



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ



Η ηλιακή ενέργεια στον αγροτικό τομέα

Ρήγα Αλκηστις, Α.Μ: 12265 | Μπαρούχου Ελευθερία, Α.Μ: 12035
Επιβλέπουσα καθηγήτρια, Καυγά Αγγελική

ΑΜΑΛΙΑΔΑ, 2021

Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	6
ABSTRACT	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	9
1.1 Τα ορυκτά καύσιμα	9
1.2 Η μετάβαση από τα ορυκτά καύσιμα	11
1.3 Αιολική ενέργεια.....	14
1.4 Υδροηλεκτρική ενέργεια	16
1.5 Γεωθερμική ενέργεια.....	17
1.5.1 Γεωθερμική παραγωγή ηλεκτρισμού.....	18
1.6 Ενέργεια από βιομάζα.....	19
1.6.1 Παραγωγή βιοαερίου.....	20
1.6.2 Υπόλειμμα αναερόβιας χώνευσης ως εδαφοβελτιωτικό	22
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Η ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ	24
2.1 Εισαγωγή	24
2.2 Η ιστορία της ηλιακής ενέργειας.....	25
2.3 Φωτοβολταϊκά στοιχεία	27
2.3.1 Φωτοβολταϊκά στοιχεία πρώτης γενιάς	28
2.3.2 Φωτοβολταϊκά στοιχεία δεύτερης γενιάς	29
2.3.3 Φωτοβολταϊκά στοιχεία τρίτης γενιάς	30
2.3.4 Σύγκριση απόδοσης διαφορετικών φωτοβολταϊκών στοιχείων.....	31
2.4 Συμπυκνωμένη ηλιακή ενέργεια	32
2.4.1 Παραβολικές λεκάνες.....	33
2.4.2 Ηλιακοί πύργοι	34
2.4.3 Σύστημα δίσκων / κινητήρα.....	35
2.4.4 Γραμμικό σύστημα κατόπτρων Fresnel.....	36
2.5 Σύγκριση των τεχνολογιών ηλιοθερμικής ενέργειας	36
2.6 Τεχνικές, οικονομικές και περιβαλλοντικές προκλήσεις	37
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Η ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟΝ ΑΓΡΟΤΙΚΟ ΤΟΜΕΑ	40
3.1 Εισαγωγή	40
3.2 Η ιστορική εξέλιξη του αγροτικού τομέα.....	40
3.3 Χρήση της ενέργειας στον αγροτικό τομέα	43

3.4 Ευρωπαϊκή Ένωση και Ελλάδα	47
3.5 Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στον αγροτικό τομέα.....	49
3.5.1 Η αιολική ενέργεια στον αγροτικό τομέα.....	50
3.5.2 Η υδροηλεκτρική ενέργεια στον αγροτικό τομέα.....	52
3.5.3 Η γεωθερμική ενέργεια στον αγροτικό τομέα.....	53
3.5.4 Ενέργεια από βιομάζα στον αγροτικό τομέα	55
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΟΣ ΤΟΜΕΑΣ	58
4.1 Εισαγωγή	58
4.2 Χρήσεις της ηλιακής ενέργειας στον αγροτικό τομέα.....	58
4.2.1 Ξήρανση των καλλιεργειών.....	58
4.2.2 Θέρμανση νερού και χώρων.....	60
4.2.3 Θερμοκήπια.....	61
4.2.4 Αντληση νερού.....	62
4.2.5 Απομακρυσμένη παροχή ηλεκτρικής ενέργειας.....	63
4.3 Αγροφωτοβολταϊκά συστήματα	64
4.3.1 Τεχνολογία σχεδιασμού αγροφωτοβολταϊκών συστημάτων	67
4.3.2 Εφαρμογή αγροφωτοβολταϊκών συστημάτων σε θερμοκήπια	70
4.4 Παραγωγή λιπασμάτων από την ηλιακή ενέργεια	72
4.4.1 Διαδικασία παραγωγής λιπασμάτων από την ηλιακή ενέργεια.....	74
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	79
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	83

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η χρήση της ηλιακής ενέργειας στον αγροτικό τομέα.

Αρχικά, τονίζεται η ανάγκη για τη μετάβαση σε μια οικονομία με μηδενικό ισοζύγιο άνθρακα, καθώς οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου έχουν πλέον ιδιαίτερα δυσάρεστες συνέπειες για τον άνθρωπο και το φυσικό περιβάλλον. Διερευνώνται οι βασικότερες τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργεια που χρησιμοποιούνται σήμερα: Η αιολική, η υδροηλεκτρική και η γεωθερμική ενέργεια καθώς και η ενέργεια από τη βιομάζα.

Στη συνέχεια, γίνεται μια εμπειριστατωμένη ανάλυση αναφορικά με την ηλιακή ενέργεια. Αναφέρονται οι βασικότεροι ιστορικοί σταθμοί και αναλύονται οι βασικές τεχνολογίες που οδήγησαν στην ανάπτυξη της παραγωγής ηλεκτρισμού από την ηλιακή ενέργεια. Αναλύονται ακόμα τα διαφορετικά υλικά που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή των φωτοβολταϊκών στοιχείων, τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους. Αντίστοιχη προσέγγιση ακολουθείται και για την εναλλακτική χρήση της ηλιακής ενέργειας, γνωστή ως συμπυκνωμένη ηλιακή ενέργεια. Οι βασικότερες τεχνολογίες που χρησιμοποιούν την ηλιακή θερμότητα για την παραγωγή ενέργειας είναι οι παραβολικές λεκάνες, οι ηλιακοί πύργοι, τα συστήματα δίσκων/κινητήρων και το γραμμικό σύστημα κατόπτρων Fresnel, τεχνολογίες οι οποίες μελετώνται και συγκρίνονται ως προς τις εφαρμογές τους.

Στο επόμενο κεφάλαιο αναπτύσσεται μια σύντομη ιστορική αναδρομή του αγροτικού τομέα, όπου καταδεικνύεται η ζωτική του σημασία για την παραγωγή τροφίμων. Αναλύονται επίσης οι σημαντικές ενεργειακές απαιτήσεις του τομέα, με ιδιαίτερη έμφαση στην ευρωπαϊκή πραγματικότητα. Μελετάται η εφαρμογή στον αγροτικό τομέα των βασικότερων μορφών ανανεώσιμης ενέργειας που μελετήθηκαν στο 1^ο κεφάλαιο και καταδεικνύονται οι δυνατότητες τους να ικανοποιήσουν πλήρως τις ενεργειακές απαιτήσεις του.

Τέλος, η σημαντική σχέση του αγροτικού τομέα και της ηλιακής ενέργειας γίνεται ξεκάθαρη στο 4^ο κεφάλαιο. Οι εφαρμογές της ηλιακής ενέργειας, όπως η ξήρανση των καλλιεργειών, η παραγωγή ηλεκτρισμού για την άντληση υδάτων για άρδευση και τη λειτουργία κινητήρων και συστημάτων θέρμανσης, η θέρμανση των θερμοκηπίων και η παραγωγή ζεστού νερού, είναι πολύ σημαντικές για το γεωργικό τομέα. Γίνεται ανάλυση νέων ιδεών και τεχνολογιών, όπως τα αγροφωτοβολταϊκά συστήματα τα οποία δίνουν τη δυνατότητα διπλής χρήσης της γης, τόσο για παραγωγή ενέργειας όσο και για τις

καλλιέργειες. Αναλύεται επίσης η δυνατότητα παραγωγής αζωτούχων λιπασμάτων από την ηλιακή ενέργεια, ένας τομέας που είναι ιδιαίτερα ενεργοβόρος αλλά και εξίσου απαραίτητος για την αύξηση της απόδοσης των καλλιεργειών. Η παραγωγή λιπασμάτων με χρήση της ηλιακής ενέργειας, κοντά στον τόπο χρήσης τους αποτελεί μια υποσχόμενη τεχνολογία για την κατάργηση των ανισοτήτων του αγροτικού τομέα μεταξύ των αναπτυγμένων και των αναπτυσσόμενων χωρών.

ABSTRACT

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

1.1 Τα ορυκτά καύσιμα

Τα ορυκτά καύσιμα ικανοποιούν σήμερα τις περισσότερες από τις ανθρώπινες απαιτήσεις για ενέργεια. Σύμφωνα με το Διεθνή Οργανισμό Ενέργειας, ο άνθρακας αποτέλεσε την ταχύτερα αναπτυσσόμενη μορφή ενέργειας παγκοσμίως κατά την πρώτη δεκαετία του 21ου αιώνα. Ως αποτέλεσμα αυτού, το 2011 τα ορυκτά καύσιμα αντιπροσώπευαν το 82% της συνολικής παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας. Συγκεκριμένα, ο άνθρακας αντιπροσώπευε το 29%, το πετρέλαιο το 32% και το φυσικό αέριο το 21% της παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας. Ειδικά στον τομέα της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, η συμβολή των ορυκτών καυσίμων είναι σημαντική, ακόμη και για τις ανεπτυγμένες χώρες. Για παράδειγμα το 2012, πάνω από το ήμισυ (52,3%) της καθαρής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρώπη των 27 κρατών-μελών, προέρχεται από συμβατικούς πόρους θερμικής ενέργειας, δηλαδή πετρέλαιο, φυσικό αέριο και στερεά καύσιμα. Αυτό αποδίδεται στα σημαντικά οικονομικά πλεονεκτήματα που εμφανίζει η χρήση των ορυκτών καυσίμων σε σύγκριση με άλλες τεχνολογίες, γεγονός που δύσκολα μπορεί να αλλάξει, παρά την πρόσφατη τάση αύξησης των τιμών των ορυκτών καυσίμων και των μειωμένων τιμών των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Σε παγκόσμιο επίπεδο, περισσότερο από το 60% της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας προέρχεται από τα ορυκτά καύσιμα, εκ των οποίων το 42% είναι από τον άνθρακα.

Σύμφωνα με τα σενάρια ενεργειακής πολιτικής, που καταρτίζονται ύστερα από την προσεκτική υλοποίηση των δεσμεύσεων και των σχεδίων που έχουν αναλάβει οι χώρες για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής, η παγκόσμια ενεργειακή ζήτηση αναμένεται να αυξηθεί κατά 40% μεταξύ του 2009 και του 2035. Αυτή η σημαντική αύξηση δεν είναι δυνατό να καλυφθεί εξ' ολοκλήρου από εναλλακτικές πηγές ενέργειας, παρά μόνο από τα ορυκτά καύσιμα. Ως εκ τούτου, η χρήση ορυκτών καυσίμων με βάση τον άνθρακα αναμένεται να αυξηθεί σε απόλυτους όρους. Ειδικότερα, η ζήτηση πετρελαίου αναμένεται να αυξηθεί κατά 18% μεταξύ του 2009 και του 2035, κυρίως λόγω των αναγκών του τομέα των μεταφορών. Η ζήτηση άνθρακα θα αυξηθεί κατά 25%, καθώς θα συνεχίσει να είναι το κύριο καύσιμο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στις αναπτυσσόμενες χώρες, ενώ την ίδια στιγμή η ζήτηση φυσικού αερίου αναμένεται να αυξηθεί σε απόλυτους όρους περισσότερο από 40% κατά την ίδια χρονική περίοδο. Τα διαθέσιμα αποθέματα των ορυκτών καυσίμων, δηλαδή οι ποσότητες καυσίμων που

μπορούν να παραχθούν με βάση τις υφιστάμενες οικονομικές και λειτουργικές συνθήκες και εκεί όπου η εξόρυξη είναι δυναμικά και οικονομικά εφικτή, αναμένεται να καλύψουν αυτές τις ανάγκες με σχετική ευκολία. Υπολογίζεται ότι τα αποθέματα άνθρακα είναι πιθανό να διαρκέσουν για περίπου 100 χρόνια, με τους τρέχοντες ρυθμούς παραγωγής, ενώ τα αποθέματα και οι πόροι φυσικού αερίου είναι τεράστια και μπορούν να εξασφαλίσουν αδιάλειπτη παροχή καυσίμων για αρκετές δεκαετίες. Από την άλλη πλευρά, τα αποθέματα του πετρελαίου μπορούν να επεκτείνουν σημαντικά τη διαθεσιμότητα αυτού του καυσίμου, αλλά η αιχμή της παραγωγής πετρελαίου αναμένεται να επιτευχθεί εντός δύο δεκαετιών. Οι μη συμβατικοί πόροι πετρελαίου θα μπορούσαν να καλύψουν τη ζήτηση, αλλά αυτό θα είχε ως αποτέλεσμα τις αυξημένες τιμές του συγκεκριμένου καυσίμου.



Σχήμα 1.1: Οι εκπομπές CO₂ από την καύση των ορυκτών καυσίμων ευθύνονται για την υπερθέρμανση του πλανήτη (Πηγή: greenqueen.com)

Ωστόσο, ανεξάρτητα από τα οικονομικά και τεχνικά οφέλη που προκύπτουν από την καύση ορυκτών καυσίμων για την παραγωγή ενέργειας, οι επακόλουθες περιβαλλοντικές επιπτώσεις των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα είναι μια κρίσιμη παρενέργεια. Η χρήση ορυκτών καυσίμων ευθύνεται για το 85% της ετήσιας παραγωγής ανθρωπογενών εκπομπών CO₂. Το 2010, οι παγκόσμιες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα που σχετίζονται με την ενέργεια έφτασαν τους 30,4 Gt, αυξημένες κατά 5,3% σε σύγκριση με το 2009, γεγονός που αντιπροσωπεύει μια σχεδόν άνευ προηγουμένου ετήσια αύξηση. Επιπλέον,

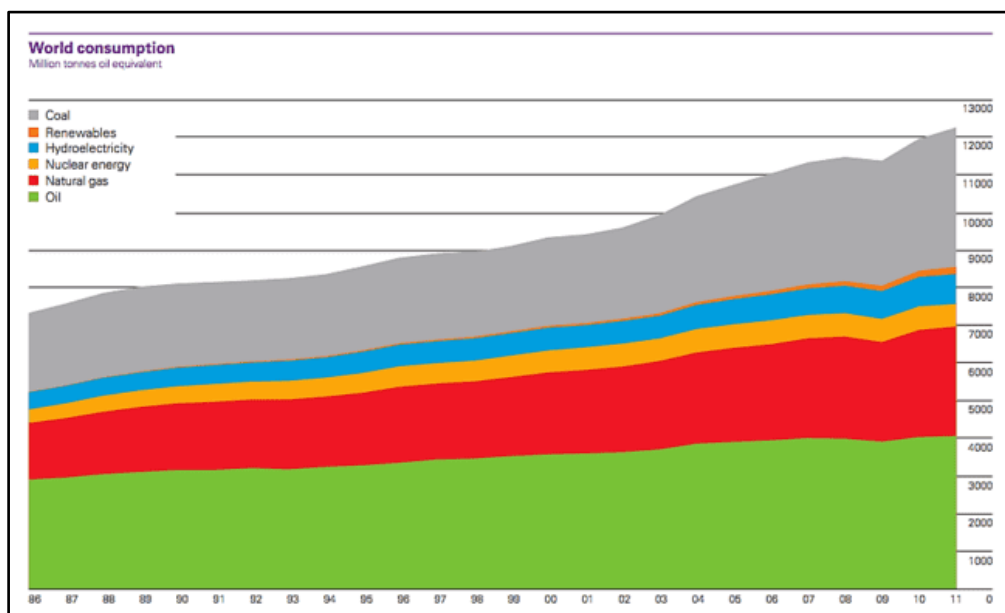
σύμφωνα με τα προαναφερθέντα ενεργειακά σενάρια, οι παγκόσμιες εκπομπές CO₂ που σχετίζονται με την ενέργεια, αναμένεται να αυξηθούν κατά 20% το 2035, γεγονός που με τη σειρά του θα οδηγήσει σε μακροπρόθεσμη αύξηση της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας άνω των 3,5 °C. Αυτό έρχεται σε απόλυτη αντίθεση με την παγκόσμια συμφωνία για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και τον περιορισμό της κλιματικής αλλαγής. Τα αυστηρά σενάρια ενεργειακής πολιτικής, με στόχο τον περιορισμό της παγκόσμιας μέσης αύξησης θερμοκρασίας έως 2 °C, δείχνουν ότι οι εκπομπές CO₂ μπορούν να μειωθούν κατά 29% έως το 2035. Στην περίπτωση αυτή, η ζήτηση άνθρακα και πετρελαίου θα μειωθεί κατά 30% και 8%, αντίστοιχα έως το 2035 σε σύγκριση με το 2009, ενώ η ζήτηση φυσικού αερίου θα αυξηθεί κατά 26% - ωστόσο, αυτά τα σενάρια προϋποθέτουν την ύπαρξη σημαντικών πρόσθετων επενδύσεων για την υλοποίησή τους, ύψους περίπου 15,2 τρισεκατομμυρίων δολαρίων. Ο εκσυγχρονισμός της παραγωγής ενέργειας από ορυκτά καύσιμα, και ιδίως η αύξηση της απόδοσης μετατροπής, θα μπορούσε να οδηγήσει σε σημαντική εξοικονόμηση CO₂ και καυσίμου με σχετικά χαμηλό κόστος, καθώς υπολογίζεται ότι η αύξηση της αποδοτικότητας των μονάδων παραγωγής ενέργειας από ορυκτά καύσιμα κατά 1% θα μπορούσε να οδηγήσει σε μείωση κατά 2,5% του εκπεμπόμενου CO₂ (Itskos G. et al., 2016).

1.2 Η μετάβαση από τα ορυκτά καύσιμα

Όπως αναφέρθηκε, αν και τα ορυκτά καύσιμα εμφανίζουν σημαντικά πλεονεκτήματα, η χρήση τους έχει ως αποτέλεσμα αρκετά προβλήματα τα οποία έχουν αναλυθεί σε πολλές μελέτες. Ορισμένα από αυτά τα προβλήματα, όπως για παράδειγμα οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις, η μείωση των αποθεμάτων και η αστάθεια των τιμών, καθιστούν τα ορυκτά καύσιμα ως άμεσα υποψήφια προς αντικατάσταση ώστε να επιτευχθεί η μετάβαση σε μια οικονομία χαμηλών εκπομπών άνθρακα. Η χρήση των ορυκτών καυσίμων είναι υπεύθυνη για σοβαρά περιβαλλοντικά ζητήματα όπως η υπερθέρμανση του πλανήτη και η ατμοσφαιρική ρύπανση, τα οποία προκαλούν προβλήματα υγείας και επηρεάζουν την ποιότητα ζωής των ανθρώπων.

Η εφαρμογή σημαντικών τεχνολογικών αλλαγών μπορεί να βελτιώσει την κατάσταση – για παράδειγμα έχει αποδειχθεί ότι η εφαρμογή ορισμένων αλλαγών στην τεχνολογία θέρμανσης κατοικιών, θα οδηγήσει το Ηνωμένο Βασίλειο στην εκπλήρωση των στόχων που έχουν τεθεί για τον άνθρακα έως το 2050, καθώς αναμένεται μείωση 40% στα PM₁₀, δηλαδή στη σωματιδιακή ύλη με διάμετρο μικρότερη από 10 μm, και μείωση 45% στα PM_{2.5}, δηλαδή στη σωματιδιακή ύλη με διάμετρο μικρότερη από 2,5 μm στο

διάστημα μεταξύ 2010 και 2050. Ωστόσο αυτές οι αλλαγές δεν επαρκούν, καθώς έχει παρατηρηθεί περιορισμένη αλλαγή στο προφίλ ρύπανσης που αφορά τις μεταφορές - ένας τομέας που ευθύνεται για το 35% της κατανάλωσης ενέργειας παγκοσμίως. Εκτός από τα περιβαλλοντικά προβλήματα, τα αποθέματα ορυκτών καυσίμων κατανέμονται άνισα, γεγονός που αυξάνει τις ανησυχίες σχετικά με την ενεργειακή ασφάλεια λόγω του βασικού ρόλου τους στα σημερινά συστήματα παραγωγής ενέργειας. Επιπλέον τα ορυκτά καύσιμα είναι μη ανανεώσιμοι πόροι και θέτουν το πρόβλημα της διαθεσιμότητάς τους για τις μελλοντικές γενιές, ενώ η πλήρης εξάντλησή τους θα πρέπει να αποφευχθεί γεγονός που θα συμβάλλει στην περεταίρω μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.



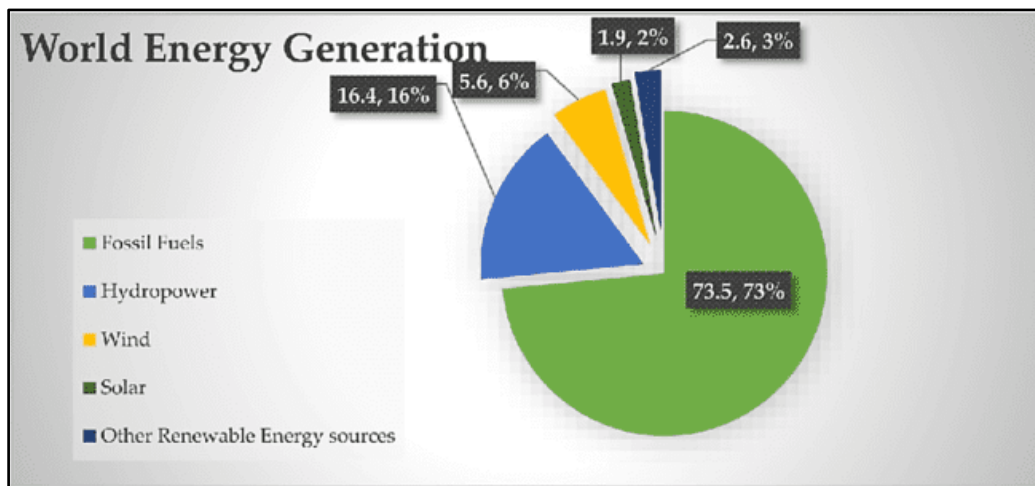
Σχήμα 1.2: Η παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας σε εκατομμύρια τόνους ισοδύναμου πετρελαίου, από το 1986 έως το 2011 (Πηγή: BP Statistical Review of World Energy, 2012)

Τα παραπάνω ζητήματα που αφορούν τη χρήση των ορυκτών καυσίμων, συμβάλλουν αρνητικά στα σημερινά, μη βιώσιμα ενεργειακά συστήματα και καθιστούν απαραίτητη την αναζήτηση νέων λύσεων που θα μειώσουν τις οικονομικές, κοινωνικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις αυτών των ενεργειακών συστημάτων, αυξάνοντας έτσι τη βιωσιμότητα. Η επίτευξη βιώσιμων ενεργειακών συστημάτων εξακολουθεί να αποτελεί πρόκληση για την πλειονότητα των χωρών, παρά τις προσπάθειες που καταβάλλουν οι κυβερνήσεις και οι διεθνείς οργανισμοί. Τις τελευταίες δεκαετίες, εφαρμόστηκαν νέες πολιτικές και έχουν δοθεί κίνητρα για την ανάπτυξη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, ενώ παράλληλα έχουν αναπτυχθεί πολλές άλλες στρατηγικές - όπως για παράδειγμα τα έξυπνα

δίκτυα - για να αντιμετωπιστούν οι προκλήσεις που δημιουργεί η μετάβαση σε συστήματα χαμηλής κατανάλωσης άνθρακα (Martins F. et al., 2019).

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι πηγές ενέργειας που ανανεώνονται συνεχώς από τη φύση και είτε προέρχονται απευθείας από τον ήλιο, όπως η θερμική, η φωτοχημική και η φωτοηλεκτρική ενέργεια, είτε έμμεσα, όπως η αιολική, η υδροηλεκτρική και η φωτοσυνθετική ενέργεια που βρίσκεται αποθηκευμένη στη βιομάζα. Επίσης οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ενδέχεται να προέρχονται από άλλες φυσικές κινήσεις και μηχανισμούς του γήινου περιβάλλοντος, όπως η γεωθερμική και η παλιρροιακή ενέργεια. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας δεν περιλαμβάνουν ενεργειακούς πόρους που προέρχονται από τα ορυκτά καύσιμα, απόβλητα από ορυκτά καύσιμα ή απόβλητα από ανόργανες πηγές. Η τεχνολογία των ανανεώσιμων πηγών μετατρέπει αυτές τις φυσικές πηγές σε μορφές ενέργειας που μπορούν να χρησιμοποιηθούν, δηλαδή σε ηλεκτρική ενέργεια, θερμότητα και βιοκαύσιμα. Η αγορά των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας - ηλεκτρική ενέργεια, θέρμανση και μεταφορές - έχει αυξηθεί θεαματικά τα τελευταία χρόνια. Η ανάπτυξη καθιερωμένων τεχνολογιών, όπως η υδροηλεκτρική ενέργεια, καθώς και νεότερων τεχνολογιών όπως η αιολική και ηλιακή ενέργεια, έχει αυξηθεί σημαντικά, γεγονός που εδραίωσε την εμπιστοσύνη στις συγκεκριμένες τεχνολογίες, μείωσε το κόστος και άνοιξε νέες ευκαιρίες.

Η παγκόσμια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές αναμένεται να αυξηθεί κατά 2,7 φορές στο χρονικό διάστημα μεταξύ 2010 και 2035. Η κατανάλωση βιοκαυσίμων αναμένεται να υπερτριπλασιαστεί κατά την ίδια περίοδο και να φθάσει τα 4,5 εκατομμύρια βαρέλια ισοδυνάμου πετρελαίου ημερησίως (mboe/d), από 1,3 mboe/d το 2010. Σχεδόν όλα τα βιοκαύσιμα που παράγονται σήμερα χρησιμοποιούνται στις οδικές μεταφορές, ωστόσο, από το 2035, αναμένεται να ξεκινήσει η κατανάλωση βιοκαυσίμων στο τομέα των αερομεταφορών. Η χρήση σύγχρονων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την παραγωγή θερμότητας αναμένεται να διπλασιαστεί, από 337 Mtoe το 2010 σε 604 Mtoe το 2035. Το μερίδιο που κατέχουν οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι υψηλότερο σε σχέση με την παραγωγή θερμότητας ή τις οδικές μεταφορές (Ellabban O. et al., 2014).



Σχήμα 1.3: Το, κατά προσέγγιση, μερίδιο αγοράς των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. (Πηγή: Baloch M. et al., 2019)

Οι μορφές ανανεώσιμης ενέργειας που θα εξεταστούν είναι η αιολική, η υδροηλεκτρική, η γεωθερμική και το αέριο από βιομάζα. Η ηλιακή ενέργεια θα μελετηθεί εκτενέστερα σε επόμενο κεφάλαιο.

1.3 Αιολική ενέργεια

Η μετατροπή της δύναμης του ανέμου σε αιολική ενέργεια χρησιμοποιείται από τον άνθρωπο εδώ και πολλά χρόνια. Ορισμένα παραδείγματα είναι:

- Ανεμογεννήτριες για την παραγωγή ηλεκτρισμού,
- Ανεμόμυλοι για την παραγωγή μηχανικής ενέργειας
- Αντλίες για πόσιμο νερό, νερό για άρδευση ή αποχέτευση
- Ιστία για την προώθηση των πλοίων.

Ο ανεμόμυλος μετατρέπει την αιολική ενέργεια σε ηλεκτρική ή μηχανική ενέργεια για την άντληση νερού ή την άλεση των δημητριακών. Οι πιο αναγνωρίσιμοι ανεμόμυλοι που λειτουργούν σήμερα, παράγουν ηλεκτρική ενέργεια μέσω τριών πτερυγίων που βρίσκονται τοποθετημένα σε χαλύβδινους πύργους, οι οποίοι μπορούν να είναι κυλινδρικοί ή πύργοι δικτυωτού πλέγματος. Αυτή η σύγχρονη έννοια των ανεμόμυλων, που έχει ξεκινήσει από το 1977, έχει αναγνωριστεί πλέον ως βιομηχανικό πρότυπο και αποτελεί τη γνωστή ανεμογεννήτρια. Η συνολική ποσότητα δυνητικά εκμεταλλεύσιμης ισχύος που διατίθεται από τον άνεμο είναι πολύ μεγαλύτερη από την τρέχουσα ανθρώπινη χρήση που προέρχεται από όλες τις πηγές ενέργειας συνολικά. Στα τέλη του 2010, η

παγκόσμια δυναμικότητα του συνόλου των ανεμογεννητριών ήταν 197 GW. Η αιολική ενέργεια έχει πλέον την ικανότητα να παράγει 430 TWh ετησίως, δηλαδή περίπου το 2,5% της παγκόσμιας χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας (World Wind Energy Report 2010), ενώ κατά τα τελευταία πέντε χρόνια, ο μέσος ετήσιος ρυθμός αύξησης των νέων εγκαταστάσεων ήταν 27,6%. Αρκετές χώρες έχουν ήδη επιτύχει σχετικά υψηλά επίπεδα διείσδυσης της αιολικής ενέργειας, όπως η Δανία, που παράγει το 21% των αναγκών της σε ηλεκτρική ενέργεια (Οργανισμός Ενέργειας της Δανίας, 2012), η Πορτογαλία που παράγει το 18% (Μηνιαίες στατιστικές - ΕΕΑ 2012) και η Ισπανία που παράγει το 16%.

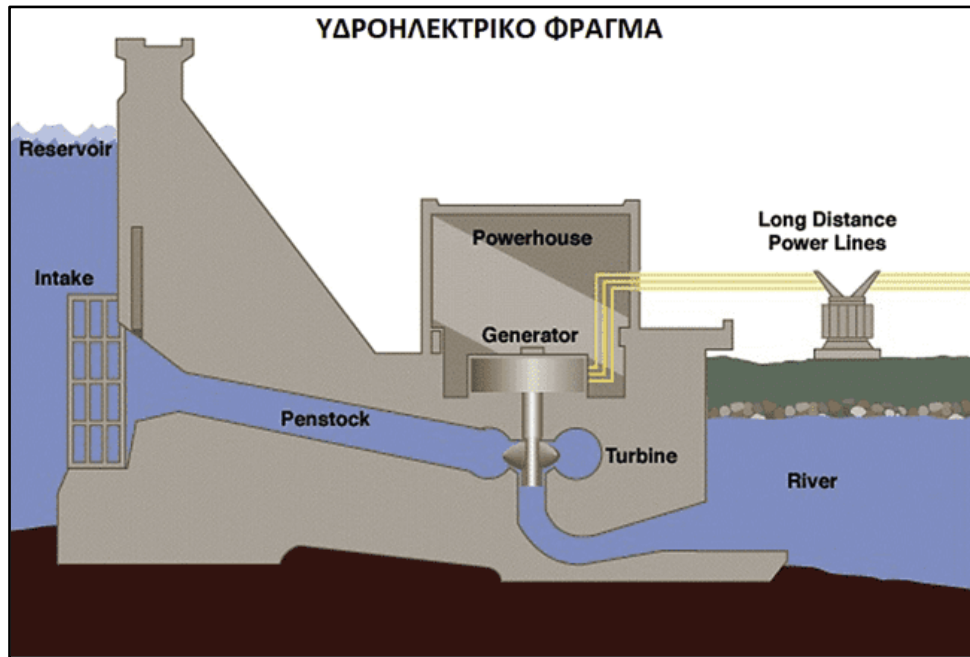
Η αιολική ενέργεια, ως εναλλακτική λύση στα ορυκτά καύσιμα, είναι άφθονη, ανανεώσιμη, ευρέως διανεμημένη, καθαρή, δεν παράγει εκπομπές αερίων θερμοκηπίου κατά την παραγωγή της και χρησιμοποιεί σχετικά μικρή έκταση γης. Το συνολικό κόστος λειτουργίας ανά μονάδα παραγόμενης ενέργειας είναι παρόμοιο με το κόστος των νέων εγκαταστάσεων άνθρακα και φυσικού αερίου. Η κατασκευή αιολικών πάρκων δεν είναι πάντα ευπρόσδεκτη, αλλά οποιεσδήποτε επιπτώσεις στο περιβάλλον από την αιολική ενέργεια είναι γενικά πολύ λιγότερες από εκείνες οποιασδήποτε άλλης πηγής ενέργειας (N. El Bassam, 2021).



