



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ**
UNIVERSITY OF PATRAS

Σχολή Γεωπονικών Επιστημών Πανεπιστημίου Πατρών

Τμήμα Γεωπονίας

Διπλωματική Εργασία

**«Η Εισαγωγή των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας
(ΑΠΕ) στα Θερμοκηπιακά Συστήματα»**

Λελέκης Μιχαήλ Α.Μ. 11091

Αποστολοπούλου Αμαλία Α.Μ. 12713

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια: Καυγά Αγγελική

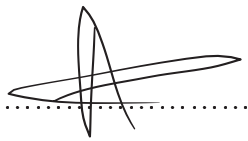
Αμαλιάδα 2022

Υπεύθυνη Δήλωση Φοιτητών:

Υπεύθυνη Δήλωση Φοιτητών: Οι κάτωθι υπογεγραμμένοι Φοιτητές έχουμε επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνουμε υπεύθυνα ότι είμαστε συγγραφείς αυτής της Πτυχιακής Εργασίας, αναλαμβάνοντας την ευθύνη επί ολοκλήρου του κειμένου εξ ίσου, έχουμε δε αναφέρει στην Βιβλιογραφία μας όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποιήσαμε και λάβαμε ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνουμε επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχουμε ενσωματώσει στην εργασία μας προερχόμενο από Βιβλία ή άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή παραφρασμένο, το έχουμε πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχουμε αναφέρει ανελλιπώς το όνομά του και την πηγή προέλευσης.

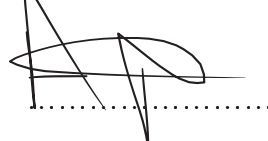
Οι Φοιτητές

Λελέκης Μιχαήλ

A handwritten signature in black ink, consisting of a large, stylized initial 'M' followed by a horizontal line and a vertical stroke.

(Υπογραφή)

Αποστολοπούλου Αμαλία

A handwritten signature in black ink, featuring a large, stylized initial 'A' followed by a horizontal line and a vertical stroke.

(Υπογραφή)

Σημείωση

Η παρούσα διπλωματική εργασία θα αποτελέσει τμήμα μετά από πλέον επιμέλεια και βελτίωση του κειμένου, της διδακτορικής διατριβής του υποψήφιου Διδάκτορα του τμήματος Γεωπονίας κ. Πετράκη Θεόδωρου.

Περιεχόμενα

Περίληψη	6
Abstract	7
1. Θερμοκήπια.....	8
1.1 Χαρακτηριστικά και μικροκλίμα	8
1.2 Κατανάλωση ενέργειας.....	10
1.3 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις.....	11
2. Τα ορυκτά καύσιμα στα θερμοκήπια	13
2.1 Θέρμανση.....	13
2.2 Ψύξη.....	16
2.3 Μειονεκτήματα	17
3. Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας.....	21
3.1 Ηλιακή ενέργεια.....	21
3.2 Αιολική ενέργεια.....	23
3.3 Γεωθερμική ενέργεια	26
3.4 Υδροηλεκτρική ενέργεια	28
3.5 Παλιρροιακή ενέργεια	29
3.6 Βιομάζα και βιοκαύσιμα.....	30
3.7 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.....	32
3.7.1 Πλεονεκτήματα.....	32
3.7.2 Μειονεκτήματα	34
4. Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας στα Θερμοκήπια	35
4.1 Η ηλιακή ενέργεια στα θερμοκήπια.....	36
4.2 Η αιολική ενέργεια στα θερμοκήπια.....	41
4.3 Η γεωθερμική ενέργεια στα θερμοκήπια	41
4.4 Η βιομάζα στα θερμοκήπια.....	44
4.5 Προϋποθέσεις εφαρμογής των Α.Π.Ε.....	47
5. Συμπεράσματα	49
Βιβλιογραφία	52

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζει το αντικείμενο της εισαγωγής των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στα θερμοκηπιακά συστήματα. Ένα θερμοκήπιο ως σύστημα που έχει την δυνατότητα να δημιουργεί τις απαραίτητες συνθήκες για μία καλλιέργειας, απαιτεί υψηλά ποσά ενέργειας για την διατήρηση αυτών των συνθηκών. Τα συστήματα που παρουσιάζουν την μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας αφορούν κυρίως την θέρμανση και την ψύξη του χώρου του θερμοκηπίου, ενώ σε συνδυασμό με τον τεχνητό φωτισμό, αποτελούν το 90% της συνολικής καταναλισκόμενης ενέργειας. Η απαραίτητη αυτή ενέργεια παράγεται κατά κύριο λόγο από ορυκτά καύσιμα, με τις συνέπειες ωστόσο να είναι σημαντικές, τόσο για το περιβάλλον και την οικονομία, όσο και για την ίδια την κοινωνία. Η μεγάλη ρύπανση, το υψηλό κόστος και η επικινδυνότητα κατά την παραγωγή ενέργειας είναι μόνο κάποια από τα ζητήματα που θα πρέπει να οδηγήσουν στην απομάκρυνση από τέτοιου είδους πηγές ενέργειας. Η στροφή στις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας στον τομέα των θερμοκηπίων, αλλά και γενικότερα στον αγροτικό τομέα, θα μπορούσε να αποτελέσει σημαντικό και ικανό εργαλείο για παραγωγή ενέργειας, πιο οικονομικής και πιο ασφαλούς για τον άνθρωπο. Ωστόσο, πριν και κατά την χρήση τους είναι απαραίτητη η τήρηση κάποιων προϋποθέσεων για την μεγαλύτερη απόδοσή τους, ενώ με την σαφή γνώση και κατανόηση ορισμένων μειονεκτημάτων τους, θα μπορούσαμε να φτάσουμε σε ένα βέλτιστο επίπεδο σε σχέση με την παραγωγή ενέργειας από αυτές.

Λέξεις κλειδιά: Θερμοκηπιακά Συστήματα, Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, Συμβατικά/Ορυκτά Καύσιμα, Θέρμανση, Ψύξη

Abstract

This thesis examines the subject of the introduction of Renewable Energy Sources in greenhouse systems. A greenhouse as a system that has the ability to create the necessary conditions for a crop, requires high amounts of energy to maintain these conditions. The systems that present the highest energy consumption mainly concern the heating and cooling of the greenhouse space, while in combination with the artificial lighting, they constitute 90% of the total energy consumed. This necessary energy is produced mainly from fossil fuels, with the consequences, however, being important, both for the environment and the economy, as well as for the society itself. High pollution, high costs and hazard in energy production are just some of the issues that should lead to the removal of such energy sources. Turning to Renewable Energy Sources in the greenhouse sector, but also in the agricultural sector in general, could be an important and capable tool for energy production, more economical and safer for humans. However, before and during their use, it is necessary to observe some conditions for their greater efficiency, while with the clear knowledge and understanding of some of their disadvantages, we could reach an optimal level in relation to the production of energy by them.

Keywords: Greenhouse Systems, Renewable Energy Sources, Conventional/Fossil Fuels, Heating, Cooling

1. Θερμοκήπια

1.1 Χαρακτηριστικά και μικροκλίμα

Τα θερμοκήπια είναι πολύπλοκα, υψηλής τεχνολογίας συστήματα, που έχουν σχεδιαστεί για να προσφέρουν τέλειες συνθήκες για την καλύτερη ανάπτυξη και παραγωγή των φυτών όλο τον χρόνο [1]. Η δημιουργία ενός ευνοϊκού μικροκλίματος για τα φυτά βασίζεται κατά κύριο λόγο στην ηλιακή ακτινοβολία, γεγονός που οδηγεί στην ανάγκη το κάλυμμα του θερμοκηπίου να αποτελείται από διάφανο υλικό και διαπερατό στο φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας που περιλαμβάνει την μικρού μήκους κύματος ακτινοβολία. Κύριος στόχος των θερμοκηπίων είναι η προφύλαξη των καλλιεργειών από τις συνθήκες του εξωτερικού περιβάλλοντος και η δημιουργία συνθηκών που θα εντείνουν τον μεταβολισμό των φυτών, η βοήθεια στην πρόληψη έκθεσής τους σε ασθένειες και άλλους παθογόνους μικροοργανισμούς, ενώ ταυτόχρονα συμβάλλουν στην καλύτερη διαχείριση των φυσικών πόρων, ελαχιστοποιώντας τους εκπεμπόμενους και βλαβερούς για το περιβάλλον ρύπους, όπως το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂). Η απαιτούμενη ενέργεια, ωστόσο, για την σωστή λειτουργία και την δημιουργία των απαραίτητων συνθηκών εντός του θερμοκηπίου είναι πολύ υψηλή, σε βαθμό που να αγγίζει περίπου το 50% της συνολικής δαπάνης. Για το λόγο αυτό είναι πολύ σημαντικό να γίνει σωστή μελέτη του σχεδιασμού που αφορά στοιχεία όπως το υλικό κάλυψης, το σχήμα κάθε κατασκευαστικής μονάδας, τον προσανατολισμό αυτής, καθώς και τα χαρακτηριστικά των επιμέρους τμημάτων του εξοπλισμού που θα χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο των εσωτερικών συνθηκών του θερμοκηπίου [1,2].

Η ανάπτυξη των θερμοκηπιακών συστημάτων βασίζεται σε τρεις βασικούς άξονες, το περιβάλλον, την ενέργεια και την οικονομία. Την τελευταία δεκαετία, η ενεργειακή κατανάλωση στον αγροτικό τομέα έχει αυξηθεί σημαντικά. Στο γεγονός αυτό συνηγορούν ο ολοένα και αυξανόμενος πληθυσμός, καθώς και η ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας που αφορούν την παραγωγή από θερμοκήπια, με αποτέλεσμα οι κάτοχοι κυρίως μικρών θερμοκηπιακών μονάδων να έρχονται αντιμέτωποι με υψηλά κόστη παραγωγής [3]. Σε ένα θερμοκήπιο η ανάπτυξη της καλλιέργειας βασίζεται σε παραμέτρους, όπως το φως, η υγρασία, η θερμοκρασία και η συγκέντρωση του CO₂ στον αέρα. Η διατήρηση των παραμέτρων αυτών σε επιθυμητά επίπεδα, γίνεται μέσω διαδικασιών όπως ο εξαερισμός, η ψύξη, ο τεχνητός φωτισμός και η θέρμανση της εγκατάστασης, με την κατανάλωση ενέργειας για τις διεργασίες αυτές να ορίζεται ως βασική και να αποτελεί περίπου των 90% της ενεργειακής κατανάλωσης ενός θερμοκηπίου. [1]

Γενικότερα, η πιο σημαντική φυσική διεργασία για τα φυτά είναι η φωτοσύνθεση, με την ηλιακή ακτινοβολία να αποτελεί κρίσιμο παράγοντα. Η κατασκευή των θερμοκηπίων με χρήση διαφανών υλικών ως υλικό κάλυψης είναι απαραίτητη, για τον φωτισμό των φυτών με ηλιακή ακτινοβολία και ιδιαίτερα με ακτινοβολία που να αντιστοιχεί στο φάσμα του ορατού, την λεγόμενη Φωτοσυνθετικά Ενεργό Ακτινοβολία (Photosynthetically Active Radiation – PAR). Συνεπώς, η εγκατάσταση ενός θερμοκηπίου πρέπει να γίνεται αφού πρώτα μελετηθεί η τροχιά του ήλιου για

την συγκεκριμένη περιοχή εγκατάστασης και για κάθε εποχή του έτους, αφού το ύψος του ήλιου διαφέρει χρονικά με αποτέλεσμα την διαφορετική ένταση της διαθέσιμης ηλιακής ακτινοβολίας. Η υψηλή ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας σε περιοχές για παράδειγμα μικρών γεωγραφικών πλατών, συνεπάγεται υψηλές θερμοκρασίες στο εσωτερικό των θερμοκηπίων, με την σκίαση προς αποφυγή της υπερθέρμανσης να αποτελεί επιτακτική ανάγκη. Από την άλλη, σημαντικά προβλήματα δημιουργεί και η έλλειψη φωτισμού στο θερμοκήπιο, ενδεχόμενο πολύ πιθανό για περιοχές με μεγάλα γεωγραφικά πλάτη. Στην σύγχρονη γεωργία, η εισαγωγή τεχνητού φωτισμού αποτελεί σημαντικό εργαλείο και γι' αυτό τον λόγο η παρουσία του στα θερμοκηπιακά συστήματα είναι πολύ έντονη. Αν και ο τεχνητός φωτισμός μπορεί να οδηγήσει στην μεγάλη αύξηση της παραγωγής, το κόστος είναι αρκετά υψηλό, με αποτέλεσμα την μείωση του καθολικού κέρδους [4].

Μία ακόμη άκρως σημαντική παράμετρος για μία θερμοκηπιακή καλλιέργεια αποτελεί η θερμοκρασία, μία παράμετρος που επιδρά κυρίως στην υγρασία των φυτών. Η θερμοκρασία εντός του θερμοκηπίου πρέπει να διατηρείται σε σταθερά και επιθυμητά επίπεδα ανάλογα με την υφιστάμενη καλλιέργεια. Σε περιπτώσεις, όπως κατά την διάρκεια της νύχτας ή κατά την διάρκεια ημερών του χειμώνα, που η θερμοκρασία πέφτει κάτω από την επιθυμητή τιμή της, είναι απαραίτητο να προσφερθεί ενέργεια στο θερμοκήπιο υπό μορφή θερμότητας. Σημαντικός, και σε αυτό το σημείο, είναι ο σχεδιασμός του θερμοκηπίου, με την επιλογή του καλύμματος να δίνει το πλεονέκτημα της μείωσης των θερμικών απωλειών, γεγονός που θα οδηγήσει σε μείωση των απαιτήσεων θέρμανσης και συγχρόνως του κόστους της παραγωγής. Σε αντίθετη περίπτωση, όπου οι τιμές της θερμοκρασίας ξεπερνούν τις επιθυμητές, είναι αναγκαίο η πλεονάζουσα θερμότητα να απομακρύνεται. Σε αυτό μπορούν να βοηθήσουν διάφορες τεχνικές ψύξης, όπως ο εξαερισμός ή η υδρονέφωση [1].

Ίσως η πιο περίπλοκη παράμετρος του εσωτερικού του θερμοκηπίου, είναι η υγρασία, η οποία είναι πολύ σημαντική για την ανάπτυξη των φυτών, αλλά και παθογόνων μικροοργανισμών. Η συνεισφορά στην εσωτερική υγρασία, τόσο των εξωτερικών συνθηκών, όσο και των διαφόρων βιολογικών διεργασιών, όπως η διαπνοή των φυτών την καθιστούν μία παράμετρο πολύ δύσκολη ως προς τον έλεγχό της. Η δυσκολία της επαφίεται και στο γεγονός της έντονης αλληλεπίδρασής της με την θερμοκρασία. Αν και η ύπαρξη μιας καλλιέργειας καθιστά την εσωτερική απόλυτη υγρασία μεγαλύτερη από την εξωτερική, η αυξημένη εσωτερική θερμοκρασία σε σχέση με την εξωτερική δρα στην σχετική υγρασία μειώνοντάς την. Συνεπώς, όσον αφορά την υγρασία, θα πρέπει να δίνεται προσοχή στην απόλυτη μορφή της, δηλαδή την συγκέντρωση των υδρατμών στον αέρα. Εκτός από την αλληλεπίδρασή της με την θερμοκρασία, ισχυρή σχέση εμφανίζεται μεταξύ αυτής και της διαπνοής των φυτών, όπου αυξημένη υγρασία καθυστερεί την διαπνοή, λόγω έλλειψης χώρου για εισαγωγή επιπλέον υδρατμών, ενώ η διαπνοή με την σειρά της επιδρά στην υγρασία αυξάνοντάς την. Επομένως, ο έλεγχος και η διατήρησή της σε συγκεκριμένες επιθυμητές τιμές είναι πολύ δύσκολη, έως και αδύνατη, καθώς οι παράγοντες που την επηρεάζουν είναι ταυτόχρονα οι καιρικές συνθήκες, οι ανάγκες των φυτών, ενώ σημαντικό κομμάτι αποτελεί και η

ύπαρξη του αναγκαίου εξοπλισμού για υδρονέφωση και εξαερισμό, ενώ σημαντική είναι η παροχή ενέργειας [5].

1.2 Κατανάλωση ενέργειας

Κύριο χαρακτηριστικό των θερμοκηπίων είναι η υψηλή ενεργειακή κατανάλωση. Η ανάπτυξη καλλιέργειών και η παραγωγή προϊόντων εκτός εποχής, λόγω της ραγδαίας αύξησης του παγκόσμιου πληθυσμού, φέρνει σε πρώτο πλάνο την ανάγκη διατήρησης των συνθηκών εντός του θερμοκηπίου σε επιθυμητά επίπεδα για την εκάστοτε καλλιέργεια, ενώ η επίδραση των εξωτερικών συνθηκών στο εσωτερικό ενός θερμοκηπίου, κάνει την διαδικασία αυτή δύσκολη, με υψηλό ενεργειακό, οικονομικό και περιβαλλοντικό κόστος. Όσον αφορά την ενεργειακή κατανάλωση, αυτή είναι ένας από τους πιο βασικούς παράγοντες που καθυστερούν την περεταίρω εξάπλωση των θερμοκηπιακών εγκαταστάσεων και τεχνικών που τις αφορούν. Παράλληλα, λόγω του ότι το 50% του κόστους παραγωγής οφείλεται αποκλειστικά στην ενεργειακή κατανάλωση [6], η προσπάθεια για εξισορρόπηση κέρδους – κόστους, επέφερε την μείωση στην ποιότητα των προϊόντων, ενώ αναπτύχθηκαν επιπλέον κίνδυνοι για την παραγωγή. Οι παραπάνω προβληματισμοί μπορούν να αποτελέσουν ένα κινητήριο μοχλό για την μεγαλύτερη βιωσιμότητα των θερμοκηπίων, με το πρώτο βήμα για την αναβάθμιση της απόδοσης των θερμοκηπίων ως προς το ενεργειακό κομμάτι να αποτελεί ο προσδιορισμός της κατανάλωσης. Η επιτυχής ολοκλήρωση της διαδικασίας αυτής θα ωφελήσει όχι μόνο το οικονομικό σκέλος, με την μείωση του κόστους, αλλά θα επιφέρει και περιβαλλοντικά οφέλη με τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου να μειώνονται σημαντικά, λόγω της καλύτερης διαχείρισης των πόρων που χρησιμοποιούνται για τα διάφορα συστήματα θέρμανσης ή ψύξης, με τα ορυκτά καύσιμα να αποτελούν το κύριο συστατικό για παραγωγή ενέργειας [7].

Η ενεργειακή κατανάλωση ενός θερμοκηπίου διαφέρει από περιοχή σε περιοχή, λόγω των διαφορετικών εδαφοκλιματολογικών συνθηκών, αλλά και λόγω του είδους της καλλιέργειας με τις εκάστοτε επιθυμητές θερμοκρασίες και τιμές υγρασίας να διαφέρουν για κάθε είδος φυτού. Σχετικές έρευνες έχουν διεξαχθεί στην χώρα της Τουρκίας. Σε θερμοκήπιο με καλλιέργεια ντομάτας στην περιοχή της Αττάλειας, διαπιστώθηκε πως η ενεργειακή κατανάλωση των θερμοκηπίων ήταν περίπου 4,75 kWh ανά m² [8], ενώ στην ίδια περιοχή και για περισσότερες από 100 καλλιέργειες λαχανικών εντός θερμοκηπίων η μέση ετήσια ενεργειακή κατανάλωση ήταν μεταξύ 0,35 και 0,47 kWh ανά m² [9]. Παράλληλα, σε έρευνα που διεξήχθη στην Σμύρνη της Τουρκίας, η μέση κατανάλωση για όλη την διάρκεια του έτους βρέθηκε ίση με 8,96 kWh ανά m² για καλλιέργεια τριών διαφορετικών λαχανικών, όπως μαρούλι, ντομάτα και αγγούρι. Από την ίδια έρευνα υπολογίστηκε πως οι ενεργειακές ανάγκες ήταν 128,33 kWh ανά m² και 156,33 kWh ανά m², για θέρμανση και για ψύξη, αντίστοιχα [10]. Εκτός από την ενεργειακή κατανάλωση που απαιτείται για καλλιέργεια λαχανικών, έχει αναφερθεί και η κατανάλωση που απαιτείται για καλλιέργεια ανθέων. Για ένα θερμοκήπιο στην περιοχή της Κρήτης, και με την θερμοκρασία να διατηρείται καθ' όλη την διάρκεια του έτους στους 20 °C, υπολογίστηκε πως για τις ενεργειακές

ανάγκες του θερμοκηπίου η κατανάλωση έφτασε τα περίπου 330 kWh ανά m² κατά την διάρκεια του έτους. Το μέγεθος της τιμής αυτής δείχνει και τις διαφορετικές απαιτήσεις μεταξύ των καλλιεργειών [11]. Τέλος, η κατανάλωση ενέργειας έχει διερευνηθεί για την αφύγρανση του χώρου ενός θερμοκηπίου με καλλιέργεια κυκλάμινου και ορτανσίας σε γλάστρα στην περιοχή της βορειοδυτικής Γαλλίας. Στην συγκεκριμένη περίπτωση για την διατήρηση της θερμοκρασίας στους 16 °C, έγινε χρήση τόσο ηλεκτρικής ενέργειας, όσο και ενέργειας παραχθείσας από φυσικό αέριο, με την κατανάλωση για το διάστημα Νοεμβρίου – Απριλίου να είναι 14 kWh ανά m² και 120 kWh ανά m², αντίστοιχα [12].

1.3 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις

Όπως αναφέρθηκε στην Παράγραφο 1.2, η επίτευξη του στόχου ενός θερμοκηπίου για μία ποιοτικά και ποσοτικά καλή παραγωγή απαιτεί ένα μεγάλο ποσό ενέργειας, καθώς και σημαντικές δαπάνες σε υλικά, απαιτήσεις που παρουσιάζουν σοβαρό αντίκτυπο στο περιβάλλον. Ιδιαίτερα σε περιοχές όπου το κλίμα εμφανίζει ακραίες συνθήκες, όπως σε περιοχές μεγάλων (ψυχρά κλίματα) ή μικρών (θερμά κλίματα) γεωγραφικών πλατών η απαιτούμενη ενέργεια είναι αρκετά πιο υψηλή.

