

WOMEN GOING GREENER

2023-1-EL01-KA210-ADU-000164781



Reducing the environmental footprint
of Female Entrepreneurship

Ενότητα 6

Καλλιεργώντας Ηλιακή Ενέργεια



elektropionir



Co-funded by
the European Union

The European Commission support for the production of this publication does not constitute an endorsement of the contents which reflects the views only of the authors, and the Commission can not be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Το παρόν έγγραφο αναπτύχθηκε από την ενεργειακή συνεργασία Elektropionir στο πλαίσιο του έργου "WomEn Going Greener – Reducing the environmental footprint of Female Entrepreneurship".

Αυτό το έγγραφο αντικατοπτρίζει μόνο τις απόψεις των συγγραφέων και η Ευρωπαϊκή Ένωση δεν φέρει ευθύνη για οποιαδήποτε χρήση των πληροφοριών που περιέχονται σε αυτό.

Table of Contents

ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ (P/V Panels) ΠΆΝΕΛ: ΠΩΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΟΥΝ.....	5
Ηλιακή Ενέργεια και Γη	5
Πως λειτουργούν οι ηλιακοί συλλέκτες	5
Τύποι ηλιακών συλλεκτών	6
Υλικά για ηλιακές κυψέλες.....	7
Έρευνα για πιο αποδοτικά πάνελ	7
Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ηλιακούς συλλέκτες: Από συνεχές ρεύμα σε εναλλασσόμενο ρεύμα	7
Ροή ισχύος: Από μπαταρία σε μετατροπέα	8
Γιατί εναλλασσόμενο ρεύμα;	8
Πλεονεκτήματα της παραγωγής ηλιακής ενέργειας: παραγωγός ή παραγωγός-καταναλωτής;	8
ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗ ΓΕΩΡΓΙΑ.....	10
Εισαγωγή.....	10
Αγροβολταικά: ηλιακή και γεωργική συστέγαση	11
Οφέλη από τα αγροβολταικά για αγρότες και επιχειρηματίες.....	14
ΠΕΡΙΠΤΩΣΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ ΕΠΙΤΥΧΗΜΕΝΩΝ ΗΛΙΑΚΩΝ ΑΓΡΟΚΤΗΜΑΤΩΝ	15
Αγροβολταικά στη Σερβία	15
Ηλιακή συγκομιδή: Η πρώτη αγροηλιακή μονάδα παραγωγής ενέργειας της Σερβίας	16
Ηλιακός σταθμός παραγωγής ενέργειας Delta και Brankov solar	18
Τα αγροβολταικά στην Ευρώπη	18
Ιταλία	18
Ελλάδα	21
Γερμανία.....	22
Αγροφωτοβολταικά στις ΗΠΑ	25

Βιβλιογραφία27

ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ (P/V Panels) ΠΑΝΕΛ: ΠΩΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΟΥΝ

Ηλιακή Ενέργεια και Γη

Ο Ήλιος είναι μια συνεχής πηγή ενέργειας. Οι αντιδράσεις σύντηξης που συμβαίνουν συνεχώς στον Ήλιο παράγουν τεράστιες ποσότητες ενέργειας, η οποία μεταδίδεται στη Γη με τη μορφή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, κυρίως ως ορατό φως, υπέρυθρη και υπεριώδης ακτινοβολία. Περίπου 1.366 βατ ανά τετραγωνικό μέτρο αυτής της ενέργειας φτάνουν στην εξωτερική ατμόσφαιρα της Γης (γνωστή ως ηλιακή σταθερά). Αφού περάσουν από την ατμόσφαιρα, περίπου 1.000 βατ ανά τετραγωνικό μέτρο φτάνουν στην επιφάνεια της Γης υπό βέλτιστες συνθήκες. Η ακτινοβολία που φτάνει στην επιφάνεια της Γης ονομάζεται **παγκόσμια ηλιακή ακτινοβολία** και αντιπροσωπεύει το άθροισμα της άμεσης ακτινοβολίας (η οποία δημιουργεί σκιές), της διάχυτης ακτινοβολίας (που αποδυναμώνεται περνώντας μέσα από τα σύννεφα) και της ανακλώμενης ακτινοβολίας (που αναπηδά από την επιφάνεια της Γης).

Πως λειτουργούν οι ηλιακοί συλλέκτες

Οι ηλιακοί συλλέκτες αποτελούνται από φωτοβολταϊκά (PV) κύτταρα, τα οποία συνήθως κατασκευάζονται από υλικά ημιαγωγών όπως το πυρίτιο. Αυτά τα κύτταρα μετατρέπουν το ηλιακό φως σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω του φωτοβολταϊκού φαινομένου. Η διαδικασία λειτουργεί ως εξής:

1. **Απορρόφηση φωτονίων:** Όταν το φως του ήλιου (φωτόνια) χτυπά το ηλιακό πάνελ, η ενέργεια απορροφάται από τα φωτοβολταϊκά κύτταρα.
2. **Διέγερση ηλεκτρονίων:** Η ενέργεια από τα φωτόνια διεγείρει τα ηλεκτρόνια στο υλικό ημιαγωγών, προκαλώντας τους να διαχωριστούν από τα άτομα τους.
3. **Δημιουργία ηλεκτρικού πεδίου:** Η δομή της φωτοβολταϊκής κυψέλης περιέχει ενσωματωμένα ηλεκτρικά πεδία λόγω των στρωμάτων ημιαγωγικών υλικών (συνήθως πυρίτιο τύπου n και p). Αυτό το ηλεκτρικό πεδίο αναγκάζει τα ελεύθερα ηλεκτρόνια να κινηθούν προς μια συγκεκριμένη κατεύθυνση.
4. **Παραγωγή ρεύματος:** Η κίνηση αυτών των ηλεκτρονίων δημιουργεί ηλεκτρικό ρεύμα.

Τύποι ηλιακών συλλεκτών

Υπάρχουν διάφοροι τύποι ηλιακών συλλεκτών, ο καθένας με τα δικά του χαρακτηριστικά:

- Μονοκρυσταλλικά ηλιακά πάνελ** (χρησιμοποιούνται πιο συχνά):
 - **Υλικά:** Κατασκευασμένο από μια ενιαία συνεχή κρυσταλλική δομή πυριτίου.
 - **Αποδοτικότητα:** Τυπικά 15-20%.
 - **Χαρακτηριστικά:** Είναι πιο αποδοτικά σε σύγκριση με τα πολυκρυσταλλικά πάνελ, αλλά είναι ακριβότερα λόγω της πιο περίπλοκης διαδικασίας κατασκευής.
 - **Μορφή:** Ομοιόμορφο σκούρο χρώμα.
- Πολυκρυσταλλικά ηλιακά πάνελ** (σχεδόν σταδιακή απόσυρση από την αγορά):
 - **Υλικά:** Κατασκευασμένο από πολλαπλούς κρυστάλλους πυριτίου που λιώνουν μαζί.
 - **Αποδοτικότητα:** Συνήθως 10-15%.
 - **Χαρακτηριστικά:** Είναι λιγότερο αποδοτικά από τα μονοκρυσταλλικά πάνελ, αλλά είναι πιο προσιτά και ευκολότερα στην κατασκευή.
 - **Μορφή:** Μπλε με κατακερματισμένη υφή.
- Ηλιακοί συλλέκτες διπλής όψης:**
 - **Υλικό:** Μπορεί να κατασκευαστεί είτε από μονοκρυσταλλικά είτε από πολυκρυσταλλικά κύτταρα.
 - **Αποδοτικότητα:** Συνήθως 15-20%, αλλά μπορούν να παράγουν έως και 30% περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια συλλαμβάνοντας φως και από τις δύο πλευρές.
 - **Χαρακτηριστικά:** Αυτά τα πάνελ έχουν σχεδιαστεί για να απορροφούν το ηλιακό φως τόσο από την μπροστινή όσο και από την πίσω πλευρά, καθιστώντας τα πιο αποτελεσματικά σε περιβάλλοντα όπου το φως αντανακλά επιφάνειες όπως χιόνι, νερό, άμμο ή τεχνητά υλικά με υψηλότερους συντελεστές ανάκλασης.

Υλικά για ηλιακές κυψέλες

- **Πυρίτιο:** Το πιο κοινό υλικό που χρησιμοποιείται για ηλιακές κυψέλες. Τόσο τα μονοκρυσταλλικά όσο και τα πολυκρυσταλλικά πάνελ είναι κατασκευασμένα από πυρίτιο.
- **Λεπτές μεμβράνες:** Περιλαμβάνουν τελλουριούχο κάδμιο (CdTe) και σεληνιούχο γάλιο ινδίου χαλκού (CIGS). Αυτά τα υλικά χρησιμοποιούνται σε ηλιακούς συλλέκτες λεπτού υμενίου, οι οποίοι είναι ελαφρύτεροι και πιο εύκαμπτοι, αλλά γενικά λιγότερο αποδοτικοί από τους συλλέκτες με βάση το πυρίτιο.

