**Εικόνα 2: Χάρτης με την κατανομή της πράσινης ενέργειας**

<https://www.kathimerini.gr/society/562037191/sta-skaria-neos-chartis-gia-tis-ape>

### 3.4 ΑΠΕ και Ελλάδα

Η Ελλάδα αποτελεί ιδανικό τόπο για ευρεία χρήση των ΑΠΕ. Τα ιδιαίτερα φυσικά τοπικά χαρακτηριστικά της σε συνδυασμό με τα ποικιλόμορφα κλιματολογικά στοιχεία της ικανοποιούν την αναγκαία συνθήκη για την ανάπτυξη κάθε εφαρμογής των

<sup>14</sup>Ανδρίτσος Ν.,(2008) “Ενέργεια και περιβάλλον”, Διδακτικές Σημειώσεις, σελ 145-155

ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η χώρα μας βρίσκεται σε μια περιοχή εξαιρετικά ηλιόλουστη, όπου υπάρχουν πλούσιοι υδάτινοι πόροι και πνέουν συχνά ισχυροί άνεμοι.

Η Ελλάδα διαθέτει σχεδόν ανεξάντλητο δυναμικό κάθε μορφής ΑΠΕ. Ενδεικτικά, σύμφωνα με μελέτη για τις ανανεώσιμες πηγές στη Μεσόγειο, η οικονομικά εκμεταλλεύσιμη παραγωγή ηλεκτρισμού στην Ελλάδα από κάθε μορφής ΑΠΕ ανέρχεται σε 55.000 GWh το χρόνο, ενώ το τεχνικά εκμεταλλεύσιμο δυναμικό υπερβαίνει τις 218.000 GWh.

Η γεωγραφική της θέση εξασφαλίζει μια εκτεταμένη περίοδο ηλιοφάνειας, προσφέροντας τη δυνατότητα μιας ουσιαστικής αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας. Στο μεγαλύτερο τμήμα της χώρας η ηλιοφάνεια διαρκεί περισσότερο από 2700 ώρες τον χρόνο. Ο συνδυασμός του γεωγραφικού πλάτους της Ελλάδας και της υψηλής ηλιοφάνειας της έχει ως αποτέλεσμα να προσπίπτουν ημερησίως κατά μέσο όρο 4,3 kWh ηλιακής ενέργειας ανά τετραγωνικό μέτρο οριζόντιας επιφάνειας. Αυτό συντελεί στο να είναι δυνατή σε ολόκληρη της επικράτεια η οικονομικά επωφελής εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας σε ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών. Εκτιμάται ότι η ηλιακή ενέργεια μπορεί να καλύψει το ένα τρίτο των αναγκών της χώρας σε ηλεκτρισμό.<sup>15</sup>



**Εικόνα 3: Χαρακτηριστικό παράδειγμα της δυναμικής των ΑΠΕ**

<https://www.cnn.gr/oikonomia/anaptyxi/story/332033/admie-oi-ape-kalypsan-pliers-tin-zitisi-tis-ilektrikis-energeias>

Χαρακτηριστικό παράδειγμα της δυναμικής των ΑΠΕ στη χώρα αποτελεί το γεγονός ότι για τουλάχιστον πέντε ώρες κατά τη διάρκεια της Παρασκευής 7 Οκτωβρίου, η παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος από ΑΠΕ υπερκάλυψαν τις ενεργειακές

<sup>15</sup> Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας, (2006), “Εγχειρίδιο ΑΠΕ”, σελ 6-7

**απαιτήσεις του συστήματος ενώ ρεκόρ αποτελεί και η παραγωγή των 3.106 MWh η οποία σημειώθηκε το πρωί της συγκεκριμένης ημέρας, όπως φαίνεται στην **Εικόνα 3**.**<sup>16</sup>

---

<sup>16</sup> Αυτή ήταν η πρώτη φορά στην ιστορία της χώρας που η ηλεκτροδότηση επιχειρήσεων και νοικοκυριών πραγματοποιήθηκε με τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας η οποία είχε παραχθεί κατά αποκλειστικότητα από ΑΠΕ και με μηδενικό περιβαλλοντικό αποτύπωμα. Διαθέσιμο στο <https://www.cnn.gr/oikonomia/anaptyxi/story/332033/admie-oi-ape-kalypsan-pliers-tin-zitisi-tis-ilektrikis-energeias>

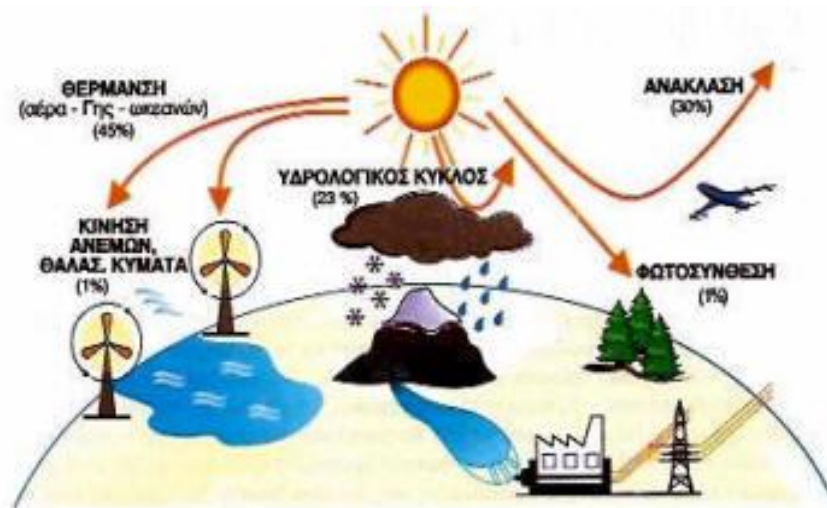


## Κεφάλαιο 4ο -Ενέργεια από τον ήλιο

Λόγω του γεγονότος ότι το σύνολο της εργασίας περιστρέφεται γύρω από την χρησιμοποίηση της ηλιακής ενέργειας και των εφαρμογών της κρίνεται σκόπιμη η ανάλυση μερικών βασικών όρων και ορισμών

### 4.1 Ηλιακή ενέργεια

Με τον όρο ηλιακή ενέργεια, **Εικόνα 4**, χαρακτηρίζουμε ένα σύνολο από μορφές ενέργειας προερχόμενες από τον ήλιο. Αυτές οι μορφές ενέργειας είναι η φωτεινή ενέργεια, η θερμική ενέργεια και η ενέργεια ακτινοβολίας.



**Εικόνα 4: Ηλιακή ενέργεια**

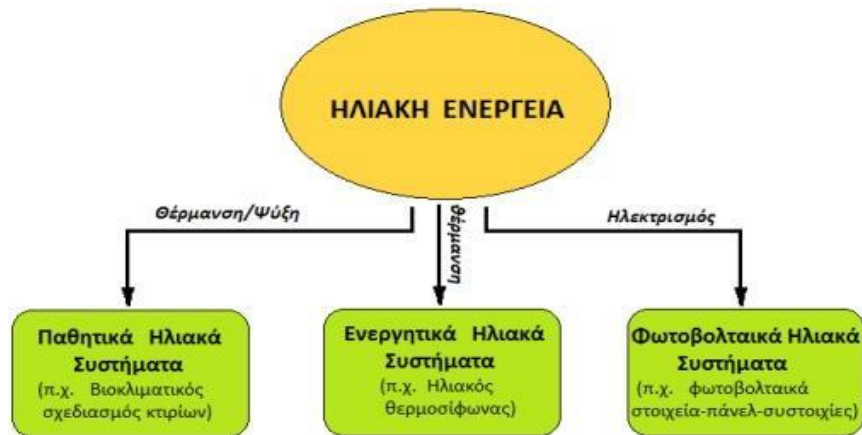
<https://www.e-mc2.gr/el/vivliothiki/energeia-energy/iliaki-energeia>

Η ηλιακή ενέργεια στο σύνολό της είναι πρακτικά ανεξάντλητη, καθώς προέρχεται από τον ήλιο, και ως εκ τούτου δεν υπάρχουν περιορισμοί χώρου και χρόνου για την εκμετάλλευσή της. Η ηλιακή ενέργεια αν και δεν είναι διαθέσιμη καθ' όλη την διάρκεια της ημέρας μπορούμε να εκτιμήσουμε τόσο τις ώρες που είναι διαθέσιμη για κάθε ημέρα όσο και την ισχύ της επίσης κάθε ώρα της ημέρας και να προβλέψουμε την ένταση της ηλιακής διαθέσιμης ισχύος ανάλογα με την περιοχή που εξετάζουμε με ικανοποιητική ακρίβεια. Με αυτόν τον τρόπο μπορούμε να σχεδιάσουμε καλύτερα και πιο αποδοτικά τα ηλιακά συστήματα κάθε είδους με σκοπό την βέλτιστη λειτουργία τους.

<sup>17</sup> MEP Engineering, “Ηλιακή Ενέργεια – Ηλιοθερμία”, διαθέσιμο στο <https://www.mep.gr/services/erga-i-m-kataskeyi/iliaki-energeia>

## 4.2 Εφαρμογές Ηλιακής Ενέργειας

Όσον αφορά την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας, θα μπορούσαμε να την χωρίσουμε σε τρεις κατηγορίες αναλόγως της εφαρμογής, όπως φαίνονται στο **Σχήμα 9**: τα παθητικά ηλιακά συστήματα, τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα και τα φωτοβολταϊκά συστήματα.<sup>18</sup>



**Σχήμα 9: Κατηγορίες εφαρμογής ηλιακής ενέργειας**

<https://www.mep.gr/services/erga-i-m-kataskeyi/iliaki-energeia/>

Η διαφορά των ηλιοθερμικών συστημάτων με τα φωτοβολταϊκά είναι ότι τα ηλιοθερμικά μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια πρώτα σε θερμική με μεταφορά θερμότητας, ενώ τα φωτοβολταϊκά μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια απευθείας σε ηλεκτρική. Άλλη μία σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο είναι πως τα φωτοβολταϊκά δεν χρειάζονται ηλιοφάνεια για να παραγάγουν ηλεκτρισμό.

## 4.3 Ηλιοθερμικά Συστήματα - Γενικά

### 4.3.1 Γενικά

Τα ηλιοθερμικά συστήματα βασίζουν τη λειτουργία τους στην αρχή της ηλιοθερμίας, σύμφωνα με την οποία η ηλιακή ενέργεια συλλέγεται και μετατρέπεται σε θερμική. Υπάρχουν διάφορων ειδών τέτοια συστήματα και η διαφορά τους έγκειται στο βαθμό θερμότητας που μπορούν να παράγουν. Υπάρχουν δηλαδή, χαμηλής, μέσης ή υψηλής θερμοκρασίας συλλέκτες.

- Η χαμηλής και μέσης θερμοκρασίας συλλέκτες, όπως της **Εικόνα 5**, είναι επίπεδες πλάκες που παγιδεύουν την ηλιακή ενέργεια χρησιμοποιώντας το φαινόμενο του

<sup>18</sup> Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, “Ηλιακή/ Φωτοβολταϊκά”.

θερμοκηπίου, για να ζεστάνουν νερό μέσα στο πλαίσιο, συνήθως για οικιακή ή βιομηχανική χρήση.



**Εικόνα 5: Χαμηλής θερμοκρασίας Ηλιακός θερμοσίφωνας με συλλέκτες κενού, αριστερά και συλλέκτες επίπεδης επιφάνειας δεξιά.**

<https://el.wikipedia.org/wiki/>

- Αντίθετα, οι υψηλής θερμοκρασίας συλλέκτες συγκεντρώνουν την ηλιακή ενέργεια με κάτοπτρα ή φακούς σε ένα νεπόζιτο νερού μετατρέποντας το σε ατμό, ο οποίος στην συνέχεια μπορεί να εκτονωθεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

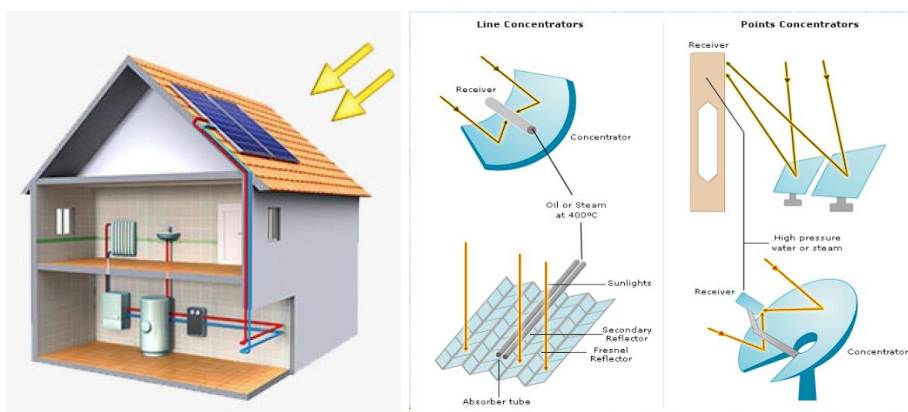
Για να λειτουργήσουν αποδοτικά, τα ηλιοθερμικά συστήματα χρειάζονται άμεση πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας στους συλλέκτες ή τα κάτοπτρα. Το σημαντικότερο πλεονέκτημα ενός ηλιοθερμικού συστήματος είναι η δυνατότητά του να καλύψει μέχρι και το 100% των αναγκών σε ζεστό νερό χρήσης, ενώ παράλληλα εξασφαλίζει εξοικονόμηση ενέργειας σε συστήματα θέρμανσης έως και 60%. Άλλα σημαντικά οφέλη είναι η μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub>, συμβάλλοντας έτσι στην προστασία του περιβάλλοντος καθώς και η δυνατότητα συνδυασμού με σύστημα γεωθερμίας ή αντλία θερμότητας Αέρα - Νερού.<sup>19</sup>

**Αυτό είναι και άλλωστε μία από τις παραμέτρους με τους οποίους σχεδιάστηκε το μοντέλο τριπαραγωγής το οποίο η παρούσα διατριβή αναλύει και συγκρίνει**

#### **4.3.2 Τρόπος Λειτουργίας**

Για τη λειτουργία τους τα ηλιοθερμικά συστήματα απαιτούν την άμεση πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας, όπως φαίνεται στην **Εικόνα 6**, για να μπορούν να την εστιάσουν στο επιθυμητό σημείο. Η ενέργεια που παράγεται από αυτά τα συστήματα αποτελεί μια από τις καθαρότερες μορφές ανανεώσιμης πηγής ενέργειας.

<sup>19</sup> Real Mechanical Solutions, “Ηλιοθερμικά Συστήματα”, διαθέσιμο στο <http://www.rms.gr/index.php/iliothermika-systimata>



Εικόνα 6: Τρόπος λειτουργία ηλιοθερμικών συστημάτων  
<http://www.rms.gr/index.php/iliothermika-systimata>

#### 4.3.3 Σύστημα ηλιοθερμίας<sup>20</sup>

Τα συστήματα ηλιοθερμίας αποτελούνται από τις εξής μονάδες:

- **Ηλιακοί συλλέκτες:** Η επιλογή ηλιακών συλλεκτών (ηλιακοί συλλέκτες επίπεδης επιφάνειας ή συλλέκτες κενού) γίνεται ανάλογα με την χρήση για την οποία προορίζονται. Σε εφαρμογές κατοικιών ή επαγγελματικών κτιρίων, στις οποίες οι απαιτούμενες θερμοκρασίες είναι μικρότερες από 93°C, χρησιμοποιούνται συνήθως επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες, ενώ σε εφαρμογές που απαιτούνται θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 93°C, χρησιμοποιούνται συλλέκτες με σωλήνες κενού.

- **Ταμιευτήρες ηλιακής θέρμανσης (Buffer):** Στον ταμιευτήρα αποθηκεύεται ζεστό νερό, το οποίο χρησιμοποιείται στις περιπτώσεις που δεν υπάρχει ηλιοφάνεια. Ανάλογα με την χρήση για την οποία προορίζεται το σύστημα επιλέγεται ο κατάλληλος ταμιευτήρας είτε για ζεστό νερό χρήσης είτε για υποστήριξη θέρμανσης, είτε για συνδυασμό και των δύο.

- **Ηλιακοί ελεγκτές (solar station):** Ελέγχει τις συσκευές θέρμανσης καθώς και όλες τις λειτουργίες του συστήματος.

#### 4.3.4 Σημαντικές παρατηρήσεις

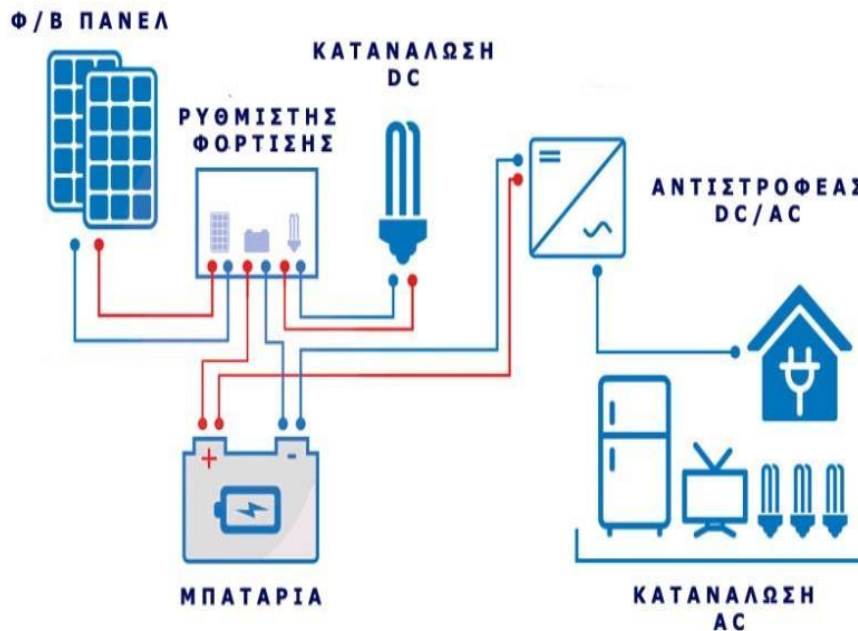
Για την κάλυψη των αναγκών σε ΖΝΧ (ζεστό νερό χρήσης) σε μία κατοικία δεν απαιτούνται πάνω από 2,5 τετραγωνικά ηλιακού συλλέκτη. Αντίστοιχα για την υποβοήθηση της θέρμανσης χώρων δεν θα χρειαστούν πάνω από 20 τετραγωνικά μέτρα συλλεκτών.

<sup>20</sup> Μπέλλος, Ε.,(2016), "Αξιοποίηση και βελτιστοποίηση της χρήσης ηλιακών συστημάτων στα κτίρια", σελίδα

## 4.4 Φωτοβολταϊκό σύστημα

### 4.4.1 Γενικά

Τα φωτοβολταϊκά (Φ/Β) συστήματα έχουν τη δυνατότητα μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Ένα τυπικό Φ/Β σύστημα αποτελείται από το Φ/Β πλαίσιο ή ηλιακή γεννήτρια ρεύματος και τα ηλεκτρονικά συστήματα που διαχειρίζονται την ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τη Φ/Β συστοιχία. Για αυτόνομα συστήματα υπάρχει επίσης το σύστημα αποθήκευσης ενέργειας σε μπαταρίες, όπως φαίνεται στο παρακάτω **Σχήμα 10**.

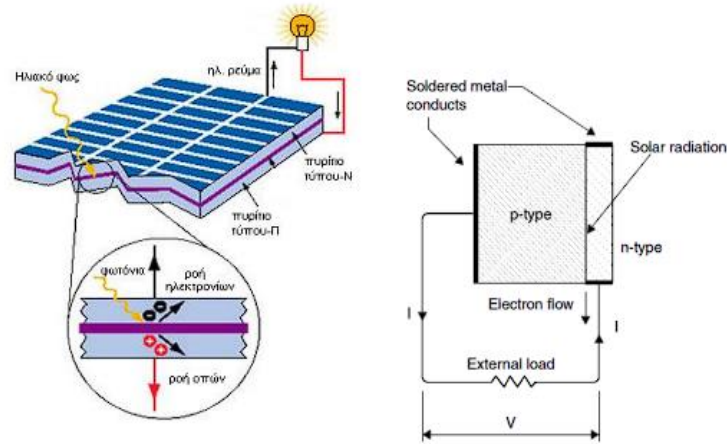


**Σχήμα 10: Διάγραμμα Αυτόνομου Φ/Β Συστήματος**

<https://www.aenaos-systems.gr/gr/off-grid-systems>

### 4.4.2 Αρχή λειτουργίας Φ/Β κυττάρων

Το Φωτοβολταϊκό (Φ/Β) φαινόμενο αφορά τη μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Το Φ/Β φαινόμενο ανακαλύφθηκε το 1839 από τον Εντμόντ Μπεκερέλ (Alexandre-Edmond Becquerel) και φαίνεται στο **Σχήμα 11**. Περιληπτικά πρόκειται για την απορρόφηση της ενέργειας του φωτός από τα ηλεκτρόνια των ατόμων του Φ/Β στοιχείου και την απόδραση των ηλεκτρονίων αυτών από τις κανονικές τους θέσεις με αποτέλεσμα την δημιουργία ρεύματος. Το ηλεκτρικό πεδίο που προϋπάρχει στο Φ/Β στοιχείο οδηγεί το ρεύμα στο φορτίο.

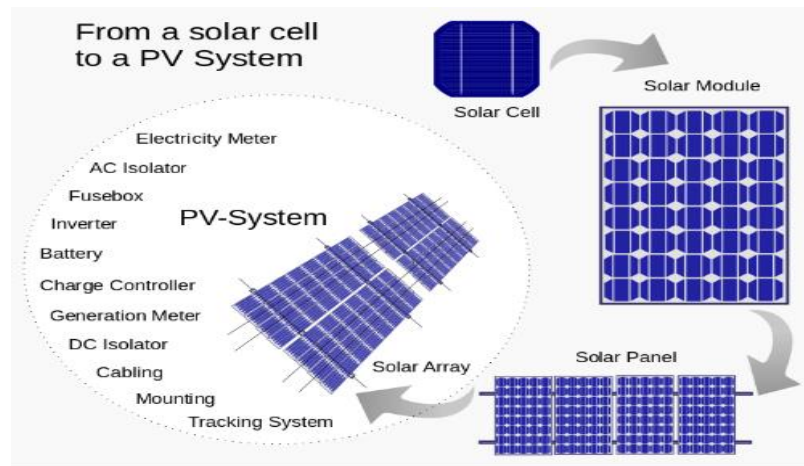


**Σχήμα 11: Φωτοβολταϊκό φαινόμενο**

<https://science.fandom.com/el/wiki/>

#### 4.4.3 Τεχνολογία φωτοβολταϊκών συστημάτων

Ένα φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελείται από ένα ή περισσότερα πάνελ φωτοβολταϊκών στοιχείων, μαζί με τις απαραίτητες συσκευές και διατάξεις για την μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται στην επιθυμητή μορφή, όπως αυτό του **Σχήμα 12**. Το φωτοβολταϊκό στοιχείο είναι συνήθως τετράγωνο με πλευρά 120-160 mm. Δύο τύποι πυριτίου χρησιμοποιούνται για την δημιουργία φωτοβολταϊκών στοιχείων: το άμορφο και το κρυσταλλικό πυρίτιο, ενώ το κρυσταλλικό πυρίτιο διακρίνεται σε μονοκρυσταλλικό ή πολυκρυσταλλικό.



**Σχήμα 12: Φωτοβολταϊκό Σύστημα**

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:From\\_a\\_solar\\_cell\\_to\\_a\\_PV\\_system.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:From_a_solar_cell_to_a_PV_system.svg)

Το άμορφο και το κρυσταλλικό πυρίτιο παρουσιάζουν τόσο πλεονεκτήματα όσο και μειονεκτήματα και κατά την μελέτη του φωτοβολταϊκού συστήματος γίνεται η αξιολόγηση των ειδικών συνθηκών της εφαρμογής (κατεύθυνση και διάρκεια της ηλιοφάνειας, τυχόν σκιάσεις κλπ.) ώστε να επιλεγεί η κατάλληλη τεχνολογία.

#### 4.4.4 Ηλιακά Πάνελ και εξέλιξη

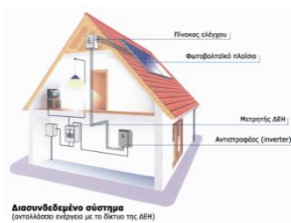
- **Ηλιακά πάνελ 1ης γενιάς:** Αυτοί είναι οι παραδοσιακοί τύποι ηλιακών συλλεκτών από μονοκρυσταλλικό πυρίτιο ή πολυπυρίτιο και χρησιμοποιούνται συχνότερα σε συμβατικό περιβάλλον.

- **Ηλιακά πάνελ 2ης γενιάς:** Αυτά τα στοιχεία είναι διαφορετικοί τύποι ηλιακών κυψελών λεπτής μεμβράνης και χρησιμοποιούνται κυρίως για φωτοβολταϊκούς σταθμούς παραγωγής ενέργειας, ενσωματωμένοι σε κτίρια ή μικρότερα ηλιακά συστήματα.

- **Ηλιακά πάνελ 3ης γενιάς:** Τα ηλιακά πάνελ 3ης γενιάς περιλαμβάνουν μια ποικιλία τεχνολογιών λεπτής μεμβράνης, αλλά τα περισσότερα από αυτά βρίσκονται ακόμη στο στάδιο της έρευνας ή της ανάπτυξης.

#### 4.4.5 Διάκριση Φ/Β συστημάτων

Υπάρχουν τρία είδη φ/β συστημάτων. Το καθ' ένα απ' αυτά προσαρμόζεται και επιλύει διαφορετικού τύπου εφαρμογές. Αυτά είναι τα αυτόνομα φ/β συστήματα, τα διασυνδεδεμένα και τα υβριδικά συστήματα.



- **Διασυνδεδεμένα με το δίκτυο φωτοβολταϊκά συστήματα** Τα συστήματα αυτά βρίσκονται όχι μόνο σε απομακρυσμένες περιοχές όπου ήδη υπάρχει δίκτυο αλλά και στο τοπικό ηπειρωτικό ηλεκτρικό δίκτυο της χώρας και είναι διασυνδεδεμένα με αυτό.


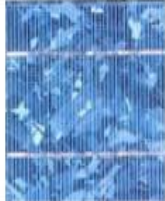



- **Αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα** Είναι ιδανικά για απομακρυσμένες περιοχές όπου δεν υπάρχει τρόπος σύνδεσης με το δίκτυο και είναι δύσκολη η μεταφορά καυσίμου για τη χρήση γεννήτριας.

- **Υβριδικά συστήματα** Σε αυτά η ηλεκτρική ενέργεια που παρέχεται, αποτελείται από διάφορους τύπους ανανεώσιμων και συμβατικών πηγών ενέργειας.

#### 4.4.6 Βαθμός απόδοσης ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου

Στην σημερινή εποχή ο τυπικός βαθμός απόδοσης ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου βρίσκεται στο 13-19%, όπως αναλυτικά φαίνεται στην **Εικόνα 7**, ο οποίος συγκρινόμενος με την απόδοση άλλου συστήματος (συμβατικού, αιολικού, υδροηλεκτρικού κλπ.), παραμένει ακόμη αρκετά χαμηλός. Αυτό σημαίνει ότι το φωτοβολταϊκό σύστημα καταλαμβάνει μεγάλη επιφάνεια προκειμένου να αποδώσει την επιθυμητή ηλεκτρική ισχύ.

ΤΥΠΟΣ	'Λεπτού υμενίου' ή 'Thin Film'	Πολυκρυσταλλικά	Μονοκρυσταλλικά
Εμφάνιση			
Απόδοση	a-Si: 4,2-6,6% μ-Si: 8,1-8,5% CIS-CIGS: 6-11% CdTe: 6-11,1%	11-14,8%	11-19,3%
Απαιτούμενη επιφάνεια ανά kWp	9-25 m <sup>2</sup>	7-9 m <sup>2</sup>	5,5-9 m <sup>2</sup>
Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας (kWh ανά kWp) <small>(μέση τιμή για Ελλάδα και για ένα τυπικό σύστημα με νότιο προσανατολισμό και κατάλληλη κλίση)</small>	1.300-1.450	1.300	1.300
Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας (kWh ανά m <sup>2</sup> ) <small>(μέση τιμή για Ελλάδα και για ένα τυπικό σύστημα με νότιο προσανατολισμό και κατάλληλη κλίση)</small>	50-160	145-185	145-235
Ετήσια μείωση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (kg CO <sub>2</sub> ανά kWp)	1.300-1.450	1.300	1.300

**Εικόνα 7: Βαθμός απόδοσης των δημοφιλέστερων τύπων Φ/Β στοιχείων**

<https://www.pvtech.gr/fotovoltaika-ktiria.html>

Ωστόσο, η απόδοση ενός δεδομένου συστήματος μπορεί να βελτιωθεί σημαντικά με την τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών σε ηλιοστάτη. Οι προϋποθέσεις αξιοποίησης των Φ/Β συστημάτων στην Ελλάδα είναι από τις καλύτερες στην Ευρώπη, αφού η συνολική ενέργεια που δέχεται κάθε τετραγωνικό μέτρο επιφάνειας στην διάρκεια ενός έτους κυμαίνεται από 1400-1800 kWh.<sup>21</sup>

<sup>21</sup> PVtech, "Φωτοβολταϊκά για Κτίρια" δαιθέσιμο στο <https://www.pvtech.gr/fotovoltaika-ktiria.html>



#### 4.4.7 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα Φ/Β συστημάτων

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα παράγουν ανεξάντλητη ηλιακή ενέργεια με τεχνολογία φιλική προς το περιβάλλον και με αθόρυβο τρόπο, μπορούν να εγκατασταθούν παντού, να επεκταθούν εάν χρειαστεί μελλοντικά καθώς και να διασυνδεθούν με το υπάρχον σύστημα παρέχοντας ή πουλώντας ενέργεια για 20-30 χρόνια με ελάχιστος κόστος συντήρησης. Μειονέκτημα αποτελεί το υψηλό κόστος αγοράς και η χαμηλή απόδοση τους όπως προαναφέρθηκε.<sup>22</sup>

#### 4.4.8 Πληροφορίες για φ/β στον ελληνικό χώρο<sup>23</sup>

Η Ελλάδα πληροί μερικές πολύ ισχυρές προϋποθέσεις για την ανάπτυξη και την εκμετάλλευση της τεχνολογίας των φωτοβολταϊκών συστημάτων για τους παρακάτω λόγους:

- Η Ελλάδα είναι μια χώρα που έχει ηλιοφάνεια καθ' όλη τη διάρκεια του έτους και ιδιαίτερα στα νησιά που φθάνει την τιμή 4.9 – 5.2 kWh/m<sup>2</sup> ανά ημέρα.
- Αντικατάσταση των πετρελαιογεννητριών που χρησιμοποιούνται σε νησιωτικές περιοχές με σκοπό την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, έχουν υψηλό κόστος συντήρησης και μολύνουν το περιβάλλον για τις ανάγκες των ανθρώπων σε ρεύμα.
- Υπάρχουν πολλές απομακρυσμένες περιοχές και μικρά νησιά που βρίσκονται εκτός ηλεκτρικού δικτύου όπως επίσης και άλλες περιβαλλοντικά ευαίσθητες περιοχές
- Το καλοκαίρι είναι μια περίοδος με μεγαλύτερη ζήτηση ως προς την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

**Στην διπλωματική εργασία θα ασχοληθούμε με δυο από τις τρεις εφαρμογές, τα φωτοβολταϊκά που είναι ήδη εγκατεστημένα στο προς μελέτη συγκρότημα κατοικιών και τα ενεργητικά ηλιακά που θα περιλαμβάνονται στην εγκατάσταση μας. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα εκμεταλλευόμενα το φωτοβολταϊκό φαινόμενο παράγουν ηλεκτρική ενέργεια από την ηλιακή ενέργεια.**

<sup>22</sup> Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας, “Φωτοβολταϊκά Συστήματα”, **δαιθέσιμος στο** [http://www.cres.gr/kape/energeia\\_politis/energeia\\_politis\\_photovol.htm](http://www.cres.gr/kape/energeia_politis/energeia_politis_photovol.htm)

<sup>23</sup> Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας, “Οδηγίες για την εγκατάσταση Φ/Β συστημάτων σε κτηριακές εγκαταστάσεις”, **διαθέσιμος το** [http://www.cres.gr/kape/pdf/odigos\\_pv\\_systimaton.pdf](http://www.cres.gr/kape/pdf/odigos_pv_systimaton.pdf)

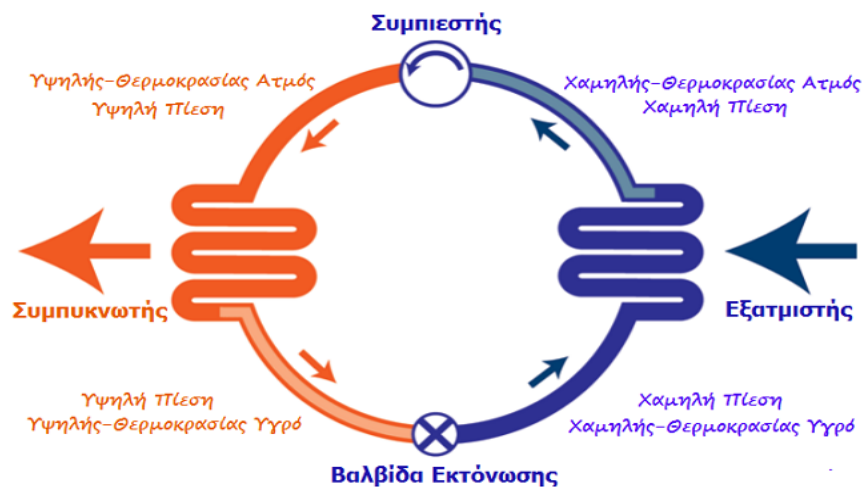
## Κεφάλαιο 5ο - Αντλίες θερμότητας

### 5.1 Εισαγωγικά στοιχεία για αντλίες θερμότητας

#### 5.1.1 Ορισμός

Αντλία θερμότητας (Heat pump) ονομάζουμε τη μηχανολογική διάταξη που μας επιτρέπει να μεταφέρουμε ενέργεια από ένα χώρο χαμηλής θερμοκρασίας, σε ένα χώρο υψηλότερης θερμοκρασίας. Ήδη από τον ορισμό γίνεται φανερό ότι οι αντλίες θερμότητας σχεδιάζονται για να μεταφέρουν θερμότητα (θερμική ενέργεια) με φορά αντίθετη από αυτήν που ορίζει η φυσική ροή. Για την μεταφορά αυτή απαιτείται κατανάλωση ενέργειας.<sup>24</sup>

#### 5.1.2 Αρχή λειτουργίας των αντλιών θερμότητας



Σχήμα 13: θερμοδυναμικός κύκλος λειτουργία ΑΘ

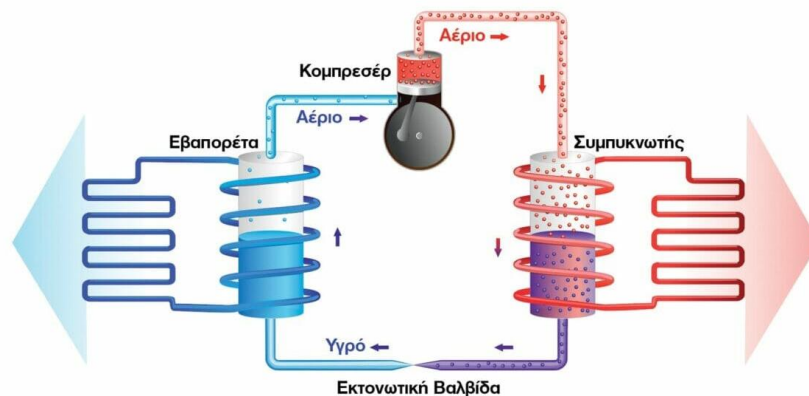
<https://www.mp-energy.gr/>

Ο θερμοδυναμικός κύκλος συμπίεσης των ΑΘ αποτελείται από τέσσερα στάδια όπως χαρακτηριστικά αποτυπώνεται στο **Σχήμα 13**.