Θεωρώντας ότι τα βασικά στοιχεία ενός θερμοκηπίου είναι τα συστήματα θέρμανσης και ψύξης, σε συνδυασμό με την κατανάλωσή τους σε ηλεκτρική ενέργεια, ο εμπλουτισμός του θερμοκηπίου με διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), τα συστήματα άρδευσης και τα διάφορα αναγκαία αναλώσιμα, τα δύο πρώτα από αυτά έχουν έναν σαφή ρόλο στο περιβαλλοντικό αποτύπωμα των θερμοκηπίων, έναντι των υπολοίπων. Το διαφορετικό κλίμα κάθε περιοχής προσδίδει παράλληλα διαφορετικό βαθμό βαρύτητας στις επιπτώσεις που προκαλούν τα διάφορα συστήματα ενός θερμοκηπίου στο περιβάλλον. Σε μία περιοχή για παράδειγμα, που επικρατούν χαμηλές θερμοκρασίες, η παροχή ενέργειας από το σύστημα θέρμανσης θα παρουσιάζει μεγαλύτερο αντίκτυπο από το σύστημα ψύξης. Σε αντίθετη περίπτωση περιοχής με υψηλές σχετικά θερμοκρασίες, θα συμβαίνει το αντίστροφο, με το σύστημα ψύξης να είναι υπεύθυνο για τις συνέπειες στο περιβάλλον.

Το δεύτερο πιο σημαντικό στοιχείο που συμμετέχει στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των θερμοκηπίων είναι ο τρόπος και οι μέθοδοι που παράγεται η ενέργεια που διατίθεται για την διατήρηση των συνθηκών σε ένα θερμοκήπιο. Το περιβαλλοντικό κόστος από την υψηλή κατανάλωση ενέργειας έχει την δυνατότητα να αντισταθμιστεί από τον τρόπο που αυτή παράγεται. Παράδειγμα μπορούν να αποτελέσουν δύο διαφορετικές χώρες, όπου ο τρόπος παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας διαφέρει σε πολύ μεγάλο βαθμό. Από την μία, η Σουηδία για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας βασίζεται σε πηγές με μικρό περιβαλλοντικό αντίκτυπο, με το 47% της ηλεκτρικής ενέργειας να προέρχεται από υδροηλεκτρικά εργοστάσια, το 34% να είναι αποτέλεσμα πυρηνικής ενέργειας, το 10% από αιολική, ενώ μόλις το 9% προέρχεται από την καύση ορυκτών καυσίμων (σύμφωνα με την Σουηδική Υπηρεσία Ενέργειας [13]). Αντίθετα, η Ολλανδία είναι μία χώρα της οποίας περίπου το 80% την ηλεκτρικής ενέργειας προέρχεται από την καύση ορυκτών καυσίμων. Συνεπώς, μπορούμε να διαπιστώσουμε πως ακόμη και αν η Σουηδία καταναλώνει περισσότερη ενέργεια, λόγω του ψυχρού κλίματός της για θέρμανση των θερμοκηπίων από ότι η

Ολλανδία, το περιβαλλοντικό κόστος θα είναι μικρότερο για την περίπτωση της, λόγω του τρόπου με τον οποίο παράγει την καταναλισκόμενη ενέργεια.

Τελευταίες αλλά εξίσου σημαντικές για το περιβάλλον είναι οι επιπτώσεις που προκαλούνται λόγω της χρήσης νερού. Κυρίαρχος παράγοντας στην συγκεκριμένη περίπτωση είναι η άρδευση των θερμοκηπιακών καλλιεργειών, με αυτή να φτάνει έως και το 90% της συνολικής κατανάλωσης νερού. Ωστόσο, η χρήση νερού στα θερμοκήπια δεν σταματά στην άρδευση, καθώς τα συστήματα θέρμανσης και ψύξης για την λειτουργία τους χρησιμοποιούν κυρίως νερό, με το κλίμα της εκάστοτε περιοχής να έχει και εδώ σημαντικό ρόλο. Έχει υπολογιστεί πως σε κλίματα που παρουσιάζουν υψηλές θερμοκρασίες, η κατανάλωση νερού από τα συστήματα ψύξης αγγίζει το 8% της συνολικής κατανάλωσης, ενώ σε πιο ψυχρά κλίματα, για την θέρμανση των θερμοκηπίων μέσω των αντίστοιχων συστημάτων, η κατανάλωση νερού φτάνει το 10% της συνολικής χρήσης [14].

Συμπερασματικά, η αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των θερμοκηπίων μπορεί να οδηγήσει σε καλύτερη διαχείριση των συστημάτων ενός θερμοκηπίου, μειώνοντας το οικονομικό, το ενεργειακό και το περιβαλλοντικό κόστος, ενώ μπορεί να αποτελέσει οδηγό για μία μετάβαση από τις παραδοσιακές τεχνικές, σε πιο εξελιγμένες, φιλικές προς το περιβάλλον.

2. Τα ορυκτά καύσιμα στα θερμοκήπια

2.1 Θέρμανση

Στις θερμοκηπιακές καλλιέργειες, και ιδιαίτερα σε αυτές με ανάπτυξη κηπευτικών εκτός εποχής, απαιτούνται υψηλά ποσά παρεχόμενης ενέργειας για την διατήρηση της θερμοκρασίας σε σταθερές τιμές, η οποία προέρχεται κατά κύριο λόγο από την καύση ορυκτών καυσίμων, όπως άνθρακας, το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο, το μαζούτ, αλλά και τα καύσιμα από παράγωγα ξυλείας. Αν και τα θερμοκήπια μπορούν να αποτελέσουν ένα σημαντικό εργαλείο που μπορεί να βασιστεί η ζήτηση τροφίμων σε παγκόσμιο επίπεδο, η αύξηση των τιμών στα συγκεκριμένα καύσιμα συνιστά σοβαρό εμπόδιο, καθώς από αυτά εξαρτούνται σε μεγάλο βαθμό διεργασίες διατήρησης των επιθυμητών συνθηκών, όπως η θέρμανση και η ψύξη. Ιδιαίτερα για την πρώτη διεργασία, η καύση των παραπάνω καυσίμων αυξάνει σε σημαντικό βαθμό το εκπεμπόμενο διοξείδιο του άνθρακα, ενώ μεγάλη είναι και η κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας [15,16].

Όσον αφορά την θέρμανση του χώρου του θερμοκηπίου, τα συμβατικά καύσιμα μπορούν να διακριθούν σε στερεά (π.χ. γαιάνθρακας), υγρά (π.χ. πετρέλαιο), αέρια (π.χ. φυσικό αέριο), ή η θέρμανση να γίνεται με χρήση ηλεκτρικής ενέργειας. Τα πλεονεκτήματά διαφέρουν για κάθε περίπτωση και με αυτά να παρουσιάζουν εξάρτηση από την διαθεσιμότητα που υπάρχει σε έναν συγκεκριμένο τόπο, το κόστος τους, το οποίο όπως προαναφέρθηκε αποτελεί ένα σημαίνον ζήτημα, την απόδοσή τους ως της την διεργασία για την οποία θα χρησιμοποιηθούν και τέλος, από την συμμετοχή τους στην ρύπανση του περιβάλλοντος. Ευρέως διαδεδομένο στον τομέα των θερμοκηπίων για την θέρμανσή τους είναι το φυσικό αέριο, με την διαθεσιμότητά του να καθορίζει σε υψηλό βαθμό την χρήση του. Τα συστήματα που χρησιμοποιούν ως καύσιμο το φυσικό αέριο έχουν ως κύριο πλεονέκτημα την εύκολη αυτοματοποίησή τους, ενώ ταυτόχρονα το αρχικό κόστος εγκατάστασης είναι σχετικά μικρό, με την συντήρηση του αντίστοιχου εξοπλισμού (π.χ. καυστήρας) να μην απαιτεί ιδιαίτερη εργασία. Παράλληλα, δεν είναι απαραίτητη η χρήση δεξαμενών αποθήκευσης και παρουσιάζει μεγάλη αποδοτικότητα κατά την καύση του. Παρόμοια πλεονεκτήματα παρουσιάζουν το προπάνιο και το υγραέριο. Οι περιπτώσεις αυτές, ωστόσο, υπολείπονται του φυσικού αερίου ως προς το κόστος, ενώ σε αντίθεση με το φυσικό αέριο η αποθήκευσή τους αποτελεί περίπλοκη υπόθεση, λόγω της ανάγκης αποθήκευσής τους σε δεξαμενές αυξημένης πίεσης. Εκτός της αποθήκευσης, είναι απαραίτητη η ύπαρξη ειδικού εξαερωτήρα, του εναλλάκτη θερμότητας ο οποίος αποδίδει ένα ποσό θερμότητας μέσω νερού ή ηλεκτρικής αντίστασης για την εξαέρωση του καυσίμου. Αν και σε μικρές εγκαταστάσεις, όπως για παράδειγμα για οικιακή χρήση η εξαέρωση του υγραερίου γίνεται κατά την μετάβασή του στον καυστήρα με απορρόφηση θερμότητας από το περιβάλλον, σε μεγάλες εγκαταστάσεις όπως τα θερμοκήπια αυτό είναι αδύνατο να συμβεί, καθώς το ποσό της θερμότητας που θα απορροφηθεί θα είναι τόσο μεγάλο που ο σωλήνας μεταφοράς θα ψυχθεί σχεδόν ακαριαία, σταματώντας την τροφοδοσία. Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται οι καθαρές θερμογόνοι τιμές κάποιων αερίων καυσίμων.

Πίνακας 1: Καθαρή θερμογόνος τιμή αερίων καυσίμων

Αέρια Καύσιμα	Καθαρή Θερμογόνος Τιμή (kJ * m⁻³)
Φυσικό αέριο	31640
Βουτάνιο	45850
Προπάνιο	46060



Εικόνα 1: Καυστήρας φυσικού αερίου [Πηγή: Επισκευές – Συντήρηση Καυστήρων Φυσικού Αερίου | GAS SERVICE (sintirisi-kaustiron.gr)]

Αμέσως μετά τα αέρια καύσιμα, ακολουθούν βάσει ζήτησης τα υγρά, όπως το πετρέλαιο και το μαζούτ. Όπως και στην περίπτωση του φυσικού αερίου, τα συστήματα με καύση πετρελαίου ή μαζούτ μπορούν να δεχθούν εύκολη αυτοματοποίηση. Μειονέκτημα αποτελεί το γεγονός της συντήρησής τους, η οποία είναι απαραίτητο να γίνεται σε τακτά χρονικά διαστήματα, ιδίως τον χειμώνα, κατά τον οποίο η συχνή χρήση του συστήματος απαιτεί συντήρηση κάθε περίπου δέκα μέρες. Όσον αφορά το μαζούτ, όπως και το υγραέριο, απαιτεί την θέρμανσή του μέσω ζεστού νερού ή με την συμμετοχή ηλεκτρικής αντίστασης. Η προστιθέμενη θερμότητα κάνει το μαζούτ πιο αραιό, με αποτέλεσμα όταν αυτό θα ψεκαστεί στον χώρο καύσης να διασκορπιστεί υπό μορφή λεπτών σταγόνων κάνοντας την καύση του πιο αποτελεσματική φτάνοντας σε απόδοση έως και 80%. Στον Πίνακα 2 παρουσιάζονται οι καθαρές θερμογόνοι τιμές κάποιων υγρών καυσίμων.

Πίνακας 2: Καθαρή θερμογόνος τιμή υγρών καυσίμων

Υγρά Καύσιμα	Καθαρή Θερμογόνος Τιμή (kJ * kg⁻¹)
Βενζίνη	42220
Πετρέλαιο	42050
Μαζούτ	40960



Εικόνα 2: Λέβητας Πετρελαίου/Μαζούτ [Πηγή: Λέβητας Πετρελαίου/Μαζούτ 1.000.000 kcal/h Alfa Therm Καριωτάκης (alfa-therm.gr)]

Από πλευράς στερεών καυσίμων, ο γαιάνθρακας και το ξύλο εμφανίζουν την μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα για την θέρμανση ενός θερμοκηπίου. Οι λέβητες που χρησιμοποιούν τα συγκεκριμένα υλικά ως καύσιμη ύλη έχουν την δυνατότητα επίσης της σχετικά εύκολης αυτοματοποίησης, ωστόσο, παρουσιάζουν την μεγαλύτερη δυσκολία σε συντήρηση, λόγω και της αναγκαιότητας απομάκρυνσης της εναπομένουσας στάχτης. Η απόδοση που μπορούμε να λάβουμε κατά την καύση του ξύλου αγγίζει το 60%, ενώ για τον γαιάνθρακα οι αποδόσεις διαφέρουν ανάλογα με τον τύπο. Η τιμή της παραπάνω καύσιμης ύλης παρουσιάζει έντονη μεταβλητότητα από περιοχή σε περιοχή, λόγω της παράλληλης έντονης μεταβλητότητας που παρουσιάζει σε διαθεσιμότητα. Σε περιοχές που η ξυλεία παρουσιάζει έντονη δραστηριότητα, η λύση των στερεών καυσίμων μπορεί να αποδειχθεί ιδιαίτερα οικονομική, αλλά και αποδοτική. Βασικό μειονέκτημα των συγκεκριμένων καυσίμων είναι η μεγάλη συμβολή τους στην ατμοσφαιρική ρύπανση, λόγω της έκλυσης αιωρούμενων σωματιδίων σε υψηλές συγκεντρώσεις. Αυτό μπορεί να αντιμετωπισθεί μέσω της διαδικασίας της θερμικής εξαέρωσης, που αποτελεί σημαντική διεργασία και εργαλείο για την αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών ζητημάτων που προκαλεί γενικότερα η χρήση βιομάζας. Στον Πίνακα 2 παρουσιάζονται οι μέσες θερμογόνοι τιμές κάποιων στερεών καυσίμων.

Πίνακας 3: Μέση θερμογόνος τιμή στερεών καυσίμων

Στερεά Καύσιμα	Καθαρή Θερμογόνος Τιμή (kJ * kg ⁻¹)
Κάρβουνο υψηλής ποιότητας	20900
Λιγνίτης	16000
Σκληρά Καυσόξυλα	14630
Τύρφη	15470



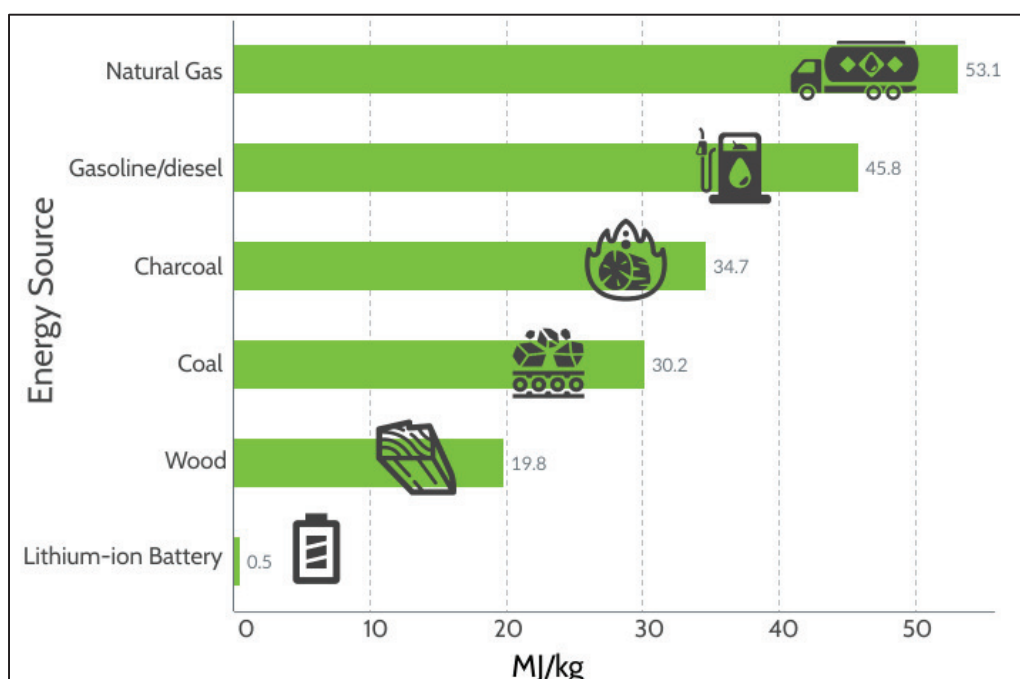
Εικόνα 3: Λέβητας ξύλου [Πηγή: Βιομηχανικός Λέβητας Ξύλου – Λέβητας Πυρήνα – Λέβητας Πέλλετ – Βιομάζας Σειρά Mammoth | Λέβητες Finotherm]

2.2 Ψύξη

Η κατανάλωση ενέργειας για την ψύξη των θερμοκηπίων, ιδιαίτερα σε ζεστές και ξηρές περιοχές είναι πολύ υψηλή, ενώ ταυτόχρονα μεγάλη είναι και η κατανάλωση νερού, όταν η ψύξη γίνεται μέσω εξάτμισης. Συνεπώς, η αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας από συμβατικές πηγές, η μείωση των αποθεμάτων του νερού του υπεδάφους, καθώς και η αλάτωσή τους, προσδίδουν στις θερμοκηπιακές εγκαταστάσεις αρκετά μειονεκτήματα. Για τις χώρες γύρω από την Μεσόγειο και για την διατήρηση των επιθυμητών συνθηκών εντός του θερμοκηπίου, η ενεργειακή κατανάλωση που αφορά την ψύξη του χώρου του θερμοκηπίου λαμβάνει μία τιμή περίπου 100.000 kWh ανά εκτάριο και ανά έτος. Αν και οι εκτιμήσεις για τις πιο θερμές χώρες, για παράδειγμα της Αφρικής, απουσιάζουν από την βιβλιογραφία, μπορεί να εύκολα να θεωρηθεί πως η κατανάλωση ενέργειας για την συγκεκριμένη διεργασία στα θερμοκήπια είναι πολύ πιο υψηλή. Στοιχεία υπάρχουν για την χώρα των Ηνωμένων Αραβικών Εμιράτων, που χαρακτηρίζονται από υψηλές θερμοκρασίες, με την ενέργεια που καταναλώνεται για την ψύξη θερμοκηπίων να είναι μεταξύ ενός διαστήματος από 10,43 έως 14,67 kWh ανά m². Το διάστημα αυτό αφορά τον κύκλο παραγωγής. Η χρήση των ορυκτών καυσίμων για την ψύξη των θερμοκηπίων γίνεται έμμεσα, και όχι άμεσα, όπως κατά την θέρμανσή τους. Τα περισσότερα συστήματα ψύξης, όπως για παράδειγμα αυτό του δυναμικού

εξαιρισμού με χρήση υγρού τοιχώματος, λειτουργούν βάσει ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία με την σειρά της παράγεται κατά κύριο λόγο από πηγές ορυκτών καυσίμων. Η εξάντληση των αποθεμάτων είναι ταχεία, γεγονός που μπορεί να δημιουργήσει σοβαρά προβλήματα στον εφοδιασμό ενέργειας [17].

Η χρήση ορυκτών καυσίμων προς παραγωγή ενέργειας είναι πολύ διαδεδομένη λόγω της μεγάλης ενεργειακής τους πυκνότητας σε σχέση με άλλες πηγές. Το φυσικό αέριο παρουσιάζει μεγάλη ενεργειακή απόδοση με 1 kg από το συγκεκριμένο αέριο να περιέχει 53,1 MJ ενέργειας, ενώ την μικρότερη ποσότητα ενέργειας ανά μονάδα μάζας παρουσιάζει το ξύλο με τιμή 19,8 MJ. Συγκριτικά λοιπόν, το φυσικό αέριο μπορεί να παράξει μεγαλύτερη ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας από το ξύλο, θεωρώντας τις χρησιμοποιούμενες ποσότητες ίσες. Στην Εικόνα 4 παρουσιάζονται οι τιμές ηλεκτρικής ενέργειας που μπορούν να παραχθούν από 1 kg του εκάστοτε ορυκτού καυσίμου.



Εικόνα 4: Ποσότητες ενέργειας που μπορούν να παραχθούν ανά μονάδα μάζας για διαφορετικά ορυκτά καύσιμα [Πηγή: *Generating Electricity: Fossil Fuels* | *Let's Talk Science (letstalkscience.ca)*]

2.3 Μειονεκτήματα

Η χρήση ορυκτών καυσίμων προς παραγωγή ενέργειας είναι ένας εξαιρετικά σημαντικός παράγοντας για τον περιβάλλον και της υφιστάμενης κλιματικής αλλαγής λόγω των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου που απελευθερώνονται κατά την καύσης τους. Ωστόσο, δεν είναι μόνο η καύση που συνεισφέρει στο φαινόμενο. Το πρόβλημα εντείνεται με τις εκπομπές που εκλύονται τόσο κατά την παραγωγή και μεταφορά τους, όσο και κατά την δημιουργία του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται για την ενεργειακή παραγωγή, καθώς και με την ζημιά που προκαλείται στο

περιβάλλον λόγω της εξόρυξης των βασικών υλικών. Τα αποθέματα του άνθρακα σε ένα οικοσύστημα δεν μεταβάλλονται μόνο από την εξόρυξη ορυκτών καυσίμων, όπως το πετρέλαιο ή το φυσικό αέριο, αλλά και από καύσιμα, όπως το ξύλο ή η τύρφη. Παρακάτω παρουσιάζονται κάποια από τα πιο σοβαρά προβλήματα που δημιουργούν τα συμβατικά/ορυκτά καύσιμα [18].

Ρύπανση

Η καύση των ορυκτών καυσίμων είναι αυτή που βοηθά στην απελευθέρωση της ενέργειας, που όπως προαναφέρθηκε στην Παράγραφο 2.2, περιέχουν συγκεκριμένα καύσιμα. Η καύση αυτή, όπως και κάθε περίπτωση καύσης υλικών, έχει ως αποτέλεσμα την απελευθέρωση διαφόρων αέριων στην ατμόσφαιρα υπό μορφή καπνού. Τα αέρια αυτά, εκτός του ότι εντείνουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου σε μεγάλο βαθμό, περιέχουν επίσης σωματίδια τα οποία είναι άκρως επιβλαβή, τόσο για την ανθρώπινη υγεία, όσο και για το ευρύτερο οικοσύστημα. Το πιο διαδεδομένο στοιχείο στα ορυκτά καύσιμα είναι ο άνθρακας, η καύση του οποίου οδηγεί στην έκλυση τοξικών αερίων και σωματιδίων, όπως το διοξείδιο του θείου (SO₂) και λοιπά βαρέα μέταλλα. Αποτέλεσμα της απελευθέρωσης αυτής είναι η δημιουργία και εξέλιξη επικίνδυνων φαινομένων και παρενεργειών, όπως για παράδειγμα η όξινη βροχή και διάφορα αναπνευστικά προβλήματα, όπως το άσθμα, ή ασθένειες όπως ο καρκίνος, στον άνθρωπο. Η συνεισφορά των εκλυόμενων σωματιδίων από την καύση στην ατμόσφαιρα είναι παράλληλα, ένας από τους πιο σημαντικούς παράγοντες της υπερθέρμανσης του πλανήτη. Το διοξείδιο του άνθρακα ή το μεθάνιο, με την εισαγωγή τους στην ατμόσφαιρα λειτουργούν ως παγίδα θερμότητας, λόγω της έντονης απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας. Η ικανότητά τους αυτή έχει ήδη από τις αρχές του 20ου αιώνα, προκαλέσει μια συνεχή αύξηση της θερμοκρασίας, με σημαντικά και κρίσιμα αποτελέσματα στα φυσικά οικοσυστήματα, ξεκινώντας από την καταστροφή τους και φτάνοντας στην άνοδο της θάλασσας στάθμης.