Σχήμα 1.4: Ένας μεγάλος αριθμός ανεμογεννητριών σχηματίζουν ένα αιολικό πάρκο στο Μαρόκο (Πηγή: Afrik21)

1.4 Υδροηλεκτρική ενέργεια

Η υδροηλεκτρική ή υδροκινητική ενέργεια είναι η ενέργεια που προέρχεται από τη δύναμη της πτώσης του νερού, η οποία στη συνέχεια αξιοποιείται για χρήσιμους σκοπούς. Για χιλιάδες χρόνια, η υδροκινητική ενέργεια χρησιμοποιήθηκε για την άρδευση και τη λειτουργία διάφορων μηχανικών συσκευών, όπως νερόμυλοι, πριονιστήρια, υφαντουργικοί μύλοι, γερανοί αποβάθρας και οικιακοί ανελκυστήρες. Τον τελευταίο αιώνα, ο όρος άρχισε να σχετίζεται με τη σύγχρονη ανάπτυξη της υδροηλεκτρικής ενέργειας. Αυτή η ενέργεια μπορεί να μεταφερθεί σε μεγάλες αποστάσεις, από τον τόπο παραγωγής στον τόπο κατανάλωσης. Η υδροηλεκτρική ενέργεια είναι ο όρος που αναφέρεται στην ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από την υδροκινητική ενέργεια και ουσιαστικά αποτελεί την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω της χρήσης της βαρυτικής δύναμης του νερού που πέφτει ή που ρέει. Είναι η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη μορφή ανανεώσιμης ενέργειας και αντιπροσωπεύει το 16% της παγκόσμιας κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Το 2010 παρήχθησαν 3.427 TWh ηλεκτρικής ενέργειας και η παραγωγή συνεχίζει με τον ίδιο ταχύ ρυθμό αύξησης που παρατηρήθηκε μεταξύ του 2003 και του 2009. Η υδροηλεκτρική ενέργεια παράγεται σε 150 διαφορετικές χώρες, με την ασιατική ήπειρο να παράγει το 32% της παγκόσμιας υδροηλεκτρικής ενέργειας το 2010. Η Κίνα είναι ο μεγαλύτερος παραγωγός υδροηλεκτρικής ενέργειας, με 721 TWh το 2010, μέγεθος το οποίο αντιπροσωπεύει περίπου το 17% της οικιακής χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας. Παγκοσμίως, υπάρχουν αυτή τη στιγμή τρεις μονάδες υδροηλεκτρικής ενέργειας μεγαλύτερες από 10 GW: το φράγμα των Τριών Φαραγγιών στην Κίνα, το φράγμα Itaipu στη Βραζιλία και το φράγμα Guri στη Βενεζουέλα (Mohamed T., 2021).



Σχήμα 1.5: Αρχή λειτουργίας της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από την υδροηλεκτρική (Πηγή: Mohamed T., 2021)

1.5 Γεωθερμική ενέργεια

Η γεωθερμική ενέργεια είναι η θερμική ενέργεια που παράγεται και αποθηκεύεται στη Γη και είναι αυτή που καθορίζει τη θερμοκρασία της ύλης. Η γεωθερμική ενέργεια της Γης προέρχεται από τον αρχικό σχηματισμό του πλανήτη σε ποσοστό 20% και από τη ραδιενεργή διάσπαση των ορυκτών σε ποσοστό 80%. Η γεωθερμική βαθμίδα, η οποία είναι η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του πυρήνα του πλανήτη και της επιφάνειάς του, οδηγεί μια συνεχή αγωγή θερμικής ενέργειας με τη μορφή θερμότητας από τον πυρήνα προς την επιφάνεια. Η θερμότητα που χρησιμοποιείται για τη γεωθερμική ενέργεια μπορεί να αποθηκευτεί βαθιά μέσα στη Γη, μέχρι τον πυρήνα της, ο οποίος βρίσκεται σε βάθος 4.000 μιλίων. Στον πυρήνα, οι θερμοκρασίες μπορεί να φτάσουν πάνω από 5.000 °C. Η θερμότητα μεταφέρεται από τον πυρήνα στα γύρω πετρώματα και ο συνδυασμός της εξαιρετικά υψηλής θερμοκρασίας και πίεσης προκαλεί την τήξη ορισμένων πετρωμάτων, τα οποία είναι συνήθως γνωστά ως μάγμα. Το μάγμα μεταφέρεται προς την επιφάνεια, αφού είναι ελαφρύτερο από το συμπαγές πέτρωμα, και θερμαίνει στη συνέχεια τα πετρώματα και το νερό στο φλοιό της Γης, μερικές φορές έως και τους 370 °C.

Μέσω των θερμών πηγών, η γεωθερμική ενέργεια έχει χρησιμοποιηθεί από τους παλαιολιθικούς χρόνους για λουτρά και από τους αρχαίους ρωμαϊκούς χρόνους για θέρμανση χώρων, αλλά είναι πλέον πιο γνωστή για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Σε όλο τον κόσμο, παράγονται περίπου 10.715 MW γεωθερμικής ενέργειας σε 24 διαφορετικές χώρες. Επιπλέον, 28 GW άμεσης γεωθερμικής ενέργειας έχουν εγκατασταθεί για τη θέρμανση χώρων, σπα, για βιομηχανικές διεργασίες, για αφαλάτωση και γεωργικές εφαρμογές. Η γεωθερμική ενέργεια είναι οικονομικά αποδοτική, αξιόπιστη, βιώσιμη και φιλική προς το περιβάλλον, αλλά ιστορικά έχει περιοριστεί σε περιοχές κοντά στα όρια των τεκτονικών πλακών. Ωστόσο, οι πρόσφατες τεχνολογικές εξελίξεις έχουν επεκτείνει αυτό το εύρος, ειδικά για εφαρμογές όπως η θέρμανση σπιτιών. Τα γεωθερμικά φρεάτια απελευθερώνουν αέρια θερμοκηπίου παγιδευμένα βαθιά μέσα στη Γη, αλλά αυτές οι εκπομπές είναι πολύ χαμηλότερες ανά μονάδα ενέργειας από εκείνες των ορυκτών καυσίμων. Επομένως, η γεωθερμική ενέργεια έχει τη δυνατότητα να συμβάλει στον μετριασμό της υπερθέρμανσης του πλανήτη.

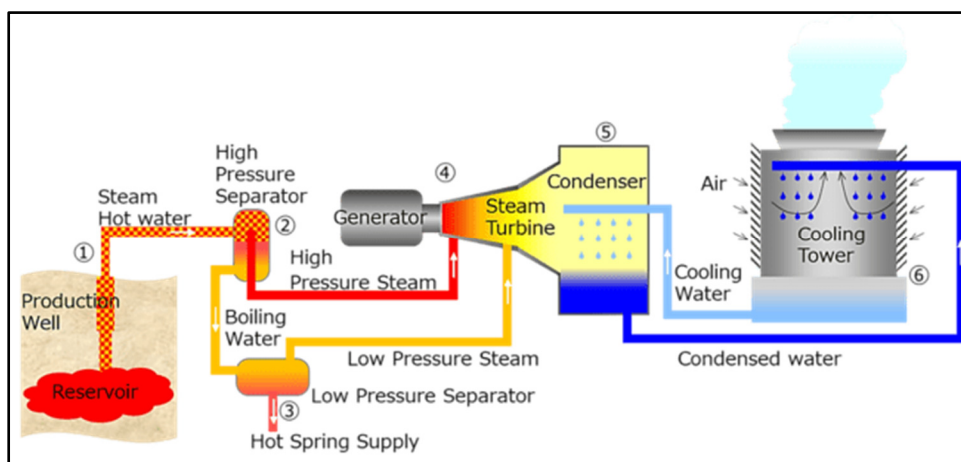


Σχήμα 1.6: Το γεωθερμικό εργοστάσιο παραγωγής ενέργειας Nesjavellir στην Ισλανδία (Πηγή: mannvit.com)

1.5.1 Γεωθερμική παραγωγή ηλεκτρισμού

Η γεωθερμική ενέργεια θερμαίνει το νερό που βρίσκεται παγιδευμένο σε υπόγειες δεξαμενές, οι οποίες μπορούν να αξιοποιηθούν για διάφορες χρήσεις, ανάλογα με τη θερμοκρασία του νερού. Η ενέργεια από τις δεξαμενές υψηλής θερμοκρασίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω των διαθέσιμων τεχνολογιών που περιλαμβάνουν μονάδες παραγωγής με ξηρό ατμό, μονάδες παραγωγής

ατμού μιας βαθμίδας και μονάδες παραγωγής δυαδικού κύκλου. Οι εκτιμήσεις για το δυναμικό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μέσω γεωθερμίας κυμαίνονται από 35 έως 2.000 GW. Η τρέχουσα εγκατεστημένη ισχύς είναι 10.715 μεγαβάτ (MW), με τη μεγαλύτερη ισχύ να βρίσκεται στις Ηνωμένες Πολιτείες (3.086 MW), τις Φιλιππίνες και την Ινδονησία. Η γεωθερμική ενέργεια θεωρείται βιώσιμη μορφή ενέργειας επειδή η θερμότητα που χρησιμοποιείται είναι μικρή σε σύγκριση με το θερμικό περιεχόμενο της Γης. Η ένταση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου των υπάρχοντων γεωθερμικών ηλεκτρικών σταθμών είναι κατά μέσο όρο 122 kg CO₂ /MWh ηλεκτρικής ενέργειας, μέγεθος που αντιστοιχεί περίπου στο ένα όγδοο μιας συμβατικής μονάδας με άνθρακα.



Σχήμα 1.7: Βασική δομή μονάδας ηλεκτροπαραγωγής από γεωθερμική ενέργεια
(Πηγή: Toshiba Energy)

1.6 Ενέργεια από βιομάζα

Από όλες τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας η μεγαλύτερη συνεισφορά, ειδικά σε βραχυπρόθεσμο χρονικό ορίζοντα, αναμένεται να προέλθει από τη βιομάζα. Τα καύσιμα που προέρχονται από ενεργειακές καλλιέργειες δεν είναι μόνο δυνητικά ανανεώσιμα, αλλά μοιάζουν επίσης αρκετά ως προς την προέλευσή τους με τα ορυκτά καύσιμα, που ξεκίνησαν επίσης ως βιομάζα, για να παρέχουν άμεση υποκατάσταση. Αποθηκεύονται και μεταφέρονται εύκολα, είναι προσιτά οικονομικά και μπορούν να μετατραπούν σε μια μεγάλη ποικιλία ενεργειακών φορέων χρησιμοποιώντας υπάρχουσες και νέες τεχνολογίες μετατροπής, έχοντας έτσι τη δυνατότητα να αποτελέσουν σημαντικές νέες πηγές ενέργειας στον 21ο αιώνα.

Η βιομάζα ως ενεργειακή πρώτη ύλη εμφανίζει τις παρακάτω ιδιότητες:

- Αποθηκεύεται εύκολα και με ασφάλεια
- Μεταφέρεται εύκολα και με ασφάλεια
- Μπορεί να μετατραπεί σε διάφορους ενεργειακούς φορείς
- Είναι εύκολα διαθέσιμη και οικονομικά προσιτή
- Εμφανίζει πάντοτε θετικό ενεργειακό ισοζύγιο

Η Κίνα και η Ινδία είναι οι μεγαλύτεροι παραγωγοί ενέργειας από βιομάζα παγκοσμίως. Αν και η μεγαλύτερη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από βιομάζα πραγματοποιείται σε χώρες του ΟΟΣΑ, αρκετές αναπτυσσόμενες χώρες, ιδίως η Ινδία, η Βραζιλία, αλλά και άλλες χώρες της Λατινικής Αμερικής / Καραϊβικής και της Αφρικής, παράγουν μεγάλες ποσότητες ηλεκτρικής ενέργειας από την καύση υποπροϊόντων που προέρχονται από την αλκοολική ζύμωση. Μεταξύ των αναπτυσσόμενων χωρών, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας μικρής κλίμακας από γεωργικά απόβλητα είναι κοινή, για παράδειγμα από φλοιό ρυζιού ή καρύδας.

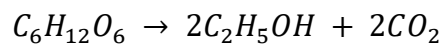
1.6.1 Παραγωγή βιοαερίου

Η παραγωγή βιοαερίου είναι μια στρατηγική για την παραγωγή ενέργειας από βιομάζα η οποία είναι ιδιαίτερα φιλική προς το περιβάλλον, καθώς τα υπολείμματα της διεργασίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως εδαφοβελτιωτικό πρόσθετο. Το βιοαέριο παράγεται από την αναερόβια βιολογική διάσπαση της οργανικής ύλης. Αποτελείται κυρίως από μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε λέβητες για την παραγωγή θερμότητας. Μέσω κατάλληλης διαδικασίας καθαρισμού, το βιοαέριο αυξάνει σημαντικά το ποσοστό του σε μεθάνιο με αποτέλεσμα το βιομεθάνιο πλέον να μπορεί να χρησιμοποιηθεί απευθείας σε κινητήρες εσωτερικής καύσης ή για την παραγωγή ενέργειας. Η παραγωγή βιοαερίου από τοπικά γεωργικά απόβλητα, απόβλητα σφαγείων και γαλακτοκομικά υπολείμματα μπορεί να οδηγήσει σε μείωση του ενεργειακού κόστους των συγκεκριμένων βιομηχανιών καθώς και να αποτελέσει μια επιπλέον πηγή εσόδων λόγω της οικονομικής εκμετάλλευσης του παραγόμενου εδαφοβελτιωτικού και της μείωσης του κόστους για τη διαχείριση των αποβλήτων (Lois et al, 2014).

Η αναερόβια χώνευση είναι μια φυσική βιολογική διαδικασία όπου συγκεκριμένα είδη βακτηρίων επιφέρουν τη διάλυση της οργανικής ύλης, όταν αυτή βρίσκεται σε περιβάλλον με λίγο ή καθόλου οξυγόνο. Έχει αποδειχθεί ότι η διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης μπορεί να χωριστεί σε τρία βασικά στάδια: υδρόλυση, οξινογένεση και

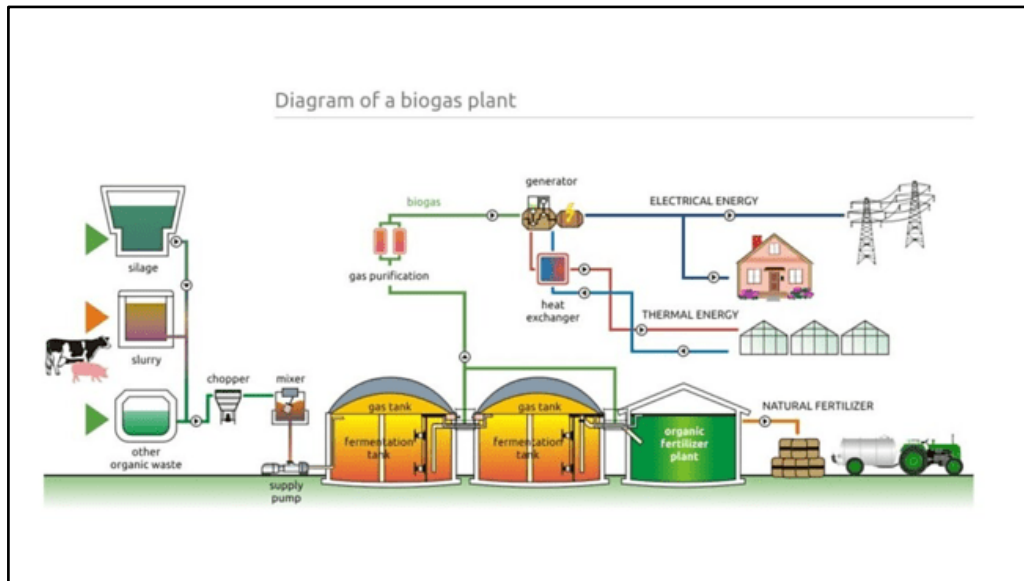
μεθανογένεση. Η αναερόβια χώνευση είναι σε θέση να μειώσει σημαντικά τη συνολική μάζα των αποβλήτων και να παράγει στερεό ή υγρό λίπασμα ταυτόχρονα με σημαντικά ποσά ενέργειας. Μπορεί να διατηρηθεί σε ψυχρόφιλες συνθήκες, δηλαδή μεταξύ 12 - 16 °C, σε μεσόφιλες συνθήκες, δηλαδή μεταξύ 35 - 37 °C, ή σε θερμόφιλες συνθήκες, δηλαδή μεταξύ 55 - 60 °C π. Τα μειονεκτήματα της θερμόφιλης αναερόβιας χώνευσης είναι η μειωμένη σταθερότητα της διαδικασίας και η απαίτηση για μεγάλες ποσότητες ενέργειας, ωστόσο η θερμική καταστροφή των παθογόνων βακτηρίων με την επιβολή αυξημένης θερμοκρασίας θεωρείται σημαντικό πλεονέκτημα. Κατά το στάδιο της υδρόλυσης, κατάλληλα βακτήρια μετατρέπουν την αδιάλυτη σύνθετη οργανική ύλη, όπως την κυτταρίνη, σε διαλυτά μόρια όπως σάκχαρα, αμινοξέα και λιπαρά οξέα. Έχει αποδειχθεί ότι η εφαρμογή χημικών ουσιών για την ενίσχυση του πρώτου σταδίου οδηγεί σε μικρότερο χρόνο χώνευσης και παρέχει υψηλότερη απόδοση μεθανίου.

Στο δεύτερο στάδιο, τα ακετογόνα βακτήρια, μετατρέπουν τα προϊόντα της πρώτης φάσης σε απλά οργανικά οξέα, διοξείδιο του άνθρακα και υδρογόνο. Τα κύρια οξέα που παράγονται είναι το οξικό οξύ (CH_3COOH), το προπιονικό οξύ ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}$), το βουτυρικό οξύ ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$) και η αιθανόλη ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$). Τα προϊόντα που σχηματίζονται κατά την ακετογένεση οφείλονται σε έναν αριθμό διαφορετικών μικροοργανισμών και η αντίδραση που πραγματοποιείται εμφανίζεται παρακάτω:



Τέλος, στο τρίτο στάδιο, το μεθάνιο σχηματίζεται από βακτήρια που ονομάζονται μεθανογενή με δύο τρόπους: είτε μέσω της διάσπασης μορίων οξικού οξέος για την παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα και μεθανίου, ή με αναγωγή του διοξειδίου του άνθρακα με υδρογόνο.

Το βιοαέριο που προκύπτει από την αναερόβια χώνευση περιέχει μεθάνιο σε ποσοστό 55 - 70%, διοξείδιο του άνθρακα (30 - 45%), υδρογόνο, υδρόθειο, αμμωνία, σιλοξάνια και άλλες ουσίες - σε συνολικό ποσοστό <5% - που ενδέχεται να εμποδίσουν τη διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης ή να προκαλέσουν προβλήματα διάβρωσης στους αγωγούς μεταφοράς ή στο δίκτυο διανομής. Υπάρχουν σημαντικές τεχνολογίες για τον καθαρισμό του βιοαερίου, ιδίως για την απομάκρυνση του υδρόθειου, της αμμωνίας και των σιλοξανίων. Στο τέλος της διαδικασίας καθαρισμού, το βιοαέριο περιέχει ακόμα υδρογόνο, διοξείδιο του άνθρακα και ίχνη αμμωνίας (<100 ppm) που πρέπει να απομακρυνθούν για να επιτευχθεί η παραγωγή καθαρού βιομεθανίου.



Σχήμα 1.8: Εργοστάσιο παραγωγής βιοαερίου (πηγή Amarex)

Η διαδικασία καθαρισμού του βιοαερίου απαιτεί μια σειρά σταδίων για την αφαίρεση της υγρασίας, του υδρόθειου και της αμμωνίας και κυρίως του διοξειδίου του άνθρακα. Η διαδικασία καθαρισμού του βιοαερίου είναι απαραίτητη για να επιτευχθούν τα επίπεδα καθαρότητας που απαιτούνται από τη νομοθεσία των διαφόρων κρατών και από τα διεθνή πρότυπα. Διάφορες τεχνολογίες για την αναβάθμιση του βιοαερίου είναι εμπορικά διαθέσιμες και άλλες βρίσκονται σε πιλοτικό επίπεδο (Molino et al., 2012).

1.6.2 Υπόλειμμα αναερόβιας χώνευσης ως εδαφοβελτιωτικό

Η διαδικασία παραγωγής βιοαερίου είναι ιδιαίτερα σημαντική, καθώς πέρα της παραγόμενης ενέργειας υπάρχει η δυνατότητα αξιοποίησης των υπολειμμάτων της αναερόβιας χώνευσης ως φυσικό εδαφοβελτιωτικό, ικανό να ελαττώσει τη χρήση των λιπασμάτων στον αγροτικό τομέα.

Το χωνεμένο υπόλειμμα ορίζεται ως το υγρό υπόλειμμα που απομένει από την αναερόβια αποσύνθεση ζωικών και φυτικών απορριμμάτων και περιέχει σημαντικές ποσότητες ορυκτών στοιχείων, όπως άζωτο, φώσφορο και κάλιο. Όσον αφορά την ταχύτητα δράσης, δηλαδή την ταχύτητα με την οποία πραγματοποιείται η απορρόφηση των στοιχείων από τα φυτά, το χωνεμένο υπόλειμμα προσομοιάζει στα ανόργανα λιπάσματα, καθώς τα στοιχεία N, P και K είναι εύκολα διαθέσιμα για τα φυτά. Η βασική κατεύθυνση για τη διαχείριση του χωνεμένου υπολείμματος, αφού ληφθούν υπόψη οι

φυσικοχημικές του ιδιότητες, θα πρέπει να είναι η χρήση της ως βιολογικό λίπασμα στη θέση των ορυκτών λιπασμάτων. Υπάρχει έτσι διπλό όφελος, καθώς μια εγκατάσταση βιοαερίου που βρίσκεται σε γεωργικές περιοχές μπορεί να συλλέγει οργανικά απόβλητα από την τοπική παραγωγή και ταυτόχρονα οι αγρότες των περιοχών αυτών, μπορούν να χρησιμοποιούν το χωνεμένο υπόλειμμα από τα τοπικά εργοστάσια βιοαερίου ως λίπασμα, στην προσπάθεια τους να διασφαλίσουν την ποιότητα του εδάφους στις καλλιέργειες τους. Το χωνεμένο υπόλειμμα που χρησιμοποιείται ως λίπασμα βελτιώνει τη γονιμότητα του εδάφους, την ποιότητα των φυτών και το ανοσοποιητικό τους σύστημα απέναντι στους βιοτικούς και αβιοτικούς παράγοντες, βελτιώνοντας έτσι την ποιότητα και την απόδοση των φυτών. Η χρήση του χωνεμένου υπολείμματος ως λιπάσματος αυξάνει την περιεκτικότητα σε ιχνοστοιχεία στο έδαφος ενώ δεν έχουν εντοπιστεί αρνητικές επιπτώσεις που μπορεί να είχε το υπόλειμμα στο έδαφος.

Υπάρχουν αρκετές τεχνικές εφαρμογής του χωνεμένου υπολείμματος στην επιφάνεια του εδάφους. Η επιλογή εξαρτάται κυρίως από τη μέθοδο επεξεργασίας του χωνεμένου υπολείμματος και τον τύπο της καλλιέργειας. Τα μπεκ ψεκασμού υγρού υπολείμματος χρησιμοποιούνται συνήθως για την επιφανειακή εφαρμογή χωνεμένου υπολείμματος. Πολλές φορές συνιστώνται περισσότερες χρήσεις του χωνεμένου υπολείμματος εκτός από την άμεση εφαρμογή του στα χωράφια, όπως για παράδειγμα η προσθήκη του ως θρεπτικό συστατικό λιπάσματος (Koszela M., Lorencowicza E., 2015).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Η ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

2.1 Εισαγωγή

Η ηλεκτρομαγνητική ενέργεια - ηλιακή ακτινοβολία - που εκπέμπεται από τον ήλιο είναι η βάση για την ανάπτυξη και την επιβίωση όλων των έμβιων οργανισμών στη Γη. Αν και μόνο το $1/10^9$ της συνολικής ηλιακής ακτινοβολίας φθάνει τελικά στην επιφάνεια της Γης, η ενέργεια αυτή ανέρχεται σε περίπου 420 τρισεκατομμύρια kWh και είναι αρκετές χιλιάδες φορές μεγαλύτερη από όλη την ενέργεια που χρησιμοποιεί η ανθρωπότητα – υπολογίζεται ότι Ήλιος παράγει εντός μίας ώρας το ποσό ενέργειας που απαιτεί η ανθρωπότητα για ένα έτος. Η ηλιακή ενέργεια μπορεί να αξιοποιηθεί είτε συλλαμβάνοντας τη θερμότητα του ήλιου, μέσω ηλιακών θερμαντήρων ή την ηλιακή ακτινοβολία μέσω φωτοβολταϊκών στοιχείων. Υπολογίζεται ότι ένα τετραγωνικό χιλιόμετρο της γήινης επιφάνειας δέχεται περίπου 4,000 kW ηλιακής ενέργειας κάθε μέρα, ενέργεια αρκετή για να καλύψει τις ανάγκες μιας μεσαίου μεγέθους πόλης.

Οι τεχνολογίες που σχετίζονται με την ηλιακή ενέργεια χαρακτηρίζονται είτε ως παθητικές είτε ως ενεργητικές, ανάλογα με τον τρόπο που συλλαμβάνεται, μετατρέπεται και διανέμεται η ηλιακή ακτινοβολία. Οι ενεργητικές ηλιακές τεχνολογίες περιλαμβάνουν τη χρήση φωτοβολταϊκών πάνελ και ηλιακών θερμικών συλλεκτών για την αξιοποίηση της ενέργειας. Οι παθητικές ηλιακές τεχνολογίες περιλαμβάνουν τον προσανατολισμό ενός κτιρίου προς τον ήλιο, την επιλογή υλικών με ευνοϊκές ιδιότητες μεταφοράς θερμότητας ή διάχυσης του φωτός και τον κατάλληλο σχεδιασμό των εσωτερικών χώρων ώστε να πραγματοποιείται φυσική κυκλοφορία του αέρα. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω του ήλιου βασίζεται στη χρήση θερμικών κινητήρων και φωτοβολταϊκών στοιχείων. Οι χρήσεις της ηλιακής ενέργειας είναι πολλές και διαφορετικές - ένας μικρός κατάλογος των εφαρμογών της ηλιακής ενέργειας περιλαμβάνει τη θέρμανση και ψύξη εσωτερικών χώρων μέσω ηλιακής αρχιτεκτονικής, την παραγωγή πόσιμου νερού μέσω απόσταξης και απολύμανσης, την παραγωγή ζεστού νερού, και την παραγωγή θερμότητας για διεργασίες υψηλής θερμοκρασίας για βιομηχανικούς σκοπούς. Για την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας, η πιο συνηθισμένη μέθοδος είναι η χρήση ηλιακών συλλεκτών ή ηλιακών πάνελ, όπου με αυτό τον τρόπο η ηλιακή ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική. Το φως του ήλιου μπορεί να μετατραπεί απευθείας σε ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιώντας φωτοβολταϊκά στοιχεία (Photovoltaics - PV) ή έμμεσα μέσω συμπυκνωμένης ηλιακής ενέργειας (Concentrated Solar Power - CSP), η οποία

χρησιμοποιεί την ενέργεια του ήλιου για το βρασμό του νερό, το οποίο στη συνέχεια χρησιμοποιείται για την παροχή ενέργειας. Υπάρχουν επίσης και άλλες τεχνολογίες, όπως κάτοπτρα κινητήρα Stirling, τα οποία χρησιμοποιούν έναν κινητήρα βασισμένο σε κύκλο Stirling για την τροφοδοσία μιας γεννήτριας (El Bassam N., 2013).

2.2 Η ιστορία της ηλιακής ενέργειας

Αν και υπάρχει η πεποίθηση ότι η χρήση της ηλιακής ενέργειας είναι ένα φαινόμενο της σύγχρονης εποχής, στην πραγματικότητα αυτό δεν ισχύει. Η χρήση της ηλιακής ενέργειας σε διάφορες μορφές υπήρξε από την αρχαιότητα, καθώς για αιώνες οι άνθρωποι χρησιμοποιούν τη δύναμη του ήλιου με διάφορους τρόπους. Ωστόσο, μόλις το 1800 πραγματοποιήθηκε μια επιστημονική ανακάλυψη που επέτρεψε την πλήρη αξιοποίηση αυτής της ελεύθερης και σε μεγάλο βαθμό άφθονης πηγής καυσίμου. Η ανακάλυψη αυτή πραγματοποιήθηκε από το Γάλλο φυσικό Edmund Becquerel και περιγράφεται σε μια δημοσίευση του 1839 σχετικά με ένα πείραμα με μπαταρία υγρού ηλεκτρολύτη.

Κατά τη διάρκεια της έρευνάς του, ο Becquerel ανακάλυψε ότι όταν το φως του ήλιου προσπίπτει στα μεταλλικά ηλεκτρόδια της μπαταρίας, η τάση εξόδου αυξάνεται. Αντίστοιχα, οι Adams και Day δημοσίευσαν ένα άρθρο σχετικά με την επίδραση του ηλιακού φωτός στο σελήνιο, και αργότερα το 1883, ο ηλεκτρολόγος Charles Edgar Fritts από τη Νέα Υόρκη σχεδίασε ένα πρωτότυπο φωτοβολταϊκό στοιχείο, που αν και ήταν παρόμοιο με τα τυπικά στοιχεία που χρησιμοποιούνται σήμερα, είχε πού χαμηλή απόδοση (1-2%). Η απόδοση των φωτοβολταϊκών στοιχείων υπολογίζεται μετρώντας την ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται προς το σύνολο της ηλιακής ενέργειας που προσπίπτει στην επιφάνεια του στοιχείου. Το πρωτότυπο του Fritts διέθετε πολλά από τα χαρακτηριστικά των σημερινών φωτοβολταϊκών στοιχείων - είχε ένα γυάλινο κάλυμμα κάτω από το οποίο ήταν μια μάζα λεπτών καλωδίων χρυσού ανάμεσα σε γυαλί και ένα λεπτό στρώμα σεληνίου. Το 1921 το βραβείο Νόμπελ φυσικής απονεμήθηκε στον Άλμπερτ Αϊνστάιν, για την ερμηνεία του φωτοηλεκτρικού φαινομένου – το φυσικό φαινόμενο πίσω από τη θεωρητική ερμηνεία της λειτουργίας ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου.