- την εξάτμιση, όπου το ψυκτικό ρευστό αντλώντας θερμότητα από την πηγή χαμηλής θερμοκρασίας  $T_0$ , εξατμίζεται υπό χαμηλή πίεση  $p_0$ .
- τη συμπίεση, κατά την οποία ο ατμός του ψυκτικού ρευστού συμπιέζεται σε υψηλότερη πίεση  $p$  αυξάνοντας παράλληλα και τη θερμοκρασία.

<sup>24</sup> Κατσουλάκος Ν., “ Ψυκτικός Κύκλος και αντλίες θερμότητας”, διαθέσιμο στο [http://mycourses.ntua.gr/courses/PSTGR1282/document/Cooling\\_Cycle.pdf](http://mycourses.ntua.gr/courses/PSTGR1282/document/Cooling_Cycle.pdf)

- τη συμπύκνωση, όπου ο ατμός του ψυκτικού ρευστού που βρίσκεται σε υψηλή πίεση  $p$  συμπυκνώνεται υπό υψηλή θερμοκρασία  $T$  με αποτέλεσμα την έκλυση θερμότητας.
- την εκτόνωση, όπου το υγρό ψυκτικό ρευστό εκτονώνεται απότομα από την υψηλή  $p$  στη χαμηλή πίεση  $p_0$ , με αποτέλεσμα την απότομη πτώση της θερμοκρασίας.



**Σχήμα 14: Τρόπος Λειτουργίας της αντλίας θερμότητας**

<https://buildex.techinfus.com/el/kotly/teplovoj-nasos-princip-raboty.html>

Οι αντλίες θερμότητας λειτουργούν με τον ίδιο τρόπο που λειτουργούν όλα τα ψυκτικά μηχανήματα και η λειτουργία τους βασίζεται στις ίδιες αρχές που εφαρμόζονται στα ψυγεία, καταψύκτες, κλιματιστικά μηχανήματα κλπ. Η λειτουργία τους βασίζεται στον ψυκτικό κύκλο, που είναι ένας αένας κύκλος εκτόνωσης και συμπίεσης του εργαζόμενου μέσου σύμφωνα με το παραπάνω **Σχήμα 14**.<sup>25</sup>

## 5.2 Πλεονεκτήματα των Αντλιών Θερμότητας

Οι αντλίες θερμότητας είναι φιλικές προς το περιβάλλον καθώς δεν ρυπαίνουν, λειτουργούν αθόρυβα, καταλαμβάνουν μικρότερο χώρο για την εγκατάσταση και με πολύ χαμηλό κόστος συντήρησης προσφέρουν έως και 60% οικονομία στα πάγια έξοδα θέρμανσης και ψύξης ενώ παράλληλα δύναται να παρέχουν και ζεστό νερό.

Όταν συνδυάζεται σε ψύξη και θέρμανση με fan coils δίνει την αίσθηση ότι ο χώρος κλιματίζεται πολύ γρήγορα. Αυτό οφείλεται στον συνδυασμό δυο γεγονότων : του αέρα

<sup>25</sup> Όπως ακριβώς στην υδραυλική, το νερό πηγαινει μόνο του (ρέει) από το ψηλό σημείο στο 36 χαμηλό (λόγω βαρύτητας) και χρειαζόμαστε μια αντλία νερού για να μεταφέρουμε το νερό αντίθετα με την φυσική του ροή (να το ανεβάσουμε ψηλότερα), έτσι και η θερμική ενέργεια «ρέει» από μόνη της από το σώμα υψηλής θερμοκρασίας στο σώμα χαμηλής θερμοκρασίας και χρειαζόμαστε μια «αντλία» θερμότητας) για να αντιστρέψουμε την κίνηση της ενέργειας και να την μεταφέρουμε από την χαμηλή θερμοκρασία στην υψηλή.

και του σώματός μας. Το σώμα αντιλαμβάνεται τον αέρα είτε πιο θερμό είτε πιο ψυχρό (ανάλογα την εποχή) σύμφωνα με την ταχύτητα του δεύτερου. Υψηλές ταχύτητες στον αέρα μας κάνουν να νιώθουμε είτε το κρύο είτε τη ζέση πιο έντονα. Τα fan coils επειδή δίνουν ταχύτητα στον αέρα (εξαναγκασμένη κυκλοφορία του αέρα) σε σχέση με τα rapels που βασίζονται μόνο στη φυσική, φαίνεται ότι κλιματίζουν πιο γρήγορα το χώρο. Με ένα μόνο μηχάνημα επιτυγχάνουμε 2 λειτουργίες κλιματισμού. Ψύξη και θέρμανση.<sup>26</sup>

### 5.3 Κύρια μέρη μιας αντλίας θερμότητας (Εικόνα 8)



1 Διπλός περιστροφικός συμπιεστής με έλεγχο inverter (χαμηλή κατανάλωση – παροχή θέρμανσης προσαρμοσμένη στις ανάγκες σας)

2 Έλεγχος συμπιεστή

3 Βαλβίδες εκτόνωση

4 Βαφή καλύμματος

5 Σχεδίαση εξατμιστή

6 Χαμηλή ένταση ρεύματος εκκίνησης

7.Ανεμιστήρας (κινητήρας και πτερύγια

8 Οθόνη πίνακας ελέγχου

9 Κυκλοφορητής θέρμανσης

10 Υλικά και πάχος μόνωσης

11 Ενσωματωμένος εναλλάκτης για το ζεστό νερό χρήσης

12 Σύστημα ελέγχου / Αντιστάθμισης

**Εικόνα 8: Κύρια μέρη της αντλίας θερμότητας**

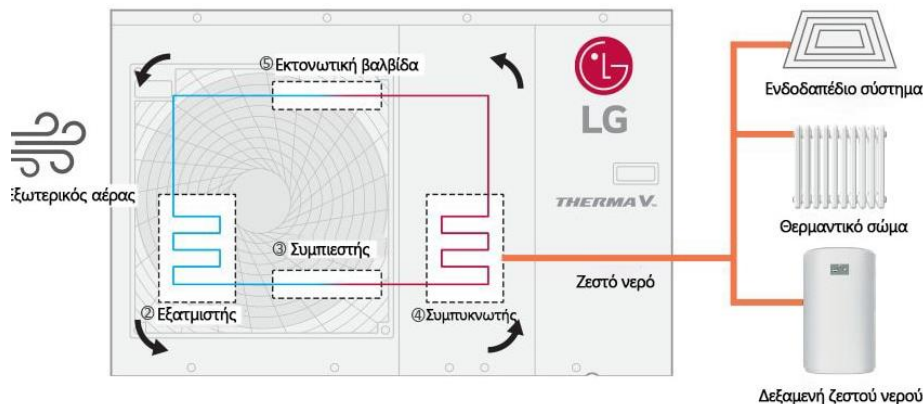
<https://www.aenaos-sa.gr/antlies-thermotitas-alpha-omega>

<sup>26</sup> ΑΕΝΑΟΣ – Ενεργειακά Συστήματα, “Αντλίες θερμότητας από το Α ως το Ω”

## 5.4 Είδη αντλιών θερμότητας<sup>27</sup>

Οι αντλίες θερμότητας διακρίνονται σε τρία είδη ανάλογα με το ρευστό στο οποίο αποβάλλει (ή από το οποίο προσλαμβάνει) την ενέργεια η αντλία στον ατμοποιητή και στον συμπυκνωτή.

- **Αντλίες θερμότητας αέρος/αέρος:** Είναι οι αντλίες που διαθέτουν και στον ατμοποιητή αλλά και στον συμπυκνωτή εναλλάκτη θερμότητας αέρα/ψυκτικού. Είναι τα γνωστά σε όλους μας κλιματιστικά μηχανήματα διαιρούμενου τύπου (split type).



**Εικόνα 9: Αντλία θερμότητας αέρος-νερού**

<https://www.lg.com/gr/business/klimatismos-thermans/what-is-an-air-source-heat-pump>

- **Αντλίες θερμότητας αέρος/νερού:** Οι αντλίες αυτές από την μεριά του ατμοποιητή διαθέτουν εναλλάκτη ψυκτικού μέσου / νερού και αφαιρούν θερμότητα από το νερό, όπως στην **Εικόνα 9**.
- **Αντλίες θερμότητας νερού / νερού:** Στις αντλίες αυτές και ο ατμοποιητή αλλά και ο συμπυκνωτής είναι εναλλάκτες νερού / ψυκτικού μέσου και το ψυκτικό μέσο μεταφέρει θερμότητα από την μία μάζα νερού στην άλλη.

## 5.5 Βαθμός απόδοσης αντλίας θερμότητας<sup>28</sup>

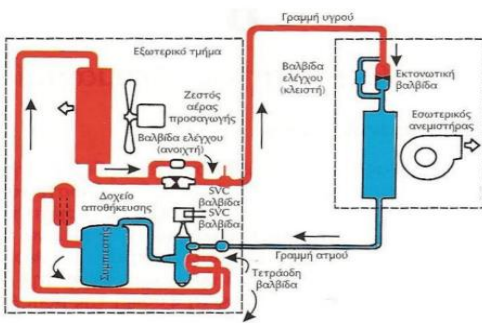
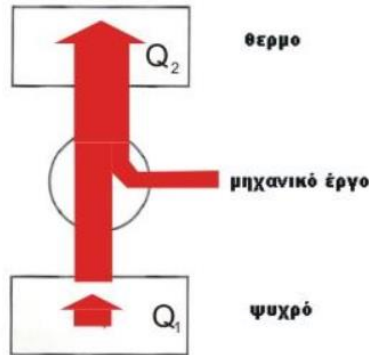
Η ροή ενέργειας σε μια αντλία θερμότητας που λειτουργεί σε κατάσταση θέρμανσης, έχει όπως στο παρακάτω σχήμα:

<sup>27</sup> ΑΕΝΑΟΣ – Ενεργειακά Συστήματα, “Αντλίες θερμότητας από το Α ως το Ω”

<sup>28</sup> Κατσουλάκος Ν., “ Ψυκτικός Κύκλος και αντλίες θερμότητας” διαθέσιμο στο [http://mycourses.ntua.gr/courses/PSTGR1282/document/Cooling\\_Cycle.pdf](http://mycourses.ntua.gr/courses/PSTGR1282/document/Cooling_Cycle.pdf)

Η αντλία αντλεί από το ψυχρό περιβάλλον μια ποσότητα θερμότητας (ενέργειας)  $Q_1$ , προσθέτει μηχανικό έργο  $W$  στο συμπιεστή, και αποδίδει ποσό ενέργειας  $Q_2$  στον ψυχρό χώρο. Όταν η αντλία λειτουργεί σε κατάσταση θέρμανσης, το «θερμό» είναι ο χώρος, το «ψυχρό» το περιβάλλον και το ζητούμενο είναι το  $Q_2$ , ενώ όταν αυτή λειτουργεί σε κατάσταση ψύξης, το «ψυχρό» είναι ο χώρος, το «θερμό» είναι το περιβάλλον και το ζητούμενο είναι το  $Q_1$ .

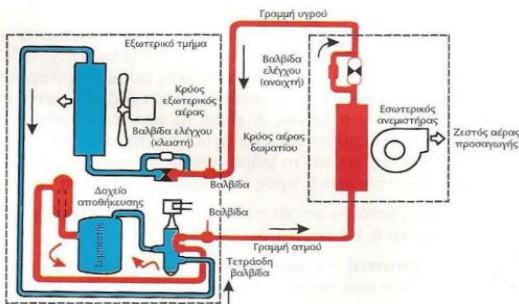
Ο ενεργειακός ισολογισμός στο σχήμα απαιτεί:  $Q_2=Q_1+W$



Κύκλος Αντλίας Θερμότητας για ψύξη

### 5.5.1 Βαθμός απόδοσης σε λειτουργία θέρμανσης

Ο λόγος της μεταφερόμενης θερμότητας προς το καταναλισκόμενο έργο ( $Q_2 / W$  σε θέρμανση), ονομάζεται ειδικός βαθμός απόδοσης της αντλίας (COP, coefficient of performance).



Κύκλος Αντλίας Θερμότητας για θέρμανση  
Απλός περιστροφικός συμπιεστής με έλεγχο inverter

### 5.5.2 Βαθμός απόδοσης σε λειτουργία ψύξης

Ο λόγος της μεταφερόμενης θερμότητας προς το καταναλισκόμενο έργο ( $Q_1 / W$  σε ψύξη), ονομάζεται βαθμός ενεργειακής απόδοσης της αντλίας (EER, energy efficiency ratio).

### 5.5.3 Παράγοντες που επηρεάζουν τους βαθμούς COP και EER<sup>29</sup>

Τόσο ο ειδικός βαθμός απόδοσης COP όσο και ο βαθμός ενεργειακής απόδοσης EER εξαρτώνται από:

- τη θερμοκρασία της «πηγής» ( $T_{Q1}$ )
- τη θερμοκρασία του «αποδέκτη» ( $T_{Q2}$ )
- τα μηχανικά χαρακτηριστικά της αντλίας θερμότητας
- τις ιδιότητες του εργαζόμενου μέσου

και μεταβάλλονται διαρκώς, αφού τόσο η θερμοκρασία του ψυχρού (περιβάλλοντος στη θέρμανση – χώρου στην ψύξη) όσο και η θερμοκρασία θερμού (χώρου στη θέρμανση – περιβάλλοντος στην ψύξη) δεν είναι σταθερές, αλλά διαρκώς μεταβάλλονται.

Στις σύγχρονες αντλίες θερμότητας συναντάμε τιμές COP και EER μεγαλύτερες του 3.0, γεγονός που τις κατατάσσει στις συσκευές αξιοποίησης ανανεώσιμων πηγών. Τιμή COP (ή EER) ίση με 3,0 σημαίνει ότι για κάθε μονάδα ενέργεια που καταναλώνει μια αντλία θερμότητας, μεταφέρει (αποδίδει) τρεις (3) μονάδες ενέργειας. Για την αξιολόγηση της ενεργειακής απόδοσης των αντλιών θερμότητας έχει καθιερωθεί η μέτρηση του COP και του EER σε τυποποιημένες συνθήκες (συνθήκες Eurovent) που είναι:

	Θερμοκρασία θερμού	Θερμοκρασία εισόδου εξωτερικού αέρα
<b>Θέρμανση</b>	20°C	7°C / 6°C WB (ψυχρού)
<b>Ψύξη</b>	27°C	35°C / 6°C WB

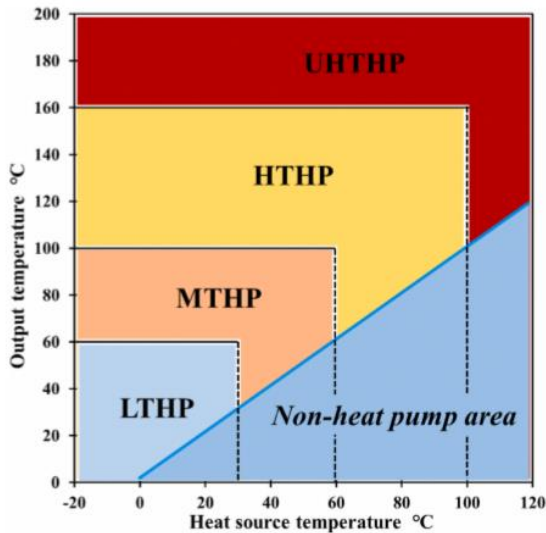
Οι βαθμοί απόδοσης σε συνθήκες Eurovent χαρακτηρίζουν την ποιότητα κατασκευής μιας αντλίας θερμότητας, αφού ο υπολογισμός τους αναφέρεται στις ίδιες συνθήκες για όλες τις αντλίες .

**Εξαιρετικά ενδιαφέρουσα εφαρμογή της αντλίας θερμότητας για την εξοικονόμηση ενέργειας κατά τη θέρμανση το χειμώνα αποτελεί η υποβοήθηση με θερμό υγρό μέσω συλλεκτών ηλιακής ενέργειας (ηλιακή θέρμανση). Με τον τρόπο αυτό η ενέργεια που πρέπει να καταναλώσει ο συμπιεστής της αντλίας θερμότητας είναι πολύ χαμηλή καθώς το υγρό είναι ήδη σε πολύ ικανοποιητική θερμοκρασία για να κυκλοφορήσει**

<sup>29</sup> Κατσουλάκος Ν., “ Ψυκτικός Κύκλος και αντλίες θερμότητας” διαθέσιμο στο [http://mycourses.ntua.gr/courses/PSTGR1282/document/Cooling\\_Cycle.pdf](http://mycourses.ntua.gr/courses/PSTGR1282/document/Cooling_Cycle.pdf)

στην κεντρική θέρμανση και η αντλία χρησιμοποιείται κυρίως κατά τη διάρκεια μεγάλων διαστημάτων έλλειψης ηλιοφάνειας.

## 5.6 Εργαζόμενα μέσα



Όπως αναφέρθηκε παραπάνω η απόδοση της αντλίας θερμότητας εξαρτάται από το εργαζόμενο μέσο. Ωστόσο χρησιμοποιείται μια πιο λεπτομερής ταξινόμηση των αντλιών θερμότητας σε τέσσερις διαφορετικούς τύπους, με βάση τις θερμοκρασιακές απαιτήσεις των βιομηχανικών εφαρμογών και την περαιτέρω ανάπτυξη των αντλιών θερμότητας, όπως φαίνεται στο **Σχήμα 27**.

### Σχήμα 15: Διάκριση των εργαζόμενων μέσων με βάση τις θερμοκρασιακές απαιτήσεις

Τα ψυκτικά μέσα στα συστήματα ψύξης με συμπίεση ατμών μπορούν να ταξινομηθούν ως καθαρά υγρά και μείγματα. Τα καθαρά υγρά κατηγοριοποιούνται περαιτέρω ως αλογονωμένοι υδρογονάνθρακες ή φυσικές ενώσεις. Τα πρώιμα ψυκτικά που χρησιμοποιήθηκαν σε εφαρμογές ψύξης με συμπίεση ατμού ήταν αλογονωμένοι υδρογονάνθρακες, που αποτελούνταν κυρίως από χλωροφθοράνθρακες (CFCs), υδροχλωροφθοράνθρακες (HCFCs) και υδροφθοράνθρακες (HFCs).<sup>30</sup>

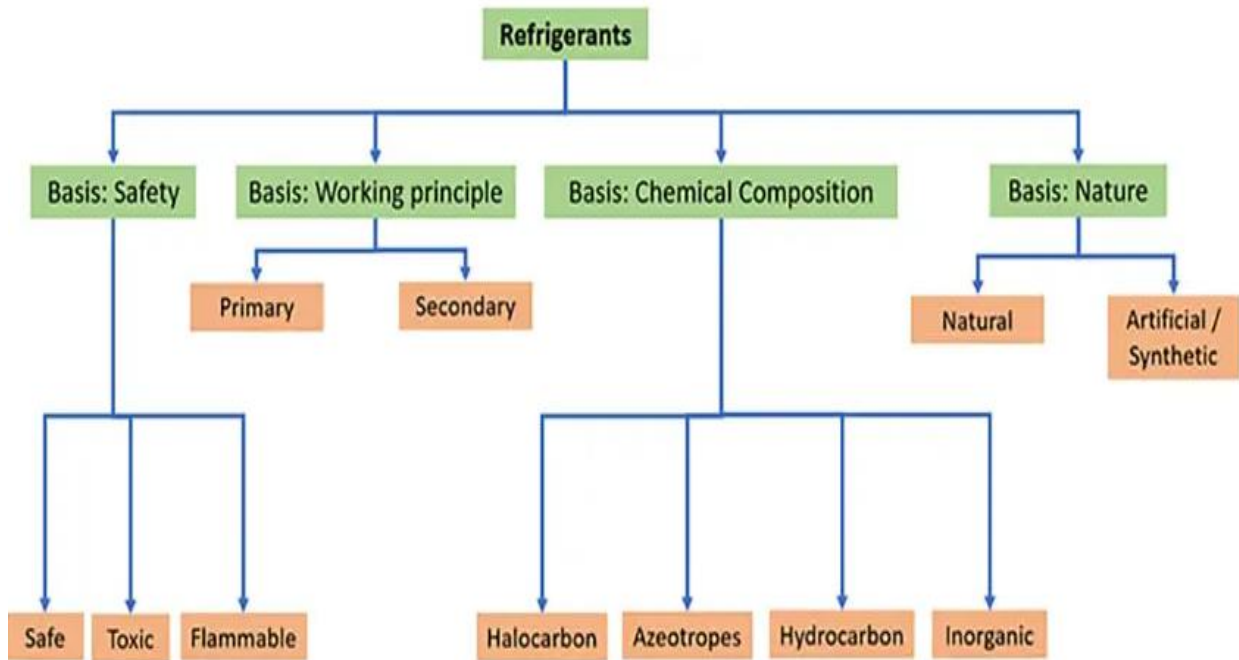
Οι ακόλουθες αρχές επιλογής ψυκτικού μέσου θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την επιλογή ψυκτικών για χρήση σε αντλίες θερμότητας συμπίεσης ατμών:

- Το ODP μηδέν είναι το καλύτερο και προτιμάται GWP μικρότερο από 150.
- Εξαιρετικές θερμοδυναμικές ιδιότητες.
- Χωρίς τοξικότητα.
- Χωρίς ή χαμηλή αναφλεξιμότητα.
- Καλή διάρκεια ζωής.

<sup>30</sup> Chemistry School, "Classification, Types and Examples of Refrigerants"



- Εξαιρετική απόδοση σε πραγματικές συνθήκες εργασίας.
- Χαμηλό κόστος.



Σχήμα 16: Γενική διάκριση των εργαζόμενων μέσων

<https://www.chemistryscl.com/eng/air-conditioning/classifications-types-of-refrigerants/index.php>

Για την πραγματοποίηση εργαστηριακών και λοιπών μετρήσεων στη παρούσα εργασία θα χρησιμοποιηθούν τα τρία παρακάτω εργαζόμενα μέσα.

	R290	R1234yf	R1234ze(E)
Refrigerant	Propane	2,3,3,3-Tetrafluoro-1-propene	trans-1,3,3,3-Tetrafluoro-1-propene

Από την βιβλιογραφία<sup>31</sup> αντλήθηκαν στοιχεία για αυτά τα τρία εργαζόμενα μέσα και κυρίως τα στοιχεία που αφορούν την απόδοση συστημάτων στα οποία αυτά τοποθετήθηκαν, εργάστηκαν για την ανάλογη προσδοκία της συμπεριφοράς τους.

Refrigerant	Studies	T <sub>e</sub>	T <sub>c</sub>	T <sub>lift</sub>	COP
		°C	°C	°C	
R290	2004, Primal Fernando et al	- 10–12	40	28-50	2.6-5
R290	2008, Ki-Jung Park et al.	- 21–7	28–45	38–49	2.28–3.80
R290	2009, Ki-Jung Park et al.	- 7–7	41–45	38–48	3.75–4.01
R290	2011, Chen et al.	2	60		1.5–3.2
R290	2016, Sun	2	60		3.4
R290	2017, Kong et al.	16–24	61–69	41–49	4.7–6.0
R290	2019, Storslett et al.	20–35	40–55	20–35	3.88–4.03
R290	2019, Cai et al.	- 15–20	55–70	30–45	1.3–2.57
R1234yf	2012, Lee Yohan et al. (Automobile air-conditioning system)	- 7	71	48	2.62
R1234yf	2017, Sanchez et al. (Automobile air-conditioning system)	- 10–0	25–45	25–55	1.37–2.57
R1234yf	2018, Wang et al.	- 20–10	40	30–60	3.5–7.5
R1234yf	2018, Watanabe et al.	0–10	45–65	21–56	3.2–4.8
R1234yf	2019, Watanabe et al.	0–20	45–65	21–56	3.6–5.8
R1234ze(E)	2013, Fukuda	37	75	38	6.2
R1234ze(E)	2015, Kondou et al.	35	75–95	40–60	2.94–4.8

## 5.7 Μελέτη Κόστους Θέρμανσης του ΕΜΠ<sup>32</sup>

Με αφορμή την έναρξη της χειμερινής σεζόν 2022-2023, το Εργαστήριο Ατμοκινητήρων και Λεβήτων του ΕΜΠ σε συνεργασία με το Εργαστήριο Θερμικών

<sup>31</sup> Di Wu, Bin Hu, R.Z. Wang, (2021), “Vapor compression heat pumps with pure Low-GWP refrigerants”

<sup>32</sup> Εργαστήριο Ατμοκινητήρων και Λεβήτων (ΕΑΛ) του ΕΜΠ , “Μελέτη Σύγκριση κόστους θέρμανσης από διάφορες τεχνολογίες” διαθέσιμο στο [http://www.lsbtp.mech.ntua.gr/el/thermal\\_cost\\_intercomparison\\_2022](http://www.lsbtp.mech.ntua.gr/el/thermal_cost_intercomparison_2022)

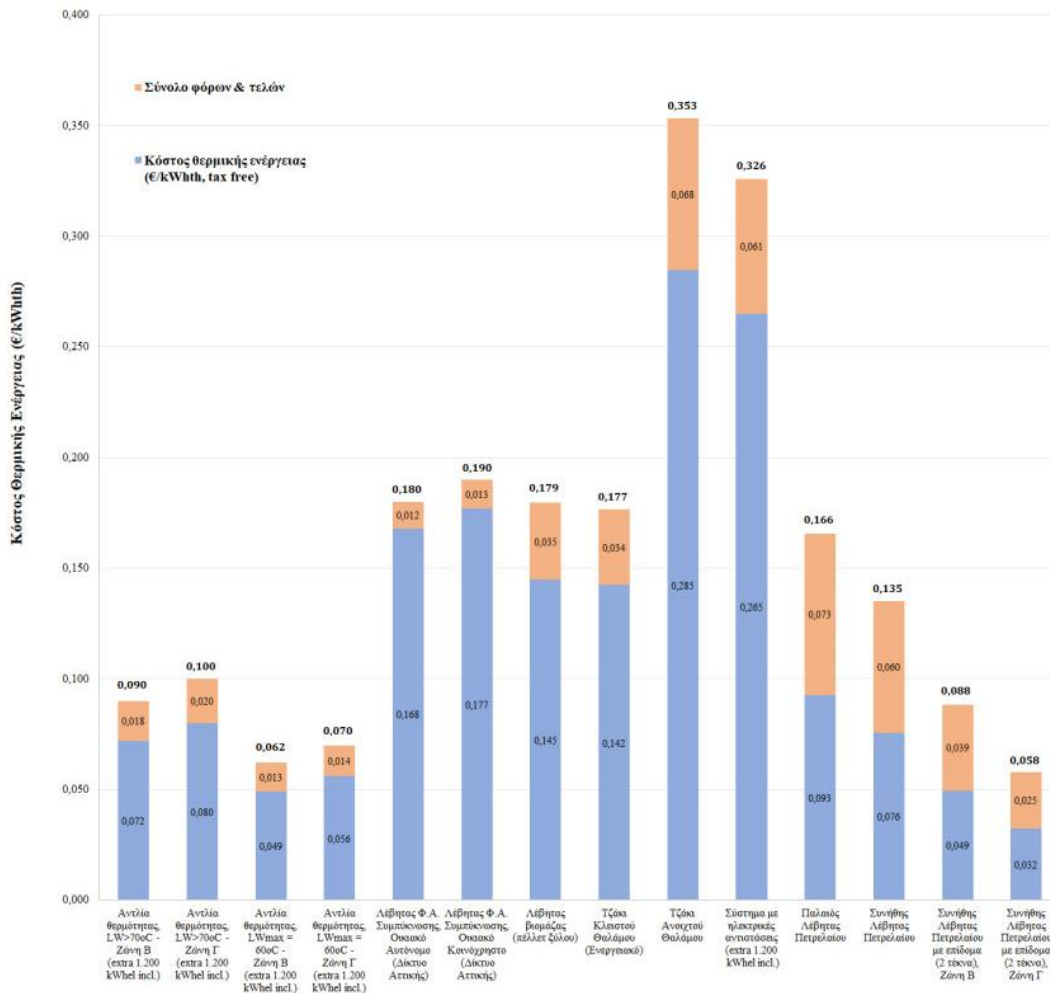
Διεργασιών και λαμβάνοντας σημαντική υποστήριξη από το Ινστιτούτο Χημικών Διεργασιών και Ενεργειακών Πόρων του ΕΚΕΤΑ, προχώρησε πρόσφατα στη δημοσίευση μελέτης σχετικά με τα επίπεδα που αναμένεται να κυμανθεί φέτος το κόστος θέρμανσης στην Ελλάδα (με έμφαση στις δυο μεγαλύτερες αστικές περιοχές: Αττική & Θεσσαλονίκη), υπό το καθεστώς της παρατεταμένης ενεργειακής κρίσης που επικρατεί στην Ευρώπη και της απολύτως ευμετάβλητης κατάστασης που απορρέει από αυτήν.<sup>33</sup>

Η μελέτη περιέχει τεχνικούς και οικονομικούς υπολογισμούς για τις περισσότερες τεχνικές θέρμανσης. Από τη μελέτη προκύπτει ότι οι αντλίες θερμότητας κάνουν τη μεγαλύτερη οικονομία στη θέρμανση Στο Διάγραμμα 1 αποτυπώνεται το κόστος ωφέλιμης θερμικής ενέργειας ανά είδος θερμικού συγκροτήματος.<sup>34</sup>

---

<sup>33</sup> **Ερευνητική ομάδα:** Δρ. Εμμανουήλ Κακαράς, Δρ. Σωτήριος Καρέλλας, Δρ. Παναγιώτης Βουρλιώτης, Δρ. Παναγιώτης Γραμμέλης, Δρ. Πλάτων Πάλλης, Εμμανουήλ Καραμπίνης, Σωτήριος Θανόπουλος

<sup>34</sup> Ειδικότερα, παρουσιάζεται τόσο το καθαρό κόστος της ωφέλιμης θερμικής ενέργειας σε €/kWhth όσο και το σύνολο των φόρων & τελών, αναλόγως με το είδος καυσίμου ή την χρησιμοποιούμενη ηλεκτρική ενέργεια. Ως εκ τούτου, η συνολική τιμή του κόστους ωφέλιμης θερμικής ενέργειας προκύπτει στο διάγραμμα ως συνδυασμός του καθαρού κόστους, της φορολόγησης και των λοιπών επιβαρύνσεων.

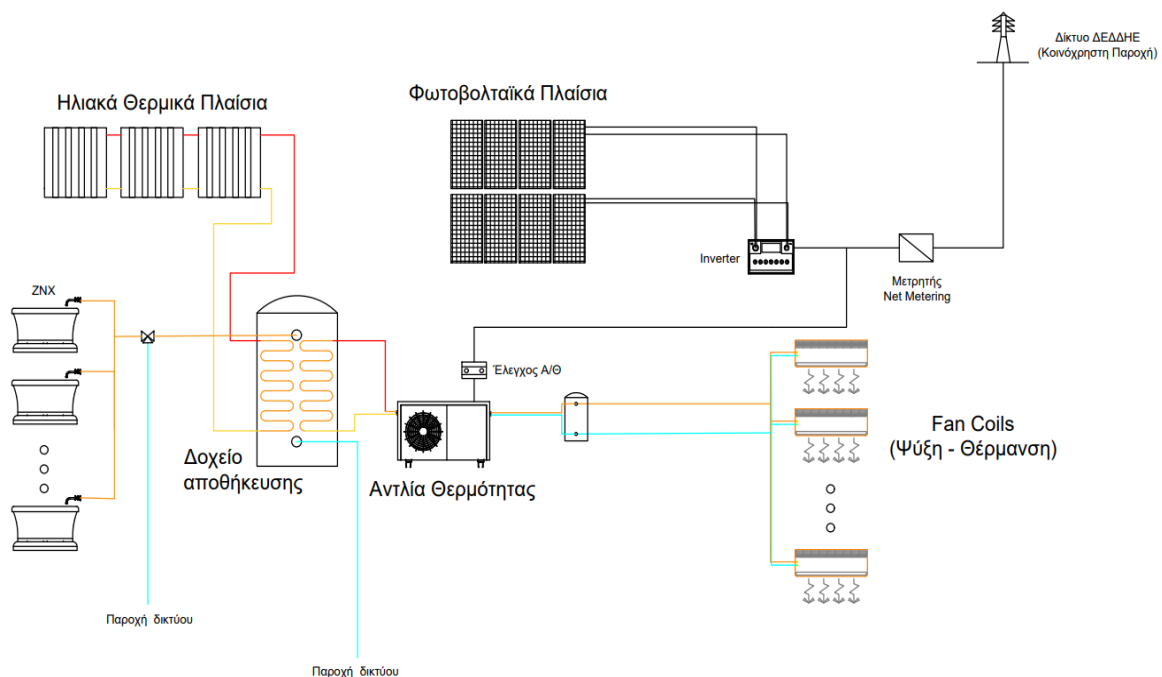


**Διάγραμμα 1: Κόστος ωφέλιμης θερμικής ενέργειας ανά είδος θερμικού συγκροτήματος (μέσω νοικοκυριό με θερμικές ανάγκες περί τις 3.000 kWhth/4μηνo ή ισοδύναμα 4.500 kWh/σεζόν)**

## Κεφάλαιο 6ο – Εξεταζόμενο Σύστημα

### 6.1 Περιγραφή Συστήματος Τριπαραγωγής

Το προς μελέτη σύστημα τριπαραγωγής το οποίο προβλέπεται να εγκατασταθεί σε πενταώροφη πολυκατοικία στην Αθήνα, θα αποτελείται από Αντλία Θερμότητας (Α/Θ) Αέρος - Νερού η οποία θα αναλάβει τα φορτία ψύξης – θέρμανσης των εσωτερικών χώρων, αλλά και ζεστού νερού χρήσης (ΖΝΧ) όποτε απαιτηθεί. Σε συνεργασία με την αντλία θερμότητας θα χρησιμοποιηθεί σύστημα ηλιοθερμικών πλαισίων τα οποία εκμεταλλευόμενα την ηλιακή ακτινοβολία κατά τη διάρκεια της ημέρας θα παρέχουν ΖΝΧ στα επιμέρους διαμερίσματα μέσω δοχείου αδράνειας που παρεμβάλλεται. Τέλος, η απαιτούμενη ηλεκτρική ισχύς για την ομαλή λειτουργία του συστήματος ψύξης θέρμανσης (Α/Θ) θα διοχετεύεται από Φωτοβολταϊκό σύστημα σύμφωνα με το καθεστώς του Ενεργειακού Συμψηφισμού (Net Metering).