Τα ορυκτά καύσιμα δεν είναι ανανεώσιμες πηγές

Ένας ακόμη παράγοντας που πρέπει να ωθήσει τον άνθρωπο στην απομάκρυνσή του από την χρήση ορυκτών καυσίμων είναι ο πολύ αργός ρυθμός ανανέωσής τους. Ο χαρακτηρισμός των ορυκτών καυσίμων ως Μη Ανανεώσιμη Πηγή Ενέργειας δεν οφείλεται στο γεγονός ότι τα καύσιμα αυτά δεν επανεμφανίζονται στο υπέδαφος της Γης. Τα καύσιμα αυτά, όπως το πετρέλαιο έχουν την δυνατότητα να ανανεώνονται. Ωστόσο, ο χαρακτηρισμός ως μη ανανεώσιμη πηγή οφείλεται στο ότι ο χρόνος που απαιτείται για την επανεμφάνισή του είναι τρομερά μεγαλύτερος (μερικά εκατομμύρια χρόνια) από τον χρόνο βάσει του οποίου αυτό καταναλώνεται. Συνεπώς, ο χρόνος που απομένει μέχρι τα υπάρχοντα κοιτάσματα να στερέψουν είναι πολύ λίγος. Παράλληλα, όσο οι υδρογονάνθρακες μειώνονται, η πρόσβαση σε αυτούς θα γίνεται όλο και πιο δύσκολη και ακριβή, καθώς τα καύσιμα θα γίνονται όλο και πιο δυσπρόσιτα. Οι νέες τεχνικές πρόσβασης σε αυτά, θα δημιουργήσουν ακόμη μεγαλύτερες επιπτώσεις για το περιβάλλον. Μία τέτοια τεχνική εξόρυξης είναι η υδραυλική θραύση (hydrofracking), βάσει της οποίας ο υδρογονάνθρακας ωθείται προς τα έξω με την χρήση ενός χημικού διαλύματος, το οποίο εισάγεται στην γη. Το

διάλυμα αυτό αφήνει πολύ επιβλαβείς ρύπους στο υπέδαφος, με την εισαγωγή τους στον υδροφόρο ορίζοντα να αυξάνει τις πιθανότητες πρόκλησης προβλημάτων υγείας στον άνθρωπο.

Μειωμένη ασφάλεια και πιθανότητα ατυχημάτων

Η χρήση και η παραγωγή ενέργειας από ορυκτά καύσιμα εγκυμονεί πολλές φορές κινδύνους, με την πρόκληση ατυχημάτων να είναι ένα σχετικά σύνηθες φαινόμενο. Αν και το περιβάλλον, εντός του οποίου συμβαίνει η καύση των ορυκτών καυσίμων, είναι ελεγχόμενο, με την ηλεκτρική ενέργεια να παράγεται σε ειδικούς σταθμούς, δεν είναι λίγες οι φορές που έχουν συμβεί ατυχήματα, με αυτά ορισμένες φορές να είναι καταστροφικά. Τους μεγαλύτερους κινδύνους παρουσιάζουν οι εξέδρες που χρησιμοποιούνται ως γεωτρήσεις για την λήψη πετρελαίου, λόγω της εύφλεκτης φύσης του. Μια τέτοια καταστροφική βλάβη συνέβη στην εξέδρα Deepwater Horizon στον κόλπο του Μεξικού, όπου λόγω κακής λειτουργίας της πετρελαιοπηγής Μακόντο, οδήγησε στο να γίνει μεγάλη έκρηξη σε ένα φρεάτιο. Αποτέλεσμα ήταν πολλοί άνθρωποι να χάσουν την ζωή τους, ενώ ο περιβαλλοντικός αντίκτυπος ήταν πολύ μεγάλος με την δημιουργία μιας πετρελαιοκηλίδας, που χαρακτηρίστηκε ως η μεγαλύτερη στην ιστορία των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής.



Εικόνα 5: Η έκρηξη στην εξέδρα Deepwater Horizon (Πηγή: The legacy of Deepwater Horizon: What researchers learned about oil spills | Environment | All topics from climate change to conservation | DW)



Εικόνα 6: Πετρελαιοκηλίδα λόγω της έκρηξης (Πηγή: The Deepwater Horizon Disaster | The New Yorker)

Παραγωγή επιβλαβών υποπροϊόντων

Εκτός από τα εν δυνάμει ατυχήματα που μπορεί να συμβούν κατά την παραγωγή των ορυκτών καυσίμων, η διαδικασία αυτή είναι ιδιαίτερα επιβλαβής και λόγω των παραγόμενων υποπροϊόντων. Οι επιπτώσεις είναι σημαντικές, τόσο για τις εγγύς περιοχές, όσο και για πιο απομακρυσμένες. Η έκλυση και η ανάμιξη των παραγόμενων ρύπων, όπως τα οξειδία του αζώτου (NO_x) και το διοξείδιο του θείου (SO_2) με το ελεύθερο φυσικό νερό και οξυγόνο, έχουν ως αποτέλεσμα την δημιουργία της λεγόμενης όξινης βροχής. Οι συγκεκριμένοι ρύποι εκλύονται κατά κύριο λόγο από τους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής υπό μορφή καπνού. Εκτός των παραπάνω ρύπων εκλύονται ταυτόχρονα και βαρέα μέταλλα, όπως ο υδράργυρος. Σημαντικό παράδειγμα του μεγέθους των εκλυόμενων εκπομπών από την συγκεκριμένη διαδικασία είναι το γεγονός ότι στις Η.Π.Α. το 13 με 26% των εκπομπών που περιέχουν υδράργυρο είναι αποτέλεσμα της παραγωγής ενέργειας με χρήση άνθρακα.

Έντονες διακυμάνσεις στο κόστος

Λόγω του ότι τα ορυκτά καύσιμα παρουσιάζουν εξάρτηση από πολλούς παράγοντες, συνδεδεμένους μεταξύ τους, κάθε διαταραχή στο κόστος στον εκάστοτε από αυτούς μπορεί να προκαλέσει έντονες διακυμάνσεις στις τιμές των συγκεκριμένων καυσίμων. Το ζήτημα αυτό παρουσιάζει έντονο χαρακτήρα σε όλες τις αναπτυσσόμενες χώρες, οι οποίες εξαρτιούνται σε μεγάλο βαθμό από τα ορυκτά καύσιμα. Η εξόρυξη και παραγωγή πετρελαίου από μεγάλες εταιρείες, τόσο της Μέσης Ανατολής, όσο και κάθε χώρας ξεχωριστά, οδήγησε στην χειραγώγηση του εμπορίου, με το κόστος των καυσίμων να μην αντανακλά πολλές φορές την πραγματική τους αξία, δημιουργώντας σοβαρά προβλήματα στους καταναλωτές [19].

3. Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Τα μειονεκτήματα που αφορούν τις συμβατικές πηγές ενέργειας (ορυκτά καύσιμα) και αναφέρθηκαν στην Παράγραφο 2.3 της εργασίας, είναι ζητήματα που θα πρέπει να ληφθούν σοβαρά υπόψη, με την ανάγκη λήψης μέτρων για την απομάκρυνση από τέτοιες μη ανανεώσιμες πηγές να είναι πλέον επιτακτική. Συλλήβδην, η συνεχής άνοδος του κόστους των ορυκτών καυσίμων, η αστάθεια που παρουσιάζει η διαθεσιμότητά τους λόγω ζήτησης, η μειωμένη ασφάλεια και οι εν δυνάμει κίνδυνοι, καθώς και ο μεγάλος αντίκτυπος στο περιβάλλον, με τα συγκριμένα καύσιμα να αποτελούν τον θεμέλιο λίθο της κλιματικής αλλαγής και της υπερθέρμανσης του πλανήτη, είτε με άμεση συνεισφορά, είτε με έμμεση, είναι κάποια από τα ζητήματα που κάνουν την στροφή στις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας – Α.Π.Ε. (Renewable Energy Sources – R.E.S) να αποτελεί την πλέον αξιόλογη, αλλά και απαραίτητη λύση.

Ο αγροτικός τομέας σε ευρύτερο πλαίσιο, και ειδικότερα ο τομέας των θερμοκηπιακών συστημάτων είναι από τους κλάδους που καταναλώνουν τεράστιες ποσότητες καυσίμων για τις ανάγκες τους, συνεισφέροντας σε μεγάλο βαθμό σε όλες τις προαναφερθείσες συνέπειες, που έχουν να κάνουν είτε με την οικονομία, είτε με το περιβάλλον, είτε και με την ίδια την κοινωνία. Συνεπώς, η ανάγκη για εισαγωγή των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στα θερμοκήπια για την κάλυψη των αναγκών τους είναι πλέον φανερή, ενώ η στροφή αρκετών παραγωγών θερμοκηπίου σε αυτές έχει ήδη ξεκινήσει, με το γεγονός αυτό να αποτελεί ελπιδοφόρο σημείο για το μέλλον.

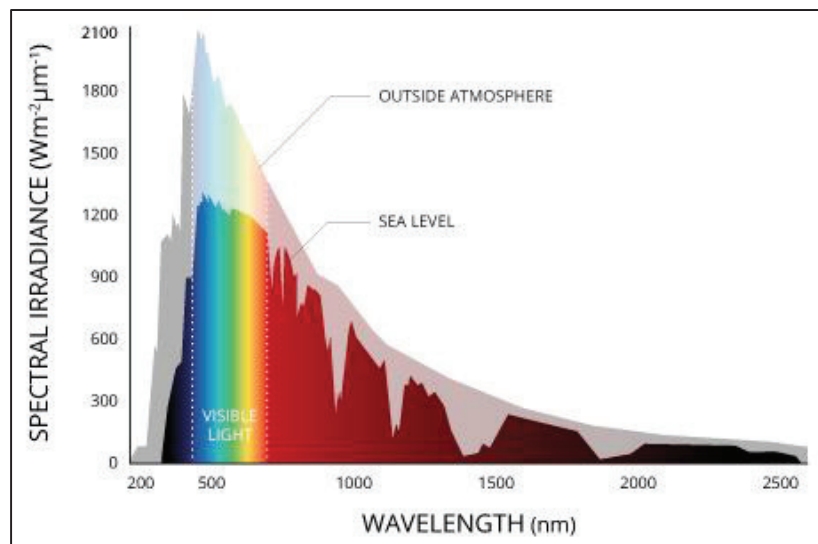
Ως Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας μπορούμε να ορίσουμε τις ανεξάντλητες πηγές παροχής ενέργειας παραχθείσας από διεργασίες που συμβαίνουν στο φυσικό περιβάλλον και αναπληρώνονται άμεσα. Η ενέργεια που παράγεται μπορεί να χαρακτηριστεί και ως καθαρή (clean energy), καθώς σε αντίθεση με τις συμβατικές πηγές ενέργειας, η παραγωγή της συνεισφέρει σε ελάχιστο βαθμό, ή και καθόλου, στην ρύπανση του περιβάλλοντος με την μη εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου. Συνεπώς, η συμμετοχή τους στην κλιματική αλλαγή είναι μηδαμινή και μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως εργαλείο για την αναστροφή της υφιστάμενης περιβαλλοντικής, κοινωνικής και οικονομικής κρίσης [20,21,22]. Στις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας συγκαταλέγονται η ηλιακή ακτινοβολία, ο άνεμος, η Γη μέσω της θερμικής ενέργειας που προέρχεται από αυτή (Γεωθερμία), το νερό, είτε μέσω της δυναμικής του σε ποτάμια (υδροηλεκτρική ενέργεια), είτε μέσω των παλιρροιών, και οι διάφοροι τύποι βιομάζας.

3.1 Ηλιακή ενέργεια

Η ενέργεια που προέρχεται από τον Ήλιο, γνωστή και ως Ηλιακή Ενέργεια, εκπέμπεται καθημερινά σε εξαιρετικά μεγάλες ποσότητες προς την Γη, τόσο υπό μορφή θερμότητας, όσο και υπό μορφή ακτινοβολίας. Η ενέργεια που ακτινοβολείται αποτελεί την πηγή της ζωής στην Γη εδώ και εκατομμύρια χρόνια, ενώ ταυτόχρονα αποτελεί και την πηγή των ορυκτών καυσίμων, καθώς αυτά είναι προϊόν της αποθηκευμένης ηλιακής ενέργειας στο έδαφος, γεγονός που την καθιστά από τις πιο σημαίνουσες μορφές ενέργειας. Ως ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, έχει αρχίσει

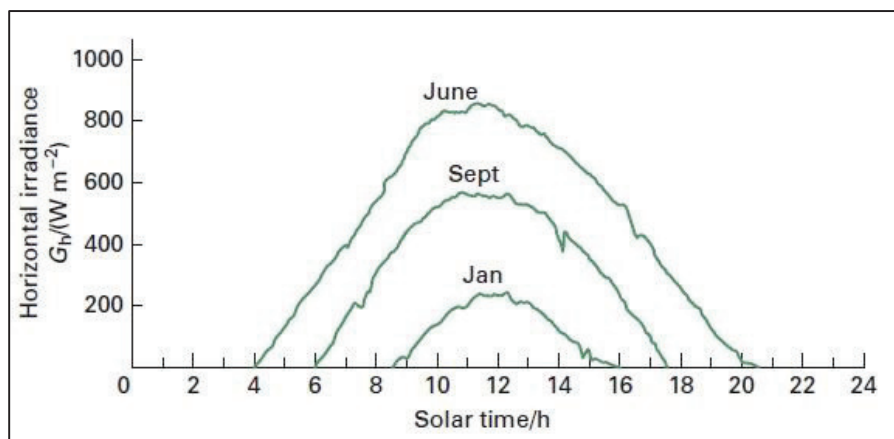
να διαδίδεται σε μεγάλο βαθμό και πλέον αποτελεί ίσως την καλύτερη λύση προς αντικατάσταση της ενέργειας που παράγεται από τα ορυκτά καύσιμα. Η ανάπτυξη της τεχνολογίας για την λήψη της ηλιακής ακτινοβολίας, καθώς και της μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε πιο χρήσιμες, για διάφορες εφαρμογές, μορφές είναι μεγάλη, με την προσοχή της επιστημονικής κοινότητας στο συγκεκριμένο θέμα είναι ιδιαίτερα έντονη. Η χρήση της ηλιακής ενέργειας είναι ευρεία, από την χρήση σε σπίτια και επιχειρήσεις, μέχρι τον βιομηχανικό και αγροτικό τομέα.

Η ηλιακή ακτινοβολία είναι προϊόν αντιδράσεων πυρηνικής σύντηξης που συντελούνται στον Ήλιο, ενώ η μετάδοσή της στην Γη γίνεται υπό μορφή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, μέσω των φωτονίων, δηλαδή μικρών πακέτων ενέργειας [23]. Η πυκνότητα ροής της ακτινοβολίας που φτάνει στην Γη παρουσιάζει μία μέγιστη τιμή γύρω στο 1 kW/m^2 , ενώ τα μήκη κύματος της ακτινοβολίας που φτάνει στο ανώτερο στρώμα της ατμόσφαιρας, διαφέρουν από αυτά που φτάνουν στην επιφάνεια της Γης, λόγω της ύπαρξης της ατμόσφαιρας και των απορροφήσεων που συντελούνται εκεί. Στην πρώτη περίπτωση έχουμε τρεις ζώνες, αυτή με μήκος κύματος (λ) μικρότερο των 400 nm, με την ακτινοβολία να ονομάζεται υπεριώδης (ultraviolet) και αντιστοιχεί στο 5% της ολικής ακτινοβολίας, αυτή με μήκος κύματος μεταξύ των 400 και 700 nm, με την ακτινοβολία να ονομάζεται ορατή (visible) και αντιστοιχεί στο 43% της ολικής ακτινοβολίας, και αυτής με μήκος κύματος μεγαλύτερο των 700 nm, που ονομάζεται υπέρυθρη και αντιστοιχεί στο 52% της ακτινοβολίας. Στην δεύτερη περίπτωση, δηλαδή της ακτινοβολίας που φτάνει στην επιφάνεια της Γης, το φάσμα είναι μικρότερο, αποτελούμενο από μήκη κύματος σε ένα εύρος από περίπου 290 μέχρι και λίγο περισσότερο από 2500 nm. Σημαντικό σημείο αποτελεί πως το φάσμα του ορατού, μήκη κύματος του οποίου αποτελούν και την Ενεργό Φωτοσυνθετική Ακτινοβολία (Photosynthetically Active Radiation – PAR) φτάνει σε αρκετά υψηλές ποσότητες στην επιφάνεια της Γης, παρέχοντας την απαραίτητη ενέργεια στα φυτά για την ανάπτυξή τους [24].



Εικόνα 7: Ηλιακό φάσμα (Πηγή: [25])

Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, ωστόσο παρουσιάζει μεταβολές των οποίων το μέγεθος διαφέρει ανάλογα με την τοποθεσία, την εποχή, αλλά και τον καιρό. Λόγω της σφαιρικότητας της Γης, περιοχές που αντιστοιχούν σε μικρά γεωγραφικά πλάτη παρουσιάζουν μεγάλες τιμές έντασης ακτινοβολίας που φτάνει σε αυτές, λόγω της μικρότερης απόστασης μεταξύ Γης-Ήλιου, σε σχέση με περιοχές που βρίσκονται σε μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη. Παράλληλα, λόγω της περιστροφής της Γης και της κλίσης που παρουσιάζεται στον άξονα της, η ένταση της ακτινοβολίας παρουσιάζει μία ισχυρή εποχική και χρονική μεταβολή, ενώ σημαντική παρουσιάζεται να είναι η συνεισφορά του καιρού, με την δημιουργία των νεφών, ανάλογα με τις επικρατούσες συνθήκες στην ατμόσφαιρα, να επηρεάζουν την ένταση της ακτινοβολίας, σε μικρές χρονικά κλίμακες.



Εικόνα 8: Μεταβολή της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο ανάλογα με την εποχή και την ώρα της ημέρας. (Πηγή: [25])

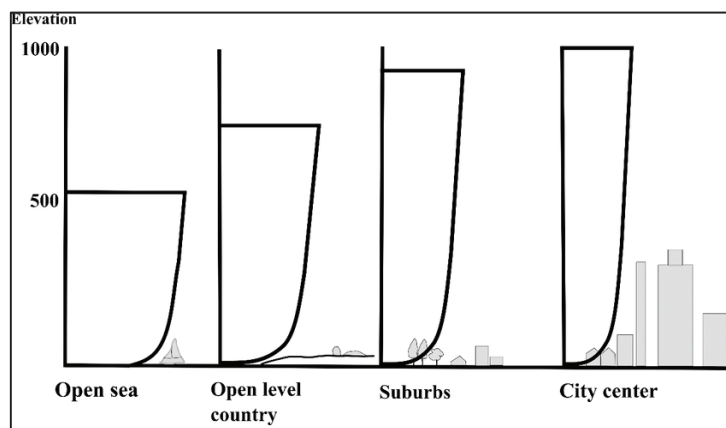
Στην επιφάνεια της Γης, η ηλιακή ακτινοβολία μπορεί να είναι εκμεταλλεύσιμη για διαφορετικές εφαρμογές, ακόμη και αν οι καιρικές, για παράδειγμα, συνθήκες δεν επιτρέπουν την πλήρη εκμετάλλευσή της. Αυτό συμβαίνει λόγω του ότι η ολική ακτινοβολία που προσπίπτει στην επιφάνεια είναι αποτέλεσμα δύο επιμέρους συνιστωσών, της άμεσης (direct) και της διάχυτης (diffuse) συνιστώσας. Η μεν πρώτη είναι η ακτινοβολία που φτάνει στην επιφάνεια της Γης, απευθείας από τον Ήλιο, ενώ η δεύτερη είναι συνέπεια της σκέδασης που υφίσταται η ακτινοβολία στην ατμόσφαιρα, είτε από μόρια αυτής, είτε από διάφορα αιωρούμενα σωματίδια. Εκτός, των δύο αυτών συνιστωσών, εκμεταλλεύσιμη είναι και η ακτινοβολία που προσπίπτει στο έδαφος και έπειτα ανακλάται. Η συνιστώσα αυτή ονομάζεται οφείλεται στην λευκαύγεια (Albedo) του εδάφους, δηλαδή της ανακλαστικότητας που παρουσιάζει ως προς την ακτινοβολία [26].

3.2 Αιολική ενέργεια

Η αιολική ενέργεια είναι ίσως μία από τις αρχαιότερες Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, με τον άνεμο να τίθεται υπό εκμετάλλευση ήδη από τον 1^ο μ.Χ. αιώνα με την χρήση των ανεμόμυλων. Η χρήση της αιολική ενέργειας τότε κάλυπτε σε μεγάλο βαθμό τις καθημερινές ανάγκες των ανθρώπων. Μαζί με την ηλιακή ενέργεια, η αιολική είναι από τις μορφές καθαρής ενέργειας που

χρησιμοποιούνται σε μεγαλύτερο βαθμό προς παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η τοποθέτησή τους απαιτεί συνήθως περιοχές μεγάλου υψομέτρου, καθώς στα συγκεκριμένα σημεία το αιολικό δυναμικό παρουσιάζει επάρκεια, δηλαδή οι ταχύτητες του ανέμου είναι τέτοιες ώστε να παράγεται ένα αξιόλογο ποσό ηλεκτρικής ενέργειας. Ωστόσο, λόγω των υψηλότερων ταχυτήτων ανέμου πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας, εξαιτίας των μειωμένων τριβών επιφανείας, η ανάπτυξη υπεράκτιων αιολικών πάρκων, δηλαδή ανεμογεννητριών τοποθετημένων εντός της θάλασσας, έχει τραβήξει την δέουσα προσοχή [27].

Η μελέτη του αιολικού δυναμικού πρέπει να απασχολήσει σε μεγάλο βαθμό πριν την τοποθέτηση ενός αιολικού πάρκου. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι η ταχύτητα του ανέμου παρουσιάζει έντονη μεταβλητότητα τόσο χρονικά, όσο και χωρικά, με τις απαραίτητες χρονικές κλίμακες μελέτης να κυμαίνονται από τιμές της τάξης του δευτερολέπτου έως και χρόνια, ενώ σε ένα εύρος ενός χιλιομέτρου από το έδαφος, η μεταβλητότητα είναι πολύ ισχυρή, με την ταχύτητα του ανέμου να παρουσιάζει ένα λογαριθμικό προφίλ, το οποίο και διαφοροποιείται για διαφορετικούς τύπους εδάφους.