Κατά το δεύτερο μισό του εικοστού αιώνα μερικά ιστορικά γεγονότα βοήθησαν στην επιτάχυνση της ανάπτυξης των φωτοβολταϊκών στοιχείων. Οι ερευνητές των Bell Labs στην Αμερική ήταν υπεύθυνοι για μια από τις μεγαλύτερες ανακαλύψεις, την ανακάλυψη των ημιαγωγών. Αυτή η ανακάλυψη υπήρξε η αρχή για τη μετατροπή της βιομηχανίας

ηλιακής ενέργειας σε αυτό που βλέπουμε σήμερα. Χάρη στους ημιαγωγούς, υπήρξε για πρώτη φορά η δυνατότητα για παραγωγή φωτοβολταϊκών στοιχείων με απόδοση άνω του 20%. Ωστόσο, ακόμη και μετά από αυτή την πρόοδο, το προϊόν ήταν πολύ ακριβό για επίγεια χρήση - αποτέλεσε όμως ιδανική λύση για εφαρμογές διαστημικής ισχύος. Το πρώτο από τα πολλά φωτοβολταϊκά στοιχεία για την τροφοδοσία διαστημικών οχημάτων τοποθετήθηκε στο δορυφόρο Vanguard I το 1958. Η ενεργειακή κρίση του 1973, έστρεψε τους ερευνητές και τις κυβερνήσεις στην αναζήτηση εναλλακτικών μορφών ενέργειας και η ηλιακή ενέργεια αναπτύχθηκε ακόμα περισσότερο. Η ηλιακή ενέργεια είναι πλέον μια οικονομικά προσιτή μορφή ενέργειας για την ικανοποίηση των συνεχώς αυξανόμενων ενεργειακών απαιτήσεων, έχοντας επίσης υψηλότερη απόδοση και αποτελεί μια καθαρή εναλλακτική λύση για τα ορυκτά καύσιμα.



Σχήμα 2.1: Ο Διεθνής Διαστημικός Σταθμός χρησιμοποιεί φωτοβολταϊκά στοιχεία για την παραγωγή ενέργειας. Η συνολική δυναμικότητα των στοιχείων είναι 120kW (Πηγή: ESA)

Παρακάτω εμφανίζεται μια σύντομη ιστορική αναδρομή των πιο σημαντικών επιτευγμάτων στην ιστορία των φωτοβολταϊκών στοιχείων (L.A. Lamont, 2012).

Πίνακας 2.1: Τα σημαντικότερα επιτεύγματα στην ιστορία των φωτοβολταϊκών στοιχείων (Πηγή: L.A. Lamont, 2012)

<i>Έτος</i>		<i>Επίτευγμα</i>
1839	Edmond Becquerel	Παρατήρηση του φωτοηλεκτρικού φαινομένου – δηλαδή της μετατροπής του φωτός σε ηλεκτρικό ρεύμα - κατά τη διάρκεια ενός πειράματος με μεταλλικά ηλεκτρόδια και υγρό ηλεκτρολύτη.
1883	Charles Fritts	Παραγωγή του πρώτου φωτοβολταϊκού κελιού σεληνίου με απόδοση 1-2% περίπου.

1921	Albert Einstein	Απονομή του βραβείου Νόμπελ για την εργασία σχετικά με την ερμηνεία του φωτοηλεκτρικού φαινομένου που εκδόθηκε το 1904.
1954	Bell Laboratory	Παραγωγή φωτοβολταϊκού στοιχείου με χρήση πυριτίου και απόδοση 4,5%. Το στοιχείο αυτό παράχθηκε ύστερα από πειράματα που πραγματοποιήθηκαν σχετικά με την επίδραση του φωτοηλεκτρικού φαινομένου στο πυρίτιο.
1957	Hoffman Electronics	Η απόδοση του φωτοβολταϊκού στοιχείου αυξήθηκε στο 8%.
1958	US Signal Corps	Vanguard I: Ο πρώτος δορυφόρος που υποστήριζε την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκά στοιχεία σχεδιάστηκε και λειτούργησε για 8 χρόνια.
1963	Ιαπωνία	Η μεγαλύτερη συστοιχία φωτοβολταϊκών στοιχείων στον κόσμο, συνολικής ισχύος 242W εγκαταστάθηκε για την τροφοδοσία ενός φάρου.
1981	Solar Challenger	Το παρθενικό ταξίδι του πρώτου ηλιακού αεροπλάνου.
2005	Παγκοσμίως	Επέκταση της ηλιακής ενέργειας σε 55 χώρες.
2006	Παγκοσμίως	Η συνολική ισχύς των εγκατεστημένων φωτοβολταϊκών μονάδων αγγίζει τα 7 GW.
2010	Παγκοσμίως	Η συνολική ισχύς των εγκατεστημένων φωτοβολταϊκών μονάδων αγγίζει τα 40 GW.
2011	Παγκοσμίως	Επέκταση της ηλιακής ενέργειας σε 119 χώρες.
2011	Κίνα	Παράγει τα δύο τρίτα των φωτοβολταϊκών μονάδων που κατασκευάζονται παγκοσμίως.

2.3 Φωτοβολταϊκά στοιχεία

Φωτοβολταϊκό στοιχείο ονομάζεται ένα σύστημα που παράγει ηλεκτρικό ρεύμα μέσω του φωτοβολταϊκού φαινομένου. Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο μπορεί να οριστεί ως η δημιουργία ηλεκτρικής τάσης μεταξύ δύο ηλεκτροδίων, συνδεδεμένων σε ένα στερεό ή υγρό ηλεκτρολύτη, που προκαλείται όταν προσπίπτει φωτεινή ενέργεια στο σύστημα. Σχεδόν όλα τα φωτοβολταϊκά στοιχεία διαθέτουν δίοδο p-n στην οποία εφαρμόζεται τάση. Η οικονομία και η απόδοση ενός ηλιακού φωτοβολταϊκού στοιχείου εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τα υλικά κατασκευής του. Έχουν πραγματοποιηθεί αρκετές έρευνες σε αυτόν τον τομέα, ώστε να βρεθεί το πιο αποδοτικό και οικονομικά βιώσιμο υλικό για χρήση σε φωτοβολταϊκά στοιχεία. Οι απαιτήσεις για το ιδανικό υλικό ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου εμφανίζονται παρακάτω:

- Το υλικό που χρησιμοποιείται για την κατασκευή των φωτοβολταϊκών στοιχείων θα πρέπει να έχει ενεργειακό διάκενο (band gap) μεταξύ 1,1 και 1,7 eV.
- Το υλικό θα πρέπει να είναι ημιαγωγός ορθής απαγορευμένης ζώνης.
- Το υλικό θα πρέπει να είναι άμεσα διαθέσιμο και μη τοξικό.
- Το υλικό θα πρέπει να είναι κατάλληλο για μαζική παραγωγή.
- Το υλικό θα πρέπει να έχει υψηλό συντελεστή απόδοσης.
- Το υλικό θα πρέπει να είναι μακροπρόθεσμα σταθερό.

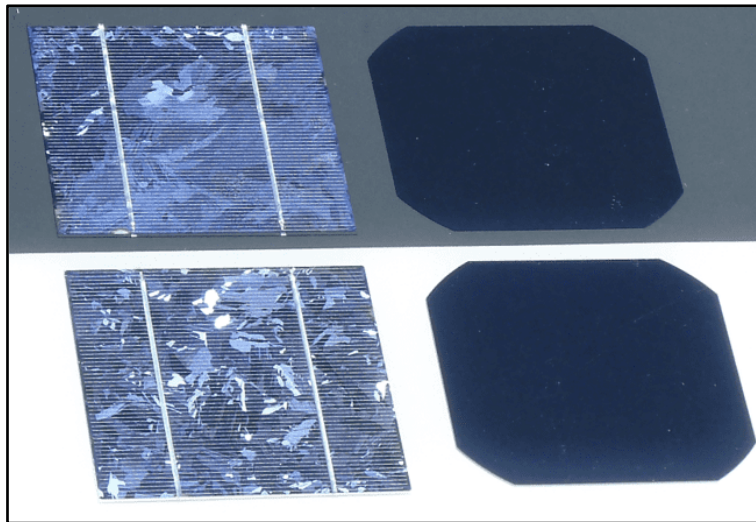
Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις μεγάλες κατηγορίες:

- Στοιχεία πρώτης γενιάς,
- Στοιχεία δεύτερης γενιάς και
- Στοιχεία τρίτης γενιάς

2.3.1 Φωτοβολταϊκά στοιχεία πρώτης γενιάς

Τα στοιχεία που αποτελούνται από κρυσταλλικό πυρίτιο ονομάζονται στοιχεία πρώτης γενιάς. Αυτά τα στοιχεία κατασκευάζονται από μονοκρυσταλλικό ή πολυκρυσταλλικό πυρίτιο με υψηλή κοκκομετρία και αποτελούν τον πλέον κυρίαρχο τύπο φωτοβολταϊκών στοιχείων στην αγορά. Τα μονοκρυσταλλικά στοιχεία είναι κατασκευασμένα από διόδους p-n πυριτίου (Si p – n) και πλέον επιτυγχάνουν απόδοση που πλησιάζει το 25%. Τα πολυκρυσταλλικά στοιχεία κατασκευάζονται με τήξη του πυριτίου και στη συνέχεια στερεοποίησή του, με σκοπό τον προσανατολισμό των κρυστάλλων σε σταθερή κατεύθυνση έτσι ώστε να παραχθεί πολυκρυσταλλικό πυρίτιο, το οποίο στη συνέχεια τεμαχίζεται σε λεπτά στρώματα. Η απόδοση των πολυκρυσταλλικών στοιχείων είναι περίπου 20,4%. Αν και η απόδοση των πολυκρυσταλλικών στοιχείων πυριτίου είναι ελαφρώς μικρότερη από εκείνη των μονοκρυσταλλικών στοιχείων, αυτό το έλλειμμα στην απόδοση αντισταθμίζεται από το χαμηλότερο κόστος παραγωγής τους και το μειωμένο αριθμό ελαττωμάτων στη δομή κρυστάλλου. Επιπλέον, λόγω της ανάπτυξης μιας νέας τεχνολογίας που ονομάζεται κορδέλα πυριτίου, υπολογίζεται ότι το κόστος παραγωγής των στοιχείων πρώτης γενιάς θα μειωθεί ακόμη περισσότερο. Γίνονται σημαντικές προσπάθειες για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας των στοιχείων πρώτης γενιάς, όπως για παράδειγμα η παραγωγή στοιχείων εκπομπής μέσω περιέλιξης (EWT - Emitter wrap-through). Σε αυτά τα στοιχεία, σχηματίζονται οπές με χρήση λέιζερ στο μπροστινό και πίσω μέρος του στοιχείου με σκοπό την αύξηση της επιφάνειας του και κάτ'

επέκταση της απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας. Αυτός ο βελτιωμένος σχεδιασμός, αύξησε την απόδοση των στοιχείων και μείωσε το συνολικό κόστος παραγωγής. Γενικά, τα στοιχεία πρώτης γενιάς είναι πιο αποδοτικά σε χαμηλές θερμοκρασίες και απαιτούν μικρότερη επιφάνεια ανά μονάδα ισχύος. Ωστόσο, το κύριο μειονέκτημα αυτών των φωτοβολταϊκών στοιχείων είναι ότι η απόδοσή τους μειώνεται αισθητά σε υψηλότερες θερμοκρασίες.



Σχήμα 2.2: Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία πυριτίου είναι κατασκευασμένα είτε από πολυκρυσταλλικό (αριστερά) είτε από μονοκρυσταλλικό πυρίτιο (δεξιά).

(Πηγή: Klaus Mueller)

2.3.2 Φωτοβολταϊκά στοιχεία δεύτερης γενιάς

Τα στοιχεία λεπτής μεμβράνης αναφέρονται ως φωτοβολταϊκά στοιχεία δεύτερης γενιάς. Έχουν χαμηλότερο κόστος από τα στοιχεία πρώτης γενιάς επειδή απαιτούν μικρότερη ποσότητα πυριτίου - ωστόσο κατέχουν μικρότερο μερίδιο αγοράς λόγω της χαμηλότερης απόδοσής τους. Υπάρχουν διάφοροι τύποι στοιχείων λεπτής μεμβράνης - μεταξύ αυτών είναι τα φωτοβολταϊκά στοιχεία από άμορφο πυρίτιο (AS – Amorphous Silicon), τα οποία κατασκευάζονται ύστερα από την αποσύνθεση αερίου σιλανίου σε χημικό αντιδραστήρα πλάσματος και χημική εναπόθεση των στοιχείων σε κατάλληλο υπόστρωμα. Τα στοιχεία άμορφου πυριτίου μπορούν να παραχθούν με πολύ χαμηλό κόστος λόγω της μικρής ποσότητας πυριτίου που απαιτείται για την κατασκευή τους καθώς και της δυνατότητας παραγωγής τους σε κυλινδρικό ρολό. Ωστόσο, το κύριο μειονέκτημα αυτών των στοιχείων είναι η χαμηλή τους απόδοση - περίπου 10,1% - αλλά και η φθίνουσα απόδοση τους σε ηλεκτρική ισχύ με την πάροδο του χρόνου. Έχει

παρατηρηθεί ότι η αποτελεσματικότητα των στοιχείων άμορφου πυριτίου μειώνεται κατά περίπου 20% ύστερα από συνεχή χρήση για πολύ μεγάλο χρονικό διάστημα.

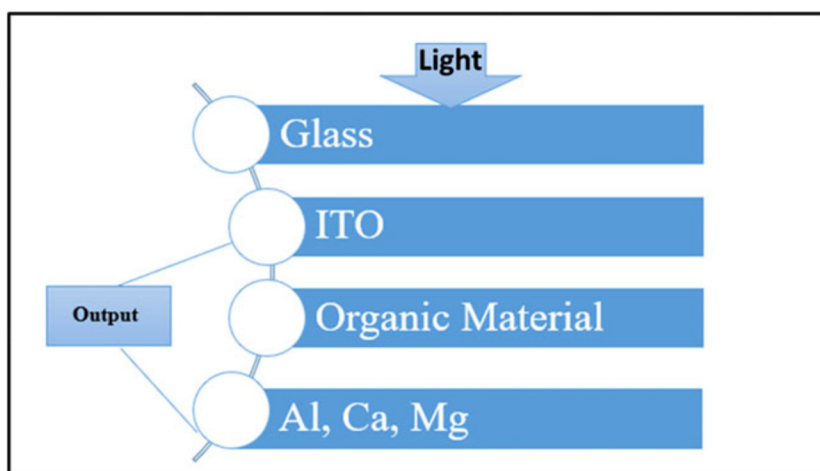
Ένας άλλος τύπος στοιχείων λεπτής μεμβράνης, τα φωτοβολταϊκά στοιχεία τελλουριούχου καδμίου (CdTe), επιτυγχάνουν μεγαλύτερη απόδοση της τάξεως του 17%. Τα στοιχεία CdTe μπορούν να κατασκευαστούν με χημική εναπόθεση του CdTe μέσω εξάτμισης σε ένα υπόστρωμα, ωστόσο η περιορισμένη χρήση αυτών των στοιχείων οφείλεται στο γεγονός ότι περιέχουν υλικά που εμφανίζουν τοξικότητα καθώς επίσης και στην περιορισμένη παραγωγή τελλουρίου παγκοσμίως. Ένας επιπλέον τύπος είναι τα φωτοβολταϊκά στοιχεία χαλκού ινδίου γαλλίου σεληνίου (Copper Indium Gallium Selenium - CIGS) τα οποία είναι πιο αποδοτικά από τα στοιχεία AS και CdTe. Η απόδοση αυτών των στοιχείων είναι 20% σε εργαστηριακή κλίμακα, αλλά η συνηθισμένη απόδοση των εμπορικών στοιχείων CIGS κυμαίνεται μεταξύ 12% και 14%. Η τοξικότητα και η σπανιότητα των χημικών στοιχείων που χρησιμοποιούνται σε αυτά τα στοιχεία αποτελεί σημαντική πρόκληση για τη μαζική παραγωγή τους.

2.3.3 Φωτοβολταϊκά στοιχεία τρίτης γενιάς

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία τρίτης γενιάς αποτελούν μια βελτίωση των φωτοβολταϊκών στοιχείων δεύτερης γενιάς με στόχο την επίτευξη υψηλότερης απόδοσης και φιλικότητας προς το περιβάλλον. Η σημαντικότερη παράμετρος αυτών των στοιχείων είναι το χαμηλό κόστος τους, καθώς τα συγκεκριμένα στοιχεία στοχεύουν στη μείωση του κόστους ισχύος κατά 50% με 80% σε σύγκριση με τα στοιχεία δεύτερης γενιάς. Αυτά τα στοιχεία χρησιμοποιούν τη μοναδική ευελιξία των κβαντικών φρεατίων και των νανοδομών κβαντικών κουκίδων για να βελτιστοποιήσουν την απορρόφηση της ηλιακής ενέργειας και το διαχωρισμό. Οι κβαντικές κουκίδες μπορούν να αναμειχθούν με χημικά διαλύματα και να εφαρμοστούν στο φιλμ χρησιμοποιώντας τεχνολογία περιστροφικής εναπόθεσης. Τα οργανικά φωτοβολταϊκά στοιχεία (OS) και τα ευαισθητοποιημένα φωτοβολταϊκά στοιχεία (DS) είναι τα πιο σημαντικά στοιχεία τρίτης γενιάς. Σε ένα οργανικό φωτοβολταϊκό στοιχείο, ένα οργανικό στρώμα με ικανότητα να απορροφά το φως, τοποθετείται μεταξύ δύο διαφορετικών ηλεκτροδίων. Ένα από τα ηλεκτρόδια είναι διαφανές ή ημιδιαφανές και συχνά αποτελείται από οξείδιο ινδίου - κασσιτέρου (ITO - Indium Tin Oxide) ενώ το άλλο ηλεκτρόδιο αποτελείται συνήθως από αλουμίνιο, ωστόσο, ορισμένες φορές, χρησιμοποιούνται και άλλα υλικά, όπως μαγνήσιο και χρυσός. Το οργανικό στρώμα απορρόφησης φωτός σε ένα οργανικό φωτοβολταϊκό στοιχείο,

αποτελείται από ένα μίγμα συζευγμένων, ευαίσθητων στο φως πολυμερών, τα οποία απορροφούν το φως και θέτουν σε κίνηση τους μηχανισμούς που παράγουν ηλεκτρισμό. Η απόδοση των οργανικών φωτοβολταϊκών στοιχείων είναι περίπου 10%, ενώ ο τυπικός σχεδιασμός ενός τέτοιου στοιχείου φαίνεται στο Σχήμα 2.3.

Τα ευαισθητοποιημένα φωτοβολταϊκά στοιχεία λειτουργούν με παρόμοια λογική όπως οι δίοδοι εκπομπής φωτός (LED), αλλά με αντίστροφο τρόπο. Σε αυτά τα στοιχεία, το φως απορροφάται από μια ευαισθητοποιημένη επικάλυψη ρουθηνίου - πολυπυριδίνης, η οποία τοποθετείται στην επιφάνεια ενός ημιαγωγού ευρείας ζώνης. Στη διεπαφή πραγματοποιείται διαχωρισμός φορτίου μέσω της έγχυσης ηλεκτρονίων που έχουν προκύψει από την επικάλυψη, στη ζώνη αγωγιμότητας του στερεού – συνήθως TiO_2 . Τα ηλεκτρόνια στη συνέχεια διαχέονται στη ζώνη αγωγιμότητας ως αποτέλεσμα της βαθμίδας συγκέντρωσης ηλεκτρονίων στον συλλέκτη φορτίου ή στην άνοδο. Αυτά τα στοιχεία έχουν απόδοση μετατροπής σε ηλεκτρικό ρεύμα πάνω από 10%.



Σχήμα 2.3: Τυπικός σχεδιασμός ενός οργανικού φωτοβολταϊκού στοιχείου
(Πηγή: Hayat et al., 2018)

2.3.4 Σύγκριση απόδοσης διαφορετικών φωτοβολταϊκών στοιχείων

Η αποτελεσματικότητα των διαφόρων φωτοβολταϊκών στοιχείων συνοψίζεται στον παρακάτω πίνακα. Η υψηλότερη απόδοση παρατηρείται για τα φωτοβολταϊκά στοιχεία πολλαπλών συνδέσεων και είναι της τάξης του 34,1%. Σημειώνεται ότι αυτή η απόδοση είναι συγκρίσιμη με την απόδοση των μονάδων ηλεκτροπαραγωγής ορυκτών καυσίμων.

Πίνακας 2.2: Σύγκριση των διαφορετικών φωτοβολταϊκών στοιχείων (Πηγή: Hayat et al., 2018)

<i>Τύπος στοιχείου</i>	<i>Απόδοση (%)</i>	<i>Τάση Ανοικτού Κυκλώματος (V)</i>	<i>Ρεύμα Βραχυκύκλωσης (mA/cm²)</i>	<i>Παράγοντας πλήρωσης (%)</i>
Μονοκρυσταλλικό Si	25	0.706	42.7	82.8
Πολύκρυσταλλικό Si	20.4	0.664	38.0	80.9
Λεπτής μεμβράνης Si	19.1	0.650	37.8	77.6
CIGS	19.6	0.713	34.8	79.2
CdTe	16.7	0.845	26.1	75.5
Άμορφου Si	10.1	0.886	16.75	67.0
Οργανικό στοιχείο	10	0.899	16.75	66.1
Εναισθητοποιημένο στοιχείο	11	0.714	21.93	70.3

2.4 Συμπυκνωμένη ηλιακή ενέργεια

Στις τεχνολογίες συμπυκνωμένης ηλιακής ενέργειας ή αλλιώς ηλιοθερμικής ενέργειας, η ηλιακή ακτινοβολία συγκεντρώνεται για να παράγει ατμό ή θερμό αέρα. Αυτός ο ατμός ή ο θερμός αέρας στη συνέχεια χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιώντας ένα συμβατικό κύκλο ισχύος. Οι τέσσερις τύποι τεχνολογιών ηλιοθερμικής ενέργειας που χρησιμοποιούνται σήμερα είναι οι εξής:

- Παραβολικές λεκάνες,
- Ηλιακοί πύργοι,
- Συστήματα δίσκων/κινητήρων και
- Γραμμικό σύστημα κατόπτρων Fresnel.

2.4.1 Παραβολικές λεκάνες

Η συγκεκριμένη τεχνολογία είναι αποδεδειγμένα η πιο οικονομική τεχνολογία ηλιοθερμικής ενέργειας που είναι διαθέσιμη σήμερα. Ήδη στην Καλιφόρνια των ΗΠΑ, λειτουργούν εννέα εμπορικοί σταθμοί μεγάλης κλίμακας με παραβολικές λεκάνες.

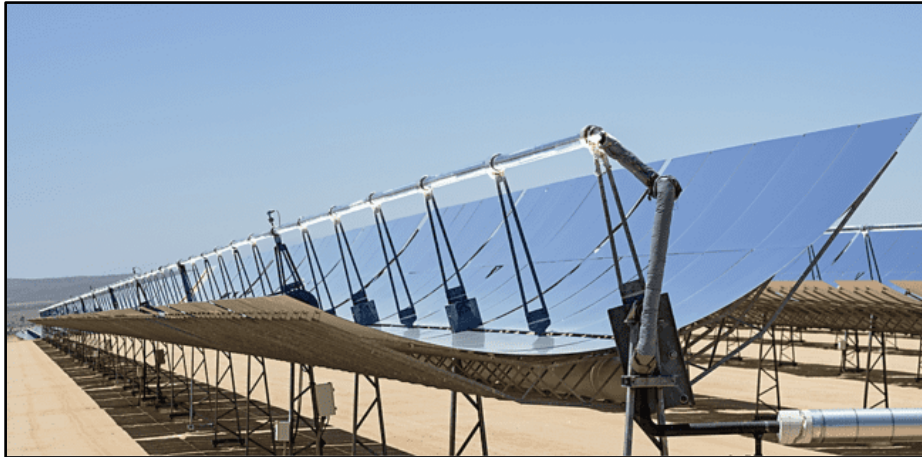
Ένας σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που λειτουργεί με τη συγκεκριμένη τεχνολογία, αποτελείται κυρίως από τα ακόλουθα μέρη:

- Παραβολικούς συλλέκτες,
- Σύστημα παραγωγής ατμού ή μεταφοράς θερμότητας,
- Ατμοστρόβιλο κύκλου Rankine και γεννήτρια,
- Σύστημα θερμικής αποθήκευσης (προαιρετικά).

Ένας παραβολικός συλλέκτης αποτελείται από τρία κύρια μέρη (α) ένα ρευστό εργασίας που απορροφά τη θερμότητα, (β) ένα διάφανο κάλυμμα και (γ) έναν παραβολικό ανακλαστήρα. Το ομόκεντρο διάφανο κάλυμμα αποτρέπει την απώλεια θερμότητας από το σωλήνα απορρόφησης, ενώ ο παραβολικός συλλέκτης είναι εξοπλισμένος με μηχανισμό ηλιακής παρακολούθησης: Οι παραβολικοί συλλέκτες ακολουθούν την τροχιά του ήλιου κατά τη διάρκεια της ημέρας ώστε να δέχονται τη μέγιστη ηλιακή ακτινοβολία. Στη συνέχεια, η ηλιακή ακτινοβολία συγκεντρώνεται σε ένα σωλήνα - δέκτη που βρίσκεται στο εστιακό σημείο αυτών των παραβολικών συλλεκτών. Ο σωλήνας - δέκτης είναι ένας χαλύβδινος σωλήνας με ειδική επίστρωση για μεγιστοποίηση της απορρόφησης σε όλο το εύρος του μήκους κύματος του ηλιακού φάσματος. Αυτός ο χαλύβδινος σωλήνας με τη σειρά του τοποθετείται μέσα σε ένα γυάλινο σωλήνα ώστε να ελαχιστοποιηθεί η απώλεια θερμότητας. Συμπυκνωμένη ακτινοβολία από τον ήλιο διαπερνά τον γυάλινο σωλήνα και προσπίπτει στην επίστρωση του σωλήνα - δέκτη, γεγονός που καθιστά το υγρό εντός του σωλήνα αρκετά θερμό ώστε να παράγει ατμό που στη συνέχεια χρησιμοποιείται για τη λειτουργία μιας συμβατικής μονάδας παραγωγής ατμού. Το κόστος λειτουργίας και συντήρησης των ηλεκτροπαραγωγικών σταθμών που λειτουργούν με παραβολικούς συλλέκτες μπορεί να μειωθεί σημαντικά, αν εφαρμοστούν τα παρακάτω:

- Ανάπτυξη βελτιωμένων σωλήνων - δεκτών με επιστρώσεις σχεδιασμένες ώστε να μεγιστοποιούν την απορρόφηση της ηλιακής ενέργειας και να αντέχουν σε υψηλότερες θερμοκρασίες.
- Ανάπτυξη βελτιωμένων παραβολικών συλλεκτών με ελαφρύτερα και χαμηλότερου κόστους υλικά για βελτίωση της απόδοσης.

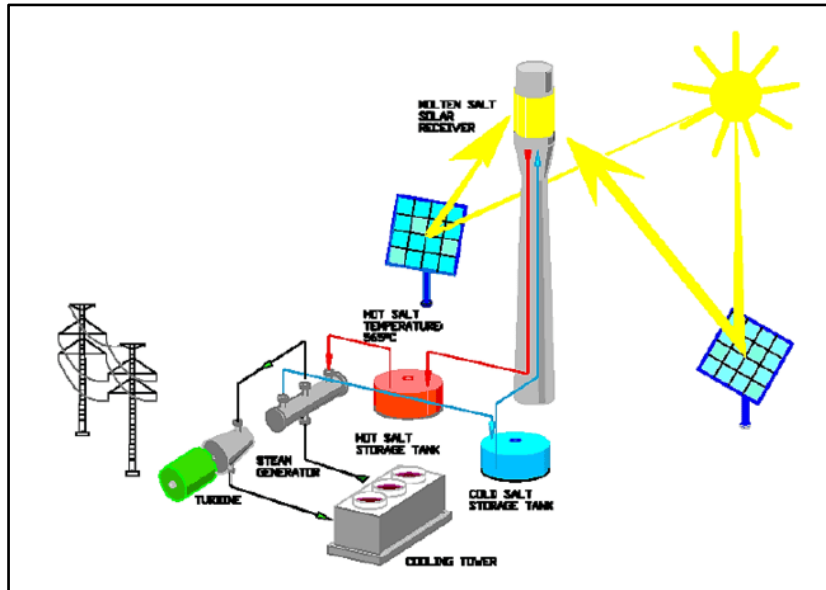
- Ανάπτυξη της τεχνολογίας αποθήκευσης θερμικής ενέργειας ώστε οι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με παραβολικές λεκάνες να είναι ικανοί να αποθηκεύουν ενέργεια για μεγάλο χρονικό διάστημα με ελάχιστες θερμικές απώλειες.



Σχήμα 2.4: Παραβολικοί συλλέκτες ενός σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.
(Πηγή Modelon)

2.4.2 Ηλιακοί πύργοι

Σε αυτό το σύστημα, ειδικά κάτοπτρα παρακολουθούν την τροχιά του ήλιου κατά τη διάρκεια της ημέρας. Το φως του ήλιου που ανακλάται από αυτά τα κάτοπτρα συγκεντρώνεται σε έναν κεντρικό δέκτη τοποθετημένο σε πύργο. Ο δέκτης περιέχει ρευστό που απορροφά την ηλιακή ενέργεια και στη συνέχεια τη μεταφέρει από το δέκτη στο σύστημα μετατροπής ισχύος, όπου αυτή η θερμική ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική. Το σημαντικό πλεονέκτημα των ηλιακών πύργων είναι ότι διαθέτουν σύστημα αποθήκευσης ενέργειας για συνεχή παροχή ηλεκτρικής ενέργειας καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας. Οι συμβατικοί πύργοι χρησιμοποιούν νερό/ατμό ως ρευστό εργασίας ενώ οι πύργοι σύγχρονης τεχνολογίας πειραματίζονται με τηγμένα άλατα (molten salts). Ένας τυπικός ηλιακός πύργος έχει απόδοση 15% έως 25%. Η αρχή λειτουργίας του ηλιακού σταθμού GemaSolar φαίνεται στο Σχήμα 2.5: Ο ηλιοθερμικός σταθμός GemaSolar βρίσκεται στη Σεβίλλη της Ισπανίας και είναι ισχύος 19,9 MW με κεντρικό δέκτη τηγμένου άλατος 120 MWt. Σε αυτούς τους πύργους μπορούν να επιτευχθούν θερμοκρασίες από 800 °C έως πολύ πάνω από 1000 °C.



Σχήμα 2.5: Αρχή λειτουργίας ηλιοθερμικού σταθμού παραγωγής ενέργειας με ηλιακό πύργο τηγμένου άλατος. (Πηγή: researchgate)

2.4.3 Σύστημα δίσκων / κινητήρα

Το σύστημα δίσκων Stirling αποτελείται από έναν παραβολικό συμπυκνωτή σε σχήμα δίσκου που αντανακλά την ηλιακή ακτινοβολία σε έναν δέκτη στο εστιακό σημείο του δίσκου. Ο δέκτης μπορεί να είναι ένας κινητήρας Stirling ή ένας αεριοστρόβιλος. Το σημαντικότερο πλεονέκτημα του συστήματος δίσκων Stirling είναι ότι ο κινητήρας βρίσκεται στο εστιακό σημείο του δίσκου, οπότε δεν υπάρχουν θερμικές απώλειες λόγω του ρευστού μεταφοράς θερμότητας. Επομένως, το σύστημα δίσκων / κινητήρα έχει την υψηλότερη απόδοση μεταξύ των τεχνολογιών ηλιοθερμικής ενέργειας – περίπου 30%.



Σχήμα 2.6: Σύστημα δίσκων / κινητήρα Stirling δυναμικότητας 50 kW (Πηγή: schlaich bergemann partner)

2.4.4 Γραμμικό σύστημα κατόπτρων Fresnel

Στο γραμμικό σύστημα κατόπτρων Fresnel χρησιμοποιείται μια σειρά από επίπεδα ή ελαφρώς καμπυλωτά κάτοπτρα, τα οποία τοποθετούνται σε διαφορετικές γωνίες με σκοπό να συγκεντρώσουν το ηλιακό φως εκατέρωθεν ενός σταθερού δέκτη. Ο δέκτης είναι ένας επιμήκης σωλήνας που είναι επιλεκτικά επικαλυμμένος με απορροφητικό υλικό γνωστό ως μαύρο χρώμιο ηλιακής απορρόφησης. Το ρευστό εντός του σωλήνα, που είναι νερό/ατμός, μεταφέρει τη θερμική ενέργεια σε ένα συμβατικό σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Τα επίπεδα κάτοπτρα που χρησιμοποιούνται σε αυτόν τον τύπο συστήματος είναι πιο οικονομικά από τους συλλέκτες των παραβολικών λεκανών.