Σχήμα 17: Διάταξη εγκατάστασης

Τα ηλιακά πάνελ υποβοηθούν τη λειτουργία της Αντλίας Θερμότητας, αναλαμβάνοντας ουσιαστικά θερμικά φορτία για την παροχή ΖΝΧ προς το σύστημα αποθήκευσης. Σε περιπτώσεις που οι καιρικές συνθήκες δεν το επιτρέπουν ή δεν επαρκούν, η αντλία θερμότητας συνεχίζει την παροχή ΖΝΧ, έτσι ώστε η θερμοκρασία εντός του δοχείου αποθήκευσης που παρεμβάλλεται να μην πέσει κάτω από το προβλεπόμενο όριο των 40°C.

Η προς σχεδίαση Α/Θ θα είναι πολλαπλών λειτουργιών και αυτό έτσι ώστε να αποφευχθεί τυχόν απώλεια άνεσης και ενέργειας, ως αποτέλεσμα περιστασιακής αναστροφής του κύκλου για παραγωγή ΖΝΧ. Για την ακρίβεια οι διαφορετικοί τρόποι λειτουργίας της μονάδας είναι :

- **Περίοδος θέρους** : Παραγωγή κρύου νερού σαν παραδοσιακός ψύκτης.
- **Περίοδος χειμώνα** : Παραγωγή ζεστού νερού για θέρμανση.
- **Μέση περίοδος** : Παραγωγή μόνο ζεστού νερού χρήσης ΖΝΧ (καλοκαίρι ή χειμώνα) με εξάτμιση από το στοιχείο.

Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται ευελιξία και χρήση του συστήματος καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.

Τέλος, ο κλιματισμός των εσωτερικών χώρων της πολυκατοικίας θα πραγματοποιείται με την βοήθεια σωμάτων βεβιασμένης κυκλοφορίας (Fan Coils). Η επιλογή αυτών των εσωτερικών μονάδων κρίνεται αναγκαία μια και είναι επιθυμητή η λειτουργία ψύξης και θέρμανσης μέσω της Α/Θ.

## 6.2 Ενεργειακές απαιτήσεις κτιρίου

---

### 6.2.1 Κλιματικά δεδομένα

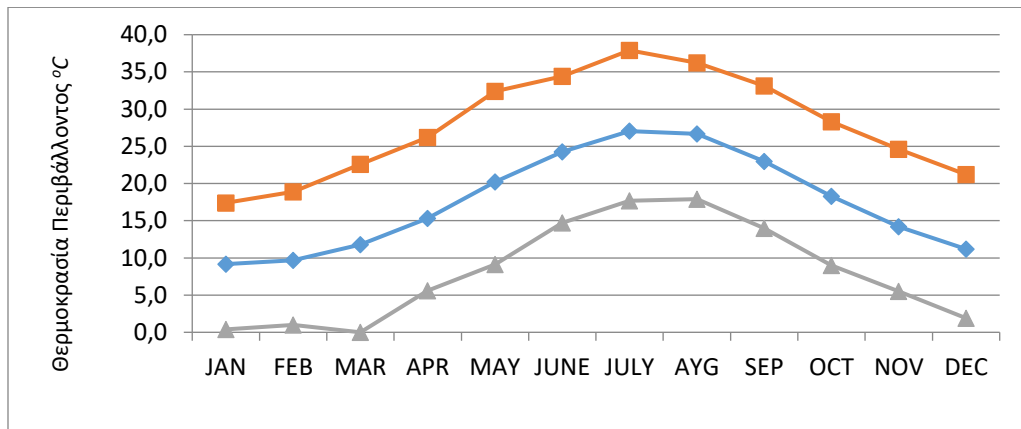
Ξεκινώντας την ανάλυση του συστήματος, είναι αναγκαία η τοποθεσία που πρόκειται να εγκατασταθεί το προς μελέτη σύστημα, καθώς οι καιρικές συνθήκες αποτελούν βασικό παράγοντα στα φορτία ενός κτιρίου και κατ' επέκταση στον σχεδιασμό συστημάτων ψύξης θέρμανσης, με άλλα λόγια είναι η βάση του σχεδιασμού.

Συγκεκριμένα, η θερμοκρασία, η ηλιοφάνεια (προσπίπτουσα/ανακλώμενη ακτινοβολία), η ταχύτητα του ανέμου κρίνουν σε μεγάλο ποσοστό τα φορτία ψύξης/θέρμανσης αλλά και καθορίζουν την παραγωγή ενέργειας του Φωτοβολταϊκού συστήματος (Φ/Β) και φυσικά το ηλιακό θερμικό πλαίσιο με την παροχή ΖΝΧ.

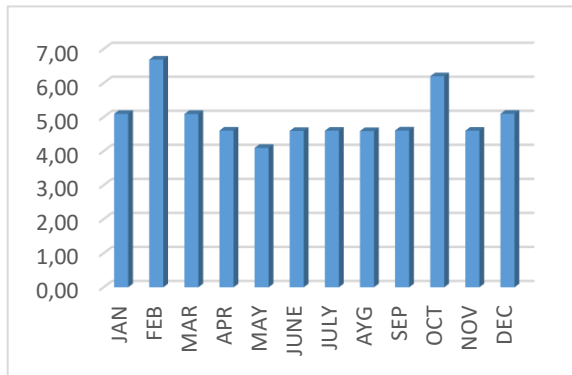
Στο **Διάγραμμα 2** φαίνεται η μέση μηνιαία θερμοκρασία περιβάλλοντος ξηρού βολβού καθώς και οι ακραίες θερμοκρασίες που καταγράφονται (μέγιστη – ελάχιστη). Τα κλιματικά δεδομένα που χρησιμοποιούνται στην ανάλυση προέρχονται από τη βάση δεδομένων της Ελληνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (ΕΜΥ)<sup>35</sup>. Η μέση μηνιαία θερμοκρασία περιβάλλοντος στην Αθήνα (γεωγραφικό πλάτος 38°), η οποία ανήκει στην Β Κλιματική Ζώνη, είναι 17,6°C, ενώ η μέγιστη και η ελάχιστη 38°C και 0°C αντίστοιχα. Λοιπά δεδομένα για τις επικρατούσες συνθήκες στην Αθήνα κατά την διάρκεια του έτους όπως στα διαγράμματα 2,3,4,5 και 6.

---

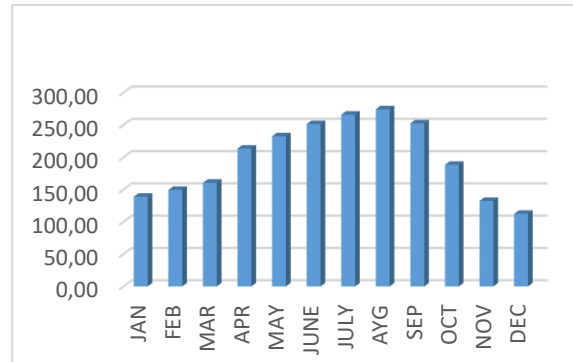
<sup>35</sup> Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία, “Κλιματικά Δεδομένα για επιλεγμένους σταθμούς στην Ελλάδα”



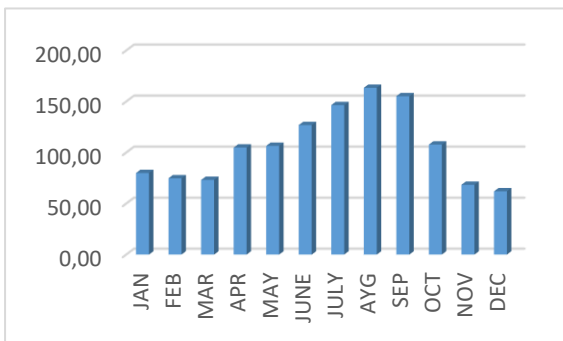
**Διάγραμμα 2: Θερμοκρασία περιβάλλοντος (°C) (Μέγιστη, Μέση, Ελάχιστη) ανά μήνα**  
[http://www.emy.gr/emv/el/climatology/climatology\\_city](http://www.emy.gr/emv/el/climatology/climatology_city)



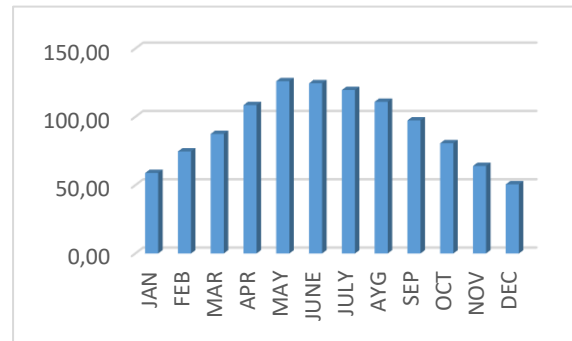
**Διάγραμμα 3: Μέση ταχύτητα ανέμου (m/s) στα 10m**



**Διάγραμμα 4: Συνολική ηλιακή ακτινοβολία (Wh/m²)**



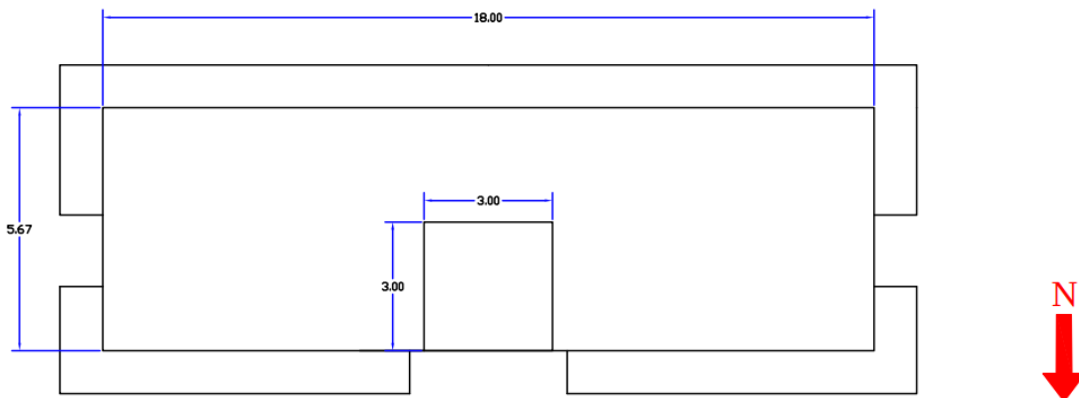
**Διάγραμμα 6: Απευθείας ηλιακή ακτινοβολία (Wh/m²)**



**Διάγραμμα 5: Διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία (Wh/m²)**

### 6.2.2 Προδιαγραφές – Ανάγκες Φορτίου του Κτιρίου

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η μελέτη αφορά πενταόροφη πολυκατοικία στην Αθήνα, συνολικής επιφάνειας 510 m<sup>2</sup> με κέλυφος σύμφωνα με τις προδιαγραφές του ΚΕΝΑΚ (2017) για ανακαινισμένα κτήρια. Στην ανάλυση έχουν ληφθεί υπόψη και οι απαιτήσεις αερισμού, μαζί με τα εσωτερικά κέρδη λόγω κατοίκων, συσκευών και φωτισμού. Αυτό αποτελεί ουσιαστικά την βάση της εργασίας και μου δόθηκε ως δεδομένο απευθείας από το εργαστήριο όπου έχει υπολογιστεί. Στο παρακάτω **Σχήμα 18** ακολουθεί η ενδεικτική μορφή της πολυκατοικίας, μαζί με κάτοψη με διαστάσεις οι οποίες διαμορφώνουν το δώμα του κτιρίου, επιφάνειας 102 τμ.



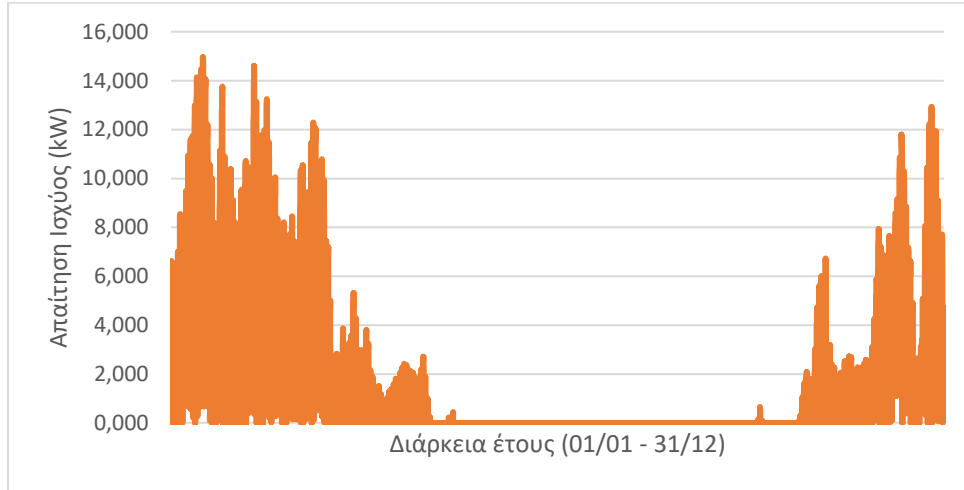
Σχήμα 18: Κάτοψη Πολυκατοικίας



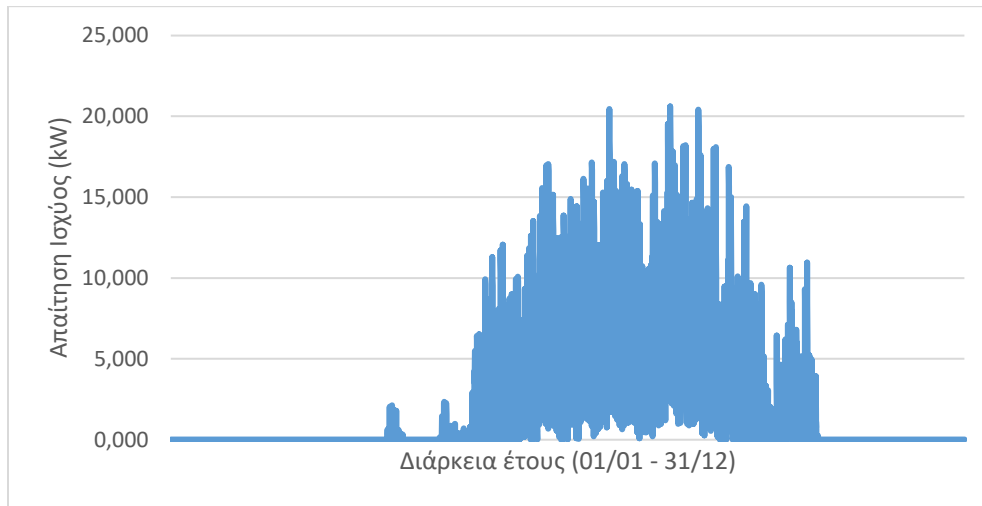
Σχήμα 19: Εξωτερική Όψη Πολυκατοικίας (Φωτορεαλιστικό)



Τα δεδομένα των ενεργειακών αναγκών του κτιρίου για ψύξη – θέρμανση και ΖΝΧ απεικονίζονται κατά τη διάρκεια ενός έτους, με αφετηρία την 1<sup>η</sup> Ιανουαρίου και τέλος την 31<sup>η</sup> Δεκεμβρη, όπως στα παρακάτω διαγράμματα

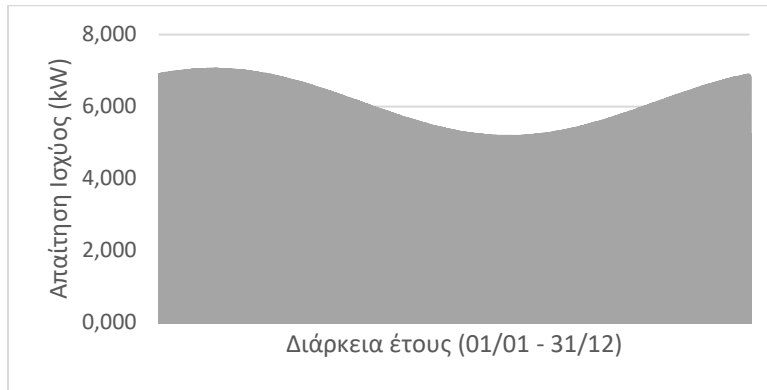


**Διάγραμμα 7: Ετήσια απαίτηση ισχύος για θέρμανση**



**Διάγραμμα 8: Ετήσια απαίτηση ισχύος για ψύξη**

Όπως αναμενόταν, η ανάγκη για θέρμανση κορυφώνεται κατά τους ψυχρότερους χειμερινούς μήνες ενώ αντίθετα η ψυκτικές απαιτήσεις εντείνονται στην καρδιά του καλοκαιριού. Αναφορικά με το ζεστό νερό χρήσης (ΖΝΧ) παρατηρείται μικρή διακύμανση κατά τη διάρκεια του έτους, με τις ανάγκες να είναι λίγο υψηλότερες κατά τους ψυχρότερους μήνες του έτους.

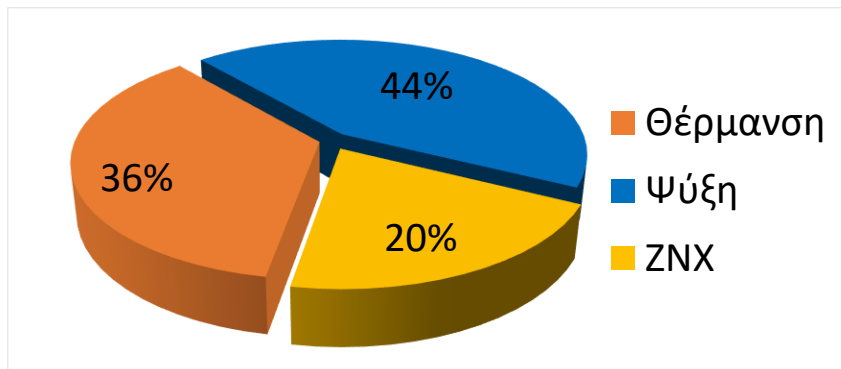


**Διάγραμμα 9: Ετήσια απαίτηση ισχύος για ZNX**

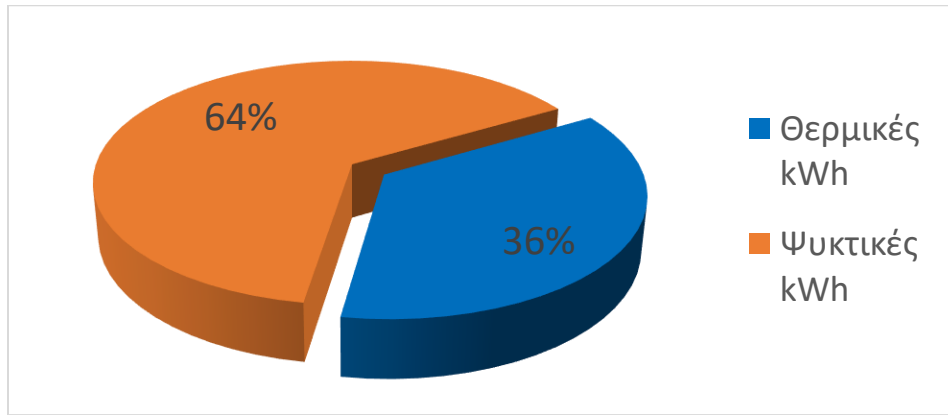
Για την ορθή ερμηνεία και χρήση των παραπάνω δεδομένων με σκοπό την εξαγωγή συγκρίσιμων αποτελεσμάτων από την ανάλυση που θα ακολουθήσει, χρησιμοποιούμε ως κοινό παρονομαστή και μονάδα μέτρησης της ενέργειας την κιλοβατώρα (kWh) είτε αυτή είναι θερμική, ψυκτική ή ηλεκτρική.



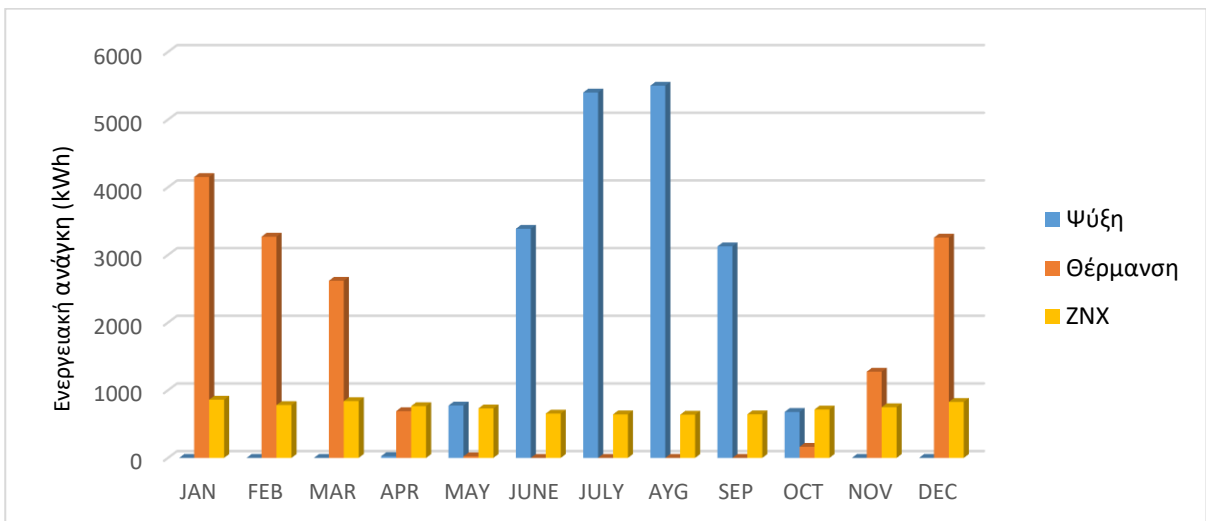
Σύμφωνα με τα δοθέντα στοιχεία, η εξεταστέα πολυκατοικία κατά τη διάρκεια ενός ημερολογιακού έτους έχει καταναλώσει ίσες με 15.545 θερμικές kWh, 18.891 για την ψύξη των εσωτερικών χώρων καθώς και 8.849 επίσης θερμικές kWh για την παροχή ZN και τα παραπάνω δεδομένα θα αποτελέσουν την βάση της σχεδίασης και ανάλυσης.



**Διάγραμμα 10: Ποσοστιαία σύγκριση ενεργειακών αναγκών**



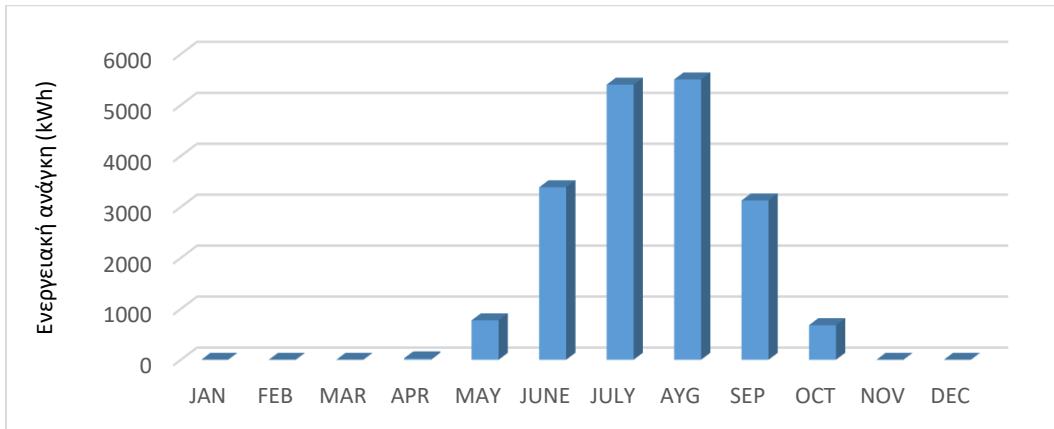
**Διάγραμμα 11: Ποσοστιαία σύγκριση θερμικών – ψυκτικών αναγκών**



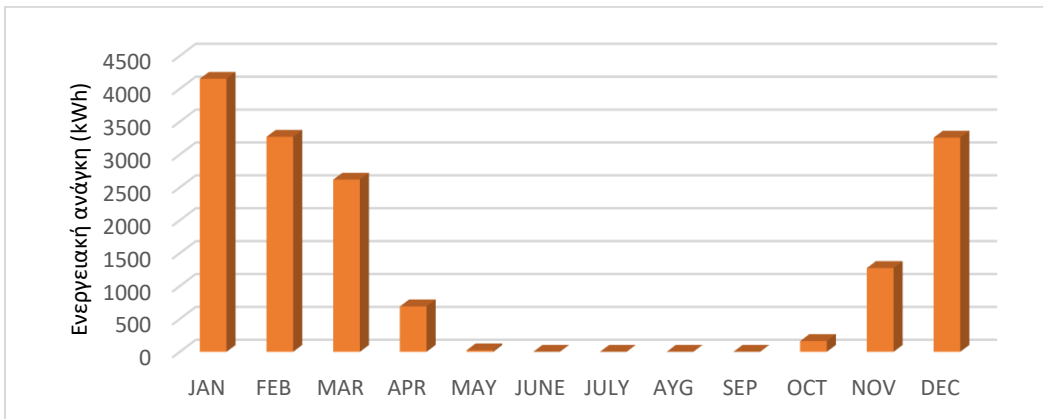
**Διάγραμμα 12: Μηνιαία σύγκριση καταναλώσεων (kWh)**

Σύμφωνα με αυτά λοιπόν θα γίνει η διαστασιολόγηση του συστήματος για την εκλογή μεγέθους της Α/Θ νερού – αέρος, του ηλιακού θερμικού συστήματος (με το δοχείο αποθήκευσης) και κατ' επέκταση του Φ/Β συστήματος. Η Α/Θ θα αναλάβει να “σηκώσει” τα φορτία ψύξης – θέρμανσης των εσωτερικών χώρων, όπως και του ZNX (όποτε χρειαστεί) σε συνεργασία με το ηλιακό θερμικό σύστημα.

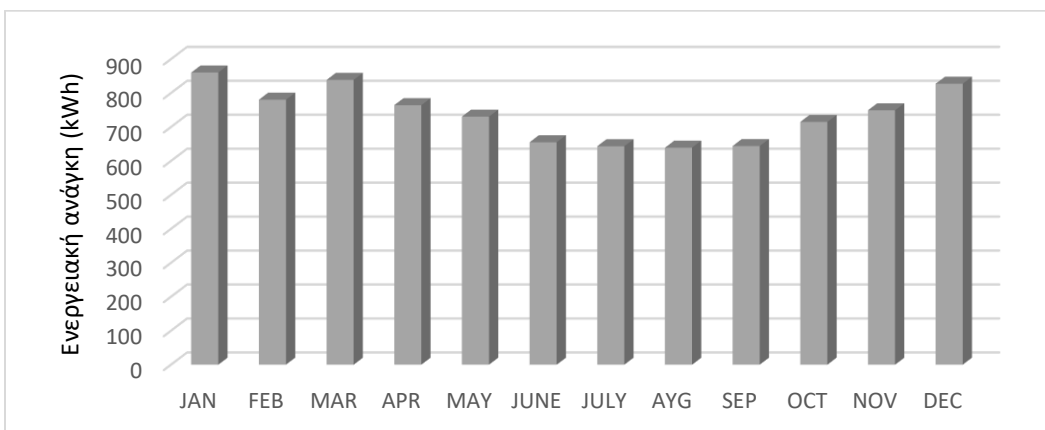
Στη συνέχεια παρατίθενται οι επιμέρους καταναλώσεις (kWh) ανά μήνα για την κάθε λειτουργία.



**Διάγραμμα 13: Μηνιαία ανάγκη kWh για ψύξη**



**Διάγραμμα 14: Μηνιαία ανάγκη kWh για θέρμανση**



**Διάγραμμα 15: Μηνιαία ανάγκη kWh για ZNX**

### 6.3 Ηλιακό Θερμικό Σύστημα

#### 6.3.1 Περιγραφή συστήματος - Μοντελοποίηση

Το ηλιακό θερμικό σύστημα της παρούσας μελέτης αποτελείται από επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες σε σταθερή βάση και με κλίση 38° όπως και το γεωγραφικό πλάτος της Αθήνας και γωνία αζιμούθιου 0° (Νότος). Εν συνεχεία, η αποθήκευση του παραγόμενου ΖΝΧ θα καταλήγει σε δοχείο αποθήκευσης συνολικής χωρητικότητας 1000 λίτρων.

Η διαστασιολόγηση του ηλιακού θερμικού συστήματος έγινε με γνώμονα την κάλυψη των αναγκών για ΖΝΧ κατά τους θερινούς μήνες, όταν δηλαδή η Α/Θ απαιτείται να λειτουργεί για να προσδώσει ψύξη στους εσωτερικούς χώρους της πολυκατοικίας.

Το μοντέλο που ακολουθήθηκε και εφαρμόστηκε, για βραχυπρόθεσμη αποθήκευση ΖΝΧ σε κατοικίες είναι :

$$Q_{th,st} = \dot{m}c_p\Delta T$$

Όπου  $\dot{m}$  η παροχή του νερού διαμέσου των συλλεκτών,  $c_p$  η ειδική θερμοχωρητικότητα του νερού (στην περίπτωση μας λαμβάνεται ίση και σταθερή με 4.190 J/Kg , ενώ με  $\Delta T$  συμβολίζεται η θερμοκρασιακή διαφορά του νερού συλλέκτη στην έξοδο με την είσοδο σε αυτόν. ( $T_{out} = 40$  °C)

Επίσης, σύμφωνα με τον πίνακα (), για αποθήκευση ΖΝΧ σε πολυκατοικία με πολλαπλούς ένοικους κάνουμε χρήση του ημιεμπειρικού κανόνα για 60 λίτρα / τμ εγκατεστημένης επιφάνειας συλλέκτη.<sup>36</sup>

<i>Degree of utilisation (litres/m<sup>2</sup> of collector surface)</i>	<i>Evenness of the tapping profile</i>	<i>System efficiency [%]</i>	<i>Specific buffer volume (l/m<sup>2</sup> of collector surface)</i>
70	even tapping profile of a multi-family house	47	40–50
40	even tapping profile of a multi-family house	37	60–70
70	tapping profile of a0 workshop with no weekend consumption	36–38	60–80
40	tapping profile of a workshop with no weekend consumption	26–28	70–100

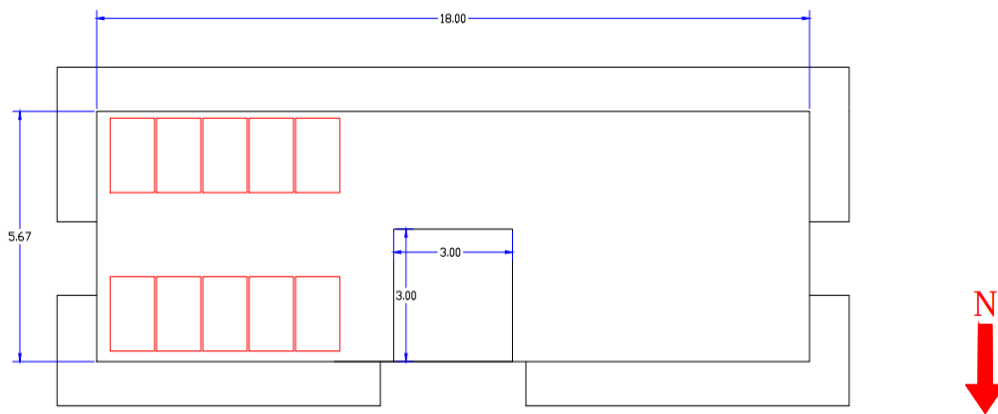
Πίνακας 1: Συσχετισμός επιφάνειας συλλέκτη και όγκου δοχείου

<sup>36</sup> Eicker Ur.,(2003) “Solar Technologies for Buildings”

Για της ανάγκες της εργασίας επιλέχθηκε συλλέκτης που κυκλοφορεί στην αγορά και συγκεκριμένα ο συλλέκτης της εταιρείας Σ.Η.Ε. (Συστήματα Ηλιακής Ενέργειας)<sup>37</sup> σειράς DURO T200S με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά :

<b>Technical Specifications</b>	
Product : Solar Collector Model : SHE T200S	
<b>Dimensions</b>	
• Length ( L ) :	1992 mm
• Width ( ℓ ) :	992 mm
• Height ( E ) :	95 mm
• Area:	1,98 m <sup>2</sup>
• Weight when empty :	35 Kg
<b>Absorber</b>	
• Material :	Copper / Aluminum
• Coating :	Blue Selective
• Area:	1.84 m <sup>2</sup>
• Diameter of riser tubes :	10 mm
• Number of riser tubes :	8
• Diameter of header tubes :	22 mm
• Volume of the fluid:	1600ML
• Maximum service pressure:	10 bar

Με σκοπό την κάλυψη των θερμικών αναγκών για ΖΝΧ κατά τους θερμότερους μήνες επιλέχθηκαν συνολικά 9 συλλέκτες και τοποθετούνται στο δώμα της πολυκατοικίας ως ακολούθως :



**Σχήμα 20: Χωροθέτηση Ηλιακών συλλεκτών**

<sup>37</sup> Η εταιρεία ιδρύθηκε το 1980 και η κύρια δραστηριότητά μας είναι η κατασκευή ηλιακών επίπεδων συλλεκτών και ηλιακών θερμοσιφώνων. Τα προϊόντα μας κατέχουν καμπύλες απόδοσης από το κέντρο ερευνών ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ και είναι πιστοποιημένα με SOLAR KEY MARK, ISO 9001:2008 και CE.

