



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ**  
**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ**  
**ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΑΝΑΓΚΩΝ**  
**ΣΥΜΒΑΤΙΚΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ 2000m<sup>2</sup> ΚΑΙ**  
**ΠΑΡΕΜΒΑΣΕΙΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΑΠΕ ΓΙΑ ΤΗΝ**  
**ΚΑΛΥΨΗ ΜΕΡΟΥΣ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ**  
**ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ**

Όνοματεπώνυμο (Α.Μ.): **ΚΙΟΥΣΗΣ ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ (7145)**  
**ΧΑΛΙΚΟΥΡΑΣ ΙΩΑΝΝΗΣ (7233)**

Επιβλέπων: Καθηγητής : **κ.ΣΤΑΘΑΤΟΣ ΗΛΙΑΣ**

**Πάτρα, Ιούνιος 2021**

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή

Πάτρα, Ημερομηνία

#### ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

1. Ονοματεπώνυμο, Υπογραφή
2. Ονοματεπώνυμο, Υπογραφή
3. Ονοματεπώνυμο, Υπογραφή

#### **ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΔΗΛΩΣΗ ΦΟΙΤΗΤΩΝ**

Βεβαιώνουμε ότι είμαστε συγγραφείς αυτής της εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχαμε για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης έχουμε αναφέρει τις όποιες πηγές από τις οποίες κάναμε χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επίσης βεβαιώνουμε ότι αυτή η εργασία προετοιμάστηκε από εμάς προσωπικά.

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων των συγγραφέων εκ μέρους του Τμήματος.

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία των φοιτητών Κιούση Ευάγγελου και Χαλικούρα Ιωάννη που την εκπόνησαν. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης οι συγγραφείς/δημιουργοί εκχωρούν στο Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου, μη αποκλειστική άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, προσαρμογής, δημόσιου δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσής τους διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος και για όλο το χρόνο διάρκειας των δικαιωμάτων

πνευματικής ιδιοκτησίας. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο για μελέτη και ανάγνωση δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας των συγγραφέων/δημιουργών ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, αποθήκευση, πώληση, εμπορική χρήση, μετάδοση, διανομή, έκδοση, εκτέλεση, «μεταφόρτωση» (downloading), «ανάρτηση» (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση των συγγραφέων/δημιουργών. Οι συγγραφείς/δημιουργοί διατηρούν το σύνολο των ηθικών και περιουσιακών τους δικαιωμάτων.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Α.Π.Ε.) απαρτίζονται εν συνόλω από πολλές συνιστώσες, η επιλογή μιας εκάστης για την αξιοποίησή της σε ορισμένη εγκατάσταση αποτελεί πολυπαραμετρική επιλογή, κυρίως των διαθέσιμων πόρων που εντοπίζονται (πχ έντονη ηλιοφάνεια, ικανό αιολικό δυναμικό κτλ) στην περιοχή ενδιαφέροντος. Η συνηθέστερα χρησιμοποιούμενες ήπιες μορφές ενέργειας αφορούν σε αξιοποίηση του ηλιακού ή αιολικού δυναμικού, της γεωθερμίας, της υδραυλικής ενέργειας ή της βιομάζας μιας περιοχής. Κάθε περίπτωση εφαρμογής αποτελεί μια ξεχωριστή περίπτωση μελέτης, η οποία σε αρκετές περιπτώσεις αποτελεί εξατομικευμένη προσέγγιση.

Στην περίπτωση των θερμοκηπίων, η χρήση ΑΠΕ αποτελεί μια πολύ δημοφιλή επιλογή τις τελευταίες δεκαετίες. Έχει εφαρμοστεί πληθώρα αξιοποιήσεων σε θερμοκήπια ανά τον κόσμο, βάσει των εκάστοτε χαρακτηριστικών του ενεργειακού δυναμικού της περιοχής εγκατάστασης του θερμοκηπίου. Ως επί το πλείστον, οι αξιοποιήσεις αφορούν την ηλιακή ενέργεια, μέσω φωτοβολταϊκών συστημάτων και την γεωθερμική ενέργεια, μέσω γεωθερμικών αντλιών θερμότητας.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα μελετηθούν δύο μορφές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, η ηλιακή και η γεωθερμική, μέσω της αξιοποίησής τους με τη βοήθεια των φωτοβολταϊκών συστημάτων και γεωθερμικών αντλιών θερμότητας. Ο σκοπός της εργασίας είναι η αξιοποίηση των Α.Π.Ε. για την ενεργειακή κάλυψη των αναγκών μίας θερμοκηπιακής μονάδας 2000m<sup>2</sup>, μέσω της μελέτης δύο ανεξάρτητων σεναρίων, που αφορούν την εκμετάλλευση καθεμιάς από τις προαναφερθείσες ανανεώσιμες πηγές.

Στο πρώτο κεφάλαιο πραγματοποιείται αναφορά και γενική περιγραφή των Α.Π.Ε., των πλεονεκτημάτων, των χρήσεων τους τους και περιγράφονται οι επικρατέστερες αξιοποιήσεις ανανεώσιμων πηγών στα θερμοκήπια. Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα φωτοβολταϊκά συστήματα, η σύνθεση των φ/β πάρκων, τα πλεονεκτήματά τους, οι κατηγορίες εφαρμοζόμενων συστημάτων κα. Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφεται η γεωθερμική ενέργεια, όπου παρατίθενται έννοιες και ορισμοί,

παρουσιάζεται το ελληνικό γεωθερμικό δυναμικό, τα υφιστάμενα γεωθερμικά συστήματα, οι γεωθερμικές αντλίες κα. Στο τελευταίο κεφάλαιο, που αφορά στο ερευνητικό μέρος της εργασίας αναλύονται οι ενεργειακές ανάγκες μίας θερμοκηπιακής μονάδας 2000m<sup>2</sup> και η κάλυψη τους μέσω της χρήσης ΑΠΕ. Πραγματοποιείται τεχνική περιγραφή του θερμοκηπίου, υπολογισμός των ενεργειακών αναγκών σε ετήσια βάση και επιλογή ΑΠΕ για την κάλυψη τους. Η εργασία ολοκληρώνεται με την παράθεση συμπερασμάτων, τα οποία προέκυψαν ως αποτέλεσμα της βιβλιογραφικής αναζήτησης και συγγραφής της εργασίας.

Λέξεις κλειδιά: θερμοκηπιακή μονάδα με ΑΠΕ, γεωθερμία, φωτοβολταϊκά συστήματα

## ABSTRACT

There are many different forms of Renewable energy sources (RES), the choice of each one for its utilization in a certain installation is a multidimensional choice, mainly of the available resources located (eg sunshine intensity, sufficient wind potential, etc.) in the area of interest. The most commonly used forms of RES involve the utilization of the solar or wind potential, geothermal energy, hydraulic energy or biomass. Each application is a separate case study, which in several cases is a personalized approach.

In the case of greenhouses, the use of RES is a very popular choice in recent decades. Numerous utilizations have been implemented in greenhouses around the world, based on the respective characteristics of the energy potential of the greenhouse installation area. Most of the uses are of solar energy utilization, through photovoltaic systems and geothermal energy, through geothermal heat pumps.

In this dissertation two forms of renewable energy sources are studied, solar and geothermal, through their utilization with the help of photovoltaic systems and geothermal heat pumps. The purpose of the work is the utilization of RES for the energy coverage of the needs of a greenhouse unit of 2000m<sup>2</sup>, through the study of two independent scenarios, concerning the exploitation of each of the aforementioned renewable sources.

The first chapter provides a general description of RES, their advantages, their uses and describes the predominant utilizations of renewable sources in greenhouses. The second chapter presents the photovoltaic systems, the composition of the PV parks, their advantages, the categories of applied systems, etc. The third chapter describes the geothermal energy, where concepts and definitions are presented, as also the Greek geothermal potential, the existing geothermal systems, the geothermal pumps etc. The last chapter, which concerns the research part of the work, analyzes the energy needs of a greenhouse unit of 2000m<sup>2</sup> and their coverage through the use of RES. A technical description of the greenhouse is made, as also calculation of energy needs on an annual basis and selection of RES to cover them. The work concludes with the citation of

conclusions, which emerged as a result of the bibliographic search and writing of the work.

Keywords: RES greenhouse, geothermal energy, photovoltaic systems

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Θεωρούμε υποχρέωσή μας να ευχαριστήσουμε τον επιβλέποντα καθηγητή για την πολύτιμη καθοδήγησή του. Επιπλέον, οφείλουμε να αφιερώσουμε την πτυχιακή μας εργασία στους γονείς μας που μας συμπαράσταν όλη τα χρόνια της φοίτησης μας στο Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου.



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΔΗΛΩΣΗ ΦΟΙΤΗΤΗ.....	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.
ABSTRACT .....	v
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	vii
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	viii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	xi
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....	xii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	xiii
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ.....	xiv
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.
1. ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ.....	17
1.1 Εισαγωγή στις ΑΠΕ .....	17
1.2 Πρωτόκολλο του Κιότο και στόχος «20-20-20».....	18
1.3 Κατηγορίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.....	20
1.4 Ενεργειακή κατάσταση σε Ελλάδα και Ευρώπη.....	23
1.5 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα από τη χρήση ΑΠΕ .....	27
1.6 Χρήσεις ΑΠΕ στα θερμοκήπια.....	28

2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ .....	31
2.1 Φωτοβολταϊκό φαινόμενο και αρχή λειτουργίας φ/β κελιού.....	31
2.2 Σύνθεση φ/β πάρκων.....	32
2.3 Πλεονεκτήματα από την εφαρμογή φ/β συστημάτων .....	34
2.4 Βασικοί συντελεστές ενός φ/β σταθμού .....	35
2.5 Παράγοντες επιρροής της απόδοσης ενός φ/β σταθμού.....	37
2.6 Κατηγορίες φ/β σταθμών.....	38
2.6.1 Διασυνδεδεμένα φ/β συστήματα .....	38
2.6.2 Μη διασυνδεδεμένα φ/β συστήματα .....	39
2.6.1 Υβριδικά φ/β συστήματα .....	40
3. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ .....	42
3.1 Γεωθερμική ενέργεια: έννοιες και ορισμοί.....	42
3.2 Γεωθερμικά συστήματα.....	43
3.3 Πλεονεκτήματα χρήσης γεωθερμίας.....	45
3.4 Χρήσεις της γεωθερμίας .....	46
3.5 Γεωθερμικές αντλίες θερμότητας.....	49
4. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΑΝΑΓΚΕΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ 2000m <sup>2</sup> ΚΑΙ ΚΑΛΥΨΗ ΜΕΣΩ ΑΠΕ.....	52
4.1 Περιοχή εγκατάστασης του θερμοκηπίου.....	52
4.2 Ηλιακό, γεωθερμικό δυναμικό και κλιματολογικές πληροφορίες περιοχής .....	54

4.2.1 Κλιματολογικά δεδομένα και ηλιακό δυναμικό.....	54
4.2.2 Γεωθερμικό πεδίο Ν.Κεσσάνης .....	55
4.3 Επιλεγείσα καλλιέργεια .....	57
4.4 Κατασκευή θερμοκηπίου .....	59
4.5 Εκτίμηση ενεργειακών απαιτήσεων .....	62
4.6 Κάλυψη αναγκών μέσω ΑΠΕ .....	73
4.6.1 Χρήση Φ/Β συστημάτων και Α/Θ.....	74
4.6.2 Χρήση γεωθερμικού συστήματος .....	78
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	81
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	85

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Εγκατεστημένη ισχύς μονάδων παραγωγής (ΔΕΔΔΗΕ, 2018).....	26
Πίνακας 2: Εγκατεστημένη ισχύς άμεσων χρήσεων γεωθερμίας στην Ελλάδα (Papachristou, et al., 2019).....	48
Πίνακας 3: Κλιματικά δεδομένα περιοχής μελέτης (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-3/2010, 2014). 55	
Πίνακας 4: : Συντελεστής μεταφοράς θερμότητας $U(W/m^2)$ υλικού κάλυψης (Μεϊντάνης, 2010).....	64
Πίνακας 5: Μέση μηνιαία διάρκεια ηλιοφάνειας σε ώρες (Τσεκούρας & Χριστόπουλος, 2017), .....	67
Πίνακας 6: Υπολογισμός παραμέτρων με τη βοήθεια του MicrosoftExcel.....	69
Πίνακας 7: Υπολογισμός παραμέτρων με τη βοήθεια του Microsoft Excel.....	70
Πίνακας 8: Υπολογισμός $R_N$ με τη βοήθεια του Microsoft Excel.....	71
Πίνακας 9: Υπολογισμός $Q_{cc}$ με τη βοήθεια του Microsoft Excel.....	72
Πίνακας 10: Υπολογισμός $Q_v$ με τη βοήθεια του Microsoft Excel.....	72
Πίνακας 11: Υπολογισμός συνολικών απωλειών και εγκατεστημένης ισχύος με τη βοήθεια του Microsoft Excel.....	73
Πίνακας 12: Χαρακτηριστικά προτεινόμενης $A/\Theta$ .....	77

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1: Εξέλιξη των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου βάσει των υφιστάμενων μέτρων και πολιτικών στην Ελλάδα (Μεζαρτάσογλου, et al., 2019). .....	20
Σχήμα 2: Ενεργειακή παραγωγή από ΑΠΕ στην Ευρώπη (Καρυδάκης, 2016). .....	24
Σχήμα 3: Ενεργειακή παραγωγή από ΑΠΕ στην Ελλάδα (Καρυδάκης, 2016). .....	25
Σχήμα 4: Μερίδιο ΑΠΕ επί τη συνολικής παροχής πρωτογενούς ενέργειας στην Ελλάδα, 1973-2016 (IENE, 2019). .....	26
Σχήμα 5: Χρήσεις γεωθερμικών ρευστών αναλόγως της θερμοκρασίας τους (Αναστόπουλος, 2014). .....	49

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Φωτοβολταϊκό στοιχείο και φ/β φαινόμενο (Γιαννάκης, 2014).....	32
Εικόνα 2: Στοιχεία που συνθέτουν ένα φ/β σταθμό (Γαλανάκης & Βέρδος, 2009).....	33
Εικόνα 3: Από το κελί στο πλαίσιο, στο πάνελ και στη συστοιχία (Solar Direct, 2016). .....	34
Εικόνα 4: Διασυνδεδεμένο φ/β σύστημα (uk.Mathworks, 2013).....	39
Εικόνα 5: Μη διασυνδεδεμένο φ/β σύστημα (SmartCover, 2020).....	40
Εικόνα 6: Σχηματική παρουσίαση ενός γεωθερμικού συστήματος (Φυτίκας & Παπαχρήστου, 2004).....	44
Εικόνα 7: Ανοιχτό σύστημα Α/Θ (Καρυδάκης, 2016).....	50
Εικόνα 8: Περιοχή εγκατάστασης θερμοκηπιακής μονάδας, Ν.Κεσσάνη, Π.Ε. Ξάνθης (Google Maps, 2021). ....	53
Εικόνα 9: Αποτύπωση γεωθερμικού πεδίου Ν.Κεσσάνης (Ασκιτή & Κατσίκια, 2014). 57	
Εικόνα 10: Ενδεικτική απεικόνιση καλλιέργειας σπαραγγιών.....	58
Εικόνα 11: Ενδεικτική απεικόνιση τροποποιημένου πολλαπλού τοξωτού θερμοκηπίου (Τσεκούρας & Χριστόπουλος, 2017).....	60
Εικόνα 12: Τυπική όψη τοξωτού θερμοκηπίου (Γεωθερμική Α.Ε., 2018).....	61
Εικόνα 13: Χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκών στοιχείων.....	76
Εικόνα 14: Αντλία θερμότητας 23kW. ....	77
Εικόνα 15: Ενδεικτική απεικόνιση θέρμανσης θερμοκηπίου με τη βοήθεια της γεωθερμίας (τροποποιημένη εικόνα από το διαδίκτυο).....	79

## ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

A.Π.Ε.: Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

R.E.S.: Renewable Energy Sources

Φ/Β: Φωτοβολταϊκά

Z.N.X.: Ζεστό Νερό Χρήσης

E.E.: Ευρωπαϊκή Ένωση

M.Y.H.Σ.: Μικροί Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί

A/Θ: Αντλία Θερμότητας

Γ.Α.Θ.: Γεωθερμική Αντλία Θερμότητας

Π.Ε.: Περιφερειακή Ενότητα

T.O.T.E.E.: Τεχνική Οδηγία Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος

I.Γ.Μ.Ε.: Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

---

Η διείσδυση των ΑΠΕ στο ενεργειακό μίγμα της χώρας μας είναι περισσότερο από εμφανής τις τελευταίες δεκαετίες. Η αξιοποίηση τους αφορά διάφορες μορφές ανανεώσιμων πηγών αλλά και ποικίλους τρόπους εκμετάλλευσης. Οι επικρατέστερες αξιοποιήσεις αφορούν τα φωτοβολταϊκά συστήματα επί στεγών ή εδάφους, οι ανεμογεννήτριες, η αξιοποίηση οργανικών αποβλήτων (στερεή, υγρή βιομάζα) και η εκμετάλλευση του γεωθερμικού δυναμικού. Η εκμεταλλεύσεις προσανατολίζονται είτε στην εγκατάσταση μονάδων για οικονομική εκμετάλλευση είτε στην ενεργειακή ανεξαρτητοποίηση εγκαταστάσεων.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα μελετηθούν δύο μορφές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, η ηλιακή και η γεωθερμική, μέσω της αξιοποίησής τους με τη βοήθεια των φωτοβολταϊκών συστημάτων και γεωθερμικών αντλιών θερμότητας. Ο σκοπός της εργασίας είναι η αξιοποίηση των Α.Π.Ε. για την ενεργειακή κάλυψη των αναγκών μίας θερμοκηπιακής μονάδας 2000m<sup>2</sup>, μέσω της μελέτης δύο ανεξάρτητων σεναρίων, που αφορούν την εκμετάλλευση καθεμιάς από τις προαναφερθείσες ανανεώσιμες πηγές.

Στο πρώτο κεφάλαιο πραγματοποιείται αναφορά και γενική περιγραφή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και των πλεονεκτημάτων που προκύπτουν από την χρήση τους συγκριτικά με τα συμβατικά καύσιμα. Αναλύονται οι χρήσεις τους και περιγράφονται οι επικρατέστερες αξιοποιήσεις ανανεώσιμων πηγών (φωτοβολταϊκά, γεωθερμία) στα θερμοκήπια.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συστήματα. Αναλύεται το φωτοβολταϊκό φαινόμενο, η σύνθεση των φ/β πάρκων, τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζονται από την χρήση τους, οι συντελεστές και οι παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση ενός φ/β πάρκου, οι κατηγορίες εφαρμοζόμενων φ/β συστημάτων, το νομικό καθεστώς κα.

Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφεται η γεωθερμική ενέργεια. Παρατίθενται έννοιες και ορισμοί που αφορούν τη γεωθερμία, τα πλεονεκτήματα που εμφανίζονται από τις



γεωθερμικές εκμεταλλεύσεις, το ελληνικό γεωθερμικό δυναμικό, τα υφιστάμενα γεωθερμικά συστήματα, οι γεωθερμικές αντλίες, το νομικό καθεστώς κα.

Στο τελευταίο κεφάλαιο, που αφορά στο ερευνητικό μέρος της εργασίας αναλύονται οι ενεργειακές ανάγκες μίας θερμοκηπιακής μονάδας 2000m<sup>2</sup> και η κάλυψη τους μέσω της χρήσης ΑΠΕ. Πραγματοποιείται τεχνική περιγραφή του θερμοκηπίου και χωροθέτηση του, δημιουργία ενδεικτικής κάτοψης του χώρου εγκατάστασης, υπολογισμός των ενεργειακών αναγκών (θέρμανση, πότισμα κτλ) σε ετήσια βάση και η επιλογή ΑΠΕ για την κάλυψη τους (φ/β – γεωθερμία). Εκπονούνται δύο ανεξάρτητα σενάρια κάλυψης, μέσω φ/β και γεωθερμίας αναλύονται τα ενεργειακά, οικονομικά αποτελέσματα και οι περιβαλλοντικές θεωρήσεις σε κάθε περίπτωση.

Τέλος, η εργασία ολοκληρώνεται με την παράθεση συμπερασμάτων, τα οποία προέκυψαν ως αποτέλεσμα της βιβλιογραφικής αναζήτησης και συγγραφής της εργασίας, και επί το πλείστον από τη μελέτη του ερευνητικού μέρους.

## **1.ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ**

---

Το πρώτο κεφάλαιο αποτελεί την εισαγωγή στο πεδίο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπου πραγματοποιείται μια εισαγωγική παρουσίαση των ΑΠΕ, των χρήσεων και των πλεονεκτημάτων τους, καθώς επίσης και της αξιοποίησής τους σε θερμοκηπιακές μονάδες.

### **1.1 Εισαγωγή στις ΑΠΕ**

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ή όπως αλλιώς ονομάζονται, νέες πηγές ή ήπιες μορφές ενέργειας ή πράσινη ενέργεια, συνιστούν ενεργειακές πηγές οι οποίες έχουν προέλευση από φυσικές διεργασίες. Οι πιο ευρέως χρησιμοποιούμενες ανανεώσιμες πηγές είναι η ηλιακή, η αιολική, η υδροηλεκτρική, η γεωθερμική και η ενέργεια από βιομάζα.

Ο χαρακτηρισμός που τους έχει αποδοθεί ως «ήπιες μορφές» περικλείει δυο βασικά γνωρίσματα των ΑΠΕ. Από τη μία, υποδηλώνεται ότι δεν απαιτείται ενεργητική παρέμβαση (εξόρυξη, καύση κα) στο περιβάλλον ώστε να επέλθει αξιοποίηση τους αλλά αρκεί η εκμετάλλευση της υπάρχουσας ενέργειας στη μορφή που εντοπίζεται η κάθε ανανεώσιμη πηγή. Από την άλλη, συνιστούν κατηγορίες ενέργειας που είναι καθαρές και περιβαλλοντικά φιλικές εφόσον δε δημιουργούν επιβαρύνσεις εκπομπών CO<sub>2</sub> ή άλλων τοξικών και ραδιενεργών απόβλητων. Λαμβάνοντας υπόψιν τα ανωτέρω, θεωρούνται ως η βάση της επίλυσης σοβαρών περιβαλλοντικών προβλημάτων τα οποία ταλανίζουν τα κράτη σε παγκόσμια κλίμακα.

Η εκτεταμένη αξιοποίηση των εναλλακτικών πηγών ενέργειας έχει καταστεί στρατηγικός στόχος στην Ευρώπη. Διάφοροι λόγοι έχουν ωθήσει στην κατεύθυνση εγκατάστασης και εκμετάλλευσης συστημάτων ΑΠΕ, όπως είναι η διαρκώς αυξανόμενη ζήτηση ενέργειας από τον παγκόσμιο πληθυσμό, η εξάρτηση των χωρών

από τις εισαγωγές πετρελαίου και η κλιματική αλλαγή εξαιτίας των εκπομπών CO<sub>2</sub> και άλλων αερίων του θερμοκηπίου (GEOCOM, 2015).

Παράγοντες που ορίζουν τον τρόπο και το εύρος αξιοποίησης των ανανεώσιμων πηγών σε επίπεδο μιας χώρας αποτελούν οι γεωγραφικές, οι υπεδαφικές και οι κλιματικές συνθήκες (βροχοπτώσεις, άνεμος, ηλιοφάνεια). Αυτό υποδηλώνει ότι η εκμετάλλευση τους διαφοροποιείται από χώρα σε χώρα, αλλά βεβαίως, επηρεάζεται και από την εκάστοτε πολιτική υποστήριξης των ΑΠΕ. Η διαρκής εξέλιξη των τεχνολογικών και κοστολογικών χαρακτηριστικών τους, αλλά και το πολύ μικρότερο λειτουργικό κόστος που απαιτούν, τις θέτει σε μια ανταγωνιστική θέση συγκριτικά με τα συμβατικά καύσιμα για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών των σύγχρονων κοινωνιών (Καρυδάκης, 2016).