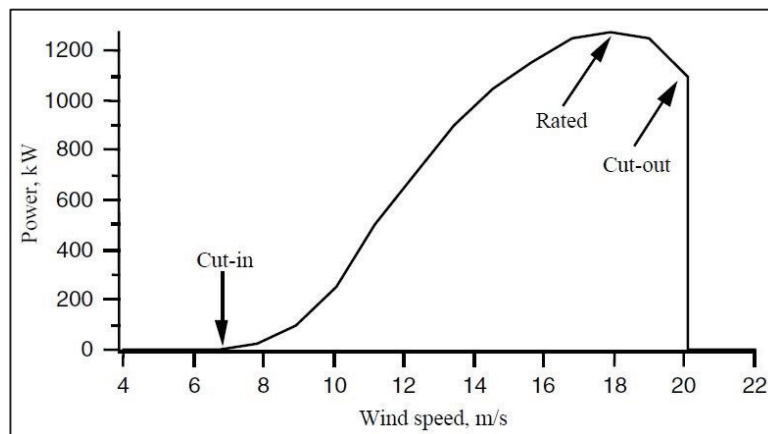


Εικόνα 9: Λογαριθμικά προφίλ ανέμου για διαφορετικές επιφάνειες (Πηγή: [28])

Συνεπώς, η μελέτη του αιολικού δυναμικού θα πρέπει να βασίζεται σε μετρήσεις ταχύτητας ανέμου, τόσο καθ' ύψος, όσο και χρονικά για τουλάχιστον ένα χρονικό διάστημα 12 μηνών σε μία συγκεκριμένη περιοχή και να συγκριθούν με τις επίσημες πληροφορίες του «Παγκόσμιου Αιολικού Άτλαντα». Βάσει αυτών των μετρήσεων και συγκρίσεων θα μπορέσουν να γίνουν εκτιμήσεις σχετικά με την ηλεκτροπαραγωγή από τις εν δυνάμει χρησιμοποιούμενες ανεμογεννήτριες. Ωστόσο, η συγκεκριμένη αξιολόγηση μπορεί να ακολουθείται από μία αβεβαιότητα της τάξης του 20%, καθώς ο άνεμος επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από φυσικές διεργασίες και διακυμάνσεις που είναι πολύ δύσκολο να προβλεφθούν, ενώ η επίδραση της κλιματικής αλλαγής είναι εξίσου σημαντική. Για τον λόγο αυτό και για την αξιολόγηση μιας τοποθεσίας ως προς το αιολικό της δυναμικό χρησιμοποιείται η μέση ταχύτητα του ανέμου σε απόσταση από το έδαφος 10 m, με μία τιμή αυτού μεγαλύτερη των 5 m/s να καθιστά την τοποθεσία αρκετά καλή για την τοποθέτηση μιας ανεμογεννήτριας ή ενός αιολικού πάρκου. Βάσει του «Παγκόσμιου Αιολικού Άτλαντα», οι τοποθεσίες που κρίνονται κατάλληλες για αιολικά πάρκα,

με “σωστές” ταχύτητες ανέμου, βρίσκονται κυρίως σε γεωγραφικά πλάτη περίπου 40°. Ενδεικτικά τέτοιες περιοχές αποτελούν η Βόρεια Αμερική, η Ιρλανδία και η Νέα Ζηλανδία. Εξίσου σημαντική για την πρόβλεψη του αιολικού δυναμικού είναι η κατανομή πιθανότητας της ταχύτητας του ανέμου. Το γεγονός αυτό οφείλεται σε δύο σημεία: πρώτον στο ότι η ισχύς που παρουσιάζει ο άνεμος εμφανίζει μία σχέση αναλογίας με την τιμή της ταχύτητας του ανέμου υψωμένη στην τρίτη δύναμη και δεύτερον στο ότι οι ταχύτητες του ανέμου με τιμές μεγαλύτερες της μέσης τιμής συνεισφέρουν αρνητικά στην μέγιστη ισχύ [24].

Πιο συγκεκριμένα, όσον αφορά την σχέση μεταξύ ταχύτητας ανέμου και παραγόμενης ισχύος, αυτή παρουσιάζεται μέσω της χαρακτηριστικής καμπύλης ισχύος, μιας καμπύλης που παρουσιάζει την εξάρτηση της ισχύος από την ταχύτητα του ανέμου. Η χρησιμότητα της συγκεκριμένης καμπύλης επαφίεται στο γεγονός ότι μπορεί κάποιος να εκτιμήσει την εν δυνάμει παραγόμενη ενέργεια, αποκλειστικά και μόνο από την ταχύτητα του ανέμου, χωρίς να χρειάζεται ιδιαίτερη γνώση στα τεχνικά χαρακτηριστικά των στοιχείων μιας ανεμογεννήτριας.



Εικόνα 10: Χαρακτηριστική καμπύλη ισχύος (Πηγή: [29])

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 10, σε μία χαρακτηριστική καμπύλη απόδοσης ισχύος μπορούν να διακριθούν τρεις διαφορετικές τιμές ταχύτητας ανέμου, άμεσα συνδεδεμένες με την απόδοση και την λειτουργία μιας ανεμογεννήτριας. Αρχικά, μπορεί να διακριθεί η ταχύτητα έναρξης (cut-in speed), η οποία είναι η ελάχιστη τιμή της ταχύτητας του ανέμου βάσει της οποίας ξεκινάει η παραγωγή της χρήσιμης ισχύος, ακολουθεί η ονομαστική ταχύτητα του ανέμου (rated wind speed), η οποία είναι η τιμή της ταχύτητας του ανέμου κατά την οποία παράγεται η μέγιστη ισχύς που μπορεί να αποδώσει η ανεμογεννήτρια (>99,5% της P_{max}), ενώ κλείνοντας διακρίνεται η ταχύτητα παύσης (cut-out speed). Η τελευταία είναι από τις πιο σημαντικές τιμές και είναι η ταχύτητα του ανέμου που παρουσιάζει μέγιστο, καθώς αν η ανεμογεννήτρια συνεχίσει την λειτουργία της σε μεγαλύτερες τιμές, υπάρχει μεγάλη πιθανότητα καταστροφής της. Οι συγκεκριμένες καμπύλες συνήθως παρέχονται από τον εκάστοτε κατασκευαστή μετά από την εκτέλεση πειραμάτων σε κανονικές συνθήκες [29].

3.3 Γεωθερμική ενέργεια

Η γεωθερμική ενέργεια είναι ένας τύπος ενέργειας που βασίζεται στις υψηλές θερμοκρασίες του εσωτερικού της Γης. Ο πυρήνας στο κέντρο μπορεί να φτάσει σε μία θερμοκρασία 4000 °C. Εντός του πυρήνα, η ποσότητα ενέργειας υπό μορφή θερμότητας έχει την δυνατότητα να διατηρείται μέσω ραδιενεργών διασπάσεων στοιχείων, όπως το ουράνιο, ή κάποιων ισοτόπων καλίου. Η εκλυόμενη από αυτόν θερμότητα έχει την δυνατότητα να διαδίδεται προς τα ανώτερα στρώματα μέσω αγωγιμότητας, ή και μέσω “ποταμιών” μάγματος ή ζεστού νερού. Η ροή θερμότητας στην επιφάνεια παρουσιάζει εξάρτηση από τις διαβαθμίσεις της θερμοκρασίας στο εσωτερικό της Γης, με μία μεταβολή θερμοκρασία καθ’ ύψος μεταξύ 25 και 30 °C/km, να προκαλεί μόλις 0,06 W/m² ενέργειας. Σε σχέση με άλλες Α.Π.Ε. το ποσό αυτό είναι ιδιαίτερα μικρό, αν ληφθεί υπόψη πως η συνολική μέση ενέργεια πάνω από την επιφάνεια είναι περίπου 500 W/m². Ωστόσο, οι καθ’ ύψος μεταβολές της θερμοκρασίας κάτω από την επιφάνεια της Γης παρουσιάζουν υψηλή χωρική μεταβλητότητα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στις περιοχές που παρουσιάζουν υψηλό γεωθερμικό δυναμικό τα υπεδάφια πετρώματα έχουν μεγάλους πόρους, κάνοντάς τα αρκετά διαπερατά σε βάθος περίπου 5 km, διευκολύνοντας την κυκλοφορία του ζεστού νερού. Με αυτόν τον τρόπο υπάρχει δυνατότητα αξιοποίησης ροών θερμότητας 10 με 20 W/m² προς παραγωγή περίπου 100 MW θερμικής ενέργειας. Σημαντικό πλεονέκτημα είναι και το μεγάλο χρονικό διάστημα λειτουργίας που μπορεί να αγγίξει και τα 20 χρόνια. Σε περιοχές αντίθετης περίπτωσης, οι προαναφερόμενοι πόροι στο υπέδαφος θα πρέπει να διανοιχθούν τεχνητά, ώστε το ζεστό νερό να βρει διόδους κυκλοφορίας και συνεπώς την μετάδοση θερμότητας.

Ανάλογα με την θερμοκρασία του υπεδάφους σε κατακόρυφες αποστάσεις μεταξύ 1 και 5 km, η γεωθερμική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί με δύο διαφορετικούς τρόπους, είτε προς παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος, είτε για θέρμανση νερού ή και εγκαταστάσεων.

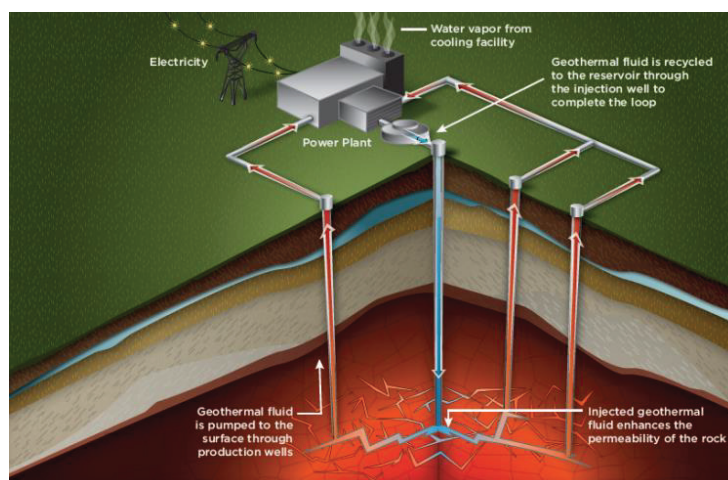
Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

Όπως προαναφέρθηκε κάθε περιοχή παρουσιάζει διαφορετικό γεωθερμικό δυναμικό. Σε ορισμένες περιπτώσεις η θερμοκρασία του υπεδάφους είναι μεγαλύτερη των 150 °C, ενώ η ύπαρξη ανοιγμάτων στην επιφάνεια επιτρέπει την ροή νερού σε υγρή ή αέρια μορφή (ατμού) με πολύ υψηλές πιέσεις. Η έντονη αυτή ροή επιτρέπει την ηλεκτροπαραγωγή με χρήση τουρμπινών. Τέτοιες περιοχές μπορούν να βρεθούν σε χώρες όπως η Ισλανδία, οι Η.Π.Α., η Ιταλία και η Νέα Ζηλανδία, στις οποίες υπάρχουν εγκατεστημένα εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μέσω γεωθερμίας. Μέχρι το 2011, η δυναμική αυτών των σταθμών στις περιοχές αυτές ήταν περί τις 15 GW παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Η ανάπτυξη της τεχνολογίας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μέσω γεωθερμίας είναι μεγάλη, παρουσιάζοντας μεγάλη χρονική σταθερότητα, ωστόσο, είναι σημαντικό να γίνει ειδική μελέτη για κάθε περιοχή, που υπάρχει σκοπός να γίνει τοποθέτηση μιας τέτοιας εγκατάστασης. Τέλος, το παραγόμενο ηλεκτρικό φορτίο υπάρχει η δυνατότητα να τεθεί στην διάθεση του κεντρικού δικτύου.

Παραγωγή θερμικής ενέργειας

Στον παγκόσμιο χάρτη, οι τοποθεσίες που έχουν ένα υψηλό γεωθερμικό δυναμικό είναι σχετικά λίγες. Στις περισσότερες περιοχές οι θερμοκρασίες κυμαίνονται μεταξύ ενός εύρους 50 με 70 °C. Η γεωθερμική ενέργεια σε τέτοιες περιοχές εκμεταλλεύεται κυρίως για εφαρμογές θέρμανσης, όπως τα ιαματικά λουτρά με θερμό νερό, η θέρμανση χώρων και οι διάφορες βιομηχανικές διεργασίες που απαιτούν θερμότητα.

Οι τρόποι για να ληφθεί η θερμική ενέργεια από το υπέδαφος είναι είτε με την εκμετάλλευση του θερμού νερού φυσικής ροής, όπου οι γεωτρήσεις εκμεταλλεύονται το νερό που υπάρχει στα φυσικά υπεδάφια κανάλια, είτε μέσω των Βελτιωμένων Γεωθερμικών Συστημάτων (Enhanced Geothermal Systems – EGS). Λόγω του ότι τα πετρώματα με υψηλές θερμοκρασίες της τάξης των 200 °C είναι πιο εύκολο να βρεθούν σε όλο τον πλανήτη, τα συγκεκριμένα συστήματα απολαμβάνουν ευρείας χρήσης [24]. Η εγκατάσταση ενός τέτοιου συστήματος απαιτεί αρχικά την ανίχνευση της περιοχής, στην οποία το υπέδαφος είναι όσο το δυνατόν πιο βραχώδης με υψηλές θερμοκρασίες και περιορισμένη υγρασία, δηλαδή η ποσότητα νερού θα πρέπει να είναι ελάχιστη. Μετά από την διάνοιξη ενός φρεατίου, ακολουθεί η έγχυση νερού, είτε υψηλής πίεσης, είτε χαμηλής θερμοκρασίας. Η διαφορά θερμοκρασίας που θα δημιουργηθεί θα βοηθήσει στην διάνοιξη ενός ρήγματος στον βράχο και τελικά στην δημιουργία μία τεχνητής δεξαμενής, η οποία θα έχει τον κατάλληλο όγκο για την κυκλοφορία του νερού. Στην συνέχεια το νερό θα θερμανθεί μέσω των ζεστών πετρωμάτων και θα επανέλθει στην επιφάνεια μέσω ξεχωριστών δημιουργημένων φρεατίων [25].



Εικόνα 11: Λειτουργία ενός Βελτιωμένου Γεωθερμικού Συστήματος. (Πηγή: [30])

Η τεχνολογία στην οποία βασίζεται το συγκεκριμένο γεωθερμικό σύστημα έχει μείνει για αρκετά χρόνια σε πιλοτικό επίπεδο. Εάν, ωστόσο, είχε την δυνατότητα να κυκλοφορήσει στο εμπόριο θα ήταν πολύ χρήσιμο, καθώς η ηλεκτρική ενέργεια που μπορεί να παραχθεί από μία γεωθερμική πηγή με χρήση του συστήματος αυτού, θα μπορούσε να ξεπεράσει τα 20 EJ (1 EJ = 10¹⁸ J) ετησίως.

Ένας ακόμη τρόπος εκμετάλλευσης της γεωθερμίας είναι οι Αντλίες Θερμότητας Επίγειας Πηγής (Ground-source Heat Pumps – GHP). Η συγκεκριμένη τεχνική μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε για θέρμανση ενός χώρου, με μεταφορά θερμότητας από το έδαφος στον επιθυμητό χώρο, είτε για ψύξη, με απορρόφηση θερμότητας από έναν χώρο και μεταφοράς του στο έδαφος. Στην τεχνολογία αυτή σημαντικό σημείο αποτελεί ότι η θερμοκρασία του εδάφους παραμένει σχετικά σταθερή καθ' όλη την διάρκεια του έτους, για βάθος μεταξύ 2 και 50 μέτρων, συνεπώς και η ροή θερμότητας που γίνεται βάσει αυτής παραμένει σχετικά σταθερή [24].

3.4 Υδροηλεκτρική ενέργεια

Όπως και η αιολική ενέργεια, έτσι και η ενέργεια που προέρχεται από την κίνηση του νερού – Υδροηλεκτρική Ενέργεια – είναι από τις πρώτες μορφές που εκμεταλλεύτηκε ο άνθρωπος. Είναι μία από τις πιο διαδεδομένες μορφές ανανεώσιμης ενέργειας παγκοσμίως. Μέσω της υδροηλεκτρικής ενέργειας παρέχεται περίπου το 16% των παγκόσμιων απαιτήσεων σε ηλεκτρισμό, ενώ η απόδοση των χρησιμοποιούμενων συστημάτων προς ηλεκτροπαραγωγή παρουσιάζουν ένα μεγάλο εύρος, από ποσοότητες της τάξης του GW έως και της τάξης του kW. Δύο σημεία για τα οποία απαιτείται μελέτη πριν από την δημιουργία ενός σταθμού παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας είναι η τοπογραφία και το ύψος βροχής για την συγκεκριμένη περιοχή, ενώ η απόδοση ενός τέτοιου σταθμού ως προς την παραγωγή ενέργειας είναι από τις πιο υψηλές στον τομέα των Α.Π.Ε. με αυτή να φτάνει έως και το 95% σε σταθμούς εμπορική εκμετάλλευσης. Αν και το αρχικό κόστος για την εγκατάσταση είναι αρκετά υψηλό, το μεγάλο χρονικό διάστημα λειτουργίας μπορεί να το αντισταθμίσει, σε συνδυασμό με το χαμηλό κόστος συντήρησης και λειτουργίας. Ενδεικτικά ο εξοπλισμός ενός υδροηλεκτρικού σταθμού, όπως οι γεννήτριες έχουν αντοχή έως και περίπου 40 έτη, ενώ τα φράγματα έως και 100 έτη.

Η πιο συνήθης πρακτική σε αυτόν τομέα είναι η δημιουργία τεχνητών λιμνών, όπου μεγάλες ποσότητες νερού συγκεντρώνονται και αποθηκεύονται. Το ύψος αυτών των “δεξαμενών” πρέπει να είναι αρκετά μεγάλο, έτσι ώστε να έχει την δυνατότητα απόκτησης και διατήρησης επαρκούς δυναμικής ενέργειας. Παράλληλα, η ύπαρξη ενός φράγματος διασφαλίζει την σταθερή ροή του νερού, χωρίς αυξήσεις ή μειώσεις στην παροχή, ενώ χρησιμεύει και στην δημιουργία οδικού δικτύου, στην χορήγηση νερού για άρδευση, αλλά και στην αποφυγή πλημμυρών. Η κίνηση του νερού ξεκινά με το άνοιγμα μιας θύρας ή βαλβίδας με την δυναμική ενέργεια του νερού να μετατρέπεται σε κινητική, θέτοντας σε λειτουργία μία τουρμπίνα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ωστόσο, η χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας συνδέεται στενά με την προστασία του φυσικού περιβάλλοντος, επομένως η δημιουργία τεχνητών λιμνών μπορεί να παραβιάζει αυτόν τον κανόνα. Μια άλλη πιο αποδεκτή τεχνική είναι η εκμετάλλευση της φυσικής κίνησης του νερού, όπως για παράδειγμα, η ροή του νερού σε ένα ποτάμι [31].

Τα βασικά στοιχεία που πρέπει να συμπεριλαμβάνονται σε ένα υδροηλεκτρικό σύστημα αφορούν αρχικά το νερό, με την αναγκαιότητα ύπαρξης μίας πηγής, ενός κλειστού αγωγού πίεσης, και εξοπλισμό για τον έλεγχο της ροής του νερού. Στην συνέχεια αναγκαίος είναι ο εξοπλισμός που

αφορά την ηλεκτρική ενέργεια, όπως μια γεννήτρια και στοιχεία που θα ελέγχουν την ηλεκτρική ροή. Τέλος, σημαντικός είναι και ο εξοπλισμός για την μεταφορά της ενέργειας, όπως οι καλωδιώσεις του δικτύου.



Εικόνα 12: Υδροηλεκτρικό εργοστάσιο στον ποταμό Αχελώο

3.5 Παλιρροιακή ενέργεια

Μία μορφή ενέργειας, παρόμοια με την υδροηλεκτρική, που οφείλεται στην κίνηση του νερού είναι η παλιρροιακή ενέργεια. Η παλίρροια είναι ένα φαινόμενο, κατά το οποίο παρουσιάζεται αύξηση ή μείωση της στάθμης της θάλασσας, λόγω των βαρυτικών δυνάμεων που ασκούνται από τον ήλιο και την σελήνη [32]. Το εύρος μεταξύ πλημμυρίδας (άνοδος της στάθμης) και άμπωτης (πτώση της στάθμης) διαφέρει από περιοχή σε περιοχή, από μισό μέτρο έως και 10 μέτρα. Οι τελευταίες, αυτές δηλαδή με μεγάλο εύρος διαφοράς της στάθμης είναι ιδιαίτερα ευνοϊκές για την εκμετάλλευση της παλιρροιακής ενέργειας. Τα ρεύματα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ηλεκτρισμού από μια τέτοια μορφή ενέργειας είναι αυτά που δημιουργούνται φυσικά, δηλαδή μέσω στενών περασμάτων, είτε μεταξύ δύο νησιών, είτε μεταξύ της ηπειρωτικής χώρας και νησιών. Τα εκμεταλλεύσιμα φυσικά ρεύματα πρέπει να έχουν μία ταχύτητα τουλάχιστον 3m/s [24].

Ήδη από τον 20ο αιώνα, γίνεται χρήση γεννητριών για την παραγωγή ηλεκτρισμού από τις παλίρροιες, ωστόσο σε εμπορικό επίπεδο και για παραγωγή ικανών ποσοτήτων ηλεκτρικής ενέργειας, οι σταθμοί εκμετάλλευσης μια τέτοιας μορφής ενέργειας είναι λίγοι σε παγκόσμιο επίπεδο. Ένα παράδειγμα ενός μεγάλου σταθμού αποτελεί ο σταθμός La Rance, που είναι εγκατεστημένος στις εκβολές του ποταμού Rance στην Βρετάνη της Γαλλίας και λειτουργεί ήδη από το 1967. Για τον εγκλωβισμό της παλίρροιας στον ποταμό, γίνεται χρήση ενός μεγάλου φράγματος, ενώ αφού η στάθμη αυξηθεί αρκετά και αποκτήσει αρκετή δυναμική ενέργεια, το νερό απελευθερώνεται δια μέσου ειδικών στροβίλων, μετατρέποντας την δυναμική ενέργεια του νερού

σε κινητική. Έτσι, τίθεται σε λειτουργία μία ηλεκτρογεννήτρια παράγοντας ηλεκτρικό ρεύμα. Η ισχύς του συγκεκριμένου σταθμού είναι της τάξης των 240 MW. Ωστόσο, για να αυξηθεί η αποτελεσματικότητα μιας τέτοιας μεθόδου παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, το φράγμα που χρησιμοποιείται για τον εγκλωβισμό τη παλίρροιας θα πρέπει να “κλείνει” σε μεγάλο βαθμό, αν όχι ολόκληρο το εύρος του ποταμού, ή της θάλασσας που παρουσιάζεται η παλίρροια. Το γεγονός αυτό δημιουργεί σημαντικά ζητήματα, όπως η αύξηση του κόστους κατασκευής του σταθμού, παρεμπόδιση της ναυσιπλοΐας, αλλά και περιβαλλοντικά ζητήματα, ιδιαίτερα σε υπάρχοντες στην εκάστοτε περιοχή υδροβιότοπους [24].