Έρευνα για πιο αποδοτικά πάνελ

Ερευνητές και εταιρείες σε όλο τον κόσμο εργάζονται για να αυξήσουν την απόδοση των ηλιακών συλλεκτών. Μερικές από τις σημαντικότερες εξελίξεις περιλαμβάνουν:

- **Ηλιακές κυψέλες περοβσκίτη:** Αυτός είναι ένας νεότερος τύπος ηλιακού κυττάρου που υπόσχεται υψηλότερη απόδοση και χαμηλότερο κόστος παραγωγής. Εταιρείες όπως η Oxford PV οδηγούν την ανάπτυξη ηλιακών κυψελών με βάση τον περοβσκίτη, με ορισμένα πρωτότυπα να επιτυγχάνουν απόδοση άνω του 28%. Αυτά τα κύτταρα θα μπορούσαν να είναι εμπορικά διαθέσιμα τα επόμενα χρόνια.
- **Ηλιακοί συλλέκτες πολλαπλών συνδέσμων:** Αυτές οι κυψέλες στοιβάζουν πολλαπλά στρώματα διαφορετικών υλικών για να συλλάβουν ένα ευρύτερο φάσμα ηλιακού φωτός, επιτυγχάνοντας αποδόσεις μεγαλύτερες από 40%. Χρησιμοποιούνται επί του παρόντος σε διαστημικές εφαρμογές, αλλά θα μπορούσαν να καταστούν διαθέσιμα για επίγεια χρήση καθώς μειώνεται το κόστος παραγωγής.

Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ηλιακούς συλλέκτες: Από συνεχές ρεύμα σε εναλλασσόμενο ρεύμα

Οι ηλιακοί συλλέκτες παράγουν **συνεχές ρεύμα (DC)**, το οποίο δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί άμεσα στα νοικοκυριά. Οι περισσότερες οικιακές συσκευές και συστήματα ισχύος χρησιμοποιούν **εναλλασσόμενο ρεύμα (AC)**, επομένως η μετατροπή είναι απαραίτητη.

Ροή ισχύος: Από μπαταρία σε μετατροπέα

- **Συνεχές ρεύμα από πάνελ:** Όταν οι ηλιακοί συλλέκτες παράγουν ηλεκτρική ενέργεια, είναι συνεχές ρεύμα (DC). Αυτό το ρεύμα μπορεί να κατευθυνθεί σε μπαταρίες για αποθήκευση ή να σταλεί απευθείας σε μετατροπέα.
- **Μπαταρίες:** Εάν το σύστημα χρησιμοποιεί μπαταρίες, αποθηκεύουν το συνεχές ρεύμα, το οποίο μπορεί αργότερα να χρησιμοποιηθεί όταν δεν υπάρχει ηλιακό φως, π.χ. τη νύχτα. Από τις μπαταρίες, το ρεύμα περνά και πάλι μέσω ενός μετατροπέα πριν χρησιμοποιηθεί στο νοικοκυριό.
- **Inverter:** Αυτό είναι ένα βασικό συστατικό κάθε ηλιακού συστήματος. Ο μετατροπέας μετατρέπει το συνεχές ρεύμα από τα πάνελ ή τις μπαταρίες σε εναλλασσόμενο ρεύμα, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε νοικοκυριά ή να τροφοδοτηθεί πίσω στο ηλεκτρικό δίκτυο.

Γιατί εναλλασσόμενο ρεύμα;

Το **εναλλασσόμενο ρεύμα (AC)** είναι το πρότυπο στα συστήματα ισχύος για πολλά πλεονεκτήματα έναντι του συνεχούς ρεύματος (DC):

- **Πιο αποτελεσματική μετάδοση σε μεγάλες αποστάσεις:** Το εναλλασσόμενο ρεύμα μπορεί να μεταδοθεί σε μεγάλες αποστάσεις με λιγότερες απώλειες ενέργειας χρησιμοποιώντας μετασχηματιστές που μπορούν να αυξήσουν και να μειώσουν την τάση.
- **Απλούστερη διανομή:** Τα συστήματα εναλλασσόμενου ρεύματος έχουν σχεδιαστεί για να συνδέουν εύκολα τους καταναλωτές με το δίκτυο, καθιστώντας τα πρότυπο για τη διανομή ισχύος.
- **Ασφάλεια και τυποποίηση:** Η χρήση AC τυποποιείται σε δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας και νοικοκυριά παγκοσμίως, διασφαλίζοντας τη συμβατότητα των συσκευών και την ασφάλεια του συστήματος.

Πλεονεκτήματα της παραγωγής ηλιακής ενέργειας: παραγωγός ή παραγωγός-καταναλωτής;

Prosumer (παραγωγός + καταναλωτής): Όταν ένας σταθμός ηλιακής ενέργειας συνδέεται απευθείας με ένα νοικοκυριό και το ηλεκτρικό δίκτυο, ο ιδιοκτήτης του σταθμού γίνεται παραγωγός-καταναλωτής. Αυτό σημαίνει ότι όχι μόνο παράγουν ενέργεια, αλλά χρησιμοποιούν επίσης μέρος αυτής της ενέργειας για τις δικές τους ανάγκες. Η πλεονάζουσα ενέργεια μπορεί να τροφοδοτηθεί στο δίκτυο, για την οποία ο παραγωγός-καταναλωτής μπορεί να λάβει οικονομική αποζημίωση ή πίστωση για μελλοντική κατανάλωση ενέργειας.

Πλεονεκτήματα:

- Χαμηλότεροι λογαριασμοί ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς ο παραγωγός-καταναλωτής χρησιμοποιεί τη δική του παραγόμενη ενέργεια.
- Δυνατότητα κέρδους ή μείωσης του κόστους με την πώληση πλεονάζουσας ενέργειας στο δίκτυο.
- Μεγαλύτερη ενεργειακή ανεξαρτησία και σταθερότητα.
- Αποκέντρωση των συστημάτων παραγωγής και βελτίωση του δικτύου διανομής.

Μειονεκτήματα:

- **Υψηλό αρχικό κόστος:** Η εγκατάσταση ηλιακού εξοπλισμού, συμπεριλαμβανομένων πάνελ, μπαταριών και μετατροπέων, απαιτεί σημαντική αρχική επένδυση. Αν και το κόστος ανακάττει με την πάροδο του χρόνου μέσω της εξοικονόμησης στους λογαριασμούς ηλεκτρικού ρεύματος, τα προκαταβολικά έξοδα μπορεί να αποτελέσουν εμπόδιο για πολλούς ιδιοκτήτες.
- **Συντήρηση και αντικατάσταση:** Ενώ οι ηλιακοί συλλέκτες (25+ ετών) έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής, οι μπαταρίες και οι μετατροπείς (10-15 χρόνια) απαιτούν τακτική συντήρηση και ενδεχόμενη αντικατάσταση.
- **Εξάρτηση από το ηλιακό φως:** Τα συστήματα παραγωγών-καταναλωτών βασίζονται στην ποσότητα του ηλιακού φωτός, επομένως η παραγωγή ενέργειας μπορεί να ποικίλει ανάλογα με την τοποθεσία, την εποχή και τις καιρικές συνθήκες. Η ανεπαρκής παραγωγή ενδέχεται να απαιτεί πρόσθετη ισχύ από το δίκτυο.
- **Ρυθμιστικές επιπλοκές:** Σε ορισμένες χώρες, υπάρχουν πολύπλοκοι κανονισμοί σχετικά με τη σύνδεση στο δίκτυο, τις πωλήσεις πλεονάζουσας ενέργειας και την αποζημίωση. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε γραφειοκρατικές προκλήσεις για τους παραγωγούς-καταναλωτές.

Pure Production Power Plant: Τα ηλιακά συστήματα που εγκαθίστανται αποκλειστικά για την παραγωγή ενέργειας για το δίκτυο επικεντρώνονται στην παραγωγή της μέγιστης ποσότητας ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία πωλείται σε εταιρείες διανομής.

Πλεονεκτήματα:

- Εστίαση στη μεγιστοποίηση της παραγωγής χωρίς την ανάγκη διαχείρισης της κατανάλωσης.
- Παραγωγή εσόδων αποκλειστικά από πωλήσεις ενέργειας.
- Αποκέντρωση της παραγωγικής ικανότητας.

Μειονεκτήματα:

- **Υψηλό κόστος εγκατάστασης και συντήρησης:** Η κατασκευή μεγάλων εγκαταστάσεων ηλιακής ενέργειας απαιτεί σημαντική επένδυση σε γη, εξοπλισμό και υποδομή για σύνδεση με το δίκτυο. Η τακτική συντήρηση και διαχείριση μπορεί να αυξήσει το λειτουργικό κόστος.
- **Επιπτώσεις στη γη και το περιβάλλον:** Οι μεγάλες εγκαταστάσεις ηλιακής ενέργειας απαιτούν τεράστιες εκτάσεις γης, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε συγκρούσεις με την ανάγκη για γεωργική γη ή τη διατήρηση των φυσικών οικοτόπων.

ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗ ΓΕΩΡΓΙΑ

Εισαγωγή

Η βιώσιμη γεωργία και η παραγωγή υγιεινών τροφίμων καθίστανται επιτακτική ανάγκη και αποτελούν έναν από τους βασικούς στόχους του αυξανόμενου παγκόσμιου πληθυσμού. Σύμφωνα με τις πιο πρόσφατες εκτιμήσεις των Ηνωμένων Εθνών που επεξεργάστηκε το Worldometer, ο σημερινός παγκόσμιος πληθυσμός είναι 8,2 δισεκατομμύρια. Αλλά δεν είναι μόνο αυτό: με βάση την πρόβλεψη των Ηνωμένων Εθνών, ο παγκόσμιος πληθυσμός αναμένεται να αυξηθεί από τα σημερινά 8 δισεκατομμύρια στα 9,7 δισεκατομμύρια το 2050 και θα μπορούσε να κορυφωθεί σε σχεδόν 10,4 δισεκατομμύρια στα μέσα της δεκαετίας του 2080. Δεδομένης της οικολογικής κρίσης που σίγουρα αντιμετωπίζουμε σήμερα, μαζί με τη ρύπανση και την υποβάθμιση του εδάφους, η βιώσιμη παραγωγή τροφίμων για έναν αυξανόμενο πληθυσμό θα αποτελέσει μείζονα πρόκληση. Επιπλέον, η γη αποτελεί βασικό πόρο για τις ανθρώπινες δραστηριότητες υπό αυξανόμενη πίεση.

Ο ΟΗΕ εκτιμά ότι το 20% της συνολικής χερσαίας έκτασης της Γης έχει υποβαθμιστεί μόνο μεταξύ 2000 και 2015. Επίσης, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η γη είναι απαραίτητη για μεγάλο αριθμό ανθρώπινων δραστηριοτήτων - επομένως, η χρήση γης γίνεται ένα δύσκολο έδαφος για την αντιπαράθεση διαφόρων ενδιαφερομένων (διαφορετικές οικονομικές δραστηριότητες, αστικοποίηση κ.λπ.). Δεδομένου ότι μία από τις κύριες προτεραιότητες σε παγκόσμιο επίπεδο είναι η εγκατάλειψη των ορυκτών καυσίμων και η μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, η παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές και η πράσινη μετάβαση καθίστανται πρόσθετες δραστηριότητες που ασκούν πίεση στη χρήση γης. Προκύπτουν συγκρούσεις μεταξύ γεωργίας και επέκτασης των ΑΠΕ που απαιτούν μεγάλες εκτάσεις όπως φωτοβολταϊκά συστήματα ή ενεργειακές καλλιέργειες.

Επομένως, τίθεται ένα καίριο ερώτημα: μπορεί να εναρμονιστεί η παραγωγή τροφίμων και η παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές στην ίδια γη;

Οι δυνατότητες που προσφέρει η ηλιακή ενέργεια είναι τεράστιες - είναι μια ανεξάντλητη δωρεάν πηγή ενέργειας. Θεωρητικά, η ηλιακή ενέργεια έχει τη δυνατότητα να εκπληρώσει επαρκώς τις ενεργειακές απαιτήσεις ολόκληρου του κόσμου, εάν οι τεχνολογίες για τη συγκομιδή και την προμήθειά της ήταν άμεσα διαθέσιμες. Ωστόσο, υπάρχουν πολλοί λόγοι για τους οποίους το δυναμικό αυτό δεν έχει αξιοποιηθεί σε επαρκή βαθμό. Παρά τις πολλά υποσχόμενες δυνατότητες της ηλιακής φωτοβολταϊκής τεχνολογίας να περιορίσει την παγκόσμια εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα, η μεγάλης κλίμακας ανάπτυξη φωτοβολταϊκών αντιμετωπίζει πολύπλοκες προκλήσεις, συμπεριλαμβανομένων των συγκρούσεων για τη χρήση γης και της κοινωνικής αντίστασης, η οποία προηγουμένως συνδεόταν συχνότερα με αιολικά πάρκα μεγάλης κλίμακας. Η ανάπτυξη φωτοβολταϊκών μεγάλης κλίμακας μπορεί να δημιουργήσει διαφορές σχετικά με τη χρήση γης, ιδίως σε περιπτώσεις ανταγωνισμού μεταξύ της γης για τη γεωργία έναντι της παραγωγής ενέργειας. Η κοινωνική αντίσταση είναι απολύτως δικαιολογημένη λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω: οι ανθρώπινες ανάγκες αυξάνονται λόγω του αυξανόμενου πληθυσμού και η αμόλυνη και μη υποβαθμισμένη γη μειώνεται. Ως εκ τούτου, για να ξεπεραστούν τα εμπόδια και να αξιοποιηθούν στο έπακρο και τα δύο, ήταν απαραίτητο να διερευνηθούν νέες προσεγγίσεις όπως η «Agrivoltaics» (ηλιακή και γεωργική συνεγκατάσταση).

Αγροβολταϊκά: ηλιακή και γεωργική συστέγαση

Τα αγροβολταϊκά, η συν-ανάπτυξη γης τόσο για τη γεωργία όσο και για τα φωτοβολταϊκά, είναι μια καινοτόμος και όλο και πιο δημοφιλής προσέγγιση στην ηλιακή ανάπτυξη. Τα περισσότερα μεγάλα, επίγεια ηλιακά φωτοβολταϊκά (PV) συστήματα εγκαθίστανται σε γη που χρησιμοποιείται μόνο για την παραγωγή ηλιακής ενέργειας. Τέτοιες εγκαταστάσεις μπορούν να απειλήσουν την τοπική κοινότητα, τους αγρότες και την τοπική παραγωγή τροφίμων. Αυτό ήταν συχνά η αιτία κοινωνικών προβλημάτων και διαφωνιών: σε όλη την Ευρώπη (ειδικά στη νότια Ευρώπη) και σε άλλα μέρη του κόσμου (π.χ. ΗΠΑ, Ινδία) κατά την τελευταία δεκαετία, υπήρξαν αρκετές περιπτώσεις όπου οι τοπικές κοινότητες διαμαρτυρήθηκαν για τα έργα τεράστιων επίγειων ηλιακών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής. Για να είναι επιτυχής η ενεργειακή μετάβαση, πρέπει να είναι κοινωνικά αποδεκτή, κάτι που είναι καίριας σημασίας για την επίτευξη μιας δίκαιης μετάβασης. Εάν η μετάβαση συνεπάγεται τον αποκλεισμό της τοπικής κοινότητας και τον περιορισμό της τοπικής παραγωγής τροφίμων και της επισιτιστικής κυριαρχίας, τότε δεν μπορούμε να μιλάμε για δικαιοσύνη ή βιωσιμότητα.

Αλλά χάρη στα αγροβολταϊκά συστήματα (APV), είναι δυνατή η συστέγαση της ηλιακής και της γεωργίας στην ίδια γη, γεγονός που θα μπορούσε να προσφέρει οφέλη και στις δύο ανταγωνιστικές βιομηχανίες. Η συστέγαση ορίζεται ως γεωργική παραγωγή, όπως φυτική ή ζωική παραγωγή ή ενδιαιτήματα επικονιαστών, κάτω από ηλιακούς συλλέκτες

ή δίπλα σε ηλιακούς συλλέκτες. Μετά την εγκατάστασή τους, οι ηλιακοί συλλέκτες αφήνουν περίπου το 90% της ελεύθερης επιφάνειας, στην οποία μπορούν να καλλιεργηθούν τρόφιμα.

Η ιδέα μιας προσέγγισης διπλής χρήσης τόσο για την ηλιακή φωτοβολταϊκή ενέργεια όσο και για τη γεωργική παραγωγή σχεδιάστηκε θεωρητικά από τους Goetzberger και Zastrow στο Ινστιτούτο Fraunhofer στη Γερμανία το 1981. Πρότειναν να ανυψωθεί η δομή (κατά περίπου 2 m) και η απόσταση μεταξύ των σειρών (περίπου 3 φορές το ύψος των μονάδων) για να επιτευχθεί ομοιόμορφη ακτινοβολία στο έδαφος ενώ ταυτόχρονα επιτρέπεται η κίνηση μηχανοποιημένου γεωργικού εξοπλισμού. Το 2004, ο Ιάπωνας μηχανικός Akira Nagashima ανέπτυξε το πρώτο σύστημα αγροβολταϊκών χρησιμοποιώντας μια δομή παρόμοια με μια πέργκολα κήπου. Το πρώτο πειραματικό πιλοτικό πρόγραμμα, ωστόσο, εγκαταστάθηκε στη Γαλλία, κοντά στη νότια πόλη του Μονπελιέ την άνοιξη του 2010. Αυτό το πειραματικό αγρόκτημα οδήγησε στη διερεύνηση των δυνατοτήτων των αγροβολταϊκών συστημάτων ανοιχτού πεδίου, δίνοντας αφορμή για πολλές επιστημονικές δημοσιεύσεις, από την επίδραση της κατανομής της βροχής έως την επίδραση στις μικροκλιματικές συνθήκες μαζί με την ανάπτυξη, τη μορφολογία και την απόδοση σε καλλιέργειες όπως το μαρούλι, το αγγούρι και το σκληρό σιτάρι.