## **1.2 Πρωτόκολλο του Κιότο και στόχος «20-20-20»**

Οι όροι της βιώσιμης ή αειφόρου ή πράσινης ανάπτυξη αποτελούν έννοιες οικείες στο ευρύ κοινό τα τελευταία χρόνια. Αντιπροσωπεύουν ουσιαστικά τη φιλοσοφία, βάση της οποίας η ανάπτυξη στηρίζεται σε λύσεις φιλικές προς το περιβάλλον αλλά και στο χρηστήταυτοχρόνως. Η στροφή σε λύσεις περιβαλλοντικά φιλικότερες δεν εξελίχθηκε απότομα, αλλά έπειτα από διαδοχικές διεθνείς συναντήσεις εκπροσώπων διαφόρων χωρών σχετικά με περιβαλλοντικά προβλήματα παγκόσμιας έκτασης, όπως για παράδειγμα το φαινόμενο του θερμοκηπίου, η εξάντληση των στρωμάτων του όζοντος κτλ.

Σχετικές με τα ανωτέρω ζητήματα συναντήσεις διεξήχθησαν στη Στοκχόλμη (1972), στο Βελιγράδι (1976), στην Τιφλίδα (1977), στο Μόντρεαλ (1987) και κορυφώθηκαν στο Ρίο Ντε Τζανέιρο (1992) και στο Κιότο (1997), οπότε και επικυρώθηκε το περίφημο Πρωτόκολλο του Κιότο, το οποίο σχετίζεται με τις δράσεις των κρατών με στόχο τη μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου (Μαυρομιχάλης, 2014).

Βάσει της Ευρωπαϊκής νομοθεσίας είχε επιβληθεί μείωση των παραγόμενων ποσοτήτων αέριων ρύπων κατά 20% συγκριτικά με το έτος 1990. Ο στόχος έως το 2020 υπήρξε εξοικονόμηση ενέργειας που παράγεται μέσω συμβατικών πηγών κατά 20%. Το σχετικό σχέδιο δράσης έμεινε γνωστό με τον τίτλο «20-20-20» και όσον αφορά την Ελλάδα οι στόχοι έθεταν ως απαιτούμενη συνθήκη τη μείωση των εκπομπών αέριων ρύπων κατά 4%. Τονίζεται ωστόσο ότι οι στόχοι αυτοί δεν έχουν επιτευχθεί προς το παρόν, και επρόκειτο σύντομα να αναθεωρηθούν, στα πλαίσια του επικείμενου εθνικού χάρτη για την ενέργεια έως το 2030 (Parachristou, et al., 2019). Πιο συγκεκριμένα, ακολούθως παρουσιάζονται οι στόχοι που είχαν τεθεί από την ΕΕ για το 2020, 2030 και 2050 (Μεζαρτάσογλου, et al., 2019):

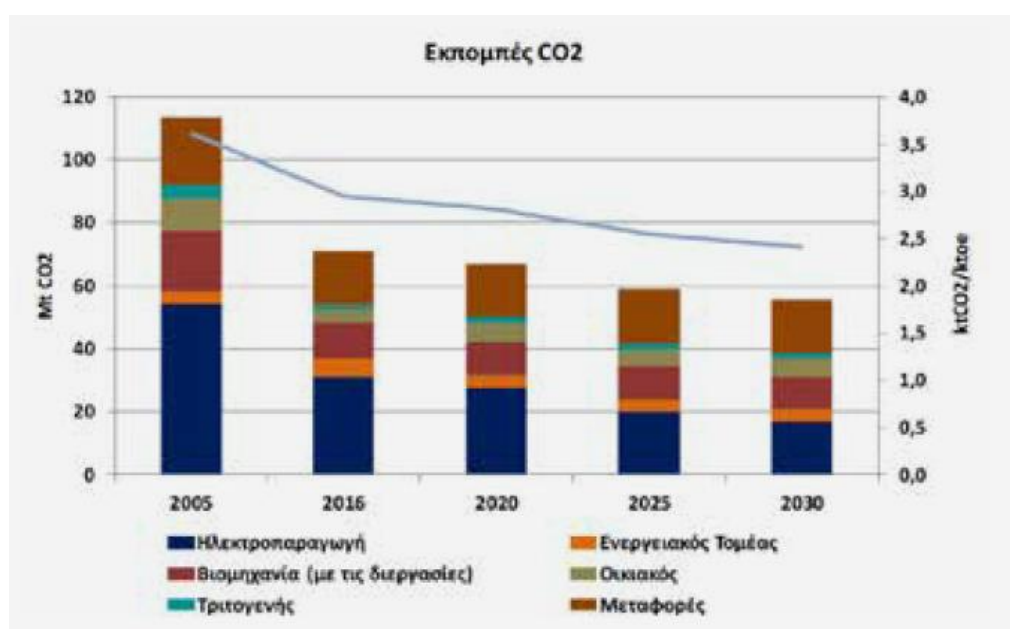
---

Ως το 2020	<ol style="list-style-type: none"><li>1. μείωση των εκπομπών αερίων ρύπων κατά 20% εν συγκρίσει με τις εκπομπές του 1990.</li><li>2. διείσδυση των ΑΠΕ τουλάχιστον κατά 20% στην τελική κατανάλωση ενέργειας.</li><li>3. βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας κατά 20%.</li></ol>
Ως το 2030	<ol style="list-style-type: none"><li>1. μείωση των εκπομπών αερίων ρύπων κατά 40% εν συγκρίσει με τις εκπομπές του 1990 (για την Ελλάδα κατά 16%).</li><li>2. διείσδυση των ΑΠΕ τουλάχιστον κατά 32% στην τελική κατανάλωση ενέργειας.</li><li>3. βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας κατά 32.5%</li><li>4. προώθηση διακρατικών ηλεκτρικών διασυνδέσεων σε ποσοστό 15%.</li></ol>
Ως το 2050	<ol style="list-style-type: none"><li>1. μείωση των εκπομπών αερίων ρύπων κατά 80%-95% εν συγκρίσει με τις εκπομπές του 1990.</li></ol>

---

Κατά το χρονικό διάστημα 2014-2018 πραγματοποιήθηκαν ουσιαστικές αλλαγές στον ενεργειακό τομέα σε εθνικό αλλά και παγκόσμιο επίπεδο. Στα

πλαίσια των διεργασιών της 21<sup>ης</sup> Διάσκεψης των Μερών (COP21) της Σύμβασης των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή (UNFCCC), η οποία πραγματοποιήθηκε στο Παρίσι το 2015, 195 κράτη αποδέχτηκαν μια καινούρια, παγκόσμια, φιλόδοξη αλλά και δεσμευτική συμφωνία για την αντιμετώπιση των επιπτώσεων που επιφέρει η κλιματική αλλαγή. Βάσει αυτής, τα κράτη που συμμετείχαν υποχρεώθηκαν να τροποποιήσουν τα προγράμματά τους με στόχο τη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (Σχήμα 1). Αποτέλεσμα της διάσκεψης υπήρξε ο καθορισμός νέων στόχων και η χάραξη νέας πορείας για το μέλλον του ενεργειακού κλάδου και τη μετάβαση σε μια νέα ενεργειακή εποχή. Η Ελλάδα αποδέχτηκε την Συμφωνία των Παρισίων το 2016 με τον Ν. 4426/2016 (Μεζαρτάσογλου, et al., 2019).



Σχήμα 1: Εξέλιξη των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου βάσει των υφιστάμενων μέτρων και πολιτικών στην Ελλάδα (Μεζαρτάσογλου, et al., 2019).

### 1.3 Κατηγορίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας

Με βάση το νόμο Ν.2773/1999 και την οδηγία 2009/28/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου ως ανανεώσιμες πηγές ενέργειας θεωρούνται οι ακόλουθες (Καραϊσάς, 2014):

---

### ***Αιολική Ενέργεια***

---

Αφορά την ενέργεια που λαμβάνεται από τον άνεμο. Αξιοποιείται από τα αρχαία χρόνια για την άλεση σιτηρών σε ανεμόμυλους και την κίνηση ιστιοφόρων πλοίων. Στη σύγχρονη εποχή, η τεχνολογική εξέλιξη επιτρέπει την εκμετάλλευση της για παραγωγή ηλεκτρισμού σε μικρές κοινότητες, βιοτεχνίες κα, αλλά και σε μεγαλύτερης κλίμακας έργα. Οι χρησιμοποιούμενες ανεμογεννήτριες είναι δυο τύπων, οριζόντιου ή κάθετου άξονα και τα αιολικά πάρκα συνήθως τοποθετούνται είτε παράκτια ή σε ορεινές περιοχές ή σε άλλες περιοχές με ικανό αιολικό δυναμικό (Κανάκης & Θεοχάρης, 2013).

---

### ***Ηλιακή Ενέργεια***

---

Αφορά την αξιοποίησης της ηλιακής ακτινοβολίας και αξιοποιείται με δύο τρόπους: μέσω παθητικών ή ενεργητικών ηλιακών συστημάτων και μέσω φωτοβολταϊκών. Η θερμική ακτινοβολία που λαμβάνεται, αξιοποιείται είτε για θέρμανση νερού ή για την ηλεκτροπαραγωγή με συστήματα ατμού είτε με τα φ/β πλαίσιατα οποία βασίζονται στο φωτοηλεκτρικό φαινόμενο καθιστούν εφικτή την ηλεκτροπαραγωγή. Η απόδοσή τους ποικίλλει αναλόγως της ηλιοφάνειας στην περιοχή εγκατάστασής τους (Κανάκης & Θεοχάρης, 2013).

---

### ***Γεωθερμική Ενέργεια***

---

Αφορά την ενέργεια που προέρχεται από υπόγεια θερμά νερά με θερμοκρασία μεγαλύτερη των 25°C. Σε χαμηλές θερμοκρασίες αξιοποιείται για θερμικές χρήσεις σε μονάδες παραγωγής όπως θερμοκήπια, κτηνοτροφικές εγκαταστάσεις, υδατοκαλλιέργειες, αλλά και σε οικείες, δημόσια κτίρια κα. Τα γεωθερμικά πεδία που διαθέτουν υψηλές θερμοκρασίες είναι κατάλληλα για ηλεκτροπαραγωγή. Η Ελλάδα διαθέτει αρκετά γεωθερμικά πεδία, κυρίως στη Βόρεια Ελλάδα, το Αιγαίο, την Α.Στερεά και την Εύβοια (Μενδινός & Καρύτσας, 2010).

---

### ***Υδραυλική Ενέργεια***

---

Αποτελεί εναλλακτική μορφή ενέργειας, η οποία στηρίζεται στη ροή ύδατος το οποίο

---

---

κατέρχεται από ορισμένο ύψος. Από τα αρχαία χρόνια χρησιμοποιήθηκε σε νερόμυλους, ενώ πλέον αξιοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε υδροηλεκτρικές μονάδες. Στις ΑΠΕ συγκαταλέγονται μόνο οι μονάδες με ισχύ ως 30MW μιας και δεν επιφέρουν περιβαλλοντικές επιπτώσεις, σε αντίθεση με μεγαλύτερα έργα (τεχνητές λίμνες και φράγματα) τα οποία θέτουν απαιτήσεις σοβαρών παρεμβάσεων για την εγκατάσταση και τη λειτουργία των υδροηλεκτρικών σταθμών μη συνάδοντας πλήρως με τις επιταγές των ανανεώσιμων πηγών. Το νερό κατόπιν της χρήσης του, είναι εφικτό να χρησιμοποιηθεί για άρδευση εκτάσεων ή να επιστραφεί στη ροή του ποταμού (Κανάκης & Θεοχάρης, 2013).

---

### ***Βιομάζα***

---

Αφορά την παραγωγή αερίου καυσίμου από οργανικά απορρίμματα προερχόμενα από οικιακή ή βιομηχανική χρήση, υπολείμματα γεωργικών και κτηνοτροφικών εγκαταστάσεων, ξυλείας και άλλων υλικών φυτικής προέλευσης. Το βιοαέριο θεωρείται καθαρή ενέργεια καθώς κατά την καύση του απελευθερώνονται ατμοσφαιρικοί ρύποι. Παρόλα αυτά, αποτελεί λιγότερο επιβλαβή λύση για το περιβάλλον συγκριτικά με τη χρήση ορυκτών καυσίμων (Κανάκης & Θεοχάρης, 2013).

---

### ***Κυματική & Παλιρροϊκή Ενέργεια***

---

Η κυματική ενέργεια παράγεται εξαιτίας της δυναμικής ενέργειας των κυμάτων και αξιοποιείται από παράκτιες εγκαταστάσεις σε περιοχές με μεγάλο δυναμικό κυματισμού. Στην παλιρροϊκή ενέργεια αξιοποιείται η παλίρροια, δηλαδή η υψομετρική διαφορά της επιφάνειας των υδάτων σε διάφορες χρονικές στιγμές (Κανάκης & Θεοχάρης, 2013).

---

Πέραν των προαναφερθεισών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας υπάρχει και η ωσμωτική ενέργεια, η οποία είναι αποτέλεσμα ανάμειξης γλυκού και θαλασσινού νερού και βρίσκεται υπό έρευνα για την αξιοποίηση της θερμοκρασιακής διαφοράς μεταξύ των στρωμάτων των ωκεανών με στόχο την παραγωγή ενέργειας.

Τέλος, οι ΑΠΕ είναι εφικτό να αξιοποιηθούν με διάφορους τρόπους. Οι εκμεταλλεύσεις, κατά κύριο λόγο περιλαμβάνουν εγκαταστάσεις ανανεώσιμων πηγών κατά μόνος ή σε συνδυασμό μεταξύ τους ή και με μη ανανεώσιμες πηγές (υβριδικά

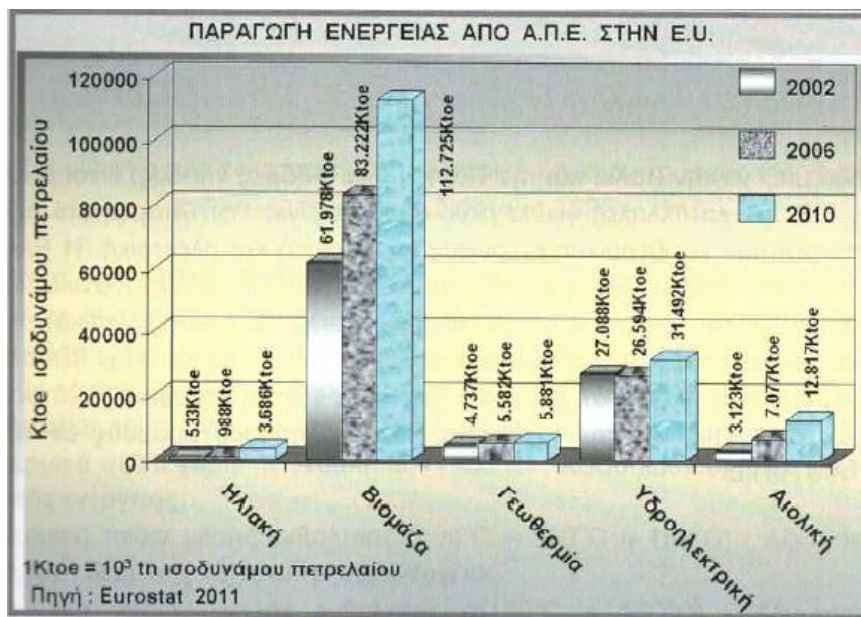
συστήματα). Από τους πλέον συνήθεις συνδυασμούς ΑΠΕ αποτελεί η ταυτόχρονη αξιοποίηση αιολικού και ηλιακού δυναμικού, μέσω συνδυασμένων συστημάτων ανεμογεννητριών και φωτοβολταϊκών συστημάτων.

#### **1.4 Ενεργειακή κατάσταση σε Ελλάδα και Ευρώπη**

Ανατρέχοντας στο παρελθόν, η αξιοποίηση και η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών υπήρξε έντονα διαδεδομένη στη χώρα μας, κυρίως μέσω της αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας (ηλιακοί θερμοσίφωνες) για την κάλυψη αναγκών σε ΖΝΧ (ζεστό νερό χρήσης). Επιπλέον, η Ελλάδα έχει δράση ως πρωτοπόρος στην αξιοποίηση του αιολικού δυναμικού της (χρήση ανεμογεννητριών), αλλά και του ηλιακού δυναμικού, μέσω φωτοβολταϊκών συστημάτων με στόχο την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ωστόσο, παρά το τεράστιο εγχώριο δυναμικό, η αντίστοιχη βιομηχανία παραγωγής συστημάτων ΑΠΕ της χώρας δεν έχει αναπτυχθεί αναλόγως, με εξαίρεση τη βιομηχανία θερμικών ηλιακών συστημάτων (Μεζαρτάσογλου, et al., 2019).

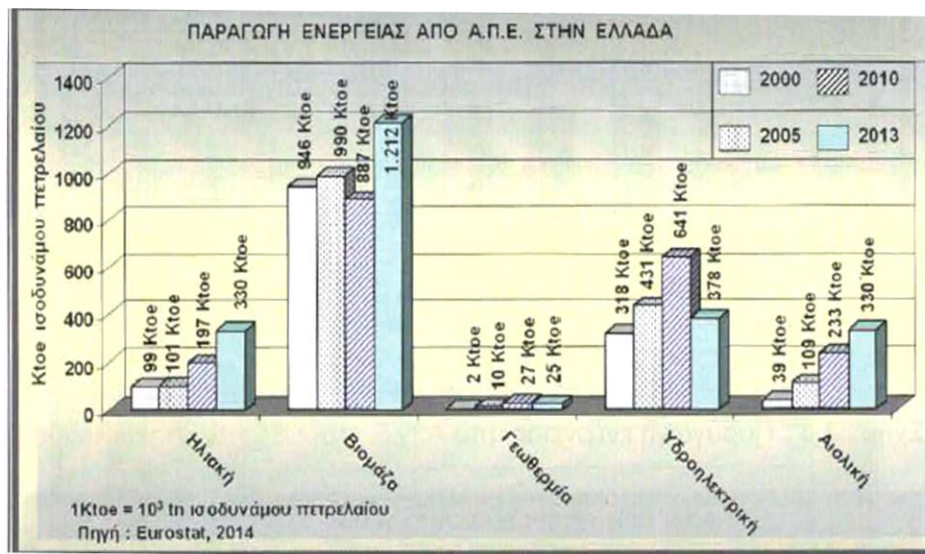
Ακολουθώντας απεικονίζεται με τη βοήθεια ραβδογραμμάτων, η ενεργειακή παραγωγή ανά κατηγορία ανανεώσιμης πηγής σε ΕΕ και Ελλάδα για 3 χρονικά ορόσημα, 2002, 2006 και 2010 (Σχήμα 2 & 3). Όπως παρουσιάζεται, στην ΕΕ επικρατέστερη υπήρξε για όλα τα έτη η αξιοποίηση της ενέργειας από βιομάζα, ενώ τη μικρότερη εκμετάλλευση παρουσιάζει η ηλιακή ενέργεια.





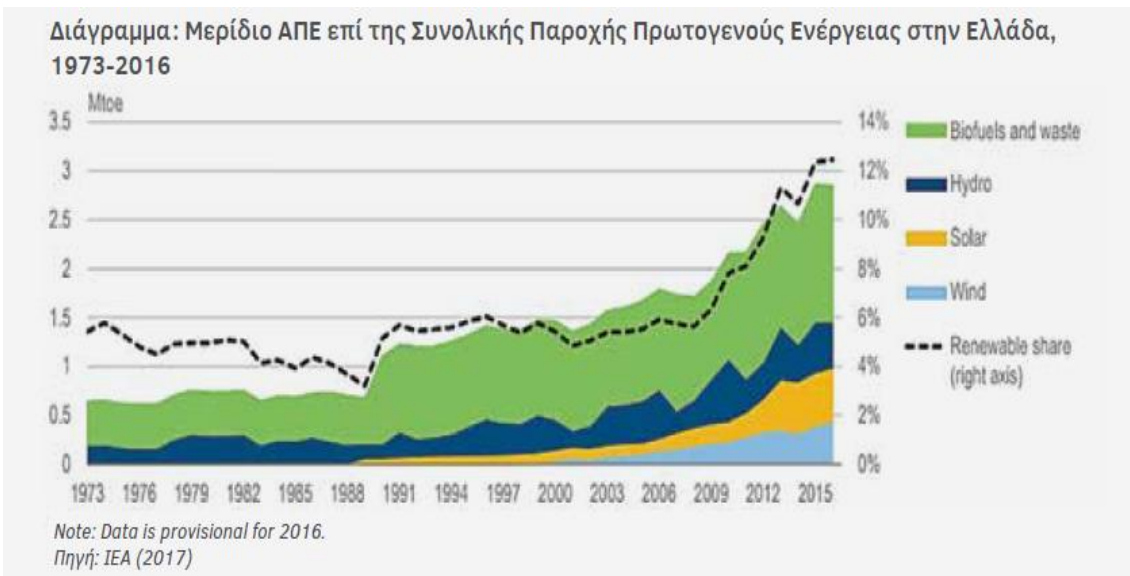
Σχήμα 2: Ενεργειακή παραγωγή από ΑΠΕ στην Ευρώπη (Καρυδάκης, 2016).

Σχετικά με την Ελλάδα, η εκμετάλλευση της βιομάζας, επίσης, πρωτοστατεί, ακολουθούμενη από την υδροηλεκτρική ενέργεια (αξιοποίηση κυρίως μέσω ΜΥΗΣ, ως μονάδες εφεδρείας). Το μικρότερο μερίδιο κατέχει η γεωθερμία, η οποία παρά το έντονο δυναμικό της στην ελληνική επικράτεια, δεν έχει αναπτυχθεί σε σημαντικό βαθμό. Παρόλα αυτά, παρουσιάζεται μια αύξηση της εγκατεστημένης γεωθερμικής ισχύος από το 2016 ως το 2019, κατά 17%, σύμφωνα με την Papachristouet.al (2019), εξαιτίας των νέων μονάδων αξιοποίησης της γεωθερμίας σε θερμοκήπια στη Β. Ελλάδα, αλλά και των γεωθερμικών αντλιών που έχουν εγκατασταθεί.



Σχήμα 3: Ενεργειακή παραγωγή από ΑΠΕ στην Ελλάδα (Καρυδάκης, 2016).

Ακολούθως, παρουσιάζεται διάγραμμα με το οποίο απεικονίζεται το ποσοστό που καταλαμβάνει κάθε ανανεώσιμη πηγή ενέργειας επί της συνολικής παραγωγής πρωτογενούς ενέργειας στην Ελλάδα. Όπως διαφαίνεται το μεγαλύτερο ποσοστό καταλαμβάνει η εκμετάλλευση της βιομάζας και των βιοαποβλήτων, ακολουθούμενη από την υδροηλεκτρική ενέργεια. Επίσης, η ηλιακή και αιολική ενέργεια, παρουσιάζονται να αναλαμβάνουν μεγαλύτερο μερίδιο από το 2006 και ακολούθως.



Σχήμα 4: Μερίδιο ΑΠΕ επί τη συνολικής παροχής πρωτογενούς ενέργειας στην Ελλάδα, 1973-2016 (IENE, 2019).

Σχετικά με την εγκατεστημένη ισχύ των μονάδων ΑΠΕ και συγκριτικά με τους συμβατικούς θερμικούς σταθμούς (γαιάνθρακα, φυσικού αερίου, πετρελαίου), παρατίθεται ο ακόλουθος πίνακας. Όπως φαίνεται, η αιολική ενέργεια αποτελεί τον κυρίαρχο ανταγωνιστή των θερμικών σταθμών σε επίπεδα ηλεκτροπαραγωγής με βάση τα στοιχεία του ΔΕΔΔΗΕ για το 2018. Ακολούθως, οι φωτοβολταϊκοί σταθμοί επί στεγών ή εδάφους ακολουθούν, καταλαμβάνοντας μερίδιο 6.96% επί της συνολικής ηλεκτροπαραγωγής.