Εικόνα 13: Σταθμός εκμετάλλευσης της παλίρροιακής ενέργειας στον ποταμό Rance, Γαλλία (Πηγή: Rance Tidal Power Station, France - TheGreenAge)

3.6 Βιομάζα και βιοκαύσιμα

Η βιομάζα είναι ένα σύνολο από υλικά φυτικής προέλευσης, στα οποία μπορούν να προστεθούν απόβλητα και κατάλοιπα ζωικής προέλευσης. Η συγκεκριμένη πηγή ενέργειας προσφέρει σχεδόν το 13% της συνολικής ενέργειας που καταναλώνεται από τον άνθρωπο, ενώ μέρος αυτής (περίπου το 65%) προέρχεται από την καύση ξύλου για την παρασκευή φαγητού ή φωτισμού στον αναπτυσσόμενο κόσμο. Μία συγκεκριμένη κατηγορία της βιομάζας αποτελούν τα βιοκαύσιμα που είναι αποτέλεσμα της επεξεργασίας που υπόκειται η βιομάζα, έτσι ώστε να μετατραπεί σε μία μορφή που θα μπορεί εύκολα να χρησιμοποιηθεί, όπως για παράδειγμα η μετατροπή της σε στερεό, υγρό ή αέριο καύσιμο [24].

Η βιομάζα είναι ουσιαστικά αποτέλεσμα της ηλιακής ενέργειας. Η βασική διεργασία βάσει της οποίας τα φυτά λαμβάνουν την ενέργεια από τον ήλιο και την μετατρέπουν σε βιομάζα είναι η φωτοσύνθεση. Βάσει της διεργασίας αυτής, η ενέργεια προσλαμβάνεται από τα φυτά, τα οποία από την μία την χρησιμοποιούν για την σύνθεση των ιστών τους (βιομάζα) με την βοήθεια του διοξειδίου του άνθρακα και του νερού, ενώ από την άλλη εκλύουν οξυγόνο, ένα αέριο απαραίτητο για την ζωή στην Γη. Τα φύλλα των φυτών είναι το σημείο στο οποίο συντελούνται διάφορες περίπλοκες, βιοχημικές αντιδράσεις, οι οποίες προσδίδουν στην βιομάζα και το οξυγόνο την ιδιότητα της αποθήκευσης της ενέργειας από τον ήλιο. Τα φύλλα των φυτών θα μπορούσε κανείς

να πει ότι δουλεύουν σαν φωτοβολταϊκές κυψελίδες, οι οποίες απορροφούν τα φωτόνια που προέρχονται από το Ήλιο παράγοντας ηλεκτρικό ρεύμα. Ωστόσο, τα φύλλα των φυτών παρουσιάζουν το πλεονέκτημα της αποθήκευσης της ενέργειας. Από την ενέργεια που προσλαμβάνεται από τα φυτά μόλις το 3% έχει την δυνατότητα να αποθηκευτεί υπό μορφή βιομάζας, καθώς ένα μεγάλο μέρος της προσληφθείσας ακτινοβολίας εκμεταλλεύεται από τα φυτά για την διαδικασία του μεταβολισμού τους.

Η βιολογική διεργασία της φωτοσύνθεσης των φυτών έχει αποτελέσει σημαντικό πεδίο έρευνας, καθώς μπορεί να αποτελέσει την απαρχή για δημιουργία νέων τεχνικών Α.Π.Ε. Τέτοιες τεχνικές αποτελούν: (α) η «βιοτεχνική φωτοσύνθεση», κατά την οποία όλες οι βιολογικές διεργασίες που συμβαίνουν στην φωτοσύνθεση μεταφέρονται σε τεχνητά συστήματα με στόχο να έχουμε μία τεχνητή διαδικασία φωτοσύνθεσης, πιο αποδοτικής από αυτήν της φυσικής διεργασίας, (β) η «τεχνητή φωτοσύνθεση» μέσω της οποίας με χρήση ανόργανων υλικών γίνεται προσπάθεια αποθήκευσης της ενέργειας που προέρχεται από ακτινοβολία.

Ως βιοκαύσιμο θεωρείται οποιοδήποτε καύσιμο, το οποίο είναι αποτέλεσμα της επεξεργασίας της βιομάζας. Έχοντας υπόψη ότι η βιομάζα έχει την ιδιότητα της εύκολης και γρήγορης αναπλήρωσης, τα βιοκαύσιμα ως προϊόν της βιομάζας θεωρούνται Ανανεώσιμες Μορφές Ενέργειας. Τα βιοκαύσιμα παρουσιάζουν πολλές ομοιότητες με τα συμβατικά καύσιμα, όπως το πετρέλαιο, ωστόσο παρουσιάζουν μεγαλύτερη απόδοση ως προς το οικονομικό σκέλος λόγω της συνεχούς αύξησης των τιμών των συμβατικών καυσίμων, ενώ είναι σαφώς πιο ακίνδυνα για το περιβάλλον. Κάποια βιοκαύσιμα, όπως για παράδειγμα το ξύλο, δεν απαιτούν επεξεργασία και μπορούν να χρησιμοποιηθούν απευθείας ως καύσιμη ύλη προς παραγωγή θερμότητας. Η θερμότητα αυτή εκμεταλλεύεται για τεθούν σε λειτουργία ειδικές γεννήτριες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από σχετικούς σταθμούς. Μία ευρέως διαδεδομένη κατηγορία βιοκαυσίμων είναι αυτά σε υγρή μορφή, λόγω της ήδη υπάρχουσας υποδομής ιδίως για τον τομέα των μεταφορών. Το μεγαλύτερο ποσοστό βιοκαυσίμων καλύπτεται από την αιθανόλη (ή βιοαιθανόλη) που είναι αποτέλεσμα της επεξεργασίας του αμύλου και των σακχάρων. Η βιοαιθανόλη προέρχεται είτε από το καλαμπόκι, όπου σε αυτή την περίπτωση η ανάμιξή της με την βενζίνη οδηγεί σε ένα καύσιμο που ονομάζεται «βενζινόλη» (gasohol) και η περιεκτικότητα σε αιθανόλη είναι της τάξης του 10%. Μία άλλη πηγή βιοαιθανόλης είναι τα ζαχαροκάλαμα, με το συγκεκριμένο καύσιμο να χρησιμοποιείται αυτούσιο ή μετά από ανάμειξη με βενζίνη προς δημιουργία ενός καυσίμου περιεκτικότητας 85% σε αιθανόλη. Η συγκεκριμένη μορφή βιοαιθανόλης χαρακτηρίζεται ως βιοκαύσιμο «πρώτης γενιάς». Βιοκαύσιμο «δεύτερης γενιάς» αποτελεί η κυτταρινική αιθανόλη (cellulosic ethanol), η οποία είναι αποτέλεσμα ανεκμετάλλευτης και μικρής χρησιμότητας βιομάζας, όπως το πριονίδι ξύλου ή ακόμα και αστικά υπολείμματα. Ο συγκεκριμένος τύπος βιομάζας είναι πλούσιος σε κυτταρίνη. Παράλληλα, η κυτταρινική αιθανόλη, μπορεί να παραχθεί από φυτικά προϊόντα που έχουν την δυνατότητα να επιβιώνουν και να καλλιεργούνται σε εδάφη κακής ποιότητας.

Η βιοαιθανόλη, ακολουθείται από ένα καύσιμο το οποίο προέρχεται σε μεγάλο βαθμό από φυτά υψηλής λιπαρότητας και ονομάζεται βιοντίζελ. Παράδειγμα τέτοιων φυτών αποτελούν η σόγια ή τα φοινικόδεντρα. Ωστόσο, αν και σε μικρότερο ποσοστό, το βιοντίζελ μπορεί να παραχθεί και από υπολείμματα φαγητού μεγάλης περιεκτικότητας σε λίπος. Η χρήση του βιοντίζελ είναι ευρέως διαδεδομένη σε πετρελαιοκινητήρες, ενώ ταυτόχρονα υπάρχει η δυνατότητα ανάμειξής του με το συμβατικό πετρέλαιο ντίζελ σε διάφορες περιεκτικότητες. Ως πηγή για την παρασκευή βιοντίζελ υπάρχει η δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν φύκη ή κυανοβακτήρια (καύσιμα τρίτης γενιάς), τα οποία αποτελούνται από έως και 40% λιπίδια. Ωστόσο, η ανάπτυξή τους παραμένει σε χαμηλά επίπεδα λόγω του υψηλού κόστους που παρουσιάζει η συγκεκριμένη τεχνολογία [33].

3.7 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα

Σημαντικά σημεία που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη ως προς την χρήση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας είναι τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα που παρουσιάζουν. Έχοντας μία πλήρη εικόνα και για τα μιν και για τα δε, μπορούμε εύκολα να κρίνουμε αν τελικά οι Α.Π.Ε. μπορούν να ωφελήσουν ή όχι σε διάφορους τομείς, όπως το περιβάλλον, η οικονομία και γενικότερα η κοινωνία. Κάποια από τα πλεονεκτήματα, όπως η χαμηλότερη ρύπανση και η εξοικονόμηση των φυσικών πόρων είναι γνωστά και κοινώς αποδεκτά εδώ και δεκαετίες. Ωστόσο, είναι επίσης σημαντικό να γίνουν γνωστά και κάποια σημεία τα οποία αποτελούν αγκάθι για την εξέλιξη του τομέα των Α.Π.Ε., ενώ για να επέλθει βελτίωση στον συγκεκριμένο τομέα είναι απαραίτητο να λάβουμε γνώση για τους συγκεκριμένους περιορισμούς. Σίγουρα, για όλα τα προβλήματα υπάρχει λύση, αρκεί να υπάρχει μία σαφής γνώση των προβλημάτων, καθώς και οι απαραίτητες προϋποθέσεις ως προς τα χρονικά περιθώρια αλλά και στο οικονομικό κομμάτι. Με την αλματώδη ανάπτυξη της τεχνολογίας, τα μειονεκτήματα των Α.Π.Ε. μπορούν να μειωθούν ή και να εξαλειφθούν.

3.7.1 Πλεονεκτήματα

Η ενέργεια από τις Α.Π.Ε. δεν εξαντλείται ποτέ

Το πρώτο πλεονέκτημα αφορά ακριβώς αυτό που αναφέρεται στον ορισμό των Α.Π.Ε. Η ηλιακή ακτινοβολία, ο άνεμος, η βιομάζα, οι αυξημένες θερμοκρασίες του υπεδάφους και το νερό είναι κάποιες πηγές που έχουν την ικανότητα της φυσικής και γρήγορης αναπλήρωσης, ενώ η εξάντληση των αποθεμάτων αυτών είναι σχεδόν απίθανη. Το γεγονός αυτό έρχεται να αντιπαρατεθεί με τα ορυκτά καύσιμα, των οποίων η αναπλήρωση είναι εξαιρετικά αργή, με αποτέλεσμα να γίνονται όλο και πιο δυσεύρετα και συνεπώς όλο και πιο ακριβά. Εκτός αυτού, η οικολογική καταστροφή γίνεται συνεχώς πιο μεγάλη. Οι Α.Π.Ε. σε αντίθεση με την παραγωγή ενέργειας από ορυκτά καύσιμα που απαιτούν έναν μεγάλο και βαρύ εξοπλισμό, έχουν την ικανότητα της άμεσης μετατροπής της κάθε μορφής ενέργειας σε ηλεκτρική.

Μηδαμινές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου

Κατά την παραγωγή ενέργειας από τις Ανανεώσιμες Πηγές, η έκλυση αερίων του θερμοκηπίου είναι μηδενικές, ενώ το ίδιο ισχύει και για λοιπούς επιβλαβείς ρύπους. Αντίθετα, τα εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με βάση τον άνθρακα έχουν ως αποτέλεσμα την παραγωγή σχεδόν 1 kg διοξειδίου του άνθρακα για κάθε παραγόμενη κιλοβατώρα. Με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκά ή ανεμογεννήτριες δεν υπάρχει παραγωγή τέτοιων αερίων.

Το αέρας και το νερό γίνονται πιο καθαρά

Η επιπτώσεις της παραγωγής ενέργειας από ορυκτά καύσιμα, δεν παρουσιάζουν επιπτώσεις μόνο στο κλίμα. Η μόλυνση που προκαλούν στον αέρα, αλλά και το νερό είναι μεγάλη και πολύ επικίνδυνη. Εκτός από την έκλυση αερίων του θερμοκηπίου, όπως το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) και τα οξειδία του αζώτου (NO_x) στην ατμόσφαιρα, οι εκπομπές αφορούν στοιχεία, όπως ο υδράργυρος, το διοξείδιο του θείου (SO₂) και ο μόλυβδος. Τα πιο επικίνδυνα, ωστόσο είναι τα σωματίδια διαφορετικού μεγέθους, όπως τα PM_{2.5} και τα PM₁₀, τα οποία μπορούν μέσω της εισπνοής να προκαλέσουν προβλήματα στο ανθρώπινο αναπνευστικό σύστημα, έως και θάνατο. Τα σωματίδια αυτά έχουν την δυνατότητα να παραμένουν στην ατμόσφαιρα μέχρι την απομάκρυνσή τους, η οποία γίνεται είτε μέσω μεταφοράς λόγω ανέμου, είτε μέσω της βροχής. Η δεύτερη περίπτωση είναι πολύ “επιβλαβής” καθώς το μολυσμένο πλέον νερό της βροχής εισέρχεται στους υδάτινους δρόμους του εδάφους.

Πιο φθινό ηλεκτρικό ρεύμα

Η τελευταία δεκαετία για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας ήταν μία περίοδος μεγάλης ανάπτυξης, ενώ η ευρεία διάδοση φωτοβολταϊκών και ανεμογεννητριών στον τομέα της ενέργειας κατάφερε να μειώσει το κόστος της ηλεκτροπαραγωγής μέσω των πηγών αυτών σε παγκόσμιο επίπεδο. Ιδιαίτερα σε περιοχές με μεγάλη διαθεσιμότητα σε γη και τις κατάλληλες καιρικές συνθήκες, όπως για παράδειγμα υψηλά επίπεδα ηλιακής ακτινοβολίας, η τιμή της ενέργειας είναι ακόμη πιο χαμηλή. Παράδειγμα αποτελούν τα Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα, μία χώρα που κατάφερε να ρίξει το κόστος της ηλιακής ενέργειας στα 0,0135 δολάρια ανά παραγόμενη κιλοβατώρα. [34] Με την μείωση του κόστους της ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές και την ταυτόχρονη αύξηση της αντίστοιχης από καύση ορυκτών καυσίμων ώθησαν στην αύξηση των επενδύσεων στον συγκεκριμένο τομέα, με αποτέλεσμα η «ακριβή» κάποτε πράσινη ενέργεια, να έχει γίνει πλέον σημαντικό πλεονέκτημα για την μείωση του κόστους της ηλεκτρικής ενέργειας.

Ανοιγμα καινών θέσεων εργασίας

Εκτός από τα πλεονεκτήματα σε οικονομικό επίπεδο, οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας παρουσιάζουν ένα θετικό αντίκτυπο και σε κοινωνικό επίπεδο. Με την εξέλιξη του ενεργειακού

αυτού τομέα και την βαθμιαία διάδοσή του, είναι αναγκαίο να υπάρχει ταυτόχρονα και το αντίστοιχο ανθρώπινο δυναμικό. Αυτό συνεπώς, οδηγεί στο άνοιγμα νέων θέσεων εργασίας, και την πρόσληψη ανθρώπων για την κάλυψη των αναγκών. Προβλέψεις και εκτιμήσεις δείχνουν πως τα επόμενα χρόνια οι θέσεις εργασίας που αφορούν τουλάχιστον το τεχνικό κομμάτων, τόσο των φωτοβολταϊκών, όσο και των ανεμογεννητριών θα παρουσιάσουν μία ραγδαία αύξηση. Παράλληλα, αξίζει να σημειωθεί πως οι αντίστοιχες πληρωμές των εργαζομένων στον τομέα αυτό θα είναι αρκετά πιο υψηλές από τον μέσο όρο του μέχρι τώρα μισθού.

3.7.2 Μειονεκτήματα

Υψηλό αρχικό κεφάλαιο επένδυσης

Αν και οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας έχουν την δυνατότητα της μακροπρόθεσμης μειωμένης κατανάλωσης πόρων, το αρχικό κεφάλαιο που απαιτείται για την εγκατάσταση και την έναρξη λειτουργίας ενός τέτοιου σταθμού είναι πολλές φορές απαγορευτικό. Ενδεικτικά, στην Ελλάδα η εγκατάσταση ενός αυτόνομου οικιακού φωτοβολταϊκού συστήματος για την κάλυψη κάποιων βασικών αναγκών υπάρχει περίπτωση να κοστίσει από 5.000 έως 10.000 ευρώ. Εάν περάσουμε σε μεγαλύτερης κλίμακας εγκαταστάσεις, όπως φωτοβολταϊκά ή αιολικά πάρκα το κόστος της αρχικής επένδυσης είναι πολύ υψηλό, καθώς εκτός του εξοπλισμού υπάρχει και η ανάγκη διαθέσιμης γης, γεγονός που καθυστερεί ή και τερματίζει την δημιουργία τέτοιων έργων.

Μειωμένη αξιοπιστία στην ηλεκτροπαραγωγή

Λόγω του ότι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές εξαρτάται από πόρους, όπως η ακτινοβολία ή η ταχύτητα του πνέοντος ανέμου, η λειτουργία τέτοιων συστημάτων μπορεί να παρουσιάσει μεγάλη μεταβλητότητα. Για παράδειγμα, μία μέρα με έντονη νέφωση θα προκαλέσει την μείωση της απόδοσης των φωτοβολταϊκών, σε μέρες άπνοιας οι ανεμογεννήτριες είναι μη λειτουργικές, ενώ οι εγκαταστάσεις εκμετάλλευσης της υδροηλεκτρικής ενέργειας απαιτούν συνθήκες σταθερής βροχόπτωσης για την διατήρηση της δυναμικής τους. Παράλληλα, προβλήματα μπορεί να δημιουργήσει και η αντίθετη περίπτωση, με την παραγωγή υπερβολικών ποσοτήτων ενέργειας (π.χ. κατά την διάρκεια με μεγάλη ένταση ηλιακής ακτινοβολίας). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την υπερφόρτωση των ηλεκτρικών δικτύων, δημιουργώντας προβλήματα στους διαχειριστές αυτών. Το μειονέκτημα αυτό των Α.Π.Ε. δεν υφίσταται για τους συμβατικούς σταθμούς παραγωγής ενέργειας, στους οποίους ο έλεγχος της καύσης του άνθρακα οδηγεί σε μία ελεγχόμενη παραγωγή ενέργειας. Για να ελεγχθεί η παραγωγή ενέργειας από τις Α.Π.Ε. χρειάζεται μία βελτίωση των συγκεκριμένων υποδομών αυξάνοντας τελικά το τελικό κόστος.

Ζητήματα στην αποθήκευση της παραγόμενης ενέργειας

Γενικότερα, η αποθήκευση της παραγόμενης ενέργειας αποτελούσε και αποτελεί σημαντικό πρόβλημα, είτε η πηγή προέλευσης είναι ανανεώσιμη, είτε όχι. Όσον αφορά τις συγκεκριμένες

πηγές, λόγω της μη ελεγχόμενης παραγωγής ενέργειας είναι απαραίτητη η ύπαρξη συστημάτων που θα έχουν την ικανότητα δέσμευσης και αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας και συγχρόνως την μετέπειτα παροχής της. Τέτοια συστήματα αποτελούν οι μπαταρίες, οι οποίες τα τελευταία έτη παρουσιάζουν βαθμιαία εξάπλωση στον συγκεκριμένο τομέα. Παρά τον περιορισμό του κόστους τους, λόγω της ευρείας διάδοσής τους, παραμένουν στο προσκήνιο ορισμένα ζητήματα που αφορούν τόσο την αξιοπιστία τους στην αποθήκευση ενέργειας, όσο και στο χρονικό διάστημα που μπορούν να παραμένουν λειτουργικές.

Επίδραση των συνθηκών του περιβάλλοντος

Όπως έχει προαναφερθεί στις προηγούμενες παραγράφους, συστήματα που παράγουν ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές παρουσιάζουν έντονη εξάρτηση από το γεωγραφικό τους θέση. Παράδειγμα αποτελούν οι ανεμογεννήτριες, οι οποίες για να έχουν μία ικανοποιητική απόδοση είναι αναγκαίο να τοποθετούνται σε περιοχές υψηλό αιολικό δυναμικό, όπως τοποθεσίες με μεγάλο υψόμετρο και μη ασταθείς ταχύτητες ανέμου. Το γεγονός αυτό μετριάξει την δυνατότητα τοποθέτησης συστημάτων σε κάποιες τοποθεσίες. Παράλληλα, τα φωτοβολταϊκά συστήματα, μπορούν να αποδώσουν σε ικανοποιητικό βαθμό ακόμα και κατά τις νεφελώδεις μέρες, αρκεί να υπάρχει μία σταθερή ροή φωτός, πράγμα που επηρεάζεται από το κλίμα της περιοχής.