Πολυάριθμες εμπειρικές μελέτες έχουν διερευνήσει την τεχνική βιωσιμότητα των αγροβολταϊκών συστημάτων, εξετάζοντας τα φωτοβολταϊκά με την καλλιέργεια φυτών, την ενυδρευσιμότητα και τη ζωική παραγωγή. Έχει αποδειχθεί ως μια τεχνικά και οικονομικά πρακτική χρήση της γεωργικής γης, ικανή να ξεπεράσει τον κυρίαρχο διαχωρισμό της παραγωγής τροφίμων και ενέργειας και να αυξήσει την παραγωγικότητα της γης κατά 35-73%. Η μερική σκίαση των ηλιακών συλλεκτών μειώνει την ποσότητα του άμεσου ηλιακού φωτός που φτάνει στις καλλιέργειες, αλλάζοντας το μικροκλίμα (πιο δροσερό την ημέρα, θερμότερο τη νύχτα) και αυξάνοντας τα επίπεδα υγρασίας του εδάφους. Ερευνητές από το Πανεπιστήμιο της Αριζόνα, με επικεφαλής τον καθηγητή Greg Barron-Gafford το 2019, διαπίστωσαν ότι τα φωτοβολταϊκά μειώνουν την ποσότητα εισερχόμενης ενέργειας κάτω από τα πάνελ που αποδίδουν ψυχρότερες θερμοκρασίες αέρα κατά τη διάρκεια της ημέρας, κατά μέσο όρο 1,2 ° C χαμηλότερες στο σύστημα αγροβολταϊκών σε σχέση με το παραδοσιακό περιβάλλον. Επίσης, εντόπισαν ότι η υγρασία του εδάφους μπορεί να είναι έως και 15% υψηλότερη κάτω από φωτοβολταϊκά πάνελ. Υπάρχουν τόσο οφέλη όσο και συμβιβασμοί από τη συστέγαση γεωργικών καλλιεργειών με ηλιακές εγκαταστάσεις. Σε ξηρά κλίματα, για παράδειγμα, μπορεί να υπάρχουν υψηλότερες αποδόσεις με χαμηλότερες απαιτήσεις ποτίσματος. Σε εξαιρετικά υγρά περιβάλλοντα, η απόσταση των πάνελ και άλλοι παράγοντες διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη διαχείριση της επιτόπιας διανομής νερού και των ενδεχόμενων αποδόσεων.

Διαφορετικά είδη καλλιεργειών μπορούν να εξεταστούν για καλλιέργεια σε αγροβολταϊκά συστήματα, αλλά δίνεται προτεραιότητα στις κηπευτικές παραγωγές,

καθώς το alley cropping είναι πιο συμβατή με τους γεωμετρικούς περιορισμούς που προκύπτουν από τη δομή στήριξης. Το μικρό μέγεθος των μηχανικών κινητήρων που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή λαχανικών παρακίνησε επίσης αυτή την επιλογή. Μεταξύ των σημαντικότερων παραγωγών λαχανικών στη Νότια Ευρώπη και τις ΗΠΑ, το μαρούλι ήταν ιδιαίτερα επαρκές για αυτά τα πρωτοποριακά συστήματα. Σήμερα, τα πιο διαφορετικά είδη φρούτων, λαχανικών, βοτάνων και φαρμακευτικών και αρωματικών φυτών καλλιεργούνται σε αγροκτήματα αγροκτημάτων σε όλο τον κόσμο.

Τα ζώα που βόσκουν μπορούν να διαχειριστούν τη βλάστηση κάτω από ηλιακές συστοιχίες, οι οποίες μπορούν να ληφθούν υπόψη στις πρώιμες φάσεις του ηλιακού σχεδιασμού και εγκατάστασης με κατάλληλη σπορά και ανύψωση μονάδων, καλωδίων και ηλεκτρικών κουτιών. Τα ζώα μπορούν να μειώσουν το κόστος συντήρησης της βλάστησης κάτω από τα πάνελ και να μειώσουν την ανάγκη χρήσης ζιζανιοκτόνου. Μια μελέτη που διεξήχθη από τους Towner et al. (2022) δείχνει ότι η εφαρμογή διαχειριζόμενης βόσκησης προβάτων αύξησε σημαντικά τη συνολική αποθήκευση άνθρακα (10-80%) και τα διαθέσιμα θρεπτικά συστατικά και το μέγεθος της αλλαγής συσχετίστηκε με τη συχνότητα βόσκησης. Τα ζώα επωφελούνται επίσης από τη σκιά που παρέχουν οι ηλιακοί συλλέκτες. Τα πρόβατα είναι τα πιο κοινά ζώα ηλιακής βόσκησης.

Τα αγροβόλταικα μπορούν επίσης να συμβάλουν στην προστασία των επικονιαστών. Η σημασία των επικονιαστών αντικατοπτρίζεται στο γεγονός ότι οι επικονιαστές, τόσο οι άγριοι όσο και οι εξημερωμένοι, όπως οι μέλισσες, ευθύνονται εν όλω ή εν μέρει για την παραγωγή περίπου του 75% των κορυφαίων καλλιεργειών τροφίμων παγκοσμίως (σύμφωνα με την πρωτοβουλία της ΕΕ για τους επικονιαστές). Πολλοί πληθυσμοί επικονιαστών απειλούνται από την αλλαγή χρήσης γης, την εντατική αστικοποίηση, τις εντατικές γεωργικές πρακτικές που περιλαμβάνουν τη χρήση μεγάλων ποσοτήτων χημικών παραγόντων (φυτοφάρμακα, ζιζανιοκτόνα, εντομοκτόνα ...), τη ρύπανση του περιβάλλοντος, τα χωροκατακτητικά είδη, τις κλιματικές αλλαγές κ.λπ. Πώς μπορεί λοιπόν η αγροηλιακή να βοηθήσει στην προστασία των επικονιαστών; Κάτω από ηλιακούς συλλέκτες, μπορούν να φυτευτούν ενδιαιτήματα επικονιαστών και αυτό έχει γίνει μια πολύ επιτυχημένη πρακτική, ειδικά στις ΗΠΑ. Ο βιότοπος των επικονιαστών κάτω από τις ηλιακές συστοιχίες μπορεί να ωφελήσει τις γεωργικές εκμεταλλεύσεις αυξάνοντας την τοπική γεωργική απόδοση και μπορεί επίσης να φιλοξενήσει μελισσοκομικές επιχειρήσεις. Η ηλιακή μελισσοκομία είναι η πρακτική της τοποθέτησης κυψελών μελισσών πάνω ή κοντά σε ηλιακές τοποθεσίες (ηλιακά πάρκα φιλικά προς τους επικονιαστές = μια ακόμη καλή πρακτική συστέγασης).

Οφέλη από τα αγροβολταικά για αγρότες και επιχειρηματίες

Ποια πλεονεκτήματα μπορούν να έχουν οι αγρότες και οι επιχειρηματίες από αγροηλιακούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής; Τέτοιες εγκαταστάσεις παρέχουν τόσο στους αγρότες όσο και στους επιχειρηματίες πολλαπλά οφέλη:

- **Προστασία των καλλιεργειών από δυσμενείς καιρικές συνθήκες** - οι ηλιακοί συλλέκτες λειτουργούν ως προστασία από ισχυρούς ανέμους, χαλάζι, έντονες βροχοπτώσεις, έντονη ηλιοφάνεια και υψηλές θερμοκρασίες (ειδικά σε περιόδους έντονων κυμάτων καύσωνα). Αυτό έχει θετική επίδραση στη μείωση των απωλειών, αυξάνει την απόδοση της γεωργικής παραγωγής και αυξάνει τη συνολική παραγωγικότητα και τις επιχειρήσεις.
- **Δημιουργία πρόσθετου εισοδήματος από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας:** οι αγρότες και οι επιχειρηματίες μπορούν όχι μόνο να παράγουν ενέργεια για τις δικές τους ανάγκες, αλλά μπορούν επίσης να πωλούν την πλεονάζουσα ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται. Το πλεονέκτημα είναι ότι πρόκειται για μια σχετικά σταθερή και προβλέψιμη πηγή εισοδήματος, η οποία μειώνει τον οικονομικό κίνδυνο της επιχείρησης. Εάν βασιζόμαστε αποκλειστικά στο εισόδημα από τα γεωργικά προϊόντα, εξαρτόμαστε, σε μεγάλο βαθμό, για παράδειγμα, από το αν το έτος θα είναι ξηρό ή αν θα υπάρξει αρκετή βροχή, αλλά όταν διαφοροποιούμε τις δραστηριότητές μας και συνδυάζουμε την παραγωγή τροφίμων και ενέργειας, δημιουργούμε ένα πιο ευνοϊκό και αξιόπιστο περιβάλλον.
- **Μίσθωση ηλιακής γης:** μίσθωση χώρου πάνω από τις καλλιέργειες σε τρίτους που μπορούν να επενδύσουν σε φωτοβολταϊκούς σταθμούς. Αυτό προορίζεται κυρίως για εκείνους τους αγρότες που δεν θέλουν να επενδύσουν άμεσα σε φωτοβολταϊκά συστήματα. Μπορούν να νοικιάσουν τη γη τους σε εταιρείες που ασχολούνται με την ανάπτυξη φωτοβολταϊκών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής. Με αυτόν τον τρόπο, ο αγρότης μπορεί να κερδίσει πρόσθετο εισόδημα, χωρίς να επενδύσει σε ηλιακό εξοπλισμό. Ο αγρότης συνεχίζει να κάνει αυτό που ξέρει καλύτερα - δηλαδή την παραγωγή τροφίμων, ενώ η εταιρεία ή ο επενδυτής αναλαμβάνει την ευθύνη για το ενεργειακό μέρος της επιχείρησης. Με αυτόν τον τρόπο, ο δυνητικός κίνδυνος που σχετίζεται με την αγορά ενέργειας αναλαμβάνεται από την εταιρεία.
- **Οφέλη μάρκετινγκ και συμβολή στη βιωσιμότητα:** μέσω τέτοιων συνεργασιών και έργων, οι αγρότες και οι επιχειρηματίες βελτιώνουν την εικόνα του γεωργικού και ενεργειακού τομέα, τοποθετούν καλύτερα τα προϊόντα τους στην αγορά, παράγουν βιώσιμη και πράσινη ενέργεια και συμβάλλουν στην απαλλαγή από τον άνθρακα.
- **Μείωση του κόστους εργασίας και της ενέργειας που έχει καταναλωθεί:** οι αγρότες που αποφασίζουν να χρησιμοποιήσουν την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια για τις δικές τους ανάγκες, μπορούν να μειώσουν την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και έτσι να μειώσουν το επιχειρηματικό κόστος. Σήμερα, υπάρχει ένα ευρύ φάσμα

διαφορετικών συσκευών και μηχανημάτων στην αγορά που βασίζονται στην ηλιακή ενέργεια και χρησιμοποιούνται στον τομέα της γεωργίας, όπως ηλιακά σκαπτικά, ηλιακές μηχανές αρμέγματος, ηλιακά συστήματα περίφραξης, ηλιακοί ελκυστήρες, ηλιακοί ψεκαστήρες, ηλιακά έντομα και παγίδες παρασίτων ...