Σχήμα 2.7: Γραμμικό σύστημα κατόπτρων Fresnel (Πηγή: wileyonlinelibrary.com)

2.5 Σύγκριση των τεχνολογιών ηλιοθερμικής ενέργειας

Η σύγκριση μεταξύ των διαφόρων τεχνολογιών ηλιοθερμικής / συμπυκνωμένης ηλιακής ενέργειας δίνεται στον παρακάτω πίνακα. Η τεχνολογία των παραβολικών λεκανών είναι προς το παρόν η πιο βιώσιμη επιλογή, κυρίως λόγω της ώριμης τεχνολογίας της. Ωστόσο, η μελλοντική τεχνολογία των πύργων ηλιακής ενέργειας φαίνεται να είναι αρκετά ελπιδοφόρα λόγω του χαμηλού κόστους αποθήκευσης, του συντελεστή υψηλής χωρητικότητας και της μεγαλύτερης απόδοσης του κύκλου ατμού.

Πίνακας 2.3: Σύγκριση τεχνολογιών ηλιοθερμικής ενέργειας (Πηγή: Hayat et al., 2018)

Χαρακτηριστικά	Παραβολικές λεκάνες	Ηλιακοί πύργοι	Κάτοπτρα Fresnel	Δίσκοι / κινητήρας
Χωρητικότητα (MW)	10-300	10-200	10-200	0.01-0.025
Θερμοκρασία λειτουργίας (°C)	350-550	250-565	390	550-750
Μέγιστη απόδοση (%)	14-20	23-35	18	30
Ωριμότητα της τεχνολογίας	Αποδεδειγμένη	Πιλοτικές δοκιμές	Πιλοτικές δοκιμές	Έργα επίδειξης
Ρίσκο ανάπτυξης τεχνολογίας	Μικρό	Μέσο	Μέσο	Μέσο

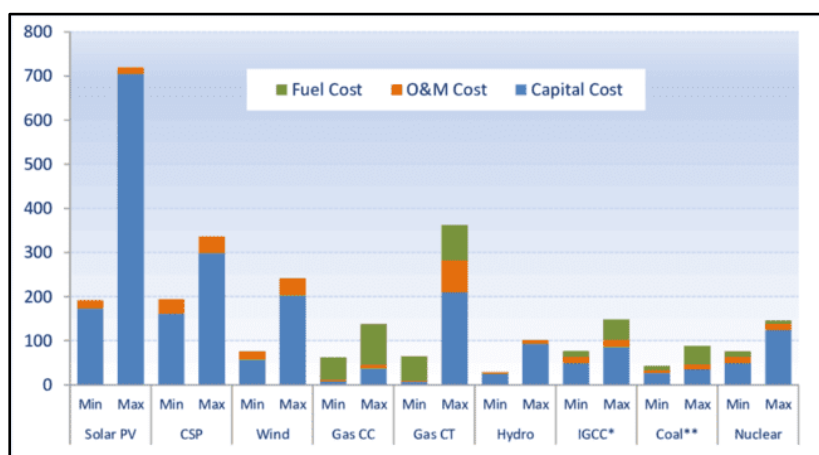
2.6 Τεχνικές, οικονομικές και περιβαλλοντικές προκλήσεις

Ανάμεσα στις τεχνικές δυσκολίες που εμφανίζουν τα φωτοβολταϊκά στοιχεία είναι η απόδοση τους, η οποία πρέπει να βελτιωθεί ώστε να είναι ανταγωνιστικά σε σχέση με άλλες πηγές ενέργειας. Είναι απαραίτητο να διασφαλιστεί η άφθονη παροχή υλικών παραγωγής φωτοβολταϊκών στοιχείων όπως το κάδμιο, το τελλούριο και το πυρίτιο και επίσης είναι σημαντικό να αναπτυχθεί ένα αξιόπιστο σύστημα μέτρησης και χρέωσης της παραγόμενης ενέργειας.

Στην περίπτωση των τεχνολογιών ηλιοθερμικής ενέργειας, είναι απαραίτητη η εύρεση κατάλληλων ρευστών μεταφοράς θερμότητας με υψηλή θερμοχωρητικότητα ώστε να μειωθούν οι θερμικές απώλειες. Στην περίπτωση της θέρμανσης νερού μέσω της ηλιακής ενέργειας, το σύστημα είναι απαραίτητο να υιοθετηθεί και να πληροί όλους τους υφιστάμενους κτιριακούς κώδικες, τις απαιτήσεις ασφαλείας για τις οικιακές συσκευές και πολλά άλλα πρότυπα που βρίσκουν ευρεία εφαρμογή σε μια σειρά από καταναλωτικά αγαθά.

Αναφορικά με τις οικονομικές προκλήσεις, είναι δεδομένο ότι μετά το 2000 έχουν πραγματοποιηθεί μεγάλες τεχνικές αλλαγές στον τομέα της ηλιακής ενέργειας. Αυτή η σημαντική τεχνική πρόοδος επέτρεψε τη δραματική μείωση του κόστους της ηλιακής ενέργειας. Για παράδειγμα, το κόστος των ηλιακών μονάδων το 1980 ήταν \$27,000/kW το οποίο μειώθηκε στα \$4,000/kW το 2006. Ομοίως, το κόστος εγκατάστασης ενός φωτοβολταϊκού συστήματος έχει μειωθεί κατά \$10,000/kW από το 1992 έως το 2008, ενώ

το 2017, το κόστος των φωτοβολταϊκών μονάδων έχει μειωθεί στα \$3,500/kW. Ωστόσο, παρά τη σημαντική πρόοδο, το κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από την ηλιακή ακτινοβολία είναι ακόμα υψηλό, όχι μόνο σε σύγκριση με τις συμβατικές τεχνολογίες αλλά και σε σύγκριση με άλλους, ανανεώσιμους πόρους όπως η υδροηλεκτρική και η αιολική ενέργεια. Το ανηγμένο κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από την ηλιακή ακτινοβολία αλλά και άλλες πηγές συγκρίνονται στο Σχήμα 2.8. Γίνεται σαφές από το σχήμα ότι ακόμα και μετά από τη σημαντική πρόοδο που έχει επιτευχθεί, το κόστος που αφορά τα συστήματα ηλιακής ενέργειας εξακολουθεί να είναι το υψηλότερο μεταξύ όλων των άλλων πηγών ενέργειας.



Σχήμα 2.8: Το ανηγμένο ενεργειακό κόστος (USD/kWh) των διαφορετικών πηγών ενέργειας (Πηγή: researchgate)

Ωστόσο κύριο πλεονέκτημα των συστημάτων ηλιακής ενέργειας αποτελεί το γεγονός ότι είναι ιδιαίτερα φιλικά προς το περιβάλλον, καθώς στο συγκεκριμένο τομέα τα συστήματα ηλιακής ενέργειας είναι κατά πολύ ανώτερα από τα συμβατικά συστήματα που λειτουργούν με ορυκτά καύσιμα. Έχει αποδειχθεί ότι στην περίπτωση των οικιακών ηλιακών συστημάτων θέρμανσης νερού, οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου είναι μειωμένες κατά 80% σε σχέση με τα συμβατικά συστήματα. Αντίστοιχα, η μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου σε περίπτωση ηλιακής θέρμανσης του χώρου είναι 40% σε σύγκριση με τα συμβατικά συστήματα. Οι τεχνολογίες ηλιακής ενέργειας έχουν πολλά περιβαλλοντικά και κοινωνικοοικονομικά οφέλη όπως η εξοικονόμηση εκπομπών CO₂. Με τη μετάβαση από τις συμβατικές πηγές ενέργειας σε τεχνολογίες ηλιακής ενέργειας, είναι δυνατό να αποτραπεί η ρύπανση των υδάτινων πόρων καθώς και η εκπομπή επιβλαβών αερίων στην ατμόσφαιρα όπως το CO₂, το SO₂ και άλλα.

Αν και οι τεχνολογίες ηλιακής ενέργειας συνολικά είναι φιλικές προς το περιβάλλον, έχουν και ορισμένες αρνητικές επιπτώσεις. Για παράδειγμα, στην περίπτωση μεγάλων φωτοβολταϊκών συστημάτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, καταλαμβάνεται μεγάλη έκταση καλλιεργήσιμης γης. Επίσης, κατά την κατασκευή αυτών των στοιχείων χρησιμοποιούνται τοξικά και εύφλεκτα υλικά που μπορεί να είναι επιβλαβή για την υγεία. Τα ηλιακά συστήματα θερμικής ηλεκτρικής ενέργειας μπορούν επίσης να καταλάβουν μεγάλη έκταση και είναι ιδιαίτερα επιζήμια για τη χλωρίδα και την πανίδα της περιοχής, ιδιαίτερα για τα πτηνά (Hayat et al., 2018).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Η ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟΝ ΑΓΡΟΤΙΚΟ ΤΟΜΕΑ

3.1 Εισαγωγή

Η έννοια του αγροτικού τομέα, χρησιμοποιείται για να δηλώσει τους διάφορους τρόπους με τους οποίους τα καλλιεργήσιμα φυτά και τα κατοικίδια ζώα συντηρούν τον παγκόσμιο πληθυσμό, παρέχοντας τρόφιμα και άλλα χρήσιμα προϊόντα. Η έννοια περιλαμβάνει ένα ευρύ φάσμα δραστηριοτήτων που είναι αναπόσπαστο κομμάτι του αγροτικού τομέα και οι οποίες περιγράφονται με όρους όπως είναι η καλλιέργεια, η εξημέρωση των φυτών και η δενδροκομία, καθώς και δραστηριότητες που αφορούν την κτηνοτροφική διαχείριση, όπως για παράδειγμα μεικτή καλλιέργεια – κτηνοτροφική γεωργία. Πολλά διαφορετικά χαρακτηριστικά χρησιμοποιούνται επίσης για τον καθορισμό συγκεκριμένων τύπων γεωργίας, όπως ο τύπος του εδάφους και η συχνότητα καλλιέργειας. Ο όρος αγροτικός τομέας περιορίζεται σε ορισμένες περιπτώσεις στην καλλιέργεια των φυτών, χωρίς να αναφέρεται στην εκτροφή κατοικίδιων ζώων, αν και συνήθως συνεπάγεται και τις δύο δραστηριότητες.

Ο αγροτικός τομέας περιλαμβάνει τη χρήση γης που προκύπτει από το συνδυασμό της καλλιέργειας, δηλαδή μιας δέσμης ανθρώπινων ενεργειών που έχουν ως σκοπό την προετοιμασία του εδάφους, τη φύτευση, τη φροντίδα και τη συγκομιδή των φυτών, και της εξημέρωσης των φυτών, δηλαδή μιας ομάδας γενετικών και μορφολογικών αλλαγών που έχουν αυξήσει την ικανότητα των φυτών να προσαρμόζονται στην καλλιέργεια. Η καλλιέργεια και η εξημέρωση συνδέονται με μια σχέση αιτίου - αποτελέσματος, καθώς διάφορες αλλαγές στην ανθρώπινη διαχείριση έχουν συνέπειες στις γενετικές προσαρμογές των φυτών, γεγονός που αύξησε την αλληλεξάρτηση μεταξύ τους (Fuller D., 2014).

3.2 Η ιστορική εξέλιξη του αγροτικού τομέα

Καμία αλλαγή στην ανθρώπινη ιστορία δεν είχε μεγαλύτερη επίδραση στο γήινο τοπίο από την εξημέρωση και την παγκόσμια εξάπλωση φυτών και ζώων. Η ανακάλυψη της γεωργίας αποτέλεσε ένα σημαντικό σταθμό στην ανθρώπινη ιστορία, αφού η γεωργική οικονομία αποτέλεσε τη βάση για τα πρώτα στάδια του πολιτισμού (Atkins P., 1998).

Τα πρώτα σημάδια καλλιέργειας φυτών εμφανίζονται στη Μέση Ανατολή, στο δεύτερο μισό της 8ης χιλιετίας π.Χ. και την 7η χιλιετία π.Χ. Οι κύριες καλλιέργειες που ανακαλύφθηκαν στα πρώιμα νεολιθικά αγροτικά χωριά της Μέσης Ανατολής είναι το σιτάρι, το κριθάρι, η φακή, το μπιζέλι, το ρεβίθι και το λινάρι, καθώς οι μη εξημερωμένοι πρόγονοι όλων των προαναφερθέντων καλλιεργειών έχουν αναγνωριστεί με ακρίβεια και είναι ενδημικά είδη της συγκεκριμένης περιοχής. Ύστερα από την περιοχή της Μέσης Ανατολής, η καλλιέργεια σιτηρών εξαπλώθηκε γρήγορα στην Ευρώπη, τη Δυτική Ασία και την κοιλάδα του Νείλου. Σε όλες αυτές τις τεράστιες περιοχές, η έναρξη της γεωργίας φαίνεται να βασίστηκε στη συλλογή καλλιεργειών της Μέσης Ανατολής. Η εξημέρωση των οπωροφόρων δέντρων πραγματοποιήθηκε περίπου τρεις χιλιάδες χρόνια μετά την καθιέρωση της καλλιέργειας σιτηρών, όπου και πάλι τα πρώτα σημάδια καλλιέργειας οπωροφόρων δέντρων εμφανίζονται στην ίδια περιοχή. Η ελιά, το αμπέλι, η συκιά και η χουρμαδιά φαίνεται πως ήταν οι κυριότερες οικιακές καλλιέργειες (Zohari D., 1986).

Σημαντικές καινοτομίες στον αγροτικό τομέα συνέχισαν να πραγματοποιούνται στη Μέση Ανατολή, γεγονός που οι ιστορικοί αναφέρουν ως Αραβική αγροτική επανάσταση. Αυτή η άνθηση στις καλλιέργειες πραγματοποιήθηκε χάρη στην ποικιλομορφία των φυτών που καλλιεργούνταν στη Μέση Ανατολή και την κοιλάδα του Ινδού και τις οποίες αναζητούσαν οι ευρωπαϊκές κοινωνίες, γεγονός που αργότερα λειτούργησε ως εμπορική γέφυρα μεταξύ της Άπω Ανατολής και της Ευρώπης (Spooner D. et al., 2005).

Στην Ευρώπη, ελάχιστα άλλαξαν πριν από την άνοδο των πρώτων βασιλείων γύρω στον 11ο αιώνα, όταν η Εκκλησία έγινε ο κύριος γαιοκτήμονας και έμπορος και εξελίχθηκε στην απόλυτη πνευματική και εξουσιαστική αρχή. Μέσω του συστήματος της φεουδαρχίας, τόσο οι κοσμικοί όσο και οι εκκλησιαστικοί άρχοντες προσπάθησαν να βελτιώσουν την απόδοση των καλλιεργειών, κάτι που είχε ως αποτέλεσμα την επίτευξη σημαντικών τεχνολογικών επιτευγμάτων στο συγκεκριμένο τομέα. Εκείνη την περίοδο ξεκίνησε η μαζική επιλεκτική διασταύρωση, ιδιαίτερα στα ζώα, ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις, χάρη στα μοναστήρια της Ευρώπης, παρατηρείται σημαντική πρόοδος στα οριακά τοπία - δηλαδή στις περιοχές όπου οι καλλιέργειες δεν αναπτύσσονται μαζικά - καθώς εμφανίζονται τα πρώτα σημάδια ανάπτυξης της γεωργικής μηχανικής. Οι δασικές εκτάσεις μετατράπηκαν σε πεδινές περιοχές και βοσκοτόπια, ενώ περιοχές με χαμηλή γονιμότητα τροποποιήθηκαν κατάλληλα με σκοπό να αξιοποιηθούν ακόμα περισσότερο.

Οι σύγχρονες γεωργικές πρακτικές εξελίχθηκαν περαιτέρω τον 16ο αιώνα, όταν οι αγρότες άρχισαν να εφαρμόζουν τη στρατηγική της εναλλαγής των καλλιεργειών - δηλαδή τη διαδικασία αύξησης της απόδοσης μέσω της αλλαγής χρήσης γης κάθε χρόνο

με σκοπό να μην εξαντλείται το έδαφος. Για ένα χρόνο στο χωράφι θα φυτεύονταν καλλιέργειες, το επόμενο έτος η χρήση της γης θα γινόταν για κτηνοτροφικούς σκοπούς και το τρίτο έτος θα διατηρούνταν σε αγρανάπαυση (Tilman D., 2002).

Η σύγχρονη γεωργία ξεκίνησε γύρω στον 18ο αιώνα και γενικά αναφέρεται ως Βρετανική γεωργική επανάσταση. Κατά την περίοδο αυτή, έγιναν αρκετές εξελίξεις και αλλαγές στον αγροτικό τομέα σε σύντομο χρονικό διάστημα, με αποτέλεσμα να επιτευχθεί σημαντική αύξηση στις αποδόσεις των καλλιεργειών. Νομοθετικές ρυθμίσεις ψηφίστηκαν για τη διαχείριση της γης και η επιλεκτική διασταύρωση ξεκίνησε να πραγματοποιείται σε βιομηχανική κλίμακα για να αυξηθεί το μέγεθος των καλλιεργειών καθώς και η απόδοση, με ταυτόχρονη δημιουργία διαφορετικών ειδών φυτών, ενώ παράλληλα βελτιώσεις έγιναν επίσης και στη κτηνοτροφία. Αυτές οι θεμελιώδεις αλλαγές έπαιξαν σημαντικό ρόλο στη βιομηχανική επανάσταση και στην περαιτέρω αστική ανάπτυξη, καθώς παράγονταν περισσότερες καλλιέργειες με λιγότερους εργαζόμενους, εφαρμόστηκαν καλύτερες μέθοδοι διατήρησης και αντικατάστασης των θρεπτικών συστατικών του εδάφους με αποτέλεσμα να υπάρχει μεγαλύτερο εργατικό δυναμικό διαθέσιμο για εργασία στη βιομηχανία. Περίπου την ίδια εποχή, η θεωρία της εξέλιξης του Κάρολου Δαρβίνου έθεσε τα επιστημονικά θεμέλια του γεωργικού τομέα καθώς υπήρξε βαθύτερη κατανόηση στην εξέλιξη και την ανάπτυξη των καλλιεργειών.

Οι επόμενες σημαντικές αλλαγές πραγματοποιήθηκαν κατά τα χρόνια του Β' Παγκοσμίου πολέμου, όταν ο αγροτικός τομέας αναπτύχθηκε εντατικά για να καλύψει τις πολεμικές ανάγκες, με αποτέλεσμα μέχρι το 1970 η παγκόσμια παραγωγή σιτηρών να τετραπλασιαστεί. Τα νέα πλαστικά υλικά καθώς και η ανάπτυξη νιτρικών αλάτων για χρήση ως λιπάσματα επέτρεψαν ακόμη μεγαλύτερες αποδόσεις γεγονός που επέτρεψε μεγαλύτερη πρόσβαση των ανθρώπων σε πολύ φθηνότερα τρόφιμα (Westermann, W. L., 2021).

Στον παρακάτω πίνακα εμφανίζονται συνοπτικά ορισμένα σημεία - σταθμοί στην ιστορία του αγροτικού τομέα.

Πίνακας 3.1: Οι σημαντικότεροι σταθμοί στην ιστορία του αγροτικού τομέα (Πηγή: *innovature*)

<i>Χρονική περίοδος</i>	<i>Επίτευγμα</i>
9000 πΧ	Η γέννηση της γεωργίας: Λόγω του εύκρατου κλίματος και του πλούσιου εδάφους, οι τροφοσυλλέκτες άρχισαν να εγκαθίστανται σε μικρές κοινότητες

	στην περιοχή μεταξύ των ποταμών Ευφράτη και Τίγρη. Οι άνθρωποι έμαθαν να παράγουν τα δικά τους τρόφιμα, καθώς άρχισαν να φυτεύουν τα πρώτα σιτηρά.
7000 πΧ	Οι Κινέζοι ξεκινούν την καλλιέργεια του ρυζιού. Η καλλιέργεια ρυζιού μεταμόρφωσε τους νομαδικούς πολιτισμούς καθώς, περισσότερο από κάθε άλλη καλλιέργεια, το ρύζι δημιούργησε μερικά από τα πρώτα αστικά κέντρα.
300 πΧ	Οι Έλληνες αναπτύσσουν τον εμβολιασμό (μπόλιασμα) των φυτών, μια διαδικασία αναπαραγωγής που ενώνει μέρη από δύο διαφορετικά φυτά για να παράξει ένα νέο φυτό. Ο εμβολιασμός κατέστησε δυνατή την καλλιέργεια ξυλωδών φυτών, όπως η μηλιά, η αγλαδιά και η δαμασκηλιά.
1760	Ο Άγγλος αγρότης Robert Bakewell έφερε επανάσταση στην εκτροφή προβάτων και βοοειδών με την επιλεκτική αναπαραγωγή ζώων με βάση τα χαρακτηριστικά τους, για καλύτερη παραγωγή κρέατος και μαλλιού.
1859	Ο Κάρολος Δαρβίνος δημοσιεύει το αριστούργημα του “Η καταγωγή των ειδών”. Τίθενται οι βάσεις για την επιστημονική προσέγγιση στον αγροτικό τομέα.
1944	Ο Norman Borlaug χρησιμοποιεί την επιλεκτική διασταύρωση για να αναπτύξει ποικιλίες σιταριού στο Μεξικό, οι οποίες ήταν υψηλής απόδοσης και ανθεκτικές στις ασθένειες. Η πρόσβαση στα τρόφιμα αυξήθηκε – υπολογίζεται ότι η δουλειά του στο Μεξικό και την Ινδία έσωσε ένα δισεκατομμύριο ζωές από την πείνα. Η έρευνά του βελτίωσε την επισιτιστική ασφάλεια σε αυτά τα έθνη και ξεκίνησε την Πράσινη Επανάσταση.
1953	Ο Francis Crick και ο James Watson ανακαλύπτουν τη δομή της διπλής έλικας του DNA. Η ανακάλυψή τους έδειξε πώς αναπαράγεται το DNA και πώς κωδικοποιούνται οι κληρονομικές πληροφορίες σε αυτό.
2000	Οι επιστήμονες αποκρυπτογραφούν την πρώτη αλληλουχία γονιδιώματος ενός ανθοφόρου φυτού, του <i>Arabidopsis thaliana</i> , το οποίο περιέχει περισσότερα από 25.000 γονίδια, βοηθώντας με αυτό τον τρόπο στην αποσαφήνιση των λειτουργιών των διαφορετικών γονιδίων.

3.3 Χρήση της ενέργειας στον αγροτικό τομέα

Η κατανάλωση ενέργειας στον αγροτικό τομέα μπορεί να κατηγοριοποιηθεί ως άμεση ή έμμεση χρήση ενέργειας. Η άμεση χρήση ενέργειας αναφέρεται στην αγορά ορυκτών καυσίμων ή ηλεκτρικής ενέργειας για τη λειτουργία τρακτέρ, αντλιών άρδευσης, εξοπλισμού ψύξης, άλλων γεωργικών μηχανημάτων και φορτηγών για τη μεταφορά της συγκομιδής. Η έμμεση ενέργεια υποδηλώνει χημική ενέργεια με τη μορφή σπόρων, λιπασμάτων, φυτοφαρμάκων, ζιζανιοκτόνων και μυκητοκτόνων. Η σχετική συνεισφορά άμεσων και έμμεσων πηγών κατανάλωσης ενέργειας στις συνολικές ενεργειακές απαιτήσεις για την παραγωγή καλαμποκιού στις ΗΠΑ περιγράφονται στον Πίνακα 3.2. Στο συγκεκριμένο πίνακα περιλαμβάνεται επίσης η ανθρώπινη ενέργεια, αλλά στις ΗΠΑ αποτελεί μια ασήμαντη πηγή κατανάλωσης, μόλις στο 0,05% της συνολικής ενέργειας που

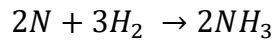
απαιτείται. Αν και οι ενεργειακές εισροές ποικίλλουν ανάλογα με την καλλιέργεια, τις συνθήκες του εδάφους, το τοπικό κλίμα, την απόσταση από τον διανομέα χονδρικής κ.λπ., οι γενικές κατηγορίες είναι παρόμοιες για τις περισσότερες καλλιέργειες.

Πίνακας 3.2: Ενεργειακές εισροές στην αγροτική παραγωγή (Πηγή: Kennedy S., 2000)

<i>Εισροές</i>	<i>Ποσότητα/εκτάριο</i>	<i>Kcal/εκτάριο</i>
Εργασία	10 h	4,650
Μηχάνηματα	55 kg	1,018,000
Πετρέλαιο Diesel	75 L	855,000
Βενζίνη	40 L	400,000
Άρδευση	660,000 kg	660,000
Μεταφορά	322 kg	89,000
Άζωτο	152 kg	3,192,000
Σπόροι	21 kg	520,000
Εντομοκτόνα	2 kg	200,000
Ηλεκτρική ενέργεια	100,000 kcal	100,000

Η μεγαλύτερη ενεργειακή εισροή είναι μακράν τα αζωτούχα λιπάσματα. Καθώς μια καλλιέργεια ωριμάζει, αντλεί από το έδαφος στοιχεία όπως το άζωτο, το φώσφορο και το κάλιο, για να δημιουργήσει νέα φυτική ύλη. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι για τη συγκομιδή 7000 κιλών καλαμποκιού, απαιτούνται περίπου 40 κιλά αζώτου, 5 κιλά φωσφόρου και 6 κιλά καλίου ανά εκτάριο γης. Αν αυτή η απώλεια σε θρεπτικά στοιχεία αντικατασταθεί άμεσα από χημικά λιπάσματα, θα απαιτηθούν 840.000 kcal για το άζωτο, 31.500 kcal για το φώσφορο και 15.000 kcal για το κάλιο ή ισοδύναμα, το 3% της συνολικής ενέργειας που παράγεται από το καλαμπόκι που συλλέγεται. Εάν το χώμα οργωθεί αμέσως μετά τη συγκομιδή και αφεθεί εκτεθειμένο στον άνεμο και τη βροχή, μπορεί να χαθούν έως και 10 φορές περισσότερα θρεπτικά συστατικά. Για να αποφευχθεί η μείωση της απόδοσης, είναι απαραίτητο η απώλεια θρεπτικών συστατικών να αντικατασταθεί με προσθήκη λιπάσματος. Το αζωτούχο λίπασμα είναι το πιο ενεργοβόρο για παραγωγή και αντιπροσωπεύει τη μεγαλύτερη εισροή, κατά μάζα, από όλους τους

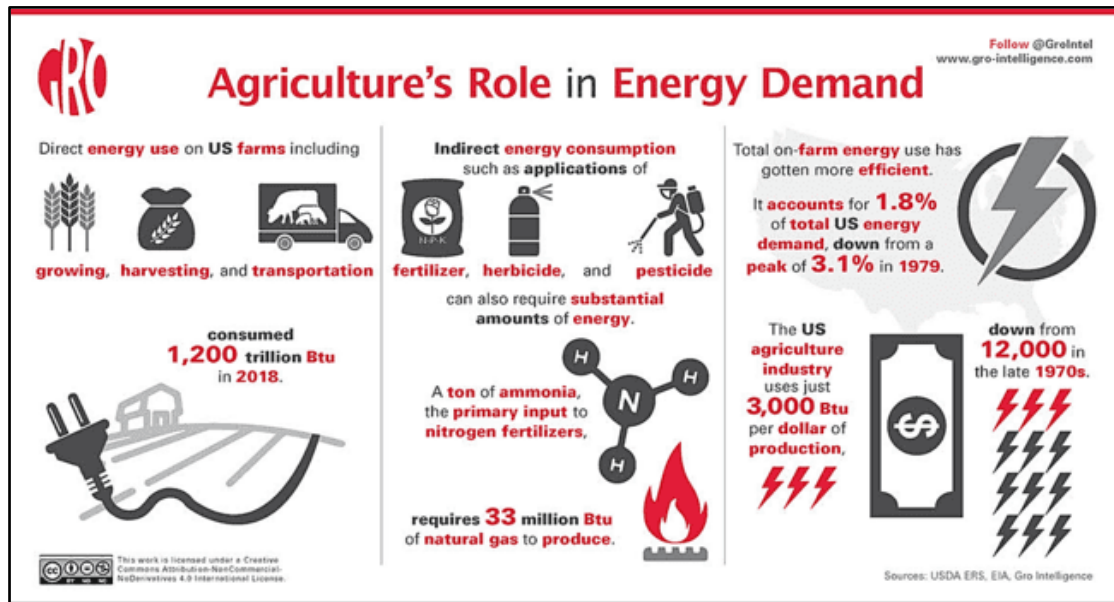
τύπους λιπασμάτων. Για την παραγωγή λιπασμάτων αζώτου, το υδρογόνο συνδυάζεται με άζωτο για να σχηματιστεί αμμωνία, όπως απεικονίζεται στην ακόλουθη χημική εξίσωση:



Το υδρογόνο λαμβάνεται συνήθως μέσω της αναμόρφωσης του φυσικού αερίου με ατμό. Η αμμωνία συχνά συνδυάζεται με CO₂ υπό πίεση σε υψηλές θερμοκρασίες για να σχηματίσει τη στερεή ένωση ουρία, CO(NH₂)₂, η οποία είναι στερεή σε συνθήκες περιβάλλοντος και επομένως είναι εύκολη στον χειρισμό.

Παρόλο που το λίπασμα παράγεται με φυσικό αέριο, η αστάθεια στις τιμές του πετρελαίου έχει άμεση επίδραση στην τιμή του. Ακόμη και αν τα αποθέματα φυσικού αερίου θεωρηθούν αρκετά για να διατηρηθεί η τρέχουσα χρήση, η μείωση της διαθεσιμότητας του πετρελαίου θα αυξήσει την τιμή του λιπάσματος για τη γεωργία, καθώς άλλοι τομείς αντισταθμίζουν τα μειωμένα αποθέματα πετρελαίου αλλάζοντας τα καύσιμα επιλογής τους με φυσικό αέριο.

Στο σχήμα 3.1 εμφανίζεται συνοπτικά η απαίτηση του αγροτικού τομέα σε ενέργεια.



Σχήμα 3.1: Ο ρόλος του αγροτικού τομέα στη ζήτηση ενέργειας (Πηγή: Gro Intelligence)

Ένας άλλος σημαντικός περιορισμός στη χρήση των λιπασμάτων είναι η μέγιστη ποσότητα, η χρήση της οποίας μπορεί να αυξήσει την απόδοση μιας καλλιέργειας. Καθώς όλο και περισσότερη ποσότητα λιπάσματος εφαρμόζεται στη γη, επέρχεται ένα σημείο

κορεσμού και κατ' επέκταση κάμψης της απόδοσης. Σύμφωνα με διάφορες μελέτες, η βέλτιστη ποσότητα λιπάσματος από άποψη απόδοσης ανέρχεται σε περίπου 225 kg/ha, αλλά μόνο 135 kg/ha για την ελαχιστοποίηση των ενεργειακών απαιτήσεων. Οι αποδόσεις που επιτυγχάνονται σήμερα σε καλλιέργειες όπως το καλαμπόκι, ξεπερνούν τα 8000 κιλά/εκτάριο κυρίως λόγω εξελιγμένων σπόρων υψηλότερης απόδοσης και βελτιωμένων τεχνικών καλλιέργειας – ωστόσο το ζήτημα της μείωσης της απόδοσης σε σχέση με την κατανάλωση λιπασμάτων εξακολουθεί να υφίσταται.