**Πίνακας 11: Εγκατεστημένη Ισχύς (MW) Μονάδων Παραγωγής στα ΜΔΝ - 2017**

Κατηγορίες	Εγκατεστημένη Ισχύς (MW)	Ποσοστό (%)
Θερμικοί Σταθμοί	1.845,3	79,18%
Αιολικά	322,23	13,83%
Φωτοβολταϊκά	135,88	5,83%
Στέγης-NET	26,4	1,13%
Βιομάζα	0,5	0,02%
Μικρά Υδροηλεκτρικά	0,3	0,01%
<b>Σύνολο</b>	<b>2.330,61</b>	<b>100,00%</b>

Πίνακας 1: Εγκατεστημένη ισχύς μονάδων παραγωγής (ΔΕΔΔΗΕ, 2018).

## 1.5 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα από τη χρήση ΑΠΕ

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας συγκριτικά με τα συμβατικά καύσιμα εμφανίζουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, που επηρεάζουν τον τρόπο με τον οποίο κατανέμονται. Αναφορικά με τα κυριότερα πλεονεκτήματα από την χρήση ΑΠΕ, αναφέρονται τα ακόλουθα (Κανάκης & Θεοχάρης, 2013; Παπαιωάννου, et al., 2009):

- Συνιστούν ανεξάντλητες πηγές συγκριτικά με τα συμβατικά καύσιμα.
- Παράγουν σχεδόν μηδενικούς ρύπους κατά τη χρήση τους και επιφέρουν μηδαμινές οικολογικές επιπτώσεις στις περιοχές εγκατάστασης τους.
- Συνιστούν εγχώριες ενεργειακές πηγές και εισφέρουν στην ενεργειακή ανεξαρτητοποίηση και ασφάλεια μιας χώρας.
- Δεν θέτουν γεωγραφικούς περιορισμούς, αφού σχεδόν παντού αναλόγως των ιδιοτήτων κάθε περιοχής μπορούν να επιλεγούν ανανεώσιμες πηγές ή συνδυασμό αυτών βάσει των αναγκών της περιοχής και των χρηστών τους.
- Είναι απλές στην κατασκευή και τη συντήρηση, έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής και προωθούνται μέσω κρατικών πολιτικών.
- Διαθέτουν χαμηλό λειτουργικό κόστος που δεν επηρεάζεται από τις διακυμάνσεις της οικονομίας.
- Εισφέρουν σε επίπεδο οικονομικής και κοινωνικής ανάπτυξης υποβαθμισμένων περιοχών, δημιουργώντας νέες θέσεις εργασίας και επαγγελματικές εξειδικεύσεις.

Πέρα από τα πλεονεκτήματα, η χρήση ανανεώσιμων πηγών παρουσιάζει και ορισμένα μειονεκτήματα, κυριότερα εκ των οποίων είναι τα παρακάτω (Κανάκης & Θεοχάρης, 2013; Παπαιωάννου, et al., 2009):

- Εμφανίζουν δυσκολία στην κάλυψη αναγκών μεγάλων αστικών κέντρων.
- Έχουν μικρούς συντελεστές απόδοσης με αποτέλεσμα να περιορίζονται σε χρήσεις συμπληρωματικές ως προς τα συμβατικά καύσιμα.

- Χαρακτηρίζονται από χαμηλή πυκνότητα ισχύος με αποτέλεσμα να απαιτείται υψηλόκόστος εγκατάστασης και εφαρμογές σε μεγάλες εκτάσεις γης.
- Συνιστούν ακριβές επενδύσεις ανά μονάδα εγκατεστημένης ισχύος.
- Παρουσιάζουν σημαντική διακύμανση στην παραγωγή τους και σε αρκετές περιπτώσεις θέτουν απαιτήσεις αποθηκευτικών (συσσωρευτές) ή εφεδρικών πηγών ενέργειας.
- Χαρακτηρίζονται από διάσπαρτο ενεργειακό δυναμικό, το οποίο μεταφέρεται δύσκολα ή καθόλου, ενώ εμφανίζουν διακύμανση προς τη διαθεσιμότητα και την απόδοση τους εξαιτίας κλίματος ή και εποχικότητας.

Συνολικά, θα μπορούσε να ειπωθεί πως τα μειονεκτήματα που προαναφέρθηκαν είναι σε θέση να ισοσταθμίσουν τα πλεονεκτήματα και επομένως να εξαφανιστεί το πλεονέκτημα αξιοποίησης των ΑΠΕ. Ωστόσο, καθίσταται κατανοητό πως με μοναδικό κριτήριο τη χαμηλή οικολογική όχληση που επιφέρουν και εξαιτίας της ανεξάντλητης φύσης τους, είναι εφικτό να τεθούν στέρεα θεμέλια και προοπτικές αξιοποίησης τους βάσει των οποίων να προωθούνται ενέργειες που να μειώνουν την επίδραση των μειονεκτημάτων που αυτές διαθέτουν.

## **1.6 Χρήσεις ΑΠΕ στα θερμοκήπια**

Τα θερμοκήπια αποτελούν κατασκευές οι οποίες αποσκοπούν στην προστασία των καλλιεργειών απέναντι σε δυσμενείς καιρικές συνθήκες και στην παροχή ικανοποιητικών συνθηκών για την ανάπτυξη και παραγωγή προϊόντων καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Εντός του θερμοκηπίου, οι παράγοντες ανάπτυξης των φυτών, όπως είναι το φως, η θερμοκρασία, η υγρασία και το CO<sub>2</sub>, δύναται να ρυθμίζονται στα βέλτιστα επίπεδα. Ένα ορθώς σχεδιασμένο θερμοκήπιο οφείλει να εξασφαλίζει και να διατηρεί τους κλιματολογικούς παράγοντες, όσο γίνεται εγγύτερα στις προκαθορισμένες βέλτιστες τιμές. Επομένως, είναι απαραίτητο να υπάρχει υψηλή ποσότητα διερχόμενης ακτινοβολίας, μικρή κατανάλωση θερμότητας, ικανός

αερισμός, επαρκής μηχανική αντοχή της κατασκευής, χαμηλό κόστος κατασκευής και λειτουργίας (VonElsner, et al., 2006)

Η Ελλάδα τοποθετείται στην 7<sup>η</sup> θέση μεταξύ των χωρών της Ευρωπαϊκής Ένωσης αναφορικά με τη θερμοκηπιακή εδαφική κάλυψη, με το 45% αυτής να εντοπίζεται στην Κρήτη. Διαθέτει μεγάλα περιθώρια για επιπλέον ανάπτυξη αν ληφθεί υπόψη ότι η Ισπανία έχει επτά φορές μεγαλύτερη κάλυψη και η Ιταλία πέντε. Στη χώρα μας, κατά κύριο λόγο τα θερμοκήπια κατασκευάζονται με πλαστικό κάλυμμα με συνέπεια να εντοπίζεται υστέρηση στη διαμόρφωση ελεγχόμενων συνθηκών για ποιοτική και ποσοτική παραγωγή (Αρέστης & Καραλή, 2016).

Αναφορικά με τη χρήση ΑΠΕ στα θερμοκήπια ως εναλλακτικούς τρόπους για την εξοικονόμηση συμβατικών ενεργειακών πόρων, έχουν αξιοποιηθεί η ηλιακή ενέργεια, η γεωθερμία και η βιομάζα αποδίδοντας καλά αποτελέσματα. Η αιολική ενέργεια εξαιτίας του υψηλού κόστους εγκατάστασης και συντήρησης που εμφανίζει, έχει αξιοποιηθεί σε μικρότερο βαθμό ή επικουρικά συνδυασμένη με κάποια από τις προαναφερθείσες ΑΠΕ για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών.

Ορισμένοι εναλλακτικοί τρόποι εξοικονόμησης συμβατικών ενεργειακών πόρων κατά τη διάρκεια του χειμώνα αποτελούν η καύση βιομάζας και η γεωθερμία, όπου αυτή είναι διαθέσιμη. Κατά τη θερινή περίοδο, η υψηλή ηλιοφάνεια καθιστά κατάλληλη την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας για την αποτελεσματική ανάπτυξη των καλλιεργειών υπό ελεγχόμενες συνθήκες αλλά και για την παραγωγή ενέργειας μέσω φωτοβολταϊκών συστημάτων, εντάσσοντας τη χρήση εναλλακτικών, ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στις επιλογές για την αυτονομία μιας θερμοκηπιακής μονάδας, με συνεπακόλουθη την εξοικονόμηση ενέργειας καθώς και των λειτουργικών εξόδων, αλλά και την προστασία του περιβάλλοντος (Αρέστης & Καραλή, 2016).

Συμπερασματικά, όσον αφορά την επιλογή της ανανεώσιμης ενεργειακής πηγής που ενδέχεται να χρησιμοποιηθεί σε μια θερμοκηπιακή μονάδα, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι κλιματολογικές συνθήκες και τα πρότυπα καλλιέργειας. Επομένως, η επιλογή μεταξύ αξιοποίησης ηλιακής, αιολικής, γεωθερμικής και ενέργειας από βιομάζα θα πρέπει να βασίζεται στις δυνατότητες και το ενεργειακό

δυναμικό της περιοχής αλλά και τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά της εγκατάστασης (απαιτήσεις, διαθέσιμες εκτάσεις κα).

## 2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

---

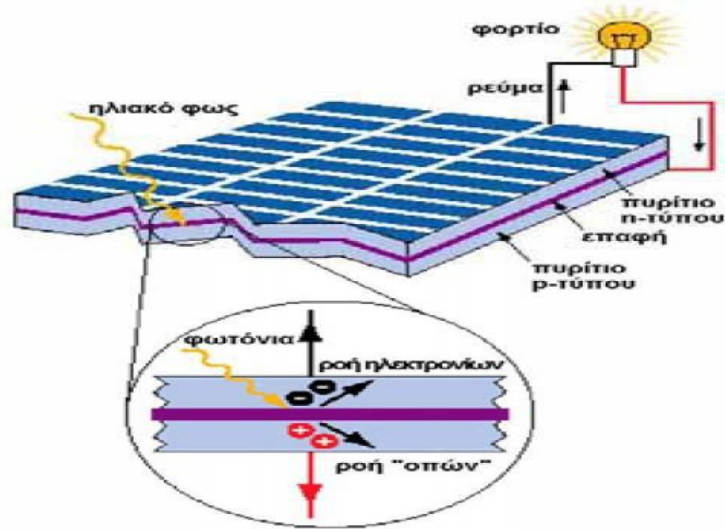
Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα φωτοβολταϊκά συστήματα και αναλύονται εκείνες οι συνιστώσες και τα χαρακτηριστικά τους που κρίνονται απαραίτητα για την μετέπειτα εκπόνηση του ερευνητικού μέρους. Πιο συγκεκριμένα, αναλύεται το φωτοβολταϊκό φαινόμενο, περιγράφεται η λειτουργία των φωτοβολταϊκών στοιχείων, η σύνθεση των φ/β πάρκων, τα πλεονεκτήματα τους κα.

### 2.1 Φωτοβολταϊκό φαινόμενο και αρχή λειτουργίας φ/β κελιού

Η ηλιακή ενέργεια αξιοποιείται μέσω τριών διαφορετικών τρόπων: με τα παθητικά, τα ενεργητικά ή τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Τα πρώτα δύο εκμεταλλεύονται τη θερμότητα που εκπέμπει ο ήλιος, αποσκοπώντας στη θέρμανση χώρων και νερού. Από την άλλη, τα φ/β συστήματα αξιοποιούν την εκπεμπόμενη ακτινοβολία με στόχο την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος μέσω του φ/β φαινομένου (Φραγκιαδάκης, 2006).

Το φ/β φαινόμενο είναι μια φυσική διεργασία όπου σε ένα φωτοβολταϊκό κελί, αποτελούμενο από ημιαγώγιμο υλικό, παράγεται τάση λόγω της έκθεσης του σε ηλιακή ακτινοβολία. Τοιούτοτρόπως από το ηλιακό φως παράγεται ηλεκτρική ισχύς (Prince, 1970). Η ηλιακή ακτινοβολία συντίθεται από φωτόνια με διαφορετικά ποσά ενέργειας το καθένα, το οποίο σημαίνει και διαφορετικά μήκη κύματος. Τα φ/β κελιά διαθέτουν στη δομή τους υλικό το οποίο απορροφά τα φωτόνια και με αυτό τον τρόπο παράγονται ελεύθερα ηλεκτρόνια με τη βοήθεια του φ/β φαινομένου. Τα φωτόνια προσπίπτουν στο φ/β κελί και υφίστανται είτε ανάκλαση, είτε απορρόφηση είτε το διαπερνούν. Αυτά που απορροφώνται ωθούν τα ηλεκτρόνια του φ/β κελιού σε κίνηση οδηγώντας στην ηλεκτροπαραγωγή (Parida, et al., 2011). Παρακάτω παρουσιάζεται η δομή ενός φωτοβολταϊκού κελιού και η λειτουργία του φωτοβολταϊκού φαινομένου.





Εικόνα 1: Φωτοβολταϊκό στοιχείο και φ/β φαινόμενο (Γιαννάκης, 2014).

Τα υλικά που διατίθενται στη φύση μπορούν να διαχωριστούν σε 3 γενικές ομάδες σύμφωνα με τα ηλεκτρικά τους χαρακτηριστικά. Αυτές είναι οι ομάδες των αγωγών, των μονωτών και των ημιαγωγών. Εξ αυτών, οι ημιαγωγοί είναι εκείνοι που αξιοποιούνται για τη μετατροπή της ενέργειας των φωτονίων σε ηλεκτρική.

Ο τομέας των κατασκευών των φ/β συστημάτων αξιοποιεί 2 τύπους υλικών για τη δημιουργία των φ/β στοιχείων: το άμορφο και το κρυσταλλικό πυρίτιο (μονοκρυσταλλικό ή πολυκρυσταλλικό). Πέρα από το πυρίτιο, άλλα υλικά που αξιοποιούνται είναι το κάδμιο, το τελούριο κα (El Chaar, et al., 2011). Οι αποδόσεις των φ/β στοιχείων κυμαίνονται μεταξύ 15% (πολυκρυσταλλικό) έως 22% (μονοκρυσταλλικό).

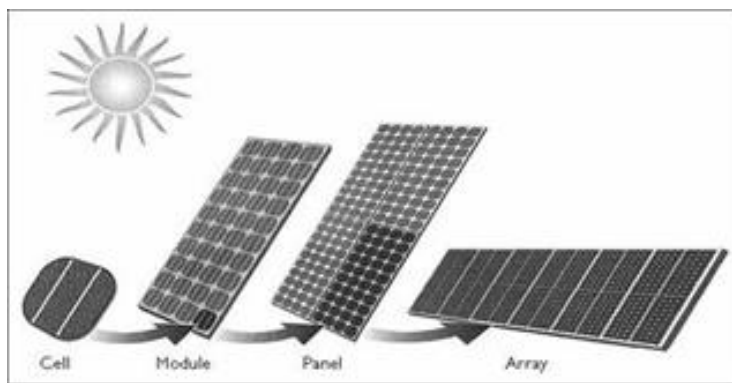
## 2.2 Σύνθεση φ/β πάρκων

Το πιο μικρό στοιχείο ενός φ/β συστήματος αποτελεί το φωτοβολταϊκό κελί ή κύτταρο, το οποίο είναι ένας ημιαγωγός μικρού πάχους που συντίθεται από 2

ημιαγώγιμα στρώματα σε επαφή. Με την πρόσπτωση ηλιακής ακτινοβολίας πάνω του, εμφανίζει συνεχή τάση στα άκρα του και αποκτά τη δυνατότητα να παράγει ηλεκτρική ενέργεια(Shittu, et al., 2019). Κατά βάση τα 2 στρώματα κατασκευάζονται από το ίδιο υλικό και το κελί λαμβάνει τη μορφή μιας επίπεδης πλάκας με εσωτερική επαφή των ημιαγώγιμων υλικών. Η κάθε πλευρά της εν λόγω πλάκας έχει διαστάσεις που κυμαίνονται μεταξύ 120–160mm(Φραγκιαδάκης, 2006).

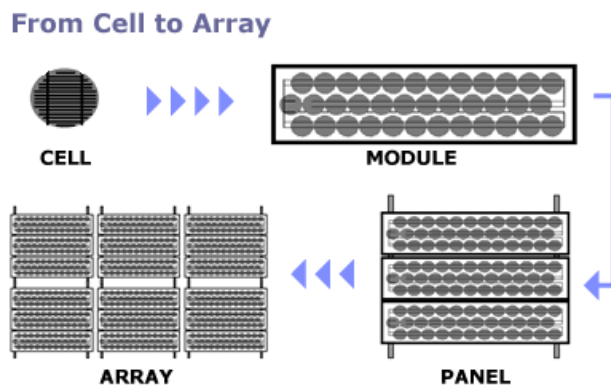
Τα ηλιακά κύτταρα παρουσιάζουν αποδόσεις (λόγος παραγόμενης ηλεκτρικής προς ηλιακή ενέργεια πρόσπτωσης), οι οποίες εξαρτώνται από την τεχνολογία των υλικών κατασκευής τους. Σε θεωρητικό επίπεδο, οι αναφορές κάνουν λόγο για αποδόσεις ως 40%, στην πραγματικότητα όμως, όπως προαναφέρθηκε οι αποδόσεις των πάνελ πλησιάζουν το 20-22% (ΤΕΕ, 2011).

Η σύνδεση πολλών στοιχειωδών φ/β μονάδων (κυττάρων) συνθέτει ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο. Τα πλαίσια μπορούν να τεθούν σε ηλεκτρική σύνδεση μεταξύ τους με δύο τρόπους: είτε εν σειρά είτε εν παραλλήλω. Ο τρόπος σύνδεσης εξαρτάται από το επιδιωκόμενο αποτέλεσμα (αύξηση ρεύματος ή τάσης). Όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη ενότητα, η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία (φωτόνια) θέτει σε κίνηση τα ηλεκτρόνια του ημιαγώγιμου υλικού και οδηγεί στην ηλεκτροπαραγωγή, όπου με την κατάλληλη σύνδεση των πλαισίων παράγεται ηλεκτρικό ρεύμα (Hasan & Parida, 2016). Τα φ/βκύτταρακαθώς τοποθετούνται σε ομάδες και συνθέτουν τα φ/β πλαίσια παράγουν ισχύ που κυμαίνεται μεταξύ 20W και 500W.



Εικόνα 2: Στοιχεία που συνθέτουν ένα φ/β σταθμό (Γαλανάκης & Βέρδος, 2009).

Η σύνδεση πολλαπλών πλαισίων, με κατάλληλο τρόπο από μηχανικής αλλά και ηλεκτρικής σκοπιάς, δημιουργεί το φ/β πάνελ. Εν τέλει ένα σύνολο από φ/β πάνελ, τα οποία τοποθετούνται σε μια ενιαία βάση στήριξης μαζί με όλα τα απαραίτητα παρελκόμενα στήριξης δημιουργεί μια συστοιχία. Αυτή είναι μια αυτοτελής μονάδα ανεξάρτητη και ολοκληρωμένη μηχανικά, σε θέση να παράγει ηλεκτρική ισχύ, όπως απεικονίζεται ακολούθως.



Εικόνα 3: Από το κελί στο πλαίσιο, στο πάνελ και στη συστοιχία (Solar Direct, 2016).

Ένα σύνολο από φ/β συστοιχίες μαζί με όλα τα απαραίτητα επιπλέον στοιχεία, όπως θα παρουσιαστούν ακολούθως (inverter, μετασχηματιστές, πίνακες ελέγχου, μέσα διακοπής και προστασίας κα), συνθέτει έναν φ/β σταθμό. Το σύνολο των στοιχείων που αποτελούν ένα φωτοβολταϊκό πάρκο, θα πρέπει σε κάθε περίπτωση να διαθέτει ηλεκτρικά χαρακτηριστικά, τα οποία να συμφωνούν και να συνδυάζονται μεταξύ τους.

### 2.3 Πλεονεκτήματα από την εφαρμογή φ/β συστημάτων

Οι φωτοβολταϊκοί σταθμοί διαθέτουν ένα σύνολο συγκριτικών πλεονεκτημάτων σε σχέση με τους συμβατικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής (λιγνιτικούς, πετρελαϊκούς, φυσικού αερίου), τα κυριότερα εκ των οποίων συνοψίζονται παρακάτω (Φραγκιαδάκης, 2006):

---

Εκμεταλλεύονται την ηλιακή ενέργεια, η οποία προέρχεται από δωρεάν πηγή και είναι ανεξάντλητη

---

Είναι περιβαλλοντικά φιλική, καθώς δεν εκλύουν αέριους ρύπους κατά τη διάρκεια της διαδικασίας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

---

Είναι εφικτό να τοποθετηθούν άνωθεν κτιρίων (δώματα, στέγες)

---

Εμφανίζουν ελάχιστες απαιτήσεις σε επίπεδο συντηρήσεων

---

Εμφανίζουν υψηλή επεκτασιμότητα, ανταποκρινόμενοι σε ενδεχόμενες μελλοντικές ανάγκες

---

Παρουσιάζουν σημαντική διάρκεια ζωής (20-25 χρόνια λειτουργίας) με μικρή σταδιακή πτώση στην απόδοσή τους, της τάξης του 1% ετησίως

---

Είναι αθόρυβα συστήματα

---

Διαθέτουν διάφορες δομές εφαρμογής (αυτόνομες, υβριδικές ή σε διασύνδεση με το δίκτυο)

---

Όσον αφορά τα μειονεκτήματα που εμφανίζουν, το κυριότερο είναι το υψηλό κόστος αρχικής εγκατάστασης, παρά τις σημαντικές μειώσεις που έχουν επέλθει στις τιμές των φωτοβολταϊκών πάνελ τα τελευταία έτη. Σε αυτό έχει συμβάλει η απουσία επιδοτήσεων, οδηγώντας μια μέση φ/β εγκατάσταση να παρουσιάζει δαπάνες με χρονικό ορίζοντα απόσβεσης περίπου 8 ετών. Ωστόσο, η διάρκεια ζωής των πλαισίων σε συνδυασμό με τις προσυμφωνημένες τιμές πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας για 20 χρόνια, τα καθιστά ελκυστικές επενδυτικές επιλογές.