Η Agrivoltaics προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα και δυνατότητες, αλλά πρέπει να αναφερθούν ορισμένοι περιορισμοί: ορισμένοι επαγγελματίες της ηλιακής βιομηχανίας βλέπουν τα αγροβολταικά έργα ως πολύπλοκα και απαιτούν επιπλέον προσπάθεια για την υλοποίησή τους, συμπεριλαμβανομένων πρόσθετων επιπέδων πολυπλοκότητας στο σχεδιασμό συστημάτων και αυξημένου συντονισμού με τα ενδιαφερόμενα μέρη. Είναι επομένως σαφές ότι τέτοια έργα απαιτούν περισσότερο χρόνο, προγραμματισμό και οικονομικές επενδύσεις.

ΠΕΡΙΠΤΩΣΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ

ΕΠΙΤΥΧΗΜΕΝΩΝ ΗΛΙΑΚΩΝ ΑΓΡΟΚΤΗΜΑΤΩΝ

Στο επόμενο κεφάλαιο θα παρουσιαστούν διάφορα αγροβολταικά έργα από τη Σερβία, την Ευρώπη και τις ΗΠΑ, τόσο εμπορικά όσο και πιλοτικά συνεργατικά έργα.

Αγροβολταικά στη Σερβία

Η Agrisolar είναι μια σχετικά νέα ιδέα στη Σερβία, αλλά έχει μεγάλες δυνατότητες. Η Σερβία είναι παραδοσιακά γεωργική χώρα, με υψηλό μερίδιο γεωργικής γης όσον αφορά τη συνολική έκταση και με παραδοσιακά εκπροσωπούμενη γεωργική παραγωγή. Περίπου το 48,7% του εδάφους της Δημοκρατίας της Σερβίας καλύπτεται κυρίως από γεωργική γη. Στις εντατικές γεωργικές καλλιέργειες (αρόσιμοι αγροί, κήποι, αμπελώνες, σπωρώνες κ.λπ.) βρίσκεται το 37,1% της συνολικής γεωργικής γης, ενώ η χορτώδης βλάστηση, η οποία αποτελείται κυρίως από λιβάδια και βοσκότοπους είναι 11,6%. Επιπλέον, το δυναμικό της ηλιακής ακτινοβολίας στη Σερβία είναι περίπου 30% υψηλότερο από ό, τι στην Κεντρική Ευρώπη. Σύμφωνα με το Τμήμα Στρατηγικού Σχεδιασμού στον ενεργειακό τομέα (Υπουργείο Μεταλλείων και Ενέργειας της Σερβίας) το συνολικό εκμεταλλεύσιμο δυναμικό της ηλιακής ενέργειας εκτιμάται μέχρι περίπου 0,64 Mtoe/έτος και η μέση ετήσια τιμή της ενέργειας ακτινοβολίας είναι από 1200 kWh/m²/έτος στα βορειοδυτικά έως 1550 kWh/m²/έτος στα νοτιοανατολικά, ενώ στο κεντρικό τμήμα είναι περίπου 1400 kWh/m²/έτος. Επίσης, ο αριθμός των ωρών ηλιακής ακτινοβολίας στο έδαφος της Σερβίας είναι μεταξύ 1500 και 2200 ωρών ετησίως και υπάρχουν περίπου 270 ηλιόλουστες ημέρες κατά μέσο όρο.

Εκτός από την ύπαρξη φυσικών δυνατοτήτων (γεωργική παραγωγή, γεωργική γη και σημαντικό δυναμικό ηλιακής ενέργειας), η Σερβία έλαβε επίσης στρατηγική απόφαση (μετά τη στρατηγική απόφαση της ΕΕ) να ευθυγραμμίσει την ενεργειακή ανάπτυξη με τα κράτη μέλη της ΕΕ, πράγμα που σημαίνει την απαλλαγή του ενεργειακού τομέα από τον

άνθρακα έως το 2050 (καθαρές μηδενικές εκπομπές έως το 2050). Στις αρχές του 2021, η Δημοκρατία της Σερβίας εισήγαγε μεταρρυθμίσεις του εθνικού νομικού πλαισίου στον τομέα της ενέργειας και της κλιματικής αλλαγής, ως σημείο εκκίνησης για τη διαδικασία ενεργειακής μετάβασης στην κλιματικά ουδέτερη ανάπτυξη. Με τον τρόπο αυτό επιτεύχθηκε πληρέστερη εναρμόνιση με τους κανονισμούς του «Τρίτου Ενεργειακού Πακέτου» της ενεργειακής νομοθεσίας της ΕΕ και ορισμένες διατάξεις του πακέτου «Καθαρή Ενέργεια για όλους τους Ευρωπαίους». Η Δημοκρατία της Σερβίας ενέκρινε νέα δέσμη νομοθετικών μέτρων που αποτελείται από τροποποιήσεις ορισμένων ήδη υφιστάμενων νόμων (νόμος για την ενέργεια, νόμος για τα ορυχεία και τη γεωλογική έρευνα) και νέους νόμους, όπως ο νόμος για την ενεργειακή απόδοση και την ορθολογική χρήση της ενέργειας, ο νόμος για τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και ο νόμος για την κλιματική αλλαγή. Στα τέλη του 2023, το ενοποιημένο εθνικό σχέδιο για την ενέργεια και το κλίμα εγκρίθηκε από την κυβέρνηση της Δημοκρατίας της Σερβίας, η οποία σχεδιάζει να αυξήσει το μερίδιο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στο 45% το 2030.

Όλα αυτά δημιουργούν ευκαιρίες για πολύ πιο εντατική ανάπτυξη αγροβολταϊκών έργων στη Σερβία, την επέκταση των οποίων μπορούμε να αναμένουμε τα επόμενα χρόνια.

Ηλιακή συγκομιδή: Η πρώτη αγροηλιακή μονάδα παραγωγής ενέργειας της Σερβίας

Τον Φεβρουάριο του 2024, το βιολογικό αγρόκτημα "Organela" έγινε το σπίτι του πρώτου αγροηλιακού σταθμού ηλεκτροπαραγωγής της Σερβίας. Βρίσκεται σε μια αγροτική περιοχή της Δυτικής Σερβίας και περιβάλλεται από φυσικά τοπία, η Organela παράγει βιολογικά φρούτα και λαχανικά και από τώρα και στο εξής θα παράγει επίσης πράσινη ηλεκτρική ενέργεια στην ίδια γη όπου καλλιεργεί τα βιολογικά της τρόφιμα. Κάτω από τους ηλιακούς συλλέκτες, το αγρόκτημα Organela θα καλλιεργεί σταφίδες και πυραύλους. Ο φωτοβολταϊκός σταθμός διαθέτει 48 φωτοβολταϊκά πάνελ, συνολικής ισχύος 17,5 kW. Η τοποθέτηση ηλιακών συλλεκτών πάνω από γεωργικές εκτάσεις φέρνει διπλό όφελος: κάτω από τους ηλιακούς συλλέκτες που θα παράγουν ηλεκτρική ενέργεια, υπάρχουν φυτά που χρειάζονται σκιά για να αναπτυχθούν ανεμπόδιστα. Οι ηλιακοί συλλέκτες θα τους παρέχουν τη σκιά που χρειάζονται, ενώ ταυτόχρονα θα τους προστατεύουν από το χαλάζι. Επιπλέον, η εξάτμιση από τα φυτά θα ψύξει τους ηλιακούς συλλέκτες, αυξάνοντας την αποτελεσματικότητά τους και εξασφαλίζοντας τη μέγιστη αξιοποίηση της χωρητικότητάς τους. Κατά τη διάρκεια των ζεστών καλοκαιρινών ημερών, όταν η θερμοκρασία του αέρα υπερβαίνει τους 30 βαθμούς Κελσίου, η απόδοση των ηλιακών συλλεκτών μειώνεται, έτσι ώστε να επωφελούνται όταν ψύχονται με εξάτμιση από φυτά που αναπτύσσονται από κάτω. Εκτιμάται ότι η συγκεκριμένη αγροηλιακή ενέργεια θα μειώσει τις εκπομπές CO₂ κατά 28 τόνους ετησίως και ότι η ετήσια ενεργειακή απόδοση θα είναι 25,9MWh.