Για αποφυγή σκιάσεων, υπολογίζοντας το ύψος του κάθε συλλέκτη για κλίση 38 μοιρών ίσο με περίπου 1 μέτρο και εν συνεχεία πολλαπλασιάζοντας αυτό το ύψος επί 2, δηλαδή 2 μέτρα, έχουμε βρει την ασφαλή απόσταση τοποθέτησης για αποφυγή σκιάσεων.

### 6.3.2 Προσομοίωση Συστήματος

Για την προσομοίωση του ηλιακού συστήματος και εξαγωγή του παραπάνω εξοπλισμού έγινε χρήση του λογισμικού T\*SOL<sup>38</sup>, με βάση το προφίλ των ωριαίων καταναλώσεων (αναγωγή σε ημερήσιες) για την 5όροφη πολυκατοικία. Στην αρχή της διαδικασίας σχεδιασμού, έχουμε μια μεγάλη ποικιλία από όλα τα σχετικά συστήματα για θέρμανση ζεστού νερού οικιακής χρήσης και υποστήριξη θέρμανση.

Κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε μια παραλλαγή παραμέτρων για να βρείτε τον βέλτιστο συνδυασμό συνολικής επιφάνειας ηλιακών συλλεκτών και δοχείου αδράνειας, όπως στην δική μας περίπτωση, την καλύτερη λύση ώστε να ικανοποιεί την κάλυψη των αναγκών σε ZNX, προκειμένου να συνεχίσουμε αργότερα στην επιλογή του ιδανικού μεγέθους της αντλίας θερμότητας. Με την προσομοίωση λήφθηκε μια ολοκληρωμένη αναφορά του θερμικών φορτίων με όλα τα δεδομένα του συστήματος όπως αναφέρθηκαν παραπάνω, καθώς και λεπτομερή αποτελέσματα προσομοίωσης με κύριο σκοπό την εξεύρεση των αναγκαίων ποσών θερμικής ενέργειας που πρέπει να αποδώσει η αντλία θερμότητας του συστήματός μας.

Στο ίδιο σύστημα στο οποίο υπολογίζεται το ισοζύγιο ενέργειας πειραματιστήκαμε με εναλλαγή του αριθμού των ηλιακών συλλεκτών ώστε να διαπιστώσουμε κατά πόσο επηρεάζεται η απόδοση του συστήματος.

#### Παρατηρήσεις:

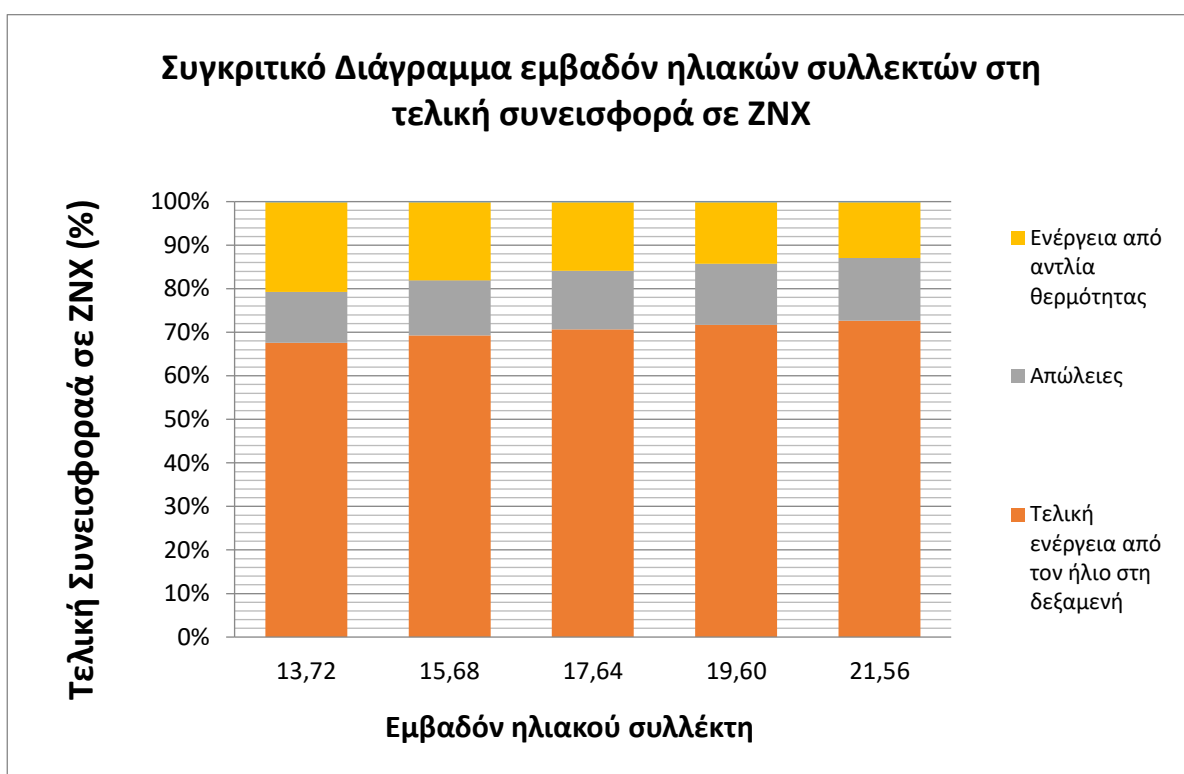
- Η τελική συνεισφορά των ηλιακών συλλεκτών κυμαίνεται από 68% έως 72% γεγονός που δείχνει ότι με την αύξηση των ηλιακών συλλεκτών δεν έχει τον ίδιο αντίκτυπο στην απόδοση.
- Όσο περισσότερους συλλέκτες τοποθετούμε, τόσο περισσότερες οι απώλειες από τη μία και τόσο περισσότερο ενέργεια από αντλία απαιτείται (η οποία όμως προέρχεται από το φωτοβολταϊκό μας με μηδαμινό κόστος).
- Συγκρίνοντας επίσης τον αριθμό των συλλεκτών με τη τελική ενέργεια το σύστημα διαπιστώνεται ότι η αύξηση του αριθμού τους ουσιαστικά μειώνει την τελική απόδοση τους ανά m<sup>2</sup>

<sup>38</sup> Valentin Software GmbH with the software products PV\*SOL, T\*SOL and GeoT\*SOL for dynamic simulation, design, yield and economic forecasting of photovoltaic, solar thermal and heat pump systems is one of the leading providers of design software for sustainable energy supply. Η δωρεάν χρήση της εφαρμογής γίνεται από το <https://valentin-software.com/en/products/tsol/>

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων φαίνονται στο παρακάτω πίνακα:

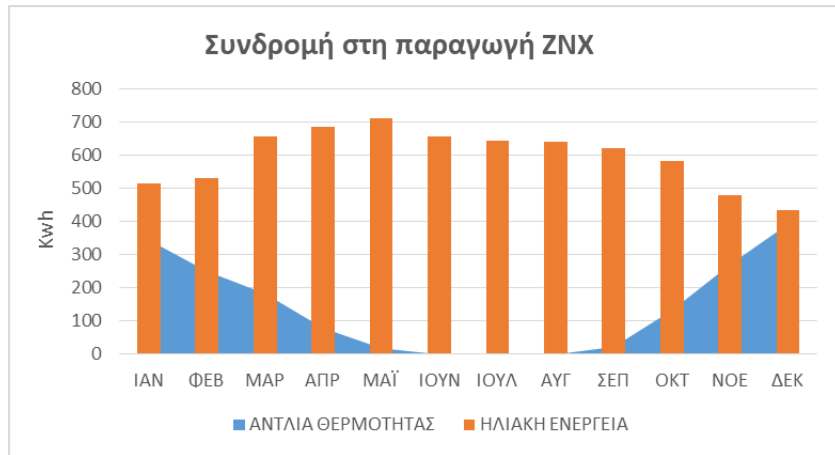
Αριθμός ηλιακών συλλεκτών	7	8	9	10	11
Επιφάνεια συλλεκτών (m <sup>2</sup> )	13,72	15,68	17,64	19,60	21,56
Εγκατεστημένη ισχύς (W)	5.280	6.040	6.970	7.550	8.300
TOTAL SOLAR FRACTION (%)	76,60	79,40	81,80	83,50	85,10
Αποτελεσματικότητα (%)	32,60	29,60	27,20	25,10	23,20
Ηλιακή ενέργεια στο σύστημα (kWh)	7.984	8.328	8.720	8.975	9.179
Τελική ενέργεια από τον ήλιο στη δεξαμενή (kWh)	7.548	7.884	8.097	8.291	8.453
Απόδοση στο σύστημα ανά m <sup>2</sup> (kWh)	550,14	502,80	459,01	423,01	392,06
Συνολικές απώλειες (kWh)	1.304	1.438	1.545	1.623	1.678
Ενέργεια από αντλία θερμότητας (kWh)	2.303	2.038	1.803	1.632	1.480

Πίνακας 2: Αποτελέσματα από την προσομοίωση διαφορετικού αριθμού συλλεκτών



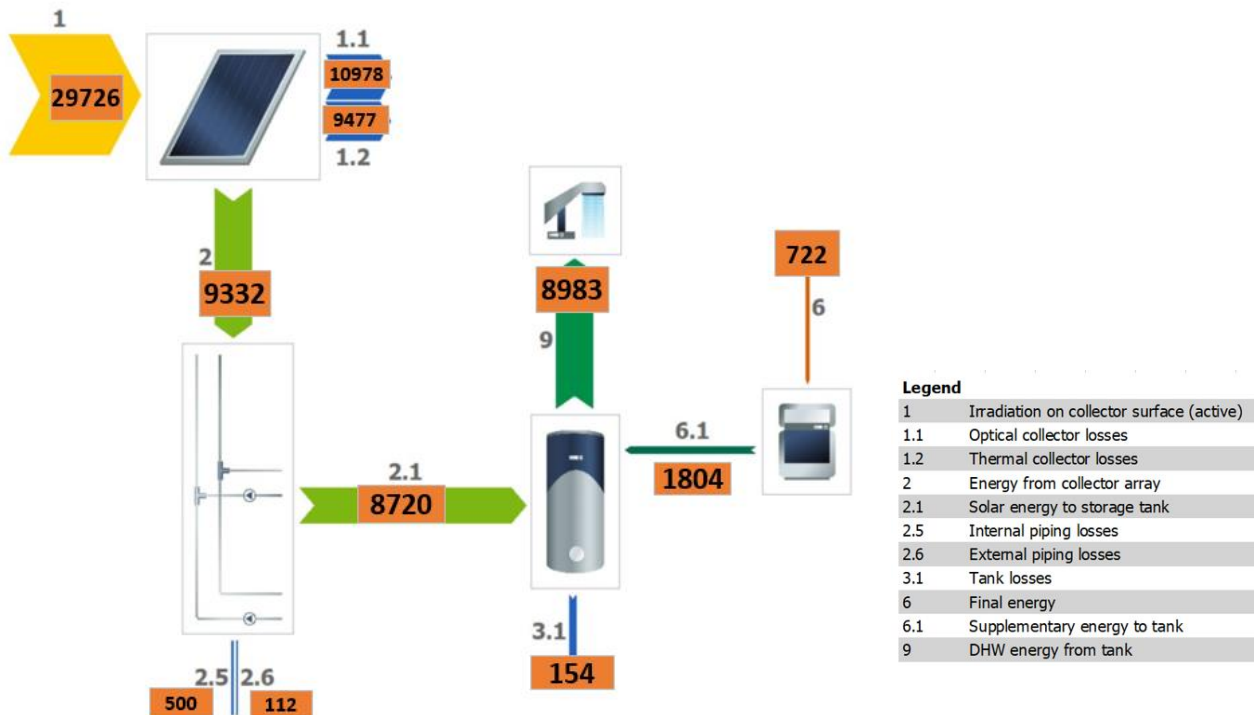
Διάγραμμα 16: Συγκριτικό Διάγραμμα εμβαδόν ηλιακών συλλεκτών στη τελική συνεισφορά σε ΖΝΧ





Διάγραμμα 17: Σύγκριση ζήτησης / κάλυψης ΖΝΧ

Σύμφωνα με τα παραπάνω, επιβεβαιώνεται η αρχική υπόθεση για ηλιακό σύστημα με σκοπό την κάλυψη των αναγκών για ΖΝΧ κατά τους καλοκαιρινούς μήνες του έτους, φαίνεται δηλαδή να υπάρχει πλήρης κάλυψη από τα τέλη Μαΐου έως και τον Αύγουστο. Όσο για τους υπόλοιπους μήνες, ό,τι δεν μπορεί να ικανοποιήσει ο ηλιακός, θα το συμπληρώσει η Α/Θ.



Σχήμα 21: Ετήσια ροή θερμικής ενέργειας (kWh) στο δοχείο αδράνειας

Σύμφωνα με το παραπάνω σύστημα δύναται να καλυφθεί η ετήσια ανάγκη για ΖΝΧ, λαμβάνοντας υπόψη τις απώλειες σωληνώσεων μέχρι το δοχείο όπως και τις απώλειες θερμότητας κατά τις ώρες μη χρήσης ΖΝΧ από τους ένοικους. Συνοπτικά, η θερμική ενέργεια που καταλήγει στα διαμερίσματα μοιράζεται ως ακολούθως :

	Διαθέσιμη Ενέργεια (Kwh)	Απώλειες (Kwh)	Συνδρομή για ΖΝΧ (Kwh)
Ηλιακοί Συλλέκτες	8.720	1.565	8.983
Αντλία Θερμότητας	1.804		
<b>Ισοζύγιο Ενέργειας</b>	<b>10.524</b>	<b>1.565</b>	<b>8.983</b>

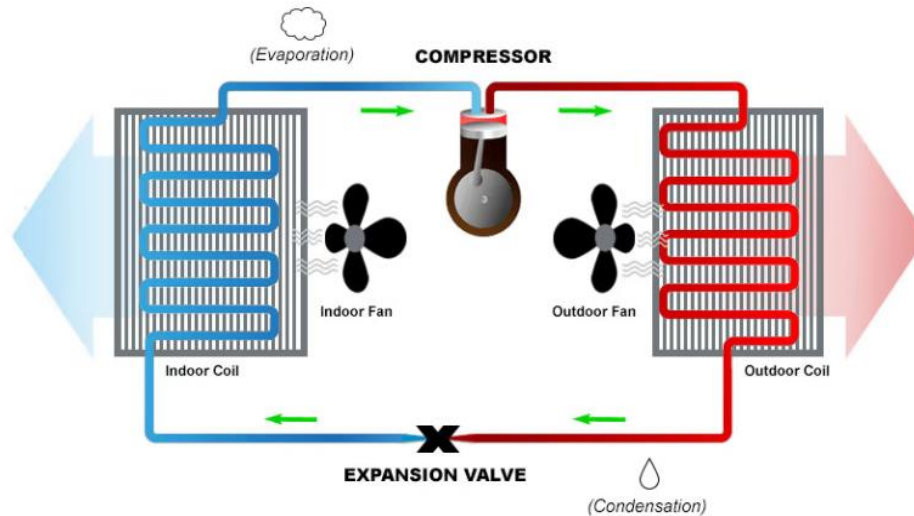
**Πίνακας 3: Ετήσιο ισοζύγιο ενέργειας στο δοχείο αδράνειας**

Συνολικά παρατηρούμε ότι το ηλιακό σύστημα αναλαμβάνει κατά κύριο λόγο τα θερμικά φορτία ΖΝΧ, με την αντλία θερμότητας να λειτουργεί επικουρικά κατά τους ψυχρούς μήνες. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα αυτό αντιστοιχεί σε ποσοστό 81% για το Η/Θ σύστημα έναντι του 19% της Α/Θ.

## 6.4 Αντλία Θερμότητας Νερού - Αέρος

### 6.4.1 Περιγραφή συστήματος - Μοντελοποίηση

Στην παρούσα μελέτη η αντλία νερού - αέρος που θα σχεδιαστεί μέσω της διαδικασίας της βελτιστοποίησης και διαστασιολόγησης χωρίζεται στην διερεύνηση των κύριων μερών της αντλίας θερμότητας.



**Σχήμα 22: Διάταξη Α/Θ Νερού – Αέρος**

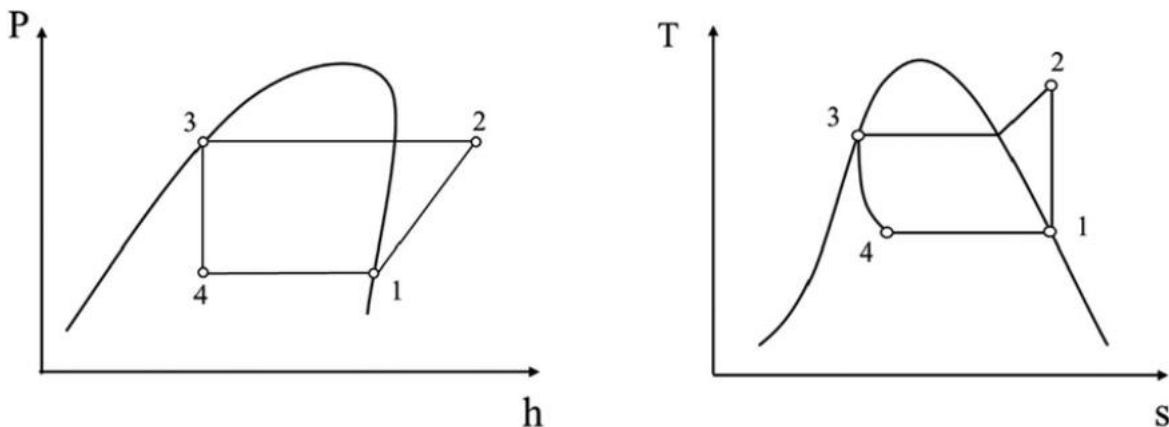
Αυτό χωρίζεται στην ατμοποιητή (**Evaporator**), τον συμπυκνωτή (**Condenser**), την βαλβίδα εκτόνωσης (**Expansion valve**) και τον συμπιεστή (**Compressor**), ο οποίος στην περίπτωση μας είναι ελικοειδούς τύπου.

Αρχικά, το εργαζόμενο μέσο εισέρχεται στον ατμοποιητή όπου πραγματοποιείται η παραλαβή της θερμότητας με αποτέλεσμα να εξέρχεται από αυτόν σε κατάσταση υπέρθερμου ατμού. Εν συνεχεία, μέσω του συμπιεστή ανυψώνεται σε υψηλή πίεση και οδηγείται στον συμπυκνωτή όπου συναλλάσσει θερμότητα με το περιβάλλον. Το εργαζόμενο μέσο, που πλέον βρίσκεται σε κατάσταση υπόψυκτου υγρού, καταλήγει στην εκτονωτική βαλβίδα όπου και στραγγαλίζεται στην πίεση του ατμοποιητή με το αποτέλεσμα να είναι διφασικό μίγμα. Τέλος, το μίγμα περνάει πάλι από τον ατμοποιητή και επαναλαμβάνεται όλη η κυκλική διαδικασία.

Το παραπάνω αποτελεί την βασική περιγραφή της αντλίας θερμότητας, τα διαγράμματα που ακολουθούν απεικονίζουν αυτήν την περιγραφή, όπου το κάθε σημείο αντιστοιχεί και σε ένα από τα βασικά εξαρτήματα της Α/Θ.

Για τη λειτουργία σε ψύξη ουσιαστικά αντιστρέφεται ο θερμοδυναμικός κύκλος της αντλίας και ανάλογα με την λειτουργία ο συμπυκνωτής γίνεται ατμοποιητής και το ανάποδο.

Αναζητώντας την ιδανική αντλία θερμότητας για την παρούσα εγκατάσταση και συνθήκες, ακολουθήθηκε διαδικασία βελτιστοποίησης, μέσω διερεύνησης βασικών στοιχείων της Α/Θ όπως το εργαζόμενο ρευστό, ο συμπιεστής και οι εναλλάκτες θερμότητας (Συμπυκνωτής/Ατμοποιητής) με συνδυασμό τους για την «κατασκευή» μιας αποδοτικής Α/Θ.



Σχήμα 23: Διαγράμματα P – h και T - s

Σύμφωνα με τα προαναφερθέντα και με την αρίθμηση των σημείων του θερμοδυναμικού κύκλου (κάθε σημείο αντιστοιχεί σε εξάρτημα της A/Θ), γίνεται η μοντελοποίηση του θερμοδυναμικού κύκλου.<sup>39</sup>

- **Ατμοποιητής (Evaporator) / Μεταβολή 4 – 1**

Το διφασικό μίγμα εισέρχεται στον ατμοποιητή, όπου μέσω του νερού ατμοποιείται σε δύο στάδια. Ένα είναι η ατμοποίηση και το άλλο η υπόψυξη προς τον συμπιεστή, υποθέτοντας αμελητέες απώλειες θερμότητας του ατμοποιητή στο περιβάλλον ισχύει το ισοζύγιο :

$$\dot{m}(h_1 - h_4) = \dot{m}_{evap}\Delta h_{evap}$$

Όπου  $\dot{m}$ ,  $\dot{m}_{evap}$  οι παροχές μάζας νερού εργαζόμενου μέσου της A/Θ και του νερού πρόσδοσης θερμότητας στο εργαζόμενο μέσο,  $h_1$ ,  $h_4$  οι ειδικές ενθαλπίες του εργαζόμενου μέσου εκατέρωθεν του εναλλάκτη και  $\Delta h_{evap}$  η διαφορά της ειδ. Ενθαλπίας νερού λόγω πρόσδοσης θερμότητας στο εργαζόμενο μέσο.

- **Συμπιεστής (Compressor) / Μεταβολή 1 – 2**

Μέσω του συμπιεστή πραγματοποιείται ανύψωση της πίεσης του ψυκτικού υγρού. Η μεταβολή που εμπεριέχει απώλειες, για αυτό και ορίζεται ο ισεντροπικός βαθμός απόδοσης :

$$\eta_{is} = \frac{h_{2is} - h_1}{h_2 - h_1}$$

Όπου  $h_{2is}$  το σημείο εξόδου του συμπιεστή, εφόσον η συμπίεση πραγματοποιούνταν ισεντροπικά (στο διάγραμμα () η ενθαλπία στα σημεία 1 – 2 θα συνδεόταν κατακόρυφα). Ο ισεντροπικός βαθμός συμπίεσης καθορίζεται ουσιαστικά από τον κατασκευαστή, ο οποίος έχει δοκιμάσει την συμπεριφορά του σε για διάφορες στροφές λειτουργίας, ακτίνα κτλ.

- **Συμπυκνωτής (Condenser) / Μεταβολή 2 – 3**

Ομοίως με τον ατμοποιητή, θεωρώντας αμελητέες απώλειες θερμότητας στο περιβάλλον και σταθερή πίεση, η συνολική μεταβολή αποτελείται από την αφαίρεση της υπερθέρμανσης του εργαζόμενου μέσου, τη συμπύκνωση και τέλος την υπόψυξή του.

$$\dot{m}(h_2 - h_3) = \dot{m}_{cond}\Delta h_{cond}$$

<sup>39</sup> Dincer, I. and M. Kanoglu, (2010) “Refrigeration systems and applications”

Όπου  $\dot{m}_{cond}$  η παροχή μάζας του εργαζόμενου μέσου στο νερό αποβολής θερμότητας και  $\Delta h_{cond}$  η αύξηση της ειδικής ενθαλπίας του νερού λόγω θέρμανσής του.

- **Εκτονωτική Βαλβίδα (Expansion Valve)**

Στην εκτονωτική βαλβίδα το εργαζόμενο μέσο στραγγαλίζεται από την υψηλή πίεση (συμπύκνωσης) στη χαμηλή πίεση (ατμοποίησης), προτού γίνει εισαγωγή του στον ατμοποιητή. Κατά τη διάρκεια της μεταβολής δεν πραγματοποιείται παραγωγή έργου και με τις απώλειες θερμότητας στο περιβάλλον πρακτικά αμελητέες προκύπτει ότι :

$$h_3 = h_2$$

- **Συντελεστές απόδοσης Ψύξης – Θέρμανσης**

Κατόπιν της βελτιστοποίησης της αντλίας θερμότητας σύμφωνα με τις επιμέρους μεταβλητές λειτουργίας της για την παρούσα εγκατάσταση, γίνεται η εκλογή των καταλλήλων παραμέτρων ώστε να έχουμε τους επιθυμητούς βαθμούς απόδοσης για την αποδοτικότερη λειτουργία. Στη συνέχεια έχοντας δεδομένα αυτά τα μεγέθη δύναται να υπολογισθεί η ηλεκτρική κατανάλωση του συμπιεστή κατά τις δύο λειτουργίες (Ψύξη – Θέρμανση)

Ωστόσο αναγκαίο μέγεθος για αυτό τον υπολογισμό είναι το ωφέλιμο φορτίο, το οποίο κατά τον κύκλο ψύξης, αντιστοιχεί στον ατμοποιητή ενώ αντίστροφα για κύκλο θέρμανσης στον συμπυκνωτή.

- **Ψύξη :**  $Q_u = Q_{evap} = \dot{m}(h_1 - h_4)$
- **Θέρμανση :**  $Q_u = Q_{cond} = \dot{m}(h_2 - h_3)$

Επίσης, ορίζεται η απαιτούμενη ηλεκτρική ισχύς για την περιστροφή του συμπιεστή :

$$W_t = \dot{m}(h_2 - h_1)$$

Βάσει των παραπάνω υπολογίζεται ο βαθμός συμπεριφοράς του κύκλου (COP) – (Ισχύς εξόδου / Ισχύς εισόδου) :

$$COP = \frac{Q_u}{W_t}$$

#### 6.4.2 Εργαζόμενα Μέσα<sup>40</sup>

Όπως έχει αναφερθεί, βασικός άξονας στην επιλογή της Α/Θ αποτελεί το εργαζόμενο μέσο που θα διακινείται στο εσωτερικό της. Οι ιδιότητες κάθε ρευστού επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό την απόδοση του συστήματος ανάλογα με τις εκάστοτε συνθήκες λειτουργίας.

<sup>40</sup> Di Wu, Bin Hu, R.Z. Wang, (2021), “Vapor compression heat pumps with pure Low-GWP refrigerants”,

Εκτός των άλλων, τα ρευστά αυτά πρέπει να ικανοποιούν και ορισμένες περιβαλλοντικές προδιαγραφές. Συγκεκριμένα, οι δύο βασικότεροι περιβαλλοντικοί δείκτες είναι το δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη (Global Warming Potential – GWP) και το δυναμικό εξασθένησης της στιβάδας όζοντος (Ozone Depletion Potential – ODP).

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι βασικές ιδιότητες των προς δοκιμή ρευστών.

Εργαζόμενο Μέσο	Όνομασία	Χημικός Τύπος	T <sub>crit</sub>	P <sub>crit</sub>	ODP	GWP100
			(°C)	(bar)		
R290	Propane	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	96.7	42.5	0	3
R1234yf	2,3,3,3-Tetrafluoro-1-propene	CH <sub>2</sub> =CF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	94.7	33.8	0	1
R1234ze(E)	trans-1,3,3,3-Tetrafluoro-1-propene	CHF=CHCF <sub>3</sub> (E)	109.4	36.4	0	1

**Πίνακας 4: Ιδιότητες εξεταζόμενων ρευστών**

Παρατηρούμε ότι τα τρία ρευστά διαθέτουν χαμηλό δείκτη GWP και μηδενική τιμή ODP, κάτι που τα καθιστά «φιλικά» προς το περιβάλλον. Τα R1234yf και R1234ze(E) ανήκουν στην κατηγορία των Υδροφθοροολεφινών (HFOs) ενώ το R290 είναι υδρογονάνθρακας (HCs). Αν και έχουν παρόμοιες ιδιότητες, το πλεονέκτημα των πρώτων με το δεύτερο είναι η χαμηλότερη ευφλεκτότητα, καθιστώντας τα περισσότερο ασφαλή σε εφαρμογές αντλιών θερμότητας.

#### 6.4.3 Διαδικασία Βελτιστοποίησης

Μέσω κώδικα βελτιστοποίησης που αναπτύχθηκε σε περιβάλλον MATLAB, αναζητούμε την αντλία θερμότητας η οποία θα μας δώσει τον καλύτερο ζεύγος βαθμού συμπεριφοράς (COP) και δείκτη ενεργειακής απόδοσης (EER) με σκοπό να επιτευχθεί η χαμηλότερη δυνατή ηλ. κατανάλωση.

Το αποτέλεσμα προέκυψε από τον κατάλληλο συνδυασμό και δοκιμές εργαζόμενου μέσου, συμπιεστή και των εναλλακτών θερμότητας (Συμπυκνωτή/Ατμοποιητή). Πιο συγκεκριμένα, έχοντας τα παραπάνω και τις συνθήκες λειτουργίας ως δεδομένα εισόδου (Input) δοκιμάζουμε στον εκάστοτε κώδικα Θέρμανσης ή Ψύξης.

Σε κάθε δοκιμή ξεκινάμε με τον συμπιεστή Copeland ZB95K5E και αριθμό πλακών σε κάθε εναλλάκτη ίσο με 60. Να σημειωθεί ότι οι διαθέσιμοι συμπιεστές και εναλλάκτες μοιράζονται τα ίδια χαρακτηριστικά εκτός ταχύτητα περιστροφής/όγκο εμβολισμού για τους πρώτους, ενώ για τους δεύτερους μεταβάλλουμε τον αριθμό πλακών εφόσον χρειαστεί.

Δοκιμές Κώδικα Θέρμανσης			
Εργαζόμενο ρευστό	R1234ze(E)	R1234yf	Propane (R290)
Αρ. Πλακών εναλλάκτη	60	80	60
Ισχύς Συμπυκνωτή (kW) - $Q_{cond}$	17,09	17,19	16,37
Ισχύς Ατμοποιητή (kW) - $Q_{evap}$	13,28	13,24	12,74
Συντελεστής Απόδοσης - COP	3,74	3,67	3,84
Δείκτης Ενεργειακής Απόδοσης - EER	2,9	2,83	2,99
Στροφές Συμπιεστή - N (RPM)	2.642	2.070	2.937
Αποτελεσματικότητα Συμπυκνωτή (%)	99,98	100	100
Αποτελεσματικότητα Ατμοποιητή (%)	100	100	100

**Πίνακας 5: Αποτελέσματα δοκιμών κώδικα θέρμανσης**

Για τον κώδικα σε λειτουργία θέρμανσης, εντοπίζουμε από τις ωριαίες ανάγκες την απαιτούμενη ισχύ θέρμανσης αυξανόμενη κατά 10% για περιθώριο ασφάλειας. Την 361<sup>η</sup> ώρα του έτους βρίσκουμε  $Q_{h,max}$  ίση με 14,975 kW η οποία με την προσαύξηση γίνεται  $Q_{des,cond} = 16,472 \text{ kW}$  (ονομαστικό φορτίο), ενώ την ίδια ώρα επικρατεί θερμοκρασία περιβάλλοντος της τάξης των 3,7°C.

Σε γενικές γραμμές, στα αποτελέσματα που λαμβάνονται παρατηρούμε η ισχύς που επιτυγχάνεται (Συμπυκνωτή ή Ατμοποιητή) ανάλογα την λειτουργία να βρίσκεται έως και 10% κοντά στην επιθυμητή. Επίσης, η ταχύτητα του συμπιεστή για να είναι επαρκής λαμβάνονται ως όριο οι 3.500 στροφές, διαφορετικά απαιτείται συμπιεστής με μεγαλύτερο όγκο εμβολισμού. Τέλος ελέγχουμε την αποτελεσματικότητα των εναλλακτών, σε περίπτωση που βρεθεί μικρότερη του 98% αυξάνουμε το πλήθος των πλακών.

Όμοια εργαζόμαστε για τον κώδικα σε λειτουργία ψύξης, βρίσκουμε ότι την 5.515<sup>η</sup> ώρα του έτους, όπου η εξωτερική θερμοκρασία είναι 35°C, η μέγιστη ανάγκη για ψύξη είναι ίση με  $Q_{c,max} = 20,608 \text{ kW}$ , ενώ με αύξηση 10% μας δίνει ονομαστική ισχύ ψύξης  $Q_{des,evap} = 22,668 \text{ kW}$ .

Παρατηρήθηκε ότι για το ρευστό **R1234yf** ότι ο κώδικας για πλήθος πλακών στον εναλλάκτη ίσο με 60 έδινε ως έξοδο αποτελεσματικότητα κάτω του 98% είτε δε συνέκλινε καθόλου. Συνεπώς, με αύξηση των πλακών στις 80 ο κώδικας έδωσε τα επιθυμητά νούμερα.

<b>Δοκιμές Κώδικα Ψύξης</b>			
Εργαζόμενο ρευστό	<b>R1234ze(E)</b>	<b>R1234yf</b>	<b>Propane (R290)</b>
Αρ. Πλακών εναλλάκτη	60	80	60
Ισχύς Συμπυκνωτή (kW) - $Q_{cond}$	27,71	27,67	27,55
Ισχύς Ατμοποιητή (kW) - $Q_{evap}$	22,7	22,68	22,7
Συντελεστής Απόδοσης - COP	4,78	4,81	4,84
Δείκτης Ενεργειακής Απόδοσης - EER	3,91	3,94	3,99
Στροφές Συμπιεστή - N (RPM)	3.372	2.670	2.398
Αποτελεσματικότητα Συμπυκνωτή (%)	98,3	98,66	99,32
Αποτελεσματικότητα Ατμοποιητή (%)	98,52	100	100

**Πίνακας 6: Αποτελέσματα δοκιμών κώδικα ψύξης**

Το αποδοτικότερο σύστημα βρίσκεται κατά τη διαστασιολόγηση κατά τη θερινή λειτουργία με χρήση του υγρού **R290** (Προπάνιο), τον συμπιεστή Copeland ZB95K5E στις 2.398 RPM κατά τη λειτουργία σε ονομαστικό φορτίο. Οι εναλλάκτες θερμότητας είναι συγκολλητοί πλακοειδείς της εταιρείας Alfa Laval και συγκεκριμένα το μοντέλο AC30-EQ με αριθμό πλακών 60. Ο συντελεστής απόδοσης COP βρίσκεται ίσος με 4,84 ενώ ο δείκτης ενεργειακής απόδοσης EER 3,99 πάνω από οποιαδήποτε άλλη δοκιμή/συνδυασμό, με δυνατότητα θέρμανσης στα 27,55 kW και ψύξης στα 22,7 kW.