#### **2.4 Βασικοί συντελεστές ενός φ/β σταθμού**

Τα κύρια ηλεκτρομηχανολογικά συστήματα που συνθέτουν ένα φ/β σταθμό είναι τα παρακάτω (Φραγκιαδάκης, 2006):

- φ/β πλαίσιο: όπως έχει λεχθεί ήδη, είναι η κύρια μονάδα ηλεκτροπαραγωγής, συντιθέμενη από φ/β στοιχεία, τα οποία συνδέονται με μεταλλικές επαφές και προστατεύονται από εξωτερικούς παράγοντες μέσω γυάλινης επικάλυψης. Τα πλαίσια μετατρέπουν μικρό μέρος της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική, αναλόγως με την τεχνολογία κατασκευής τους.
- Μετατροπείς ισχύος (inverter): είναι ηλεκτρονικές διατάξεις μετατροπής της παραγόμενης ενέργειας από συνεχούς (DC) μορφής, σε εναλλασσόμενη (AC), με στόχο την μεταφορά της στο ηλεκτρικό δίκτυο. Διαθέτουν υψηλούς βαθμούς αξιοπιστίας και απόδοσης, ενώ αποτελούν ζωτικό μέρος της λειτουργίας ενός φ/β σταθμού.
- Μπαταρίες: αξιοποιούνται για την αποθήκευση της περίσσειας παραγόμενης ενέργειας, εφόσον δεν πρόκειται να καταναλωθεί άμεσα. Ένας συσσωρευτής είναι σε θέση να προσφέρει την αποθηκευμένη ενέργεια σε ημέρες με περιορισμένη ηλιοφάνεια ή κατά τις βραδινές ώρες. Δεν εγκαθίστανται σε όλους τους φ/β σταθμούς, αλλά κατά βάση σε εκείνους που λειτουργούν αυτόνομα (θα περιγράφουν σε επόμενη υποενότητα).
- Καλωδιώσεις: απαιτείται η εγκατάσταση καλωδίων συνεχούς (DC) και εναλλασσόμενου (AC) ρεύματος. Τα πρώτα αφορούν συνδέσεις μεταξύ των φ/β πάνελ και των αντιστροφών, ενώ τα δεύτερα συνδέσεις μεταξύ των αντιστροφών και του δικτύου ηλεκτροδότησης. Η διατομή των καλωδίων που χρησιμοποιούνται κατά περίπτωση εξαρτώνται από τα μεγέθη των αντιστροφών (πόσα φ/β πάνελ συνδέονται σε έναν αντιστροφέα, δηλαδή από την ποσότητα της παραγόμενης ισχύος).
- Υπόλοιπος ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός: εκτός από τις προαναφερθείσες συνιστώσες, ένα φ/β πάρκο απαιτεί την ύπαρξη ορισμένων ακόμα διατάξεων, όπως:
  - Ο πίνακας ελέγχου με τα μέσα προστασίας, τους διακόπτες και τις ασφάλειες προστασίας των καλωδιώσεων και των αντιστροφών
  - Οι συσκευές προστασίας από υπερτάσεις/ αλεξικέραυνα
  - Οι γειώσεις προστασίας
  - Ο μετρητής ηλεκτρικής ενέργειας

- Τα συστήματα τηλεμετρίας, για την απομακρυσμένη εποπτεία του φ/β σταθμού

## 2.5 Παράγοντες επιρροής της απόδοσης ενός φ/β σταθμού

Η ηλεκτροπαραγωγή ενός φωτοβολταϊκού σταθμού εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, οι κυριότεροι εκ των οποίων είναι οι παρακάτω (Τσορός & Τζουβαδάκης, 2010):

- Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, αύξηση της οποίας, προκαλεί γραμμική αύξηση της ποσότητας του παραγόμενου ρεύματος και λογαριθμική αύξηση της τάσης των φ/β στοιχείων.
- Το γεωγραφικό πλάτος και τα κλιματικά δεδομένα του τόπου. Η ηλεκτροπαραγωγή διαφοροποιείται από περιοχή σε περιοχή και αναλόγως των κλιματικών συνθηκών που επικρατούν.
- Η θερμοκρασία των φ/β στοιχείων, αύξηση της οποίας άνω των 25°C, προξενεί μείωση στην παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια.
- Ο συντελεστής γήρανσης των φ/β στοιχείων. Με το πέρασμα των ετών, τα φ/β στοιχεία φθίνουν σε επίπεδο απόδοσης, οδηγώντας σε συνεπακόλουθη μείωση της παραγόμενης ισχύος. Ο ρυθμός πτώσης της απόδοσης των πάνελ είναι της τάξεως του 0.8% ανά έτος.
- Οι δίοδοι αντεπιστροφής. Αποτρέπουν την εκφόρτιση των συσσωρευτών και εγκαθίστανται εκ κατασκευής στα φ/β πλαίσια, δημιουργώντας απώλειες περίπου 1% ανά έτος.
- Οι λοιπές απώλειες. Οφείλονται σε διάφορες αιτίες και συνθέτουν ένα ποσοστό περίπου 7% ανά έτος. Εξαρτώνται από την καθαριότητα των πάνελ, τη διαφορά μεταξύ πραγματικών και εργαστηριακών συνθηκών λειτουργίας κα.
- Ο συντελεστής απωλειών της γραμμής σύνδεσης του φ/β σταθμού με το ηλεκτρικό δίκτυο. Η επιλογή της κατάλληλης διαμέτρου αγωγού σύνδεσης

ελαχιστοποιεί της απώλειες ενέργειας, οι οποίες υπολογίζονται περίπου σε 2% ανά έτος.

## **2.6 Κατηγορίες φ/β σταθμών**

Οι κατηγορίες των φωτοβολταϊκών σταθμών μπορούν να συνοψιστούν στις ακόλουθες τρείς:

- Τα διασυνδεδεμένα φ/β συστήματα (Grid-Connected)
- Ταμη διασυνδεδεμένα ή αυτόνομα συστήματα (Off-grid ή StandAlone)
- Τα υβριδικά φ/β συστήματα (hybrid)

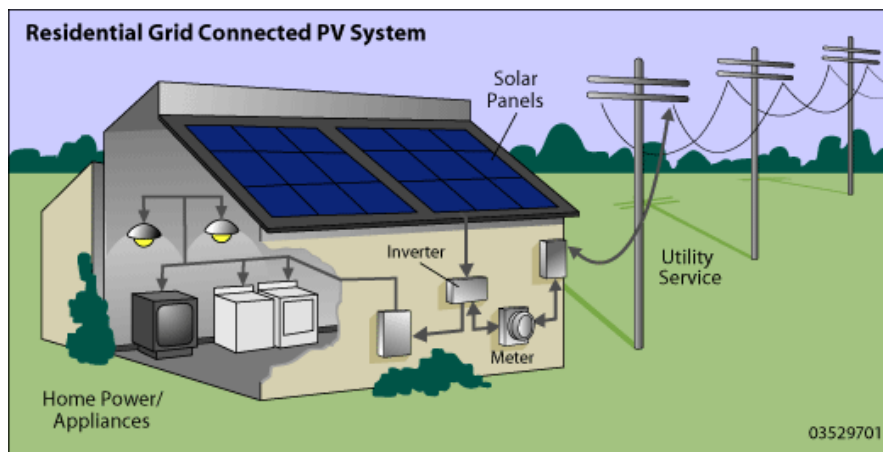
### **2.6.1 Διασυνδεδεμένα φ/β συστήματα**

Τα διασυνδεδεμένα φ/β συστήματα αποτελούν τα μεγαλύτερο ποσοστό των εγκατεστημένων φ/β σταθμών σε παγκόσμια κλίμακα. Είναι μονάδες ηλεκτροπαραγωγής συνδεδεμένες με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, το οποίο αποτελεί για τουςzen λόγωσταθμούζέναν τεράστιο συσσωρευτή με σταθερή τιμή τάσης. Συνεπώς, σε αυτά τα συστήματα, τα οποία λειτουργούν εν παραλλήλω με το υπόλοιπο δίκτυο, δεν υπάρχουναπατήσεις για αποθήκευση της παραγόμενης ενέργειας, καθώς αυτή διοχετεύεται άμεσα στο δίκτυο, ελαττώνοντας αναλόγως τα έξοδα αρχικής εγκατάστασης (Obi & Bass, 2016).

Τα διασυνδεδεμένα συστήματα διαχωρίζονται σε δύο υποκατηγορίες:

- στα συστήματα που συνθέτουν κεντρικούς φωτοβολταϊκούς σταθμούς μεγάλης ισχύος, οι οποίοι διοχετεύουν άμεσα την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο.

- στα καταναλωμένα συστήματα. Διαχωρίζονται σε αυτά που αλληλοεπιδρούν διαρκώς με το δίκτυο και σε εκείνα που το χρησιμοποιούν σαν βοηθητική πηγή ενέργειας. Τα μεν προδιαγράφονται έτσι ώστε να καλύπτουν τις ενεργειακές ανάγκες της ιδιοκτησίας που τροφοδοτούν και να διοχετεύουν την υπολειπόμενη ποσότητα ενέργειας στο κεντρικό δίκτυο. Τα δε, προδιαγράφονται ώστε να καλύπτουν τις ενεργειακές ανάγκες της ιδιοκτησίας και όταν υπάρχει έλλειμμα παραγωγής να αντλούν ενέργεια από το δίκτυο. Συνεπώς, τα πρώτα αφορούν υπερδιαστασιοποιημένα συστήματα (σύμφωνα με τις πραγματικές ανάγκες της ιδιοκτησίας), ενώ τα δεύτερα, υποδιαστασιοποιημένα.



Εικόνα 4: Διασυνδεδεμένο φ/β σύστημα (uk.Mathworks, 2013).

## 2.6.2 Μη διασυνδεδεμένα φ/β συστήματα

Τα φ/β συστήματα είναι σε θέση να προσφέρουν λύσεις, κυρίως σε απομακρυσμένες περιοχές (ορεινοί οικισμοί, νησιά κα), για την παραγωγή ενέργειας με στόχο την ενεργειακή αυτονομία της περιοχής ή μιας οικίας. Τα μη διασυνδεδεμένα ή αυτόνομα συστήματα δε συνδέονται ηλεκτρικά με το δίκτυο, αλλά η ενέργεια που παράγουν είτε καταναλώνεται στα πλαίσια ιδιωτικής χρήσης είτε αποθηκεύεται για κάλυψη μελλοντικών αναγκών (πχ βραδινές ώρες, μέρες με χαμηλή ηλιοφάνεια κτλ).



Έτσι, επιτυγχάνεται η ενεργειακή αυτονομία και ασφάλεια μιας απομονωμένης εγκατάστασης (Juntunen & Martiskainen, 2021).

Η ενέργεια που παράγεται μπορεί να καταναλωθεί είτε ως ενέργεια σε μορφή συνεχούς ρεύματος, είτε κατόπιν μετατροπής της μέσω inverter σε μορφή εναλλασσόμενου ρεύματος. Κατά βάση πραγματοποιείται μετατροπή της συνεχούς τάσης σε εναλλασσόμενη, καθώς η πλειοψηφία των ηλεκτρικών συσκευών λειτουργεί με AC. Στην περίπτωση της άμεσης αξιοποίησης της ενέργειας σε DC μορφή, δεν χρειάζονται inverter, ελαττώνοντας αισθητά τις δαπάνες αρχικής εγκατάστασης.



Εικόνα 5: Μη διασυνδεδεμένο φ/β σύστημα (SmartCover, 2020).

### 2.6.1 Υβριδικά φ/β συστήματα

Αποτελούν συστήματα όπου συνδυάζονται φωτοβολταϊκά πλαίσια με άλλες πηγές παραγωγής ενέργειας, με απώτερο στόχο τη βέλτιστη απόδοση. Οι προαναφερόμενες «άλλες πηγές ενέργειας» μπορούν να αποτελούν ΑΠΕ (πχ ανεμογεννήτρια) ή συμβατικές (πχ ντιζελογεννήτρια).

Ο πλέον συνήθης συνδυασμός συστημάτων, είναι η συνδυασμένη αξιοποίηση ηλιακής και αιολικής ενέργειας. Αυτή η επιλογή έχει καταστεί δημοφιλής εξαιτίας του

συμπληρωματικού χαρακτήρα που παρουσιάζουν οι εν λόγω πηγές. Αυτό εξηγείται καθώς οι ταχύτητες του ανέμου είναι συνήθως χαμηλές σε περιόδους όπου η ηλιακή ακτινοβολία είναι υψηλή, επιτρέποντας την αξιοποίηση των φωτοβολταϊκών και την παύση λειτουργίας των ανεμογεννητριών. Το αντίθετο συμβαίνει όταν οι ταχύτητες του ανέμου είναι υψηλές επιτρέποντας την αξιοποίηση των ανεμογεννητριών, ενώ τα φ/β παραμένουν σε χαμηλά επίπεδα παραγωγής (Sinha & Chandel, 2015). Η συνδυασμένη χρήση τους συνίσταται σε μέρη με ικανό αιολικό δυναμικό σε συνδυασμό με υψηλή ηλιακή ακτινοβολία.

### 3. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

---

Η παρούσα ενότητα πραγματεύεται την αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας. Παρουσιάζονται έννοιες και ορισμοί που αφορούν τη γεωθερμία, τα πλεονεκτήματα και οι χρήσεις της, οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας κα.

#### 3.1 Γεωθερμική ενέργεια: έννοιες και ορισμοί

Σε σχετικά μικρά βάθη, ο πλανήτης παρουσιάζει θερμοκρασίες τέτοιες ώστε να είναι σε θέση να καλύψει σε θεωρητικό επίπεδο το σύνολο των ενεργειακών αναγκών (θερμικών και ηλεκτρικών) του παγκόσμιου πληθυσμού. Οι εν λόγω θερμοκρασίες συνδέονται με τη γεωθερμική ενέργεια, η οποία αποτελεί τη θερμότητα που προέρχεται από το εσωτερικό της γης, αναφερόμενη στο μέρος της θερμότητας, το οποίο είναι εκμεταλλεύσιμο και μπορεί να αξιοποιηθεί οικονομικά.

Ως γεωθερμία αναφέρεται ο εφαρμοσμένος επιστημονικός κλάδος, ο οποίος συν τοις άλλοις πραγματεύεται τη μελέτη της ροής θερμότητας της γης, την κατανομή των θερμοκρασιών του υπεδάφους, τις γεωλογικές συνθήκες, τα φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά των θερμών υπόγειων ρευστών, τον εντοπισμό, την αξιολόγηση και αξιοποίηση των γεωθερμικών πεδίων μέσω παραγωγικών γεωτρήσεων και τις χρήσεις των θερμών ρευστών (Αναστασιάδης, et al., 2012).

Με στόχο την καλύτερη παρουσίαση του ερευνητικού μέρους σε συνδυασμό με την πλήρη παρουσίαση των εννοιών που αφορούν τη γεωθερμία, κρίνεται σκόπιμη παρουσίαση ορισμών και εννοιών σχετικών με το αντικείμενο του παρόντος κεφαλαίου.

Τα γεωθερμικά ρευστά αποτελούν τα μέσα με τη βοήθεια των οποίων μεταφέρεται η θερμότητα του εσωτερικού της γης και αφορούν είτε ζεστό νερό είτε συνδυασμό ζεστού νερού με αέρια όπως CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> κα ή ατμούς. Βάσει της Ελληνικής νομοθεσίας, «γεωθερμικό χαρακτηρίζεται κάθε ρευστό που προέρχεται από το εσωτερικό της γης και έχει θερμοκρασία πάνω από 25°C» (Πουλίδη, 2015).

Σύμφωνα με την ελληνική νομοθεσία ως «γεωθερμικό δυναμικό ορίζεται το σύνολο γηγενών ατμών, θερμών νερών και γεωλογικών σχηματισμών, η θερμοκρασία των οποίων υπερβαίνει τους 25°C» (Αναστόπουλος, 2014).

Ως γεωθερμικοί πόροι «χαρακτηρίζονται οι ποσότητες της αποθηκευμένης θερμικής ενέργειας που εντοπίζονται ανάμεσα στη γήινη επιφάνεια και σε κάποιο προσβάσιμο βάθος, και αποτελεί ανακτήσιμη μορφή ενέργειας με ανταγωνιστικό κόστος συγκριτικά με τις υπόλοιπες μορφές».

Η γεωθερμική ενέργεια εντοπίζεται ως επί το πλείστον περιορισμένη εντός ενιαίου χώρου, ο οποίος καλείται γεωθερμική περιοχή ή πεδίο. Για να μπορέσει να καταστεί ενεργειακά αξιοποιήσιμη, θα πρέπει η γεωθερμική ενέργεια να είναι συγκεντρωμένη με επάρκεια.

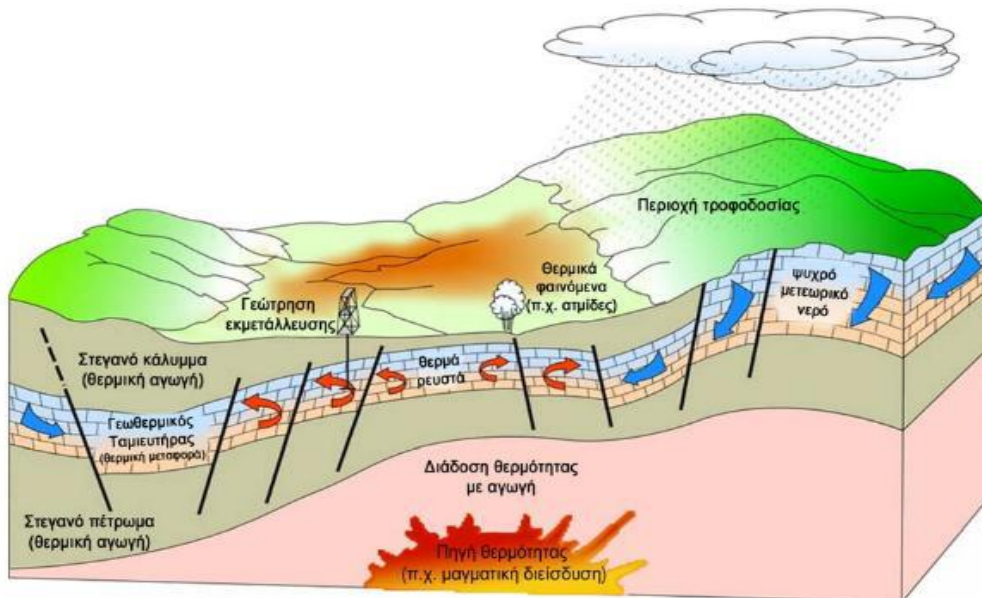
Ως γεωθερμικό σύστημα «ορίζεται ένας γεωλογικός σχηματισμός με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, μέσα στον οποίο είναι αποθηκευμένη η γεωθερμική ενέργεια. Τα γεωθερμικά συστήματα εντοπίζονται σε περιοχές με κανονική ή με λίγο μεγαλύτερη από τη μέση γήινη γεωθερμική βαθμίδα και κυρίως γύρω από τα όρια των τεκτονικών πλακών, όπου η βαθμίδα μπορεί να είναι σημαντικά υψηλότερη της μέσης τιμής» (Κορέλη, 2015).

### **3.2 Γεωθερμικά συστήματα**

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, με τον όρο γεωθερμικό σύστημα, νοείται μια περιοχή που διαθέτει θερμική ενέργεια συγκεντρωμένη σε ικανό βαθμό εντός του υπεδάφους, ώστε να μπορεί να αξιοποιηθεί δημιουργώντας μια εκμεταλλεύσιμη ενεργειακή πηγή. Ένα γεωθερμικό σύστημα παρουσιάζεται ως ένα σύστημα, το οποίο βρίσκεται σε συγκεκριμένο χώρο στο εσωτερικό του ανώτερου φλοιού της γης και αποτελείται από νερό, το οποίο καθώς ρέει, μεταφέρει θερμότητα από μια πηγή σε ένα τελικό σημείο αξιοποίησης, το οποίο συνήθως είναι μια ελεύθερη επιφάνεια (Hochstein, 1990).

Σχετικά με τη δομή που παρουσιάζει ένα γεωθερμικό σύστημα, αυτό περιλαμβάνει τρεις συντελεστές: μια θερμική πηγή, έναν ταμιευτήρα και το γεωθερμικό ρευστό.

Η θερμική πηγή ενδέχεται να αφορά μια μαγματική διείσδυση θερμοκρασίας από 600° ως 1200°C, η οποία ανήλθε σε μικρά βάθη (3-10km) ή κανονική ροή θερμότητας από το εσωτερικό της γης, η οποία αυξάνεται με την αύξηση του βάθους προς το εσωτερικό της γης. Ο ταμιευτήρας αφορά ένα σύνολο θερμών πετρωμάτων με επαρκή διαπερατότητα, το οποίο επιτρέπει την απρόσκοπτη κυκλοφορία ρευστών. Τέλος, το γεωθερμικό ρευστό αποτελεί τον κύριο φορέα μεταφοράς θερμότητας. Η προέλευση του είναι είτε μετεωρική (εξαιτίας κατακρημνίσεων) είτε επιφανειακή ή σε σπανιότερες περιπτώσεις μαγματική. Το γεωθερμικό ρευστό εντοπίζεται σε υγρή ή σε ταυτόχρονη υγρή και αέρια φάση και είθισται να περιέχει ορισμένη ποσότητα διαλυμένων στερεών και αερίων, όπως CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S. Για να μπορεί να πραγματοποιηθεί αξιοποίηση ενός γεωθερμικού συστήματος, η δυνατότητα κυκλοφορίας του γεωθερμικού ρευστού αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση. Αυτό καθίσταται εφικτό μέσω ρηγμάτων που ξεκινούν από την θερμική πηγή (εστία θερμότητας) και ανέρχονται ακόμη και ως την επιφάνεια της γης (Καρυδάκης, 2003).



Εικόνα 6: Σχηματική παρουσίαση ενός γεωθερμικού συστήματος (Φυτίκας & Παπαχρήστου, 2004).

Η πλέον διαδεδομένη ταξινόμηση των γεωθερμικών συστημάτων πραγματοποιείται βάσει της ενθαλπίας τους, αν και εν τέλει για πρακτικούς λόγους κατηγοριοποιούνται με βάση τη θερμοκρασία τους σε (Καρυδάκης, 2016):

- πεδία χαμηλής ενθαλπίας με θερμοκρασίες 50-100°C, αξιοποιήσιμα για θέρμανση χώρων, θερμοκηπίων κτλ.
- πεδία μέσης ενθαλπίας με θερμοκρασίες 100-150°C, για θέρμανση, ξήρανση αγροτικών προϊόντων και σε ορισμένες περιπτώσεις για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.
- πεδία υψηλής ενθαλπίας με θερμοκρασίες >150°C, με χρήσεις κατεξοχήν για ηλεκτροπαραγωγή.

### 3.3 Πλεονεκτήματα χρήσης γεωθερμίας

Τα πιο σημαντικά πλεονεκτήματα που προκύπτουν από τη χρήση γεωθερμίας είναι τα ακόλουθα:

- τα γεωθερμικά συστήματα αποτελούν πηγές άμεσα εκμεταλλεύσιμες για χρήσεις που αφορούν θέρμανση.
- τα γεωθερμικά πεδία αναπτύσσονται κατά βάση σε πεδινές περιοχές με ευνοϊκές συνθήκες αξιοποίησης στον αγροτικό τομέα, τις ιχθυοκαλλιέργειες και αλλού.
- η χρήση των γεωθερμικών πόρων προσφέρεται ως εναλλακτική μορφή τουρισμού (spa, ιαματικός τουρισμός).

Σε σύγκριση με άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, η γεωθερμική πλεονεκτεί στα ακόλουθα:

- χρησιμοποιεί πολύ απλή τεχνολογία αξιοποίησης.
- δεν επηρεάζεται από τις καιρικές συνθήκες, όπως συμβαίνει για την ηλιακή ή την αιολική ενέργεια και εμφανίζει σημαντικά μεγαλύτερους ετήσιους συντελεστές λειτουργίας της τάξης του 92-98%, εν αντιθέσει με τα αιολικά

πάρκα (25-30%) και τα υδροηλεκτρικά εργοστάσια (40-55%) (Βραχόπουλος, et al., 2015).

- αποτελεί πηγή, η οποία είναι σε θέση να παρέχει απρόσκοπτη και σταθερή παροχή ενέργειας.
- Δεν εμφανίζει απαιτήσεις αποθήκευσης.

Τα μειονεκτήματα από τη χρήση γεωθερμίας μπορούν να συνοψιστούν κατά κύριο λόγο στα ακόλουθα:

- απαιτείται υψηλό αρχικό κόστος εγκατάστασης.
- οι γεωτρήσεις ανόρυξης του γεωθερμικού ρευστού παράγουν λάσπη.
- είναι απαραίτητη εκπόνηση εξειδικευμένης μελέτης και σχεδιασμού εγκατάστασης.

### **3.4 Χρήσεις της γεωθερμίας**

Οι εφαρμογές που σχετίζονται με τη γεωθερμία μπορούν να χωριστούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες, σε αυτές που αφορούν άμεσες χρήσεις της και στις ηλεκτροπαραγωγικές. Οι πρώτες περιλαμβάνουν τις εφαρμογές, στις οποίες πραγματοποιείται άμεση εκμετάλλευση της θερμότητας των γεωθερμικών ρευστών δίχως να απαιτούνται περίπλοκες διεργασίες και διατάξεις, αξιοποιώντας τη για διάφορες χρήσεις. Στις δεύτερες περιλαμβάνονται οι εφαρμογές που αξιοποιούν τη γεωθερμία με σκοπό την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ο τρόπος με τον οποίο θα αξιοποιηθεί ένα γεωθερμικό πεδίο βρίσκεται σε άμεση εξάρτηση με τη θερμοκρασία που διαθέτει το γεωθερμικό ρευστό. Επομένως, κάθε γεωθερμική εφαρμογή συσχετίζεται με ένα συγκεκριμένο θερμοκρασιακό εύρος, όπου η εν λόγω εφαρμογή καθίσταται τεχνικά εφικτή και οικονομικά συμφέρουσα. Στην παρούσα εργασία το ενδιαφέρον επικεντρώνεται στην αξιοποίηση των πεδίων χαμηλής ενθαλπίας.