Ένας δεύτερος σημαντικός παράγοντας που συμβάλλει στις υψηλές ενεργειακές απαιτήσεις του γεωργικού τομέα είναι η χρήση τρακτέρ και βιομηχανικών γεωργικών μηχανημάτων, τόσο στην ενέργεια που δαπανάται για την κατασκευή τους όσο και στα ορυκτά καύσιμα που καταναλώνουν. Έχει αποδειχθεί ότι τα γεωργικά μηχανήματα και τα ορυκτά καύσιμα που αυτά χρησιμοποιούν, αποτελούν το 25% της συνολικής ενεργειακής απαίτησης για την παραγωγή καλαμποκιού, μετά το λίπασμα που αποτελεί το 45%.



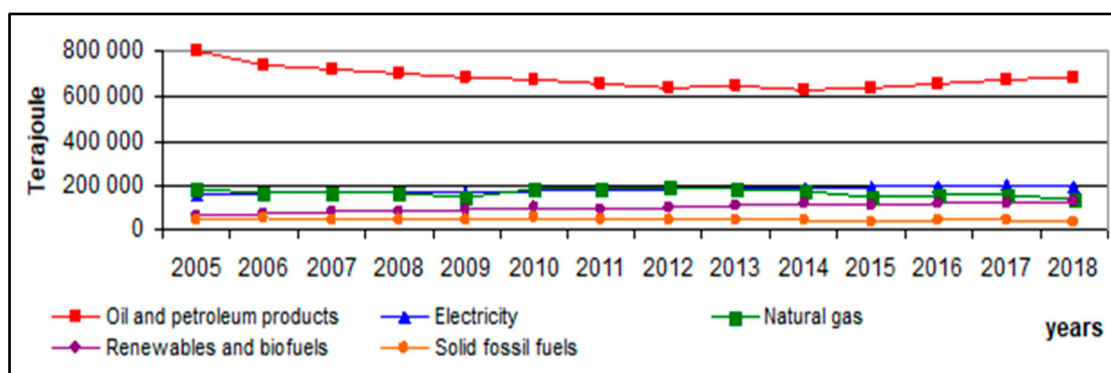
Εικόνα 3.2: Τα τρακτέρ και τα γεωργικά μηχανήματα είναι υπεύθυνα για το 25% των ενεργειακών απαιτήσεων στον αγροτικό τομέα (Πηγή ZF).

Η χρήση βαρέων μηχανημάτων στις φάρμες είναι άμεση συνέπεια του συνεχώς αυξανόμενου βιοτικού επιπέδου του πληθυσμού σήμερα και του σχετικά ακριβού κόστους εργασίας. Μια ενδεχόμενη μείωση του επιπέδου μηχανοποίησης στον αγροτικό τομέα, θα οδηγούσε σε αύξηση της έντασης εργασίας και σε μείωση της απόδοσης ανά εργαζόμενο. Ωστόσο, αυτό το μέτρο δεν είναι εφικτό να πραγματοποιηθεί σε ευρεία κλίμακα χωρίς μεγάλες αυξήσεις στην τιμή των βασικών τροφίμων. Είναι λοιπόν απαραίτητο η ένταση

της εργασίας να παραμείνει χαμηλή για τους αγρότες ώστε να επιτύχουν ένα βιοτικό επίπεδο ανάλογο με τους εργαζόμενους εκτός του αγροτικού τομέα (Kennedy S., 2000).

3.4 Ευρωπαϊκή Ένωση και Ελλάδα

Το χρονικό διάστημα 2005–2018, η κατανάλωση ενέργειας στον αγροτικό τομέα στις χώρες της ΕΕ μειώθηκε κατά 5,9%. Η κατανάλωση ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αυξήθηκε ταχύτερα, καθώς υπήρξε αύξηση κατά 85% μέσα στο συγκεκριμένο χρονικό διάστημα ενώ και η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας αυξήθηκε κατά 25%. Παρατηρήθηκε μείωση της κατανάλωσης στις υπόλοιπες μορφές ενέργειας, πιο συγκεκριμένα η θερμική ενέργεια μειώθηκε κατά 33%, το φυσικό αέριο κατά 23%, το αργό πετρέλαιο κατά 15% και τα ορυκτά καύσιμα κατά 9%, όπως φαίνεται και στο παρακάτω διάγραμμα.



Σχήμα 3.3: Πηγές ενέργειας που χρησιμοποιήθηκαν στον αγροτικό τομέα το χρονικό διάστημα 2005–2018 (Πηγή: Rokicki T. et al., 2021)

Για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης των ενεργειακών απαιτήσεων στον αγροτικό τομέα για τις διάφορες χώρες της ΕΕ χρησιμοποιήθηκε ο συντελεστής Gini. Αυτός ο συντελεστής χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της ανομοιομορφίας στη κατανομή μιας τυχαίας μεταβλητής – ένας αυξημένος συντελεστής Gini σημαίνει ότι η κατανάλωση ενέργειας από ένα συγκεκριμένο ενεργειακό πόρο είναι μειωμένη. Ο αριθμός των παρατηρήσεων ήταν 28 – για όλες τις χώρες της ΕΕ - και τα αποτελέσματα αφορούν τη συνολική κατανάλωση ενέργειας καθώς και πέντε διαφορετικούς τύπους ενέργειας, δηλαδή ενέργεια από αργό πετρέλαιο, ηλεκτρική ενέργεια, φυσικό αέριο, ανανεώσιμες πηγές και στερεά καύσιμα. Ο συντελεστής Gini για τη συνολική κατανάλωση ενέργειας

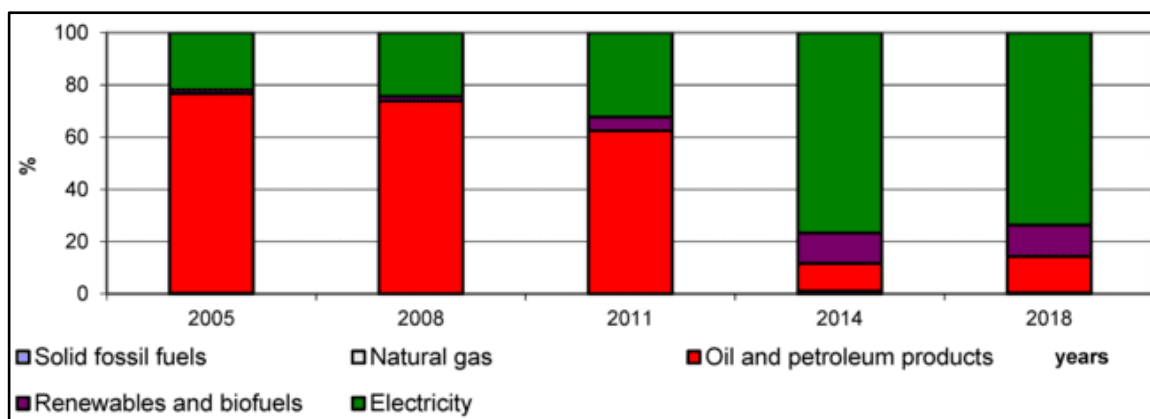
στον αγροτικό τομέα το 2005 ήταν 0,61, γεγονός που σημαίνει αρκετά υψηλή συγκέντρωση ενεργειακής κατανάλωσης στη γεωργία σε πολλές χώρες της ΕΕ. Όταν η έρευνα επαναλήφθηκε το 2018, τα αποτελέσματα ήταν σχεδόν πανομοιότυπα και ως εκ τούτου δεν υπήρξαν σημαντικές αλλαγές στην κατανομή της κατανάλωσης ενέργειας στη γεωργία στις χώρες της ΕΕ. Οι συντελεστές Gini για την κατανάλωση ενέργειας στη γεωργία υπολογίστηκαν επίσης για τους διάφορους τύπους ενέργειας. Το 2018, η συγκέντρωση κατανάλωσης ενέργειας ήταν η υψηλότερη καταγεγραμμένη για τα στερεά καύσιμα και η χαμηλότερη για την ηλεκτρική ενέργεια. Το 2018, η Πολωνία ήταν υπεύθυνη για το 96% των στερεών καυσίμων που καταναλώθηκαν στη γεωργία, ενώ οι Κάτω Χώρες αντιπροσώπευαν το 61% της κατανάλωσης σε φυσικό αέριο. Η περισσότερη ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές καταναλώθηκε στη Γερμανία (26%) και την Πολωνία (17%) και ήταν κυρίως βιοντίζελ.

Γενικά παρατηρείται ότι η συγκέντρωση της κατανάλωσης ενέργειας στη γεωργία είναι σταθερή σε πολλές χώρες. Αυτή η πάγια κατάσταση προκύπτει κυρίως λόγω του σταθερού διαθέσιμου εδάφους προς καλλιέργεια, το οποίο είναι ο πρωταρχικός παράγοντας παραγωγής στον αγροτικό τομέα. Μια άλλη αιτία ενδέχεται να είναι η σχετικά σταθερή κατανάλωση ενέργειας και η χρήση τεχνολογιών με παρόμοια ενεργειακή απόδοση, όπως για παράδειγμα τρακτέρ και μηχανήματα, τεχνολογίες παραγωγής γάλακτος κ.α. Μόνο στην περίπτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, παρατηρείται σταδιακή μείωση της συγκέντρωσης της κατανάλωσης στη γεωργία, καθώς όλο και περισσότερες χώρες αναπτύσσουν τεχνολογίες που επιτρέπουν τη χρήση αυτού του τύπου ενέργειας. Πλέον, ο αγροτικός τομέας παράγει περισσότερη ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές από όση καταναλώνει.

Μεταξύ των χωρών της ΕΕ, το αργό πετρέλαιο ήταν ο πιο σημαντικός ενεργειακός πόρος, καθώς ικανοποιούσε περισσότερες από τις μισές ανάγκες του αγροτικού τομέα – ενδεικτικά το 2005 το ποσοστό του αργού ήταν 63% και το 2018 ήταν 57%. Ακολουθεί η ηλεκτρική ενέργεια με ποσοστό 16% το 2018, το φυσικό αέριο με 12% και οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας με ποσοστό 10%. Τα υγρά καύσιμα κυριάρχησαν καθώς αποτέλεσαν την κύρια πηγή ενέργειας για τα τρακτέρ και τα γεωργικά μηχανήματα. Το μερίδιο της ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές στη συνολική κατανάλωση ενέργειας στον αγροτικό τομέα ποικίλλει από χώρα σε χώρα. Το 2018 οι πέντε πρώτες χώρες, με ποσοστό συμμετοχής της ανανεώσιμης ενέργειας πάνω από 20% ήταν η Σουηδία με 35%, η Αυστρία με 33%, η Φινλανδία με 25%, η Γερμανία και η Σλοβακία με 23% η καθεμία.

Αυτές ήταν οικονομικά ανεπτυγμένες χώρες που διέθεσαν μεγάλους πόρους για την εφαρμογή νέων τεχνολογιών που διασφάλιζαν τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Στην Ελλάδα, υπήρξαν πολύ μεγάλες αλλαγές στη δομή της ενέργειας που χρησιμοποιείται στον αγροτικό τομέα. Ο λόγος ήταν η μεγάλη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας, καθώς το αργό πετρέλαιο μειώθηκε - μείωση από 76% σε 14% στο χρονικό διάστημα μεταξύ 2005–2018 - ενώ η ηλεκτρική ενέργεια αυξήθηκε σημαντικά - αύξηση από 22% σε 74%. Ιδιαίτερα σημαντική ήταν η αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές από 1% σε 12%. Οι παραπάνω αλλαγές αποτυπώνονται στο σχήμα 3.4.



Σχήμα 3.4: Δομή της ενέργειας που χρησιμοποιείται στον αγροτικό τομέα στην Ελλάδα στο χρονικό διάστημα 2005 – 2018 (Πηγή: Rokicki T. et al., 2021)

3.5 Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στον αγροτικό τομέα

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, τρεις εισροές ενέργειας, τα ορυκτά καύσιμα, τα αζωτούχα λιπάσματα και η ηλεκτρική ενέργεια, αντιπροσωπεύουν περισσότερο από το 75% των ενεργειακών απαιτήσεων του αγροτικού τομέα. Υπολογίζεται ότι κάθε χρόνο, ο αγροτικός τομέας εκπέμπει το 10% έως 12% του παγκόσμιου συνόλου εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Υπό αυτό το πλαίσιο, η οικολογικά βιώσιμη γεωργία αντιπροσωπεύει μια στρατηγική με πολλαπλούς στόχους, ώστε να επιτευχθεί η επισιτιστική ασφάλεια, χωρίς την παράλληλη υποβάθμιση των οικοσυστημάτων και την επιδείνωση της κλιματικής αλλαγής. Ήδη η συγκεκριμένη ιδέα υλοποιείται με μεγάλη επιτυχία από έναν αυξανόμενο αριθμό πρωτοπόρων αγροκτημάτων παγκοσμίως. Ορισμένοι ερευνητές έχουν προτείνει λύσεις μετριασμού των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου που περιλαμβάνουν τη βελτιωμένη διαχείριση των καλλιεργειών, των ζώων και της κοπριάς, την αποκατάσταση των υποβαθμισμένων εδαφών και τη χρήση αγροενεργειακών καλλιεργειών.

Μια υποσχόμενη λύση για την αντιμετώπιση του προβλήματος φαίνεται να είναι η αντικατάσταση των ορυκτών καυσίμων στον αγροτικό τομέα με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Σύμφωνα με το Υπουργείο Ενέργειας των ΗΠΑ, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μπορούν επίσης να βοηθήσουν στη μείωση της ρύπανσης, της υπερθέρμανσης του πλανήτη και της εξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα. Προσφέρουν στο ευρύ κοινό μεγαλύτερη πρόσβαση σε καθαρό αέρα και νερό, πιο ασφαλή καύσιμα και χαμηλότερο κίνδυνο αναπνευστικών και άλλων προβλημάτων υγείας που σχετίζονται με τη ρύπανση του αέρα και των υδάτων, την καταστροφή του όζοντος και την κλιματική αλλαγή. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας παράγουν ελάχιστες ή καθόλου περιβαλλοντικές εκπομπές και σε αντίθεση με τα ορυκτά καύσιμα δεν είναι πεπερασμένες. Αν και η ανταγωνιστικότητα των τιμών ήταν ανησυχητική, το κόστος των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μειώθηκε σημαντικά τα τελευταία χρόνια, στα επίπεδα του κόστους των ορυκτών καυσίμων.

Επομένως, η εφαρμογή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και των συναφών τεχνολογιών έχει τη δυνατότητα να συμβάλει στους στόχους της βιώσιμης γεωργίας και ήδη χρησιμοποιείται σε διάφορες εφαρμογές σε αγροκτήματα, ενώ υπάρχει αρκετό δυναμικό για επέκταση της χρήσης τους στο μέλλον. Οι αγρότες μπορούν να συμβάλουν σημαντικά στον ενεργειακό εφοδιασμό και τον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής, σε περιφερειακό και εθνικό επίπεδο. Στην πραγματικότητα, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και η γεωργία είναι ένας ιδιαίτερα κερδοφόρος συνδυασμός καθώς η αιολική και η ηλιακή ενέργεια και η βιομάζα μπορούν να συλλέγονται επ' αόριστον, παρέχοντας στους αγρότες μια μακροπρόθεσμη πηγή εισοδήματος (H. S. Fami et al., 2010).

3.5.1 Η αιολική ενέργεια στον αγροτικό τομέα

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανεμογεννήτριες μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αυξήσει το βιοτικό επίπεδο των κατοίκων της υπαίθρου, βελτιώνοντας τη παραγωγικότητα των καλλιεργειών. Η ανεμογεννήτρια μπορεί να παίξει σημαντικό ρόλο στις περιοχές όπου υπάρχει έλλειψη βροχής και ως εκ τούτου υψηλή ζήτηση για αντλούμενο νερό άρδευσης. Η εγκατάσταση μιας αντλίας νερού που λειτουργεί με ανεμογεννήτρια, μπορεί να αυξήσει την παραγωγικότητα κατακόρυφα καθ' όλη τη διάρκεια του έτους και επίσης να τροφοδοτήσει τα οικόσιτα ζώα με πόσιμο νερό. Προς το παρόν, χρησιμοποιούνται στα αγροκτήματα κυρίως αντλίες νερού που λειτουργούν με ορυκτά καύσιμα. Ένας μικρός αριθμός αντλιών νερού που λειτουργούν με ανεμογεννήτρια

είναι εγκατεστημένος παγκοσμίως, όπως για παράδειγμα η πιλοτική ανεμογεννήτρια ισχύος 5 kW που είναι εγκατεστημένη στο χωριό Sayya Gidan-Gada στο κράτος Sokoto, στη Νιγηρία. Άλλες εφαρμογές των αντλιών νερού που χρησιμοποιούν αιολική ενέργεια είναι για οικιακή παροχή νερού, για αποστράγγιση, σε ιχθυοτροφεία κα.

Στις χώρες όπου υπάρχει έλλειψη διαθέσιμης γης για την κατασκευή ανεμογεννητριών, ο αγροτικός τομέας διαδραματίζει βασικό ρόλο παρέχοντας τον απαιτούμενο χώρο. Για παράδειγμα στη Δανία, οι συνεταιρισμοί αγροτών ενισχύουν τα εισοδήματά τους επενδύοντας στην αιολική ενέργεια καθώς σχεδόν το ¼ της αιολικής ενέργειας που προέρχεται από ανεμογεννήτριες παράγεται από τους Δανούς αγρότες. Η ίδια τάση υπάρχει και στη Γερμανία, όπου οι αγρότες έχουν ιδρύσει ιδιωτικές εταιρείες για την ανάπτυξη έργων αιολικής ενέργειας. Τα αιολικά πάρκα μπορούν να κατασκευαστούν σε αγροκτήματα χωρίς καμία επιβλαβή επίπτωση στις γεωργικές δραστηριότητες.



Σχήμα 3.5: Αιολικό πάρκο εντός αγροκτήματος (Πηγή: Thermtest)

Οι ανεμογεννήτριες μπορούν να είναι ιδιαίτερα επωφελείς για τις καλλιέργειες και ένας από τους πιο προφανείς τρόπους είναι η ανάμειξη του αέρα που προκύπτει από την κίνηση των πτερυγίων της γεννήτριας, με αποτέλεσμα τη λήψη περισσότερου διοξειδίου του άνθρακα - CO₂ - από τις καλλιέργειες. Το διοξείδιο του άνθρακα απορροφάται από τα φυτά και μέσω της φωτοσύνθεσης παράγει τις απαραίτητες θρεπτικές ουσίες για την ανάπτυξη του φυτού. Ορισμένες άλλες θετικές επιπτώσεις που θα μπορούσαν να έχουν οι ανεμογεννήτριες στις καλλιέργειες είναι πιο περίπλοκες. Για παράδειγμα, η κίνηση του αέρα που προκαλείται από τις ανεμογεννήτριες θα μπορούσε να μειώσει την ποσότητα

υγρασίας στα φύλλα τη νύχτα, γεγονός που θα βοηθήσει στη μείωση των ασθενειών στις καλλιέργειες, όπως αυτές που προκαλούνται από μύκητες.

Το αιολικό δυναμικό είναι επίσης άφθονο σε όλη την περιοχή της Μεσογείου λόγω της γεωγραφικής θέσης της που χαρακτηρίζεται από μια μεγάλη ακτογραμμή. Η ενσωμάτωση έργων αιολικής ενέργειας στον αγροτικό τομέα είναι μια ενδιαφέρουσα οικονομική ευκαιρία για τις αγροτικές επιχειρήσεις της περιοχής. Ωστόσο, καθώς τα έργα αιολικής ενέργειας είναι αρκετά κοστοβόρα, υπάρχει ανάγκη να κινητοποιηθούν κεφάλαια για την ανάπτυξη τέτοιων έργων (Chel and Kaushik, 2011).

3.5.2 Η υδροηλεκτρική ενέργεια στον αγροτικό τομέα

Η σημαντικότερη εφαρμογή της υδροηλεκτρικής ενέργειας στον αγροτικό τομέα, είναι ο συνδυασμός άρδευσης και παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Υπάρχουν δύο ειδών συστήματα: Τα μηχανικά συστήματα υδροηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιούν την πίεση ενός συστήματος άρδευσης για να περιστρέψουν το στρόβιλο, οδηγώντας με αυτό τον τρόπο την υδραυλική αντλία που είναι υπεύθυνη για την προώθηση του νερού άρδευσης στην καλλιέργεια. Σε αυτήν την περίπτωση, δεν παράγεται και δεν απαιτείται ηλεκτρική ενέργεια για την κίνηση του κεντρικού άξονα της αντλίας. Τα μηχανικά συστήματα υδροηλεκτρικής ενέργειας είναι τα πιο κοινά λόγω του σχετικά χαμηλού κόστους εγκατάστασης και συντήρησης τους και της ανεξαρτησίας τους από το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας.

Ο άλλος τύπος συστήματος, το υδροηλεκτρικό σύστημα, αξιοποιεί την ενέργεια του νερού για να περιστρέψει ένα στρόβιλο, παράγοντας με αυτό τον τρόπο ηλεκτρική ενέργεια. Αν και τα υδροηλεκτρικά συστήματα είναι πιο δαπανηρά, ωστόσο προσφέρουν στον αγρότη έναν τρόπο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που μειώνει τους λογαριασμούς κοινής ωφελείας. Συνήθως, η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από ένα σύστημα υδροηλεκτρικής ενέργειας μεταφέρεται στο κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο και χρησιμοποιείται από τους καταναλωτές. Κάθε κιλοβατώρα ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ένα μικρό σύστημα υδροηλεκτρικής ενέργειας και μεταφέρεται στο δίκτυο πιστώνεται έναντι της μηνιαίας χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας ενός αγροκτήματος. Έως και το 120% της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από το αγρόκτημα σε ένα μήνα και δε χρησιμοποιείται, μπορεί να μεταφερθεί στον επόμενο μήνα, ενώ ο αγρότης θα πληρώσει για οποιαδήποτε ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιείται πέρα από αυτό που παράγεται (Osborn B., 2017).

3.5.3 Η γεωθερμική ενέργεια στον αγροτικό τομέα

Η γεωθερμική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί άμεσα ως θερμότητα, δηλαδή χωρίς περαιτέρω μετατροπή. Εναλλακτικά, η γεωθερμική ενέργεια μπορεί να μετατραπεί σε άλλους τύπους ενέργειας, όπως για παράδειγμα σε ηλεκτρική ενέργεια. Η άμεση χρήση εκμεταλλεύεται τον ενεργειακό πόρο πιο αποτελεσματικά καθώς δεν υπάρχουν απώλειες ενέργειας λόγω της μετατροπής. Οι εφαρμογές που χρησιμοποιούν τη γεωθερμική ενέργεια άμεσα ποικίλλουν ανάλογα με τη θερμοκρασία, καθώς η άμεση χρήση συνδέεται συνήθως με γεωθερμικούς πόρους χαμηλότερης θερμοκρασίας – δηλαδή με θερμοκρασίες μικρότερες από 150 °C - αν και ορισμένες εφαρμογές ενδέχεται να απαιτούν υψηλότερες θερμοκρασίες. Η γεωθερμική ενέργεια θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί στη στον αγροτικό τομέα για τη θέρμανση των θερμοκηπίων ή την ξήρανση των καλλιεργειών, καθώς και για την υδατοκαλλιέργεια και τη θέρμανση χώρων. Θα μπορούσε επίσης να χρησιμοποιηθεί για βιομηχανικές διαδικασίες όπως η παστερίωση του γάλακτος, η ξήρανση οργανικών υλικών, η αφαλάτωση, η επεξεργασία του μαλλιού και η προθέρμανση νερού σε σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής με ορυκτά καύσιμα. Υπάρχουν σημαντικά οικονομικά, περιβαλλοντικά και ενεργειακά οφέλη που σχετίζονται με την άμεση χρήση της γεωθερμικής ενέργειας, όπως:

- Χαμηλότερο κόστος θέρμανσης λόγω μείωσης της κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, πετρελαίου ή φυσικού αερίου.
- Μειωμένες εκπομπές CO₂ και οξειδίων αζώτου και θείου, λόγω μείωσης της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ορυκτά καύσιμα.
- Καλύτερη χρήση των πόρων, λόγω μειωμένης κατανάλωσης καυσίμου υψηλής ποιότητας, όπως είναι το φυσικό αέριο, για θέρμανση.
- Ελάχιστο κόστος συντήρησης μετά την εγκατάσταση (Fridleifsson, 2001).

Οι βασικότερες εφαρμογές της γεωθερμικής ενέργειας στον αγροτικό τομέα εμφανίζονται παρακάτω:

A. Θέρμανση θερμοκηπίων

Η γεωθερμική ενέργεια έχει χρησιμοποιηθεί εκτενέστατα στη γεωργία τα τελευταία 25 χρόνια για θέρμανση θερμοκηπίων. Η θέρμανση των θερμοκηπίων είναι μία από τις πιο κοινές, άμεσες εφαρμογές της γεωθερμικής ενέργειας, η οποία ελέγχει επίσης το μικροκλίμα της εγκατάστασης, κυρίως τη σχετική υγρασία και τη θερμοκρασία.

Θερμοκήπια με γεωθερμική ενέργεια χρησιμοποιούνται για την καλλιέργεια λαχανικών και φρούτων καθώς επίσης και λουλουδιών και φυτών εσωτερικού χώρου. Η βέλτιστη θερμοκρασία που απαιτείται για την καλλιέργεια των διαφορετικών ειδών φυτών είναι διαφορετική. Επομένως, ανάλογα με τη ζήτηση θέρμανσης των θερμοκηπίων, η θερμοκρασία του νερού που παρέχεται κυμαίνεται από 40 έως και 100 °C (Vasilevska, 2007).



Σχήμα 3.6: Η γεωθερμική ενέργεια χρησιμοποιείται για τη θέρμανση θερμοκηπίων, ιδιαίτερα σε χώρες με μικρά ποσοστά ηλιοφάνειας (Πηγή: Flickr/ Jeroen van Luin, Creative Commons)

B. Ξήρανση των καλλιεργειών

Η γεωθερμική ενέργεια έχει εφαρμοστεί στην ξήρανση λαχανικών, φρούτων και άλλων δημητριακών (Lund et al., 2005). Για να αποφευχθεί η σπατάλη ενέργειας και να διασφαλιστεί η διαθεσιμότητα διαφορετικών τροφίμων όλο το χρόνο, η ξήρανση των αγροτικών προϊόντων παίζει πολύ σημαντικό ρόλο. Το μέγιστο δυναμικό των γεωθερμικών πόρων που προορίζονται για εφαρμογές γεωργικής ξήρανσης περιλαμβάνει γεωθερμικούς πόρους χαμηλής έως μέσης ενθαλπίας με θερμοκρασία μικρότερη από 150 °C. Η θερμότητα που απαιτείται για την ξήρανση μπορεί να ληφθεί από το ζεστό νερό ή τον ατμό των γεωθερμικών φρεατίων. Αντί για τη χρήση ορυκτών καυσίμων και ηλεκτρικής ενέργειας για την επεξεργασία τροφίμων, η γεωθερμική ενέργεια είναι η πιο συμφέρουσα τεχνική για τη γεωργική επεξεργασία, συμπεριλαμβανομένου του πολύ χαμηλού κόστους χρήσης ζεστού νερού και ατμού.

3.5.4 Ενέργεια από βιομάζα στον αγροτικό τομέα

Ως βιομάζα ορίζεται όλη η οργανική ύλη εκτός από τα ορυκτά καύσιμα. Η έννοια της ανανεώσιμης ενέργειας διαφοροποιεί τη βιομάζα από τα ορυκτά καύσιμα. Η βιομάζα υφίσταται σε διάφορες μορφές: ξύλο, ετήσιες καλλιέργειες, υπολείμματα καλλιεργειών, κοπριά ζώων, θαλάσσια φυτά, φύκια και άλλα. Η βιομάζα μπορεί να καεί απευθείας για παραγωγή θερμότητας ή να μετατραπεί σε πιο χρήσιμες στερεές, υγρές ή αέριες μορφές. Στη συνέχεια, μπορεί να αποθηκευτεί και στη συνέχεια να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο – Τα καύσιμα αυτά τα οποία προέρχονται από την επεξεργασία της βιομάζας ονομάζονται βιοκαύσιμα, τα σημαντικότερα εκ των οποίων είναι το βιοντίζελ, το βιοαέριο και η αιθανόλη.

Η ενέργεια που προέρχεται από τη βιομάζα είναι ιδιαίτερα σημαντική για τον αγροτικό τομέα, καθώς οι πρώτες ύλες για την παραγωγή βιοκαυσίμων είναι είτε ενεργειακά φυτά που παράγονται σε καλλιεργήσιμες εκτάσεις, είτε υποπροϊόντα της αγροτικής δραστηριότητας όπως ζωικά και φυτικά υποπροϊόντα. Στην πρώτη περίπτωση τα βιοκαύσιμα ονομάζονται βιοκαύσιμα 1^{ης} γενιάς ενώ στη 2^η περίπτωση ονομάζονται βιοκαύσιμα 2^{ης} γενιάς.

Ίσως το μεγαλύτερο πλεονέκτημα των βιοκαυσίμων είναι ότι οι αγρότες μπορούν να τα χρησιμοποιήσουν σε υπάρχοντες κινητήρες ντίζελ, χωρίς να απαιτούνται σημαντικές μετατροπές. Χωρίς ανάγκη για νέα μηχανήματα ή τροποποιημένο εξοπλισμό, τα εναλλακτικά καύσιμα είναι πιο προσιτά, ειδικά σε μικρότερα αγροκτήματα. Αυτή η προσβασιμότητα είναι πιθανώς ο πρωταρχικός παράγοντας πίσω από την αυξανόμενη υιοθέτηση των βιοκαυσίμων από την αγροτική βιομηχανία (B.A. Stout, 1990).

Πρωταρχικό κίνητρο για την προώθηση των βιοκαυσίμων είναι η αγροτική οικονομική ανάπτυξη. Η παραγωγή βιοκαυσίμων μπορεί να έχει θετικό αντίκτυπο στη γεωργική απασχόληση και τα μέσα διαβίωσης, ειδικά όταν η καλλιέργεια περιλαμβάνει αγρότες μικρής κλίμακας και οι εγκαταστάσεις μετατροπής βρίσκονται σε αγροτικές περιοχές κοντά στις καλλιέργειες. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η καλλιέργεια του ζαχαροκάλαμου στη Βραζιλία - το οποίο σχετίζεται άμεσα με την παραγωγή βιοαιθανόλης - και απασχολεί περίπου 1 εκατομμύριο εργαζόμενους, αριθμός που αναμένεται να αυξηθεί κατά 204.000 τα επόμενα πέντε χρόνια. Οι περισσότερες θέσεις εργασίας που σχετίζονται με τη παραγωγή βιοαιθανόλης αφορούν χαμηλά ειδικευμένους και φτωχούς εργαζόμενους σε αγροτικές περιοχές και η ποιότητα των θέσεων εργασίας

είναι καλύτερη λόγω της χαμηλότερης εποχικότητας και των αυξανόμενων μισθών. Στις ΗΠΑ, η παραγωγή βιοαιθανόλης έχει οδηγήσει στη δημιουργία περισσότερης απασχόλησης στις αγροτικές περιοχές από οποιαδήποτε άλλη δραστηριότητα.