Για να βρεθεί η ετήσια ηλεκτρική κατανάλωση (κατανάλωση συμπιεστή) που θα έχει η πολυκατοικία με το παρόν σύστημα με σχετική ρεαλιστική ακρίβεια θα χρειαστεί να υπολογισθούν οι εποχιακοί βαθμοί απόδοσης SCOP και SEER της συσκευής.<sup>41</sup> Αυτό το επιτυγχάνουμε με χρήση του προτύπου EN 14825, ενώ οι SCOP και SEER είναι ουσιαστικά το πηλίκο της συνολικής παραγωγής θερμικής/ψυκτικής ενέργειας προς την ηλ. Ενέργεια που δαπανήθηκε κατά τη διάρκεια ενός έτους.

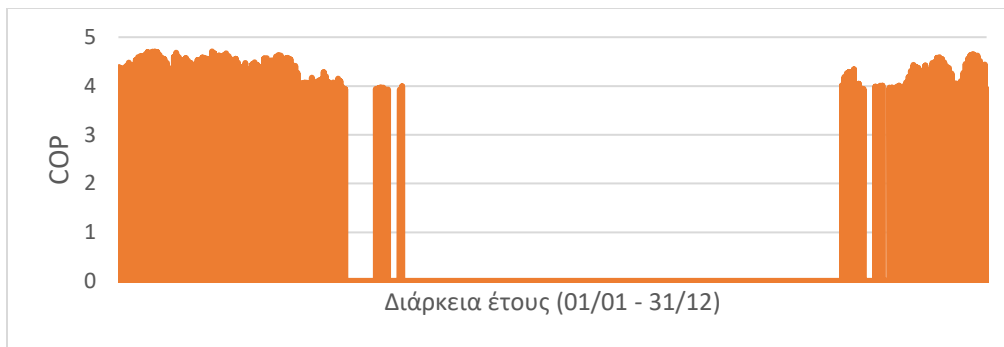
Σε κάθε λειτουργία λαμβάνουμε ως πραγματικά φορτία όσα ξεπερνούν το 30% της ονομαστικής ισχύος της αντλίας, θεωρώντας τα μικρότερα ως αμελητέα και την αντλία ανενεργή. Στη συνέχεια, σε κάθε ώρα λειτουργίας υπολογίζουμε τον μερικό COP ή EER αντίστοιχα σύμφωνα με τον τύπο :

<sup>41</sup> Mouzeviris, G.A. Papakostas, K.T.(2022) "Study on Air-to-Water Heat Pumps Seasonal Performances for Heating in Greece".



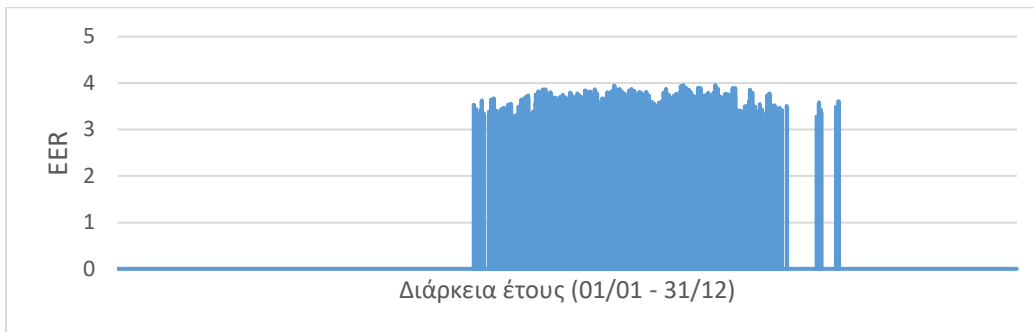
$$COP_{part\ load} = COP_{DC} \cdot \frac{CR}{C_c \cdot CR + (1 - C_c)}$$

Όπου  $COP_{DC}$  ονομαστικός COP (Declared Capacity),  $C_d$  ο παράγοντας υποβάθμισης (Degradation factor) – λαμβάνεται ίσος με 0,9, ενώ με ο CR (Capacity ratio) αντιστοιχεί στον λόγο χωρητικότητας – η απαίτηση ισχύος προς ισχύ της αντλίας στη συγκεκριμένη θερμοκρασία (εφόσον υπολογίζουμε τα φορτία άνω του 30% της ονομαστικής ισχύος, η ισχύς της αντλίας θεωρείται πάντα ίση με την ονομαστική). Παρακάτω παρατίθεται η μεταβολή του Συντελεστή απόδοσης και Δείκτη ενεργειακής απόδοσης κατά τη διάρκεια του έτους για την επιλεγμένη Α/Θ.<sup>42</sup>



**Διάγραμμα 18: Ετήσια Διακύμανση COP**

Σύμφωνα με τα παραπάνω κατά τη λειτουργία θέρμανσης, ο συντελεστής εποχιακής απόδοσης SCOP υπολογίζεται ίσος με 4,182.



**Διάγραμμα 19: Ετήσια Διακύμανση EER**

Όμοια εργαζόμενοι και για την περίπτωση δροσισμού/ψύξης των εσωτερικών χώρων, ο βαθμός εποχιακής ενεργειακής απόδοσης SEER λαμβάνεται στο 3,536.

<sup>42</sup> Rasmussen Pia, (2011), "Calculation of SCOP for heat pumps according to EN 14825", σελίδα 7

### 6.5.1 Υπολογισμός Ηλ. Κατανάλωσης

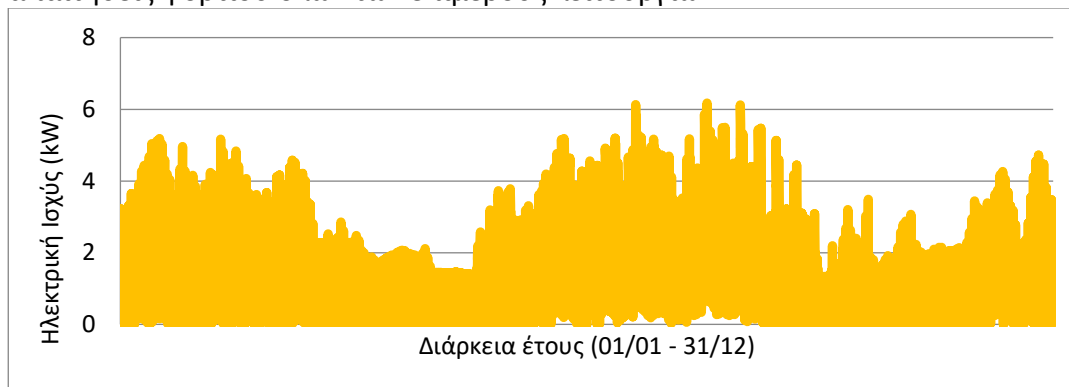
Προτού προχωρήσουμε στην διαστασιολόγηση του φωτοβολταϊκού συστήματος, κρίνεται αναγκαίο να υπολογισθούν οι ηλεκτρικές κιλοβατώρες που θα χρειαστεί ο συμπιεστής της Α/Θ.

Για τον υπολογισμό της κατανάλωσης της αντλίας θερμότητας χρησιμοποιούμε τις ανάγκες του κτιρίου για όλες τις λειτουργίες (Ψύξη, Θέρμανσης, ΖΝΧ) κατά τη διάρκεια ενός έτους. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του κεφαλαίου 1.3.2 η ενέργεια (kWh) που προσφέρεται στο δοχείο από την Α/Θ θα συμψηφιστεί με αυτήν για την θέρμανση των εσωτερικών χώρων. Με αυτό τον τρόπο έχουμε το σύνολο των kWh κατά τη λειτουργία σε κύκλο θέρμανσης, ενώ για την ψύξη έχουμε ήδη τα δεδομένα του κεφαλαίου 1.2.2 .

	Ενεργειακές ανάγκες κτιρίου (kWh)	SCOP/SEER	Ηλεκτρική Κατανάλωση Α/Θ (kWh <sub>el</sub> )
Θέρμανση Εσ. Χώρων	15.445,21	4,182	3.693,26
Ζεστά Νερά Χρήσης	1.804,56		431,51
Ψύξη Εσ. Χώρων	18.891,04	3,536	5.342,49
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>			<b>9.467,25</b>

**Πίνακας 7: Ετήσια κατανάλωση συμπιεστή για όλες τις λειτουργίες**

Με βάση τις ανάγκες αλλά και τους εποχιακούς βαθμούς απόδοσης, καταλήγουμε ότι το σύστημα της Α/Θ για παροχή ψύξης – θέρμανσης στους εσωτερικούς χώρους της πολυκατοικίας αλλά και παροχή ΖΝΧ θα χρειαστεί να καταναλώσει 9.467,25 ηλεκτρικές κιλοβατώρες. Στο διάγραμμα που παρουσιάζεται παρακάτω βλέπουμε την κατανομή του ηλεκτρικού φορτίου που απαιτεί η Α/Θ κατά τη διάρκεια του έτους, λαμβάνοντας τις απαιτήσεις φορτίου όλων των επιμέρους λειτουργιών.



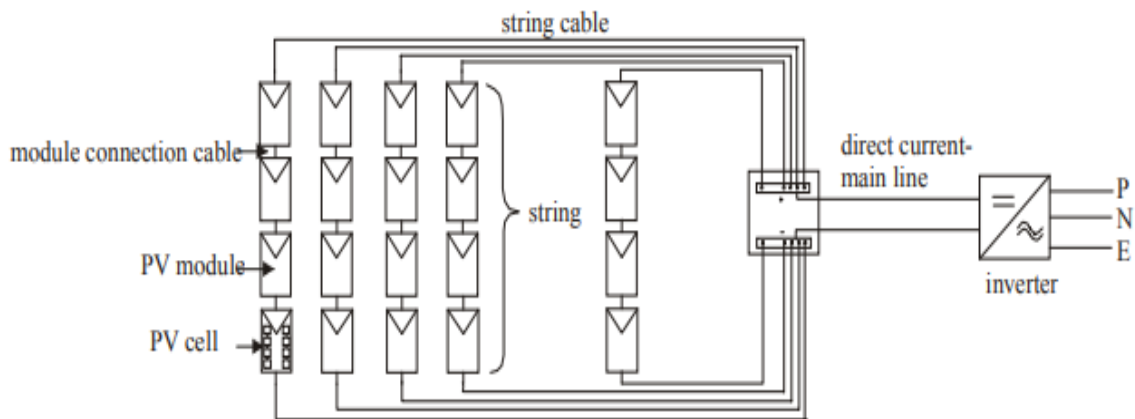
**Διάγραμμα 20: Ετήσια απαίτηση ηλ. ισχύος Α/Θ**

## 6.5 Φωτοβολταϊκό Σύστημα

### 6.5.1 Περιγραφή συστήματος<sup>43</sup>

Όπως έχει αναφερθεί, το Φωτοβολταϊκό σύστημα της μελέτης για την πενταόροφη πολυκατοικία προβλέπεται να καλύπτει τις ετήσιες ηλεκτρικές καταναλώσεις της αντλίας θερμότητας για όλες τις λειτουργίες που έχουν αναλυθεί στο προηγούμενο κεφάλαιο. Αυτό αποτελεί ουσιαστικά την βάση για την διαστασιολόγηση του Φ/Β συστήματος σε συνάρτηση φυσικά με την διαθέσιμη επιφάνεια στο δώμα του κτιρίου. Το σύστημα θα είναι διασυνδεδεμένο στο δίκτυο του ΔΕΔΔΗΕ, σύμφωνα με το καθεστώς του ενεργειακού συμψηφισμού (Net Metering), με το οποίο προσμετράται το ποσό της απορροφημένης ενέργειας σε σχέση με την εγχυμένη (παραγόμενη - ιδιοκαταναλισκόμενη).

Ένα φωτοβολταϊκό σύστημα συνδεδεμένο στο δίκτυο αποτελείται από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια (Panels) και τις βάσεις τους, τον μετατροπέα τάσης (Inverters), διατάξεις ασφάλειας (πίνακας AC/DC) και τέλος τον μετρητή ενεργειακού συμψηφισμού. Το δομικό στοιχείο ενός Φ/Β συστήματος είναι το φωτοβολταϊκό στοιχείο/κυψέλη (cell), πολλαπλά στοιχεία σε σειρά σχηματίζουν μια Φ/Β μονάδα – πλαίσιο (module) ενώ πλαίσια συνδεδεμένα μεταξύ τους αποτελούν μια στοιχειοσειρά (string). Τέλος, το σύνολο των συστοιχιών που συνδέονται στον Inverter για την μετατροπή του συνεχούς ρεύματος (DC) σε εναλλασσόμενο (AC), καθιστούν ένα Φ/Β σύστημα.



Σχήμα 24: Απεικόνιση των επιμέρους διατάξεων ενός Φ/Β συστήματος<sup>44</sup>

<sup>43</sup> Eicker Ur., (2003) "Solar Technologies for Buildings", σελίδα 201-204

<sup>44</sup> Eicker Ur., (2003) "Solar Technologies for Buildings", σελίδα 202

Σε γενικές γραμμές το πλήθος των στοιχείων/κυψελών ενός Φ/Β πλαισίου είναι ανάλογος της ονομαστικής ισχύος του. Σε συνέχεια της ίδιας λογικής, η συνολική ονομαστική ισχύς του συστήματος είναι το γινόμενο του πλήθους των πλαισίων επί την ονομαστική ισχύ κάθε μονάδας.

Ο τρόπος διασύνδεσης των πάνελ προκύπτει από τρεις βασικούς παράγοντες, την παραγόμενη ισχύ, την αναπτυσσόμενη τάση στα άκρα του συστήματος και το συνολικά παραγόμενο ρεύμα. Για την παραγόμενη τάση, αυτή προκύπτει από την αναπτυσσόμενη τάση του ενός πάνελ επί το πλήθος των παράλληλα συνδεδεμένων πάνελ, ενώ το παραγόμενο ρεύμα, ισούται με το παραγόμενο ρεύμα επί το πλήθος των εν σειρά συνδεδεμένων πάνελ. Με τις τελευταίες δύο παραμέτρους ορίζονται συγκεκριμένα όρια στη διασύνδεση των πάνελ σε σειρά και παράλληλα, ενώ η ισχύς εξόδου αποτελεί κομμάτι της διαστασιολόγησης που θα αναλυθεί στη συνέχεια.

Για τις ανάγκες της μελέτης θα χρησιμοποιηθούν μοντέλα πάνελ και μετατροπέα που υπάρχουν ήδη στην αγορά και σύμφωνα με αυτά τα χαρακτηριστικά θα γίνει η οριοθέτηση του συστήματος. Επιλέχθηκαν μονοκρυσταλλικά Φ/Β πλαίσια ονομαστικής ισχύος 410W με συνολικά 108 κυψέλες και συγκεκριμένα το μοντέλο SRP-410-BMD-HV της εταιρείας Seraphim.

<b>Τεχνικά Χαρακτηριστικά SRP-410-BMD-HV (κατά STC)</b>	
Ονομαστική Ισχύς ( $P_{mp}$ )	410 W
Τάση Ανοικτοκύκλωσης ( $V_{oc}$ )	37,32 (V)
Ρεύμα Βραχυκύκλωσης ( $I_{sc}$ )	13,8 (A)
Μέγιστη Τάση ισχύος ( $V_{mp}$ )	31,05 (V)
Μέγιστο Ρεύμα ισχύος ( $I_{mp}$ )	13,21 (A)
Απόδοση Πάνελ	21,00 %
STC: Ακτινοβολία 1000 W/m <sup>2</sup> Θερμοκρασία Πλαισίου 25°C AM=1.5	

**Πίνακας 8: Τεχνικά Χαρακτηριστικά SRP-410-BMD-HV**

[https://www.seraphim-energy.com/wp-content/uploads/download/SRP-\(400-415\)-BMD-HV\\_182\\_EN.pdf](https://www.seraphim-energy.com/wp-content/uploads/download/SRP-(400-415)-BMD-HV_182_EN.pdf)

Ο μετατροπέας τάσης θα είναι ένας εκ των της σειράς MOD 3000~9000TL3-X (Όπου 3~9 η ονομαστική ισχύς εξόδου σε kW), με το ακριβές μοντέλο να προκύπτει κατά την τελική διαστασιολόγηση του συστήματος. Ωστόσο όλη η σειρά μοιράζεται χαρακτηριστικά όπως:

- Τάση Σημείου Μέγιστης Ισχύος :  $V_{max,MPP} = 1.000 \text{ V}$
- Ρεύμα Ανοικτοκύκλωσης Σημείου Μέγιστης Ισχύος :  $I_{max,MPP} = 16 \text{ A}$

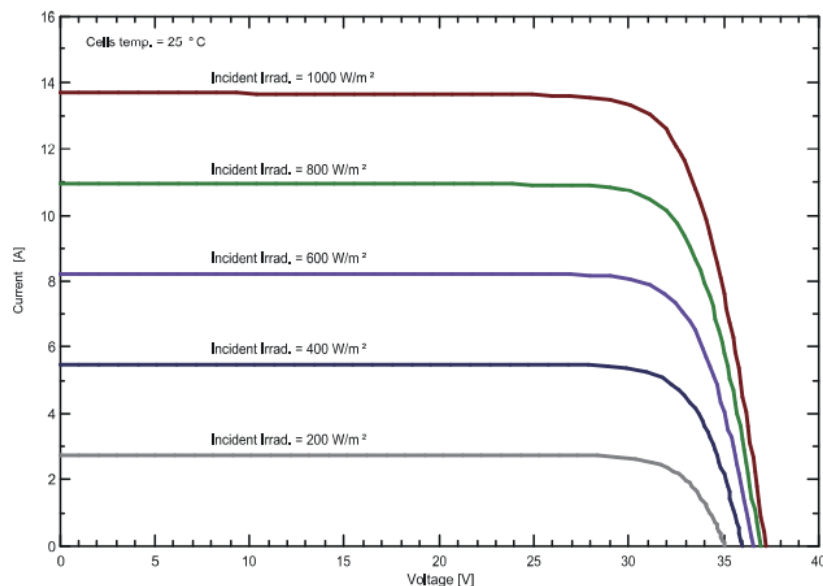
Παρατηρούμε ότι τα επιλεγμένα πλαίσια βρίσκονται εντός ορίου ρεύματος που τα διαρρέει, συνεπώς για σε μια συστοιχία είναι δυνατό να συνδεθούν σε σειρά έως και 26 πλαίσια.

### 6.5.2 Μοντελοποίηση

Στο σημείο αυτό παρουσιάζεται η μοντελοποίηση ενός Φ/Β πάνελ. Προτού αναλυθεί η ακριβής μεθοδολογία, δίνονται κάποια ποιοτικά χαρακτηριστικά της συμπεριφοράς του.

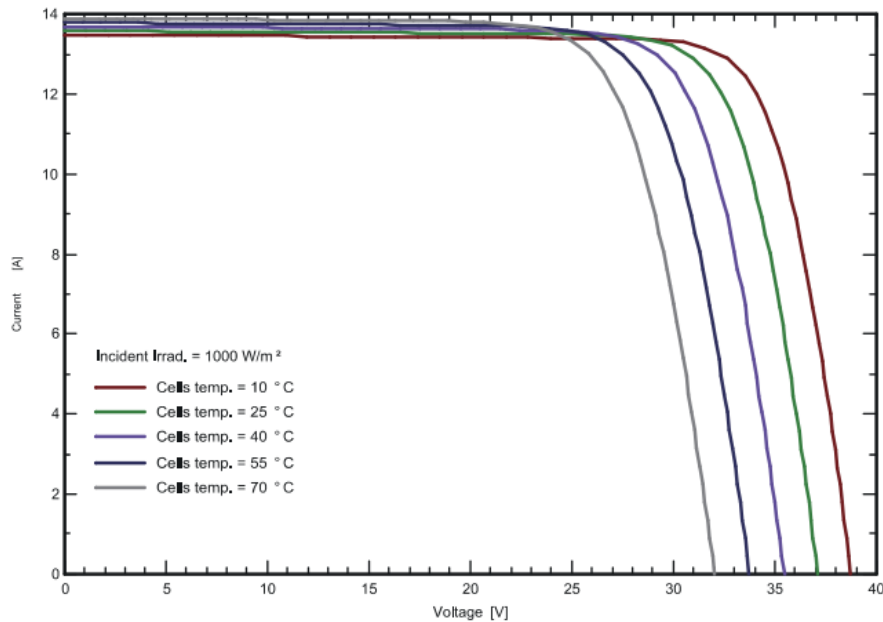
Στο τέταρτο κεφάλαιο έγινε αναφορά στο δομικό στοιχείο ενός Φ/Β πάνελ, το Φ/Β στοιχείο, το οποίο αποτελείται από διόδους τύπου p-n. Οι περισσότερες διόδους επιτρέπουν τη διέλευση ρεύματος διαμέσου τους, μόνο στην περίπτωση εφαρμογής ορισμένης θετικής τάσης στα άκρα τους, δηλαδή ο θετικός πόλος να βρίσκεται στην άνοδο της διόδου (τμήμα τύπου-p). Η τιμή της τάσης πάνω από την οποία άγεται ρεύμα, ονομάζεται δυναμικό παρεμπόδισης και εξαρτάται από το υλικό της διόδου (π.χ. πυρίτιο). Για τάση μικρότερη αυτής της τιμής, η διόδος συμπεριφέρεται ως ανοιχτό κύκλωμα. Τα παραπάνω συμβαίνουν χωρίς την παροχή φωτός στη διόδο. Φωτίζοντας τη διόδο, αυτή πολώνεται αντίστροφα (αρνητική τάση στα άκρα της, σύμφωνα με τον προηγούμενο ορισμό) επιτρέποντας ωστόσο τη διέλευση ρεύματος, αντίθετης όμως φοράς. Το ρεύμα αυτό ονομάζεται φωτόρευμα. Συνεπώς, το ρεύμα που παράγεται από το Φ/Β στοιχείο ισούται με τη διαφορά των δύο.

Η λειτουργία ενός Φ/Β στοιχείου δίνεται μέσω της χαρακτηριστικής καμπύλης ρεύματος-τάσης (I-V) η οποία παρατίθεται παρακάτω από το επίσημο φύλλο των τεχνικών χαρακτηριστικών.



**Διάγραμμα 21: Διάγραμμα I – V για μεταβλητή προσπίπτουσα ακτινοβολία και θερμοκρασία 25°C<sup>45</sup>**

<sup>45</sup> Eicker Ur., (2003) “Solar Technologies for Buildings”, σελίδα 201-204



**Διάγραμμα 22: Διάγραμμα I – V για μεταβλητή θερμοκρασία και προσπίπτουσα ακτινοβολία 1000W/m<sup>2</sup><sup>46</sup>**

Ωστόσο, οι καμπύλες λειτουργίας ενός Φ/Β πάνελ δίνονται σε ορισμένες συνθήκες λειτουργίας, καθώς μεταβολή αυτών οδηγεί σε αλλαγή της συμπεριφοράς τους και συνεπώς, της απόδοσής τους. Οι κυριότεροι παράγοντες που επηρεάζουν τη λειτουργία του αφορούν το ίδιο το πάνελ, αλλά και τις συνθήκες του περιβάλλοντος που περιγράφονται παρακάτω:<sup>47</sup>

- **Προσανατολισμός** : Ο προσανατολισμός του πάνελ περιγράφεται από δύο γωνίες, την κλίση του ( $\beta$ ) και το αζιμούθιό του ( $\gamma$ ). Οι τιμές τους ορίζουν τη γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας σε αυτό. Δεδομένου όμως ότι ο Ήλιος κινείται και ότι τα πάνελ είναι τοποθετημένα σε σταθερή βάση, η γωνία πρόσπτωσης μεταβάλλεται και δεν είναι συνεχώς μηδέν (μέγιστη δέσμευση ακτινοβολίας), δηλαδή τα πάνελ δεν ακολουθούν τον ήλιο. Συνεπώς, η κλίση και το αζιμούθιο πρέπει να επιλεγούν κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να μεγιστοποιείται η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας το επιθυμητό διάστημα αλλά και φυσικά να υπάρχει η απαραίτητη επιφάνεια χωρίς τη δημιουργία σκιάσεων. Γι' αυτόν το σκοπό, πρέπει το αζιμούθιο της επιφάνειας να είναι μηδενικό, δηλ. τα πάνελ να είναι στραμμένα προς τον Ισημερινό (δηλαδή προς το Νότο για το βόρειο ημισφαίριο), ενώ η κλίση σχετίζεται άμεσα με το γεωγραφικό πλάτος ( $\phi$ ) της τοποθεσίας εγκατάστασής τους. Ειδικότερα, για μεγιστοποίηση της παραγόμενης

<sup>46</sup> Eicker Ur., (2003) "Solar Technologies for Buildings", σελίδα 201-204

<sup>47</sup> W.De Soto, S.A. Klein, W.A. Beckman, (2006), "Improvement and validation of a model for photovoltaic array performance", Page 80-81

ενέργειας καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, θα πρέπει η κλίση των συλλεκτών προσεγγίζει το γεωγραφικό πλάτος, δηλαδή  $\varphi = \beta \pm 5^\circ$ , βέβαια όλα αυτά εξαρτώνται και από την νομοθεσία σχετικά με την τοποθέτηση των πλαισίων.

- **Θερμοκρασία** : Με την αύξηση της θερμοκρασίας, προκαλείται αντίστοιχη αύξηση της ενδογενούς συγκέντρωσης των φορέων του ημιαγωγού, με αποτέλεσμα να πραγματοποιούνται περισσότερες επανασυνδέσεις φορέων. Έτσι, εκδηλώνεται ισχυρό ρεύμα διαρροής διαμέσου της διόδου, που συνεπάγεται μείωση της τάσης ανοικτού κυκλώματος. Παράλληλα, μειώνεται και η απόδοση του φωτοβολταϊκού στοιχείου. Πιο συγκεκριμένα, αν ο συντελεστής απόδοσης ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου σε μια δεδομένη θερμοκρασία (π.χ.  $25^\circ\text{C}$ ) είναι  $\eta$ , η τιμή του σε μια διαφορετική θερμοκρασία ( $\theta$ ) θα είναι :

$$(\theta) = \eta(25^\circ\text{C}) * \sigma_\theta$$

Όπου  $\sigma_\theta$  ορίζεται ως ο συντελεστής θερμοκρασίας για διόρθωση της απόδοσης. Για κάθε βαθμό αύξησης της θερμοκρασίας ο συντελεστής  $\sigma_\theta$  μειώνεται περίπου 0,5%. Συνηθίζεται η θερμοκρασία αναφοράς να είναι οι  $25^\circ\text{C}$  και η τιμή του συντελεστή στη δεδομένη θερμοκρασία ίση με μονάδα.

- **Ηλιακή ακτινοβολία** : Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας επιδρά (σχεδόν ανάλογα) στο ρεύμα βραχυκύκλωσης του στοιχείου, ενώ η τάση ανοικτού κυκλώματος αυξάνεται ελαφρά με την αύξηση της έντασης. Αποτέλεσμα των παραπάνω είναι η σχεδόν αναλογική σχέση ανάμεσα στην ισχύ του στοιχείου και την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, για σταθερές θερμοκρασίες στοιχείου.

- **Σκίαση** : Προέρχεται από φυσικά εμπόδια όπως δέντρα και στύλοι ή από παροδικά φαινόμενα όπως σύννεφα. Η σκίαση δημιουργεί την μερική ή και ολική απώλεια του φωτορεύματος καθώς, όπως αναφέρθηκε στην αρχή του κεφαλαίου, αυτό δημιουργείται παρουσία φωτός στα στοιχεία του πάνελ. Επίσης έστω και ελάχιστη σκίαση ενός πλαισίου, μπορεί να οδηγήσει σε μεγάλη πτώση της παραγωγής ολόκληρης της συστοιχίας.

- **Γήρανση** : Αφορά τη μείωση της απόδοσης των Φ/Β πλαισίων στο χρόνο της ζωής τους και εκφράζεται, συνήθως, με το ποσοστό γήρανσης ανά έτος χρήσης. Προσδιορίζει την ελάττωση της απόδοσης του Φ/Β, άρα και μέγιστης ισχύος του. Στο κρυσταλλικό πυρίτιο εμφανίζονται αλλοιώσεις στη δομή του υλικού των κρυσταλλικών Φ/Β στοιχείων του πλαισίου, που οφείλονται κυρίως σε υπερθέρμανση. Σύμφωνα με τους κατασκευαστές, η απόδοσή τους μειώνεται στο 80% της ονομαστικής τους, μετά την πάροδο 25 χρόνων.

- **Ρύπανση** : Ένας άλλος παράγοντας που μπορεί να επηρεάσει την απόδοση των φωτοβολταϊκών πλαισίων, ιδιαίτερα όταν αυτά έχουν μικρή κλίση, είναι η ρύπανση της επιφάνειάς τους από την επικάθιση σκόνης, φύλλων αλατιού από την θάλασσα, εντόμων

κ.α. Η μείωση είναι εντονότερη σε αστικές και βιομηχανικές περιοχές, λόγω της αιθάλης που αιωρείται στην ατμόσφαιρα και προσκολλάται ισχυρά στις γυάλινες ή πλαστικές επιφάνειες των Φ/Β πλαισίων, χωρίς να μπορεί η βροχή να την ξεπλύνει επαρκώς.

Παραπάνω αναφέρθηκαν τα ποιοτικά στοιχεία που καθορίζουν τη λειτουργία και την απόδοση των Φ/Β στοιχείων και κατ' επέκταση, του Φ/Β συστήματος. Τα στοιχεία αυτά ποσοτικοποιούνται μέσω του μαθηματικού μοντέλου που περιγράφεται παρακάτω. Ειδικότερα, η μοντελοποίηση πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με τους Bellia, Youcef με το οποίο, εφαρμόζοντας διαφορετικές τιμές τάσης από 0 μέχρι την ανοιχτοκυκλώματος, υπολογίζεται το αντίστοιχο ρεύμα εξόδου για διαφορετικές τιμές θερμοκρασίας περιβάλλοντος και ηλιακής ακτινοβολίας.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η λειτουργία του Φ/Β συστήματος θεωρείται τέτοια, έτσι ώστε η τάση κάθε πάνελ να ρυθμίζεται με τέτοιο τρόπο ώστε να μεγιστοποιείται η παραγόμενη ισχύς εξόδου (Maximum Power Point Tracking – MPPT). Σύμφωνα με όσα προηγήθηκαν, η θερμοκρασία των Φ/Β στοιχείων έχει σημαντική επίδραση στην απόδοση του Φ/Β συστήματος και συνεπώς, πρέπει να γίνεται εκτίμησή της συναρτήσει των περιβαλλοντικών συνθηκών.

$$T_{cell} = T_{amb} + G / (c_0 + c_1 \cdot u_w)$$

όπου  $u_w$  η ταχύτητα του ανέμου και  $c_0$ ,  $c_1$  σταθερές οι οποίες εξαρτώνται από την τοποθεσία εγκατάστασης των πάνελ. Οι τιμές των παραπάνω σταθερών για την Αθήνα ορίζονται ως εξής :

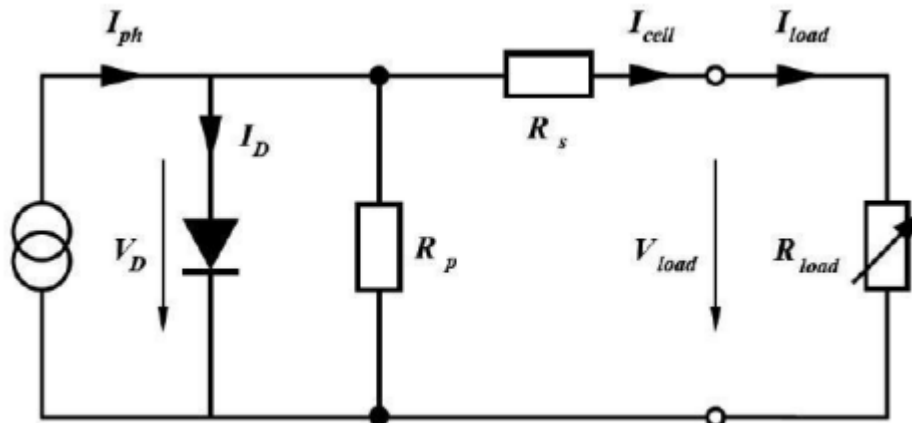
$$c_0 = 41,86 \text{ (W K}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{)}, \quad c_1 = 3,95 \text{ (W s K}^{-1} \text{ m}^{-3} \text{)}$$

Η λογική του μοντέλου βασίζεται σε όσα αναφέρθηκαν, όπου η λειτουργία των Φ/Β στοιχείων και συνεπώς των πάνελ, μοντελοποιείται κάνοντας χρήση ηλεκτρικών κυκλωμάτων. Συγκεκριμένα, στη βιβλιογραφία συναντώνται τρία ηλεκτρικά κυκλώματα μοντελοποίησης της λειτουργίας τους, από τα οποία επιλέχθηκε το πιο ακριβές - ρεαλιστικό με δύο αντιστάσεις. Κοινό χαρακτηριστικό όλων είναι η ύπαρξη μίας πηγής ρεύματος που μοντελοποιεί το φωτόρευμα ( $I_{ph}$ ) και μίας διόδου για τη μοντελοποίηση του ημιαγωγού (πυριτίου στην προκειμένη περίπτωση), βάσει του οποίου τα μοντέλα αυτά αποκαλούνται μοντέλα «απλής διόδου» (single diode models).

Ειδικότερα, στο επιλεγμένο κύκλωμα, συναντάται μια εν σειρά αντίσταση ( $R_s$ ) και μία παράλληλα ( $R_p$ ) που μοντελοποιεί τις απωλειών λόγω διαρροής του ρεύματος μεταξύ των άκρων του Φ/Β στοιχείου.

Με το παρόν κύκλωμα, θα εκφράσουμε τις εξισώσεις/σχέσεις που διέπουν ένα φωτοβολταϊκό πάνελ, με την βοήθεια των οποίων κατασκευάζονται τα επιμέρους διαγράμματα  $I - V$  όπως αυτά παραπάνω.





Σχήμα 25: Πρακτικό Μοντέλο Φ/Β Στοιχείου

Βάσει του μοντέλου, το ρεύμα εξόδου  $I$  του πάνελ υπολογίζεται συναρτήσει του  $I_{ph}$ , του αντίστροφου ρεύματος κορεσμού ( $I_o$ ), της τάσης του πάνελ ( $V$ ) και των αντιστάσεων  $R_s$ ,  $R_p$  ως ακολούθως :

$$I = I_{ph} - I_o \cdot [\exp(+I \cdot R_s) / a - 1] - (V + I \cdot R_s) / R_p$$

όπου  $a$  ο διορθωτικός συντελεστής θερμικής τάσης που υπολογίζεται από την ακόλουθη έκφραση :

$$a = N_s \cdot A \cdot k \cdot T_{cell} / q$$

Με  $N_s$  συμβολίζεται  $N_s$  ο αριθμός των εν σειρά συνδεδεμένων στοιχείων στο φωτοβολταϊκό πάνελ,  $A$  ο συντελεστής ιδανικότητας της διόδου (ίσος με 1,2 για μονοκρυσταλλικά πυριτίου),  $k$  η σταθερά του Boltzmann ( $k = 1,3806 \cdot 10^{-23} J/K$ ) και  $q$  το φορτίο του ηλεκτρονίου ( $q = 1,602 \cdot 10^{-19} C$ ).