Οι χρήσεις των γεωθερμικών πεδίων χαμηλής ενθαλπίας συνοψίζονται ακολούθως ως εξής(Αναστασιάδης, et al., 2012; GEOCOM, 2015)

- θέρμανση χώρων-τηλεθέρμανση. Είναι οι πιο συνηθισμένες και συμφέρουσες χρήσεις από τεχνικοοικονομική άποψη.
- αφαλάτωση θαλασσινού νερού.
- αγροτικές εφαρμογές. Αφορούν ανοικτές καλλιέργειες και θέρμανση θερμοκηπίων, ξήρανση γεωργικών προϊόντων, θέρμανση ορنيθοτροφείων, στάβλων κτλ.
- υδατοκαλλιέργειες. Αξιοποιούνται σε κλειστά κυκλώματα εκτροφής, δηλαδή εκμεταλλεύσεις υπερεντατικής υδατοκαλλιέργειας, οι οποίες βασίζονται στην επαναχρησιμοποίηση του νερού εκτροφής, εντός θερμομονωμένων εγκαταστάσεων με τη χρήση τεχνητών μέσων, δημιουργώντας ιδανικές συνθήκες εκτροφής.
- βιομηχανικές εφαρμογές. Αφορούν θέρμανση κατά τη διάρκεια διεργασιών, εξάτμιση, ξήρανση, απόσταξη, αποστείρωση, πλύσιμο προϊόντων κα.
- λουτροθεραπεία - ιατρικές εφαρμογές. Τα γεωθερμικά ρευστά αξιοποιούνται σε πλήθος λουτροπόλεων είτε για θεραπευτικούς είτε για λόγους αναζωογόνησης και ευεξίας.
- λοιπές χρήσεις. Αφορούν ανάκτηση CO<sub>2</sub>, το οποίο εντοπίζεται σε πολλά γεωθερμικά πεδία και είναι εφικτό να δεσμευτεί και να χρησιμοποιηθεί ως εμπορικό παραπροϊόν.

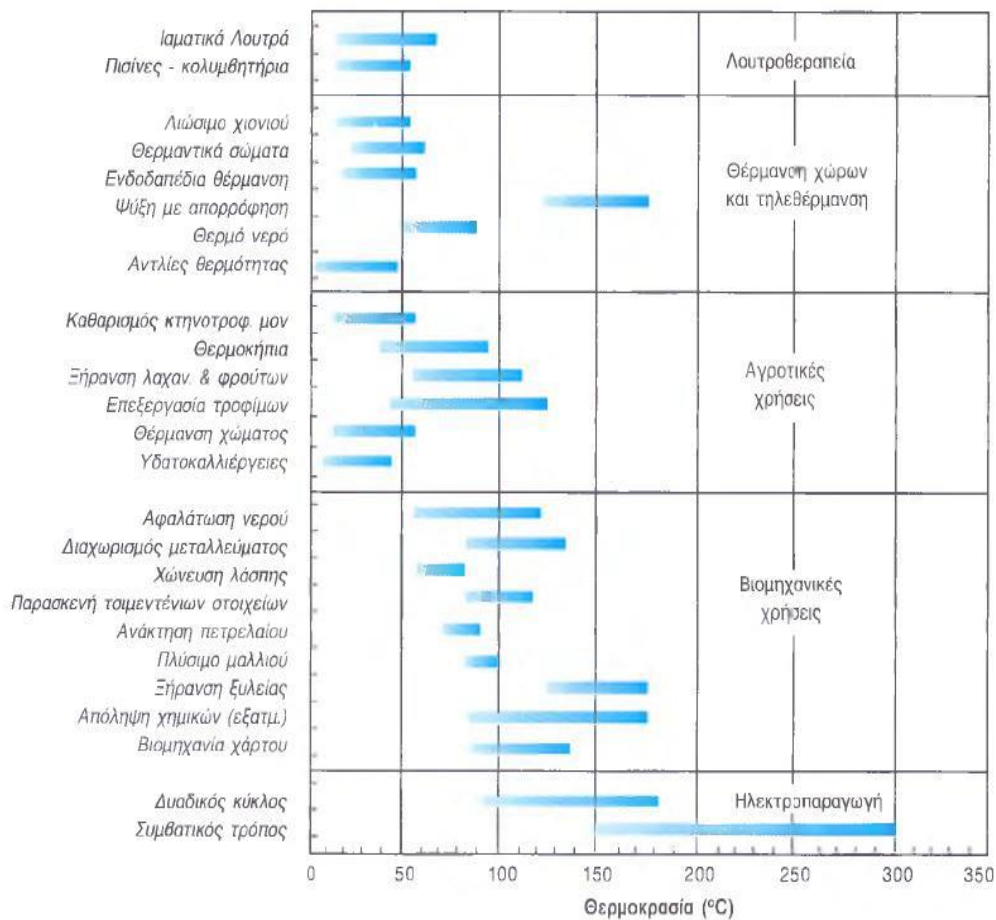
Ακολούθως (Πίνακας 2), παρουσιάζεται η εγκατεστημένη ισχύς των διαφόρων χρήσεων των γεωθερμικών ρευστών στην Ελλάδα. Όπως καθίσταται εμφανές, η επικρατέστερη χρήση που λαμβάνει χώρα προς το παρόν στη Ελλάδα, αν εξαιρεθεί η χρήση αντλιών θερμότητας για τη θέρμανση εσωτερικών χώρων, αφορά την αξιοποίηση της γεωθερμίας για τη θέρμανση θερμοκηπίων.



Χρήσεις	Εγκατεστημένη ισχύς (MW <sub>th</sub> )
Λουτροθεραπεία	42
Θέρμανση θερμοκηπίων	46,74
Θέρμανση εδάφους	4,5
Αφυδάτωση	0,58
Θέρμανση χώρων	1,65
Υδατοκαλλιέργειες	1,26
Αντλίες θερμότητας (Α/Θ)	175

Πίνακας 2: Εγκατεστημένη ισχύς άμεσων χρήσεων γεωθεμίας στην Ελλάδα (Papachristou, et al., 2019).

Σε συνέχεια των προηγούμενων, στο ακόλουθο σχήμα αποτυπώνεται το θερμοκρασιακό εύρος, στο οποίο λαμβάνουν χώρα οι διάφορες εκμεταλλεύσεις γεωθεμικών ρευστών. Αναφορικά με τα θερμοκήπια, τα οποία εντάσσονται στην ευρύτερη κατηγορία των αγροτικών χρήσεων, οι εκμεταλλεύσεις αφορούν γεωθεμικά πεδία με θερμοκρασίες που κυμαίνονται μεταξύ 30° και 90°C.



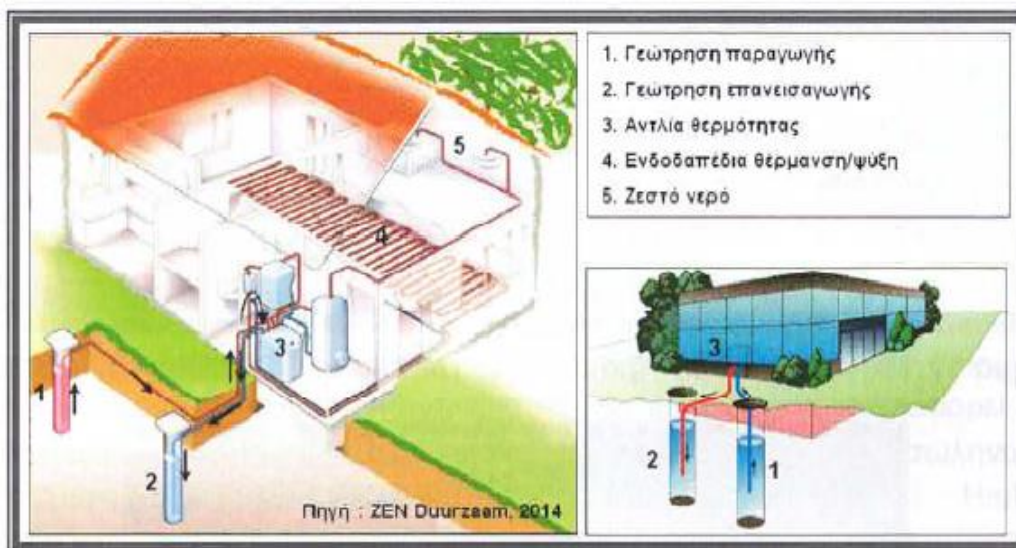
Σχήμα 5: Χρήσεις γεωθερμικών ρευστών αναλόγως της θερμοκρασίας τους (Αναστόπουλος, 2014).

### 3.5 Γεωθερμικές αντλίες θερμότητας

Οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας (Γ.Α.Θ.) αξιοποιούν την ηλιακή ενέργεια που αποθηκεύεται στο επιφανειακό υπέδαφος. Η θερμοκρασία του υπεδάφους σε βάθη άνω των 10m παραμένει αμετάβλητη κατά τη διάρκεια του έτους. Η αβαθής γεωθερμία αφορά την αποθηκευμένη θερμική ενέργεια (με θερμοκρασία ως 20°C) στο επιφανειακό υπέδαφος (έως 10m) αλλά και σε βαθύτερα στρώματα (έως 200m). Στο επιφανειακό υπέδαφος, όπως προαναφέρθηκε προηγουμένως, η θερμική ενέργεια μεταφέρεται μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας, του αέρα και των βροχοπτώσεων, ενώ

στα βαθύτερα επίπεδα του υπεδάφους μεταφέρεται από τη γήινη ροή θερμότητας (ανερχόμενη θερμότητα από το εσωτερικό της γης) (Καρυδάκης, 2016).

Η πηγή ενέργειας για τις Γ.Α.Θ. προέρχεται είτε από το ίδιο το υπέδαφος (πχ πετρώματα) είτε από το νερό ενός επιφανειακού υδροφόρου (πχ λίμνη). Συστήματα ανάκτησης θερμότητας μέσω γεωθερμικών αντλιών θερμότητας, πέραν της θέρμανσης εσωτερικών χώρων, έχουν αναπτυχθεί και στον γεωργικό τομέα, όπως στα θερμοκήπια, την ξήρανση προϊόντων, τις ιχθυοκαλλιέργειες κα. Ένα τυπικό σύστημα εκμετάλλευσης της γεωθερμίας απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα (δεξιά εικόνα, αξιοποίηση αντίστοιχη με τη θέρμανση θερμοκηπίων), όπου παρουσιάζεται σχηματοποιημένα η διαδικασία.



Εικόνα 7: Ανοιχτό σύστημα Α/Θ (Καρυδάκης, 2016).

Το σύστημα μιας Γ.Α.Θ. αποτελείται από 3 βασικά υποσυστήματα που είναι τα ακόλουθα (Καρυδάκης, 2016):

- υποσύστημα σύνδεσης υπεδάφους ή γεωεναλλάκτης. Είναι η σταθερή πηγή θερμότητας και περιλαμβάνει αφενός το υπέδαφος ή τον επιφανειακό υδροφόρο που λειτουργεί ως πηγή ενέργειας και αφετέρου τις εγκαταστάσεις (σωληνώσεις, γεωτρήσεις, ρευστό μεταφοράς ενέργειας) για τη σύνδεσή του με

το υποσύστημα της Α/Θ. Αποτελεί το πλέον σημαντικό και περίπλοκο υποσύστημα και διαχωρίζεται σε δυο τύπους: ανοικτό ή κλειστό.

- υποσύστημα αντλίας θερμότητας. Αφορά το μηχανολογικό εξοπλισμό, ο οποίος αποτελείται από ένα συμπιεστή, ένα συμπυκνωτή, ένα εξατμιστή, μια βαλβίδα αντεπιστροφής, μια βαλβίδα θερμικής διαστολής και το ψυκτικό ρευστό. Σκοπός του είναι η μεταφορά της θερμότητας από το υποσύστημα σύνδεσης υπεδάφους προς το υποσύστημα διανομής θερμικής ενέργειας, δηλαδή το προς θέρμανση κτίριο.
- υποσύστημα διανομής θερμότητας. Αφορά το εσωτερικό σύστημα διανομής ενέργειας από το υποσύστημα της αντλίας θερμότητας στους εσωτερικούς χώρους της εγκατάστασης. Η διανομή της ενέργειας μπορεί να επιτευχθεί μέσω κοινών θερμαντικών σωμάτων, σωμάτων ανεμιστήρα-στοιχείου ή ενδοδαπέδιων σωμάτων.

## **4. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΑΝΑΓΚΕΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ 2000m<sup>2</sup> ΚΑΙ ΚΑΛΥΨΗ ΜΕΣΩ ΑΠΕ**

---

Η τέταρτη ενότητα της εργασίας ασχολείται με την μελέτη μιας θερμοκηπιακής μονάδας 2 στρεμμάτων. Στα πλαίσια αυτής εκτιμώνται οι ενεργειακές της ανάγκες και προτείνονται δύο ανεξάρτητοι τρόποι κάλυψής τους με τη βοήθεια ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Πριν από όλα αυτά, επιλέγεται και παρουσιάζεται ο τύπος εγκατάστασης του θερμοκηπίου, αναλύεται η δυναμική που διαθέτει σε επίπεδο Α.Π.Ε., παρατίθενται οι απαραίτητες πληροφορίες για την τυπική καλλιέργεια που θα φυτευτεί και τέλος περιγράφεται ο τρόπος και τα υλικά κατασκευής του.

### **4.1 Περιοχή εγκατάστασης του θερμοκηπίου**

Η περιοχή εγκατάστασης του θερμοκηπίου επιλέχθηκε να είναι η ευρύτερη περιοχή του οικισμού Ν.Κεσσάνης, της Περιφερειακής Ενότητας Ξάνθης, της Περιφέρειας Ανατολικής Μακεδονίας & Θράκης. Πρόκειται για έναν οικισμό σε απόσταση 20 χιλιομέτρων από την πόλη της Ξάνθης (γεωγραφικό πλάτος  $\varphi=41.07^\circ$ ), ο οποίος εκτείνεται παραπλεύρως της λίμνης Βιστωνίδας και αριθμεί περίπου 400 κατοίκους. Ανήκει στο Δήμο Αβδήρων, γενέτειρα του αρχαίου φιλόσοφου Δημόκριτου και γεωγραφικά εντοπίζεται στο ανατολικό μέρος της Π.Ε., στα σύνορα με την Π.Ε. Ροδόπης.

Η επιλογή της εν λόγω περιοχής έγινε με βάση το γεγονός ότι εκτείνεται άνωθεν ενός από τα πιο αξιολογα γεωθερμικά πεδία στην Ελλάδα (όπως θα αναλυθεί στη σχετική υποενότητα), καθιστώντας με αυτό τον τρόπο εφικτή την αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας της περιοχής για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του θερμοκηπίου. Στην ευρύτερη περιοχή λαμβάνει χώρα η αξιοποίηση του γεωθερμικού δυναμικού για ιαματικούς σκοπούς, ενώ στο παρελθόν έχει επιχειρηθεί η εκμετάλλευσή του για ανάπτυξη θερμοκηπιακών καλλιεργειών. Στο πρόσφατο παρελθόν, το Νοέμβριο του 2016, προκηρύχθηκε διαγωνισμός για την απόκτηση δικαιωμάτων διαχείρισης του

γεωθερμικού πεδίου, μέσω του οποίου η Agritex έλαβε άδεια με πρόθεση την εγκατάσταση υδροπονικών θερμοκηπίων (Agronews, 2020).

Ακόμη, από άποψη καλλιέργειών, στην ευρύτερη περιοχή καλλιεργείται επιτυχώς τα τελευταία έτη, το σπαράγγι, εντός (θερμοκήπια Ν. Ερασμίου, Π.Ε. Ξάνθης) αλλά και εκτός θερμοκηπιακών μονάδων, καθώς τα εδάφη των περιοχών ενδείκνυνται για την εν λόγω καλλιέργεια. Βάσει των δύο προαναφερθέντων λόγων έγινε η επιλογή της περιοχής εγκατάστασης του θερμοκηπίου 2000m<sup>2</sup>, όπως αυτή παρουσιάζεται στην ακόλουθη λήψη από την διαδικτυακή εφαρμογή GoogleMaps.



Εικόνα 8: Περιοχή εγκατάστασης θερμοκηπιακής μονάδας, Ν.Κεσσάνη, Π.Ε. Ξάνθης(Google Maps, 2021).

Αναφορικά με το ηλιακό δυναμικό της περιοχής, αξίζει να σημειωθεί ως αναμένεται, ότι ούσα στην Β.Ελλάδα, δεν αποτελεί τη βέλτιστη επιλογή για εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας. Παρόλα αυτά, όπως θα παρουσιαστεί και στην σχετική υποενότητα, η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στην περιοχή μελέτης, εκτιμάται σε τιμές που αντιστοιχίζονται στο μέσο όρο των τιμών που εντοπίζονται στην ελληνική επικράτεια.

## 4.2 Ηλιακό, γεωθερμικό δυναμικό και κλιματολογικές πληροφορίες περιοχής

### 4.2.1 Κλιματολογικά δεδομένα και ηλιακό δυναμικό

Για την εκτίμηση των ενεργειακών απαιτήσεων του υπό μελέτη θερμοκηπίου, θα απαιτηθούν δεδομένα που αφορούν τις κλιματικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή. Ορισμένες από αυτές τις πληροφορίες αφορούν τις μέσες ημερήσιες θερμοκρασίες ανά μήνα, τη σχετική υγρασία, την ταχύτητα του ανέμου κτλ, όπως αυτές παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα. Τα δεδομένα έχουν ληφθεί από την Τεχνική Οδηγία του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε.), όπως αυτή αποτυπώνεται στη βιβλιογραφία της εργασίας.

Μήνας	Μέση θερμοκρασία (°C) ημέρας	Μέση σχετική υγρασία (%)	Μέση ταχύτητα ανέμου (m/s)	Αύξων αριθμός ημέρας έτους	Ακτινοβολία (kWh/m <sup>2</sup> )
Ιανουάριος	6.7	73.2	2.3	17	22.1
Φεβρουάριος	7.9	73.7	2.3	47	29.8
Μάρτιος	10.7	73.4	2.2	75	47.8
Απρίλιος	15.6	73.5	1.8	105	63.9
Μάιος	21.0	70.1	1.75	135	82.4
Ιούνιος	25.4	65.6	1.85	162	86.8
Ιούλιος	28.0	61.6	2.1	198	86.2
Αύγουστος	27.4	62.7	2.15	228	73.1
Σεπτέμβριος	23.8	66.4	2.05	258	53.5

<b>Οκτώβριος</b>	17.9	70.7	2.3	289	37.0
<b>Νοέμβριος</b>	12.1	75.3	1.9	320	23.3
<b>Δεκέμβριος</b>	8.0	74.3	2.1	351	18.2

Πίνακας 3: Κλιματικά δεδομένα περιοχής μελέτης (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-3/2010, 2014).

Το ηλιακό δυναμικό της περιοχής εκτιμήθηκε με τη βοήθεια του διαδικτυακού εργαλείου της Ευρωπαϊκής Ένωσης, PVGIS και για την Ν.Κεσσάνη υπολογίζεται σε 1506.43kWh(European Comission, 2019). Η τιμή αυτή αφορά την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια ανά kW εγκατεστημένης ισχύος φωτοβολταϊκού συστήματος, τεχνολογίας μονοκρυσταλλικού πυριτίου, όπως αυτό θα περιγραφεί στην σχετική υποενότητα 4.6. Η αντίστοιχη θερμική ενέργεια που μπορεί να παραχθεί από την ανωτέρω υπολογισθείσα ηλεκτρική, εξαρτάται από τα συστήματα που θα χρησιμοποιηθούν (αντλίες θερμότητας) σε συνδυασμό με τα φωτοβολταϊκά πλαίσια.

#### 4.2.2 Γεωθερμικό πεδίο Ν.Κεσσάνης

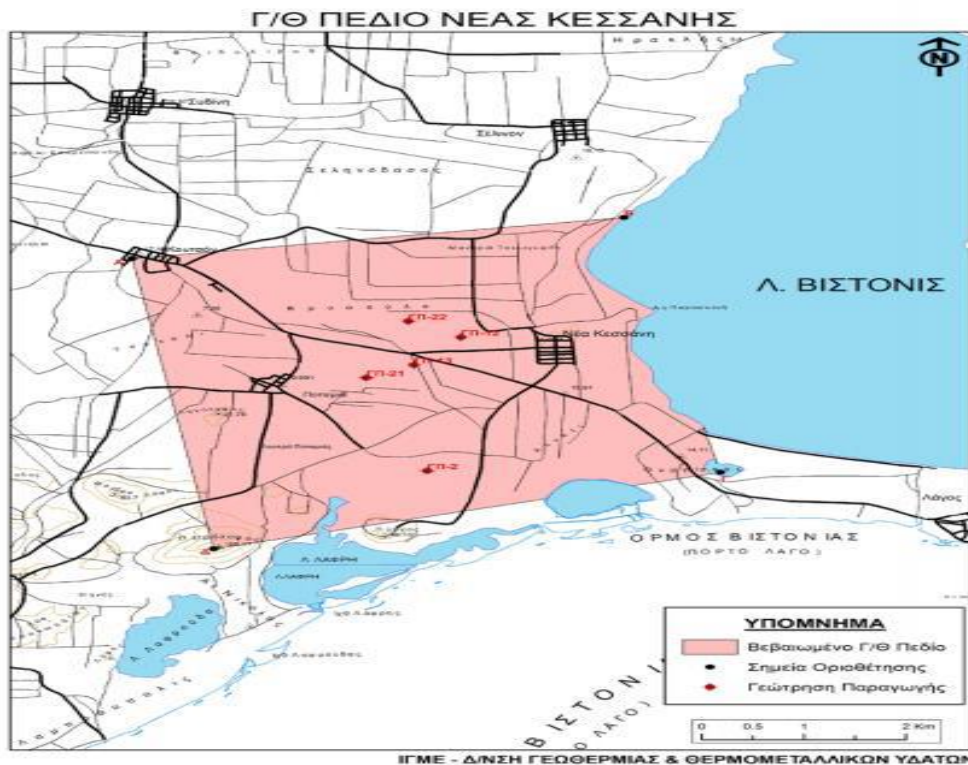
Το γεωθερμικό πεδίο της Νέας Κεσσάνης ανήκει γεωλογικά στη γεωτεκτονική ζώνη της μάζας της Ροδόπης και εδραιώνεται στη λεκάνη της Ξάνθης - Κομοτηνής, νοτιοανατολικά της Ξάνθης, βόρεια του Αιγαίου Πελάγους και στα δυτικά της Λίμνης Βιστωνίδας. Περιλαμβάνει τις θερμές πηγές της Ποταμιάς, θεωρείται ένα από τα μεγαλύτερα γεωθερμικά πεδία στην Ελλάδα και αποτελεί το πιο μελετημένο πεδίο της χώρας και είναι σε θέση να προσφέρει μεγάλες παροχές νερού χαμηλής ενθαλπίας. Το πεδίο εμφανίζει το μέγιστο βάθος του στους πρόποδες της Ροδόπης και το ελάχιστο στα νότια, κοντά στην ακτή(Ασκιτή & Κατσικά, 2014).

Η μελέτη του γεωθερμικού πεδίου χρονολογείται στη δεκαετία του 1980, όπου και αρχικά το 1981 πραγματοποιήθηκαν 2 παραγωγικές γεωτρήσεις από το



Ι.Γ.Μ.Ε.(Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών).Έπειτα, το 1988 παραχωρήθηκε το δικαίωμα για έρευνα και κατασκευή υποδομών σε μια έκταση 46000 στρεμμάτων στην ΕΤΒΑ, όπου και χρηματοδοτήθηκε μέσω του προγράμματος VALOREN. Το 1989 ολοκληρώθηκαν οι βασικές υποδομές, το 1993 παραδόθηκαν οι εγκαταστάσεις στο αρμόδιο Υπουργείο με προοπτική να ξεκινήσει η εκμετάλλευση τους. Έκτοτε ακολούθησε ένας κύκλος αποτυχημένων προσπαθειών εκμίσθωσης του πεδίου, με πιο πρόσφατη, την εκμίσθωση στην Agritex, το 2016, η οποία προς το παρόν δεν έχει ξεκινήσει την αξιοποίηση του πεδίου. Συνολικά, παρότι ο εν λόγω γεωθερμικός ταμιευτήρας έχει αποτελέσει επίκεντρο πολλών ερευνών, δεν έχει αξιοποιηθεί κατά πως θα μπορούσε από το 1980 έως και σήμερα (Παριανού, 2018).