Η παραγωγή βιοκαυσίμων σε άλλα μέρη του κόσμου μπορεί επίσης να δημιουργήσει επιπρόσθετες ευκαιρίες για οικογενειακούς αγρότες και εργαζόμενους στον αγροτικό τομέα. Για παράδειγμα, η κυβέρνηση της Κολομβίας εκτιμά ότι κάθε αγροτική οικογένεια θα κερδίζει δύο φορές τον κατώτατο μισθό - 4.000 δολάρια ΗΠΑ ετησίως - μέσω της παραγωγής βιοαιθανόλης. Στην Κίνα, το πρόγραμμα υγρών βιοκαυσίμων προβλέπεται ότι θα δημιουργήσει έως και 9,26 εκατομμύρια θέσεις εργασίας σε όλη τη χώρα, οδηγώντας έτσι σε σημαντική αύξηση της παραγωγής εισοδήματος και της αγροτικής ανάπτυξης.

Ωστόσο εκφράζονται ανησυχίες ότι η παραγωγή βιοκαυσίμων μεγάλης κλίμακας θα οδηγήσει σε προβλήματα επισιτιστικής ασφάλειας, ειδικά στις φτωχότερες αναπτυσσόμενες χώρες. Υποστηρίζεται ότι η μεγαλύτερη ζήτηση για βιοκαύσιμα θα οδηγήσει στην έλλειψη γης για άλλες χρήσεις, συμπεριλαμβανομένης της παραγωγής τροφίμων. Αυτό θα μπορούσε να οδηγήσει σε ελλείψεις και υψηλότερες τιμές τροφίμων για τους καταναλωτές.

Υπάρχουν όμως σοβαρά επιχειρήματα που υποστηρίζουν ότι η παραγωγή μεγάλης κλίμακας βιοκαυσίμων δεν συνεπάγεται απαραίτητα και συμβιβασμούς στην επισιτιστική ασφάλεια. Μεταξύ των κύριων επιχειρημάτων που υποστηρίζουν αυτή την άποψη είναι ότι:

- Υπάρχει αρκετή γη διαθέσιμη για να υποστηρίξει τη μαζική παραγωγή βιοκαυσίμων χωρίς να θέσει σε κίνδυνο τα μελλοντικά αποθέματα τροφίμων ή να προκαλέσει την περαιτέρω αποψίλωση των δασών.
- Τα βιοκαύσιμα δεν θα αντικαταστήσουν πλήρως τα ορυκτά καύσιμα. Είναι πιθανότερο να αποτελέσουν μια εναλλακτική λύση μέσα σε ένα ευρύ φάσμα διαφορετικών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Υπολογίζεται ότι τα βιοκαύσιμα θα μπορούσαν να καλύψουν το 20% με 30% της παγκόσμιας ζήτησης με περιβαλλοντικά υπεύθυνο τρόπο χωρίς να επηρεάζεται η παραγωγή τροφίμων.
- Υπάρχουν τρόποι συνέργειας μεταξύ της παραγωγής καυσίμων και τροφίμων καθώς ορισμένες πολυετείς ενεργειακές καλλιέργειες μπορούν να καλλιεργηθούν σε υποβαθμισμένης ποιότητας γη, ακατάλληλη για καλλιέργειες τροφίμων. Επίσης τα βιοκαύσιμα 2^{ης} γενιάς χρησιμοποιούν ως 1^η ύλη τα υπολείμματα της αγροτικής

επεξεργασίας και επομένως δεν υπάρχει απαίτηση για χρήση επιπλέον γης (Dufey A., 2006).



Σχήμα 3.7: Τα βιοκαύσιμα μπορούν να αποτελέσουν μια επιπλέον πηγή εισοδήματος για τους εργαζόμενους στον αγροτικό τομέα (Πηγή: ThoughtCo)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΟΣ ΤΟΜΕΑΣ

4.1 Εισαγωγή

Τα θεμέλια ολόκληρου του αγροτικού τομέα στηρίζονται στη μοναδική ικανότητα των φυτών να μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε αποθηκευμένη χημική ενέργεια. Η ηλιακή ενέργεια είναι η πιο κατάλληλη επιλογή μεταξύ άλλων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για τον αγροτικό τομέα, καθώς είναι συνυφασμένη με την ανάπτυξη των φυτών και είναι σχετικά εύκολα διαθέσιμη σε κάθε σημείο της γης. Επίσης, οι διάφορες τεχνολογίες ηλιακής ενέργειας έχουν μακρά ιστορία, όπως έχει ήδη εξεταστεί στο 2^ο Κεφάλαιο. Ήδη από το 1860 αναπτύχθηκε μια σειρά από διαφορετικές τεχνολογίες για την παραγωγή ατμού μέσω της δέσμησης της ηλιακής θερμότητας για τη λειτουργία κινητήρων και αντλιών άρδευσης (Torshizi M., 2017).

4.2 Χρήσεις της ηλιακής ενέργειας στον αγροτικό τομέα

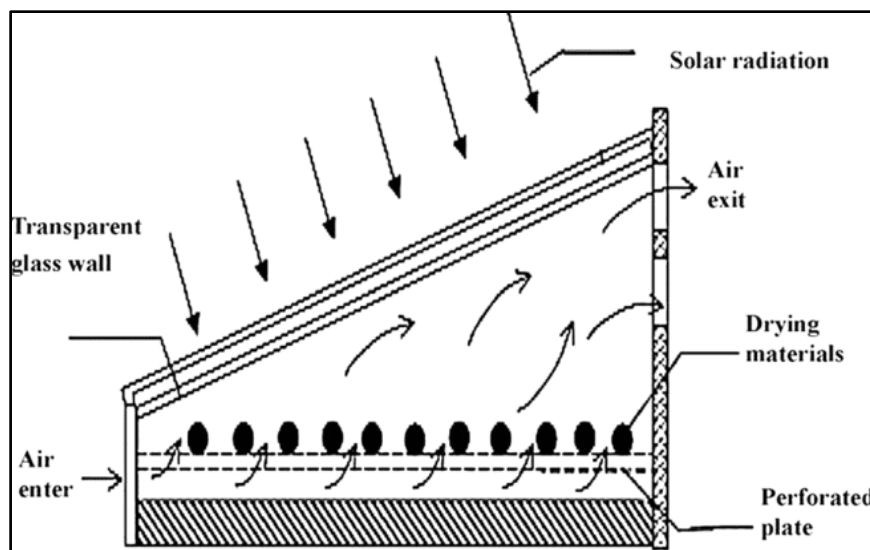
Η ηλιακή ενέργεια μπορεί να προμηθεύσει ή να συμπληρώσει πολλές από τις ενεργειακές απαιτήσεις του αγροτικού τομέα, όπως εμφανίζεται παρακάτω.

4.2.1 Ξήρανση των καλλιεργειών

Η χρήση της ηλιακής ενέργειας για την ξήρανση των καλλιεργειών και των σιτηρών είναι μια από τις παλαιότερες και πλέον χρησιμοποιούμενες εφαρμογές της ηλιακής ενέργειας στον αγροτικό τομέα. Η απλούστερη και πιο οικονομική τεχνική, είναι η φυσική ξήρανση των καλλιεργειών στο χωράφι ή η απευθείας έκθεση σιτηρών και φρούτων στον ήλιο μετά τη συγκομιδή. Το μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι οι καλλιέργειες και τα σιτηρά υπόκεινται σε ζημιές από πτηνά ή τρωκτικά, από τον άνεμο και τη βροχή και είναι εκτεθειμένα σε μικροοργανισμούς με κίνδυνο επιμολύνσεων από τη σκόνη που μεταφέρεται με τον άνεμο. Σήμερα υπάρχουν εξελιγμένοι ηλιακοί ξηραντήρες που προστατεύουν τα σιτηρά και τα φρούτα, μειώνουν τις απώλειες, στεγνώνουν τα προϊόντα γρηγορότερα και πιο ομοιόμορφα και παράγουν ένα προϊόν καλύτερης ποιότητας σε σχέση με τη φυσική, παραδοσιακή μέθοδο της ξήρανσης στην ύπαιθρο.

Τα βασικά μέρη ενός ηλιακού ξηραντήρα είναι ένα περίβλημα, συνήθως από γυαλί, δίσκοι ή ράφια ξήρανσης με επένδυση και ένας ηλιακός συλλέκτης, ο οποίος σε θερμά και ξηρά κλίματα ενδέχεται να μην είναι απαραίτητος. Ο ηλιακός συλλέκτης μπορεί να είναι

μια εξαιρετικά απλή κατασκευή, για παράδειγμα ένα κουτί με τζάμια σκούρου χρώματος στο εσωτερικό, ώστε να απορροφά την ηλιακή ενέργεια που θερμαίνει τον αέρα. Ο αέρας που θερμαίνεται στον ηλιακό συλλέκτη κινείται προς τα πάνω, είτε με φυσική μεταφορά είτε μέσω ενός ανεμιστήρα, μέσα από το υλικό που ξηραίνεται. Το μέγεθος του συλλέκτη και ο ρυθμός ροής του αέρα εξαρτάται από την ποσότητα του προς ξήρανση υλικού, την περιεκτικότητα του υλικού σε υγρασία, την υγρασία του αέρα και τη μέση ποσότητα ηλιακής ακτινοβολίας που είναι διαθέσιμη κατά τη διάρκεια της περιόδου ξήρανσης.



Σχήμα 4.1: Η βασική διάταξη ενός ηλιακού ξηραντήρα (Πηγή: *researchgate*)

Υπάρχει ένας σχετικά μικρός αριθμός μεγάλων ηλιακών ξηραντήρων για την αποξήρανση καλλιεργειών παγκοσμίως. Αυτό συμβαίνει διότι το κόστος του ηλιακού συλλέκτη μπορεί να είναι υψηλό και οι ρυθμοί ξήρανσης δεν είναι τόσο ελεγχόμενοι όσο είναι στους ξηραντήρες φυσικού αερίου ή προπανίου. Η χρήση του συλλέκτη του ξηραντήρα για επιπλέον εφαρμογές, όπως για τη θέρμανση κτιρίων εντός του αγροκτήματος την περίοδο που δε πραγματοποιείται ξήρανση, μπορεί να καταστήσει έναν ηλιακό ξηραντήρα πιο οικονομικό. Αυτά τα συστήματα μπορεί να είναι χρήσιμα για την ξήρανση λαχανικών και φρούτων για οικιακή χρήση, καθώς κατασκευάζονται σχετικά εύκολα από απλά υλικά.

4.2.2 Θέρμανση νερού και χώρων

Οι κτηνοτροφικές εργασίες έχουν συχνά σημαντικές ενεργειακές απαιτήσεις για τη θέρμανση αέρα και νερού. Οι σύγχρονες εγκαταστάσεις χοιροτροφείων και πτηνοτροφείων, εκτρέφουν ζώα σε κλειστά κτίρια όπου είναι απαραίτητο να ελέγχεται προσεκτικά η θερμοκρασία και η ποιότητα του αέρα ώστε να εξασφαλιστεί η υγεία των ζώων και να μεγιστοποιηθεί η ανάπτυξη τους. Αυτές οι εγκαταστάσεις πρέπει να ανακυκλώνουν τακτικά τον εσωτερικό αέρα για να απομακρύνουν την υγρασία, τις οσμές των τοξικών αερίων και τη σκόνη και η θέρμανση αυτού του αέρα, όταν αυτό είναι απαραίτητο, απαιτεί μεγάλη ποσότητα ενέργειας. Με κατάλληλο σχεδιασμό, είναι δυνατό να ενσωματωθούν σε αγροτικά κτίρια ηλιακοί θερμαντήρες για να προθερμαίνουν τον εισερχόμενο καθαρό αέρα. Αυτά τα συστήματα μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για να συμπληρώσουν τα επίπεδα φυσικού αερισμού κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, ανάλογα με την περιοχή και το κλίμα. Η ηλιακή θέρμανση του νερού μπορεί να παρέχει ζεστό νερό για τον καθαρισμό του εξοπλισμού ή να προθερμαίνει το νερό που εισέρχεται σε ένα συμβατικό θερμοσίφωνα. Υπολογίζεται ότι η θέρμανση του νερού αντιπροσωπεύει έως και το 25 % του ενεργειακού κόστους μιας τυπικής οικογένειας και έως και το 40 % της ενέργειας που χρησιμοποιείται σε μια τυπική γαλακτοκομική μονάδα. Ένα σωστά διαστασιοποιημένο ηλιακό σύστημα θέρμανσης θα μπορούσε θεωρητικά να μειώσει αυτά τα κόστη κατά το ήμισυ.

Υπάρχουν τέσσερις βασικοί τύποι ηλιακών θερμαντήρων και όλα τα συστήματα αυτού του τύπου μοιράζονται τρεις βασικές ομοιότητες: ένα κάλυμμα, συνήθως από γυαλί, πάνω από μια σκούρα επιφάνεια η οποία συλλέγει την ηλιακή θερμότητα, μία ή δύο δεξαμενές για την αποθήκευση του ζεστού νερού και τις σχετικές υδραυλικές εγκαταστάσεις, με ή χωρίς αντλίες, για την κυκλοφορία του νερού από τη δεξαμενή στους συλλέκτες και πάλι πίσω. Τα συστήματα ηλιακής θέρμανσης περιγράφονται παρακάτω:

- i. Τα συστήματα στράγγισης αντλούν νερό από τη δεξαμενή ζεστού νερού προς τον ηλιακό συλλέκτη, όπου το νερό θερμαίνεται από τον ήλιο και επιστρέφει στη δεξαμενή. Κατάλληλες βαλβίδες απομονώνουν αυτόματα το σύστημα όταν οι αισθητήρες ανιχνεύουν θερμοκρασίες χαμηλότερες από 0 °C, προστατεύοντας έτσι το κύκλωμα.
- ii. Τα συστήματα αντίστροφης στράγγισης χρησιμοποιούν ξεχωριστές σωληνώσεις νερού για να συλλέξουν τη θερμότητα του ήλιου. Αυτά τα συστήματα λειτουργούν

αυστηρά με τη βαρύτητα. Όταν η θερμοκρασία πλησιάζει τους 0 °C, η αντλία κλείνει και το νερό επιστρέφει πίσω στη δεξαμενή αποθήκευσης.

- iii. Τα αντιψυκτικά συστήματα κλειστού βρόχου χρησιμοποιούν αντιψυκτικό υγρό για να λειτουργούν ομαλά και κατά τους χειμερινούς μήνες. Το αντιψυκτικό υγρό διαχωρίζεται από το νερό του δικτύου με έναν εναλλάκτη θερμότητας διπλού τοιχώματος.
- iv. Τα συστήματα “ψωμέρας” είναι παθητικά συστήματα στα οποία η δεξαμενή αποθήκευσης λειτουργεί επίσης και ως συλλέκτης. Μία ή δύο δεξαμενές νερού, βαμμένες σε μαύρο χρώμα, τοποθετούνται σε καλά μονωμένο κιβώτιο, η πλευρά του οποίου καλύπτεται από διαφανές πλαστικό ή γυαλί και βρίσκεται υπό κατάλληλη γωνία. Αυτό επιτρέπει στην ηλιακή ενέργεια να θερμαίνει απευθείας τη δεξαμενή και να ζεσταίνει μια ποσότητα νερού στο εσωτερικό της. Επιπλέον, ένα μονωμένο κάλυμμα παρέχει ικανοποιητική προστασία από τις χαμηλές θερμοκρασίες.

4.2.3 Θερμοκήπια

Μια άλλη εφαρμογή της ηλιακής ενέργειας στον αγροτικό τομέα, είναι η χρήση της για το φωτισμό και τη θέρμανση ενός θερμοκηπίου. Τα εμπορικά θερμοκήπια βασίζονται συνήθως στον ήλιο για να καλύψουν τις ανάγκες φωτισμού τους, αλλά δεν έχουν σχεδιαστεί για να χρησιμοποιούν την ηλιακή ενέργεια για θέρμανση. Βασίζονται κυρίως σε θερμαντήρες αερίου ή πετρελαίου για να διατηρήσουν την απαραίτητη θερμοκρασία για την ανάπτυξη των φυτών κατά τους χειμερινούς μήνες. Το ηλιακό θερμοκήπιο, ωστόσο, έχει σχεδιαστεί για να χρησιμοποιεί την ηλιακή ενέργεια τόσο για θέρμανση όσο και για φωτισμό.

Ένα ηλιακό θερμοκήπιο συλλέγει και αποθηκεύει την ηλιακή ενέργεια κατά τη διάρκεια της ημέρας και χρησιμοποιεί θερμομόνωση για τη διατήρηση αυτής της θερμότητας κατά τη διάρκεια της νύχτας και των ημερών με περιορισμένη ηλιοφάνεια. Ένα ηλιακό θερμοκήπιο είναι προσανατολισμένο έτσι ώστε να μεγιστοποιεί την ηλιακή έκθεση στη νότια πλευρά του, ενώ η βόρεια πλευρά έχει ελάχιστα τζάμια και είναι επαρκώς θερμομονωμένη. Για να μειωθούν οι απώλειες θερμότητας, το γυαλί του θερμοκηπίου έχει υψηλό συντελεστή μεταφοράς θερμότητας και – συνήθως – τα θερμοκήπια φέρουν διπλά τζάμια για μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα. Τα ηλιακά θερμοκήπια μειώνουν την ανάγκη για χρήση ορυκτών καυσίμων για θέρμανση, ωστόσο

συνήθως υπάρχει ένας θερμαντήρας αερίου ή πετρελαίου στην εγκατάσταση του θερμοκηπίου που χρησιμεύει είτε ως εφεδρικός θερμαντήρας είτε για την αύξηση των επιπέδων διοξειδίου του άνθρακα ώστε να επιτευχθεί υψηλότερος ρυθμός ανάπτυξης των φυτών.

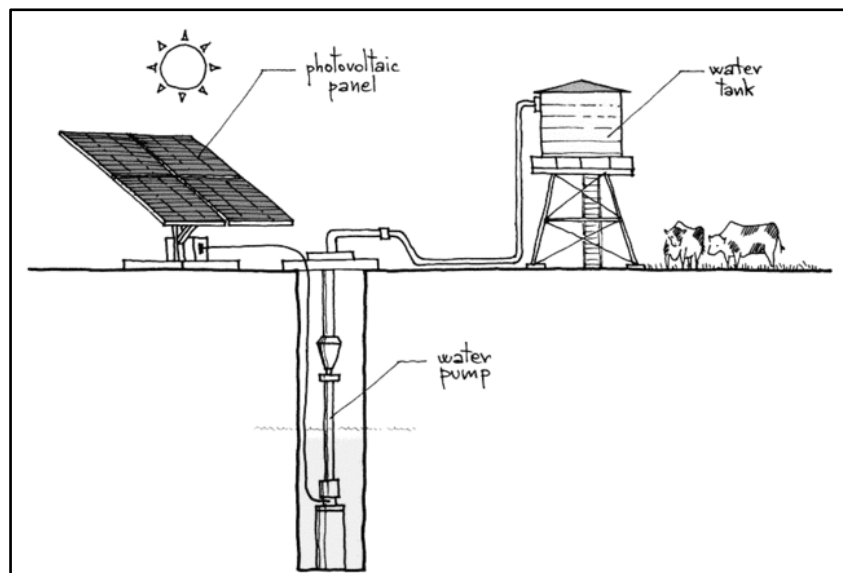
Τα ηλιακά θερμοκήπια είναι συχνά μια καλή επιλογή για τους μικρούς καλλιεργητές, επειδή αποτελούν έναν οικονομικά αποδοτικό τρόπο για τους αγρότες ώστε να παρατείνουν την καλλιεργητική περίοδο. Σε ψυχρότερα κλίματα ή σε περιοχές με μεγάλες περιόδους υψηλής νέφωσης, η ηλιακή ενέργεια συμπληρώνεται ορισμένες φορές από ένα σύστημα θέρμανσης με φυσικό αέριο ή ηλεκτρισμό για την προστασία των φυτών από το έντονο κρύο.

4.2.4 Αντληση νερού

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα άντλησης νερού είναι με διαφορά η πιο οικονομικά αποδοτική επιλογή άντλησης νερού σε τοποθεσίες όπου δεν υπάρχει εγκατεστημένο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας και αποτελούν μια εξαιρετική λύση για την παροχή νερού σε απομακρυσμένα βοσκοτόπια. Το μεγάλο πλεονέκτημα των απλών φωτοβολταϊκών συστημάτων, που τα καθιστά πολύ καλή επιλογή για άντληση νερού, είναι ότι τροφοδοτούν απευθείας τις αντλίες με ηλεκτρική ενέργεια, η οποία είναι ανάλογη της ηλιακής ενέργειας την οποία δεσμεύουν. Επομένως, τα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι πιο αποδοτικά κατά τους θερινούς μήνες, όπου οι υψηλές θερμοκρασίες καθιστούν την άντληση νερού περισσότερο αναγκαία. Γενικά, η χρήση μπαταριών για την αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας δεν είναι απαραίτητη, καθώς το νερό αποθηκεύεται σε δεξαμενές και χρησιμοποιείται κατά τη διάρκεια της ημέρας. Ωστόσο, τα μεγαλύτερα συστήματα άντλησης ενδέχεται να περιλαμβάνουν μπαταρίες, μετασχηματιστές και συστήματα παρακολούθησης της τροχιάς του ήλιου.

Όταν διαστασιολογηθούν σωστά και εγκατασταθούν, οι αντλίες νερού που λειτουργούν με φωτοβολταϊκά στοιχεία είναι ιδιαίτερα αξιόπιστες και απαιτούν ελάχιστη συντήρηση. Το μέγεθος και το κόστος ενός φωτοβολταϊκού συστήματος άντλησης νερού εξαρτάται από την ποιότητα της ηλιακής ενέργειας που διατίθεται στο χώρο της εγκατάστασης, το βάθος άντλησης, τη ζήτηση νερού και το κόστος αγοράς και εγκατάστασης του συστήματος. Γενικά, τα φωτοβολταϊκά συστήματα άντλησης νερού είναι πολύ αποδοτικά και οικονομικά για την παροχή νερού σε απομακρυσμένες περιοχές, για κτηνοτροφικές εφαρμογές, για τον αερισμό λιμνών και για την εγκατάσταση μικρών

συστημάτων άρδευσης. Για παράδειγμα, υπολογίζεται ότι ένα σύστημα που περιλαμβάνει μια φωτοβολταϊκή συστοιχία ισχύος 128 W και μια αντλία νερού, έχει δυναμικότητα άντλησης 3,500 – 4,500 λίτρων νερού την ημέρα από γεώτρηση βάθους 60 μέτρων.



Σχήμα 4.2: Η βασική διάταξη ενός φωτοβολταϊκού συστήματος άντλησης νερού (Πηγή researchgate)

4.2.5 Απομακρυσμένη παροχή ηλεκτρικής ενέργειας

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, τα φωτοβολταϊκά συστήματα μετατρέπουν το ηλιακό φως απευθείας σε ηλεκτρική ενέργεια. Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία λειτουργούν ακόμα και με ελάχιστη ποσότητα ηλιακής ενέργειας, ωστόσο παράγεται περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια όταν το φως του ήλιου είναι πιο έντονο και προσπίπτει απευθείας στα στοιχεία. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα μπορούν να τροφοδοτήσουν απευθείας μια ηλεκτρική συσκευή ή να αποθηκεύσουν την ηλιακή ενέργεια σε μια μπαταρία. Σε περιοχές όπου δεν υπάρχει εγκατεστημένο δίκτυο διανομής ηλεκτρισμού, τα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι συχνά φθηνότερα από τις γεννήτριες ντίζελ και τις ανεμογεννήτριες και απαιτούν λιγότερη συντήρηση. Σε περιοχές όπου οι πάροχοι ηλεκτρικής ενέργειας χρεώνουν τους καταναλωτές για την κατασκευή νέων γραμμών, ένα φωτοβολταϊκό σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι συχνά πολύ φθηνότερο για τον ιδιοκτήτη της γης από το κόστος μιας νέας γραμμής. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα επιτρέπουν την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, αθόρυβα, χωρίς να επιβαρύνουν την ατμόσφαιρα με επικίνδυνους ρύπους και είναι πρακτικά ανεξάντλητα. Τα συστήματα αυτά μπορούν να

χρησιμοποιηθούν σε ένα αγρόκτημα για φωτισμό, για ηλεκτρικές περιφράξεις, για τη λειτουργία μικρών ηλεκτρικών κινητήρων, ανεμιστήρων και βαλβίδων άρδευσης. Η ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί επίσης για την τροφοδοσία συστημάτων άρδευσης με ψεκασμό και κατάλληλων συστημάτων για την άντληση πόσιμου νερού για ζώα σε απομακρυσμένους βοσκότοπους, όπου η ηλεκτρική ενέργεια από το δίκτυο δεν είναι διαθέσιμη (J. Nnadi et al., 2010).

4.3 Αγροφωτοβολταϊκά συστήματα

Χάρη στο μειωμένο κόστος, την αυξημένη διάρκεια ζωής και τη βελτίωση της απόδοσης, η τεχνολογία των φωτοβολταϊκών στοιχείων παίζει βασικό ρόλο στη μετάβαση σε μια οικονομία χαμηλών εκπομπών άνθρακα.

Στις μέρες μας, ωστόσο οι χερσαίες εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών συστημάτων ανταγωνίζονται την παραγωγή τροφίμων για την εκμετάλλευση της γης. Ως εκ τούτου, η εύρεση καινοτόμων λύσεων για την εφαρμογή φωτοβολταϊκών συστημάτων με παράλληλη μείωση της σχετικής χρήσης γης γίνεται όλο και πιο επίκαιρη. Η κατασκευή ολοκληρωμένων φωτοβολταϊκών συστημάτων με χρήση υφιστάμενων κτιριακών επιφανειών, τα πλωτά φωτοβολταϊκά, δηλαδή η χρήση υφιστάμενων επιφανειών νερού και τα αγροφωτοβολταϊκά συστήματα, δηλαδή η διπλή χρήση γης για παραγωγή τροφής και ενέργειας ταυτόχρονα είναι μερικά από αυτά τα παραδείγματα. Αντιπροσωπεύουν ένα μέρος του μελλοντικού οράματος που δημιουργείται από την αυξανόμενη στροφή προς τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Τα τελευταία χρόνια, τα αγροφωτοβολταϊκά συστήματα έχουν υπάρξει αντικείμενο πολυάριθμων μελετών λόγω της δυνατότητας τους να βελτιώσουν τη σχέση παραγωγής τροφίμων – ενέργειας στον αγροτικό τομέα. Πιλοτικά έργα με νέο σχεδιασμό, βασισμένα σε φωτοβολταϊκά στοιχεία που προορίζονται για κάλυψη ανοιχτών καλλιεργήσιμων εκτάσεων έχουν παρουσιάσει υποσχόμενα αποτελέσματα, βελτιώνοντας τη διαθεσιμότητα του φωτός, προστατεύοντας τις καλλιέργειες από ακραία καιρικά φαινόμενα και μειώνοντας ταυτόχρονα την ανάγκη για άρδευση. Τα αγροφωτοβολταϊκά συστήματα επιτυγχάνουν την κοινή χρήση του ηλιακού φωτός για συμπαραγωγή τροφίμων και ενέργειας στο ίδιο κομμάτι γης - συνεπώς, ο σχεδιασμός τους πρέπει να επιλύσει, στο μέτρο του δυνατού, τους φυσικούς περιορισμούς της κάλυψης των φυτών από τα φωτοβολταϊκά στοιχεία, ώστε να αυξηθεί η κερδοφορία των καλλιεργειών. Ορισμένα παραδείγματα των κυριότερων προβλημάτων που σχετίζονται με τη χρήση

φωτοβολταϊκών συστημάτων σε καλλιεργήσιμες εκτάσεις καθώς και οι λύσεις που προτείνονται παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.1.

Πίνακας 4.1: Προβλήματα που σχετίζονται με τη χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων σε καλλιεργήσιμες εκτάσεις (Πηγή: Toledo C., Scognamiglio A., 2021)

Ζήτημα	Σχεδιαστική Λύση	Τεχνολογική Λύση
Ελαχιστοποίηση της σκίασης στις καλλιέργειες	Βέλτιστη σχεδίαση: 1. Ιδανική απόσταση μεταξύ των στοιχείων 2. Ιδανική απόσταση των στοιχείων από το έδαφος	1. Συστήματα παρακολούθησης της τροχιάς του ήλιου 2. Ημιδιαφανή φωτοβολταϊκά στοιχεία 3. Φωτοεκλεκτικά φωτοβολταϊκά στοιχεία
Μεγιστοποίηση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας	Βέλτιστη σχεδίαση: 1. Αποφυγή των απωλειών από περιβάλλουσες δομές (κτίρια, δέντρα) 2. Αζιμούθιο στραμμένο προς τον ισημερινό και κλίση κοντά στο γεωγραφικό πλάτος	1. Συστήματα υψηλής απόδοσης (π.χ. παρακολούθηση της ηλιακής τροχιάς) 2. Στοιχεία υψηλής απόδοσης (π.χ. στοιχεία διπλής επιφάνειας)
Κοινωνική αποδοχή (διατήρηση του τοπίου)	Βέλτιστη σχεδίαση ως προς το τοπίο: 1. Φυσικοί φράχτες και κατασκευές χαμηλού ύψους 2. Αφαιρούμενα συστήματα Νέο επιχειρηματικό μοντέλο: 1. Υψηλότερη οικονομική απόδοση ανά μονάδα γης 2. Επιπλέον οφέλη για την τοπική οικονομία και την απασχόληση (τουρισμός, αναψυχή κλπ.) Βέλτιστη σχεδίαση: 1. Διαφορετική κλίση, αζιμούθιο και ύψος για να ταιριάζει με τη μορφολογία της περιοχής	Νέα υλικά κατασκευής

Παράλληλα με την ανάπτυξη των νέων σχεδίων που δοκιμάζονται στο πεδίο, η συνεχής επιστημονική πρόοδος στο τομέα των φωτοβολταϊκών συστημάτων έχει επεκτείνει το φάσμα των σχεδιαστικών λύσεων με τη χρήση διαφορετικών τεχνολογιών, που βελτιστοποιούν την απορρόφηση του φωτός σε διαφορετικές περιοχές του φάσματος έτσι ώστε η φωτεινή ενέργεια να μπορεί να χρησιμοποιηθεί ταυτόχρονα και για τους δύο σκοπούς: την παραγωγή ενέργειας και την ανάπτυξη των καλλιεργειών. Από αυτή την άποψη, η επιτυχημένη εφαρμογή των φωτοβολταϊκών συστημάτων σε θερμοκήπια,

δηλαδή σε προστατευμένες καλλιέργειες, ανέδειξε τη δυνατότητα εφαρμογής των συγκεκριμένων συστημάτων σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας. Ακριβώς όπως ο πίνακας 4.1 συνοψίζει τα κυριότερα προβλήματα που σχετίζονται με τη χρήση των φωτοβολταϊκών συστημάτων σε ανοικτές καλλιεργήσιμες εκτάσεις καθώς και τις σχεδιαστικές και τεχνολογικές λύσεις, ο πίνακας 4.2 συνοψίζει τα κυριότερα προβλήματα για τα θερμοκήπια.