Για τον υπολογισμό του φωτορεύματος  $I_{ph}$  κάνουμε χρήση της εξίσωσης :

$$I_{ph} = (G/G_{ref}) \cdot (I_{ph.ref} + \mu_{sc} \cdot \Delta T) = (G/G_{ref}) \cdot (I_{ph.ref} + \mu_{sc} \cdot (T_{cell} - T_{cell.ref}))$$

Όπου  $G$  η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στην επιφάνεια του πλαισίου,  $\mu_{sc}$  ο συντελεστής θερμοκρασίας του ρεύματος βραχυκύκλωσης ενώ τα μεγέθη  $ref$  είναι σταθερές αναφοράς σύμφωνα με τις συνθήκες STC και συγκεκριμένα :  $G_{ref} = 1.000 W/m^2$ ,  $I_{ph.ref}$  φωτόρευμα βραχυκύκλωσης,  $T_{cell.ref} = 298 K$ .

Στην συνέχεια προχωράμε στον υπολογισμό του αντίστροφου ρεύματος κορεσμού  $I_o$  :

$$I_o = I_{sc.ref} \cdot \exp(-V_{oc.ref} / \alpha) \cdot (T_{cell} / T_{cell.ref})^3 \cdot \exp[(q \cdot \epsilon G / A \cdot K) \cdot ((1 / T_{cell.ref}) - 1 / T_{cell})]$$

Συμβολίζοντας με  $V_{oc.ref}$  την τάση ανοικτοκύκλωσης σύμφωνα με STC, ενώ με  $\epsilon G$  ορίζεται η ενέργεια ενεργοποίησης του πυριτίου (1,12 eV).

Από τις παραμέτρους που απαιτούνται για την επίλυση της εξίσωσης έντασης ρεύματος του μοντέλου λείπει η αντίσταση  $R_p$ , ενώ η  $R_s$  αποτελεί την είσοδο (Input) όλου του συστήματος εξισώσεων και ανάλογα με τις μεταβολές τις θα προκύψουν διαφορετικές γραμμές.

$$R_p = \frac{(V_{mp,ref} + I_{mp,ref} \cdot R_s) / \{I_{sc,ref} - I_{sc,ref} \cdot \exp[(V_{mp,ref} + I_{mp,ref} \cdot R_s - V_{oc,ref})/\alpha] + I_{sc,ref} \cdot \exp(-V_{oc,ref} / \alpha) - (P_{max,ex} / V_{mp,ref})\}}{I_{sc,ref} \cdot \exp(-V_{oc,ref} / \alpha) - (P_{max,ex} / V_{mp,ref})}$$

Ξεκινώντας με αρχικοποίηση  $R_s = 0$ , η οποία αυξανόμενη μέχρις ότου το σημείο μέγιστης ισχύος (MPP) της σχεδίασης, προσεγγίσει το πειραματικό MPP. Υπάρχει ένα βέλτιστο ζευγάρι  $(R_p, R_s)$  που ικανοποιεί αυτή την συνθήκη.

Στην παρούσα ανάλυση ο μετατροπέας τάσης που θα χρησιμοποιηθεί διαθέτει διάταξη ιχνηλάτησης σημείου μέγιστης ισχύος (MPPT – Maximum Power Point Tracking), δηλαδή μετρώντας την τάση/ένταση εισόδου μεταβάλλει ανάλογα την αντίσταση του κυκλώματος, έτσι ώστε να προσεγγίζεται πάντα το σημείο μέγιστης ισχύος (MPP). Συνεπώς θεωρείται ως δεδομένο ότι η ισχύς που θα αποδίδει κάθε φωτοβολταϊκό πάνελ (εφόσον δεν υπάρχουν σκιάσεις φυσικά) θα είναι ίση με την ονομαστική του.

### 6.5.3 Διαστασιολόγηση

Στο σημείο αυτό θα πραγματοποιηθεί η διαστασιολόγηση του Φ/Β συστήματος σε συνάρτηση με την ηλεκτρική κατανάλωση της αντλίας θερμότητας αλλά και του διαθέσιμου χώρου στο δώμα της πολυκατοικίας.

Από το Κεφάλαιο 1.4.4 έχει υπολογισθεί ότι η ηλ. Κατανάλωση της Α/Θ ανέρχεται στις 9.467,25 kWh ετησίως. Για λόγους ασφάλειας προσθέτουμε επιπλέον 10% επί της αναφερθείσας κατανάλωσης και η προς διαστασιολόγηση γίνεται 10.413,96 kWh.

Με βάση το PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System)<sup>48</sup>, δωρεάν βάση δεδομένων της Ευρωπαϊκής Ένωσης θα εκτελέσουμε δοκιμές μεταβάλλοντας την τιμή της συνολικής ισχύος (αριθμός πάνελ) καθώς και την κλίση τοποθέτησης (αζιμούθιο σταθερό ίσο με 0 μοίρες). Το PVGIS χρησιμοποιεί δεδομένα ηλιακής ακτινοβολίας υψηλής ποιότητας που λαμβάνονται από δορυφορικές εικόνες, καθώς και τη θερμοκρασία περιβάλλοντος και την ταχύτητα του ανέμου από μοντέλα επανανάλυσης κλίματος. Το μοντέλο ενεργειακής απόδοσης επικυρώνεται από μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν σε εμπορικές μονάδες στην ευρωπαϊκή εγκατάσταση ηλιακών δοκιμών (ESTI) του JRC. Το ESTI είναι ένα διαπιστευμένο κατά ISO 17025 εργαστήριο βαθμονόμησης φωτοβολταϊκών για όλα τα φωτοβολταϊκά υλικά.

<sup>48</sup> PVGIS provides information about solar radiation and photovoltaic (PV) system performance for any location in Europe and Africa, as well as a large part of Asia and America., διαθέσιμο στο [https://joint-research-centre.ec.europa.eu/pvgis-online-tool\\_en](https://joint-research-centre.ec.europa.eu/pvgis-online-tool_en)

Για να βρεθεί η βέλτιστη κλίση τοποθέτησης για νότια διεύθυνση ( αζιμούθιο 0°) για λειτουργία όλους τους μήνες του χρόνου θα εκτελέσουμε δοκιμές για κλίση συλλεκτών από 25 έως 35 μοίρες και ισχύ συστήματος 1kW (Ηλιακό Δυναμικό), στη συνέχεια θα συγκρίνουμε από την προσομοίωση ποια απ’ όλες τις κλίσεις αποφέρει μεγαλύτερη ετήσια παραγωγή ανά kW εγκατεστημένης ισχύος. Οι δοκιμές εκτελέστηκαν λαμβάνοντας υπόψη απώλεια ισχύος του συστήματος ίση με 12%.

Όπως έχει περιγραφεί οι εκτιμώμενες απώλειες συστήματος είναι όλες οι απώλειες στο σύστημα, οι οποίες έχουν ως αποτέλεσμα η ισχύς που παρέχεται πραγματικά στο ηλεκτρικό δίκτυο να είναι χαμηλότερη από την ισχύ που παράγεται από τις φωτοβολταϊκές μονάδες. Υπάρχουν πολλές αιτίες για αυτήν την απώλεια, όπως απώλειες σε καλώδια, μετατροπείς ισχύος, σκόνη (μερικές φορές χιόνι) στις μονάδες και ούτω καθεξής. Με τα χρόνια (γήρανση), οι μονάδες τείνουν επίσης να χάνουν λίγο από την ισχύ τους, επομένως η μέση ετήσια απόδοση κατά τη διάρκεια ζωής του συστήματος θα είναι μερικά τοις εκατό χαμηλότερη από την παραγωγή τα πρώτα χρόνια.

Κλίση (deg)	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
Προβλεπόμενη ετήσια παραγωγή ενέργειας (kWh)	1743.88	1746.61	1748.97	1750.92	1752.51	1753.73	1754.51	<b>1754.82</b>	1754.74	1754.25	1753.36

**Πίνακας 9: Ηλιακό δυναμικό συναρτήσει κλίσης τοποθέτησης**

Παρατηρείται ότι το μέγιστο δυναμικό για την Αθήνα επιτυγχάνεται στις 32 μοίρες κλίση τοποθέτησης. Διαιρώντας την ανάγκη για ηλεκτρική ενέργεια με το ηλιακό δυναμικό που μόλις υπολογίσθηκε βρίσκουμε την απαιτούμενη ισχύ του προς εγκατάσταση Φ/Β συστήματος.

$$\frac{10.413,98}{1.754,82} \frac{\frac{kWh/έτος}{kWh}}{\frac{έτος}{kWεγκ. ισχύος}} = 5,934 kW$$

Στη συνέχεια διαιρώντας την ισχύ συστήματος με την ονομαστική ισχύ κάθε Φ/Β πλαισίου υπολογίζουμε τον συνολικό αριθμό των πλαισίων που θα εγκατασταθεί.

$$\frac{5.934}{410} \frac{W}{\frac{W}{\text{πάνελ}}} = 14,47 \approx 15 \text{ πάνελ}$$

Συνεπώς το απαιτούμενο σύστημα έχει ονομαστική ισχύ 15 x 410W = 6,15 kW. Ως εκ τούτου θα συνδεθεί μετατροπέας τάσης ονομαστικής ισχύος εξόδου 6 kW και συγκεκριμένα ο MOD 6000TL3-X της εταιρείας Growatt.

Τεχνικά Χαρακτηριστικά MOD 6000TL3-X	
Είσοδος (Input)	
Μέγιστη συνιστώμενη ισχύς	9.000 W
Τάση εκκίνησης	160 V
Αριθμός MPPT	2
Αριθμός συστοιχιών ανά MPPT	1
Εύρος τάσης MPPT	140 - 1.000
Μέγιστη ένταση ανοικτοκύκλωσης ανά MPPT	16 A
Έξοδος (Output)	
Ονομαστική ισχύς	6.000 W
Μέγιστη ισχύς	6.600 W
Συχνότητα δικτύου	45 - 55 Hz
Μέγιστη ένταση	10 A
Μέγιστος βαθμός απόδοσης	98,3 %

**Πίνακας 10: Τεχνικά χαρακτηριστικά μετατροπέα τάσης**

<https://www.ginverter.com/products/mod-3-15ktl3-x-xh>

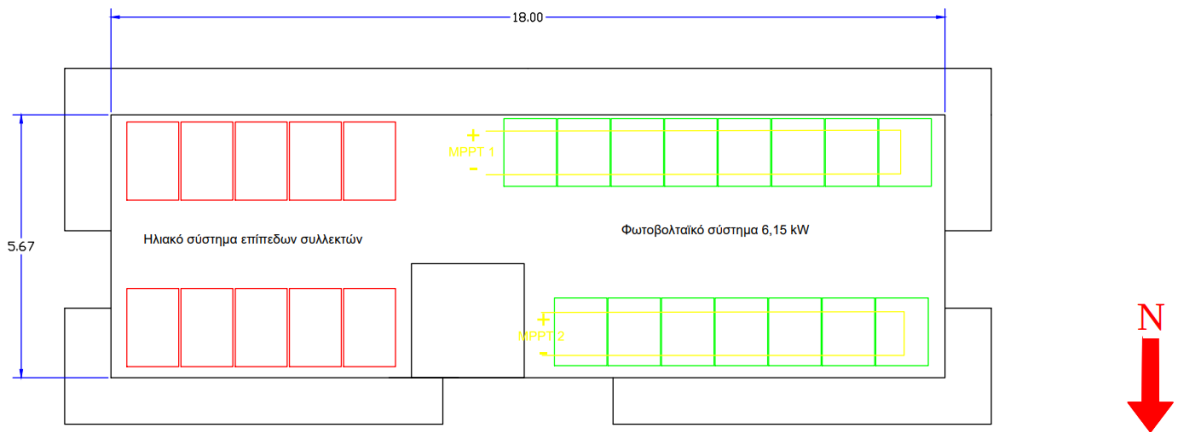
Τα 15 πάνελ του συστήματος θα χρειαστεί να συνδεθούν με τέτοιο τρόπο, έτσι ώστε να ικανοποιούνται τα δοσμένα χαρακτηριστικά του inverter. Μπορεί η ονομαστική ισχύς του συστήματος να είναι 6,15 kW ωστόσο ο inverter έχει ως μέγιστο όριο τα 6,6 kW.

Στον συγκεκριμένο μπορούν να συνδεθούν έως και 2 στοιχειοσειρές (παράλληλη σύνδεση), ενώ σε κάθε στοιχειοσειρά τα πάνελ είναι συνδεδεμένα εν σειρά.

Ανατρέχοντας στον Πίνακα () γνωρίζουμε ότι  $V_{oc} = 37,32 \text{ V}$ , άρα για μια στοιχειοσειρά απαιτούνται τουλάχιστον  $\frac{140 \text{ V}}{37,32 \text{ V/Panel}} = 3,75 \approx 4$  πάνελ μέχρι και  $\frac{1.000 \text{ V}}{37,32 \text{ V/Panel}} = 26,79 \approx 26$  πάνελ σε σειρά συνδεδεμένα έτσι ώστε να διασφαλιστεί η ασφαλής λειτουργία.

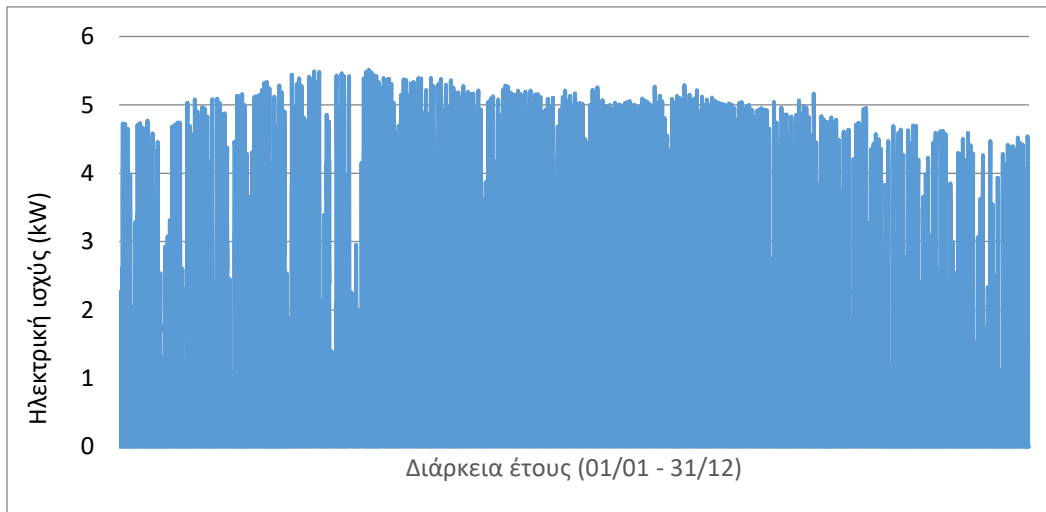
Αναφορικά με τα πάνελ κάθε συστοιχίας, αυτά θα διαρρέονται από ρεύμα έντασης ανοικτοκύκλωσης  $I_{sc} = 13,80 \text{ A}$  μικρότερο των 16 A που προβλέπει το μέγιστο του Inverter.

Προτείνεται λοιπόν ο διαχωρισμός στα δύο MPPT – Στοιχειοσειρές όπως φαίνεται και στην παρακάτω χωροθέτηση για τα πάνελ με διαστάσεις 1.722 mm x 1.134 mm x 30mm και βάρος 21,5 kg :



**Σχήμα 26: Κάτοψη Ηλιακού & Φωτοβολταϊκού συστημάτων**

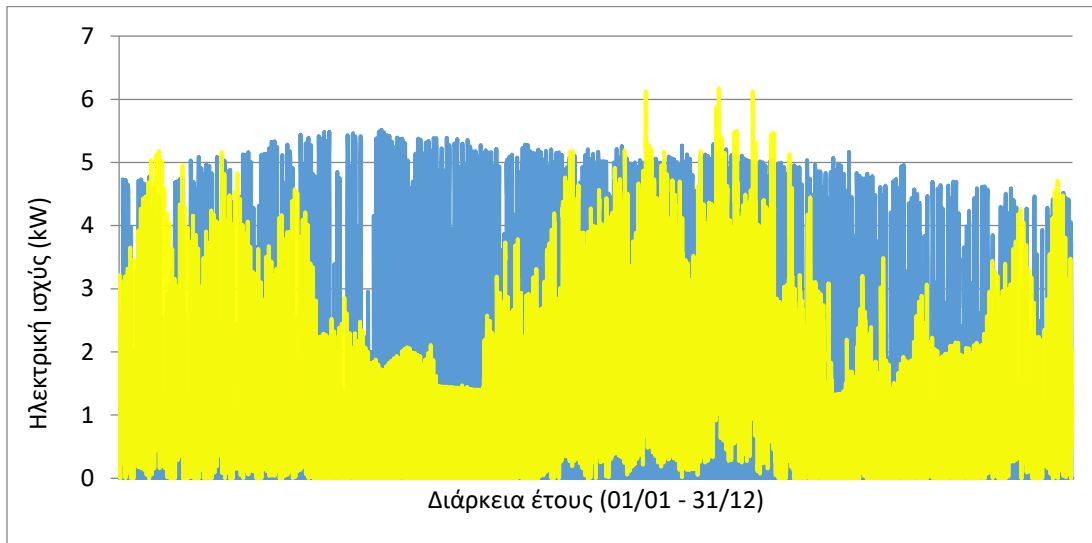
Για την ακριβή ωριαία ισχύ (kW) του εκλεγμένου Φ/Β συστήματος κατά τη διάρκεια του χρόνου και για ρεαλιστικά αποτελέσματα τρέχουμε την προσομοίωση για την εκάστοτε προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία ( $W/m^2$ ), ηλιακό ύψος (σε μοίρες), θερμοκρασία περιβάλλοντος και ταχύτητα αέρα στα 10μ. (m/s).



**Διάγραμμα 23: Ετήσια παραγωγή ηλ. ισχύος**

Αθροίζοντας τα kW κάθε ώρα του έτους εξάγουμε συνολικά 11.058,83 kWh<sub>el</sub> ελάχιστα παραπάνω από τις 10.413,98 kWh της συνολικής κατανάλωσης της Α/Θ.

Επίσης, αντιστοιχώντας για κάθε ώρα το φορτίο ηλεκτρικής κατανάλωσης με την παραγωγή του Φ/Β συστήματος (εφόσον υπάρχει) λαμβάνουμε την παρακάτω μορφή :



**Διάγραμμα 24: Ετήσια σύγκριση παραγωγής και κατανάλωσης**

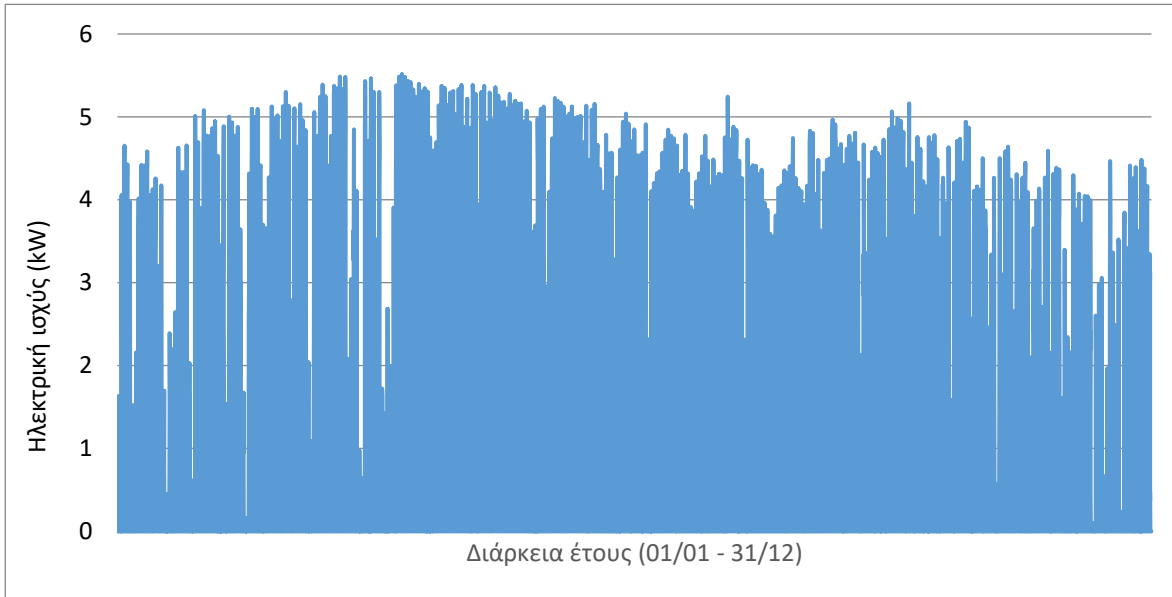
Ορίζουμε ταυτοχρονισμό του συστήματος το ποσοστό κάλυψης του φορτίου κατανάλωσης σε σχέση με την παραγόμενη ηλεκτρική ισχύ, δηλαδή τη σχέση  $(P_{load} - P_{PV}) / P_{load}$  λαμβάνοντας τις τιμές 0% έως 100% για μηδενική ταυτόχρονη συμμετοχή του Φ/Β και πλήρης ή υπερκάλυψη της ανάγκης αντίστοιχα.

Υπολογίζοντας το ποσοστό ταυτοχρονισμού κάθε ώρα του έτους για το παρόν σύστημα, ο μέσος όρος αυτού ανέρχεται στο 43%. Με άλλα λόγια το 43% της ισχύος που λαμβάνεται από το Φ/Β διοχετεύεται απευθείας για την εκάστοτε ανάγκη, ενώ το υπόλοιπο συμψηφίζεται και «αποθηκεύεται» μέσω του δικτύου.

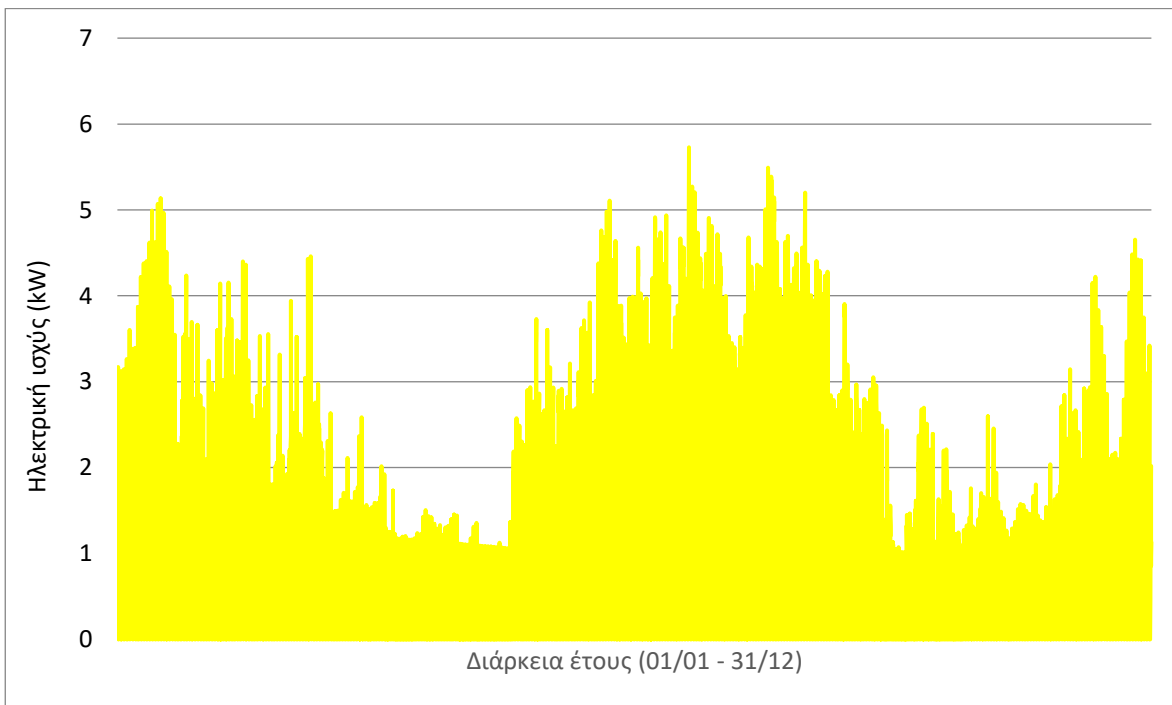
Επιπρόσθετα, υπολογίζοντας για κάθε χρονική στιγμή τη διαφορά μεταξύ Κατανάλωσης και Παραγωγής εφόσον είναι θετική, μας δίνει την απορροφόμενη ισχύ του συστήματος από το δίκτυο του ΔΕΔΔΗΕ. Αντίθετα, εκτελώντας τη διαφορά ανάποδα (Παραγωγή – Κατανάλωση) βρίσκουμε την ισχύ η οποία περισσεύει και συνεπώς εγχέεται στο δίκτυο.

Όπως φαίνεται και παρακάτω η ετήσια διακύμανση της εγχυόμενης ισχύος ακολουθεί παρόμοια κατανομή με την παραγόμενη, το ίδιο ισχύει και για την απορροφόμενη από το δίκτυο σε σχέση με την καταναλισκόμενη.

Συνολικά, 7.970,13 kWh απορροφούνται από το δίκτυο ενώ αυτές που εγχέονται ανέρχονται στις 7857,97 kWh ετησίως.



**Διάγραμμα 25: Ετήσια κατανομή εγχυόμενης ισχύος**



**Διάγραμμα 26: Ετήσια κατανομή απορροφόμενης ισχύος**

## Κεφάλαιο 7ο – Συμπεράσματα

### 7.1 Κεφάλαιο 2 (Το παρόν και το μέλλον της χρήσης της ενέργειας)

Το πιο σημαντικό συμπέρασμα το οποίο βέβαια κυριαρχεί τις τελευταίες δεκαετίες είναι ότι από τη μία δεν μπορούμε να συνεχίσουμε να καταναλώνουμε την ενέργεια με τον ίδιο ρυθμό και από την άλλη ότι πρέπει να διαχειριστούμε τους πόρους για να καλύψουμε τις ενεργειακές ανάγκες μας.

Ο μεγαλύτερος καταναλωτής της ενέργειας κάθε χώρας διαφέρει ανάλογα με την κατάσταση της οικονομίας, την περιοχή, τον καιρό και άλλους παράγοντες. Η κάθε χώρα πρέπει να βρει λύσεις προσαρμοσμένες στις ανάγκες της. Στην περίπτωση της Ελλάδας, όπως και σε πολλές χώρες, ο μεγαλύτερος καταναλωτής είναι ο κτιριακός τομέας. Πάνω σε αυτή τη βάση ένα μέρος της λύσης είναι η μείωση της εν λόγω κατανάλωσης, παρέχοντας φθηνότερη ενέργεια ή καλύτερη απόδοση των συστημάτων.

Σημαντικό παράγοντα για την Ελληνική περίπτωση είναι ότι οι ενεργειακές ανάγκες για τους καταναλωτές περιλαμβάνουν τόσο την ανάγκη για θέρμανση και ΖΝΧ όσο και για ψύξη, λόγω της γεωγραφικής θέσης της. Αυτό αναγκάζει τους καταναλωτές να τηρούν διαφορετικά συστήματα για θέρμανση και ψύξη.

Τα τελευταία χρόνια παρατηρούμε ότι η ενέργεια έχει λάβει τρομακτικές διαστάσεις όσον αφορά την αξία της φθάνοντας στο σημείο να μιλάμε για ενεργειακό χρηματιστήριο και καθημερινή διακύμανση των τιμών προκαλώντας αναστάτωση στους καταναλωτές και ανασφάλεια στις κυβερνήσεις.

### 7.2 Κεφάλαιο 3 (Είδη Ενέργειας)

Στον παραπάνω προβληματισμό η κάθε χώρα απαντάει με τα δικά της επιχειρήματα και όπλα, αναζητώντας ενέργεια άφθονη, κοντά στην πηγή, η οποία μπορεί να μετατραπεί εύκολα χωρίς απώλειες, να μεταφέρεται εύκολα και να αποθηκεύεται.

Στην Ελλάδα την παρούσα περίοδο η ημερήσια παραγωγή πετρελαίου/φυσικού αερίου είναι σε φτωχά επίπεδα και αυτό συνεπάγεται ότι πρέπει να εισάγει τεράστια ποσά πετρελαίου μέσω της θαλάσσιας μεταφοράς και μέσω αγωγών.

Η Ελλάδα είναι χώρα πλούσια σε δυναμικό ΑΠΕ το οποίο ωστόσο παραμένει ανεκμετάλλευτο και σε πολλές περιπτώσεις έχει αποδειχθεί η δυναμική των ΑΠΕ στην κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της, παρέχοντας έτσι αισιόδοξα μηνύματα για την ενεργειακή ανεξαρτησία και ασφάλεια της χώρας μας.

Στο πλαίσιο αυτό, δεδομένου ότι η διασφάλιση του ενεργειακού εφοδιασμού αποτελεί βασικό στόχο τόσο σε ευρωπαϊκό όσο και σε εγχώριο επίπεδο, είναι ανάγκη να



εφαρμοστούν μέτρα πολιτικής που αφορούν, κατά κύριο λόγο στον τομέα ηλεκτροπαραγωγής. Τα μέτρα αυτά, θα στοχεύουν σε μελλοντικές προσαρμογές στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας (διασυννοριακές διασυνδέσεις σε ευρωπαϊκό επίπεδο και επανασχεδιασμός της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα), στην ανάπτυξη υποδομών δικτύου για την κάλυψη σχετικών αναγκών και στη διείσδυση των Α.Π.Ε. στην ηλεκτροπαραγωγή (χρηματοδότηση επενδύσεων για εγκαταστάσεις Α.Π.Ε.).

Εφ' όσον, λοιπόν, τα νοικοκυριά είναι από τους μεγαλύτερους καταναλωτές σε ένα δίκτυο, είναι στο χέρι κάθε ιδιοκτήτη να αλλάξει προς το καλύτερο το ενεργειακό του αποτύπωμα στον πλανήτη αφού πια η εγκατάσταση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας απευθύνεται στον καθ' ένα. Στο μέλλον, αν κάθε εγκατάσταση είναι ικανή με χρήση των Α.Π.Ε. να παραγάγει στο σύνολό της την ηλεκτρική ενέργεια που απαιτεί για να είναι λειτουργική, τότε πραγματικά θα έχουμε πετύχει το στόχο για ένα πιο βιώσιμο μέλλον που θα κληροδοτηθεί στις επόμενες γενιές προφέροντας ανώτερη ποιότητα ζωής.

### 7.3 Κεφάλαιο 4 (Ενέργεια από τον ήλιο)

Η ηλιακή ενέργεια είναι καθαρή, ανεξάντλητη, ήπια και ανανεώσιμη. Η ηλιακή ακτινοβολία δεν ελέγχεται από κανέναν και αποτελεί ένα ανεξάντλητο εγχώριο ενεργειακό πόρο, που παρέχει ανεξαρτησία, προβλεψιμότητα και ασφάλεια στην ενεργειακή τροφοδοσία.

Τα φωτοβολταϊκά, τα οποία μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρικό ρεύμα, θεωρούνται τα ιδανικά συστήματα ενεργειακής μετατροπής καθώς χρησιμοποιούν την πλέον διαθέσιμη πηγή ενέργειας στον πλανήτη και παράγουν ηλεκτρισμό, που αποτελεί την πιο χρήσιμη μορφή ενέργειας.

Οι ηλιακοί θερμοσίφωνες που μπήκαν δυναμικά στη ζωή μας στα μέσα της δεκαετίας του '80, σήμερα διαθέτουν μόλις τα τρία στα δέκα νοικοκυριά, την ίδια ώρα που χώρες όπως η Κύπρος και το Ισραήλ έχουν φτάσει ήδη στο 90%.

Ένα σύστημα παραγωγής ηλεκτρισμού με φωτοβολταϊκά μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με το δίκτυο της ΔΕΗ (διασυνδεδεμένο σύστημα). Στην περίπτωση αυτή, πουλάει κανείς το ηλιακό ρεύμα στο δίκτυο έναντι μιας ορισμένης από το νόμο τιμής και συνεχίζει να αγοράζει ρεύμα από τη ΔΕΗ όπως και σήμερα για να καλύψει τυχόν ανάγκες του.

Εξάλλου, η εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας έχει αποδειχθεί μία απροσδόκητα καλή εξέλιξη για απομακρυσμένα νησιά και άλλα απομονωμένα μέρη που μέχρι πρότινος βασιζόνταν στην εισαγωγή τεράστιων ποσοτήτων ορυκτών καυσίμων.

#### 7.4 Κεφάλαιο 5 (Αντλίες Θερμότητας)

---

Οι αντλίες θερμότητας, που τροφοδοτούνται από ηλεκτρική ενέργεια είναι η τεχνολογία για τη μετάβαση σε ασφαλή και βιώσιμη κάλυψη των ενεργειακών αναγκών. Αντλίες θερμότητας που διατίθενται αυτή τη στιγμή στην αγορά είναι τρεις έως πέντε φορές πιο ενεργειακά αποδοτικοί από τους λέβητες φυσικού αερίου. Αποτελεί ξεκάθαρα την οικονομικότερη λύση την παρούσα περίοδο για την Ελλάδα όπως μελέτες πρόσφατα απέδειξαν.

Η δυνατότητα των αντλιών θερμότητας να μειώσουν την εξάρτηση από το φυσικό αέριο για θέρμανση είναι ιδιαίτερα μεγάλη στην Ευρωπαϊκή Ένωση, όπου το φυσικό αέριο είναι το πιο χρησιμοποιούμενο καύσιμο θέρμανσης και όπου οι τιμές του φυσικού αερίου έχουν αυξηθεί περισσότερο.

Η συνολική ανταγωνιστικότητα κόστους - ανταγωνισμού των αντλιών θερμότητας έναντι άλλων τεχνολογιών θέρμανσης/ψύξης εξαρτάται σε συνδυασμό παραγόντων, συμπεριλαμβανομένης της αρχικής τιμής αγοράς, λειτουργίας και συντήρησης κόστος (συμπεριλαμβανομένης της τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτείται για τη λειτουργία τους), την αντοχή τους και τα οικονομικά κίνητρα όπως επιχορηγήσεις ή εκπτώσεις φόρου.