Ο γεωθερμικός ταμιευτήρας καταλαμβάνει όγκο κατ' ελάχιστον  $15\text{km}^3$  και είναι τοποθετημένος στη πεδινή και λοφώδη έκταση δυτικά της λίμνης Βιστωνίδας, βόρεια του ομώνυμου κόλπου και γύρω από τις θερμές πηγές που τροφοδοτούν τα ιαματικά λουτρά της Ποταμιάς.Το βάθος του ταμιευτήρα εμφανίζει διακύμανση από 120 ως 450m, με το πιο ρηχό σημείο να εντοπίζεται στα νότια του πεδίου. Η παροχή του ταμιευτήρα εκτιμάται στα  $300\text{-}350\text{ m}^3/\text{h}$ . Η θερμοκρασία των γεωθερμικών ρευστών είναι από  $40^\circ\text{C}$  ως  $80^\circ\text{C}$  και ο χημισμός τους τα κατατάσσει στα οξυαναθρακικά Na-CL(Κολιός, et al., 2005).Το γεωθερμικό πεδίο της περιοχής αποτελεί πεδίο χαμηλής ενθαλπίας, που σημαίνει ότι η γεωθερμία δεν καθίσταται ικανή για ηλεκτροπαραγωγή, αλλά για άλλες χρήσεις όπως η θέρμανση θερμοκηπίων. Η ανάπτυξη του γεωθερμικού πεδίου της Ν.Κεσσάνης αποτυπώνεται στον ακόλουθο χάρτη. Η περιοχή εγκατάστασης της θερμοκηπιακής μονάδας θα θεωρηθεί εντός της σκιασμένης περιοχής του χάρτη.



Εικόνα 9: Αποτύπωση γεωθερμικού πεδίου Ν.Κεσσάνης (Ασκιτή & Κατσίκια, 2014).

#### 4.3 Επιλεγείσα καλλιέργεια

Η καλλιέργεια που επιλέχθηκε στα πλαίσια της παρούσης για την εκτίμηση των ενεργειακών απαιτήσεων της θερμοκηπιακής μονάδας των 2000m<sup>2</sup> είναι το σπαράγγι. Η επιλογή αυτή πραγματοποιήθηκε καθώς, η καλλιέργεια αυτού του φυτού επιλέγεται στην ευρύτερη περιοχή, τόσο εντός όσο και εκτός θερμοκηπιακών μονάδων. Ακόμη, τα εδάφη της περιοχής είναι τέτοια ώστε δίχως σημαντικές προσθήκες καθίστανται κατάλληλα για την εν λόγω καλλιέργεια. Τέλος, τα σπαράγγια καλλιεργούνται επιτυχώς εδώ και μερικά χρόνια σε θερμοκηπιακές μονάδες στην περιοχή του Ν. Ερασμίου της Π.Ε. Ξάνθης με τη εκμετάλλευση του αντίστοιχου γεωθερμικού πεδίου, το οποίο αποτελεί προέκταση του πεδίου της Ν. Κεσσάνης.

Το σπαράγγι (*Asparagus officinalis*) χρησιμοποιείται εδώ και 20 αιώνες τόσο για διατροφή όσο και για φαρμακευτικούς σκοπούς. Το εδώδιμο μέρος του είναι οι νεαροί τρυφεροί βλαστοί που περιέχουν την διουρητική ουσία, ασπαραγίνη. Οι βλαστοί καταναλώνονται φρέσκοι, σε κονσέρβες ή κατεψυγμένοι ή σε διάφορα σκευάσματα όπως σούπες. Αποτελεί ενδημικό φυτό της Ευρώπης και των Ανατολικών παραμεσόγειων χωρών της Δυτικής Ασίας και της Βόρειας Αφρικής. Στην Ελλάδα, το σπαράγγι καλλιεργήθηκε για πρώτη φορά το 1961 στα Γιαννιτσά, και πλέον καλλιεργείται και σε άλλες περιοχές της χώρας (κυρίως νομοί Έβρου, Ημαθίας, Πέλλας, Θεσσαλονίκης). Σήμερα διακρίνεται το λευκό και πράσινο σπαράγγι, αποτέλεσμα της καλλιεργητικής, πρακτική που εφαρμόζεται (Gaiapedia, 2015).



Εικόνα 10: Ενδεικτική απεικόνιση καλλιέργειας σπαραγγιών.

Το σπαράγγι αποτελεί ένα πολυετές φυτό ψυχρής εποχής που αναπτύσσεται σε μέρη με μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες 15-24°C και με αρκετά χαμηλές χειμερινές θερμοκρασίες για παρατεταμένη περίοδο λήθαργου (3-5 μήνες). Γενικά, τα σπαράγγια αποτελούν φυτά, τα οποία είναι πολύ ανθεκτικά στο κρύο, στη ζέστη, στην ξηρασία και στα άλατα και μπορούν να καλλιεργηθούν παντού, αρκεί να τυγχάνουν των απαραίτητων καλλιεργητικών φροντίδων. Οι βέλτιστες θερμοκρασίες ανάπτυξης του φυτού είναι 24-29°C (θερμοκρασία ημέρας) και 13-19°C (θερμοκρασία νύχτας). Η βλάστηση του σπαραγγιού και η έξοδος των βλαστών από το έδαφος επιτυγχάνεται μόλις η

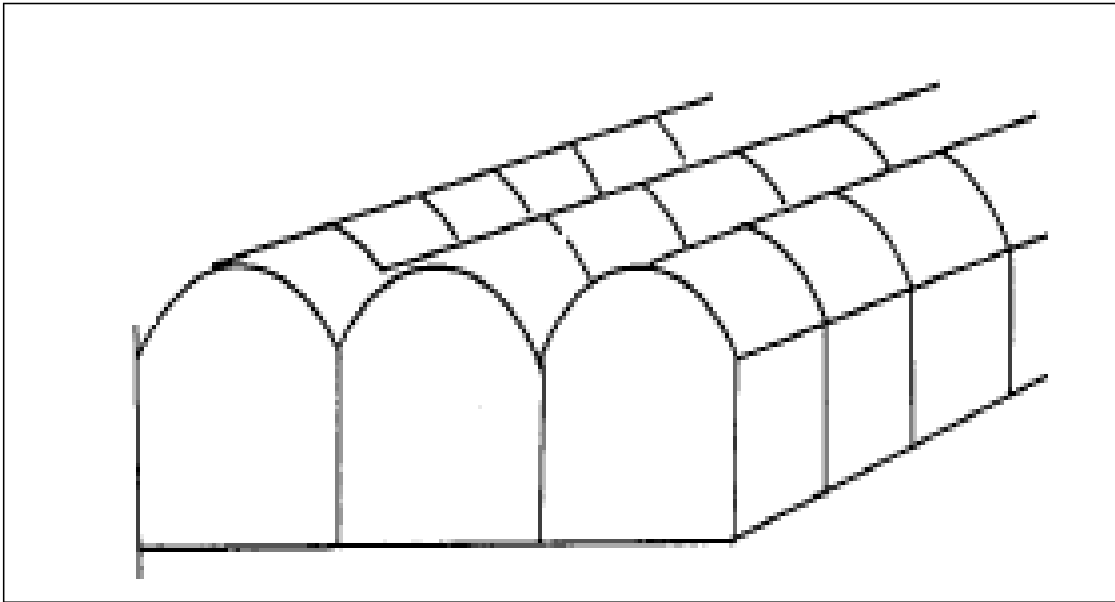
θερμοκρασία περιβάλλοντος υπερβεί τους 10°C. Μετά την έξοδο τους από το έδαφος, οι βλαστοί καθίστανται ευαίσθητοι στις χαμηλές θερμοκρασίες (Μακρυγιάννης, 2018).

#### **4.4 Κατασκευή θερμοκηπίου**

Τα θερμοκήπια αποτελούν ιδιαίτερες κατασκευές από σχεδιαστικής σκοπιάς, οι οποίες στοχεύουν στην προστασία των καλλιεργειών από τις καιρικές συνθήκες και την αποκατάσταση των επιθυμητών συνθηκών ανάπτυξης και παραγωγής προϊόντων καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.

Οι παράγοντες που επιδρούν στην ανάπτυξη των καλλιεργειών, όπως είναι το φως (ηλιακή ακτινοβολία), η θερμοκρασία, η υγρασία και το CO<sub>2</sub>, μπορούν να διατηρούνται εντός θερμοκηπίου σε βέλτιστα επίπεδα. Ένα ορθώς σχεδιασμένο θερμοκήπιο εξασφαλίζει τους παραπάνω παράγοντες, όσο το δυνατόν πλησιέστερα στις προκαθορισμένες βέλτιστες τιμές. Επομένως, ένα θερμοκήπιο είναι απαραίτητο να διαθέτει υψηλό ποσοστό διερχόμενης ακτινοβολίας, χαμηλή κατανάλωση θερμότητας, ικανοποιητικό αερισμό, επαρκή μηχανική αντοχή και χαμηλό κατασκευαστικό και λειτουργικό κόστος (VonElsner, et al., 2006).

Το θερμοκήπιο που θα μελετηθεί στην παρούσα εργασία ανήκει στα τυποποιημένα θερμοκήπια, τα οποία κατασκευάζονται από βιομηχανίες της Ελλάδας ή



του εξωτερικού και ο σκελετός τους αποτελείται από γαλβανισμένο μέταλλο, ενώ το υλικό κάλυψης θα είναι από μαλακό πλαστικό (πολυαιθυλένιο). Η πρόσθια όψη του θα είναι τοξωτή και θα επιτευχθεί η επιθυμητή επιφάνεια κάλυψης ( $2000\text{m}^2$ ), με την κατά μήκος επανάληψη της τοξωτής κατασκευαστικής μονάδας, δημιουργώντας εν συνόλω ένα τροποποιημένο πολλαπλό τοξωτό θερμοκήπιο, όπως απεικονίζεται στην ακόλουθη εικόνα.

Εικόνα 11: Ενδεικτική απεικόνιση τροποποιημένου πολλαπλού τοξωτού θερμοκηπίου (Τσεκούρας & Χριστόπουλος, 2017).

Οι διαστάσεις της κατασκευαστικής μονάδας του θερμοκηπίου θα είναι:

- Ύψος: μέγιστο (κορυφή) 3.5m, ελάχιστο (άκρα) 2.6 m
- Πλάτος: 7.5m
- Μήκος: 44.5m
- Αποστάσεις μεταξύ εσωτερικών στύλων: 2.5m

Συνολικά, θα κατασκευαστούν 6 τοξωτά θερμοκήπια των ανωτέρω διαστάσεων, διατεταγμένα σε σειρά, εμβαδού 333.75m<sup>2</sup>έκαστο, καλύπτοντας εν συνόλω την επιθυμητή επιφάνεια των 2002.5m<sup>2</sup>.



Εικόνα 12: Τυπική όψη τοξωτού θερμοκηπίου (Γεωθερμική Α.Ε., 2018).

Ο σκελετός του θερμοκηπίου αποτελεί τον φέροντα οργανισμό πάνω στον οποίο αναρτάται το διαφανές υλικό κάλυψης. Εκ τούτου, θα πρέπει να διαθέτει επαρκή στατική ευστάθεια και αντοχή για να φέρει φορτία, όπως το βάρος του σκελετού και του υλικού κάλυψης, τα φορτία εξοπλισμού (πχ συστήματα θέρμανσης, εξαερισμού, σκίασης κα), φορτία κλίματος (χιόνι, ανεμοπίεση) (Καραμήτσος, 2020). Η κατασκευή του θερμοκηπίου θα πρέπει από τη μία να διαθέτει επαρκή στατική και μηχανική αντοχή ώστε να ανταποκρίνεται στις αναμενόμενες καταπονήσεις, από την άλλη θα πρέπει να παραμένει ελαφριά δίχως εκτεταμένο σκελετό ώστε να μην σκιάζει τις καλλιέργειες.

Η ποσότητα και η ποιότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που εισέρχεται στο χώρο της καλλιέργειας, επηρεάζεται από τα χαρακτηριστικά του διαφανούς καλύμματος του

θερμοκηπίου. Ένα υλικό καλής ποιότητας οφείλει να επιτρέπει τη διέλευση όσο το δυνατόν μεγαλύτερης ποσότητας ακτινοβολίας και να ευνοεί τη διάχυσή της στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, με αποτέλεσμα να επιτυγχάνεται ομοιογένεια φωτισμού σε όλο το χώρο.

Στα πρώτα θερμοκήπια, ως υλικό κάλυψης αξιοποιήθηκε το γυαλί. Ωστόσο, η μαζική παραγωγή των πλαστικών και η χρήση τους πριν από έξι δεκαετίες τα έφερε στο προσκήνιο εξαιτίας του χαμηλού κόστους και των πλεονεκτημάτων που προσφέρουν εν συγκρίσει με το γυαλί (Ασπράγκαθος & Μπεθάνης, 2015). Στην Ελλάδα κυρίαρχα υλικά κάλυψης αποτελούν οι διάφοροι τύποι πλαστικών, όπως το πολυαιθυλένιο (PE), που χρησιμοποιείται κατά κόρον και θα αξιοποιηθεί και για τις ανάγκες της παρούσας μελέτης.

Τα φύλλα πολυαιθυλενίου γενικά παρουσιάζουν τις παρακάτω επιθυμητές ιδιότητες (Τσεκούρας & Χριστόπουλος, 2017):

- Είναι αδιαπέραστα στο νερό και τους υδρατμούς
- Είναι σχετικά περατά στα αέρια, ιδιαίτερα στο CO<sub>2</sub>
- Έχουν καλή μηχανική αντοχή
- Έχουν καλή περατότητα στο φως

#### **4.5 Εκτίμηση ενεργειακών απαιτήσεων**

Οι θερμικές απαιτήσεις μιας θερμοκηπιακής μονάδας θα πρέπει να αντισταθμίζουν τις θερμικές απώλειες και αναφέρονται στο ποσό θερμότητας που πρέπει να προστεθεί στο χώρο ώστε να επιτυγχάνεται η διατήρηση της επιθυμητής θερμοκρασίας στο εσωτερικό της. Ο υπολογισμός των απωλειών είναι απαραίτητος ειδικότερα όταν επιχειρείται θερμοκηπιακή καλλιέργεια εκτός εποχής, (χειμώνας) οπότε το σύστημα θέρμανσης είναι απαραίτητο.

Οι θερμικές απώλειες που λαμβάνονται υπόψιν κατά τη μελέτη είναι οι απώλειες λόγω ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος, απώλειες λόγω αγωγής, συναγωγής, απώλειες λόγω διαφυγής του αέρα από τα ανοίγματα καθώς και λόγω εξάτμισης που συνολικά οφείλονται σε θερμοκρασιακές διαφορές μεταξύ του αέρα εντός του θερμοκηπίου και του εξωτερικού ψυχρού αέρα (Τσεκούρας & Χριστόπουλος, 2017).

Σε μια πρώτη εκτίμηση, με βάση εμπειρικά δεδομένα, οι ενεργειακές ανάγκες ενός θερμοκηπίου μπορούν να εκτιμηθούν σύμφωνα με την ακόλουθη σχέση:

$$Q = A_s * U * (T_i - T_c)$$

όπου:

$U$  = ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας ( $W/m^2\text{ }^\circ\text{C}$ ), ο οποίος λαμβάνεται από τον Πίνακα 4

$T_i$  = η επιθυμητή θερμοκρασία σε  $^\circ\text{C}$

$T_c$  = εξωτερική θερμοκρασία  $^\circ\text{C}$

$A_s = A_c / A_g$  με

$A_c$  = την επιφάνεια του καλύμματος σε  $m^2$

$A_g$  = την επιφάνεια του καλυπτόμενου εδάφους σε  $m^2$

Όπως υπολογίζονται ακολούθως:

$$\begin{aligned} A_c &= 6 * \left[ +2 * \left( 7.5 * 2.6 + \frac{1}{2} * 7.5 * 0.9 \right) + 2 * 3.9 * 44.5 \right] + 2 * (44.5 * 2.6) \\ &= 2451.25 m^2 \end{aligned}$$



$$A_g = 6 * [44.5 * 7.5] = 2002.5m^2$$

Στον ακόλουθο πίνακα συγκεντρώνονται κάποιες προσεγγιστικές τιμές του συντελεστή μεταφοράς θερμότητας για τα συνήθη χρησιμοποιούμενα υλικά κάλυψης των θερμοκηπίων. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε το πολυαιθυλένιο και ως τιμή συντελεστή κάλυψης θα μπορούσε να επιλεγεί μία ενδιάμεση τιμή που αφορά το πολυαιθυλένιο με όχι καλή συναρμογή  $U=7.5W/m^2$ .

ΚΑΛΥΨΗ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ	U (W/m <sup>2</sup> °C)
Υαλοπίνακες (νέα κατασκευή)	6,3
Υαλοπίνακες (παλαιά κατασκευή)	7,2
Πολυαιθυλένιο με πολύ καλή συναρμογή	6,8
Πολυαιθυλένιο με όχι καλή συναρμογή	7,8
Διπλό φύλλο πολυαιθυλενίου	4,2
Ενισχυμένος πολυεστέρας με πολύ καλή συναρμογή	6,0
Ακρυλικό διπλής επιφάνειας πάχους 15mm με πολύ καλή συναρμογή	5,0

Πίνακας 4: : Συντελεστής μεταφοράς θερμότητας U(W/m<sup>2</sup>) υλικού κάλυψης (Μεϊντάνης, 2010).

Στην παρούσα εργασία θα χρησιμοποιηθεί η μέθοδος του ενεργειακού ισοζυγίου(Τσεκούρας & Χριστόπουλος, 2017), η οποία στην απλοποιημένη της μορφή αποδίδεται με την παρακάτω σχέση:

$$Q_H = R_N + Q_{cc} + Q_v$$

όπου:

$Q_H$ : είναι η απαιτούμενη ενέργεια θέρμανσης σε W/m<sup>2</sup>

$R_N$ : είναι η καθαρή ανταλλαγή ενέργειας με ακτινοβολία μεταξύ του θερμοκηπίου και του περιβάλλοντος του σε  $W/m^2$

$Q_{cc}$ : είναι η αισθητή θερμότητα από μεταφορά και αγωγιμότητα μεταξύ του θερμοκηπίου και του περιβάλλοντος του σε  $W/m^2$

$Q_v$ : είναι η απώλεια θερμότητας εξ αιτίας της διείσδυσης του αέρα σε  $W/m^2$

Με τον όρο  $R_N$  νοείται η καθαρή ανταλλαγή ενέργειας με ακτινοβολία μεταξύ του θερμοκηπίου και του περιβάλλοντος αυτού σε  $W/m^2$ . Πιο αναλυτική έκφραση για τις  $R_N$  δίνεται από τον τύπο:

$$R_N = -\frac{A_c}{A_g} [f_{cg} * \sigma * T_0^4 + f_{cs} * \sigma * T_s^4 - \sigma * T_c^4]$$

όπου:

$T_0$ ,  $T_s$ ,  $T_c$  είναι οι θερμοκρασίες του εξωτερικού περιβάλλοντος, του ουρανού και του καλύμματος αντίστοιχα σε  $^{\circ}K$

$f_{cg}$ ,  $f_{cs}$  είναι οι συντελεστές μορφής καλύμματος - εδάφους και καλύμματος ουρανού,

$\sigma$  είναι η σταθερά των Stefan-Boltzman  $5.67 \times 10^{-8} W/(m^2 \cdot K^4)$

Επίσης, οι επιμέρους θερμοκρασίες  $T_s$  και  $T_c$  δίνονται από τις σχέσεις:

$$T_s = (T_o - 15) * i + (T_o - 4) * (1 - i)$$

$$T_c = T_o + \frac{(T_i - T_o) + 0.2 * T_s - 3.72}{1.32 + 0.4 * u^{0.8}}$$

όπου:

$$i = \frac{D_s}{D_d}$$

με

$D_s$  τη μηνιαία διάρκεια ηλιοφάνειας, όπως προκύπτει από τον πίνακα 5 για την πλησιέστερη περιοχή (Κομοτηνή) για την οποία υπάρχουν δεδομένα

$D_d$  τη μηνιαία διάρκεια ημέρας που προκύπτει ως  $D_d = DL \times$  αριθμό ημερών μήνα.

με

$$DL = \frac{2}{15} \cos^{-1}(-\tan \varphi * \tan \delta)$$

όπου:

$\varphi$  το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής μελέτης, δηλαδή  $41.07^\circ$

$$\delta = 23,45 \sin \left[ \frac{360}{365} (284 + I) \right]$$

όπου

$I$  ο αύξων αριθμός της ημέρας του έτους όπως δίνεται στον πίνακα 3

$T_i$  η επιθυμητή θερμοκρασία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου σε  $^\circ\text{C}$

$U$  η ταχύτητα του ανέμου όπως δίνεται στον πίνακα 3

A/A	Πόλη	I	Φ	M	A	M	I	I	A	Σ	O	N	Δ	Έτος
1	Αθήνα	123,2	138,9	180,4	232,5	302,8	334,6	372,7	356,6	276,5	210,9	161,8	127,2	2818
2	Αλιάρτος	85,9	108,5	158,5	212,0	286,1	317,3	337,1	379,1	246,3	170,8	127,7	96,6	2526
3	Αραξός	128,5	131,8	185,8	221,9	283,1	298,1	343,6	338,9	271,3	207,7	154,6	120,8	2686
4	Αργασσόλι	138,9	133,3	183,5	206,9	303,4	340,6	367,4	347,0	269,4	203,5	153,2	119,8	2166
5	Άρτα	144,5	128,0	182,9	192,8	276,9	307,7	340,2	336,6	259,1	203,8	150,2	127,4	2658
6	Ηράκλειο	108,8	128,4	170,3	234,5	314,3	353,3	384,7	356,7	285,2	197,2	161,5	121,1	2816
7	Θεσ/νίκη	106,3	120,7	152,6	209,4	268,9	292,8	342,4	306,1	238,5	171,1	119,8	100,5	2429
8	Ιεράπετρα	157,3	161,5	213,9	243,8	303,2	359,2	386,0	369,8	301,6	239,0	202,1	164,5	3108
9	Ιωάννινα	93,8	97,6	145,6	177,2	244,2	269,1	319,8	299,0	222,6	179,4	117,0	86,7	2252
10	Καλαμάτα	148,9	142,5	193,5	193,2	307,9	344,4	366,3	344,2	272,0	209,7	176,1	122,4	2821
11	Κέρκυρα	120,4	119,4	168,0	211,9	277,9	329,6	371,7	340,5	257,6	198,6	134,6	111,8	2642
12	Κομοτηνή	113,4	111,1	142,9	191,7	247,5	287,4	316,5	303,7	237,4	186,1	124,0	110,0	2372

Πίνακας 5: Μέση μηνιαία διάρκεια ηλιοφάνειας σε ώρες (Τσεκούρας & Χριστόπουλος, 2017),

Τέλος, οι συντελεστές  $f_{cg}$  και  $f_{cs}$  δίνονται από τις σχέσεις:

$$f_{cg} = 1 - f_{cs}$$

$$f_{cs} = \frac{A_c + A_g}{2A_c}$$

Με τον όρο  $Q_{cc}$  νοείται η αισθητή θερμότητα από μεταφορά και αγωγιμότητα μεταξύ του θερμοκηπίου και του περιβάλλοντος αυτού σε  $W/m^2$ . Πιο αναλυτική έκφραση για της  $Q_{cc}$  δίνεται από τον τύπο:

$$Q_{cc} = \frac{A_c}{A_g} * U * (T_i - T_0)$$

με

$$U = \frac{5.8 * u + 9.16}{u + 3.2}$$

Με τον όρο  $Q_v$  νοείται η απώλεια θερμότητας λόγω διείσδυσης του αέρα σε  $W/m^2$

Με τον όρο  $Q_v$  νοείται η απώλεια θερμότητας λόγω διείσδυσης του αέρα σε  $W/m^2$ . Πιο αναλυτική έκφραση για της  $Q_v$  δίνεται από τον τύπο:

$$Q_v = R * \rho * \frac{V_0}{A_g} * (H_i - H_0)$$

όπου:

R είναι οι ανανεώσεις του αέρα την ώρα σε 1/h και δίνονται από τη σχέση:

$$R = 0.7 + 0.5 * u$$

$V_0$  είναι ο όγκος του θερμοκηπίου ίσος με  $5633.7m^3$

$\rho$  είναι η πυκνότητα του αέρα η οποία λαμβάνεται ίση με  $1.25 kg/m^3$

$H_i$ ,  $H_0$  είναι η ενθαλπίες του εσωτερικού και του εξωτερικού αέρα αντίστοιχα σε J/Kg και υπολογίζονται με τη βοήθεια ψυχομετρικού χάρτη συναρτήσεων των  $T_0$  και της σχετικής υγρασίας  $RH_0$  και  $T_i$ -  $RH_i$  αντίστοιχα (όπου ως  $RH_i$  λαμβάνεται το 90% της  $RH_0$ ).