Μη μηδενικό αποτύπωμα άνθρακα

Αν και κατά την διαδικασία παραγωγής ενέργειας, συστήματα όπως τα φωτοβολταϊκά και οι ανεμογεννήτριες δεν συνεισφέρουν στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, υπάρχουν σημεία στο ευρύτερο πλαίσιο που τα αφορά που συνεχίζουν να συνεισφέρουν με ένα μη μηδενικό αποτύπωμα άνθρακα. Τέτοια σημεία αφορούν αρχικά την κατασκευή τους, με αυτή να συμβαίνει σε εγκαταστάσεις με υψηλή ενεργειακή κατανάλωση και την μεταφορά τους προς εγκατάσταση, με την κατανάλωση καυσίμων (π.χ. πετρέλαιο) να συμβάλλει στις εκπομπές. [35]

4. Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας στα Θερμοκήπια

Τα θερμοκήπια είναι συστήματα τα οποία αποτελούν ένα πολύ σημαντικό εργαλείο για την επίτευξη μία γεωργικής παραγωγής, η οποία είναι πλήρως ελεγχόμενη, με τη δημιουργία ενός ευνοϊκού κλίματος για την εκάστοτε καλλιέργεια, να είναι ο κύριος στόχος. Με την έννοια του

ευνοϊκού κλίματος εννοούμε ουσιαστικά την δημιουργία συνθηκών διαφορετικών από αυτών του εξωτερικού περιβάλλοντος, που θα είναι κατάλληλες για την ανάπτυξη των λεγόμενων προϊόντων εκτός εποχής. [36] Δύο από τους πιο σημαντικούς παράγοντες για το μικροκλίμα του θερμοκηπίου, η θερμοκρασία και η υγρασία, απαιτούν μεγάλα ποσά ενέργειας, τα οποία πρέπει να διατεθούν να διατηρηθούν στις κατάλληλες τιμές για την κάθε είδους καλλιέργεια. Οι ποσότητες αυτής της ενέργειας, είτε υπό μορφή ηλεκτρικής, είτε υπό μορφή θερμότητας, παρουσιάζουν εξάρτηση από τρεις διαφορετικούς παράγοντες, πρώτον από το κλίμα της ευρύτερης περιοχής που είναι εγκατεστημένο το θερμοκήπιο, δεύτερον από το είδος του θερμοκηπίου (κατασκευή) και τρίτον από το είδος της καλλιέργειας.

Σε ένα θερμοκήπιο οι μεγαλύτερες ποσότητες ενέργειας που καταναλώνονται αφορούν την θέρμανση του χώρου τους. Προκειμένου να αποφευχθεί η χρήση ορυκτών καυσίμων για την παραγωγή ενέργειας, μέχρι τώρα τα είδη των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας που έχουν εκμεταλλευθεί για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών είναι η ηλιακή, η αιολική, η βιομάζα, καθώς και η γεωθερμική. Η επιλογή της εκάστοτε ανανεώσιμης πηγής εξαρτάται κατά κύριο λόγο από την τοποθεσία που είναι εγκατεστημένο το θερμοκήπιο, που καθορίζει ουσιαστικά και την διαθεσιμότητα της κάθε πηγής. Εντούτοις, εκτός από ενέργεια για την θέρμανση των θερμοκηπίων, ενέργεια απαιτείται και για άλλες λειτουργίες, όπως η ψύξη, ο φωτισμός και συνάμα η χρήση διαφόρων ηλεκτρικών συσκευών (π.χ. ανεμιστήρες, αντλίες άρδευσης κτλ.). Για την δεύτερη περίπτωση, όλες οι μορφές ανανεώσιμων πηγών θα μπορούσαν να εκμεταλλευτούν, καθώς από όλες είναι δυνατή η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

4.1 Η ηλιακή ενέργεια στα θερμοκήπια

Τα θερμοκήπια εξ' ορισμού λειτουργούν σαν ηλιακοί συλλέκτες, με την απορρόφηση και αποθήκευση της ενέργειας υπό μορφή ηλιακής ακτινοβολίας να είναι το βασικό τους χαρακτηριστικό. Ωστόσο, η εισερχόμενη ενέργεια κατά την διάρκεια της ημέρας, είναι δύσκολο να παραμείνει στο εσωτερικό σε ποσότητες ικανές για την διατήρηση της απαραίτητης για την καλλιέργεια θερμοκρασίας, ιδίως για ψυχρές και μεγάλης διάρκειας περιόδους με έλλειψη ηλιακής ακτινοβολίας, όπως οι νύχτες κατά την χειμερινή περίοδο. Παρ' όλα αυτά, υπάρχει η δυνατότητα με χρήση κατάλληλων συστημάτων, η ενέργεια που συγκεντρώνεται κατά την διάρκεια της ημέρας να αποθηκευτεί και να χρησιμοποιηθεί για την κάλυψη των αναγκών κατά την διάρκεια της νύχτας. Ο τρόπος με βάση τον οποίο γίνεται η δέσμευση, η μετατροπή και η αποθήκευση της ηλιακής ενέργειας διαχωρίζει τις συγκεκριμένες τεχνολογίες σε δύο επιμέρους κατηγορίες, αυτής των ενεργητικών, και αυτής των παθητικών τεχνικών.

Ενεργητικά συστήματα ηλιακής ενέργειας

Η βασική ιδέα πίσω από τα ενεργητικά συστήματα είναι η θέρμανση ενός ρευστού, με χρήση της ηλιακής ενέργειας και η μετέπειτα μεταφορά του στον χώρο του θερμοκηπίου προς θέρμανσή του. Η θερμότητα που μεταφέρεται μέσω του ρευστού έχει την δυνατότητα να αποθηκευτεί, έτσι ώστε να χρησιμεύσει για σε μελλοντικές περιόδους, όταν αυτή χρειαστεί. Το ρευστό που

χρησιμοποιείται για την μεταφορά της θερμότητας διαφέρει από σύστημα σε σύστημα, με αυτό να είναι είτε υγρό (π.χ. νερό), είτε αέρας. Τα πρώτα συστήματα κάνουν χρήση αντλιών για την διανομή, ενώ τα δεύτερα ανεμιστήρων. Τα ενεργητικά συστήματα έχουν αποτελέσει ένα πολύ σημαντικό εργαλείο για την να γίνει η ενεργειακή κατανάλωση στα θερμοκήπια πιο βιώσιμη. Οι τύποι των ενεργητικών ηλιακών συστημάτων διαφέρουν λόγω του υλικού συλλέκτη που χρησιμοποιούν για την συγκέντρωση της ηλιακής ακτινοβολίας.

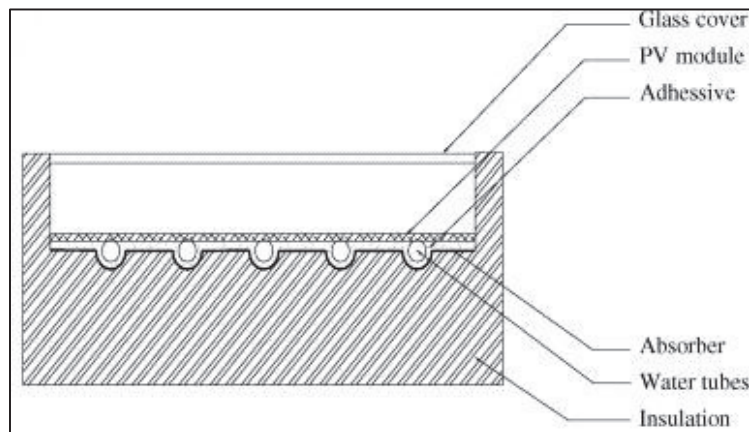
Οι πιο διαδεδομένοι ηλιακοί συλλέκτες είναι οι επίπεδοι, αυτοί με σωληνώσεις κενού, ενώ σημαντική εξέλιξη παρουσιάζουν και οι παραβολικοί συλλέκτες. Το υλικό από το οποίο αυτοί κατασκευάζονται διαφέρει, χωρίζοντας τους σε τέσσερις διαφορετικές κατηγορίες, τους μεταλλικούς, τους κεραμικούς, τους γυάλινους και τους πλαστικούς, ενώ μπορεί να εμφανίζονται είτε υπό μορφή πλάκας, είτε υπό μορφή σωλήνα. Οι μεταλλικοί συλλέκτες βρίσκονται στο εμπόριο κυρίως υπό μορφή πλάκας, ενώ η εγκατάστασή τους είναι σχετικά εύκολη με μικρό αρχικό κόστος. Η απόδοσή τους ωστόσο είναι σε σχέση με άλλες τεχνικές είναι χαμηλή, ενώ μπορεί να παρουσιάσει προβλήματα σε τοποθεσίες με χαμηλές θερμοκρασίες, όπου υπάρχει περίπτωση καταστροφής λόγω υπερβολικής ψύξης του νερού και μετατροπής του σε πάγο. Η θερμοκρασία εξόδου του ρευστού κυμαίνεται από 30 μέχρι 80°C. Η μορφή της πλάκας εκτός από επίπεδη, μπορεί να είναι είτε κυματοειδής, είτε τραπεζοειδής, με την απορρόφηση της ακτινοβολίας να διαφέρει για κάθε μορφή. Το μέσο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την μεταφορά θερμότητας είναι είτε νερό είτε αέριο, ενώ η διάρκεια που μπορούν χρησιμοποιηθούν κυμαίνεται μεταξύ 15 με 20 έτη. Συνεχίζοντας, μεγάλη εξέλιξη παρουσιάζουν οι συλλέκτες γυαλιού με την θερμοκρασία εξόδου τους να αγγίζει τους 100°C. Η πιο αποτελεσματική μορφή είναι αυτή του σωλήνα κενού. Στα θερμοκήπια έχουν χρησιμοποιηθεί διάφοροι τύποι γυάλινων συλλεκτών με τις εφαρμογές να είναι πολλές, όπως η θέρμανση ρευστών (υγρά – αέρια) και η ξήρανση. Η διάρκεια ζωής τους είναι ίδια με αυτή των μεταλλικών πλακών. Για την μείωση του κόστους των συλλεκτών και την αύξηση του χρόνου ζωής τους κατασκευάστηκαν μαύροι κεραμικοί συλλέκτες βαναδίου-τιτανίου. Οι συγκεκριμένοι συλλέκτες παρουσιάζουν πολύ υψηλή απορροφητικότητα της τάξης του 93 με 97%, ενώ η διάρκεια ζωής του εκτιμάται ότι ξεπερνάει τα 100 χρόνια. Οι συγκεκριμένοι συλλέκτες έχουν πολύ χαμηλό κόστος με αυτό να είναι σχεδόν στο 1/20 της αξίας των κλασικών συλλεκτών. Μεγάλα πλεονεκτήματα των συγκεκριμένων συλλεκτών αποτελούν οι πολλές μορφές που μπορούν να κατασκευαστούν (πλάκες κυματοειδούς μορφής, κουτιά ή σωλήνες), αλλά και το γεγονός ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μία πλήρη εγκατάσταση, καθώς περιλαμβάνουν τόσο το δομικό, το αδιάβροχο και το μονωτικό στρώμα, που απαιτεί ένα θερμοκήπιο. Τέλος, έχουν κατασκευαστεί οι πλαστικοί συλλέκτες, σε μορφή παραβολικής πλάκας. Πιο συγκεκριμένα το υλικό κατασκευής είναι το πολυπροπυλένιο, ενώ το πάχος τους είναι ίσο με περίπου 1cm. Ο απορροφητής του συλλέκτη βρίσκεται μεταξύ μιας διαφανούς πλάκας ενός εκατοστού και μία μονωτικής επίστρωσης πάχους πέντε εκατοστών. Η απόδοσή των συγκεκριμένων συλλεκτών είναι περίπου 70%. [37]

Πίνακας 4: Σύγκριση διαφορετικών υλικών κατασκευής ηλιακών συλλεκτών

Υλικό	Μορφή	Απόδοση	Διάρκεια ζωής
Μέταλλο	Πλάκα	65 – 80 %	15 – 20 έτη
Γυαλί	Σωλήνας	20 – 89 %	15 – 20 έτη
Κεραμικό	Πλάκα	39 – 65 %	>100 έτη
Πλαστικό	Πλάκα	69 %	-

Μία ακόμα κατηγορία συλλεκτών είναι οι υβριδικοί φωτοβολταϊκοί/θερμικοί συλλέκτες (Photovoltaic/Thermal – PV/T). Τα συστήματα αυτά έχουν την δυνατότητα της σύγχρονης μετατροπής της ενέργειας από ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρική και θερμική ενέργεια. Ένας τέτοιος συλλέκτης εκτιμάται ότι μπορεί να έχει μία μέγιστη απόδοση σε παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε ένα εύρος μεταξύ 5-20%.

Τα στοιχεία που αποτελούν έναν τέτοιου είδους συλλέκτη είναι: (α) ένα κάλυμμα από γυαλί (glass cover) για την προστασία των φωτοβολταϊκών κυψελίδων, αλλά και για την μείωση των απωλειών θερμότητας στο περιβάλλον, (β) η φωτοβολταϊκή μονάδα (PV module) για την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας και μετατροπή της σε ηλεκτρικό ρεύμα, (γ) τον απορροφητή (absorber), ο οποίος απορροφά την παραγόμενη θερμότητα μεταφέροντας την μέσω σωλήνων στο θερμοκήπιο για σκοπούς θέρμανσης χαμηλής θερμοκρασίας, αλλά ταυτόχρονα ψύχει τις φωτοβολταϊκές κυψελίδες διατηρώντας την ενεργειακή τους απόδοση, (δ) μία περιοχή που περιέχει κόλλα από πυρίτιο (adhesive), η οποία έχει την δυνατότητα να μεταφέρει εύκολα την θερμότητα στον απορροφητή λόγω της υψηλής θερμικής της αγωγιμότητας, και την σταθερότητά της σε ένα μεγάλο εύρος θερμοκρασιών, (ε) τις σωληνώσεις μέσα στις οποίες ρέει και θερμαίνεται το ρευστό, και τέλος (στ) μία αρκετά μεγάλη επιφάνεια μόνωσης (insulation) για την αποφυγή διαρροών θερμότητας προς το περιβάλλον. Όλα τα παραπάνω παρουσιάζονται γραφικά στην Εικόνα 14.



Εικόνα 14: Διατομή υβριδικού φωτοβολταϊκού/θερμικού ηλιακού συλλέκτη [Πηγή: 38]

Αν και ένας φωτοβολταϊκός και ένα θερμικός ηλιακός συλλέκτης παρουσιάζουν υψηλότερη απόδοση ως προς την παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας, αντίστοιχα, όταν

λειτουργούν ξεχωριστά, η ενέργεια που παράγεται ανά μονάδα επιφανείας είναι περισσότερη για την περίπτωση του υβριδικού συστήματος. Συνεπώς, σε περιπτώσεις όπως τα θερμοκήπια που η διαθεσιμότητα σε γη αποτελεί ένα κρίσιμο ζήτημα, η προσθήκη τέτοιων υβριδικών συστημάτων μπορεί να αποτελέσει σημαντικό εργαλείο, τόσο ως προς το ενεργειακό κομμάτι, όσο και ως προς την εξοικονόμηση χώρου. [38]

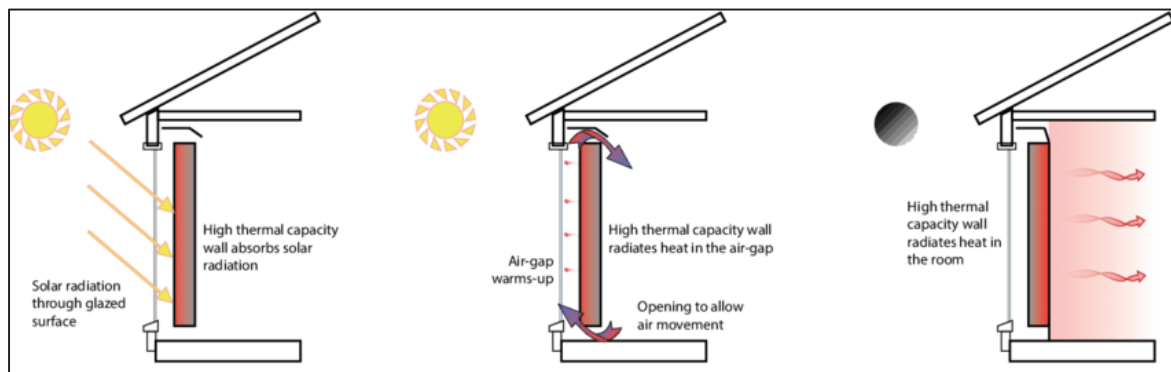
Παθητικά συστήματα ηλιακής ενέργειας

Τα παθητικά συστήματα ηλιακής ενέργειας παρουσιάζουν υψηλή αποτελεσματικότητα όσον αφορά την θέρμανση του θερμοκηπίου, ενώ είναι από τα πιο οικονομικά καθώς βάσει αυτών εκμεταλλεύεται σε μεγάλο βαθμό το ίδιο τον σχεδιασμό του θερμοκηπίου. Συνεπώς, η επιπλέον ενέργεια είναι είτε πλήρως είτε μερικώς αχρείαστη, ενώ συγχρόνως το κόστος για συμπληρωματικό εξοπλισμό είναι επίσης μειωμένο. Εκτός από την θέρμανση του χώρου του θερμοκηπίου, τα συγκεκριμένα συστήματα έχουν την δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν και για την ψύξη του. Τα βασικά στοιχεία τους αφορούν κυρίως την κατασκευή του θερμοκηπίου, τόσο ως προς τον προσανατολισμό, όσο και ως προς τα υλικά τα οποία χρησιμοποιούνται για την κατασκευή του.

Από πλευράς προσανατολισμού, ο ιδανικός τρόπος τοποθέτησης του θερμοκηπίου είναι οι υαλοπίνακες της μεγάλης πλευράς του να βλέπουν προς τον Νότο. Η απόδοση με αυτόν τον τρόπο μεγιστοποιείται. Ωστόσο, ακόμη και αν η πλευρά αυτή παρουσιάζει απόκλιση περίπου 30 μοιρών από τον πραγματικό νότο (true south), η μείωση στην απόδοση δεν θα είναι μεγάλη, με τα περισσότερα από τα οφέλη του ήλιου να διατηρούνται σε μεγάλο βαθμό. [39] Σημαντική ταυτόχρονα είναι η επιλογή του υλικού κάλυψης που θα χρησιμοποιηθεί. Το υλικό που παρουσιάζει ευρεία διάδοση και χρήση είναι αυτό του πλαστικού. Τα οφέλη που παρουσιάζει είναι μεγάλα ιδιαίτερα όταν έχει επικαλυφθεί με υλικά που υποβαθμίζουν την επίδραση της υπεριώδους ακτινοβολίας πάνω τους, αυξάνοντας την ανθεκτικότητά τους. Παράλληλα, διενεργούνται διεργασίες που μειώνουν την διαπερατότητα του υλικού στην υπέρυθη ακτινοβολία (IR), δυσκολεύουν την συμπύκνωση των σταγόνων στην επιφάνειά τους και αναδεικνύουν τις ιδιότητες με βάση τις οποίες η ακτινοβολία διαδίδεται. Ωστόσο, όσον αφορά τα υλικά κατασκευής, πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη βαρύτητα σε υλικά τα οποία έχουν την δυνατότητα τοποθέτησης σε ήδη εγκατεστημένα θερμοκήπια. Τέτοιο παράδειγμα αποτελεί ο τοίχος Trombe. Ο τοίχος Trombe αποτελείται από υλικά με έντονη απορροφητικότητα της θερμότητας, ενώ αφού την αποθηκεύσει μπορεί να την αποδώσει όταν αυτό καταστεί αναγκαίο. [40]

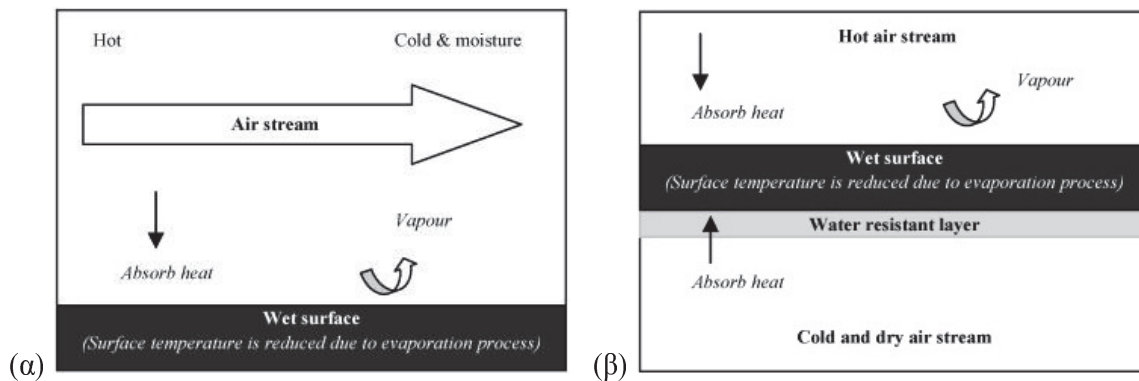
Συστήματα όπως ο τοίχος Trombe, απορροφούν σε μεγάλο βαθμό την ακτινοβολία που διαπερνά το κάλυμμα του θερμοκηπίου. Η θερμική ενέργεια αυτή αποθηκεύεται εντός του τοίχου και θερμαίνει ένα κενό μεταξύ του καλύμματος και του τοίχου. Ο θερμός αέρας πλέον στο κενό αυτό μεταφέρεται εντός του χώρου του θερμοκηπίου, καθώς ο ψυχρός αέρας όντας πιο βαρύνει εισέρχεται στο κενό από το κάτω μέρος του τοίχου, εκμεταλλευόμενος την διαφορά πίεσης. Εκτός

της ροής αυτής, η θερμότητα που έχει αποθηκευτεί στον τοίχο έχει την δυνατότητα να εισέρχεται στο θερμοκήπιο λόγω διαφοράς θερμοκρασίας και να το θερμαίνει. [41]



Εικόνα 15: Λειτουργία του τοίχου Trombe για θέρμανση του θερμοκηπίου [Πηγή: 41]

Από πλευράς ψύξης, τα παθητικά συστήματα ηλιακής ενέργειας παρουσιάζουν και εδώ σημαντική συνεισφορά. Μία πολύ διαδεδομένη τεχνική ψύξης του θερμοκηπίου είναι αυτή που χρησιμοποιεί την φυσική διεργασία της εξάτμισης. Για την εξάτμιση μίας ποσότητας νερού απαιτείται ενέργεια, η οποία συλλαμβάνεται από τον χώρο του θερμοκηπίου για την μετατροπή του νερού από υγρό σε αέριο (ενδόθερμη αντίδραση). Η λήψη της απαραίτητης αυτής θερμότητας από τον περιβάλλοντα χώρο έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της θερμοκρασίας και συνεπώς την ψύξη του χώρου. Η παθητική ψύξη μέσω εξάτμισης ενός θερμοκηπίου μπορεί να διακριθεί μεταξύ άμεσης και έμμεσης. Κατά την άμεση ψύξη μέσω εξάτμισης, στον χώρο του θερμοκηπίου απελευθερώνεται νερό με υψηλή πίεση προς δημιουργία μικρού μεγέθους σταγόνων. Η αισθητή θερμότητα συλλαμβάνεται από τις σταγόνες αυτές, προς παραγωγή λανθάνουσας θερμότητας. Το είδος αυτό της θερμότητας διασκορπίζεται εντός του θερμοκηπίου, αυξάνοντας την υγρασία του και κατά συνέπεια μειώνοντας την θερμοκρασία του. Για την έμμεση ψύξη μέσω εξάτμισης, καθοριστική είναι η τοποθέτηση ενός βρεχόμενου από την μία πλευρά τοιχώματος. Καθώς ο αέρας εισέρχεται στην υγρή πλευρά και εξέρχεται από την ξηρή, απορροφάται η θερμότητα της ξηρής πλευράς προς εξάτμιση του νερού της υγρής, με αποτέλεσμα την μείωση της θερμοκρασίας του. Το ρεύμα του αέρα που εισέρχεται στον χώρο του θερμοκηπίου δεν περιέχει επιπλέον υγρασία, ενώ ωφελεί την ψύξη λόγω μειωμένης θερμοκρασίας. [42]



Εικόνα 16: (α) Αμεση και (β) έμμεση ψύξη μέσω εξάτμισης (Πηγή: [42])

4.2 Η αιολική ενέργεια στα θερμοκήπια

Η χρήση της αιολικής ενέργειας στα θερμοκήπια παρουσιάζει κυρίως όφελος σχετικά με το κόστος της καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας για την λειτουργία των διαφόρων συστημάτων, όπως ο δυναμικός εξαερισμός ή ο τεχνητός φωτισμός. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανεμογεννήτριες μπορεί να καλύψει σε μεγάλο βαθμό τις ανάγκες του θερμοκηπίου σε ενέργεια, αρκεί το αιολικό δυναμικό της περιοχής που είναι εγκατεστημένες να είναι επαρκές, με αποτέλεσμα περιοχές μεγάλου υψομέτρου ή παράκτιες περιοχές να παρουσιάζουν το μεγαλύτερο ενδιαφέρον. Λόγω της υψηλής ενεργειακής κατανάλωσης των θερμοκηπίων, οι κάτοχοί τους είναι υποχρεωμένοι να καλύπτουν ένα υψηλό κόστος παραγωγής. Συνεπώς, η παροχή δωρεάν ηλεκτρικής ενέργειας παραγόμενης από ανεμογεννήτριες έχει την δυνατότητα να μειώσει σε μεγάλο βαθμό το κόστος του παραγόμενου προϊόντος, στο οποίο περιλαμβάνεται η καταναλισκόμενη ενέργεια που παρέχεται από το δημόσιο δίκτυο ηλεκτροδότησης και χρησιμεύει για την λειτουργία του εξοπλισμού. Παράλληλα, η χρήση ανεμογεννητριών μπορεί να ωφελήσει θερμοκηπιακές εγκαταστάσεις σε απομακρυσμένες περιοχές, όπου το δημόσιο ηλεκτρικό δίκτυο είναι αδύνατον να παρέχει ηλεκτρική ενέργεια.