Στις περισσότερες αγορές, οι αντλίες θερμότητας συνεπάγονται γενικά υψηλότερο αρχικό κόστος από τον συνήθη εξοπλισμό θέρμανσης με ορυκτά καύσιμα, όπως λέβητες πετρελαίου ή αερίου, ακόμη και όταν λαμβάνονται υπόψη τα οικονομικά κίνητρα, αλλά οι καταναλωτές επωφελούνται από το χαμηλότερο λειτουργικό κόστος και λόγω της πολύ υψηλότερης ενεργειακής τους απόδοσης.

Για να μπορέσει να ανταπεξέλθει το υπάρχον δίκτυο διανομής χρειάζεται αναβάθμιση και κατάλληλο σχεδιασμό. Φανταστείτε τώρα να χρησιμοποιούν όλοι ηλεκτρική ενέργεια για θέρμανση το χειμώνα. Αυτό θα σήμαινε και πιθανή κατάρρευση του συστήματος διανομής της ενέργειας. Άρα αυτό απαιτεί την αναβάθμιση του υπάρχοντος συστήματος για να μπορεί να υποστηρίξει τις όλο και περισσότερες ανάγκες σε ηλεκτρικό ρεύμα που ο σύγχρονος τρόπος απαιτεί.

#### 7.5 Κεφάλαιο 6 (Εξεταζόμενο Σύστημα)

---

Με την σύζευξη των τριών υποσυστημάτων (ηλιακό, φωτοβολταϊκό, αντλία θερμότητας αέρος - νερού) σε ένα σύστημα τριπαραγωγής σε πολυκατοικία βρέθηκε ότι είναι δυνατή η κάλυψη των ετησίων αναγκών για θέρμανση, ψύξη και ZNX με τρόπο οικονομικότερο (μηδενική κατανάλωση ορυκτών καυσίμων – παραγωγή της απαιτούμενης ηλ. Ενέργειας) σε σχέση με τους συμβατικούς τρόπους που χρησιμοποιεί η πλειοψηφία των κατοικιών. Αυτό έρχεται σε πλήρη εναρμονισμό με τους νέους ενεργειακούς νόμους σε εθνικό και

ευρωπαϊκό επίπεδο, σύμφωνα με τους οποίους προβλέπεται η αντικατάσταση των υπαρχόντων συστημάτων μέσα στα επόμενα χρόνια.

Το ηλιακό σύστημα διαστασιολογήθηκε βάση πλήρους κάλυψης των θερινών μηνών, ενώ σε συνάρτηση με την συνολική επιφάνεια συλλεκτών και χρήση ημιεμπειρικών κανόνων υπολογίζεται η χωρητικότητα του δοχείου. Υπερδιαστασιολόγηση της επιφάνειας συλλεκτών οδηγεί σε μεγαλύτερο δοχείο και συνεπώς περισσότερες απώλειες, χωρίς αυτό να σημαίνει σημαντική αύξηση της κάλυψης τους υπόλοιπους μήνες, ενώ κατά τους θερινούς η προσφορά ισχύος είναι πολύ παραπάνω από την πραγματική ανάγκη.

Η επιλογή του εργαζόμενου μέσου έγινε καθαρά με το κριτήριο απόδοσης, ωστόσο αντί του R290 (Προπάνιο) θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν τα άλλα δύο μέσα αφού σύμφωνα με τα αποτελέσματα δεν έχουν μεγάλη διαφορά απόδοσης, ενώ αφήνουν μικρότερο περιβαλλοντικό αποτύπωμα και είναι πιο ασφαλή στη χρήση (λιγότερο εύφλεκτα). Στις αντλίες θερμότητας που χρησιμοποιούνται μαζικά σήμερα και ειδικότερα για την κλιματική ζώνη που βρίσκεται η Ελλάδα, επικρατέστερο εργαζόμενο μέσο είναι το R32.

Το φωτοβολταϊκό σύστημα με το καθεστώς ενεργειακού συμψηφισμού παρέχει μεγάλη ευελιξία στο προς μελέτη σύστημα, καθώς απαλλάσσεται από την χρήση μπαταρίας (μεγάλο κόστος κτήσης – συντήρησης) ενώ παράλληλα δεν χρειάζεται να διαστασιολογήσουμε με υψηλό ποσοστό ταυτοχρονισμού, μειώνοντας έτσι την απαραίτητη συνολική επιφάνεια και ονομαστική ισχύ του συστήματος.

## 7.6 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

---

Απαιτούνται νέα **μέτρα πολιτικής** για να διασφαλιστεί η επίτευξη των στόχων της ΕΕ και των εθνικών στόχων. Πολιτικών που παρέχουν κίνητρα για ολοκληρωμένες μετασκευές, συμπεριλαμβανομένων των αντλιών θερμότητας, αποτελούν ακρογωνιαίο λίθο των πακέτων ενεργειακής απόδοσης πολλών χωρών σήμερα, συμπεριλαμβανομένων των μέτρων που περιλαμβάνονται στην ΕΕ. Το υψηλό κόστος απόκτησης ενός Φ/Β συστήματος ή/και μιας αντλίας θερμότητας αποτελεί «αγκάθι» για τον μέσο πολίτη της χώρας, ο οποίος δυσκολεύεται να διαθέσει ένα μεγάλο κεφάλαιο, παρόλο που η απόσβεση και το κέρδος της επένδυσης είναι αποδεδειγμένα. Για αυτό το λόγο λοιπόν προτείνεται η χορήγηση στοχευμένων επιδοτήσεων ή δανείων με ελκυστικά επιτόκια έτσι ώστε να αρθεί αυτό το εμπόδιο.

Σημαντικό για την επίτευξη των παραπάνω είναι η ταχύτητα της διαδικασίας επιδότησης και αδειοδότησης. Μέχρι σήμερα στην πλειοψηφία των περιπτώσεων παρατηρούνται μεγάλες καθυστερήσεις της τάξης μηνών για να επιδοτηθεί ή αδειοδοτηθεί ένας αιτούμενος, για αυτό προτείνεται η χρήση λιγότερο γραφειοκρατικών μέσων και η σύνθεση αρχής υπεύθυνης για τον σκοπό αυτό, ώστε να ελαττωθεί ο χρόνος εξυπηρέτησης.

Αναγκαία κρίνεται επίσης η αναβάθμιση του δικτύου του ΔΕΔΔΗΕ (επαύξηση ισχύος), καθότι στο μέλλον με την χρήση ενεργοβόρων συσκευών όπως αντλίες θερμότητας, φορτιστές ηλ. αυτοκινήτων θα επιβαρυνθεί σημαντικά το υπάρχον δίκτυο. Επίσης δεν θα υπάρχει αρκετός «χώρος» έτσι ώστε να εγκατασταθούν όσο περισσότερα οικιακά φωτοβολταϊκά συστήματα που θα εγχέουν ενέργεια στο δίκτυο με το καθεστώς ενεργειακού συμψηφισμού.

Οι προσπάθειες **έρευνας και ανάπτυξης** να εστιάσουν την προσοχή τους στην ανάπτυξη συστημάτων με έξυπνα και ευέλικτα χαρακτηριστικά, μειωμένο θόρυβο, υψηλότερες αποδόσεις, πιο συμπαγές σχεδιασμό, βελτιωμένη ευκολία εγκατάστασης και χαμηλότερα περιβαλλοντικά αποτυπώματα που σχετίζονται με τα υλικά και τα ψυκτικά που χρησιμοποιούνται. Απαιτείται αυτοματισμός για την αξιοποίηση της ευελιξίας της αντλίας θερμότητας, έτσι ότι μπορούν να ενεργοποιηθούν και να απενεργοποιηθούν από απόσταση. Αυτή η ευελιξία απαιτεί επικοινωνίες και χαρακτηριστικά ελέγχου που πρέπει να ενσωματωθούν σε μονάδες.

Τα **τιμολόγια ηλεκτρικής ενέργειας** και οι φόροι καυσίμων πρέπει να σχεδιαστούν προσεκτικά για να διασφαλιστεί ότι δεν θα αποθαρρύνουν τους καταναλωτές από την εγκατάσταση αντλίας θερμότητας. Σήμερα έχουν σχεδιαστεί για να προάγουν την ενεργειακή απόδοση χρεώνοντας υψηλότερες τιμές ή προσθέτοντας χρεώσεις για νοικοκυριά που καταναλώνουν υψηλότερα επίπεδα ηλεκτρικής ενέργειας από το μέσο όρο, αλλά αυτό μπορεί να τιμωρήσει όσοι επιλέγουν να στραφούν σε ηλεκτρικές αντλίες θερμότητας.

## Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1: Πυραμίδα Αναγκών του Αβραάμ Μάσλοου.....	20
Σχήμα 2: Κατανάλωση Ενέργειας ανά Καύσιμο στην ΕΕ.....	21
Σχήμα 3: Τελική κατανάλωση ενέργειας στην ΕΕ ανά τομέα.....	22
Σχήμα 4: Οι 17 Στόχοι για τη Βιώσιμη Ανάπτυξη του ΟΗΕ.....	23
Σχήμα 5: Οι πέντε κύριοι στόχοι της ΕΕ για την ενέργεια.....	23
Σχήμα 6: Κατανάλωση Ηλεκτρικής Ενέργειας ανά οικονομικό κλάδο στο χρονικό διάστημα 1990-2019.....	26
Σχήμα 7: Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας ανά ενεργειακή πηγή στο χρονικό διάστημα 1990-2020.....	28
Σχήμα 8: Συμμετοχή της αιολικής και της ηλιακής ενέργειας στη συνολική ηλεκτροπαραγωγή στα τέσσερα κράτη μέλη και στην ΕΕ των 28, 2005-2017.....	29
Σχήμα 9: Κατηγορίες εφαρμογής ηλιακής ενέργειας.....	34
Σχήμα 10: Διάγραμμα Αυτόνομου Φ/Β Συστήματος.....	37
Σχήμα 11: Φωτοβολταϊκό φαινόμενο.....	38
Σχήμα 12: Φωτοβολταϊκό Σύστημα.....	38
Σχήμα 14: Θερμοδυναμικός κύκλος λειτουργία ΑΘ.....	42
Σχήμα 15: Τρόπος Λειτουργίας της αντλίας θερμότητας.....	43
Σχήμα 15: Διάκριση των εργαζόμενων μέσων με βάση τις θερμοκρασιακές απαιτήσεις.....	48
Σχήμα 16: Γενική διάκριση των εργαζόμενων μέσων.....	49
Σχήμα 17: Διάταξη εγκατάστασης.....	53
Σχήμα 18: Κάτοψη Πολυκατοικίας.....	56
Σχήμα 19: Εξωτερική Όψη Πολυκατοικίας (Φωτορεαλιστικό).....	56
Σχήμα 20: Χωροθέτηση Ηλιακών συλλεκτών.....	62
Σχήμα 21: Ετήσια ροή θερμικής ενέργειας (kWh) στο δοχείο αδράνειας.....	65
Σχήμα 22: Διάταξη Α/Θ Νερού – Αέρος.....	66
Σχήμα 23: Διαγράμματα P – h και T - s.....	67
Σχήμα 24: Απεικόνιση των επιμέρους διατάξεων ενός Φ/Β συστήματος.....	75
Σχήμα 25: Πρακτικό Μοντέλο Φ/Β Στοιχείου.....	81
Σχήμα 26: Κάτοψη Ηλιακού & Φωτοβολταϊκού συστημάτων.....	85
Σχήμα 27: Εθνικοί ενεργειακοί και περιβαλλοντικοί στόχοι για την περίοδο 2021-2030, στο πλαίσιο των Ευρωπαϊκών πολιτικών.....	103

## Κατάλογος Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1: Κόστος ωφέλιμης θερμικής ενέργειας ανά είδος θερμικού συγκροτήματος (μέσο νοικοκυριό με θερμικές ανάγκες περί τις 3.000 kWhth/4μηνo ή ισοδύναμα 4.500 kWh/σεζόν) .....	52
Διάγραμμα 2: Θερμοκρασία περιβάλλοντος (°C) (Μέγιστη, Μέση, Ελάχιστη) ανά μήνα .....	55
Διάγραμμα 3: Μέση ταχύτητα ανέμου (m/s) στα 10m .....	55
Διάγραμμα 4: Συνολική ηλιακή ακτινοβολία (Wh/m <sup>2</sup> ) .....	55
Διάγραμμα 5: Διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία (Wh/m <sup>2</sup> ) .....	55
Διάγραμμα 6: Απευθείας ηλιακή ακτινοβολία (Wh/m <sup>2</sup> ) .....	55
Διάγραμμα 7: Ετήσια απαίτηση ισχύος για θέρμανση .....	57
Διάγραμμα 8: Ετήσια απαίτηση ισχύος για ψύξη .....	57
Διάγραμμα 9: Ετήσια απαίτηση ισχύος για ZNX .....	58
Διάγραμμα 10: Ποσοστιαία σύγκριση ενεργειακών αναγκών .....	58
Διάγραμμα 11: Ποσοστιαία σύγκριση θερμικών – ψυκτικών αναγκών .....	59
Διάγραμμα 12: Μηνιαία σύγκριση καταναλώσεων (kWh) .....	59
Διάγραμμα 13: Μηνιαία ανάγκη kWh για ψύξη .....	60
Διάγραμμα 14: Μηνιαία ανάγκη kWh για θέρμανση .....	60
Διάγραμμα 15: Μηνιαία ανάγκη kWh για ZNX .....	60
Διάγραμμα 16: Συγκριτικό Διάγραμμα εμβαδόν ηλιακών συλλεκτών στη τελική συνεισφορά σε ZNX .....	64
Διάγραμμα 17: Σύγκριση ζήτησης / κάλυψης ZNX .....	65
Διάγραμμα 18: Ετήσια Διακύμανση COP .....	73
Διάγραμμα 19: Ετήσια Διακύμανση EER .....	73
Διάγραμμα 20: Ετήσια απαίτηση ηλ. ισχύος A/Θ .....	74
Διάγραμμα 21: Διάγραμμα I – V για μεταβλητή προσπίπτουσα ακτινοβολία και θερμοκρασία 25oC .....	77
Διάγραμμα 22: Διάγραμμα I – V για μεταβλητή θερμοκρασία και προσπίπτουσα ακτινοβολία 1000W/m <sup>2</sup> .....	78
Διάγραμμα 23: Ετήσια παραγωγή ηλ. ισχύος .....	85
Διάγραμμα 24: Ετήσια σύγκριση παραγωγής και κατανάλωσης .....	86
Διάγραμμα 27: Ετήσια κατανομή εγχυόμενης ισχύος .....	87
Διάγραμμα 28: Ετήσια κατανομή απορροφόμενης ισχύος .....	87
Διάγραμμα 27: Σύγκριση των μεριδίων ΑΠΕ για το έτος 2030, του αρχικού σχεδίου ΕΣΕΚ και του τελικού σχεδίου ΕΣΕΚ. ....	107

## Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Συσχετισμός επιφάνειας συλλέκτη και όγκου δοχείου .....	61
Πίνακας 2: Αποτελέσματα από την προσομοίωση διαφορετικού αριθμού συλλεκτών .....	64
Πίνακας 3: Ετήσιο ισοζύγιο ενέργειας στο δοχείο αδράνειας .....	66
Πίνακας 4: Ιδιότητες εξεταζόμενων ρευστών .....	70
Πίνακας 5: Αποτελέσματα δοκιμών κώδικα θέρμανσης .....	71
Πίνακας 6: Αποτελέσματα δοκιμών κώδικα ψύξης .....	72
Πίνακας 7: Ετήσια κατανάλωση συμπιεστή για όλες τις λειτουργίες .....	74
Πίνακας 8: Τεχνικά Χαρακτηριστικά SRP-410-BMD-HV .....	76
Πίνακας 9: Ηλιακό δυναμικό συναρτήσει κλίσης τοποθέτησης .....	83
Πίνακας 10: Τεχνικά χαρακτηριστικά μετατροπέα τάσης .....	84
Πίνακας 11: Βασικές προτεραιότητες πολιτικής για τις Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας σύμφωνα με το ΕΣΕΚ .....	104
Πίνακας 12: Βασικές προτεραιότητες πολιτικής για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης Σύμφωνα με το ΕΣΕΚ .....	105
Πίνακας 13: Σύγκριση των βασικών αποτελεσμάτων του ενεργειακού συστήματος για το έτος 2030, μεταξύ του αρχικού ΕΣΕΚ και του τελικού ΕΣΕΚ .....	106
Πίνακας 14: Μεταβολή στην τελική κατανάλωση ενέργειας ανά τομέα για τα έτη 2020-2030 .....	107
Πίνακας 15: Εξέλιξη μεριδίων ΑΠΕ ανά στόχο και τομέα μέχρι το έτος 2030 .....	108
Πίνακας 16: Εξέλιξη της προόδου ως προς το μερίδιο συμμετοχής των ΑΠΕ ανά τομέα μέχρι το έτος 2030 .....	108
Πίνακας 17: Εξέλιξη εγκατεστημένης ισχύος μονάδων ΑΠΕ για ηλεκτροπαραγωγή .....	108
Πίνακας 18: Εξέλιξη ηλεκτροπαραγωγής από μονάδες ΑΠΕ .....	109
Πίνακας 19: Συμμετοχή των ΑΠΕ για την κάλυψη θερμικών αναγκών στην τελική κατανάλωση .....	109

## Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1: Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, τεχνολογίες και συνήθεις εφαρμογές .....	28
Εικόνα 2: Χάρτης με την κατανομή της πράσινης ενέργειας .....	30
Εικόνα 3: Χαρακτηριστικό παράδειγμα της δυναμικής των ΑΠΕ .....	31
Εικόνα 4: Ηλιακή ενέργεια .....	33
Εικόνα 5: Χαμηλής θερμοκρασίας Ηλιακός θερμοσίφωνας με συλλέκτες κενού, αριστερά και συλλέκτες επίπεδης επιφάνειας δεξιά.....	35
Εικόνα 6: Τρόπος λειτουργία ηλιοθερμικών συστημάτων .....	36
Εικόνα 7: Βαθμός απόδοσης των δημοφιλέστερων τύπων Φ/Β στοιχείων.....	40
Εικόνα 8: Κύρια μέρη της αντλίας θερμότητας.....	44
Εικόνα 9: Αντλία θερμότητας αέρος-νερού .....	45



## Κατάλογος Αναφορών

Ανδρίτσος Ν.,(2008) “Ενέργεια και περιβάλλον”, Διδακτικές Σημειώσεις, διαθέσιμο στο [http://users.auth.gr/users/8/3/010438/public\\_html/tdk/Teaching/BOOK\\_1.pdf](http://users.auth.gr/users/8/3/010438/public_html/tdk/Teaching/BOOK_1.pdf) και στο [https://eclass.uth.gr/modules/document/file.php/MIE\\_U\\_198/Enotita\\_1.pdf](https://eclass.uth.gr/modules/document/file.php/MIE_U_198/Enotita_1.pdf), προσπελάστηκε στις 12 Δεκεμβρίου 2022.

Διεθνής Οργάνωση Ενέργειας (IEA), “Greece- Key energy statistics, 2020”, διαθέσιμο στο <https://www.iea.org/countries/greece>, προσπελάστηκε στις 14 Δεκεμβρίου 2022.

ΑΕΝΑΟΣ – Ενεργειακά Συστήματα, “Αυτόνομα Φωτοβολταϊκά Συστήματα”, διαθέσιμο στο <https://www.aenaos-sa.gr/antlies-thermotitas-alpha-omega>, προσπελάστηκε τη 11 Δεκεμβρίου 2022.

ΑΕΝΑΟΣ – Ενεργειακά Συστήματα, “Αντλίες θερμότητας από το Α ως το Ω”, διαθέσιμο στο <https://www.aenaos-systems.gr/gr/off-grid-systems>, προσπελάστηκε τη 11 Δεκεμβρίου 2022.

Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία, “Κλιματικά Δεδομένα για επιλεγμένους σταθμούς στην Ελλάδα”, διαθέσιμο στο [http://www.emy.gr/emv/el/climatology/climatology\\_city](http://www.emy.gr/emv/el/climatology/climatology_city), προσπελάστηκε στις 25 Νοεμβρίου 2022.

Εργαστήριο Ατμοκινητήρων και Λεβήτων (ΕΑΛ) του ΕΜΠ, “Μελέτη Σύγκριση κόστους θέρμανσης από διάφορες τεχνολογίες”, Δεκέμβριος 2022, 2η έκδοση, διαθέσιμο στο [http://www.lsbtp.mech.ntua.gr/el/thermal\\_cost\\_intercomparison\\_2022](http://www.lsbtp.mech.ntua.gr/el/thermal_cost_intercomparison_2022), προσπελάστηκε στις 02 Ιανουαρίου 2023.

Ευρωπαϊκό Ελεγκτικό Συνέδριο, “Ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές για βιώσιμη αγροτική ανάπτυξη: σημαντικές δυνατότητες συνεργιών που παραμένουν εν πολλοίς αναξιοποίητες”, διαθέσιμο στο <https://op.europa.eu/webpub/eca/special-reports/renewable-energy-5-2018/el/>, προσπελάστηκε τη 22 Δεκεμβρίου 2022.

Ευρωπαϊκό Ελεγκτικό Συνέδριο, “Αιολική και ηλιακή ενέργεια για ηλεκτροπαραγωγή: χρειάζεται να ληφθούν ακόμη πολλά μέτρα προκειμένου να επιτευχθούν οι στόχοι της ΕΕ”, διαθέσιμο στο <https://op.europa.eu/webpub/eca/special-reports/wind-solar-power-generation-8-2019/el/index.html>, προσπελάστηκε τη 22 Δεκεμβρίου 2022.

Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος, “Σχετικά με την ενέργεια”, διαθέσιμο στο <https://www.eea.europa.eu/el/themes/energy/about-energy> προσπελάστηκε στις 15 Δεκεμβρίου 2022.

Κατσαπρακάκης Δ.,(2015), *Σύνθεση Ενεργειακών Συστημάτων*, διαθέσιμο στο <https://www.ebooks4greeks.gr/συνθεση-ενεργειακων-συστηματων> προσπελάστηκε στις 12 Δεκεμβρίου 2022.

Κατσουλάκος Ν., “ Ψυκτικός Κύκλος και αντλίες θερμότητας” ,ΕΜΠ,Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών, διαθέσιμο στο [http://mycourses.ntua.gr/courses/PSTGR1282/document/Cooling\\_Cycle.pdf](http://mycourses.ntua.gr/courses/PSTGR1282/document/Cooling_Cycle.pdf) προσπελάστηκε τη 11 Δεκεμβρίου 2022.

Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας, “Φωτοβολταϊκά Συστήματα” , διαθέσιμο στο [http://www.cres.gr/kape/energeia\\_politis/energeia\\_politis\\_photovol.htm](http://www.cres.gr/kape/energeia_politis/energeia_politis_photovol.htm) προσπελάστηκε στις 17 Δεκεμβρίου 2022.

Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας , “Οδηγίες για την εγκατάσταση Φ/Β συστημάτων σε κτηριακές εγκαταστάσεις”, διαθέσιμο στο [http://www.cres.gr/kape/pdf/odigos\\_pv\\_systimatou.pdf](http://www.cres.gr/kape/pdf/odigos_pv_systimatou.pdf) προσπελάστηκε στις 17 Δεκεμβρίου 2022.

Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας, “Εγχειρίδιο Ανανεώσιμων Πηγών ενέργειας”, διαθέσιμο στο <http://www.cres.gr/kape/education/guide.pdf> προσπελάστηκε στις 17 Δεκεμβρίου 2022.

Λιάλιος Γ.,(2022), “Στα σκαριά νέος χάρτης για τις ΑΠΕ”, ,άρθρο της 13.09.2022, διαθέσιμο στο <https://www.kathimerini.gr/society/562037191/sta-skaria-neos-chartis-gia-tis-ape>, προσπελάστηκε στις 17 Δεκεμβρίου 2022.

Μπέλλος, Ε.,(2016), “Αξιοποίηση και βελτιστοποίηση της χρήσης ηλιακών συστημάτων στα κτίρια”, Διδακτορική διατριβή, Αθήνα, διαθέσιμο στο <https://thesis.ekt.gr/thesisBookReader/id/39549?lang=el#page/14/mode/2up> , προσπελάστηκε στις 17 Δεκεμβρίου 2022.

ΟΗΕ, Περιφερειακό Κέντρο Πληροφόρησης του ΟΗΕ, , “Στόχοι για τη Βιώσιμη Ανάπτυξη”, διαθέσιμο στο <https://unric.org/el/> προσπελάστηκε στις 11 Νοεμβρίου 2022.

Συμβούλιο της ΕΕ και Ευρωπαϊκό Συμβούλιο, “Ενημερωτικό γράφημα - Εθνικά σχέδια για την ενέργεια και το κλίμα”, 25 Νοε 20, διαθέσιμο στο <https://www.consilium.europa.eu/el/infographics/national-energy-and-climate-plans/> προσπελάστηκε στις 5 Νοεμβρίου 2022.

Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, “Ηλιακή/ Φωτοβολταϊκά”, διαθέσιμο στο <https://ypen.gov.gr/energeia/ape/technologies/iliaki-fotovoltaika/>, προσπελάστηκε τη 5 Νοεμβρίου 2022.

Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, “Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα”, διαθέσιμο στο <https://ypen.gov.gr/energeia/esek/> προσπελάστηκε στις 5 Νοεμβρίου 2022.

## ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ

Chemistry School, “Classification, Types and Examples of Refrigerants”, διαθέσιμο στο <https://www.chemistryscl.com/eng/air-conditioning/classifications-types-of-refrigerants/index.php>, προσπελάστηκε στις 22 Δεκεμβρίου 2022

CNN Greece, “ΑΔΜΗΕ: Οι ΑΠΕ κάλυψαν πλήρως την ζήτηση της ηλεκτρικής ενέργειας”, 10 Οκτ 22, διαθέσιμο στο <https://www.cnn.gr/oikonomia/anaptyxi/story/332033/admie-oi-ape-kalypsan-pliros-tin-zitisi-tis-ilektrikis-energeias> προσπελάστηκε στις 18 Νοεμβρίου 2022.

Dincer, I. and M. Kanoglu, (2010) “Refrigeration systems and applications”, [https://www.researchgate.net/publication/286343216\\_Refrigeration\\_Systems\\_and\\_Applications\\_Second\\_Edition](https://www.researchgate.net/publication/286343216_Refrigeration_Systems_and_Applications_Second_Edition) προσπελάστηκε στις 15 Νοεμβρίου 2022.

Di Wu, Bin Hu, R.Z. Wang, (2021), “Vapor compression heat pumps with pure Low-GWP refrigerants”, [Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 138](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S136403212030856X?via%3Dihub), διαθέσιμο στο <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S136403212030856X?via%3Dihub> προσπελάστηκε στις 18 Νοεμβρίου 2022.

Eicker Ur., (2003) “Solar Technologies for Buildings”, Εκδόσεις John Wiley & Sons <https://www.pdfbooksfree.org/2012/10/solar-technologies-for-buildings-by.html> προσπελάστηκε στις 15 Νοεμβρίου 2022.

Habbati B. , Ramdani Y., Moulay F., (2014), “A detailed modeling of photovoltaic module using MATLAB”, NRIAG Journal of Astronomy and Geophysics, Volume 3, Pages 53-61, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2090997714000182> προσπελάστηκε στις 15 Νοεμβρίου 2022.

MEP Engineering, “Ηλιακή Ενέργεια – Ηλιοθερμιά”, διαθέσιμο στο <https://www.mep.gr/services/erga-i-m-kataskeyi/iliaki-energeia/>, προσπελάστηκε την 2 Δεκεμβρίου 2022.

Mouzeviris, G.A. Papakostas, K.T.(2022) Study on Air-to-Water Heat Pumps Seasonal Performances for Heating in Greece, [Energies](https://www.mdpi.com/search?authors=Mouzeviris&journal=energies&volume=15&issue=1), 2022, vol. 15, issue 1, διαθέσιμο στο <https://www.mdpi.com/search?authors=Mouzeviris&journal=energies&volume=15&issue=1> προσπελάστηκε στις 15 Νοεμβρίου 2022

PVtech , “Φωτοβολταϊκά για Κτίρια”, διαθέσιμο στο <https://www.pvtech.gr/fotovoltaika-ktiria.html>, προσπελάστηκε τη 22 Δεκεμβρίου 2022.

PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) Online Tool, διαθέσιμο στο [https://joint-research-centre.ec.europa.eu/pvgis-online-tool\\_en](https://joint-research-centre.ec.europa.eu/pvgis-online-tool_en) και στο [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/), προσπελάστηκε στις 18 Νοεμβρίου 2022.

Rasmussen Pia, (2011), “*Calculation of SCOP for heat pumps according to EN 14825*”, Danish Technological Institute, διαθέσιμο στο <https://www.eceee.org/static/media/uploads/site-2/ecodesign/products/boilers/app-b-technical-scop-nef-en14825-heatpumpsen.docx>, προσπελάστηκε στις 15 Ιανουαρίου 2023

Real Mechanical Solutions, “*Ηλιοθερμικά Συστήματα*”, διαθέσιμο στο <http://www.rms.gr/index.php/iliothermika-systimata> προσπελάστηκε τη 22 Δεκεμβρίου 2022.

Soto W. De, Klein S.A., Beckman W.A., (2006), “*Improvement and validation of a model for photovoltaic array performance*”, Solar Energy Volume 80, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038092X05002410> προσπελάστηκε στις 15 Νοεμβρίου 2022.

Valentin Software GmbH, “*The design and simulation software for solar thermal systems*”, διαθέσιμο στο <https://valentin-software.com/en/products/tsol/> προσπελάστηκε στις 27 Νοεμβρίου 2022.

## Παράρτημα Ι – Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ)<sup>49</sup>

### Ι.1 Εισαγωγικό Σημείωμα

Το Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ) αποτελεί για την Ελληνική Κυβέρνηση ένα Στρατηγικό Σχέδιο για τα θέματα του Κλίματος και της Ενέργειας και παρουσιάζεται σε αυτό ένας αναλυτικός οδικός χάρτης για την επίτευξη συγκριμένων Ενεργειακών και Κλιματικών Στόχων έως το έτος 2030. Το ΕΣΕΚ παρουσιάζει και αναλύει Προτεραιότητες και Μέτρα Πολιτικής σε ένα ευρύ φάσμα αναπτυξιακών και οικονομικών δραστηριοτήτων προς όφελος της Ελληνικής κοινωνίας, καθιστώντας το κείμενο αναφοράς για την επόμενη δεκαετία.

Το ΕΣΕΚ αναδεικνύει τις **προτεραιότητες** και τις **αναπτυξιακές δυνατότητες** που έχει η χώρα μας σε θέματα ενέργειας και αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής και έχει ως στόχο να αποτελέσει το βασικό εργαλείο διαμόρφωσης της εθνικής πολιτικής για την Ενέργεια και το Κλίμα την επόμενη δεκαετία, λαμβάνοντας υπόψη τις συστάσεις της **Ευρωπαϊκής Επιτροπής** αλλά και τους στόχους **Βιώσιμης Ανάπτυξης του ΟΗΕ**.

Για την επίτευξη των παραπάνω στόχων στο κείμενο του ΕΣΕΚ παρουσιάζονται και αναλύονται οι επιμέρους Προτεραιότητες Πολιτικής για την επόμενη περίοδο καθώς και τα αντίστοιχα Μέτρα Πολιτικής τα οποία σχεδιάζονται για την υλοποίηση των προτεραιοτήτων και την επίτευξη των στόχων του ΕΣΕΚ, σε επτά διαφορετικές θεματικές ενότητες

- Κλιματική Αλλαγή, Εκπομπές και απορροφήσεις Αερίων του Θερμοκηπίου
- Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας
- Βελτίωση ενεργειακής απόδοσης
- Ασφάλεια ενεργειακού εφοδιασμού
- Αγορά ενέργειας
- Αγροτικός τομέας, Ναυτιλία, Τουρισμός (νέα θεματική ενότητα) και
- Έρευνα, καινοτομία και ανταγωνιστικότητα

### Ι.2 Επισκόπηση και διαδικασία κατάρτισης του σχεδίου

Το ΕΣΕΚ αποτελεί ένα ισορροπημένο μείγμα φιλόδοξης και ορθολογικής εθνικής Ενεργειακής Πολιτικής με κύριο στόχο την επίτευξη των επιδιώξεων της Ενεργειακής Ένωσης της ΕΕ έως το έτος 2030. Μια τέτοια ενεργειακή μετάβαση προϋποθέτει υψηλότερο στόχο μείωσης εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (ΑτΘ), αυξημένη διείσδυση των ΑΠΕ στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας, βελτίωση της

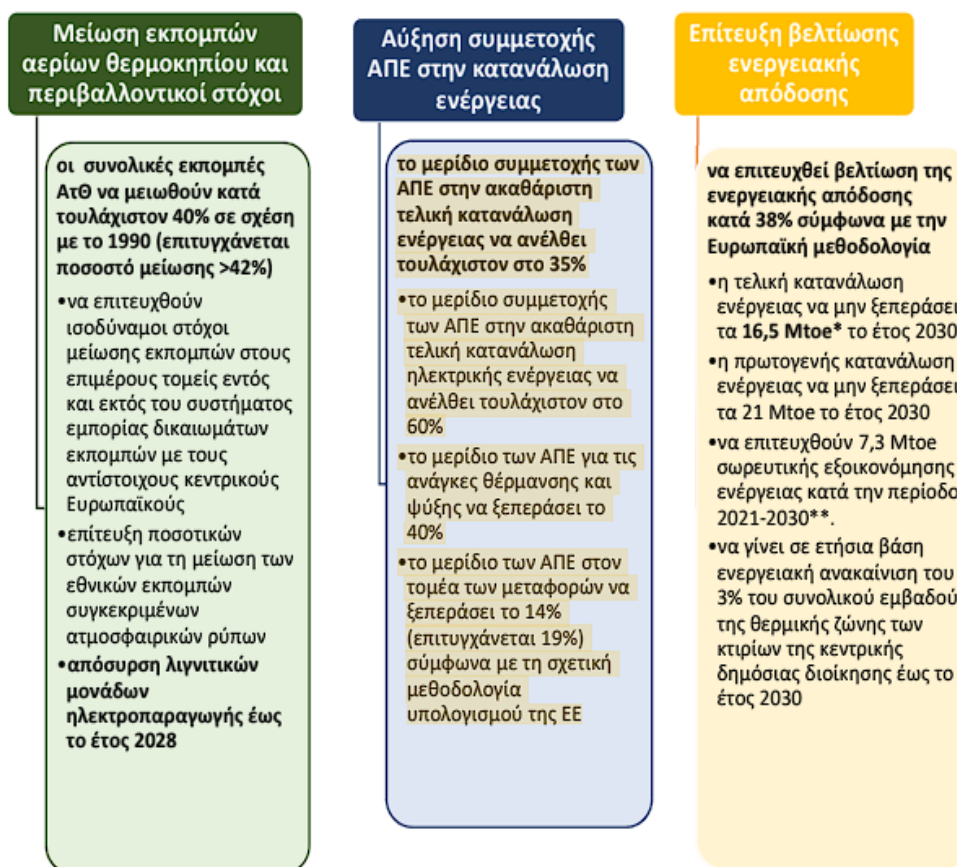
<sup>49</sup> Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, “Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα”, διαθέσιμο στο <https://ypen.gov.gr/energeia/esek/>

ενεργειακής απόδοσης για μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας και απολιγνιτοποιημένη ηλεκτροπαραγωγή, ώστε ο ριζικός αυτός μετασχηματισμός του ενεργειακού τομέα όντως να οδηγήσει σε μια οικονομία κλιματικής ουδετερότητας έως το έτος 2050 προς όφελος της κοινωνίας και του περιβάλλοντος.