Με βάση όλα τα προηγούμενα και με τη βοήθεια των υπολογιστικών φύλλων του Microsoft Excel, πραγματοποιήθηκαν οι απαιτούμενοι υπολογισμοί, όπως παρατίθενται ακολούθως. Επισημαίνεται, ότι ως ελάχιστη επιθυμητή θερμοκρασία για την υπό μελέτη καλλιέργεια των σπαραγγιών θεωρήθηκαν οι  $15^\circ C$ , ενώ ως βέλτιστη οι  $25^\circ C$  (Dalampakis, et al., 2017).

<b>Παράμετρος</b>	<b>Τιμή</b>
<b>V<sub>0</sub></b>	5633,7
<b>φ</b>	41,07
<b>A<sub>c</sub></b>	2451,25
<b>A<sub>g</sub></b>	2002,5
<b>σ</b>	5,67*10 <sup>-8</sup>
<b>f<sub>cs</sub></b>	0,90847
<b>f<sub>cg</sub></b>	0,09153

Πίνακας 6: Υπολογισμός παραμέτρων με τη βοήθεια του MicrosoftExcel.

<b>Μήνας</b>	<b><math>\delta</math></b>	<b>DL</b>	<b><math>D_s</math></b>	<b><math>D_a</math></b>	<b>i</b>	<b><math>T_s</math> σε (K)</b>	<b><math>T_c</math> σε (K)</b>
<b>Ιανουάριος</b>	-20,92	9,41	113,40	291,61	0,39	271,57	281,88
<b>Φεβρουάριος</b>	-12,96	10,46	111,10	292,85	0,38	272,88	282,63
<b>Μάρτιος</b>	-2,42	11,72	142,90	363,30	0,39	275,52	284,36
<b>Απρίλιος</b>	9,41	13,11	191,70	393,25	0,49	279,39	292,28
<b>Μάιος</b>	18,79	14,30	247,50	443,32	0,56	284,01	295,41
<b>Ιούνιος</b>	23,09	14,91	287,40	447,25	0,64	287,48	297,91
<b>Ιούλιος</b>	21,19	14,63	316,50	453,62	0,70	289,48	299,46
<b>Αύγουστος</b>	13,46	13,61	303,70	421,78	0,72	288,63	299,08
<b>Σεπτέμβριος</b>	2,22	12,26	237,40	367,77	0,65	285,85	296,96
<b>Οκτώβριος</b>	-9,96	10,83	186,10	335,63	0,55	280,95	293,40
<b>Νοέμβριος</b>	-19,38	9,62	124,00	288,64	0,43	276,52	285,18
<b>Δεκέμβριος</b>	-23,40	9,05	110,00	280,45	0,39	272,84	282,72

Πίνακας 7: Υπολογισμός παραμέτρων με τη βοήθεια του Microsoft Excel.

Οπότε η καθαρή ανταλλαγή ενέργειας με ακτινοβολία μεταξύ του θερμοκηπίου και του περιβάλλοντος,  $R_N$  υπολογίζεται ανά μήνα σε  $W/m^2$ :

<b>Μήνας</b>	<b><math>R_N</math></b>
<b>Ιανουάριος</b>	95,23
<b>Φεβρουάριος</b>	93,29
<b>Μάρτιος</b>	90,44
<b>Απρίλιος</b>	122,37
<b>Μάιος</b>	118,33
<b>Ιούνιος</b>	116,05
<b>Ιούλιος</b>	115,41
<b>Αύγουστος</b>	117,73
<b>Σεπτέμβριος</b>	118,77
<b>Οκτώβριος</b>	121,50
<b>Νοέμβριος</b>	90,37
<b>Δεκέμβριος</b>	94,06

Πίνακας 8: Υπολογισμός  $R_N$  με τη βοήθεια του Microsoft Excel.

Ομοίως, η αισθητή θερμότητα από μεταφορά και αγωγιμότητα μεταξύ του θερμοκηπίου και του περιβάλλοντος αυτού,  $Q_{cc}$  υπολογίζεται ανά μήνα σε  $W/m^2$ :

<b>Μήνας</b>	<b>U</b>	<b><math>Q_{cc}</math></b>
<b>Ιανουάριος</b>	4,09	41,56
<b>Φεβρουάριος</b>	4,09	35,55
<b>Μάρτιος</b>	4,06	21,37
<b>Απρίλιος</b>	3,92	45,11
<b>Μάιος</b>	3,90	19,10
<b>Ιούνιος</b>	3,94	-1,93
<b>Ιούλιος</b>	4,03	-14,79



<b>Αύγουστος</b>	4,04	-11,88
<b>Σεπτέμβριος</b>	4,01	5,89
<b>Οκτώβριος</b>	4,09	35,55
<b>Νοέμβριος</b>	3,96	14,05
<b>Δεκέμβριος</b>	4,03	34,50

Πίνακας 9: Υπολογισμός  $Q_{cc}$  με τη βοήθεια του Microsoft Excel.

Ομοίως, η απώλεια θερμότητας λόγω διείσδυσης του αέρα,  $Q_v$  υπολογίζεται ανά μήνα σε  $W/m^2$ :

<b>Μήνας</b>	<b>R</b>	<b>H<sub>i</sub></b>	<b>H<sub>0</sub></b>	<b>Q<sub>v</sub></b>
<b>Ιανουάριος</b>	1,85	21,00	16,00	32,53
<b>Φεβρουάριος</b>	1,85	25,00	21,00	26,02
<b>Μάρτιος</b>	1,80	31,00	28,00	18,99
<b>Απρίλιος</b>	1,60	42,00	38,00	22,51
<b>Μάιος</b>	1,58	59,00	54,00	27,69
<b>Ιούνιος</b>	1,63	78,00	76,00	11,43
<b>Ιούλιος</b>	1,75	98,00	95,00	18,46
<b>Αύγουστος</b>	1,78	98,00	95,00	18,73
<b>Σεπτέμβριος</b>	1,73	77,00	75,00	12,13
<b>Οκτώβριος</b>	1,85	51,00	46,00	32,53
<b>Νοέμβριος</b>	1,65	33,00	30,00	17,41
<b>Δεκέμβριος</b>	1,75	25,00	21,00	24,62

Πίνακας 10: Υπολογισμός  $Q_v$  με τη βοήθεια του Microsoft Excel.

Τελικά, οι συνολικές απώλειες, οι οποίες θα πρέπει να αντισταθμιστούν μέσω των συστημάτων θέρμανσης που θα εγκατασταθούν ανέρχονται σε 380.43kW κατά μέγιστο και αντιστοιχίζονται στο μήνα Απρίλιο. Ενδεικτικά, η εγκατεστημένη

(ηλεκτρική) ισχύς των συστημάτων που θα χρησιμοποιηθούν, λαμβάνοντας υπόψιν ένα τυπικό συντελεστή μετατροπής (COP) 3.6, δίνεται σε 106kW. Για λόγους ασφαλείας οι θερμικές ανάγκες της θερμοκηπιακής μονάδας θα προσαυξηθούν και η επιλογή των συστημάτων θέρμανσης θα πραγματοποιηθεί για 400kW θερμική ισχύ.

Μήνας	Θερμική Ισχύς		Ηλεκτρική Ισχύς
	Q σε (W/m <sup>2</sup> )	Q σε (kW)	Q σε (kW)
Ιανουάριος	169,32	339,07	73,71
Φεβρουάριος	154,87	310,12	67,42
Μάρτιος	130,80	261,92	56,94
Απρίλιος	189,98	<b>380,43</b>	<b>82,70</b>
Μάιος	165,12	330,66	71,88
Ιούνιος	125,55	251,41	54,66
Ιούλιος	119,08	238,46	51,84
Αύγουστος	124,58	249,48	54,23
Σεπτέμβριος	136,79	273,92	59,55
Οκτώβριος	189,59	379,64	82,53
Νοέμβριος	121,83	243,96	53,03
Δεκέμβριος	153,18	306,75	66,68

Πίνακας 11: Υπολογισμός συνολικών απωλειών και εγκατεστημένης ισχύος με τη βοήθεια του Microsoft Excel.

#### 4.6 Κάλυψη αναγκών μέσω ΑΠΕ

Το σύστημα θέρμανσης της θερμοκηπιακής μονάδας συντίθεται από σωλήνες ζεστού νερού, οι οποίοι διακλαδίζονται μέσα στους χώρους του θερμοκηπίου και η μετάδοση της θερμότητας διεξάγεται μέσω συναγωγής και με ακτινοβολία. Ο θερμός αέρας εντός του θερμοκηπίου συγκεντρώνεται ψηλά, όπου και ψύχεται μέσω της επαφής

του με το κάλυμμα όταν η εξωτερική θερμοκρασία είναι χαμηλή, το ειδικό του βάρος αυξάνεται κι εκ τούτου κατέρχεται στο έδαφος.

Το νερό θα θερμαίνεται με τη βοήθεια αντλιών θερμότητας αέρα-νερού στην περίπτωση χρήσης φ/β συστημάτων, και με γεωθερμικές αντλίες, στην περίπτωση χρήσης γεωθερμικής ενέργειας. Το θερμαινόμενο νερό θα προωθείται με κυκλοφορητές στις σωληνώσεις που έχουν εγκατασταθεί εντός των χώρων του θερμοκηπίου. Όταν δεν απαιτείται θερμότητα στο θερμοκήπιο, είτε τους μήνες που οι καλλιέργειες θα βρίσκονται σε λήθαργο είτε όταν οι θερμοκρασία του περιβάλλοντος θα επαρκεί, τότε οι κυκλοφορητές και τα συστήματα των αντλιών θερμότητας θα σταματούν τη λειτουργία τους. Σε περίπτωση που τα συστήματα των αντλιών δε λειτουργούν, αλλά απαιτηθεί θερμότητα, οι θερμοστάτες χώρου θα δίνουν εντολή και θα επανεκτιμούν εκείνες οι αντλίες θερμότητας που αντιστοιχούν στους χώρους όπου η θερμοκρασία έχει πέσει κάτω από τα επιθυμητά επίπεδα.

#### **4.6.1 Χρήση Φ/Β συστημάτων και Α/Θ**

Η εγκατάσταση της θερμοκηπιακής μονάδας θα πραγματοποιηθεί σε περιοχή στην οποία δεν προκύπτουν σκιάσεις των φωτοβολταϊκών πάνελ (πχ δάση, παρακείμενες κατασκευές κα), επιτρέποντας τη μέγιστη δυνατή ηλεκτροπαραγωγή από τα συστήματα μέσω της απρόσκοπτης πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας στα πλαίσια. Ακόμη, η τοποθέτηση των φ/β θα πραγματοποιηθεί με βάση το βέλτιστο προσανατολισμό για την περιοχή, που σημαίνει γωνία 35° ως προς το οριζόντιο επίπεδο και αζιμούθιο 0°. Τα δεδομένα αυτά προέκυψαν με βάση το διαδικτυακό εργαλείο PVGIS της Ευρωπαϊκής Επιτροπής (European Commission, 2019).

Για τη μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε θερμική θα εγκατασταθούν αντλίες θερμότητας αέρα-νερού, συνολικής θερμικής ισχύος 400kW. Η διανομή θα είναι τέτοια ώστε για λόγους ομοιόμορφης θέρμανσης, αλλά και ασφάλειας (πχ βλάβες), θα εγκατασταθούν 3 αντλίες θερμότητας θερμικής ισχύος 23kW, ανά τοξωτό θερμοκήπιο,

που σημαίνει ότι συνολικά θα εγκατασταθούν 18 A/Θ στο σύνολο των 2000m<sup>2</sup>. Εκάστη A/Θ θα καλύπτει μια έκταση 112m<sup>2</sup> και ούσα τεχνολογίας inverter θα είναι σε θέση να προσαρμόζει την ισχύ εξόδου της ανάλογα με τις θερμοκρασιακές ανάγκες που επικρατούν κάθε στιγμή και κάθε εποχή του χρόνου εντός του μέρους του θερμοκηπίου που είναι εγκατεστημένη (κάθε A/Θ θα ελέγχεται από ανεξάρτητο θερμοστάτη).

Για την απρόσκοπτη λειτουργία των συστημάτων θέρμανσης, οι εγκαταστάσεις θα πρέπει να περιλαμβάνουν την τοποθέτηση συσσωρευτών (μπαταρίες), ώστε να είναι εφικτή η αποθήκευση ενέργειας και χρήση της όποτε κρίνεται απαραίτητο. Η αποθηκευτική ικανότητα των συσσωρευτών θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε να επιτρέπει την εύρυθμη και απρόσκοπτη λειτουργία των τροφοδοτούμενων συστημάτων κατά τα διαστήματα που η ηλιοφάνεια δεν επαρκεί. Τα διαστήματα που η ηλεκτροπαραγωγή των φ/β πλαισίων είναι μεγάλη και οι συσσωρευτές φορτισμένοι, η περίσσεια της ενέργειας θα διοχετεύεται στο δίκτυο. Πρόκειται, επομένως, για ένα διασυνδεδεμένο, κατανεμημένο φ/β σύστημα όπως έχουν περιγραφεί στην υποενότητα 2.6.1.

Η εγκατεστημένη ισχύς των φ/β πλαισίων θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε να επαρκεί για την τροφοδοσία των αντλιών θερμότητας. Επιλέγοντας A/Θ με συντελεστή απόδοσης (COP) 3.65, η συνολική μέγιστη ηλεκτρική ισχύς των A/Θ είναι:

$$P_{el} = \frac{Q}{COP} = \frac{400kW}{3,65} = 109.59kW$$

Συνεπώς, επιλέγεται η τοποθέτηση φ/β συστημάτων συνολικής ισχύος 120kW. Ενδεικτικά παρουσιάζονται συστήματα τεχνολογίας αντίστοιχα με αυτά που θα πρέπει να τοποθετηθούν για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της υπό μελέτη θερμοκηπιακής μονάδας.

Με βάση τα ακόλουθα, θα τοποθετηθούν 267 φ/β στοιχεία ισχύος 450W έκαστο, τεχνολογίας μονοκρυσταλλικού πυριτίου και απόδοσης 20.7%.

## EG-(SERIES)M72-HE MONOCRYSTALLINE 144-CELL MODULE 430~ 450Wp

0-+3% POSITIVE TOLERANCE





\* Black Frames Applied



- ISO9001:2015, ISO14001:2015, ISO45001:2018  
QC080000:2017, IEC TS 62941  
certified factory
- IEC61215, IEC61730, UL1703, IEC62804, IEC62716  
certified product

### KEY FEATURES

- 
**Mbb half cell design**  
 Half-cut cells brings lower resistance and increased Multi Busbar reflectance ensures higher power output
- 
**High Efficiency**  
 Leading PERC technology achieves higher module efficiency up to 20.70%
- 
**Excellent Low-light Performance**  
 Advanced solar cell surface texturing technology allows for excellent performance in low-light environments.
- 
**High Reliability**  
 Strict in-house testing in PV Lab which is CNA3 approved & VDE certified
- 
**Highly Strengthened Design**  
 Certified to withstand: 5400Pa snow load and 2400Pa wind load

### Electrical Characteristics

STC	EG-430 M72-HE	EG-435 M72-HE	EG-440 M72-HE	EG-445 M72-HE	EG-450 M72-HE
P <sub>max</sub> (W)	430	435	440	445	450
V <sub>mp</sub> (V)	40.76	40.97	41.16	41.36	41.56
I <sub>mp</sub> (A)	10.55	10.62	10.69	10.76	10.83
V <sub>oc</sub> (V)	49.07	49.27	49.47	49.67	49.87
I <sub>sc</sub> (A)	11.02	11.09	11.16	11.23	11.30
Module efficiency (%)	19.78	20.01	20.24	20.47	20.70
Maximum system voltage (V)	1000				
Fuse Rating Current (A)	20				
Power tolerance (%)	0-+3				
Temperature coefficient	P <sub>max</sub> (%/°C)	-0.390			
	I <sub>sc</sub> (%/°C)	0.039			
	V <sub>oc</sub> (%/°C)	-0.295			

Εικόνα 13: Χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκών στοιχείων.

Η αντλία θερμότητας θα είναι θερμικής ισχύος 23kW, διαχωριζόμενου τύπου (splitunit), αέρα-νερού, με συντελεστή απόδοσης 3.65, όπως φαίνεται παρακάτω.



Εικόνα 14: Αντλία θερμότητας 23kW.

<b>Τεχνικά</b>	
Όνομαστική Θερμική Ισχύς (7°C - 35°C)	23 kW
Μέγιστη Θερμοκρασία Νερού	60 °C
Τεχνολογία	Αέρος - Νερού
Είδος Συστήματος	Split
<b>Ενεργειακά</b>	
Ενεργειακή Κλάση (35°C)	A++
Ενεργειακή Κλάση (55°C)	A++
COP (7°C - 35°C)	3,65
EER (7°C - 35°C)	3,55

Πίνακας 12: Χαρακτηριστικά προτεινόμενης Α/Θ.

#### 4.6.2 Χρήση γεωθερμικού συστήματος

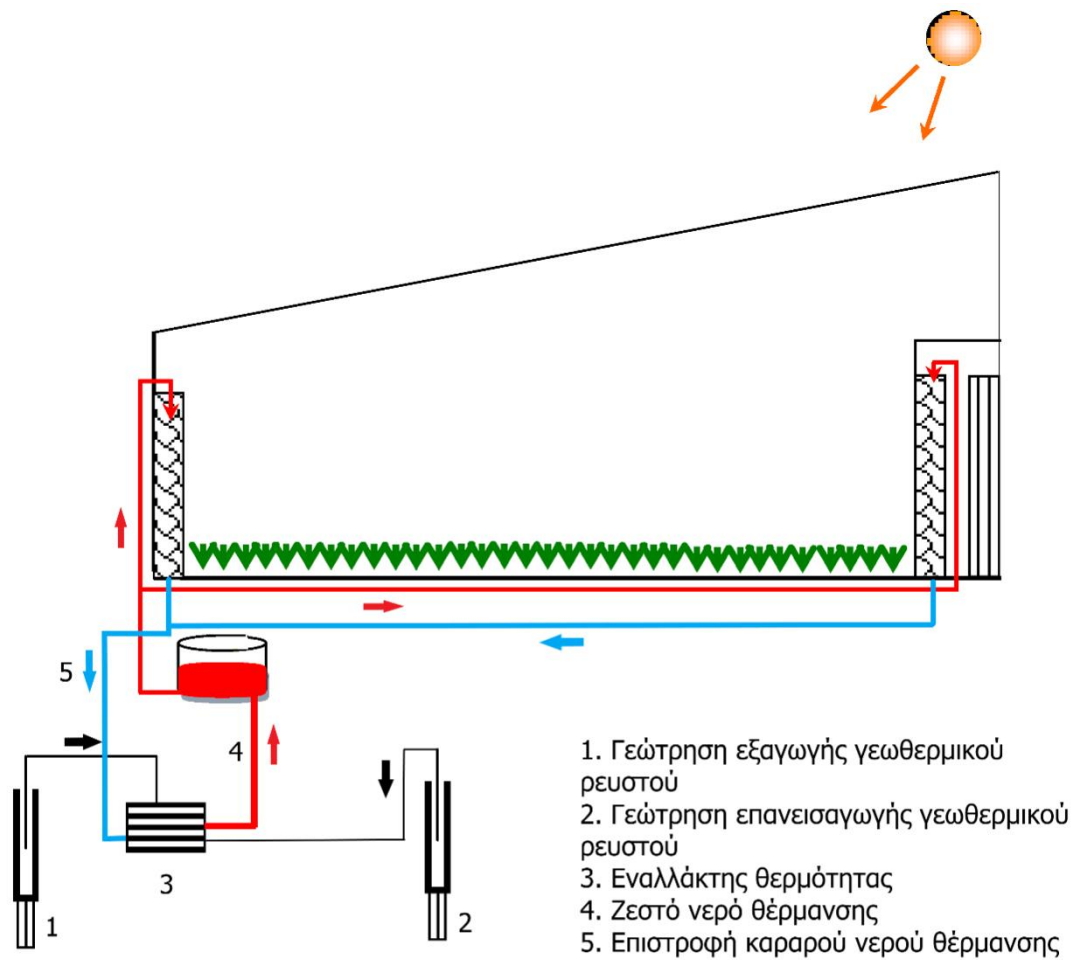
Στα πλαίσια της παρούσης, η εναλλακτική λύση αξιοποίησης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την κάλυψη των ενεργειακών απαιτήσεων θερμοκηπιακής μονάδας 2000m<sup>2</sup>, αφορά την αξιοποίηση του γεωθερμικού ρευστού, το οποίο προέρχεται από το γεωθερμικό πεδίο χαμηλής ενθαλπίας της Ν.Κεσσάνης. Με τη βοήθεια του γεωθερμικού ρευστού πρόκειται να θερμαίνεται καθαρό νερό για χρήσεις θέρμανσης των χώρων αλλά και για άρδευση.

Η μετάδοση θερμότητας μεταξύ του γεωθερμικού ρευστού και του καθαρού νερού θα πραγματοποιηθεί εντός εναλλάκτη θερμότητας. Η επιλογή της μη άμεσης χρησιμοποίησης του ίδιου του γεωθερμικού ρευστού για τη θέρμανση των χώρων του θερμοκηπίου πραγματοποιήθηκε για τρεις λόγους:

- Για την προστασία των δικτύων των σωληνώσεων, καθώς το γεωθερμικό ρευστό περιέχει στερεά υλικά τα οποία ενδέχεται να προκαλέσουν διάβρωση στους αγωγούς.
- Λόγω αλατότητας αλλά και λοιπών στερεών, το γεωθερμικό ρευστό ενδέχεται να μην είναι κατάλληλο για άρδευση. Θα απαιτηθούν χημικές μελέτες για την επιβεβαίωση των ανωτέρω.
- Για τη βέλτιστη ρύθμιση της μεταφερόμενης θερμότητας (ρύθμιση της θερμοκρασίας του νερού, μιας και το γεωθερμικό ρευστό διαθέτει θερμοκρασίες ανάλογες του σημείου εξαγωγής και του βάθους του εντός του γεωθερμικού πεδίου).

Η γεώτρηση του γεωθερμικού ρευστού θα πρέπει να πραγματοποιηθεί από τα 120 ως τα 450m, σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά που διαθέτει ο ταμιευτήρας, όπως αναλύθηκαν στη ενότητα 4.2.2. Ομοίως, και η γεώτρηση επανεισαγωγής θα πρέπει να πραγματοποιηθεί έως το κατάλληλο βάθος, με σκοπό το γεωθερμικό ρευστό να μπορεί να επιστρέψει εντός του γεωθερμικού ταμιευτήρα. Η παροχή του ταμιευτήρα εκτιμάται στα 300-350 m<sup>3</sup>/h(833-972l/s). Η θερμοκρασία των γεωθερμικών ρευστών είναι από 40°C ως 80°C, γεγονός που επιβάλλει τη ρύθμιση της θερμοκρασίας του καθαρού νερού

με τη βοήθεια του εναλλάκτη. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η εγκατάσταση θα είναι θερμικής ισχύος 400kW και θα αποτελείται από τα μέρη που παρουσιάζονται ακολούθως.