Πίνακας 4.2: Προβλήματα που σχετίζονται με τη χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων σε θερμοκήπια (Πηγή: Toledo C., Scognamiglio A., 2021)

Ζήτημα	Σχεδιαστική Λύση	Τεχνολογική Λύση
Ελαχιστοποίηση της σκίασης στις καλλιέργειες	Βέλτιστη σχεδίαση: 1. Διάταξη που θα επιτρέπει την ομογενοποιημένη κατανομή του φωτός μέσα στο θερμοκήπιο 2. Αύξηση του ύψους της υδρορροής του θερμοκηπίου	1. Δυναμικά συστήματα 2. Ημιδιαφανή φωτοβολταϊκά συστήματα
Ελαχιστοποίηση των απωλειών της φωτοσυνθετικά ενεργής ακτινοβολίας	Χρήση χρωματιστών στοιχείων	1. Φωτοβολταϊκά συστήματα με επιλεκτική εστίαση διαφορετικού μήκους κύματος του ηλιακού φάσματος για τα φυτά και τα στοιχεία. 2. Τεχνολογία συμπυκνωτή ηλιακής φωταύγειας
Μεγιστοποίηση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας	Βέλτιστη σχεδίαση για παραγωγή ενέργειας: 1. Μέγιστη ένταση χωρίς την επίδραση σκίασης στα στοιχεία 2. Βέλτιστη τοποθέτηση των στοιχείων (γωνίες κλίσης και αζιμούθιου της οροφής)	1. Χρήση των φωτοβολταϊκών συστημάτων υψηλής απόδοσης
Προβλήματα που αφορούν το μικροκλίμα, δηλαδή τις συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας εντός του θερμοκηπίου	1. Αερισμός (φυσικός μέσω αεραγωγών) 2. Προσανατολισμός (κατεύθυνση προς τον ήλιο) 3. Τοποθεσία (κλίμα)	1. Συστήματα θέρμανσης, εξαερισμού και κλιματισμού υψηλής απόδοσης 2. Τεχνητό φως
Κοινωνική αποδοχή	1. Σχεδιασμός του θερμοκηπίου για βέλτιστη οπτική απόδοση (π.χ. υψηλό επίπεδο ενσωμάτωσης του θερμοκηπίου στο τοπίο.	1. Κατάλληλη επιλογή φωτοβολταϊκών τεχνολογιών που επιτρέπουν αυξημένη οπτική απόδοση

Όπως γίνεται κατανοητό, τα αγροφωτοβολταϊκά δεν ακολουθούν τις κλασικές σχεδιαστικές πρακτικές των παραδοσιακών φωτοβολταϊκών συστημάτων, όπου παράμετροι όπως η κλίση και η γωνία προσανατολισμού βελτιστοποιούνται ώστε να

μεγιστοποιηθεί η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ο επανασχεδιασμός των φωτοβολταϊκών συστημάτων ώστε να συμπεριληφθούν και οι αγροτικές δραστηριότητες είναι μια συνεχής πρόκληση, δεδομένου ότι η μέγιστη ενεργειακή απόδοση ενδέχεται να έρχεται σε σύγκρουση με τη βέλτιστη γεωργική ανάπτυξη και με τη διατήρηση του φυσικού τοπίου και συνεπώς απαιτούνται πολλές σχεδιαστικές προσαρμογές σύμφωνα με τις τοπικές κλιματολογικές συνθήκες, τον τύπο της καλλιέργειας και τις ενεργειακές ανάγκες. Είναι απαραίτητο να γίνει κατανοητό ότι η στενή συσχέτιση μεταξύ της παραγωγής ενέργειας, της παραγωγής τροφίμων και της εκμετάλλευσης της γης απαιτεί μια σειρά από νέες τεχνολογικές και σχεδιαστικές προσεγγίσεις για τη διασφάλιση της.

4.3.1 Τεχνολογία σχεδιασμού αγροφωτοβολταϊκών συστημάτων

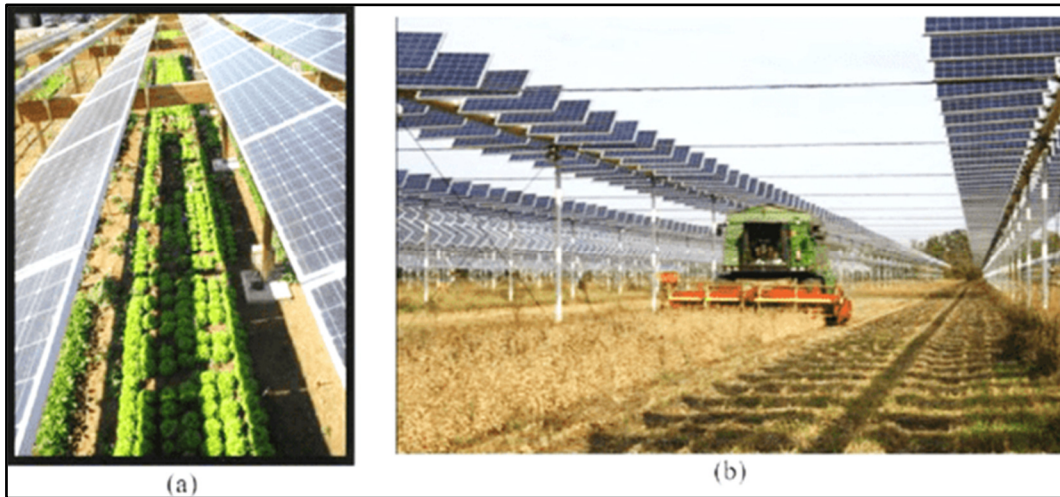
Η ιδέα της διπλής χρήσης γης, τόσο για την παραγωγή ενέργειας από φωτοβολταϊκά στοιχεία όσο και για την αγροτική παραγωγή, επινοήθηκε από τους Γερμανούς Goetzberger και Zastrow στο Ινστιτούτο Fraunhofer το 1981. Πρότειναν την ανύψωση της δομής των φωτοβολταϊκών στοιχείων, κατά περίπου 2 μέτρα, και της απόστασης μεταξύ τους κατά μια απόσταση ίση με 3 φορές το ύψος των στοιχείων, ώστε να επιτυγχάνεται η διάδοση της ηλιακής ακτινοβολίας ομοιόμορφα στο έδαφος, ενώ ταυτόχρονα να είναι εφικτή η μετακίνηση του μηχανοποιημένου γεωργικού εξοπλισμού, όπως τα τρακτέρ, ανάμεσα στις συστοιχίες των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Το 2004, ο Ιάπωνας μηχανικός Akira Nagashima ανέπτυξε το πρώτο αγροφωτοβολταϊκό σύστημα, χρησιμοποιώντας μια δομή παρόμοια με πέργκολα κήπου. Ο Nagashima σχεδίασε ποικίλα συστήματα για δοκιμές στο πεδίο, με διαφορετικούς ρυθμούς σκίασης βασισμένος στην έννοια του σημείου κορεσμού φωτός κάθε καλλιέργειας. Σύμφωνα με αυτή την έννοια, τα φυτά χρησιμοποιούν μόνο ένα μικρό ποσοστό του προσπίπτοντος ηλιακού φωτός - μεταξύ 3% και 6% της συνολικής ακτινοβολίας - για να επιτύχουν το μέγιστο ρυθμό φωτοσύνθεσης. Η ιδέα ήταν ότι η περίσσεια της ηλιακής ακτινοβολίας θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί από φωτοβολταϊκά συστήματα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.



Σχήμα 4.3: Το μοντέλο που αναπτύχθηκε από τον Akira Nagashima στην Ιαπωνία το 2004 (Πηγή: Toledo C., Scognamiglio A., 2021)

Η πρώτη πιλοτική εγκατάσταση τοποθετήθηκε στη Γαλλία, κοντά στη πόλη Μονπελιέ, την άνοιξη του 2010. Το πρωτότυπο αυτό διαθέτει μονοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία τοποθετημένα σε ύψος 4 m πάνω από το έδαφος. Δεδομένου ότι τα φωτοβολταϊκά στοιχεία είναι αδιαφανή, το κύριο ζήτημα είναι η επίδραση της σκίασης που δημιουργείται από τα πάνελ στην ανάπτυξη των φυτών. Προκειμένου να αξιολογηθεί η επίδραση της σκίασης από το φωτοβολταϊκό σύστημα, το πρωτότυπο χωρίστηκε σε δύο τμήματα με διαφορετική πυκνότητα ηλιακής ακτινοβολίας: το πρώτο τμήμα λειτουργεί με πλήρη πυκνότητα, δηλαδή με τη βέλτιστη απόσταση μεταξύ των συστοιχιών για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας η οποία επιτρέπει κατά μέσο όρο το 50% της προσπίπτουσας ακτινοβολίας να αξιοποιηθεί από την καλλιέργεια και το δεύτερο τμήμα, που λειτουργεί με μισή πυκνότητα, η οποία επιτρέπει κατά μέσο όρο το 70% της προσπίπτουσας ακτινοβολίας να αξιοποιηθεί από την καλλιέργεια, έτσι ώστε η επίδραση της σκίασης από κάθε φωτοβολταϊκό σύστημα να μπορεί να συγκριθεί με την ηλιακή πυκνότητα καθώς και με την καλλιέργεια ελέγχου, η οποία αναπτύσσεται υπό συνθήκες πλήρους ηλιοφάνειας. Επιπλέον, για την αξιολόγηση των πλεονεκτημάτων της τεχνολογίας ηλιακής παρακολούθησης, η οποία επιτρέπει την προσαρμογή του επιπέδου ακτινοβολίας στις καλλιέργειες, προστέθηκαν δύο ανεξάρτητα φωτοβολταϊκά συστήματα παρακολούθησης.

Η συγκεκριμένη πειραματική διάταξη οδήγησε σε αρκετά επιστημονικά συμπεράσματα σχετικά με τα αγροφωτοβολταϊκά συστήματα ανοιχτού χώρου για ζητήματα όπως η επίδραση της κατανομής της βροχής (σύνδεση φωτοβολταϊκών συστημάτων και νερού), τον αντίκτυπο στο μικροκλίμα, την ανάπτυξη, τη μορφολογία και την απόδοση σε καλλιέργειες όπως το μαρούλι, το αγγούρι και το σιτάρι.



Σχήμα 4.4: Το πρώτο αγροφωτοβολταϊκό αγρόκτημα, κοντά στο Μονπελιέ, στη νότια Γαλλία (Πηγή: Dupraz et al., 2011)

Η έρευνα στον τομέα συνεχίζει να εξελίσσεται με γρήγορο ρυθμό. Εκτός από τα πιλοτικά έργα, τα αγροφωτοβολταϊκά έχουν προκαλέσει μεγάλο ενδιαφέρον στην ερευνητική κοινότητα που εξετάζει τις δυνατότητες αυτής της τεχνολογίας από διαφορετικές προοπτικές, όπως το ηλιακό δυναμικό ανά τύπο κάλυψης γης, την αποδοτικότητα χρήσης του νερού σε περιοχές με ξηρασία και την οικονομική αξία της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε συνδυασμό με καλλιέργειες που είναι ανθεκτικές στη σκίαση.

Μαζί με την έρευνα στο συγκεκριμένο τομέα, υπάρχει σημαντική πρόοδος και στην εμπορευματοποίηση των αγροφωτοβολταϊκών συστημάτων. Σε παγκόσμιο επίπεδο, η εγκατεστημένη ισχύ των αγροφωτοβολταϊκών συστημάτων συνεχώς αυξάνεται - εκτιμάται ότι 2200 συστήματα έχουν εγκατασταθεί παγκοσμίως από το 2014. Η Ιαπωνία είναι πιθανώς η χώρα όπου εγκαταστάθηκαν τα περισσότερα αγροφωτοβολταϊκά αγροκτήματα, καθώς πάνω από 1992 αγροκτήματα παρήγαγαν περίπου το 0,8% της συνολικής φωτοβολταϊκής ενέργειας το 2019, οδηγώντας σε συνολική ισχύ περίπου 2,8 GW. Το 2018, η πρώτη αγροφωτοβολταϊκή εγκατάσταση με ισχύ 2,2 MW,

κατασκευάστηκε στην περιοχή των ανατολικών Πυρηνάιων σε αμπελώνες έκτασης 4,5 εκταρίων. Στην ολλανδική πόλη Babberich, ιδιωτικές εταιρείες έχουν εγκαταστήσει αγροφωτοβολταϊκά συστήματα ισχύος 2,7 MW σε καλλιέργεια βατόμουρων, το οποίο αποτελεί το μεγαλύτερο αγροφωτοβολταϊκό σύστημα σε αγρόκτημα παραγωγής φρούτων στην Ευρώπη. Τα ημιδιαφανή φωτοβολταϊκά στοιχεία τοποθετούνται πάνω από την καλλιέργεια σε σύστημα μονής σειράς, προστατεύοντας τα φυτά από τα καιρικά φαινόμενα, παρέχοντας καλύτερο αερισμό και μειώνοντας τη χρήση φυτοφαρμάκων, με αποτέλεσμα τη βελτίωση της βιοποικιλότητας στους αγρούς.

Ωστόσο, τα έργα που συνδυάζουν την αγροτική παραγωγή και την παραγωγή ενέργειας δεν περιορίζονται στις συστοιχίες φωτοβολταϊκών στοιχείων πάνω από τις καλλιέργειες. Υπάρχουν περισσότερες σχεδιαστικές επιλογές, όπως για παράδειγμα φωτοβολταϊκά στοιχεία τοποθετημένα στο έδαφος, σε ύψος λιγότερο από 2 μέτρα. Οι δομές χαμηλού ύψους προτιμώνται λόγω (α) του χαμηλότερου κόστους που συνδέεται με τη κατασκευή τους σε σχέση με τα αγροφωτοβολταϊκά και (β) του μικροκλίματος το οποίο δημιουργείται κάτω από τις ηλιακές μονάδες. Με αυτό τον τρόπο οι καλλιέργειες αναπτύσσονται ανάμεσα από τις φωτοβολταϊκές συστοιχίες ή κάτω από τις μονάδες, ανάλογα με το ύψος των φυτών και τις απαιτήσεις τους σε ηλιακή ενέργεια. Επομένως, μπορεί να γίνει εκμετάλλευση του χώρου κάτω από τις μονάδες με είδη ανθεκτικά στη σκιά, ειδικά σε θερμά και άνυδρα κλίματα. Μελέτες που έχουν διεξαχθεί στην Ινδία και τη Μαλαισία για είδη όπως το τσάι, η αλόη βέρα και το σπανάκι, δείχνουν ότι επιτυγχάνεται υψηλότερη απόδοση για αυτές τις καλλιέργειες, ενώ ταυτόχρονα η θερμοκρασία της φωτοβολταϊκής μονάδας μειώνεται κατά 0,85%, μείωση η οποία μπορεί να αυξήσει την ετήσια παραγωγή ενέργειας κατά 2,8%.

4.3.2 Εφαρμογή αγροφωτοβολταϊκών συστημάτων σε θερμοκήπια

Ανάλογα με την τοποθεσία, τις καιρικές συνθήκες και τη διαθεσιμότητα της γης, ενδέχεται οι καλλιέργειες να πρέπει να αναπτυχθούν υπό κλιματικά ελεγχόμενες συνθήκες. Σε αυτή την περίπτωση, η υλοποίηση των φωτοβολταϊκών συστημάτων πραγματοποιείται μέσω της ενσωμάτωσης τους στη δομή του θερμοκηπίου, κυρίως στην οροφή. Ωστόσο, τα συμβατικά αδιαφανή φωτοβολταϊκά στοιχεία παράγουν σκιά, επηρεάζοντας έτσι σημαντικά το μικροκλίμα στο εσωτερικό της δομής, δηλαδή τη θερμοκρασία του αέρα, τη σχετική υγρασία, το επίπεδο του φωτός και τη συγκέντρωση CO₂, και ως εκ τούτου την παραγωγικότητα. Για να ελαχιστοποιηθεί αυτό το φαινόμενο, μία προσέγγιση είναι η

χρήση αδιαφανών ή μερικώς αδιαφανή φωτοβολταϊκών στοιχείων που καλύπτουν μέρος της οροφής του θερμοκηπίου και παράγουν ηλεκτρική ενέργεια. Με αυτόν τον τρόπο, το ποσοστό της επιφάνειας του θερμοκηπίου που καλύπτεται από αδιαφανή φωτοβολταϊκά στοιχεία μειώνεται τόσο ώστε το φως που φτάνει στα φυτά να είναι αρκετό για τη φωτοσύνθεση.

Παρ' όλα αυτά, η ηλιακή ακτινοβολία εξακολουθεί να κατανέμεται ανομοιόμορφα και να ποικίλλει εποχιακά, καθιστώντας απαραίτητη την εύρεση των βέλτιστων ρυθμίσεων των φωτοβολταϊκών στοιχείων στην οροφή του θερμοκηπίου, προκειμένου να καθοριστούν οι βέλτιστες συνθήκες για την καλλιέργεια των φυτών. Πρόσφατες μελέτες, στις οποίες μελετώνται οι εκτιμήσεις απόδοσης και ο σχεδιασμός των καλλιεργειών 14 καλλιεργητικών κηπευτικών και ανθοκομικών καλλιεργειών σε τέσσερις τύπους θερμοκηπίων με εγκατεστημένες φωτοβολταϊκές μονάδες με αναλογία κάλυψης που κυμαίνεται από 25% έως 100%, δείχνει ότι όλα τα εξεταζόμενα είδη - συμπεριλαμβανομένων και των καλλιεργειών που απαιτούν υψηλή ηλιακή ακτινοβολία - μπορούν να καλλιεργηθούν εντός θερμοκηπίου με λόγο κάλυψης 25% με περιορισμένη μείωση στην απόδοση. Ωστόσο, περιορισμοί στην ανάπτυξη και την απόδοση προέκυψαν όταν ο λόγος κάλυψης αυξήθηκε από 50% σε 100%. Επιπλέον μελέτες, με διαφορετικές διατάξεις φωτοβολταϊκών στοιχείων και αναλογίες κάλυψης, φαίνεται να επιβεβαιώνουν ότι η κάλυψη δεν πρέπει να υπερβαίνει το 50%, καθώς με αυτό τον τρόπο παρέχεται μια αναλογία σκίασης που είναι συμβατή με την καλλιέργεια του θερμοκηπίου.

Για επιπλέον έλεγχο της ποσότητας του φωτός που αξιοποιείται από τις καλλιέργειες, τα επίπεδα σκίασης μπορούν να ρυθμιστούν δυναμικά, καθώς τα φωτοβολταϊκά στοιχεία μπορούν να περιστρέφονται γύρω από σταθερούς άξονες, προσαρμόζοντας το βαθμό σκίασης στο εσωτερικό του θερμοκηπίου. Στη συνέχεια, εγκαθίστανται μηχανισμοί παρακολούθησης της ηλιακής τροχιάς στην οροφή με φωτοβολταϊκές συστοιχίες που χρησιμοποιούνται ως περσίδες. Οι περσίδες φωτοβολταϊκών στοιχείων όταν είναι προσανατολισμένες παράλληλα με την οροφή εμποδίζουν ως ένα βαθμό την έντονη διείσδυση του ηλιακού φωτός στο θερμοκήπιο και ταυτόχρονα παράγουν ηλεκτρική ενέργεια, ενώ όταν βρίσκονται κάθετα στην οροφή, το ηλιακό φως περνά μέσα από τη στέγη και είναι διαθέσιμο για τις καλλιέργειες που βρίσκονται κάτω από τις φωτοβολταϊκές μονάδες. Ορισμένοι ερευνητές έχουν μελετήσει τη χρήση δυναμικών συστημάτων σε θερμοκήπια με διαφορετικές διαμορφώσεις:

- Αδιαφανή φωτοβολταϊκά στοιχεία τοποθετημένα πάνω στη στέγη του θερμοκηπίου σε διαφορετικές διατάξεις.

- Αδιαφανή φωτοβολταϊκά στοιχεία ενσωματωμένα στη δομή της οροφής του θερμοκηπίου με καθρέφτες υψηλής ανακλαστικότητας για καλύτερη συλλογή του ηλιακού φωτός.
- Περσίδες φωτοβολταϊκών στοιχείων με χρήση ημιδιαφανούς τεχνολογίας εγκατεστημένες κάτω από την οροφή του θερμοκηπίου (Toledo C., Scognamiglio A., 2021).



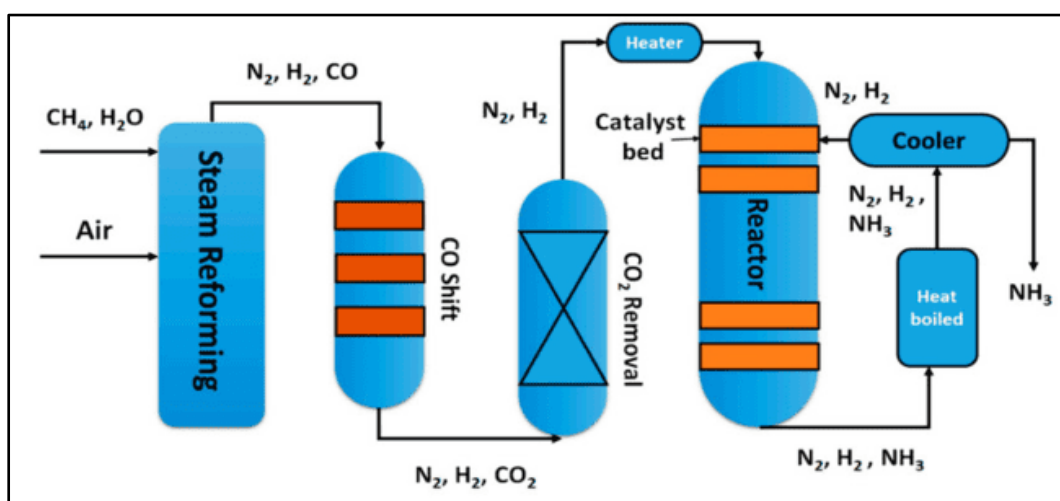
Σχήμα 4.5: Φωτοβολταϊκά στοιχεία στην οροφή θερμοκηπίου (Πηγή: Urbasolar)

4.4 Παραγωγή λιπασμάτων από την ηλιακή ενέργεια

Όπως έχει ήδη αναφερθεί στο Κεφάλαιο 3, η παραγωγή των αζωτούχων λιπασμάτων αποτελεί τη μεγαλύτερη ενεργειακή εισροή του αγροτικού τομέα, αποτελώντας σχεδόν το 45% της συνολικής απαίτησης ενέργειας. Υπενθυμίζεται ότι για την παραγωγή λιπασμάτων αζώτου, το υδρογόνο συνδυάζεται με το άζωτο για να σχηματιστεί αμμωνία (NH_3). Η τυπική μέθοδος παραγωγής αμμωνίας σε βιομηχανική κλίμακα είναι μέσω θερμοχημικής σύνθεσης με βάση τη διεργασία Haber-Bosch. Αυτή η διεργασία μεταμόρφωσε την παγκόσμια βιομηχανία λιπασμάτων στις αρχές του 1900 και είναι ένας κρίσιμος παράγοντας για τη συνεχή αύξηση του ανθρώπινου πληθυσμού, καθώς εκτιμάται ότι τα αζωτούχα λιπάσματα συντελούν στη σίτιση του μισού παγκόσμιου πληθυσμού. Η διεργασία Haber-Bosch είναι ένα εντυπωσιακό επίτευγμα της σύγχρονης χημικής

μηχανικής, χάρη στην οποία παράγονται 140 εκατομμύρια τόνοι αμμωνίας ετησίως με θερμοχημική απόδοση έως και 70%.

Ωστόσο η συγκεκριμένη διεργασία έχει και μειονεκτήματα, καθώς απαιτεί μαζική κατανάλωση ενέργειας - σχεδόν $2,5 \cdot 10^{18}$ J ετησίως - ενώ η πρώτη ύλη που είναι το αέριο υδρογόνο, λαμβάνεται συνήθως μέσω της αναμόρφωσης του μεθανίου με αποτέλεσμα το συνολικό αποτύπωμα άνθρακα που προκύπτει από τη διεργασία να ισοδυναμεί με 340 εκατομμύρια τόνους CO₂. Επιπλέον, οι υψηλές θερμοκρασίες (700 K) και πιέσεις (100 bar) αυξάνουν σημαντικά το λειτουργικό κόστος και το κόστος κεφαλαίου της εγκατάστασης. Οι οικονομίες κλίμακας για τα συγκεκριμένα κόστη ευνοούν τη μαζική και συγκεντρωτική παραγωγή σε μεγάλες εγκαταστάσεις, με αποτέλεσμα να υπάρχουν συνολικά λιγότερα από 100 εργοστάσια παραγωγής αμμωνίας σε όλο το κόσμο με μέση δυναμικότητα 2.200 τόνων την ημέρα. Αυτό έρχεται σε αντίθεση με τη διεσπαρμένη χρήση αζωτούχων λιπασμάτων παγκοσμίως, γεγονός που συνεπάγεται υψηλό κόστος μεταφοράς και πρόσθετες εκπομπές CO₂. Αν και ο υποσιτισμός έχει ιστορικά μειωθεί με την παραγωγή αμμωνίας, αυτή η τάση τείνει να επιβραδυνθεί γεγονός που υποδηλώνει ότι οι τρέχουσες πρακτικές παραγωγής και διανομής δεν επιτρέπουν στα αζωτούχα λιπάσματα να διατεθούν στις γεωργικές περιοχές που είναι απαραίτητα, όπως στην υποσαχάρια Αφρική. Αντιθέτως, το πρόβλημα της υπερβολικής λίπανσης έχει αρνητικό περιβαλλοντικό αντίκτυπο στις πιο ανεπτυγμένες περιοχές, λόγω της περιοδικής εφαρμογής υψηλότερων ποσοστών λιπασμάτων τα οποία προκαλούν ρύπανση από νιτρικά άλατα μέσω της έκπλυσης στις υδάτινες οδούς, κάτι που προκαλεί υψηλές εκπομπές οξειδίων του αζώτου οι οποίες συμβάλλουν στην κλιματική αλλαγή.



Σχήμα 4.6: Ροοδιάγραμμα της διεργασίας Haber – Bosch, βασικής διεργασίας στην παραγωγή αζωτούχων λιπασμάτων (Πηγή: researchgate)

Μια στρατηγική που θα μπορούσε να εξαλείψει τα μειονεκτήματα της παραδοσιακής παραγωγής λιπασμάτων είναι η αποκεντρωμένη παραγωγή με ηλιακή ενέργεια. Τα λιπάσματα που παράγονται με ηλιακή ενέργεια προσφέρουν μια εναλλακτική λύση για την παραγωγή λιπασμάτων σε τοπικό επίπεδο, αξιοποιώντας την ηλιακή ενέργεια, το άζωτο, το νερό και το οξυγόνο του αέρα για να παράγουν λιπάσματα αμμωνίας χαμηλής συγκέντρωσης ή νιτρικά άλατα σε μικρή απόσταση από τα αγροκτήματα που θα χρησιμοποιηθούν. Αυτή η στρατηγική έχει σημαντικά πλεονεκτήματα καθώς η ηλιακή ενέργεια αποθηκεύεται άμεσα σε ένα χημικό προϊόν που μπορεί να χρησιμοποιηθεί κοντά στο σημείο παραγωγής, αποφεύγοντας έτσι τη μεταφορά σε μεγάλες αποστάσεις ή την αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας σε μπαταρίες. Τα συγκεκριμένα λιπάσματα είναι μια ειδική περίπτωση χημικών προϊόντων που παράγονται από την ηλιακή ενέργεια, όπου η στενή σύνδεση τους με τον αγροτικό τομέα παρέχει μοναδικές ευκαιρίες, καθώς το προϊόν δεν ανταγωνίζεται άμεσα την τρέχουσα παραγωγή αμμωνίας. Τα οικονομικά πλεονεκτήματα είναι εξίσου σημαντικά και προκύπτουν από τις φθηνές πρώτες ύλες - αέρας, νερό και ηλιακό φως - και την εξάλειψη των μεταφορών σε μεγάλες αποστάσεις. Υπάρχει επίσης και το κοινωνικό όφελος, δεδομένου ότι τα λιπάσματα που παράγονται με ηλιακή ενέργεια μπορούν να βελτιώσουν την πρόσβαση σε λιπάσματα σε απομακρυσμένες, μη ανεπτυγμένες περιοχές.

Μια πρόσφατη εκτίμηση αποκάλυψε ότι μια μείωση της τάξης του 10% στη χρήση λιπασμάτων αμμωνίας μπορεί να εξοικονομήσει περίπου $250 \cdot 10^{15}$ J ενέργειας ετησίως. Επιπλέον, τα λιπάσματα χαμηλής συγκέντρωσης που παράγονται σε συνθήκες περιβάλλοντος είναι εγγενώς ασφαλέστερα τόσο από άποψη διεργασιών όσο και από άποψη χειρισμού των προϊόντων.

4.4.1 Διαδικασία παραγωγής λιπασμάτων από την ηλιακή ενέργεια

A. Δέσμευση της ηλιακής ενέργειας

Υπάρχουν δύο βασικές στρατηγικές για τη μετατροπή της ηλιακής σε χημική ενέργεια: Η άμεση δέσμευση των φωτονίων μέσω φωτοχημικών αντιδράσεων ή η έμμεση δέσμευση μέσω φωτοβολταϊκών στοιχείων σε συνδυασμό με ηλεκτροχημικές μεθόδους.

Στην περίπτωση των λιπασμάτων που παράγονται από την ηλιακή ενέργεια, υπάρχει ισχυρό κίνητρο για την ανάπτυξη τεχνολογιών που είναι λειτουργικές σε αποκεντρωμένες τοποθεσίες ή σε αγροτικές περιοχές. Η έμμεση δέσμευση της ηλιακής ενέργειας απαιτεί ένα σχετικά υψηλό επίπεδο τεχνολογικής πολυπλοκότητας, καθώς οι συστοιχίες, οι ηλεκτροχημικοί αντιδραστήρες και οι σχετικές ηλεκτρικές συνδέσεις πρέπει να συντηρούνται ανά τακτά χρονικά διαστήματα και τα προϊόντα αζώτου που προκύπτουν πρέπει να διαχωρίζονται από τον ηλεκτρολύτη. Το γεγονός αυτό υποδηλώνει ότι μια υβριδική - φωτοβολταϊκή και ταυτόχρονα ηλεκτρολυτική - προσέγγιση είναι η πλέον κατάλληλη για μια αποκεντρωμένη ή επιτόπια παραγωγή λιπασμάτων από ηλιακή ενέργεια σε μεγάλα αγροκτήματα και σε ανεπτυγμένες περιοχές. Παρά το γεγονός ότι η τεχνολογία των φωτοβολταϊκών στοιχείων είναι αρκετά ώριμη, με σταθερές αποδόσεις 10% – 20%, η απόδοση της ηλεκτρικής ενέργειας προς την παραγόμενη αμμωνία δε ξεπερνά το 1% - μια σχετικά χαμηλή απόδοση. Μια λύση θα ήταν η χρήση υψηλής πυκνότητας ρεύματος, η οποία μπορεί να οδηγήσει στην παραγωγή υψηλότερων συγκεντρώσεων προϊόντων αζώτου. Επιπλέον ηλεκτροχημικές τεχνικές δοκιμασμένες σε μεγάλη κλίμακα, όπως η ηλεκτρόλυση του νερού και οι κυψέλες καυσίμου υδρογόνου, θα μπορούσαν να εφαρμοστούν σε διαδικασίες παραγωγής λιπασμάτων από ηλιακή ενέργεια.