Το Solar Harvest είναι έργο του ενεργειακού συνεταιρισμού Elektropionir (σε συνεργασία με το Organella Farm) και υλοποιείται στο πλαίσιο της πρωτοβουλίας Καινοτόμου και Δίκαιης Πράσινης Μετάβασης, με στόχο τη διασφάλιση της ενεργειακής ασφάλειας και τη μείωση της ενεργειακής φτώχειας, η οποία υλοποιείται από το UNDP Serbia σε συνεργασία με το Υπουργείο Προστασίας του Περιβάλλοντος και το Υπουργείο Μεταλλείων και Ενέργειας.



Φωτογραφία: Εγκατάσταση agrisolar στο αγρόκτημα Organella, Πηγή: Elektropionir



Φωτογραφία: Ηλιακοί συλλέκτες και φυτά σταφίδας στο αγρόκτημα Organella, Πηγή: Elektropionir

Ηλιακός σταθμός παραγωγής ενέργειας Delta και Brankon solar

Στο βόρειο τμήμα της Σερβίας (κοντά στην Βοϊβοντίνια) δύο νέα αγροηλιακά έργα βρίσκονται σε εξέλιξη (η τεκμηρίωση σχεδιασμού βρίσκεται επί του παρόντος στο στάδιο της προετοιμασίας): "Solar Power Plant Delta" και "Brankon solar". Ο σταθμός ηλιακής ενέργειας Delta βρίσκεται στον κτηματολογικό δήμο Banatska Topola, σε γεωργική γη. Τρία αγροηλιακά χωράφια προβλέπονται σε 157 εκτάρια. Το έργο περιλαμβάνει υποσταθμό (110/35 kV), σύνδεση με γραμμή μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας 110 kV και ηλεκτρικά και οπτικά καλώδια (180 εκτάρια συνολικά). Σύμφωνα με το προσχέδιο, ο σταθμός ηλεκτροπαραγωγής θα έχει σημείο σύνδεσης 88 MW με το σύστημα μεταφοράς. Η γη κάτω από τους ηλιακούς συλλέκτες θα χρησιμοποιηθεί για γεωργικούς σκοπούς, όπως βόσκηση μικρών ζώων ή καλλιέργεια καλλιεργειών που δεν απαιτούν εκτεταμένο ηλιακό φως. Η τοποθεσία για το δεύτερο έργο, Brankon solar, βρίσκεται στις κτηματολογικές μονάδες Mokrin και Kikinda. Οι ηλιακοί συλλέκτες και ο συναφής εξοπλισμός θα καταλαμβάνουν 15 εκτάρια.

Τα αγροβολταικά στην Ευρώπη

Επί του παρόντος, υπάρχουν περισσότερα από 200 αγροηλιακά έργα σε όλη την Ευρώπη που υπερβαίνουν τη συνδυασμένη δυναμικότητα των 2,8 GW, συμπεριλαμβανομένων τόσο πιλοτικών όσο και εμπορικών έργων. Αυτά τα έργα βρίσκονται κυρίως στην Ελβετία, τη Γαλλία, τις Κάτω Χώρες, τη Λιθουανία, τη Γερμανία, την Ισπανία, την Ιταλία, το Βέλγιο, την Αυστρία και το Ηνωμένο Βασίλειο. Εκτός από τους κοινούς ενεργειακούς στόχους και την επιθυμία για απαλλαγή από τον άνθρακα, τα κράτη μέλη της ΕΕ έλαβαν σαφή απόφαση για τη θέσπιση της Κοινής Αγροτικής Πολιτικής (ΚΑΠ), η οποία άνοιξε επίσης σημαντικό χώρο για την προώθηση και υλοποίηση αγροβολταικών έργων. Μέχρι στιγμής, 14 χώρες της ΕΕ έχουν ενσωματώσει την ηλιακή φωτοβολταϊκή ενέργεια στα στρατηγικά τους σχέδια για την κοινή γεωργική πολιτική (ΚΓΠ). Οι χώρες αυτές είναι η Αυστρία, το Βέλγιο, η Βουλγαρία, η Κύπρος, η Τσεχική Δημοκρατία, η Γαλλία, η Γερμανία, η Ιρλανδία, η Ιταλία, το Λουξεμβούργο, η Μάλτα, οι Κάτω Χώρες, η Ισπανία και η Σλοβενία.

Ιταλία

Ο αριθμός των αγροβολταικών συστημάτων στην Ιταλία έχει αυξηθεί με την πάροδο των ετών, σε σημείο που θεωρούνται πλέον μία από τις βασικές μεθόδους για την επίτευξη των στόχων απαλλαγής από τον άνθρακα. Επίσης, είναι σημαντικό να επισημανθούν δύο έγγραφα: το «Ολοκληρωμένο Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα 2030» που προβλέπει αύξηση του μεριδίου της παραγόμενης ενέργειας από φωτοβολταϊκά κατά 35 GW και του 55% της ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ έως το 2030 και το «Εθνικό Σχέδιο Ανάκαμψης και Ανθεκτικότητας» που στοχεύει στη μείωση του ενεργειακού κόστους στον αγροτικό τομέα και προβλέπει την εγκατάσταση τουλάχιστον 1,04 GW

αγροβολταικών σταθμών έως τον Ιούνιο του 2026, προώθηση υβριδικών γεωργικών-φωτοβολταϊκών συστημάτων. Στην πραγματικότητα σημαίνει ότι μπορούμε να αναμένουμε μια πραγματική επέκταση των αγροηλιακών συστημάτων σε αυτή τη χώρα τα επόμενα χρόνια.

Ο πρώτος αγροβολταικός σταθμός ισχύος 1MW στην Ιταλία κατασκευάστηκε το 2011 (και ένας από τους πρώτους στην Ευρώπη) στην Απουλία (περιοχή γνωστή και με το ιταλικό όνομα Puglia, που βρίσκεται στο νότιο τμήμα της χερσονήσου της χώρας). Τα τελευταία χρόνια, αυτός ο Ιταλός επιχειρηματίας και περήφανος ιδιοκτήτης του πρώτου αγροηλιακού πάρκου στη χώρα αυτή εργάζεται για την ανάπτυξη ενός νέου έργου 8 MW, όπου θα εφαρμόσει έναν συνδυασμό παραγωγής πράσινης ενέργειας και κρασιού, δηλαδή καλλιέργειας σταφυλιών.

Την προηγούμενη περίοδο εγκαταστάθηκαν ή εγκρίθηκαν για εγκατάσταση στην Ιταλία δεκάδες έργα αγροβολταικών. Το 2023 εγκρίθηκε η κατασκευή 13 αγροβολταικών πάρκων συνολικής ισχύος 593,7 MW, τα οποία θα συνδυάζουν ενέργεια και αγροτική παραγωγή. Δώδεκα από αυτά τα έργα θα βρίσκονται στην Απουλία, ενώ ένα θα εγκατασταθεί στη γειτονική περιοχή της Βασιλικάτα. Τα έργα αυτά αναμένεται να συμβάλουν στην επίτευξη των εθνικών στόχων για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Όσον αφορά το αγροηλιακό έργο στη Basilicata, στον δήμο Genzano di Lucania (επαρχία Potenza), βρίσκεται υπό κατασκευή μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ισχύος 10 MW. Η μονάδα αυτή αναμένεται να είναι σε θέση να παράγει 6162 MWh καθαρής ενέργειας ετησίως όταν θα είναι πλήρως λειτουργική. Το έργο αυτό περιλαμβάνει τη χρήση κατασκευών ύψους 1,5 μέτρων που θα επιτρέψουν την καλλιέργεια διαφόρων τύπων καλλιεργειών, τη μελισσοκομία και τη βόσκηση προβάτων.

Την επόμενη περίοδο, ένα άλλο νέο αγροβολταικό αγρόκτημα αναμένεται να ξεκινήσει την παραγωγή: το εργοστάσιο Ramacca, που βρίσκεται στη Ramacca, στην επαρχία της Κατάνια. Η μονάδα, γνωστή ως "Solare Ramacca fiume - Gornalunga", θα βρίσκεται σε γεωργική έκταση περίπου 68 εκταρίων και θα έχει εγκατεστημένη ονομαστική ισχύ 34 527 MWp. Θα είναι εξοπλισμένο με ένα ολοκληρωμένο σύστημα αποθήκευσης με ισχύ εισόδου 11,4 MW σε εγκαταστάσεις ηλιακής παρακολούθησης. Η μονάδα αυτή αναμένεται να παράγει καθαρή ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ύψους 72 500 MWh/έτος. Εκτός από την παραγωγή καθαρής ενέργειας, η μονάδα θα έχει σημαντικό αντίκτυπο στη μείωση των εκπομπών CO₂ στην ατμόσφαιρα, με εκτιμώμενους περισσότερους από 29 000 τόνους ετησίως.