4.3 Η γεωθερμική ενέργεια στα θερμοκήπια

Οι αντλίες θερμότητας που χρησιμοποιούνται για την εκμετάλλευση της γεωθερμίας έχουν την δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν, τόσο για θέρμανση, όσο και για ψύξη στα θερμοκήπια. Όπως αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 3 της εργασίας, η πιο συνήθης τακτική εκμετάλλευσης της γεωθερμικής ενέργειας είναι με χρήση του νερού που εκλύεται από το εσωτερικό της Γης και έχει μία αρκετά υψηλή θερμοκρασία. Ωστόσο, η απευθείας χρήση του νερού αυτού μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα στα συστήματα που διανέμουν την θερμότητα εντός του θερμοκηπίου, λόγω της μεγάλης περιεκτικότητας του νερού σε άλατα. Η αλατότητα του γεωθερμικού ρευστού είναι υψηλή λόγω της απορρόφησης αλάτων κατά την διαδρομή του ανάμεσα στα πετρώματα του υπεδάφους. Για την μετάβαση της θερμότητας από το γεωθερμικό ρευστό στο σχετικά πιο καθαρό νερό που κυκλοφορεί στο σύστημα θέρμανσης του θερμοκηπίου είναι αναγκαία η ύπαρξη μεταλλακτών από φτιαγμένων από μέταλλα υψηλής ποιότητας όπως το τιτάνιο, τα οποία να μην

υπόκεινται σε διάβρωση λόγω των αλάτων. Εκτός από το πρόβλημα της διάβρωσης που προκαλούν τα γεωθερμικά ρευστά στις σωληνώσεις, σημαντικό είναι το πρόβλημα του φραγμού των σωληνώσεων, λόγω καθίζησης των αλάτων στα τοιχώματα, εξαιτίας της μείωσης της θερμοκρασίας. Μία αξιόπιστη λύση και φθηνή λύση για την μεταφορά την θερμότητας με γεωθερμικά ρευστά είναι η χρήση πλαστικών σωληνώσεων, για τους οποίους υπάρχει η δυνατότητα αντικατάστασής τους εντός ενός χρονικού διαστήματος μερικών ετών. Εκτός από την θέρμανση του θερμοκηπίου είναι σημαντικό να είναι διαθέσιμες στο θερμοκήπιο κατασκευές, για την μετατροπή του γεωθερμικού νερού, σε νερό καλύτερης ποιότητας το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την άρδευση της θερμοκηπιακής καλλιέργειας.



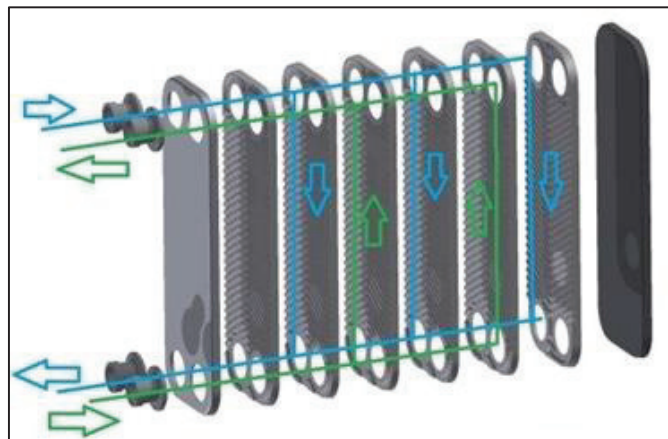
Εικόνα 17: Πολλαπλές σωληνώσεις από πλαστικό για μεταφορά του γεωθερμικού νερού (Πηγή: [44])



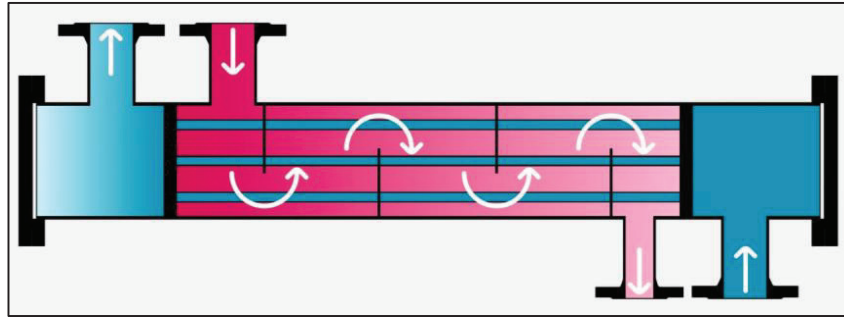
Εικόνα 18: Σύστημα θέρμανσης και απόσταξης προς παραγωγή νερού καλής ποιότητας (Πηγή: [44])

Ανάλογα με την ποιότητα του νερού που προέρχεται μέσω γεωθερμίας, δηλαδή με το μέγεθος της διάβρωσης που προκαλεί, τα συστήματα εκμετάλλευσής της διαφέρουν και χωρίζονται σε δύο κατηγορίες. Από την μία υπάρχουν τα συστήματα που κάνουν άμεση χρήση του νερού αυτού μέσω

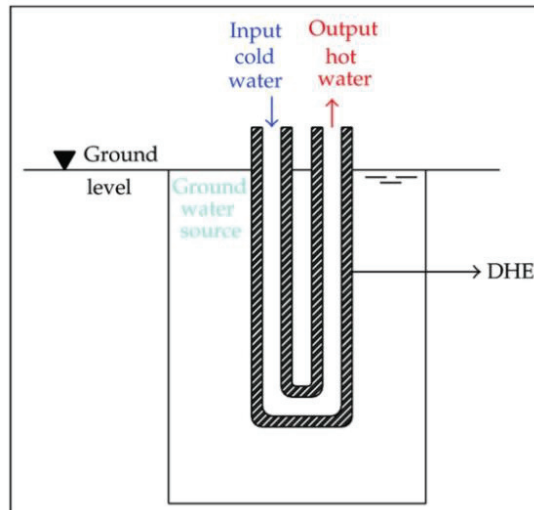
του υπάρχοντος συστήματος θέρμανσης. Μία τέτοιας μορφής εγκατάσταση μπορεί να διαχωριστεί σε τέσσερα διαφορετικά τμήματα. Αρχικά βρίσκουμε το τμήμα γεώτρησης αποτελούμενο από τον εξοπλισμό που θα χρησιμοποιηθεί για να έρθουμε σε επαφή με το γεωθερμικό νερό, ακολουθεί το τμήμα μεταφοράς, μέσω του οποίου το νερό θα εξαχθεί από το υπέδαφος για να μπορέσει να γίνει η χρήση του (περιλαμβάνονται σωληνώσεις για την μεταφορά του νερού, καθώς και αντλίες προώθησης). Αφού το νερό εξαχθεί, έχουμε το τμήμα χρήσης, στο οποίο περιλαμβάνεται όλος ο εξοπλισμός βάσει του οποίου η θερμότητα θα μεταφερθεί στο θερμοκήπιο και τέλος, υπάρχει το τμήμα απόρριψης, όπου το νερό αφού έχει αποβάλλει όλη την διαθέσιμη θερμότητα απορρίπτεται αν είναι δυνατόν, ή επανέρχεται στο εσωτερικό της Γης. Εάν το νερό περιλαμβάνει πολλά άλατα και θεωρείται ότι μπορεί να δημιουργήσει μεγάλη διάβρωση τότε γίνεται προσπάθεια για να αποφευχθεί η επαφή του με τα δύο βασικά τμήματα της εγκατάστασης, αυτό του τμήματος μεταφοράς και του τμήματος χρήσης, με σκοπό την ελαχιστοποίηση της ζημιάς στο σύστημα. Για τον λόγο αυτό είναι απαραίτητο να τοποθετηθεί μετά το τμήμα γεώτρησης ένας μεταλλάκτης θερμότητας. Ο μεταλλάκτης θερμότητας δέχεται το γεωθερμικό νερό, απορροφάει την διαθέσιμη θερμική ενέργειά του και την μεταδίδει σε ξεχωριστό, καλής ποιότητας νερό. Στα τμήματα μεταφοράς και χρήσης συνεπώς, δεν ρέει το διαβρωτικό νερό απευθείας από την γεώτρηση, αλλά το δευτερεύον το οποίο έχει θερμανθεί μεταφέροντας την θερμική ενέργεια στον χώρο του θερμοκηπίου. Οι μεταλλάκτες που χρησιμοποιούνται στα συγκεκριμένα διαφέρουν και μπορούν να διαχωριστούν σε τρεις επιμέρους κατηγορίες, τους μεταλλάκτες με χρήση πλακών (Plate-Heat Exchangers) (Εικόνα 19), τους μεταλλάκτες με χρήση σωληνώσεως και κελύφους (Shell and Tube Heat Exchangers) (Εικόνα 20), και τους μεταλλάκτες που τοποθετούνται στον πυθμένα της γεώτρησης (DHE Downhole Heat Exchangers) (Εικόνα 21). [44]



Εικόνα 19: Μεταλλάκτης με χρήση πλακών (Πηγή: Plate Heat Exchanger Working Principle, How a Plate Heat Exchanger (onda-it.com))



Εικόνα 20: Μεταλλάκτης με χρήση σωλήνα και κελύφους (Πηγή: Shell and Tube Heat Exchanger - IGEFA WEINBRENNER Energy Solutions GmbH (igefa-weinbrenner.com))



Εικόνα 21: Μεταλλάκτης στον πυθμένα της γεώτρησης (Πηγή: [45])

4.4 Η βιομάζα στα θερμοκήπια

Στα θερμοκήπια, και γενικότερα στον αγροτικό τομέα, ένα μεγάλο μέρος των υπολειμμάτων και των αποβλήτων απομακρύνεται χωρίς καμία εκμετάλλευση. Αυτό συνεπάγεται με την μη εκμετάλλευση διαθέσιμης ενέργειας, που θα μπορούσε να αποτελέσει σημαντικό εργαλείο για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του θερμοκηπίου, την οικονομία σε μη ανανεώσιμους πόρους και την μείωση του κόστους παραγωγής. Η ανάπτυξη της τεχνολογίας πάνω στην εκμετάλλευση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας σχετικά με τον τομέα των θερμοκηπιακών συστημάτων, έχει εξάγει τρόπους με τους οποίους η αποβληθείσα βιομάζα θα μπορούσε να αξιοποιηθεί. Οι μέθοδοι αξιοποίησης της βιομάζας μπορούν να διακριθούν σε δύο επιμέρους κατηγορίες, την εκμετάλλευσή της με άμεση καύση και την εκμετάλλευσή της με αεριοποίηση αυτής.

Άμεση καύση βιομάζας

Η άμεση καύση της φυτικής βιομάζας, δηλαδή οργανικής ύλης από υπολείμματα φυτών, αποτελεί την πιο συνήθη μέθοδο για την εκμετάλλευση της διαθέσιμης ενέργειας εμπεριέχεται. Αφού αρχικά αφαιρεθεί ένα μεγάλο μέρος υγρασία από την βιομάζα (ξήρανση), ενδεικτικά η τέλεια καύση ενός κιλού αυτής με ένα ποσοστό υγρασίας περίπου 10% έχει την δυνατότητα να προσφέρει 16300 kJ ενέργειας και να απομείνουν 0,05 kg στάχτης. Για την καύση οποιουδήποτε υλικού απαιτείται οξυγόνο (αέρας), με την συγκεκριμένη περίπτωση να απαιτεί περίπου 4 kg.

Ωστόσο, η κάθε περίπτωση κατά την οποία γίνεται εκμετάλλευση της βιομάζας, κυρίως για θέρμανση ενός θερμοκηπίου διαφέρει, καθώς η χρήση της βιομάζας παρουσιάζει εξάρτηση από το κόστος της, την συλλογή, μεταφορά, μεταποίηση και αποθήκευσή της, τον τρόπο με τον οποίο απομακρύνεται η εναπομείνουσα στάχτη, καθώς και την συντήρηση των συστημάτων που χρησιμοποιούνται (καυστήρα και λέβητας). Παράλληλα, σημαντικό μειονέκτημα της καύσης της βιομάζας αποτελεί η έκλυση σωματιδίων στην ατμόσφαιρα, καθώς και αερίων που μπορούν να αποτελέσουν σημαντικό πρόβλημα για το περιβάλλον. [44]

Οι λέβητες που χρησιμοποιούνται για την καύση της βιομάζας, διαχωρίζονται δύο κατηγορίες ανάλογα με τον τρόπο που γίνεται η τροφοδοσία τους, του λέβητες με χειροκίνητη τροφοδοσία και τους λέβητες με αυτόματη. Οι λέβητες αυτοί διαφέρουν όχι μόνο ως προς τον τρόπο με τον οποίο προστίθεται η βιομάζα, αλλά και ως προς την ποικιλία της βιομάζας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Οι μεν της πρώτης κατηγορίας χρησιμοποιούν κυρίως ξύλο και απορρίμματα αυτού, σε αντίθεση με αυτούς της δεύτερης κατηγορίας που μπορούν να χρησιμοποιήσουν ξύλο σε κάθε μορφή (πριονίδι, σφαιρίδια), γρασίδι ή υπολείμματα καλαμποκιού, πέλλετ από χαρτί ή και διάφορα δημητριακά (π.χ. σίκαλη).



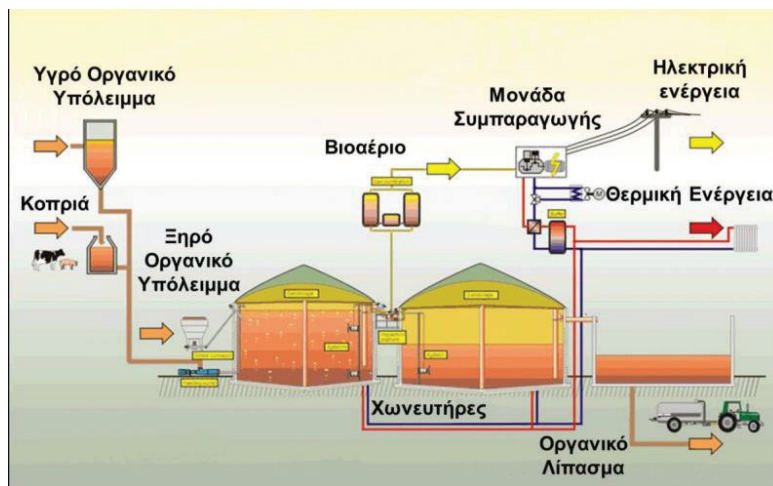
Εικόνα 22: (α) Λέβητας στερεών καυσίμων χειροκίνητης τροφοδοσίας (Πηγή: Λέβητας βιομάζας BIOWOOD XL (40-1.000.000 kcal/h) - ThermoStahl Energy) (β) Λέβητας πολλαπλής καύσης αυτόματης τροφοδοσίας (Πηγή: Λέβητας Βιομάζας Πολλαπλής Καύσης ECOBIO ECB30 (tehnothermiki.gr))

Αεριοποίηση βιομάζας

Για την μείωση των εκπεμπόμενων σωματιδίων και αερίων, η αεριοποίηση της βιομάζας πριν επέλθει η καύση αυτής μπορεί να αποτελέσει μία σημαντική μέθοδο. Οι κύριες μέθοδοι στις οποίες χωρίζεται η αεριοποίηση της βιομάζας είναι η θερμοχημική και η βιοχημική, με την κάθε μία να παρουσιάζει ένα ευρύ πλήθος τεχνικών.

Η θερμοχημική μέθοδος περιλαμβάνει την μερική οξείδωση της βιομάζας, με την μετατροπή της στερεάς μορφή σε αέριο. Κατά την μέθοδο αυτή η βιομάζα ζεσταίνεται σε μεγάλες θερμοκρασίες, με την βοήθεια αέρα, ή στην καλύτερη περίπτωση καθαρού οξυγόνου. Πιο συγκεκριμένα, η διαδικασία ξεκινά με την θέρμανση στους περίπου 100°C με σκοπό την αφαίρεση της περιεχόμενης υγρασίας μέσω εξάτμισης, ακολουθεί η πυρόλυση αυτής στους περίπου 300°C, όπου σε αυτό το σημείο η βιομάζας αποβάλλει γύρω στο 70% της μάζας της προς δημιουργία ανθρακούχων προϊόντων. Τα μη χρήσιμα προϊόντα που παράγονται παραμένουν σε στερεή μορφή (στάχτη). Μετά από την πυρόλυση της βιομάζας σειρά παίρνει η καύση στους περίπου 1400°C, όπου τα ανθρακούχα προϊόντα οξειδώνονται, ενώ ένα ποσοστό των υπόλοιπων προϊόντων καίγεται. Την διαδικασία κλείνει η αεριοποίηση στους περίπου 1000°C, όπου τα ανθρακούχα προϊόντα με χρήση ενός κατάλληλου στοιχείου αεριοποίησης αντιδρά προς παραγωγή του τελικού αέριου καυσίμου. [46]

Η βιοχημική μέθοδος από την άλλη περιλαμβάνει την χρήση μικροοργανισμών για την μεταποίηση της βιομάζας σε αέρια, όπως το μεθάνιο και το διοξείδιο του άνθρακα. Οι κατηγορίες που περιλαμβάνονται στην συγκεκριμένη μέθοδο αφορούν την παραγωγή βιοαερίου μέσω αναερόβιας ζύμωσης της μη ξηρής φυτικής βιομάζας, και την παραγωγή μέσω αναερόβιας ζύμωσης αποβλήτων του τομέα της κτηνοτροφίας. Η παραγωγή με βάση την πρώτη κατηγορία παρουσιάζει αποδοτικότητα των αντίστοιχων συστημάτων που φτάνει τα 800 λίτρα βιοαέριο ανά κιλό βιομάζας και εξαρτάται, τόσο από την μέθοδο, όσο και από την πρώτη ύλη. Η παραγωγή βιοαερίου από κτηνοτροφικά απόβλητα παρουσιάζει επίσης ευρεία διάδοση, με τον τύπο των διαφόρων συστημάτων παραγωγής να παρουσιάζει εξάρτηση, τόσο από το είδος των υπολειμμάτων (υγρά ή στερεά), όσο και των ζώων. Τα συστήματα παραγωγής διαφέρουν μεταξύ τους κυρίως στον τρόπο με τον οποίο γίνεται η επεξεργασία των υπολειμμάτων, έτσι ώστε πραγματοποιηθεί η ομοιομορφία των αποβλήτων, η απομάκρυνση μεγάλων στερεών στοιχείων και η απαιτούμενη θερμοκρασία για την ζύμωση. Η αξιολόγηση του παραγόμενου προϊόντος γίνεται βάσει της περιεκτικότητας του μεθανίου στο βιοαέριο, ενώ σημαντικό πρόβλημα και εμπόδιο για την εκμετάλλευση της μεθόδου αυτής στα θερμοκήπια αποτελεί η αποθήκευση του βιοαερίου, λόγω του υψηλού κόστους. [44]



Εικόνα 23: Γραφικής αναπαράσταση της διαδικασίας παραγωγής βιοαερίου (Πηγή: Διαδικασία παραγωγής του βιοαερίου | Agroenergy.gr)

4.5 Προϋποθέσεις εφαρμογής των Α.Π.Ε.

Η εκμετάλλευση της ενέργειας στα θερμοκήπια από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας για να είναι αποδοτική και να καλύπτονται όλες οι ενεργειακές ανάγκες του θερμοκηπίου απαιτεί να υπάρχουν κάποιες συγκεκριμένες προϋποθέσεις. Ίσως από τα πιο σημαντικά σημεία που θα πρέπει να δοθεί προσοχή πριν την εκμετάλλευση μια ανανεώσιμης πηγής είναι το μέγεθος της παραγόμενης ενέργειας. Καθώς ένα τέτοιο σύστημα απαιτεί ένα υψηλό κεφάλαιο αρχικής εγκατάστασης, αλλά χαμηλό κόστος για την λειτουργία του, είναι σαφές πως πρέπει να ληφθεί υπόψη από προηγούμενο χρόνο ότι η ισχύς των συστημάτων αυτών πρέπει να είναι αρκετά μεγάλη ώστε να μπορούν να καλυφθούν οι ανάγκες για παράδειγμα της θέρμανσης ενός θερμοκηπίου, όπου και χρειάζεται υψηλή κατανάλωση ενέργειας για περιορισμένο χρόνο. Η χρήση, παράλληλα, ενός συστήματος ανανεώσιμων πηγών, δεν πρέπει να θέτει τον κάτοχο του θερμοκηπίου σε εφησυχασμό, αλλά είναι απαραίτητο η χρήση του να συνδυάζεται και άλλους τρόπους, με τους οποίους μπορεί να μειωθεί η κατανάλωση ενέργειας, ώστε η απαιτούμενη ισχύς του συστήματος να είναι μικρότερης και κατά συνέπεια το κόστος του.