Η εναλλακτική προσέγγιση της άμεσης δέσμευσης και της φωτοκαταλυτικής μετατροπής έχει επίσης διερευνηθεί για την παραγωγή λιπασμάτων από την ηλιακή ενέργεια και ορισμένες τεχνοοικονομικές αναλύσεις υποδηλώνουν ότι τα φωτοκαταλυτικά συστήματα μπορούν να οδηγήσουν σε χαμηλότερο κόστος. Τα συστήματα άμεσης δέσμευσης της ηλιακής ενέργειας αποτελούνται από ελάχιστα κινούμενα μέρη, μειώνοντας το αναμενόμενο κόστος συντήρησης και εγκατάστασης και καθιστώντας τα πιο κατάλληλα για αποκεντρωμένη παραγωγή λιπασμάτων σε μικρά αγροκτήματα και σε αναπτυσσόμενες περιοχές. Ωστόσο, ο ρυθμός παραγωγής στην περίπτωση της άμεσης δέσμευσης είναι ανάλογος με την ηλιακή ροή, οδηγώντας έτσι σε διακυμάνσεις στην παραγωγικότητα. Αυτές οι διακυμάνσεις μπορούν δυνητικά να μετριαστούν μέσω της αποθήκευσης των προϊόντων, αν και αυτό θα αυξήσει το αποτύπωμα της διαδικασίας παραγωγής λιπασμάτων από την ηλιακή ενέργεια, ή προσδιορίζοντας περιοχές όπου η ηλιακή ροή είναι υψηλή, όπως η υποσαχάρια Αφρική ή η Ινδία. Μια επιπλέον πρόκληση είναι οι ιδιαίτερα χαμηλές καταγεγραμμένες αποδόσεις για την άμεση φωτοκατάλυση, οι οποίες δεν ξεπερνούν το 0,1%. Οι τεχνολογικοί περιορισμοί που αφορούν τα υλικά που εμπλέκονται στην άμεση δέσμευση της ηλιακής ενέργειας είναι πολλοί, αφού το ίδιο υλικό πρέπει να δεσμεύει την ηλιακή ενέργεια και ταυτόχρονα να δρα ως καταλύτης. Οι

περιορισμοί είναι ακόμη περισσότεροι εάν ληφθεί υπόψη το κόστος, καθώς τα υλικά που περιέχουν σπάνια χημικά στοιχεία ή απαιτούν δαπανηρή επεξεργασία, είναι απίθανο να χρησιμοποιηθούν σε μια χαμηλού κόστους εγκατάσταση. Ωστόσο, αρκετοί υποσχόμενοι καταλύτες βασίζονται σε κοινά και άφθονα υλικά όπως το TiO_2 ή το Fe_2O_3 και μπορούν να βελτιώσουν την απόδοση σχεδόν κατά 10 φορές ($\approx 1\%$), αποδεικνύοντας ότι φθηνοί, χαμηλής απόδοσης, φωτοχημικοί αντιδραστήρες μπορεί να είναι βιώσιμοι. Ωστόσο, εξακολουθούν να υπάρχουν ανοιχτά ερωτήματα σχετικά με τις ημιαντιδράσεις και το μηχανισμό της φωτοκαταλυτικής δέσμευσης του αζώτου. Η απάντηση σε αυτά τα θεμελιώδη ερωτήματα είναι κρίσιμης σημασίας για την πρακτική βελτίωση της τεχνολογίας των λιπασμάτων που παράγονται από την ηλιακή ενέργεια.

B. Αντίδραση και κατάλυση

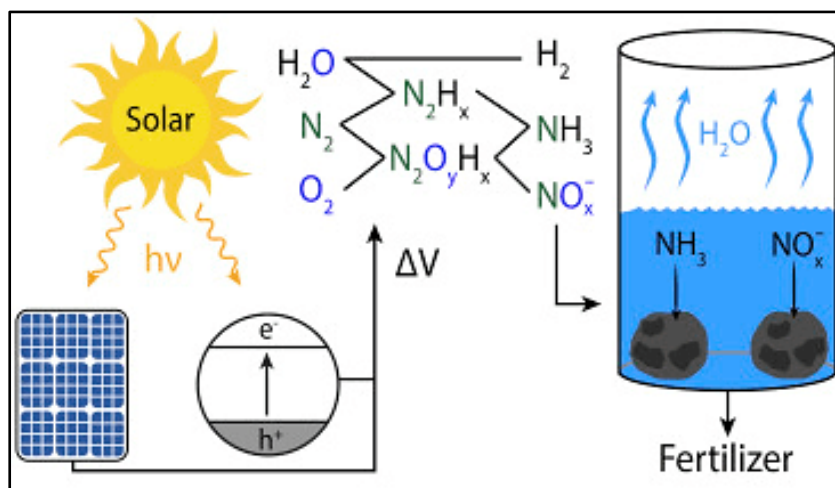
Η χημική διάσπαση του μορίου του αζώτου βρίσκεται στο επίκεντρο της παραγωγής λιπασμάτων από την ηλιακή ενέργεια. Η εξαιρετικά ισχυρή φύση του τριπλού δεσμού $\text{N}\equiv\text{N}$ απαιτεί έναν καταλύτη που θα επιταχύνει την κινητική της διάσπασης του αζώτου, ειδικά σε χαμηλές θερμοκρασίες. Η συντριπτική πλειοψηφία των φωτοηλεκτροχημικών προσεγγίσεων έχει επικεντρωθεί στη χημική αναγωγή του αζώτου προς αμμωνία. Η ηλεκτροχημική αντίδραση αναγωγής του αζώτου έχει μελετηθεί εκτενώς και εμφανίζει δυναμικό οξειδοαναγωγής 0.056 V ως προς ηλεκτρόδιο αναφοράς υδρογόνου (RHE), απαιτώντας συνολικό δυναμικό 1.17 V σε συνδυασμό με την αντίδραση παραγωγής οξυγόνου, με βάση θερμοχημικά δεδομένα. Η φωτοηλεκτροχημική παραγωγή αμμωνίας είναι πολύ σημαντική για την παραγωγή αζωτούχων λιπασμάτων, καθώς πολλά υπάρχοντα προϊόντα λιπάσματος χρησιμοποιούν αμμωνία ενώ και αρκετοί καταλύτες έχουν επιτύχει τη σύνθεση αμμωνίας σε εργαστηριακή κλίμακα. Ωστόσο, η εγγύτητα του δυναμικού οξειδοαναγωγής της αναγωγής του αζώτου με το δυναμικό της παραγωγής υδρογόνου αποτελεί θεμελιώδη πρόκληση για την αναγωγή του αζώτου, καθώς η αντίδραση της παραγωγής υδρογόνου είναι συνήθως ταχύτερη με αποτέλεσμα υψηλότερη εκλεκτικότητα σε σχέση με την αναγωγή του αζώτου. Έχουν δοκιμαστεί αρκετές προσεγγίσεις οι οποίες έχουν επιτύχει υψηλή εκλεκτικότητα και η ταχεία πρόοδος στον τομέα υποδηλώνει ότι η πρόκληση του δυναμικού οξειδοαναγωγής μπορεί να ξεπεραστεί, αλλά αυτό ενδέχεται να απαιτεί μια πιο περίπλοκη διαδικασία και πιθανώς περισσότερη ενέργεια.

Μια επιπλέον πρόκληση που εμφανίζει η ηλεκτροκαταλυτική αναγωγή του αζώτου είναι το γεγονός ότι η παραγωγή οξυγόνου χρησιμοποιείται συνήθως ως ημιαντίδραση. Οι

καταλύτες της παραγωγής οξυγόνου παρουσιάζουν μεγάλες υπερτάσεις, σχεδόν 0,4 V, και συχνά βασίζονται σε σπάνια υλικά. Ωστόσο, ένας από τους πιο αποδοτικούς καταλύτες για την αναγωγή του αζώτου βασίζεται στον άνθρακα, ένα στοιχείο με μεγάλη αφθονία στο φλοιό της γης, και επιτυγχάνει απόδοση ηλεκτρικής ενέργειας προς αμμωνία 5% σε υδατικό ηλεκτρολύτη.

Γ. Διαχωρισμός

Οι χημικοί διαχωρισμοί που απαιτούνται για την αναδημιουργία των αντιδραστηρίων και τη μετατροπή των προϊόντων της αντίδρασης σε λίπασμα είναι επίσης κρίσιμης σημασίας για την προώθηση της τεχνολογίας των λιπασμάτων που παράγονται από την ηλιακή ενέργεια. Ορισμένες δημοσιεύσεις αναφέρουν την παραγωγή αμμωνίας σε αέρια φάση, ωστόσο οι περισσότερες ηλεκτροχημικές τεχνικές χρησιμοποιούν υδατικούς ηλεκτρολύτες. Η αμμωνία, τα νιτρικά άλατα και η ουρία είναι ιδιαίτερα υδατοδιαλυτές ενώσεις και έτσι ο διαχωρισμός ή η συμπύκνωση τους αποτελεί σημαντική τεχνική πρόκληση. Επιπλέον, εάν σε κάποιο από τα στάδια της διαδικασίας υπάρχει ο κίνδυνος οξειδωσης από το οξυγόνο ή από άλλους περιβαλλοντικούς παράγοντες, τότε είναι απαραίτητη η εγκατάσταση μιας μονάδας καθαρισμού αέρα. Εκτός από το διαχωρισμό των προϊόντων, πιθανώς να είναι απαραίτητο να διαχωριστεί και ο καταλύτης από το διάλυμα. Αυτοί οι διαχωρισμοί είναι κρίσιμοι για μια αποκεντρωμένη παραγωγή λιπασμάτων, καθώς ενδέχεται να απαιτούνται μεγάλες επενδύσεις, γεγονός που δεν είναι εφικτό στην κλίμακα ενός μικρού ή ακόμη και ενός σχετικά μεγάλου αγροκτήματος. Οι βασικές προκλήσεις που αφορούν τους διαχωρισμούς στην παραγωγή λιπασμάτων από την ηλιακή ενέργεια είναι: Ο διαχωρισμός του αζώτου από τον αέρα, ο διαχωρισμός των προϊόντων της αντίδρασης από τον ηλεκτρολύτη και ο διαχωρισμός του καταλύτη από ηλεκτρολύτη. Για την επίλυση αυτών των κρίσιμων προκλήσεων εξετάζονται οι πιθανές εφαρμογές καινοτόμων τεχνολογιών, όπως οι τεχνολογίες απορρόφησης και διαχωρισμού μεμβρανών.



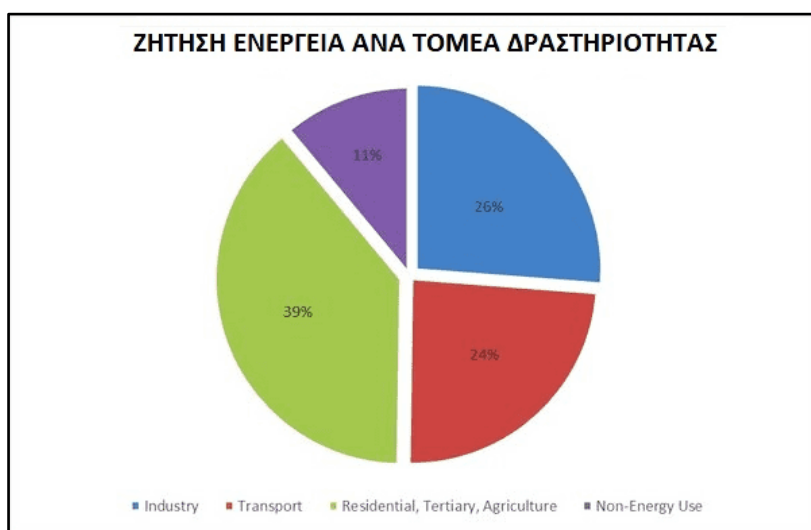
Σχήμα 4.7: Σχηματική αναπαράσταση των διαδικασιών της ηλιακής δέσμησης, της αντίδρασης και του διαχωρισμού, απαραίτητες για την παραγωγή λιπασμάτων από την ηλιακή ενέργεια (Πηγή: B. M. Comer et al, 2019)

Τα λιπάσματα που παράγονται από την ηλιακή ενέργεια αποτελούν μια ξεχωριστή περίπτωση προϊόντων όπου η άμεση δέσμηση της ηλιακής ενέργειας και η μετατροπή της σε χημική ενέργεια μπορεί να εφαρμοστεί πολύ κοντά στο σημείο παραγωγής. Απαιτείται ουσιαστική επιπλέον έρευνα για τον καθορισμό των πιο αποτελεσματικών προσεγγίσεων αυτής της τεχνολογίας. Υπάρχουν πολλές πιθανές διαδρομές για αυτό το νέο πεδίο και ο προσδιορισμός των πιο αποτελεσματικών προσεγγίσεων, δεδομένα αναμένεται να παρουσιάσει μια σειρά από τεχνικές και οικονομικές προκλήσεις. Ωστόσο, ο τεράστιος αντίκτυπος που μπορεί να έχουν τα λιπάσματα που παράγονται από την ηλιακή ενέργεια στο αυξανόμενο πρόβλημα της πείνας σε παγκόσμιο επίπεδο καθιστά αυτή την προσπάθεια απαραίτητη (B. M. Comer et al, 2019).

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Λόγω της έλλειψης των μη ανανεώσιμων πόρων και των περιβαλλοντικών προβλημάτων που προκαλούνται από τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, η παραγωγή ενέργειας βασισμένη σε ορυκτά καύσιμα θεωρείται γενικά ως μια μη βιώσιμη επιλογή μακροπρόθεσμα. Η χρήση των ορυκτών καυσίμων θεωρείται και επίσημα ως η βασική αιτία του σημαντικότερου προβλήματος της εποχής, της κλιματικής αλλαγής, και των απρόσμενων συνεπειών που αυτή θα έχει στα οικοσυστήματα. Ως αποτέλεσμα αυτού, καταβάλλονται πολλές προσπάθειες παγκοσμίως για την εισαγωγή περισσότερων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο ενεργειακό μείγμα. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι καινοτόμες επιλογές για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και το δυναμικό τους είναι τεράστιο, καθώς έχουν τη δυνατότητα, αν αξιοποιηθούν σωστά, να καλύψουν την παγκόσμια ζήτηση ενέργειας (Ellabban O. et al., 2014).

Όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα, Σχήμα Σ.1, οι ενεργειακές απαιτήσεις του αγροτικού τομέα δεν είναι σε καμία περίπτωση αμελητέες.



Σχήμα Σ1: Οι ενεργειακές απαιτήσεις ανά τομέα δραστηριότητας (Πηγή EnerCEE)

Είναι σημαντικό ωστόσο να τονιστεί ότι η συνολική γεωργική παραγωγή αυξήθηκε παγκοσμίως σχεδόν 170% από το 1961, μια μέση αύξηση 2,2% ετησίως, ευρισκόμενη πάντοτε μπροστά από τον παγκόσμιο ρυθμό αύξησης του πληθυσμού, με μεγάλο μέρος αυτής της ανάπτυξης να έχει προέλθει από τις αναπτυσσόμενες χώρες. Παγκοσμίως σημειώθηκε σημαντική πρόοδος στην κατά κεφαλήν αύξηση της κατανάλωσης τροφίμων: Στις αναπτυσσόμενες χώρες η κατανάλωση αυξήθηκε από 2100 kcal/άτομο/ημέρα κατά

μέσο όρο το 1970 σε σχεδόν 2700 kcal/άτομο την ημέρα σήμερα. Την ίδια περίοδο, το ποσοστό του υποσιτισμένου πληθυσμού στις αναπτυσσόμενες χώρες μειώθηκε από 37% σε 17%.

Η αύξηση της χρήσης της ενέργειας στον αγροτικό τομέα είναι λοιπόν μια φυσιολογική εξέλιξη, αποτελώντας απάντηση στο συνεχώς αυξανόμενο πληθυσμό, στην περιορισμένη διαθεσιμότητα καλλιεργήσιμης γης και στην ανθρώπινη επιθυμία για ένα αυξανόμενο βιοτικό επίπεδο. Σε όλες τις κοινωνίες, αυτοί οι παράγοντες ενθάρρυναν την αύξηση των ενεργειακών εισροών για να μεγιστοποιήσουν τις αποδόσεις και να ελαχιστοποιήσουν τις πρακτικές έντασης εργασίας. Σε χώρες όπως οι ΗΠΑ, η διαθεσιμότητα της γης ήταν λιγότερο περιοριστική σε σχέση με το κόστος ευκαιρίας της εργασίας, με αποτέλεσμα μεγάλες επενδύσεις σε γεωργικά μηχανήματα για εξοικονόμηση χρόνου εργασίας. Οι φθηνή προμήθεια ορυκτών καυσίμων ενθάρρυνε την παραγωγή φθηνού λιπάσματος για αύξηση των αποδόσεων, την περαιτέρω μηχανοποίηση και τα εκτεταμένα και δαπανηρά συστήματα άρδευσης. Η αποδοτικότητα και οι ενεργειακές απαιτήσεις καθενός από τους παραπάνω συντελεστές έχει βελτιωθεί ελάχιστα, κυρίως λόγω της έλλειψης επαρκών οικονομικών κινήτρων. Είναι απαραίτητη μια σειρά εφικτών εναλλακτικών λύσεων που θα μπορούσαν να μειώσουν τη χρήση ενέργειας από τα ορυκτά καύσιμα χωρίς τη μείωση της απόδοσης ή την αύξηση της έντασης εργασίας (Kennedy S., 2000).

Η έννοια της βιώσιμης γεωργίας βασίζεται ακριβώς στη λεπτή ισορροπία της μεγιστοποίησης της παραγωγικότητας των καλλιεργειών και της διατήρησης της οικονομικής σταθερότητας, ελαχιστοποιώντας ταυτόχρονα τη χρήση των πεπερασμένων φυσικών πόρων και των επιζήμιων περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Τα δύο βασικά ζητήματα που πρέπει να εξεταστούν είναι το φυσικό, δηλαδή οι μακροπρόθεσμες επιπτώσεις των διαφόρων αγροτικών πρακτικών στις ιδιότητες του εδάφους, και το κοινωνικοοικονομικό, δηλαδή η μακροπρόθεσμη ικανότητα των αγροτών να λαμβάνουν εισροές και να διαχειρίζονται ορθολογικά πόρους όπως η εργασία και η ενέργεια.

Είναι πλέον ξεκάθαρο ότι η διαχείριση της κατανάλωσης ενέργειας στον αγροτικό τομέα δημιουργεί παγκόσμια ανησυχία λόγω των δυσμενών επιπτώσεων των εκπομπών CO₂ από τα ορυκτά καύσιμα, τα οποία χρησιμοποιούνται ως πηγή ενέργειας για διάφορες γεωργικές εφαρμογές. Τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας προωθούνται σε πολλά μέρη του κόσμου για διάφορες γεωργικές εφαρμογές ώστε να μετριαστούν οι επιπτώσεις των εκπομπών CO₂ που σχετίζονται με τα ορυκτά καύσιμα.

Υπάρχουν ισχυρές επιστημονικές αποδείξεις ότι η μέση θερμοκρασία της επιφάνειας της Γης αυξάνεται. Αυτή η υπερθέρμανση του πλανήτη αναμένεται να οδηγήσει τελικά σε ουσιαστικές αλλαγές στο παγκόσμιο κλίμα, οι οποίες, με τη σειρά τους θα έχουν σημαντικό αντίκτυπο στην ανθρώπινη ζωή και το περιβάλλον. Ως εκ τούτου, πρέπει να καταβληθεί μεγαλύτερη προσπάθεια για τη μείωση της χρήσης ορυκτών καυσίμων και την προώθηση της πράσινης ενέργειας, ιδιαίτερα στον τομέα της γεωργίας. Η σύγκριση κόστους-οφέλους για διάφορες τεχνολογίες του αγροτικού τομέα, έδειξε ότι η τεχνολογία των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μπορεί να εφαρμοστεί σε οποιαδήποτε τοποθεσία στον κόσμο (Chel, Kaushik, 2011).

Αυτή τη στιγμή υπάρχουν αρκετές τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως για παράδειγμα, η αιολική, η ηλιακή, η υδροηλεκτρική, η γεωθερμική και η βιομάζα, ωστόσο η ηλιακή και η αιολική ενέργεια έχουν ιδιαίτερη σημασία για τις εφαρμογές του αγροτικού τομέα. Η υιοθέτηση φωτοβολταϊκών στοιχείων πολλαπλών συνδέσεων κατέστησε δυνατή την επίτευξη υψηλότερης απόδοσης μετατροπής, λόγω μείωσης των θερμοδυναμικών απωλειών οι οποίες σχετίζονται με την απορρόφηση των φωτονίων. Σήμερα, φωτοβολταϊκά στοιχεία κατασκευασμένα από υλικά τρίτης γενιάς έχουν επιτύχει απόδοση που υπερβαίνει το 40%. Αν και οι υψηλές αποδόσεις οδηγούν στη μείωση του κόστους μετατροπής της ηλιακής ενέργειας, οποιαδήποτε επιπλέον επίδραση αυτής της τεχνολογίας στην αγορά ενέργειας θα μπορούσε να μετριαστεί από το υψηλό κόστος κατασκευής. Ως εκ τούτου, είναι απαραίτητο να αναπτυχθούν νέα υλικά για φωτοβολταϊκές εφαρμογές, τα οποία να είναι φθηνά, μη τοξικά και να μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ηλιακούς συλλέκτες μεγάλης επιφάνειας.

Η ηλιακή ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μια σειρά από εφαρμογές του αγροτικού τομέα, τόσο στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας όσο και ως θερμότητα για τα θερμοκήπια και τους ηλιακούς ξηραντήρες. Σημαντική εξέλιξη στον τομέα των φωτοβολταϊκών συστημάτων αποτελούν τα αγροφωτοβολταϊκά, τα οποία δίνουν τη δυνατότητα της “συμπαγωγής” ηλιακής ενέργειας και καλλιεργειών. Τα αγροφωτοβολταϊκά συστήματα είναι μια λύση στον έντονο ανταγωνισμό για τη χρήση της γης μεταξύ της παραγωγής τροφίμων και ενέργειας. Αρκετές πιλοτικές διατάξεις δείχνουν τις τεράστιες δυνατότητες των αγροφωτοβολταϊκών συστημάτων, ιδιαίτερα εάν συνδυαστούν με καλλιέργειες ανθεκτικές στη σκιά. Διαπιστώθηκε επίσης ότι, με βάση την τιμή κιλοβατώρας του ηλεκτρικού ρεύματος για οικιακή χρήση, η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τον ήλιο σε ένα αγρόκτημα, μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση της αξίας του σχεδόν κατά 30% σε σχέση με τα συμβατικά αγροκτήματα. Εάν χρησιμοποιηθούν

καλλιέργειες ανθεκτικές στη σκιά, οι απώλειες στην απόδοση των καλλιεργειών πρακτικά εκμηδενίζονται. Αυτή η διπλή χρήση της γης μπορεί να έχει σημαντική επίδραση στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκά στοιχεία, με ελάχιστο αντίκτυπο στις τιμές των τροφίμων. Για παράδειγμα, έρευνες έχουν δείξει ότι εάν μόνο οι καλλιέργειες μαρουλιού στις ΗΠΑ χρησιμοποιήσουν αγροφωτοβολταϊκά συστήματα, η αύξηση της φωτοβολταϊκής ισχύος θα κυμανθεί μεταξύ 40 και 70 GW, η οποία είναι μεγαλύτερη από το σύνολο της εγχώριας παραγωγής. Είναι σαφές ότι απαιτείται περαιτέρω έρευνα σε αυτόν τον τομέα, για διαφορετικές καλλιέργειες και γεωγραφικές περιοχές που θα πρέπει να διερευνηθούν για να εξακριβωθεί το δυναμικό της αγροφωτοβολταϊκής γεωργίας σε όλο τον κόσμο (Dinesh H., Pearce J., 2015).

Ιδιαίτερα σημαντική παράμετρος είναι και τα λιπάσματα που παράγονται από την ηλιακή ενέργεια. Τα λιπάσματα που παράγονται από την ηλιακή ενέργεια παρουσιάζουν μια σημαντική ευκαιρία άμεσης δέσμευσης της ηλιακής ενέργειας και μετατροπή της σε χημική ενέργεια που μπορεί να εφαρμοστεί κοντά στο σημείο παραγωγής. Η τεχνολογία εμπίπτει στη σύνθετη σχέση ενέργειας και αγροτικού τομέα - απαιτείται ωστόσο ουσιαστική πρόσθετη έρευνα για τον καθορισμό των πιο ελπιδοφόρων προσεγγίσεων. Υπάρχουν διάφορα σενάρια για την αποκεντρωμένη παραγωγή λιπασμάτων και ερευνώνται τα πιθανά κοινωνικά, οικονομικά και τεχνικά πλεονεκτήματα μιας απομακρυσμένης παραγωγής. Ο τεράστιος δυνητικός αντίκτυπος των λιπασμάτων που παράγονται από την ηλιακή ενέργεια στο αυξανόμενο πρόβλημα της παγκόσμιας πείνας καθιστά αυτή τη γεμάτη προκλήσεις προσπάθεια, αξιόλογη (Toledo C., Scognamiglio, A., 2021).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. G. Itskos, N. Nikolopoulos, D.-S. Kourkoumpas, A. Koutsianos, I. Violidakis, P. Drosatos, P. Grammelis, “*Energy and the Environment*”, Editor(s): Stavros G. Pouloupoulos, Vassilis J. Inglezakis, Environment and Development, Elsevier, 2016, Pages 363-452, ISBN 9780444627339.
2. Martins F., Felgueiras C., Smitkova M., Caetano N., “*Analysis of Fossil Fuel Energy Consumption and Environmental Impacts in European Countries*”, Energies 2019, 12, 964; doi:10.3390/en12060964.
3. Ellabban O., Abu-Rub H., Blaabjerg F., “*Renewable energy resources: Current status, future prospects and their enabling technology*”, Renewable and Sustainable Energy Reviews 39(2014)748–764.
4. N. El Bassam, Chapter Eight - Wind energy, Editor(s): Nasir El Bassam, “*Distributed Renewable Energies for Off-Grid Communities (Second Edition)*”, Elsevier, 2021, Pages 150-153, ISBN 9780128216057, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821605-7.00010-6>.
5. Mohamed T., Chapter Ten - Hydropower, Editor(s): Nasir El Bassam, “*Distributed Renewable Energies for Off-Grid Communities (Second Edition)*”, Elsevier, 2021, Pages 213-230, ISBN 9780128216057, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821605-7.00026-X>.
6. Mohamed T., Chapter Twelve - Geothermal energy, Editor(s): Nasir El Bassam, “*Distributed Renewable Energies for Off-Grid Communities (Second Edition)*”, Elsevier, 2021, Pages 247-261, ISBN 9780128216057, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821605-7.00022-2>.
7. Lois E., Zannikos F., Karonis D. (2014), Fuel and Lubricants Technology, National Technical University of Athens Publication, p. 222 – 228.
8. A. Molino, F. Nanna, Y. Ding, B. Bikson, G. Braccio, Biomethane production by anaerobic digestion of organic waste, Fuel 103 (2013) 1003–1009.
9. Koszela M., Lorencowicza E., “*Agricultural use of biogas digestate as a replacement of fertilizers*”, Agriculture and Agricultural Science Procedia 7 (2015) 119 – 124
10. Nasir El Bassam, Preben Maegaard, Marcia Lawton Schlichting, Chapter Seven - Solar Energy, Editor(s): Nasir El Bassam, Preben Maegaard, Marcia Lawton

Schlichting, *“Distributed Renewable Energies for Off-Grid Communities”*, Elsevier, 2013, Pages 91-109, ISBN 9780123971784.

11. L.A. Lamont, Chapter 1.04 - History of Photovoltaics, Editor: Ali Sayigh, *“Comprehensive Renewable Energy”*, Elsevier, 2012, Pages 31-45, ISBN 978-0-08-087873-7.
12. Hayat M., Ali D., Monyake K., Alagha L., Ahmed N., (2018) *“Solar energy—A look into power generation, challenges and a solar-powered future”*, Wiley Energy Research, DOI: 10.1002/er.4252.
13. D. Q. Fuller, *“Agriculture: Definition and Overview”*, January 2014 DOI: 10.1007/978-1-4419-0465, <https://www.researchgate.net/publication/301345493>.
14. D. Zohari, *“The Origin and Early Spread of Agriculture in the Old World”*, Editor(s): C. Barigozzi, *Developments in Agricultural and Managed Forest Ecology*, Elsevier, Volume 16, 1986, Pages 3-5, ISSN 0166-2287, ISBN 9780444427038.
15. Spooner D., McLean K., Ramsay G., Waugh R., J. Bryan G., *“A single domestication for potato based on multilocus amplified fragment length polymorphism genotyping”*, PNAS October 11, 2005 102 (41) 14694-14699; <https://doi.org/10.1073/pnas.0507400102>.
16. Tilman D., Cassman K., Matson P., Naylor R., Polasky S., *“Agricultural sustainability and intensive production practices”*, Nature, vol 418, 2002, www.nature.com/nature.
17. Westermann, W. L. "The Development of the Irrigation System of Egypt." *Classical Philology* 14, no. 2 (1919): 158-64. Accessed August 14, 2021. <http://www.jstor.org/stable/263080>.
18. Kennedy S., (2000). *“Energy Use in American Agriculture.”* <https://www.researchgate.net/publication/242189469>.
19. Rokicki, T.; Perkowska, A., Klepacki, B.; Bórawski, P., Beldycka-Bórawska, A., Michalski, K., *“Changes in Energy Consumption in Agriculture in the EU Countries.”* *Energies* 2021, 14, 1570. <https://doi.org/10.3390/en14061570>.
20. H. S. Fami, J.Ghasemi, R. Malekipoor, P. Rashidi, S. Nazari, A. Mirzaee, (2010), *“Renewable Energy Use in Smallholder Farming Systems: A Case Study in Tafresh Township of Iran”*, *Sustainability* 2010, 2, 702-716; doi:10.3390/su2030702.

21. Chel, Kaushik. “*Renewable energy for sustainable agriculture*”, *Agronomy for Sustainable Development*, Springer Verlag (Germany), 2011, 31 (1), pp.91-118. <10.1051/agro/2010029>, <hal-00930477>.
22. Osborn B., Weiner C., Anderson S., (2017) “*Agricultural Hydropower Generation: On-Farm*”, Colorado State University.
23. Fridleifsson, I. B. (2001). “*Geothermal energy for the benefit of the people.*” *Renewable and sustainable energy reviews*, 5(3), (pp. 299-312).
24. Vasilevska, S.P. (2007). “*Greenhouse heating systems.*”, *Research on the energy efficiency and availability of greenhouse climate conditioning systems*. 59.
25. Lund, J.W., Freeston, D.H., & Boyd, T.L., (2005). “*Direct application of geothermal energy: 2005 worldwide review*”. *Geothermics*. 34(6), (pp. 691–727).
26. B.A. Stout, Chapter V - Energy from Biomass, Editor(s): B.A. Stout, *Handbook of Energy for World Agriculture*, Pergamon, 1990, Pages 195-307, ISBN 9781851663491, <https://doi.org/10.1016/B978-1-85166-349-1.50009-9>.
27. Dufey A., 2006, *Biofuels production, trade and sustainable development: emerging issues*, International Institute for Environment and Development, London.
28. Torshizi M., *The Application of Solar Energy in Agricultural Systems*, *Renewable Energy and Sustainable Development*, June 2017, DOI: 10.21622/RES.D.2017.03.2.234
29. J. Nnadi, F.N., Nwakwasi, R.N., Anyoha, N.O, Aja O.O., Onoh, P.A., *Solar energy applications for agriculture*, *Journal of Agricultural and Veterinary Sciences*, Volume 2, September 2010
30. Toledo, C., Scognamiglio, A. *Agrivoltaic Systems Design and Assessment: A Critical Review, and a Descriptive Model towards a Sustainable Landscape Vision (Three-Dimensional Agrivoltaic Patterns)*. *Sustainability* 2021, 13, 6871. <https://doi.org/10.3390/su13126871>
31. B. M. Comer, P. Fuentes, C. O. Dimkpa, Y. Liu, C. A. Fernandez, P. Arora, M. Realf, U. Singh, M. C. Hatzell, A. J. Medford, “*Prospects and Challenges for Solar Fertilizers*”, *Joule* 3, 1578–1605, July 17, 2019, 2019 Elsevier Inc.
32. Ellabban O., Abu-Rub H., Blaabjerg F., *Renewable energy resources: Current status, future prospects and their enabling technology*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 39 (2014) 748–764

33. Chel, Kaushik. Renewable energy for sustainable agriculture. *Agronomy for Sustainable Development*, Springer Verlag (Germany), 2011, 31 (1), pp.91-118. <10.1051/agro/2010029> <hal-00930477>.
34. Dinesh H., Pearce J., The potential of agrivoltaic systems, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 54 (2016) 299–308