Μεταξύ των ήδη λειτουργικών εγκαταστάσεων, υπάρχει αυτή του Renantis στο Scicli, στη Ραγκούσα, στην Σικελία, 9,7 MW νέας ηλιακής ισχύος. Η μονάδα εκτιμάται ότι παράγει περίπου 20 GWh ανανεώσιμης ενέργειας ετησίως, που ισοδυναμεί με τις ανάγκες περισσότερων από 5000 νοικοκυριών. Στην περιοχή, η καλλιέργεια των εγχώριων καλλιεργειών και η παραγωγή ενέργειας θα συνδυαστούν. Οι καλλιέργειες έχουν επιλεγεί σε συνεργασία με το Τμήμα Γεωργίας, Τροφίμων και Περιβάλλοντος του

Πανεπιστημίου της Κατάνια και περιλαμβάνουν οπωροφόρα δέντρα, φαρμακευτικά βότανα και πολυφυτικό γκαζόν για βόσκηση προβάτων, καθώς και μελισσοκομία και παραγωγή μελιού και άλλα προϊόντα κυψέλης. Την γεωργική δραστηριότητα θα διαχειρίζεται ένας τοπικός συνεταιρισμός, ο οποίος θα αποφέρει σημαντικά οφέλη σε ολόκληρη την περιοχή, καθώς και τη δημιουργία νέων ευκαιριών απασχόλησης σε εδαφικό επίπεδο. Η πρωτοβουλία αυτή όχι μόνο προωθεί την περιβαλλοντική βιωσιμότητα και την αποδοτική χρήση των πόρων, αλλά συμβάλλει επίσης στην οικονομική και κοινωνική ανάπτυξη της τοπικής κοινότητας.

Αξίζει επίσης να αναφερθεί η πρωτοβουλία "Agrivoltaics Open Labs" που βρίσκεται στη Salaparuta (Σικελία). Αυτό είναι ένα είδος υπαίθριου εργαστηρίου καινοτομίας στο οποίο δοκιμάζεται η ολοκλήρωση μεταξύ της παραγωγής ηλιακής ενέργειας, της γεωργίας και της προστασίας της βιοποικιλότητας. Δεδομένου ότι η καλλιέργεια σταφυλιών και η παραγωγή κρασιού αποτελούν μέρος του πολιτισμού, της ιστορίας και της παράδοσης στη Σικελία, η εταιρεία που κατέχει τον αμπελώνα αποφάσισε να συνδυάσει την παραγωγή κρασιού και ενέργειας και να επενδύσει σε φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις. Με αυτόν τον τρόπο, εκτός από το κρασί, η εταιρεία παράγει επίσης ενέργεια, μειώνοντας το κόστος και ταυτόχρονα ευνοώντας τη βιωσιμότητα (το λεγόμενο Agrivoltaics Wine).



Φωτογραφία: Agrivoltaics Open Labs in Salaparuta (Σικελία), Πηγή: Enelgreenpower.com

Ελλάδα

Η Ελλάδα έχει μερικές από τις υψηλότερες δυνατότητες για ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στην Ευρώπη, με 50% περισσότερη ηλιακή ακτινοβολία ανά τετραγωνικό μέτρο από τη Γερμανία (η οποία αντιπροσωπεύει μία από τις κορυφαίες χώρες στον τομέα της αγροηλιακής ανάπτυξης). Οι νότιες περιοχές της Ελλάδας λαμβάνουν περισσότερες από 2000kWh/m² παγκόσμιας ακτινοβολίας ετησίως, παράγοντας έως και 1500kWh/kW ηλιακής ηλεκτρικής ενέργειας. Άλλα μέρη του κράτους έχουν επίσης σημαντικό ηλιακό δυναμικό. Κατά την τελευταία δεκαετία, το μερίδιο των ΑΠΕ στη συνολική κατανάλωση ενέργειας έχει σχεδόν διπλασιαστεί, κυρίως ως αποτέλεσμα της παραγωγής αιολικής και ηλιακής ενέργειας. Ταυτόχρονα, η Ελλάδα καταργεί σταδιακά τον άνθρακα και έχει μειώσει τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά 43% από το 2005. Η ευνοϊκή γεωγραφική θέση και τα κλιματικά χαρακτηριστικά καθιστούν τη χώρα πολύ ευνοϊκή για ανάπτυξη και επενδύσεις σε αγροβολταϊκές τεχνολογίες. Επομένως, μπορούμε να αναμένουμε την επέκτασή τους στο μέλλον.

Όσον αφορά τα αγροφωτοβολταϊκά έργα στην Ελλάδα, θα πρέπει να αναφερθεί μια ενδιαφέρουσα πρωτοβουλία: Στα Ιωάννινα (βορειοδυτική Ελλάδα, περιφέρεια Ηπείρου) σχεδιάζεται ήδη το πρώτο αγροφωτοβολταϊκό έργο αστικής κοινότητας και θα ακολουθήσει αναπαραγωγή στα Σκόπια της Βόρειας Μακεδονίας (δύο αγροφωτοβολταϊκοί σταθμοί 10-15 kW). Πρόκειται για έναν αστικό λαχανόκηπο που θα συνδυαστεί με την παραγωγή πράσινης ενέργειας από φωτοβολταϊκά πάνελ. Το πιλοτικό πρόγραμμα θα συντονίζεται από την τοπική ενεργειακή κοινότητα CommonEn και ο σχεδιασμός θα ακολουθεί συμμετοχικές διαδικασίες με τη συμμετοχή πολιτών και τοπικών φορέων. Η CommonEn ιδρύθηκε το 2021 και πρωτοστάτησε η Electra Energy (μέλος REScoop.eu).

Το δεύτερο έργο που θα παρουσιαστεί εδώ είναι ένα έργο της ελληνικής startup Brite Solar, η οποία κατασκευάζει μια γραμμή παραγωγής στην Πάτρα για διαφανείς ηλιακούς συλλέκτες για την παραγωγή αγροβολταϊκών. Η εγκατάσταση αυτή στην Πάτρα θα έχει ετήσια ισχύ 150 MW σε ώρες αιχμής. Η Brite Solar στοχεύει στη συνέχεια να το ενισχύσει στα 300 MW στο μέλλον. Η εταιρεία αυτή έχει μέχρι στιγμής υλοποιήσει αρκετά επιτυχημένα αγροβολταϊκά έργα ανοικτού πεδίου σε όλη την Ευρώπη όπως:

- Υπαίθρια καλλιέργεια βατόμουρου στο Broekhuizen: ένα από τα πρώτα έργα αγροβολταϊκών στις Κάτω Χώρες, που ξεκίνησε από έναν εμπορικό καλλιεργητή βατόμουρου.
- Καλλιέργεια φράουλας ανοικτού πεδίου στο Senden (Βαυαρία, Γερμανία): ξεκίνησε από έναν Γερμανό καλλιεργητή μιας ποικιλίας φρούτων (μήλα, αχλάδια, φράουλες, διάφορα μούρα).
- Υπαίθριο αχλάδι μήλου και καλλιέργεια στο Papendrecht (δυτικές Κάτω Χώρες).
- Υπαίθρια καλλιέργεια αχλαδιών στο Randwijk (Κάτω Χώρες): βρίσκεται σε ένα ερευνητικό αγρόκτημα που διαχειρίζεται το Wageningen University & Research,

αυτή η εγκατάσταση επίδειξης αποτελεί μέρος του έργου "Sunbiose" που έχει λάβει υποστήριξη από την ολλανδική κυβέρνηση για τη διευκόλυνση της ευρύτερης εξάπλωσης των αγροβολταϊκών στην ολλανδική γεωργική sector.

Γερμανία

Η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στη Γερμανία έχει μακρά παράδοση. Από το 2000, ο νόμος για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Erneuerbare Energien Gesetz – EEG) έχει θέσει το νομικό πλαίσιο για την ενεργειακή μετάβαση στη χώρα αυτή. Η Γερμανία έχει θέσει ως στόχο να καταστεί ουδέτερη ως προς τα αέρια του θερμοκηπίου έως το 2045. Επιπλέον, τουλάχιστον το 80% της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται στη Γερμανία θα παράγεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έως το 2030. Τα τελευταία χρόνια τα έργα APV έχουν κερδίσει δημοτικότητα στη χώρα αυτή, αλλά βρίσκονται ακόμα σε πολύ πρώιμο στάδιο ανάπτυξης για να ονομαστούν "καθημερινή πρακτική". Στην καινοτομία του EEG του 2021, τα αγροβολταϊκά εισήλθαν στους κανόνες καινοτομίας ως μέρος των λεγόμενων ειδικών ηλιακών εγκαταστάσεων (μαζί με πλωτά φωτοβολταϊκά και φωτοβολταϊκά χώρου στάθμευσης). Από τότε, ο αριθμός τους αυξάνεται και υπάρχουν όλο και περισσότεροι ενδιαφερόμενοι αγρότες και επιχειρηματίες που είναι έτοιμοι να επενδύσουν. Σύμφωνα με μια πρόσφατα δημοσιευμένη μελέτη των Wagner et al. (2024) «Παράγοντες που επηρεάζουν την προθυμία χρήσης αγροβολταϊκών: μια ποσοτική μελέτη μεταξύ των Γερμανών αγροτών», το 72,4% των Γερμανών αγροτών είναι πρόθυμοι να χρησιμοποιήσουν αγροβολταϊκά. Το 2024, υπάρχουν μερικές δεκάδες αγροβολταϊκές φάρμες στη Γερμανία, ειδικά στο νότιο τμήμα (Βαυαρία και Βάδη-Βυρτεμβέργη), όπου ο αριθμός των εγκαταστάσεων είναι υψηλότερος σε σύγκριση με την υπόλοιπη χώρα.