Εικόνα 15: Ενδεικτική απεικόνιση θέρμανσης θερμοκηπίου με τη βοήθεια της γεωθερμίας (τροποποιημένη εικόνα από το διαδίκτυο).



Συνολικά η γεωθερμική εγκατάσταση αποτελείται από τα ακόλουθα τμήματα:

- Γεώτρηση εξαγωγής γεωθερμικού ρευστού
- Τμήμα μεταφοράς γεωθερμικού ρευστού στον εναλλάκτη (ανοιχτό κύκλωμα)
- Εναλλάκτης ανταλλαγής θερμότητας μεταξύ γεωθερμικού ρευστού και καθαρού νερού
- Τμήμα διανομής καθαρού νερού (κλειστό κύκλωμα) εντός των θερμοκηπιακών χώρων
- Τμήμα μεταφοράς γεωθερμικού ρευστού από τον εναλλάκτη προς τη γεώτρηση επανεισαγωγής
- Τμήμα απόρριψης γεωθερμικού ρευστού (γεώτρηση επανεισαγωγής)

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

---

Κατόπιν της αναζήτησης στοιχείων και πληροφοριών σχετικών με τη μελέτη για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών θερμοκηπιακής μονάδας 2000m<sup>2</sup> μέσω ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, υλοποιήθηκε η συγγραφή της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Κυρίαρχος στόχος υπήρξε η αποτύπωση των ενεργειακών αναγκών ενός θερμοκηπίου της τάξης μεγέθους που προαναφέρθηκε και η δυνατότητα κάλυψης μέρους ή του συνόλου αυτών με τη βοήθεια ΑΠΕ. Στα πλαίσια της μελέτης, διερευνήθηκαν τα επιστημονικά πεδία που αφορούν τη λειτουργία των φωτοβολταϊκών συστημάτων και της γεωθερμικής ενέργειας.

Κατόπιν όλων των ανωτέρω και ως κατακλείδα της αναζήτησης, της έρευνας και της συγγραφής, προέκυψαν τα κάτωθι συμπεράσματα τα οποία και παρουσιάζονται συγκεντρωτικά ανά θεματική ενότητα.

Αναφορικά με το γενικό πλαίσιο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και των χρήσεων αυτών σε θερμοκήπια, αξιοσημείωτα συμπεράσματα αποτελούν τα ακόλουθα:

- Παράγοντες που ορίζουν τον τρόπο και το εύρος αξιοποίησης των ανανεώσιμων πηγών σε επίπεδο μιας χώρας αποτελούν οι γεωγραφικές, οι υπεδαφικές, οι κλιματικές συνθήκες και οι πολιτικές που ακολουθούνται.
- Στην Ελλάδα, μεταξύ των ΑΠΕ, η εκμετάλλευση της βιομάζας πρωτοστατεί, ακολουθούμενη από την υδροηλεκτρική ενέργεια (αξιοποίηση κυρίως μέσω ΜΥΗΣ, ως μονάδες εφεδρείας).
- Το μικρότερο μερίδιο κατέχει η γεωθερμία, η οποία παρόλα αυτά παρουσιάζει μια αύξηση της εγκατεστημένης γεωθερμικής ισχύος από το 2016 ως το 2019, κατά 17%, εξαιτίας των νέων μονάδων αξιοποίησης της γεωθερμίας σε θερμοκήπια στη Β. Ελλάδα, αλλά και των γεωθερμικών αντλιών που έχουν εγκατασταθεί.
- Η Ελλάδα τοποθετείται στην 7<sup>η</sup> θέση μεταξύ των χωρών της Ευρωπαϊκής Ένωσης αναφορικά με τη θερμοκηπιακή εδαφική κάλυψη, με το 45% αυτής να εντοπίζεται στην Κρήτη.

- Αναφορικά με τη χρήση ΑΠΕ στα θερμοκήπια ως εναλλακτικούςτρόπους για την εξοικονόμηση συμβατικών ενεργειακών πόρων, έχουν αξιοποιηθεί η ηλιακή ενέργεια, η γεωθερμία και η βιομάζα.
- Όσον αφορά την επιλογή της ανανεώσιμης ενεργειακής πηγής που ενδέχεται να χρησιμοποιηθεί σε μια θερμοκηπιακή μονάδα, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν οι κλιματολογικές συνθήκες και τα πρότυπα καλλιέργειας, οι δυνατότητες και το ενεργειακό δυναμικό της περιοχής αλλά και τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά της εγκατάστασης (απαιτήσεις, διαθέσιμες εκτάσεις κα).

Σχετικά με τα φωτοβολταϊκά συστήματα, τα σημεία άξια μνείας είναι τα ακόλουθα:

- Τα ηλιακά κύτταρα παρουσιάζουν αποδόσεις, οι οποίες εξαρτώνται από την τεχνολογία των υλικών κατασκευής τους.
- Ο τρόπος σύνδεσης των φ/β πλαισίων εξαρτάται από το επιδιωκόμενο αποτέλεσμα (αύξηση ρεύματος ή τάσης).
- Η ηλεκτροπαραγωγή ενός φωτοβολταϊκού σταθμού εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, το γεωγραφικό πλάτος και τα κλιματικά δεδομένα του τόπου εγκατάστασης, η θερμοκρασία και ο συντελεστής γήρανσης των φ/β στοιχείων, οι δίοδοι αντεπιστροφής, οι λοιπές απώλειες, ο συντελεστής απωλειών της γραμμής σύνδεσης του φ/β σταθμού με το ηλεκτρικό δίκτυο κα.

Όσον αφορά τη γεωθερμία, συνοπτικά συμπεράθηκαν τα εξής:

- Οι εφαρμογές που σχετίζονται με τη γεωθερμία μπορούν να χωριστούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες, σε αυτές που αφορούν άμεσες χρήσεις της και στις ηλεκτροπαραγωγικές.
- Αναφορικά με τα θερμοκήπια, τα οποία εντάσσονται στην ευρύτερη κατηγορία των αγροτικών χρήσεων, οι εκμεταλλεύσεις αφορούν γεωθερμικά πεδία με θερμοκρασίες που κυμαίνονται μεταξύ 30° και 90°C.

Από το ερευνητικό μέρος της εργασίας, τα συμπεράσματα που προέκυψαν συνοψίζονται στα κάτωθι:

- Η περιοχή εγκατάστασης του θερμοκηπίου επιλέχθηκε να είναι η ευρύτερη περιοχή του οικισμού Ν.Κεσσάνης, της Περιφερειακής Ενότητας Ξάνθης, της Περιφέρειας Ανατολικής Μακεδονίας & Θράκης. Η επιλογή της εν λόγω περιοχής έγινε με βάση το γεγονός ότι εκτείνεται άνωθεν ενός από τα πιο αξιόλογα γεωθερμικά πεδία στην Ελλάδα.
- Η καλλιέργεια που επιλέχθηκε στα πλαίσια της παρούσης είναι το σπαράγγι, καθώς η καλλιέργεια αυτού του φυτού επιλέγεται στην ευρύτερη περιοχή, τόσο εντός όσο και εκτός θερμοκηπιακών μονάδων, μιας και τα εδάφη της περιοχής είναι τέτοια ώστε δίχως σημαντικές προσθήκες καθίστανται κατάλληλα για την εν λόγω καλλιέργεια.
- Το θερμοκήπιο της παρούσης ανήκει στα τυποποιημένα θερμοκήπια, ο σκελετός τους αποτελείται από γαλβανισμένο μέταλλο, ενώ το υλικό κάλυψης είναι από μαλακό πλαστικό (πολυαιθυλένιο). Η πρόσθια όψη του είναι τοξωτή και η επιθυμητή επιφάνεια κάλυψης ( $2000\text{m}^2$ ) επιτυγχάνεται με την κατά μήκος επανάληψη της τοξωτής κατασκευαστικής μονάδας, δημιουργώντας εν συνόλω ένα τροποποιημένο πολλαπλό τοξωτό θερμοκήπιο. Οι διαστάσεις της κατασκευαστικής μονάδας είναι  $44.5 \times 7.5\text{m}$ . Συνολικά, θα κατασκευαστούν 6 τοξωτά θερμοκήπια των ανωτέρω διαστάσεων.
- Η μέγιστη τιμή της καθαρής ανταλλαγής ενέργειας με ακτινοβολία μεταξύ του θερμοκηπίου και του περιβάλλοντος,  $R_{\text{net}}$  υπολογίστηκε το μήνα Απρίλιο σε  $122.37\text{W}/\text{m}^2$ .
- Ομοίως, η μέγιστη τιμή της αισθητής θερμότητα από μεταφορά και αγωγιμότητα μεταξύ του θερμοκηπίου και του περιβάλλοντος αυτού,  $Q_{\text{cc}}$  υπολογίστηκε το μήνα Απρίλιο σε  $45.11\text{W}/\text{m}^2$ .
- Η μέγιστη απώλεια θερμότητας λόγω διείσδυσης του αέρα,  $Q_{\text{υ}}$  υπολογίστηκε τον Ιανουάριο και τον Οκτώβριο με τιμή  $32.53\text{W}/\text{m}^2$ .
- Οι συνολικές απώλειες, οι οποίες θα πρέπει να αντισταθμιστούν μέσω των συστημάτων θέρμανσης που θα εγκατασταθούν ανέρχονται σε  $380.43\text{kW}$  κατά μέγιστο και αντιστοιχίζονται στο μήνα Απρίλιο.

- Στην περίπτωση κάλυψης μέσω φ/β συστημάτων προτείνεται να εγκατασταθούν αντλίες θερμότητας αέρα-νερού, συνολικής θερμικής ισχύος 400kW. Η διανομή θα είναι τέτοια ώστε για λόγους ομοιόμορφης θέρμανσης, αλλά και ασφάλειας (πχ βλάβες), θα εγκατασταθούν 3 αντλίες θερμότητας θερμικής ισχύος 23kW, ανά τοξωτό θερμοκήπιο, που σημαίνει ότι συνολικά θα εγκατασταθούν 18 A/Θ στο σύνολο των 2000m<sup>2</sup>.
- Για την απρόσκοπτη λειτουργία των συστημάτων θέρμανσης, οι εγκαταστάσεις θα πρέπει να περιλαμβάνουν την τοποθέτηση συσσωρευτών. Τα φ/β πλαίσια θα είναι συνολικής ισχύος 120kW και προτείνεται να τοποθετηθούν 267 φ/β στοιχεία ισχύος 450W έκαστο.
- Στην περίπτωση κάλυψης των ενεργειακών αναγκών μέσω γεωθερμικής ενέργειας, προτείνεται η μη άμεση χρησιμοποίηση του ίδιου του γεωθερμικού ρευστού για τη θέρμανση των χώρων του θερμοκηπίου, αλλά η ενδιάμεση θέρμανση καθαρού νερού μέσω εναλλάκτη.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

---

Agronews, 2020. *Agronews*. [Ηλεκτρονικό]  
Available at: <https://www.agronews.gr/programmata/ependuseis/185688/megales-ependuseis-se-thermokipia-kai-stavlous-ano-ton-500000-euro-fernoun-oi-tropopoiiseis-ston-kanonismo-7022014/>

[Πρόσβαση 16 Σεπτέμβριος 2020].

Dalampakis , P. και συν., 2017. Technical and economic assessment of geothermal soil heating systems in row covered protected crops: A case study from Greece. *Applied Energy*, 203(<http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.06.029>), pp. 201-218.

El Char, L., lamont, L. & El Zein, N., 2011. Review of photovoltaic technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, pp. 2165–2175, Vol 15.

European Comission, 2019. *PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM*. [Ηλεκτρονικό]

Available at: [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/tools.html](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html)

Gaiapedia, 2015. <http://www.gaiapedia.gr/>. [Ηλεκτρονικό]  
Available at:

[http://www.gaiapedia.gr/gaiapedia/index.php/%CE%A3%CF%80%CE%B1%CF%81%CE%AC%CE%B3%CE%B3%CE%B9\\_%CF%86%CF%85%CF%84%CF%8C](http://www.gaiapedia.gr/gaiapedia/index.php/%CE%A3%CF%80%CE%B1%CF%81%CE%AC%CE%B3%CE%B3%CE%B9_%CF%86%CF%85%CF%84%CF%8C)

[Πρόσβαση 4 Μάιος 2021].

GEOCOM, 2015. *Handbook of best Practices of Geothermal Resources Management*. D6.3-Final version επιμ. Krakow: Geothermal Communities.

Google Maps, 2021. <https://www.google.gr/maps>. [Ηλεκτρονικό]  
Available at:

<https://www.google.gr/maps/@41.0807883,24.9390688,21697m/data=!3m1!1e3?hl=el&authuser=0>

[Πρόσβαση 14 Μαιος 2021].

Hasan, M. & Parida, S., 2016. An overview of solar photovoltaic panel modeling based on analytical and experimental viewpoint. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, pp. 75-83, Vol 60.

Hochstein, M., 1990. Classification and assessment of geothermal resources. Στο: M. Dickson & M. Fanelli, επιμ. *Small Geothermal resources - A guide to Development and Utilization*. Rome: UNITAR/UNDP Centre on small Energy Sources, pp. 31-59.

Juntunen, J. & Martiskainen, M., 2021. Improving understanding of energy autonomy: A systematic review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, p. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110797>.

Obi, M. & Bass, R., 2016. Trends and challenges of grid-connected photovoltaic systems—A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, pp. 1082-1094, Vol 58.

Papachristou, M. και συν., 2019. *Geothermal Energy Use, Country Update for Greece (2016-2019)*. Den Haag, The Netherlands, European Geothermal Congress 2019.

Parida, B., Iniyan, S. & Goic, R., 2011. A review of solar photovoltaic technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, pp. 1625–1636, Vol 15.

Prince, M., 1970. *Semiconductor Photovoltaic Effect and Devices*. Στο: W. & M.Schieber, επιμ. s.l.:Springer, pp. 223-234.

Shittu, S. και συν., 2019. Advancements in thermoelectric generators for enhanced hybridphotovoltaic system performance. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, pp. 24-54, Vol 109.

Sinha, S. & Chandel, S., 2015. Review of recent trends in optimization techniques for solarphotovoltaic–wind based hybrid energy systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, pp. 755-769, Vol 50.

SmartCover, 2020. *SmartCover*. [Ηλεκτρονικό]  
Available at: <https://www.smart-cover.gr/product/aftonomo-f-v-systima->

%E2%84%967-1560wp-48v-imerisia-par/  
[Πρόσβαση 9 Μάρτιος 2021].

Solar Direct, 2016. *SolarDirect*. [Ηλεκτρονικό]  
Available at: <https://www.solardirect.com/archives/pv/pvlist/pvlist.htm>  
[Πρόσβαση 21 Μάρτιος 2021].

uk.Mathworks, 2013. *Residential Grid connected PV system with MPPT*. [Ηλεκτρονικό]  
Available at: <https://uk.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/42986-residential-grid-connected-pv-system-with-mppt>  
[Πρόσβαση 2 Απρίλιος 2021].

Von Elsner, B. και συν., 2006. Review of Structural and Functional Characteristics of Greenhouse in European Union Countries: Part I, Design Requirements.. *Journal of Agriculture Engineering Research*, pp. 1-16, Vol. 75.

Αναστασιάδης, Γ., Μιχόπουλος, Α., Μπαλτζή, Α. & Μπουσγολίτης, Χ., 2012. *Γεωθερμία στην Κεντρική Μακεδονία*, Θεσσαλονίκη: Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, Τμήμα Κεντρικής Μακεδονίας.

Αναστόπουλος, Σ., 2014. *Γεωθερμία. Δυναμικό- Αξιοποίηση- Περιβάλλον*. Ξάνθη: Διπλωματική Εργασία, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Γεωτεχνικής Μηχανικής.

Αρέστης, Π. & Καραλή, Ζ., 2016. *Μελέτη ενεργειακών αναγκών θερμοκηπίων και προτάσεις για την χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την κάλυψη μέρους των ενεργειακών τους αναγκών*.. Πτυχιακή Εργασία επιμ. Πάτρα: Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Δυτικής Ελλάδος, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών Τ.Ε..

Ασκιτή, Γ. & Κατσικά, Ι., 2014. *Καινοτόμες Προτάσεις Αξιοποίησης των Γεωθερμικών Πεδίων της Ελλάδας και συγκεκριμένα των περιοχών Νέας Κεσσάνης και Νέου Ερασμίου- Μαγγάνων του Νομού Ξάνθης*. Καβάλα: ΤΕΙ Καβάλας.



Ασπράγκαθος, Α. & Μπεθάνης, Χ., 2015. *Χρήση Ηλιακών συστημάτων για θέρμανση/ψύξη θερμοκηπίων και μεθοδολογίες υπολογισμού θερμικών/ψυκτικών φορτίων*. Διπλωματική Εργασία επιμ. Θεσσαλονίκη: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Πολυτεχνική Σχολή, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών.

Βραχόπουλος, Μ., Κούκου, Μ. & Καρύτσας, Κ., 2015. *Κανονική Γεωθερμία. Αρχές Σχεδιασμού Γεωθερμικών Συστημάτων και Εφαρμογές*. ΣΕΑΒ επιμ. Αθήνα: Ελληνικά Ακαδημαϊκά Ηλεκτρονικά Συγγράμματα και Βοηθήματα.

Γαλανάκης, Γ. & Βέρδος, Π., 2009. *Μοντελοποίηση, προσομοίωση και μελέτη σκίασης φωτοβολταϊκής συστοιχίας στο λογισμικό Matlab*. Χανιά: Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης, Τμήμα Ηλεκτρονικής.

Γεωθερμική Α.Ε., 2018. [www.geotherm.gr](http://www.geotherm.gr). [Ηλεκτρονικό] Availableat: <https://www.geotherm.gr/pollapla-toxota-2/> [Πρόσβαση 21 Μάιος 2021].

Γιαννάκης, Α., 2014. *Παραμετρική διερεύνηση για το σχεδιασμό αυτόνομων φωτοβολταϊκών συστημάτων στη Νότια Ελλάδα*. Πάτρα : Διπλωματική Εργασία, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Τεχνολογίας Υπολογιστών.

ΔΕΔΔΗΕ, 2018. *ΔΕΔΔΗΕ*. [Ηλεκτρονικό] Availableat: [www.deddie.gr](http://www.deddie.gr) [Πρόσβαση 13 Σεπτέμβριος 2020].

ΙΕΝΕ, 2019. *Ο Ελληνικός Ενεργειακός Τομέας, Ετήσια Έκθεση*, s.l.: Ινστιτούτο Ενέργειας Νοτιοανατολικής Ευρώπης.

Κανάκης, Ι. & Θεοχάρης, Τ., 2013. *Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, Τεχνολογίες - Περιβάλλον*. s.l.: Παπασωτηρίου.

Καραϊσάς, Π., 2014. *Φωτοβολταϊκά συστήματα και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας*. Αθήνα: Εκδόσεις ΓΣΕΒΒΕ – Ινστιτούτο Μικρών Επιχειρήσεων.

Καραμήτσος, Μ., 2020. *Εκτίμηση ενεργειακών αναγκών θερμοκηπιακών μονάδων και αξιολόγηση τεχνολογιών κάλυψής τους*. Διπλωματική Εργασία επιμ. Χανιά: Πολυτεχνείο Κρήτης, Σχολή Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης.

Καρυδάκης, Γ., 2003. *Γεωθερμικά Πεδία Χαμηλής Ενθαλπίας Β.Ελλάδας. Τεχνική Γεωτρήσεων, Μηχανική Ταμιευτήρων και Διφασική Ροή Γεωθερμικών Ρευστών*. Ξάνθη: Διδακτορική Διατριβή, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Γεωτεχνικής Μηχανικής.

Καρυδάκης, Γ., 2016. *Γεωθερμικά Συστήματα*. Αθήνα: Γρηγόριος Καρυδάκης.

Κολιός, Ν., Κούτσινος, Σ., Αρβανίτης, Α. & Καρυδάκης, Γ., 2005. *Geothermal Situation in Northeastern Greece*. Αντάλυα, Τουρκία, ProceedingsWorldGeothermalCongress.

Κορέλη, Β., 2015. *Αξιοποίηση Γεωθερμικής Ενέργειας και Ανάλυση SWOT. Η Περίπτωση της Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης*. Ξάνθη: Διπλωματική Εργασία, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών.

Μακρυγιάννης, Β., 2018. *Τεχνική Καλλιέργειας Σπαραγγιού*. Πτυχιακή Εργασία επιμ. Θεσσαλονίκη: Αλεξάνδρειο Τεχνολογικό Ίδρυμα Θεσσαλονίκης, Σχολή Τεχνολογίας Γεωπονίας και Τεχνολογίας Τροφίμων και Διατροφής, Τμήμα Τεχνολόγων Γεωπόνων.

Μαυρομιχάλης, Δ.-Μ., 2014. *Πράσινη Δόμηση και Υπόγειοι Υδατικοί Πόροι. Έρευνες και Εφαρμογές*. Ξάνθη: Διπλωματική Εργασία, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών.

Μεζαρτάσογλου, Δ., Σταμπολής, Κ. & Χατζηβασιλειάδης, Ι., 2019. *Ο Ελληνικός Ενεργειακός Τομέας, Ετήσια Έκθεση 2019*. Αθήνα: Ινστιτούτο Ενέργειας Νοτιοανατολικής Ευρώπης (IENE).

Μεϊντάνης, Χ., 2010. *Κάλυψη ενεργειακών αναγκών ζε θερμοκήπια*. Διπλωματική Εργασία επιμ. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών.

Μενδινός, Δ. & Καρύτσας, Κ., 2010. *Αναζητώντας γεωθερμικά πεδία υψηλής ενθαλπίας στην Ελλάδα για ηλεκτροπαραγωγή & τηλεθέρμανση*. σ.1.:Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας..

Παπαιωάννου, Γ., Herr, H. & Harterich, M., 2009. *Ήπιες Μορφές Ενέργειας*. σ.1.:ΙΩΝ.

Παριανού, Ε., 2018. *Αξιοποίηση Θερμών Πηγών Ποταμιάς Ξάνθης*. Ξάνθη: Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών.

Πουλίδη, Φ.-Ν., 2015. *Πράσινη Δόμηση και Υπόγειοι Υδατικοί Πόροι. Έρευνες και Εφαρμογές. Επικαιροποιημένα Στοιχεία και Αναφορές*. Ξάνθη: Διπλωματική Εργασία, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών.

Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-3/2010, 2014. *Κλιματικά Δεδομένα Ελληνικών Περιοχών*. Αθήνα: Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής- Υ.Π.Ε.Κ.Α., Ειδική Γραμματεία Επιθεώρησης Περιβάλλοντος κι Ενέργειας, Ειδική Υπηρεσία Επιθεωρητών Ενέργειας, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας.

ΤΕΕ, 2011. *Οδηγός Μελέτης και Υλοποίησης Φωτοβολταϊκών Έργων*. Θεσσαλονίκη: Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος, Τμήμα Κεντρικής Μακεδονίας.

Τσεκούρας, Α. & Χριστόπουλος, Π., 2017. *Ενεργειακή Μελέτη και Εγκατάσταση Θερμοκηπίου καλλιέργειας οπωροκηπευτικών*. Πτυχιακή Εργασία επιμ. Πάτρα: Τεχνολογικό Ίδρυμα Δυτικής Ελλάδας, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε..

Τσορός, Σ. & Τζουβαδάκης, Ι., 2010. *Ανάπτυξη Οικονομοτεχνικής Μεθοδολογίας για την Εκμετάλλευση Φωτοβολταϊκών Στοιχείων Στοιχείων*. Αθήνα: Τεχνικά Χρονικά.

Φραγκιαδάκης, Ι., 2006. *Φωτοβολταϊκά Συστήματα*. Θεσσαλονίκη: ΖΗΤΗ, 2η έκδοση.

Φυτίκας, Μ. & Παπαχρήστου, Μ., 2004. *Τι Είναι η Γεωθερμική Ενέργεια;*. Θεσσαλονίκη: Διδακτικές Σημειώσεις, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Γεωλογίας.