### **I.3 Γενική στρατηγική σε σχέση με τις πέντε διαστάσεις της Ενεργειακής Ένωσης**

---

Η Ευρωπαϊκή Στρατηγική για την Ενέργεια και το Περιβάλλον προωθεί την ευρωπαϊκή ενεργειακή ενοποίηση δηλαδή, την κατάργηση των ενεργειακών συνόρων μεταξύ των εθνικών αγορών ενέργειας και την ενίσχυση της ενεργειακής ασφάλειας και ανεξαρτησίας της ΕΕ. Βασικός πυλώνας αυτής της Στρατηγικής είναι η ολοκλήρωση της εσωτερικής αγοράς ενέργειας, η οποία θα είναι απελευθερωμένη και ανταγωνιστική και θα υπαγορεύει χωρίς παρεμβασμούς τα επόμενα βήματα ενσωματώνοντας παράλληλα τις πέντε διαστάσεις της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Θα παρέχει δηλαδή ασφαλή ενέργεια σε όλους, θα διευκολύνει τη ροή της ενέργειας μεταξύ των εσωτερικών συνόρων της ΕΕ, θα προωθεί και θα επιβραβεύει την οικονομία χαμηλών εκπομπών άνθρακα, ενώ επίσης θα υποστηρίζει την ενεργειακή αποδοτικότητα και τις νέες τεχνολογίες. Στο **Σχήμα 27** παρουσιάζονται οι επιμέρους ποσοτικές επιδιώξεις στο πλαίσιο της επίτευξης των εθνικών ενεργειακών και περιβαλλοντικών στόχων για το έτος 2030.



Σχήμα 27: Εθνικοί ενεργειακοί και περιβαλλοντικοί στόχοι για την περίοδο 2021-2030, στο πλαίσιο των Ευρωπαϊκών πολιτικών.

## 1.4 Προτεραιότητες και Μέτρα Εθνικής Πολιτικής

### 1.4.1 Οι προτεραιότητες της πολιτικής

Καθορίστηκαν τόσο για τις έξι διαστάσεις της Ενεργειακής Ένωσης:

- Κλιματική Αλλαγή, Εκπομπές και απορροφήσεις Αερίων του Θερμοκηπίου,
- Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας,
- Βελτίωση ενεργειακής απόδοσης,
- Ασφάλεια ενεργειακού εφοδιασμού,
- Αγορά ενέργειας
- Έρευνα, καινοτομία και ανταγωνιστικότητα,

όσο και για νέους τομείς ενδιαφέροντος:

- Αγροτικό τομέα, Ναυτιλία και Τουρισμό

Πάνω στις παραπάνω προτεραιότητες καθορίστηκαν και τα Μέτρα Πολιτικής που θα οδηγήσουν στην εκπλήρωση των συγκεκριμένων Προτεραιοτήτων Πολιτικής.

#### I.4.2 Προτεραιότητες πολιτικής για τις ΑΠΕ

<b>ΠΠ2.1</b>	<b>Κάλυψη των εγχώριων ηλεκτρικών καταναλώσεων κυρίως από ΑΠΕ</b>
ΠΠ2.2	Αναμόρφωση μειοδοτικού και χωροταξικού πλαισίου – Επιτάχυνση και αποτελεσματικότητα αδειοδότησης
ΠΠ2.3	Συμμετοχή μονάδων ΑΠΕ στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας χωρίς χορήγηση λειτουργικής ενίσχυσης
<b>ΠΠ2.4</b>	<b>Προώθηση διεσπαρμένων συστημάτων ΑΠΕ και ενδυνάμωση συμμετοχικού ρόλου τοπικών κοινωνιών – καταναλωτών</b>
ΠΠ2.5	Διασφάλιση βιωσιμότητας και ρευστότητας του μηχανισμού χορήγησης λειτουργικής ενίσχυσης στις μονάδες ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ
ΠΠ2.6	Ανάπτυξη και ενίσχυση ενεργειακών δικτύων και βέλτιστη ένταξη και λειτουργία μονάδων ΑΠΕ
<b>ΠΠ2.7</b>	<b>Κανονιστικές υποχρεώσεις ελάχιστης συμμετοχής ΑΠΕ στην κάλυψη ενεργειακών αναγκών στον κτιριακό τομέα</b>
<b>ΠΠ2.8</b>	<b>Προώθηση της χρήσης συστημάτων ΑΠΕ για κάλυψη θερμικών και ψυκτικών αναγκών</b>
ΠΠ2.9	Σύζευξη ενεργειακών τομέων για μέγιστη αξιοποίηση του εγχώριου δυναμικού από τις ΑΠΕ και προώθηση νέων τεχνολογιών
ΠΠ2.10	Προώθηση χρήσης προηγμένων βιοκαυσίμων στον τομέα των μεταφορών
ΠΠ2.11	Προώθηση της ηλεκτροκίνησης

**Πίνακας 11: Βασικές προτεραιότητες πολιτικής για τις Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας σύμφωνα με το ΕΣΕΚ.**

Αυτό που ξεχωρίζουμε στο παραπάνω πίνακα είναι η μεγάλη σημασία που δίνεται στις ΑΠΕ για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών των κτιρίων τόσο σε ρεύμα όσο και σε θέρμανση/ψύξη, πού η παρούσα διατριβή έχει σαν κεντρική ιδέα και διαπραγματεύεται.

#### I.4.3 Προτεραιότητες πολιτικής για Βελτίωση ενεργειακής απόδοσης,

Στο παρακάτω Πίνακας 12, βλέπουμε ότι και στο τομέα της βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης η αποδοτική θέρμανση και ψύξη αποτελεί μία από τις προτεραιότητες της πολιτείας.

ΠΠ3.1	Βελτίωση ενεργειακής απόδοσης δημοσίων κτιρίων και υποδειγματικός ρόλος δημοσίου τομέα Βελτίωση μικροκλίματος του αστικού δημόσιου χώρου
ΠΠ3.2	Στρατηγική ανακαίνισης κτιριακού αποθέματος οικιακού και τριτογενή τομέα
ΠΠ3.3	Προώθηση συμβάσεων ενεργειακής απόδοσης από ΕΕΥ



ΠΠ3.4	Προώθηση μηχανισμών αγοράς
ΠΠ3.5	Προώθηση καινοτόμων χρηματοδοτικών εργαλείων για μόχλευση ιδιωτικών κεφαλαίων και συμμετοχή χρηματοπιστωτικού τομέα
ΠΠ3.6	Βελτίωση ενεργειακής απόδοσης και ανταγωνιστικότητας βιομηχανικού τομέα
ΠΠ3.7	Πλαίσιο αντικατάστασης ρυπογόνων επιβατικών και φορτηγών οχημάτων
ΠΠ3.8	Ανάπτυξη υποδομών και σχεδίων για μετατόπιση μεταφορικού έργου
ΠΠ3.9	Βελτίωση ενεργειακής απόδοσης υποδομών ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου
ΠΠ3.10	Προώθηση παρεμβάσεων εκσυγχρονισμού υποδομών ύδρευσης/αποχέτευσης και άρδευσης
<b>ΠΠ3.11</b>	<b>Προώθηση αποδοτικής θέρμανσης και ψύξης</b>
ΠΠ3.12	Εκπαίδευση/ενημέρωση επαγγελματιών και καταναλωτών για ενεργειακά αποδοτικό εξοπλισμό και ορθολογική χρήση ενέργειας

**Πίνακας 12: Βασικές προτεραιότητες πολιτικής για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης Σύμφωνα με το ΕΣΕΚ.**

### 1.5 Εθνικοί στόχοι και επιδιώξεις

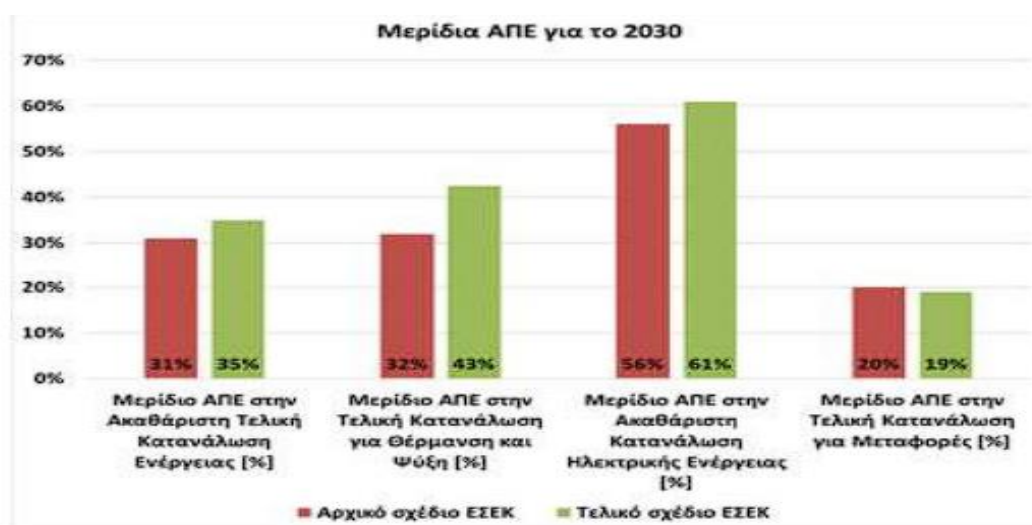
Η Ελληνική κυβέρνηση σκοπεύει να χρησιμοποιήσει το ΕΣΕΚ ως το βασικό εργαλείο διαμόρφωσης της εθνικής πολιτικής για την Ενέργεια και το Κλίμα για την επόμενη δεκαετία, λαμβάνοντας υπόψη τις συστάσεις της Ευρωπαϊκής Επιτροπής αλλά και τους στόχους Βιώσιμης Ανάπτυξης του ΟΗΕ. Μέσω του ΕΣΕΚ αναδεικνύονται οι προτεραιότητες και οι αναπτυξιακές δυνατότητες που έχει η χώρα μας σε θέματα ενέργειας και αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής και θα προβλέπεται ένας συγκεκριμένος οδικός χάρτης για την επίτευξη συγκεκριμένων ποσοτικών και ποιοτικών Στόχων, πάνω στον οποίο θα περιγράφονται Προτεραιότητες και Μέτρα Πολιτικής σε ένα ευρύ φάσμα αναπτυξιακών και οικονομικών δραστηριοτήτων προς όφελος της κοινωνίας.

Στο παρακάτω **Πίνακας 13 υφίστανται** σύγκριση των βασικών αποτελεσμάτων του ενεργειακού συστήματος για το έτος 2030, μεταξύ του αρχικού ΕΣΕΚ και του τελικού ΕΣΕΚ ενώ σημαντική είναι όπως βλέπουμε και η αύξηση του μεριδίου ΑΠΕ για θέρμανση ψύξη και ρεύμα, ενώ μεγάλωσε και ο αριθμός των κατοικιών που απαιτείται να ανακαινιστούν ενεργειακά.

Συγκριτικός πίνακας Βασικοί δείκτες	Αρχικό ΕΣΕΚ	Τελικό ΕΣΕΚ
Συνολικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (MtCO <sub>2</sub> eq)	71	60,6
Μερίδιο ΑΠΕ στην Ακαθάριστη Τελική Κατανάλωση Ενέργειας	31%	35%

<b>Μερίδιο ΑΠΕ στην Τελική Κατανάλωση για Θέρμανση και Ψύξη</b>	<b>32%</b>	<b>43%</b>
<b>Μερίδιο ΑΠΕ στην Ακαθάριστη Κατανάλωση Ηλεκτρικής ενέργειας</b>	<b>56%</b>	<b>61%</b>
Μερίδιο ΑΠΕ στην Τελική Κατανάλωση για Μεταφορές	20%	19%
Παραγωγικότητα Ενέργειας [εκατ. € '10/ktoe]	9,98	11,03
<b>Κατανάλωση Ενέργειας</b>		
Ακαθάριστη Εγχώρια Κατανάλωση	23,02	22,19
Πρωτογενής κατανάλωση ενέργειας [Mtoe]	22,26	20,55
Τελική κατανάλωση ενέργειας [Mtoe]	18,04	17,38
Τελική κατανάλωση ενέργειας (χωρίς θερμότητα περιβάλλοντος) [Mtoe]	17,32	16,51
<b>Τομέας ηλεκτροπαραγωγής Εγκατεστημένη Ισχύς [GW]</b>		
Λιγνίτης	2,70	0,00
Φ. Αέριο	5,40	6,91
Αιολικά	6,60	7,05
Φ/Β	6,80	7,66
<b>Συνολική εγκατεστημένη ισχύς ΑΠΕ για ηλεκτροπαραγωγή</b>	<b>17,70</b>	<b>19,03</b>
Καθαρές εισαγωγές ηλεκτρικής ενέργειας [TWh]	4,16	4,58
Συνολική διάθεση ηλεκτρικής ενέργειας [TWh]	59,72	61,80
Τελική Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας [TWh]	54,32	56,4
<b>Κτιριακός τομέας</b>		
<b>Συνολικός αριθμός ανακαίνισης κατοικιών έως το έτος 2030</b>	<b>400.000</b>	<b>600.000</b>

Πίνακας 13: Σύγκριση των βασικών αποτελεσμάτων του ενεργειακού συστήματος για το έτος 2030, μεταξύ του αρχικού ΕΣΕΚ και του τελικού ΕΣΕΚ.



**Διάγραμμα 29: Σύγκριση των μεριδίων ΑΠΕ για το έτος 2030, του αρχικού σχεδίου ΕΣΕΚ και του τελικού σχεδίου ΕΣΕΚ.**

Όσον αφορά τα μερίδια συμμετοχής των ΑΠΕ για το έτος 2030, παρατηρείται σημαντική αύξηση των ποσοσטיαίων τιμών με το παρόν σχέδιο σε σχέση με το αρχικό σχέδιο (Διάγραμμα 29).

Ο παρακάτω Πίνακας 14 παρουσιάζει τη διαφοροποίηση στη συμμετοχή κάθε τομέα ή κάθε καυσίμου, αντίστοιχα, στην τελική κατανάλωση ενέργειας, όπως υπολογίστηκε στο αρχικό σχέδιο και στο παρόν αναθεωρημένο σχέδιο ΕΣΕΚ, για το έτος 2030.

	Αρχικό ΕΣΕΚ - Μεταβολή ΤΚΕ 2020-2030	Τελικό ΕΣΕΚ - Μεταβολή ΤΚΕ 2020-2030	Διαφορά Αρχικό Τελικό ΕΣΕΚ	Σταθμισμένη διαφορά Αρχικό-Τελικό ΕΣΕΚ
Βιομηχανία	1.7%	-4.4%	6.0%	1.1%
<b>Οικιακός</b>	<b>-0.4%</b>	<b>-9.7%</b>	<b>9.3%</b>	<b>2.3%</b>
Τριτογενής	0.6%	1.2%	-0.6%	-0.1%
Μεταφορές	1.3%	1.0%	0.3%	0.1%
Σύνολο	1.2%	-2.5%	3.7%	3.7%

**Πίνακας 14: Μεταβολή στην τελική κατανάλωση ενέργειας ανά τομέα για τα έτη 2020-2030.**

## 1.6 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Ως εθνικός στόχος συμμετοχής των ΑΠΕ στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας τίθεται η επίτευξη μεριδίου συμμετοχής των ΑΠΕ τουλάχιστον στο 35%. Επισημαίνεται ότι για μεθοδολογικούς λόγους, καθώς ακόμη δεν έχουν εκδοθεί οι προβλεπόμενες τεχνικές οδηγίες από την ΕΕ, δεν προσμετράται σε αυτό το μερίδιο ως συνεισφορά από ΑΠΕ το μερίδιο της χρήσης αντλιών θερμότητας για την κάλυψη ψυκτικών αναγκών με ενεργειακά αποδοτικότερο τρόπο.

Σχετικά με την εξέλιξη των ποσοστών συμμετοχής των ΑΠΕ στην τελική κατανάλωση στους Πίνακες Πίνακας 15 και Πίνακας 16 παρουσιάζεται η πρόβλεψη για την εξέλιξη αυτών των μεριδίων, σε συγκεκριμένα χρονικά σημεία.

Εξέλιξη μεριδίων ΑΠΕ	2020	2022	2025	2027	2030
Μερίδιο ΑΠΕ στην Ακαθάριστη Τελική Κατανάλωση Ενέργειας [%]	19,7%	3,4%	27,1%	9,6%	35%
<b>Μερίδιο ΑΠΕ στην Τελική Κατανάλωση για Θέρμανση και Ψύξη [%]</b>	<b>30,6%</b>	<b>3,8%</b>	<b>36,8%</b>	<b>38,3%</b>	<b>42,5%</b>

Μερίδιο ΑΠΕ στην Ακαθάριστη Κατανάλωση Ηλεκτρισμού [%]	29,2%	38,6%	46,8%	52,9%	61%
Μερίδιο ΑΠΕ στην Τελική Κατανάλωση για Μεταφορές [%]	6,6%	7,3%	10,1%	11,7%	19,0%

**Πίνακας 15: Εξέλιξη μεριδίων ΑΠΕ ανά στόχο και τομέα μέχρι το έτος 2030.**

Εξέλιξη προόδου ως προς το μερίδιο ενέργειας από ΑΠΕ για την επίτευξη του στόχου του 2030	2022	2025	2027	2030
στην Ακαθάριστη Τελική Κατανάλωση Ενέργειας [%]	31.8%	53.6%	68.5%	100%
<b>στην Τελική Κατανάλωση για Θέρμανση και Ψύξη [%]</b>	<b>27.0%</b>	<b>52.3%</b>	<b>64.5%</b>	<b>100%</b>
στην Ακαθάριστη Κατανάλωση Ηλεκτρισμού [%]	29.6%	55.4%	74.6%	100%
στην Τελική Κατανάλωση για Μεταφορές [%]	5,6%	28,3%	41,3%	100%

**Πίνακας 16: Εξέλιξη της προόδου ως προς το μερίδιο συμμετοχής των ΑΠΕ ανά τομέα μέχρι το έτος 2030.**

Στον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ, οι κυρίαρχες εφαρμογές για την επόμενη περίοδο που θα συνεισφέρουν στην επίτευξη των στόχων είναι τα αιολικά και τα φωτοβολταϊκά πάρκα, τα οποία κρίνονται και τα πλέον ώριμα και ανταγωνιστικά με κανόνες αγοράς και οικονομικότητας ως προς τις επιπτώσεις τους σε θέματα ενισχύσεων. στους Πίνακες **Πίνακας 17** και **Πίνακας 18**,

Ηλεκτροπαραγωγή - Εγκατεστημένη Ισχύς [GW]	2020	2022	2025	2027	2030
Βιομάζα & Βιοαέριο]	0,1	0,1	0,1	0,2	0,3
Υ/Η (συμπ. μεικτών αντλητικών)	3,4	3,7	3,8	3,9	3,9
Αιολικά	3,6	4,2	5,2	6,0	7,0
<b>Φ/Β</b>	<b>3,0</b>	<b>3,9</b>	<b>5,3</b>	<b>6,3</b>	<b>7,7</b>
Ηλιοθερμικοί σταθμοί	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1
Γεωθερμία	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
Σύνολο	10,1	11,9	14,6	16,4	19,0

**Πίνακας 17: Εξέλιξη εγκατεστημένης ισχύος μονάδων ΑΠΕ για ηλεκτροπαραγωγή.**

Ηλεκτροπαραγωγή - Εγκατεστημένη Ισχύς [GW]	2020	2022	2025	2027	2030

Βιομάζα & Βιοαέριο]	0,4	0,5	0,8	1,0	1,6
Υ/Η (συμπ. μεικτών αντλητικών)	5,5	6,4	6,5	6,6	6,6
Αιολικά	7,3	10,1	12,6	14,4	17,2
<b>Φ/Β</b>	<b>4,5</b>	<b>6,0</b>	<b>8,2</b>	<b>9,7</b>	<b>11,8</b>
Ηλιοθερμικοί σταθμοί	0,0	0,0	0,3	0,3	0,3
Γεωθερμία	0,0	0,0	0,0	0,3	0,6
Σύνολο	17,7	23,0	28,4	32,2	38,1

**Πίνακας 18: Εξέλιξη ηλεκτροπαραγωγής από μονάδες ΑΠΕ.**

Αναφορικά με τη διείσδυση και συμμετοχή των ΑΠΕ για την κάλυψη θερμικών αναγκών στην τελική κατανάλωση, αναμένεται σημαντική ενίσχυση του ρόλου των αντλιών θερμότητας, ειδικά στον τριτογενή τομέα, αυξημένη συμμετοχή των θερμικών ηλιακών συστημάτων και της γεωθερμίας, καθώς και σταθερή συνεισφορά της βιομάζας ( **Πίνακας 19**).

<b>ΑΠΕ για θέρμανση (ktoe)</b>	<b>2020</b>	<b>2022</b>	<b>2025</b>	<b>2027</b>	<b>2030</b>
Βιοενέργεια	1.035	1.060	1.087	1.086	1.142
<b>Ηλιακά</b>	<b>296</b>	<b>303</b>	<b>312</b>	<b>326</b>	<b>411</b>
Θερμότητα Περιβάλλοντος, Γεωθερμία	431	590	715	792	906
Σύνολο	1.761	1.952	2.115	2.204	2.460

**Πίνακας 19: Συμμετοχή των ΑΠΕ για την κάλυψη θερμικών αναγκών στην τελική κατανάλωση.**

## 1.7 Προκλήσεις

### 1.7.1 ΑΠΕ για ηλεκτροπαραγωγή

Η ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου πλαισίου αναφορικά με τη χωροθέτηση εγκαταστάσεων ΑΠΕ με εφαρμογή στο σύνολο της επικράτειας και ξεκάθαρους κανόνες, κριτήρια και περιορισμούς είναι κρίσιμη για την υψηλότερη διείσδυση ΑΠΕ στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

### 1.7.2 ΑΠΕ για θέρμανση και ψύξη

Για την περίπτωση των υφιστάμενων χρηματοδοτικών μηχανισμών, για τη χρήση ΑΠΕ στην τελική κατανάλωση, προτεραιότητα είναι η απλοποίηση των διαδικασιών και η επιλογή των οικονομικά βέλτιστων εφαρμογών. Επιπρόσθετα, σημαντικό είναι να αναπτυχθούν δείκτες απόδοσης αναφορικά με τη χρήση των συγκεκριμένων χρηματοδοτικών μηχανισμών σε επίπεδο τεχνολογιών και είδη χρηστών.

## **I.8 Βελτίωση ενεργειακής απόδοσης**

---

Για το σκοπό αυτό απαιτείται ο καθορισμός ενός κεντρικού ποσοτικού στόχου ανακαίνισης και αντικατάστασης κτιρίων κατοικίας με νέα σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης, ποσοστό το οποίο συνδυαστικά δύναται να ανέλθει στο 12-15% του συνόλου των κατοικιών μέχρι το έτος 2030.

Σε ετήσιο χρονικό ορίζοντα στόχος είναι να αναβαθμίζονται ενεργειακά ή και να αντικαθίστανται από νέα ενεργειακά αποδοτικότερα κατά μέσο όρο 60.000 κτίρια ή κτιριακές μονάδες.

## **I.9 Εσωτερική αγορά ενέργειας**

---

Στο πλαίσιο αυτό στόχος είναι να αναπτυχθούν και καινοτόμα σχήματα ενεργειακού συμψηφισμού, τόσο στο σκέλος της παραγωγής όσο και της κατανάλωσης ενέργειας υποστηρίζοντας έτσι την αποκεντρωμένη παραγωγή και διαχείριση ενέργειας.

Ποσοτικός στόχος είναι η εγκατάσταση και λειτουργία νέων συστημάτων αυτοπαραγωγής και ενεργειακού συμψηφισμού, κύρια για κάλυψη ιδίων αναγκών άνω των 600 MW μέχρι το έτος 2030 (ώστε συνολικά να ανέλθουν σε πάνω από 1GW εγκατεστημένης ισχύος).

## **I.10 Έρευνα, καινοτομία και ανταγωνιστικότητα**

---

Οι ειδικότερες τεχνολογικές προκλήσεις στη διάσταση έρευνας, καινοτομίας και ανταγωνιστικότητας υποστηρίζονται από σειρά μέτρων και αντιστοιχούν στους στόχους του ενεργειακού σχεδιασμού. Πιο συγκεκριμένα, τα βασικά πεδία ενδιαφέροντος είναι:

### **I.10.1 Η συμμετοχή των νέων τεχνολογιών ΑΠΕ στην ικανοποίηση αναγκών παραγωγής, μεταφοράς, διανομής και αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία θα επιτευχθεί με:**

- Τη συνεχή αύξηση της ανταγωνιστικότητας, από πλευράς κόστους παραγωγής, των τεχνολογιών παραγωγής ενέργειας από ΑΠΕ.
- Την αύξηση της απόδοσης και της ευελιξίας των σταθμών που χρησιμοποιούν συμβατικά καύσιμα ως συνέπεια του νέου ρόλου που καλούνται να διαδραματίσουν στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, αλλά και της συνεχούς αύξησης των τιμών των δικαιωμάτων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.
- Τη συνολική αύξηση των αναγκών ευελιξίας του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας και για αποθήκευση ενέργειας.

- Τη βέλτιστη ενσωμάτωση των τεχνολογιών ΑΠΕ στα δίκτυα διανομής σε άμεση συνάφεια με την κατανάλωση καθώς και η ενσωμάτωση των τεχνολογιών Πληροφορικής και Επικοινωνιών.

#### **I.10.2 Η συμμετοχή των νέων τεχνολογιών ΑΠΕ στην ικανοποίηση αναγκών σε θερμότητα και ψύξη, η οποία θα επιτευχθεί με:**

- Την αύξηση της ανταγωνιστικότητας των αντλιών θερμότητας αλλά και γενικότερα όλων των τεχνολογιών χαμηλής ενθαλπίας.

- Τη βέλτιστη ένταξη των τεχνολογιών ΑΠΕ για θέρμανση και ψύξη στον κτιριακό τομέα, λαμβάνοντας ιδίως υπόψη ότι στη νέα δεκαετία τα νέα κτίρια θα είναι σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης.

- Την περαιτέρω διείσδυση των τεχνολογιών της ηλιακής ενέργειας σε όλες τις χρήσεις.

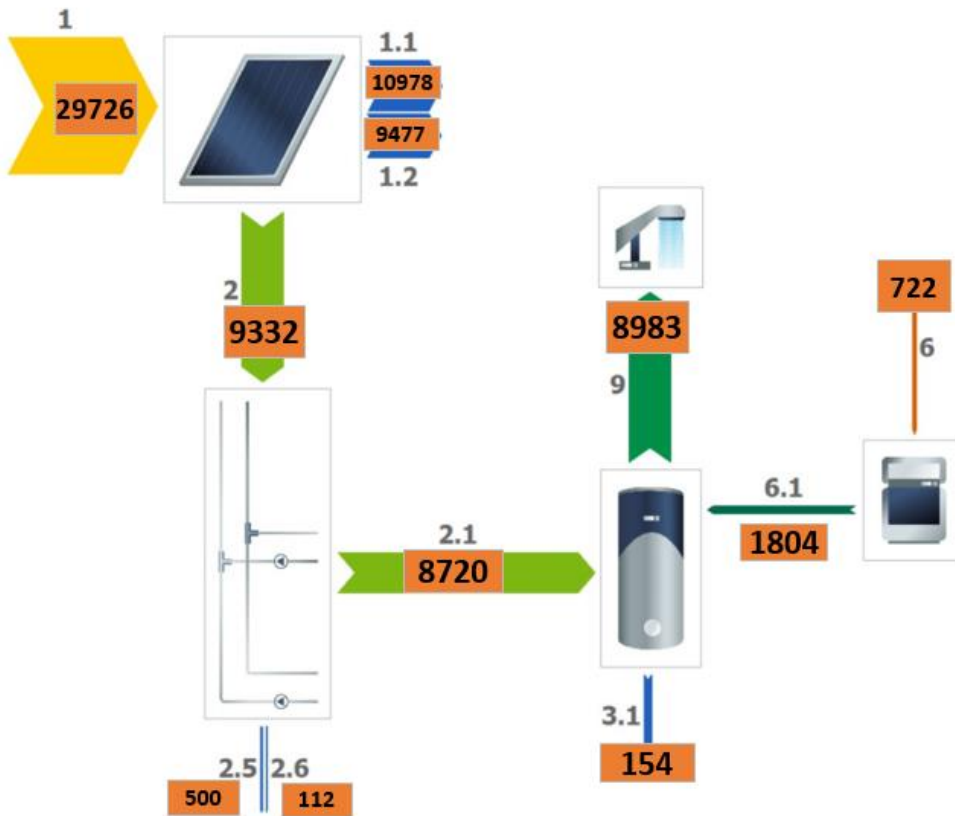
**Παράρτημα II – Προσομοίωση Συστήματος με το Λογισμικό σχεδιασμού και προσομοίωσης ηλιακών θερμικών συστημάτων “TSOL”**

**II.1 Εισαγωγή**

Το T\*SOL είναι το πρόγραμμα προσομοίωσης με το οποίο μπορούμε να υπολογίσουμε την απόδοση ενός θερμικού ηλιακού συστήματος.<sup>50</sup> Με την προσομοίωση λήφθηκε μια ολοκληρωμένη αναφορά του θερμικών φορτίων με όλα τα δεδομένα του συστήματος όπως αναφέρθηκαν παραπάνω, καθώς και λεπτομερή αποτελέσματα προσομοίωσης με κύριο σκοπό την εξεύρεση των αναγκαίων ποσών ενέργειας που πρέπει να αποδώσει η αντλία θερμότητας του συστήματος μας, η οποία φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:

**II.2 Συνοπτική έκθεση**

**Energy balance schematic**



<sup>50</sup> Valentin Software GmbH with the software products PV\*SOL, T\*SOL and GeoT\*SOL for dynamic simulation, design, yield and economic forecasting of photovoltaic, solar thermal and heat pump systems is one of the leading providers of design software for sustainable energy supply. Η δωρεάν χρήση της εφαρμογής γίνεται από το <https://valentin-software.com/en/products/tsol/>



### Legend

1	Irradiation on collector surface (active)	29.786 kWh
1.1	Optical collector losses	10.978 kWh
1.2	Thermal collector losses	9.477 kWh
2	Energy from collector array	9.332 kWh
2.1	Solar energy to storage tank	8.720 kWh
2.5	Internal piping losses	500 kWh
2.6	External piping losses	112 kWh
3.1	Tank losses	1.545 kWh
6	Final energy	722 kWh
6.1	Supplementary energy to tank	1.804 kWh
9	DHW energy from tank	8.983 kWh

### Glossary

1	<b>Irradiation on collector surface (active)</b> Solar energy irradiated onto tilted collector area (active surface area)
1.1	<b>Optical collector losses</b> Reflection and other losses
1.2	<b>Thermal collector losses</b> Heat conduction and other losses
2	<b>Energy from collector array</b> Energy output at collector array outlet (i.e. before piping)
2.1	<b>Solar energy to storage tank</b> Energy from collector loop to storage tank (minus piping losses)
2.5	<b>Internal piping losses</b> Internal piping losses
2.6	<b>External piping losses</b> External piping losses
3.1	<b>Tank losses</b> Heat losses via surface area
6	<b>Final energy</b> Final energy supply to system. This can be supplied from natural gas, oil or electricity (not including solar energy) and takes efficiency into account.
6.1	<b>Supplementary energy to tank</b> Supplementary energy (e.g. boiler) to tank
9	<b>DHW energy from tank</b> Heat from tank (excluding circulation) for DHW consumption

## System

### Collector loop

Manufacturer:	A. Gampierakis & SIA O.E.
Type:	SHE T200S
Number:	9,00
Total gross surface area:	17,64 m <sup>2</sup>
Total active solar surface area:	16,02 m <sup>2</sup>
Inclination (Tilt Angle):	38 °
Orientation:	180 °
Azimuth:	0 °



### Dual coil indirect hot water tank

Manufacturer:	Standard
Type:	Dual coil indirect hot water tank
Volume:	1 m <sup>3</sup>

### Auxiliary heating

Manufacturer:	Standard
Type:	Heat pump
Nominal output:	27 kW

## Site Data

### Climate data

Location:	Athinai
Climate data record:	Athinai
Total annual global irradiation:	1721,224 kWh/m <sup>2</sup>
Latitude:	37,97 °
Longitude:	-23,72 °

### Domestic hot water

Average daily consumption:	0,68 m <sup>3</sup>
Desired temperature:	50 °C
Consumption profile:	Multi-family dwelling
Cold water temperature:	February: 16 °C August: 21 °C
Circulation:	no

## Results of annual simulation

Installed collector power:		6,790 kW
Installed solar surface area (gross):		17,64 m <sup>2</sup>
Irradiation on collector surface (active):	29.785,77 kWh	1.859,29 kWh/m <sup>2</sup>
Energy delivered by collectors:	9.331,81 kWh	582,51 kWh/m <sup>2</sup>
Energy delivered by collector loop:	8.720,01 kWh	544,32 kWh/m <sup>2</sup>
DHW heating energy supply:		8.982,62 kWh
Solar energy contribution to DHW:		8.097,66 kWh
Energy from auxiliary heating:		1.803,9 kWh
<b>Electricity savings:</b>		<b>3.239,1 kWh</b>
<b>CO2 emissions avoided:</b>		<b>2.157,22 kg</b>
<b>DHW solar fraction:</b>		<b>81,8 %</b>
<b>Relative savings of supplementary energy (DIN EN 12977):</b>		<b>81,8 %</b>
<b>System efficiency:</b>		<b>27,2 %</b>

## Solar energy consumption as percentage of total consumption