Συγχρόνως, εκτός του βασικού στόχου της εξοικονόμησης ενέργειας, στόχος θα πρέπει να είναι και η πιο σωστή και καλή εκμετάλλευσή της. Σε αυτό σημαντική βοήθεια προσφέρει η μελέτη της κατάστασης του θερμοκηπίου και η διαχείριση των διαφόρων μικροκλιματικών παραμέτρων του, όπως η θερμοκρασία, σύμφωνα με τις απαιτήσεις της εκάστοτε καλλιέργειας. Σύμφωνα με έρευνες έχει διαπιστωθεί πως η θερμοκρασία στον χώρο ενός θερμοκηπίου κατά την διάρκεια της νύχτας μπορεί να μεταβάλλεται εντός ενός εύρους τιμών και να μην παραμένει σταθερή, με την προϋπόθεση ότι η μέση τιμή ενός διαστήματος περίπου μίας εβδομάδας θα είναι ίση με την βέλτιστη τιμή για την καλλιέργεια με αυτή. Βάσει αυτού του συμπεράσματος δίνεται η δυνατότητα, καλύτερης αξιοποίησης της ενέργειας, ιδίως όταν αυτή προέρχεται από την ηλιακή ακτινοβολία. Για παράδειγμα, σε περιπτώσεις όπου η νύχτα ακολουθεί μία νεφελώδη ημέρα, (δηλαδή προκύπτει μικρή παραγωγή ηλιακής ενέργειας) η θερμοκρασία μπορεί να λαμβάνει τιμές μικρότερες, αλλά κοντινές στην μέση τιμή, ενώ όταν έχει προηγηθεί ημέρα με υψηλές τιμές

ηλιακής ακτινοβολίας (δηλαδή προκύπτει μεγάλη παραγωγή ηλιακής ενέργειας), η θερμοκρασία μπορεί αντίστοιχα να λαμβάνει τιμές μεγαλύτερες της μέσης τιμής, χωρίς να υπάρχει κίνδυνος για την παραγωγή.

Τέλος, κατά την εγκατάσταση ενός συστήματος ανανεώσιμων πηγών θα πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στον σχεδιασμό και την θέση της εγκατάστασης. Λόγω του ότι τα συστήματα αυτά τοποθετούνται με γνώμονα την μείωση του κόστους παραγωγής, συνεπώς θα πρέπει να γίνει μία σύγκριση μεταξύ του κόστους εγκατάστασης και συντήρησης με το εν δυνάμει κέρδος, με σκοπό την απόφαση για το αν όντως το σύστημα αυτό αξίζει να τοποθετηθεί. Παράλληλα, έχοντας υπόψη την μείωση του κόστους όσο το δυνατόν περισσότερο, θα πρέπει οι κατασκευές να είναι όσο το δυνατόν πιο απλές και οικονομικές. Όσον αφορά την θέση της εγκατάστασης, αυτή πρέπει να είναι πλησίον του θερμοκηπίου, με σκοπό την μείωση των απωλειών που μπορεί να προκύψουν κατά την μεταφορά της ενέργειας, ενώ ταυτόχρονα θα μειωθούν και οι ανάγκες για επιπλέον μονώσεις. Ακόμη, θα πρέπει το σύστημα να καταλαμβάνει όσο το δυνατόν μικρότερο χώρο, καθώς έτσι μειώνεται η ανάγκη για περισσότερη γη, με την τιμή της τελευταίας να είναι αρκετά υψηλή. Τρόποι για την επίλυση του ζητήματος αυτού είναι για παράδειγμα η προσθήκη φωτοβολταϊκών μονάδων στην οροφή των θερμοκηπίων, ή η αποθήκευση ενέργειας κάτω από το έδαφος του θερμοκηπίου. [44]

5. Συμπεράσματα

Τα θερμοκήπια είναι εγκαταστάσεις που έχουν την δυνατότητα να δημιουργούν τις απαιτούμενες για κάθε καλλιέργεια συνθήκες, με στόχο την βέλτιστη ποσοτικά, αλλά και ποιοτικά παραγωγή. Η κατανάλωση ενέργειας, ωστόσο, για την διατήρηση των επιθυμητών συνθηκών μέσω συστημάτων θέρμανσης, ψύξης, φωτισμού κ.ά., είναι ιδιαίτερα υψηλή αγγίζοντας το 90% της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης του θερμοκηπίου. Το γεγονός αυτό έχει ως αποτέλεσμα το ενεργειακό κομμάτι να καθίσταται περιοριστικός παράγοντας για την περαιτέρω διάδοση των θερμοκηπιακών συστημάτων.

Η απαιτούμενη για το θερμοκήπιο ενέργεια προέρχεται κατά κύριο λόγο από συμβατικές πηγές ενέργειας, όπως τα ορυκτά καύσιμα. Μεγάλο μέρος της ενέργειας αυτής καταναλώνεται για την θέρμανση των θερμοκηπίων. Τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται για την διαδικασία αυτή μπορούν να διαχωριστούν σε τρεις διαφορετικές κατηγορίες ανάλογα με την φυσική τους υπόσταση, σε στερεά (π.χ. γεάνθρακας ή ξύλο), υγρά (π.χ. πετρέλαιο ή μαζούτ) και αέρια (π.χ. φυσικό αέριο ή υγραέριο). Κάθε καύσιμο από αυτά παρουσιάζει διαφορετική απόδοση ως προς την θέρμανση του θερμοκηπίου, με το πιο διαδεδομένο να είναι το φυσικό αέριο. Παράλληλα, κάθε καύσιμο από αυτά απαιτεί και διαφορετικό σύστημα θέρμανσης, με τις μεγαλύτερες διαφορές να παρουσιάζονται στο είδος του καυστήρα, όπου θα γίνει η καύση του εκάστοτε καυσίμου, με αυτούς να διαχωρίζονται σε καυστήρες φυσικού αερίου, πετρελαίου και ξύλου. Όσον αφορά την ψύξη του θερμοκηπίου, παρουσιάζει και αυτή μεγάλη κατανάλωση ενέργειας, ενώ συγχρόνως μεγάλη είναι και η κατανάλωση του νερού όταν πρόκειται η ψύξη να γίνει μέσω εξάτμισης. Στην συγκεκριμένη περίπτωση, η απαιτούμενη ενέργεια παρέχεται μέσω ηλεκτρισμού, γεγονός που κάνει την χρήση των ορυκτών καυσίμων για τα θερμοκήπια έμμεση, καθώς μεγάλο μέρος της ηλεκτρικής ενέργειας προέρχεται από καύση ορυκτών καυσίμων. Μεγάλη απόδοση ως προς την ηλεκτροπαραγωγή παρουσιάζει επίσης το φυσικό αέριο.

Ωστόσο, πολλά είναι τα μειονεκτήματα της χρήσης ορυκτών καυσίμων για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών ενός θερμοκηπίου. Αρχικά, με την καύση των συμβατικών καυσίμων προκαλούνται υψηλά επίπεδα ατμοσφαιρικής ρύπανσης, λόγω της έκλυσης αερίων του θερμοκηπίου, όπως το διοξείδιο του άνθρακα, αλλά και άλλων επιβλαβών αερίων και σωματιδίων, όπως το διοξείδιο του θείου και κάποια βαρέα μέταλλα. Παράλληλα, τα συμβατικά καύσιμα δεν είναι ανανεώσιμες πηγές, με την έννοια ότι η αναπλήρωσή τους γίνεται με ρυθμούς πολύ πιο αργούς απ' ό,τι γίνεται η κατανάλωσή τους. Συνεπώς, η μελλοντική έλλειψη σε τέτοια καύσιμα είναι ένα πολύ πιθανό ενδεχόμενο. Εκτός αυτού, η παραγωγή ενέργειας με χρήση ορυκτών καυσίμων εγκυμονεί σοβαρούς κινδύνους με την πρόκληση ατυχημάτων κατά την καύση αυτών να είναι πολύ πιθανή. Εξαιρουμένης της καύσης, πιθανοί κίνδυνοι αφορούν ακόμη την εξόρυξη των καυσίμων αυτών. Τέλος, σημαντικό παρουσιάζεται το μειονέκτημα της έντονης διακύμανσης των τιμών των ορυκτών καυσίμων.

Στα προηγούμενα κεφάλαια της εργασίας αυτής αναφέρθηκαν κάποιοι σημαντικοί λόγοι για τους οποίους η στροφή στις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας είναι πολλοί σημαντική. Οι λόγοι αφορούν τρεις άκρως σημαντικούς τομείς, αυτόν της κοινωνίας, της οικονομίας και του περιβάλλοντος, με τα οφέλη των Α.Π.Ε. έναντι των συμβατικών πηγών ενέργειας (ορυκτά καύσιμα) να είναι σαφώς

περισσότερα. Δύο από τις πιο διαδεδομένες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι η ηλιακή και η αιολική, χωρίς ωστόσο οι υπόλοιπες όπως η γεωθερμική, η υδροηλεκτρική, η παλιρροιακή και η βιομάζα να θεωρούνται ασήμαντες. Η βιωσιμότητα κάθε πηγής και η χρησιμότητά της εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την τοποθεσία που θα γίνει η εγκατάσταση, καθώς και από ανάγκες σε ενέργεια. Οι ανανεώσιμες πηγές παρουσιάζουν τόσο πλεονεκτήματα, όσο και κάποια μειονεκτήματα. Η ανεξάντλητη ενέργεια, οι μηδαμινές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, η διατήρηση της καλής ποιότητας του νερού και του αέρα, το μειωμένο κόστος του ηλεκτρικού ρεύματος και η δημιουργία νέων θέσεων εργασίας, είναι κάποια από τα δεδομένα που κάνουν τις Α.Π.Ε. πολύ ελκυστικές. Ωστόσο, ο τομέας των Α.Π.Ε. μπορεί να βελτιωθεί ακόμη περισσότερο, εάν ληφθούν υπόψη και διορθωθούν κάποια “μελανά” σημεία, όπως το υψηλό αρχικό κόστος της εγκατάστασης, η μειωμένη αξιοπιστία κατά την παραγωγή ρεύματος, η δυσκολία στην αποθήκευση της παραγόμενης ενέργειας, η εξάρτησή τους από τις περιβαλλοντικές συνθήκες και τέλος το μη μηδενικό αποτύπωμα άνθρακα.

Στον αγροτικό τομέα, και πιο συγκεκριμένα στα θερμοκηπιακά συστήματα, όλες οι ανανεώσιμες πηγές μπορούν να φανούν χρήσιμες, καθώς από όλες τις πηγές υπάρχει η δυνατότητα παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος, το οποίο είναι απαραίτητο για τις λειτουργίες ενός θερμοκηπίου. Ωστόσο, κάποιες από αυτές μπορούν να φανούν περισσότερο χρήσιμες, και άλλες λιγότερο, ανάλογα με τις απαραίτητες για το θερμοκήπιο διεργασίες που μπορούν να καλύψουν. Η πιο διαδεδομένη πηγή ενέργειας στα θερμοκήπια είναι η ηλιακή ενέργεια, με το ίδιο το θερμοκήπιο να λειτουργεί ως ηλιακός συλλέκτης. Παρ’ όλα αυτά, υπάρχουν ζητήματα τα οποία δεν μπορούν να αποφευχθούν, όπως η δυσκολία της διατήρησης της ενέργειας. Γι’ αυτό η δημιουργία συστημάτων, ενεργητικών και παθητικών θεωρείται αναγκαία. Με την χρήση τέτοιων συστημάτων η ηλιακή ενέργεια χρησιμοποιείται, εκτός από τον φωτισμό του θερμοκηπίου, και για την θέρμανσή του και για την ψύξη του, όποτε αυτό κριθεί απαραίτητο. Μεγάλη χρησιμότητα παρουσιάζει, παράλληλα, η γεωθερμική ενέργεια, με την εκμετάλλευση της θερμικής ενέργειας της Γης να γίνεται τόσο για την θέρμανση, όσο και για την ψύξη του θερμοκηπίου, ενώ με την χρήση κατάλληλων συστημάτων το γεωθερμικό νερό, εκτός από μέσον μεταφοράς ενέργειας μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την άρδευση των καλλιεργειών. Ταυτόχρονα, η τρίτη αρκετά χρήσιμη για τα θερμοκήπια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας είναι η βιομάζα. Η ποικιλία των υλικών που αποτελούν την βιομάζα, έχει οδηγήσει στην δημιουργία μια ποικιλίας συστημάτων που ανάλογα με το υλικό καύσης διαφέρουν, ενώ έχει αναπτυχθεί και μία σειρά μεθόδων και τεχνικών εκμετάλλευσής της, όπως η άμεση καύση και η αεριοποίηση της βιομάζας. Τέλος, ίσως μικρότερης σημασίας είναι η αιολική και η υδροηλεκτρική ενέργεια, είτε λόγω του ότι παράγουν αποκλειστικά και μόνο ηλεκτρικό ρεύμα, είτε λόγω των προϋποθέσεων που απαιτούν, όπως για παράδειγμα τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά της περιοχής της εγκατάστασής τους.

Κλείνοντας, για την αποδοτικότερη λειτουργία και την ικανοποιητική κάλυψη των αναγκών ενός θερμοκηπίου είναι απαραίτητο να τηρούνται κάποιες προϋποθέσεις. Αυτές οι προϋποθέσεις απαιτούν την αρχική μελέτη της κατανάλωσης της ενέργειας με σκοπό να διευκρινιστεί επακριβώς το μέγεθος της ενέργειας που θα πρέπει να παράγεται, λόγω του υψηλού αρχικού κόστους. Στην μείωση του αρχικού κόστους χρήσιμο είναι η διαθέσιμη ενέργεια να καταναλώνεται έξυπνα έτσι ώστε να απαιτούνται και μικρότερα ποσά παραγωγής. Εκτός αυτών, σημασία πρέπει να δίνεται τόσο στον σχεδιασμό, ο οποίος πρέπει να είναι όσο τον δυνατόν πιο απλός με σκοπό την μείωση

του αρχικού κόστους εγκατάστασης, όσο και στην θέση του συστήματος καθώς πρέπει η απόστασή του από το θερμοκήπιο να είναι όσο τον δυνατόν μικρότερη για την μείωση πιθανών απωλειών κατά την μεταφορά της ενέργειας.

Βιβλιογραφία

1. B. von Elsner, D. Briassoulis, D. Waaijenberg, A. Mistrionis, Chr. von Zabeltitz, J. Gratraud, G. Russo, R. Suay-Cortes. *Review of Structural and Functional Characteristics of Greenhouses in European Union Countries: Part I, Design Requirements.* Journal of Agricultural Engineering Research, Volume 75, Issue 1, 2000, Pages 1-16, ISSN 0021-8634.
2. Nouredine Choab, Amine Allouhi, Anas El Maakoul, Tarik Kousksou, Said Saadeddine, Abdelmajid Jamil, Review on greenhouse microclimate and application: Design parameters, thermal modeling and simulation, climate controlling technologies, Solar Energy, Volume 191, 2019, Pages 109-137, ISSN 0038-092X.
3. Djevic, Milan, and Aleksandra Dimitrijevic. "Greenhouse energy consumption and energy efficiency." Balkan agricultural engineering review 5 (2004): 1-9.
4. Moe, R., Grimstad, S. O., & Gislerod, H. R. (2006). THE USE OF ARTIFICIAL LIGHT IN YEAR ROUND PRODUCTION OF GREENHOUSE CROPS IN NORWAY. Acta Horticulturae, (711), 35 - 42.
5. Nederhoff, Elly. (1997). *Humidity in the greenhouse.* Commercial Greenhouse. 52.
6. Shen, Y.; Wei, R.; Xu, L. Energy Consumption Prediction of a Greenhouse and Optimization of Daily Average Temperature. *Energies* 2018, 11, 65.
7. Ahmad Banakar, Mehdi Montazeri, Barat Ghobadian, Hadi Pasdarsahri, Fatemeh Kamrani, Energy analysis and assessing heating and cooling demands of closed greenhouse in Iran, Thermal Science and Engineering Progress, Volume 25, 2021, 101042, ISSN 2451-9049.
8. Hatirli, S. A., Ozkan, B., and Fert, C., 2006. "Energy inputs and crop yield relationship in greenhouse tomato production." Renewable Energy, vol. 31, pp. 427-438.
9. Canakci, M. and Akinci, I., 2006. "Energy use pattern analysis of greenhouse vegetable production." Energy, vol. 31, pp. 1243-56.
10. Yildirim, N. and Bilir, L., 2017. "Evaluation of a hybrid system for a nearly zero energy greenhouse." Energy Conversion and Management, vol. 148, pp. 1278-90.
11. Vourdoubas, J., 2015. "Overview of heating greenhouses with renewable energy sources. A case study in Crete, Greece." Journal of Agriculture and Environmental Sciences, vol. 4, pp. 70-76.

12. Chasseriaux, Gérard & Chantoiseau, Etienne & Migeon, Christophe & Bournet, Pierre-Emmanuel. (2014). A dehumidification strategy to avoid condensation on plants and spare energy in greenhouse. *Acta Horticulturae*. 1037. 453-460. 10.17660/ActaHortic.2014.1037.56.
13. Energy in Sweden 2017, 2018. ([Energimyndighetens webbshop \(a-w2m.se\)](#))
14. Farzin Golzar, Niko Heeren, Stefanie Hellweg, Ramin Roshandel, A comparative study on the environmental impact of greenhouses: A probabilistic approach, *Science of The Total Environment*, Volume 675, 2019, Pages 560-569, ISSN 0048-9697.
15. Acosta-Silva, Y. de J., Torres-Pacheco, I., Matsumoto, Y., Toledano-Ayala, M., Soto-Zarazúa, G. M., Zelaya-Ángel, O., & Méndez-López, A. (2019). Applications of solar and wind renewable energy in agriculture: A review. *Science Progress*, 003685041983269.
16. Gołasa, P., Wysokiński, M., Bieñkowska-Gołasa, W., Gradziuk, P., Golonko, M., Gradziuk, B., ... Gromada, A. (2021). Sources of Greenhouse Gas Emissions in Agriculture, with Particular Emphasis on Emissions from Energy Used. *Energies*, 14(13), 3784.
17. Soussi, M. ; Chaibi, M.T. ; Buchholz, M. ; Saghrouni, Z. Comprehensive Review on Climate Control and Cooling Systems in Greenhouses under Hot and Arid Conditions. *Agronomy* 2022, 12, 626.
18. Kirkinen J, Palosuo T, Holmgren K, Savolainen I. Greenhouse impact due to the use of combustible fuels: life cycle viewpoint and relative radiative forcing commitment. *Environ Manage*. 2008;42(3):458-469.
19. [What are the Main Disadvantages of Fossil Fuels? | EnergySage](#)
20. [What is Renewable Energy? \(psu.edu\)](#)
21. [What is Renewable Energy? - Definition, Types, Benefits and Challenges - TWI \(twi-global.com\)](#)
22. [Renewable Resources | National Geographic Society](#)
23. [Solar Energy - Knowledge Bank - Solar Schools](#)
24. John Twidell and Tony Weir Renewable Energy Resources
25. Fondriest Environmental, Inc. "Solar Radiation and Photosynthetically Active Radiation." *Fundamentals of Environmental Measurements*. 21 Mar. 2014. Web.
26. Isabella, O., Jäger, K., Smets, A., Van Swaaij, R., Zeman, M. (2016). *Solar Energy: The Physics and Engineering of Photovoltaic Conversion, Technologies and Systems*. UIT Cambridge Ltd.

27. [What is Green Energy? \(Definition, Types and Examples\) - TWI \(twi-global.com\)](#)
28. Hamzah, Nur & Usman, Fathoni & Omar, Rohayu. (2018). Geospatial study for wind analysis and design codes for wind loading: A review. International Journal of ADVANCED AND APPLIED SCIENCES. 5. 94-100. 10.21833/ijaas.2018.01.012.
29. J. F. Manwell and J. G. McGowan. WIND ENERGY EXPLAINED: Theory, Design and Application. Second Edition
30. [Enhanced Geothermal System \(EGS\) Fact Sheet \(energy.gov\)](#)
31. [Hydroelectric Energy | National Geographic Society](#)
32. [Why Renewables: Hydroelectric and Tidal Power | 25x'25 Alliance \(Legacy\) \(solutionsfromtheland.org\)](#)
33. [Biofuel | Definition, Types, & Pros and Cons | Britannica](#)
34. [This Nation Is Building the World's Cheapest Solar Farm \(yahoo.com\)](#)
35. [Renewable Energy | Advantages and Disadvantages \(terrapass.com\)](#)
36. Azaza, M., Echaieb, K., Tadeo, F., Fabrizio, E., Iqbal, A., & Mami, A. (2015). *Fuzzy Decoupling Control of Greenhouse Climate*. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 40(9), 2805–2812.
37. Ding, Ding. (2021). Integration of Active Solar Thermal Technologies in Greenhouses: A Mini Review. *Frontiers in Energy Research*. 9. 10.3389/fenrg.2021.757553.
38. P.G. Charalambous, G.G. Maidment, S.A. Kalogirou, K. Yiakoumetti, Photovoltaic thermal (PV/T) collectors: A review, *Applied Thermal Engineering*, Volume 27, Issues 2–3, 2007, Pages 275-286, ISSN 1359-4311.
39. [Solar orientation of a greenhouse \(waldeneffect.org\)](#)
40. [Solar Energy | EESI](#)
41. Konstantinou, Thaleia & Prieto, Alejandro. (2018). Environmental Design Principles for the Building Envelope and More _: Passive and Active Measures.
42. Hoy-Yen Chan, Saffa B. Riffat, Jie Zhu, Review of passive solar heating and cooling technologies, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 14, Issue 2, 2010, Pages 781-789, ISSN 1364-0321.
43. Reza Shahbazi, Shahriar Kouravand & Reza Hassan-Beygi (2019) Analysis of wind turbine usage in greenhouses: wind resource assessment, distributed generation of electricity and environmental protection, *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*.
44. Μαυρογιαννόπουλος, Ν. Γ. (2017) Τεχνολογία Θερμοκηπίων: Μικροκλίμα, Κατασκευή, Υλικά, Εξοπλισμός. UNIBOOKS. Αθήνα.

45. M. Carlini, S. Castellucci, E. Allegrini, A. Tucci, "Down-Hole Heat Exchangers: Modelling of a Low-Enthalpy Geothermal System for District Heating", *Mathematical Problems in Engineering*, vol. 2012, Article ID 845192, 11 pages, 2012.
46. [Μέθοδος παραγωγής ενέργειας από βιομάζα - Αεριοποίηση - Easy2Find Energy](#)