Ένα από τα ενδιαφέροντα παραδείγματα είναι ο πρώτος πιλότος αγροβολταϊκών σε οπωρώνα μήλων στη Γερμανία, που βρίσκεται στο Gelsdorf στη Ρηνανία-Παλατινάτο (Δυτική Γερμανία). Πρωταρχικός στόχος του είναι η αύξηση της ανθεκτικότητας στην κλιματική αλλαγή στην καλλιέργεια φρούτων με ταυτόχρονη συγκομιδή πράσινης ηλεκτρικής ενέργειας. Το έργο αυτό ξεκίνησε το 2021, στο αγρόκτημα βιολογικών φρούτων Nachtwey με εγκατεστημένη ισχύ 300 kWp. Η παραγόμενη ηλιακή ενέργεια χρησιμοποιείται, μεταξύ άλλων, για τον ηλεκτρικό ελκυστήρα επί τόπου και για τη λειτουργία της ηλεκτρικής αντλίας του συστήματος άρδευσης, η οποία αντικαθιστά μια γεννήτρια ντίζελ. The next example is the APV-pilot plant at the "Heggelbach" biodynamic farm community run by six families, located in the municipality Herdwangen-Schönach, Baden-Württemberg (Southwest Germany). Το έργο ξεκίνησε το 2016 με εγκατεστημένη ισχύ 194 kWp. Η αγροτική κοινότητα καλλιεργεί περίπου 180 εκτάρια. Η γεωργική βάση περιλαμβάνει το τριφύλλι (27 εκτάρια), τα σιτηρά (30 εκτάρια), τα κηπευτικά (25

εκτάρια), τις πατάτες κατανάλωσης (12 εκτάρια) και τους βοσκότοπους για το κοπάδι των αγελάδων. Η καινοτόμος λύση αύξησε την αποδοτικότητα χρήσης γης στην περιοχή δοκιμής κατά περισσότερο από 60%.

Ένα από τα τρέχοντα έργα των οποίων η υλοποίηση βρίσκεται σε εξέλιξη είναι η κατασκευή ενός εργοστασίου APV από την ΟΕΚΟΓΕΝΟ. Η ΟΕΚΟΓΕΝΟ είναι ένας συνεταιρισμός με έδρα το Fribourg με 16 000 μέλη, ο οποίος έχει ξεκινήσει μια εκστρατεία Crowd-Investment για την κατασκευή του "ηλιακού πάρκου Oekogeno Agri" κοντά στην πόλη Ottweiler (Saarland, νοτιοδυτική Γερμανία). Ένας αγροβολταϊκός σταθμός ισχύος 3,7 MWp με μονάδες διπλής όψης θα καλύπτει έκταση 11 εκταρίων. Ο ανοιχτός χώρος, ο οποίος παραμένει ως διάδρομοι πλάτους 12 μέτρων μεταξύ των μονάδων, θα χρησιμοποιηθεί δύο φορές: ως βοσκότοπος για βοοειδή της φυλής Angus, τα οποία ο ιδιοκτήτης της γης εμπορεύεται ως βιολογικό κρέας και ως περιοχή καλλιέργειας σανό.



Φωτογραφία: Ο πρώτος πιλότος αγροβολταϊκών σε σπωρώνα μήλων στη Γερμανία (Nachtwey organic fruit farm, Gelsdorf), Πηγή: Baywa-re.de

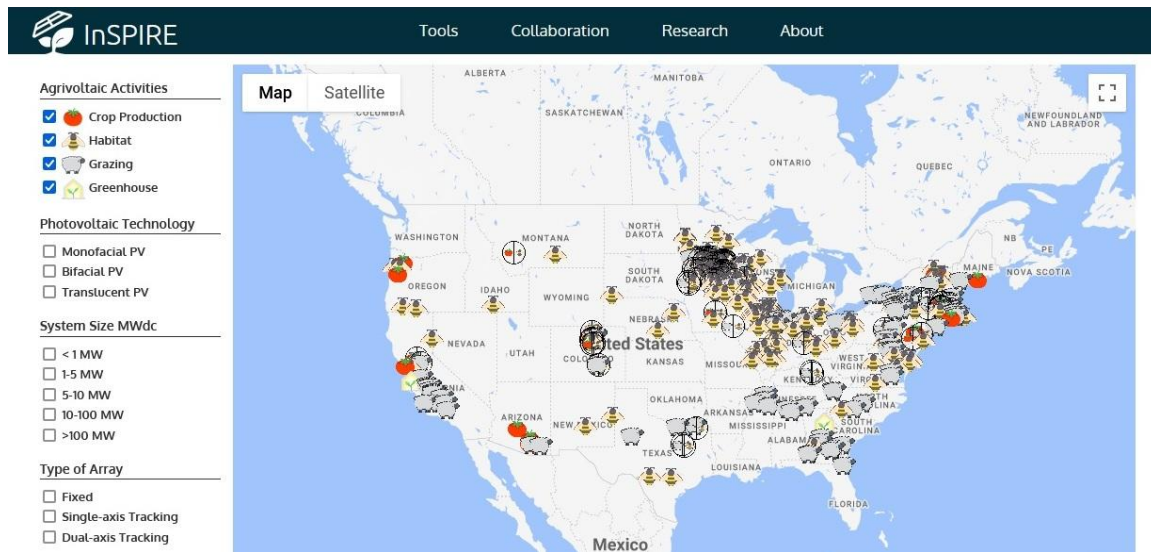


Φωτογραφία: Εργοστάσιο APV στη βιοδυναμική αγροτική κοινότητα "Heggelbach",
Πηγή: Baywa-re.de

Αγροφωτοβολταϊκά στις ΗΠΑ

Στις Ηνωμένες Πολιτείες, η ηλιακή ανάπτυξη προβλέπεται να αυξηθεί σημαντικά. Μέχρι το 2030, η ηλιακή εγκατάσταση θα μπορούσε να φτάσει τα 330 GW εγκατεστημένης ισχύος (για να καλύψει το 14% της εθνικής ζήτησης), με 209 GW να αναμένεται να είναι επίγεια ηλιακή, η οποία θα απαιτούσε περίπου 8000 km² γης, συμπεριλαμβανομένης της γεωργικής γης.

Τα αγροβολταϊκά έργα στις ΗΠΑ άρχισαν να αναπτύσσονται γύρω στο 2011, ωστόσο, η σημαντική επέκτασή τους ξεκίνησε μετά το 2016. Μέχρι τον Αύγουστο του 2024, το Εθνικό Εργαστήριο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας έχει εντοπίσει 571 έργα αγροβολταϊκών στις Ηνωμένες Πολιτείες (με 10GW), εκ των οποίων η φυτική παραγωγή περιλαμβάνει 35 έργα (79MW, 360 στρέμματα) και η ηλιακή βόσκηση περιλαμβάνει 205 έργα (7555 MW, 49 229 στρέμματα). Τα πρόβατα είναι τα πιο κοινά ζώα ηλιακής βόσκησης, αλλά υπάρχουν και πολλά αγροκτήματα όπου εκπροσωπούνται αγελάδες, άλογα, λάμα και αλπακά. Όταν μιλάμε για την καλλιέργεια τροφίμων κάτω από ηλιακούς συλλέκτες στις ΗΠΑ, τα ακόλουθα καλλιεργούνται συχνότερα σε αγροβολταϊκές εκμεταλλεύσεις: λαχανικά (λάχανο, μπρόκολο, λάχανο, σέσκουλα, πιπεριές, μαϊντανός, ντομάτες, μαρούλι, σπανάκι, σκουός, βασιλικός, μελιτζάνα, σέλινο, πράσα, μπιζέλια, αγγούρια, φασόλια, κολοκυθάκια, ασκαλώνια, κουνουπίδι, καρότα, φασόλια, ραπανάκι κλπ.). φρούτα (φράουλα, βατόμουρα, πεπόνι, καρπούζι, σταφύλια), καθώς και φαρμακευτικά και αρωματικά βότανα. Ο αριθμός των αγροηλιακών αγροκτημάτων αυξάνεται χρόνο με το χρόνο, λόγω του αυξανόμενου ενδιαφέροντος των Αμερικανών αγροτών, και όλα αυτά υποστηρίζονται σθεναρά από το Υπουργείο Ενέργειας των ΗΠΑ, το οποίο ανέπτυξε τον «Οδηγό του Αγρότη για τη Μετάβαση στην Ηλιακή Ενέργεια» ως μορφή υποστήριξης για όλους τους νέους αγρότες που θέλουν να συμμετάσχουν σε αυτήν την πρωτοβουλία. Τα πιο πολυάριθμα έργα αγροβολταϊκών στις ΗΠΑ είναι σίγουρα «οικότοποι επικονιαστών» (418 περιοχές με 4293 MW, που καλύπτουν 23 784 στρέμματα). Τα κράτη σε ολόκληρη τη χώρα θεσπίζουν πρότυπα που θέτουν δίκαια, ευέλικτα και επιστημονικά πρότυπα για το τι συνιστά «ευεργετικό για τους επικονιαστές» στο διαχειριζόμενο τοπίο ενός ηλιακού πάρκου. Πολλά κράτη έχουν υιοθετήσει τις δικές τους «Pollinator-friendly solar scorecards».



Χάρτης: Εγκαταστάσεις Agrivoltaics που βρίσκονται σε όλες τις Ηνωμένες Πολιτείες,
 Πηγή: OpenEI.org

Βιβλιογραφία

- Agrisolar Best Practice Guidelines, Version 2.0. (2023). SolarPower Europe.
- Ašonja, A., Vuković, V. (2018). The potentials of solar energy in the Republic of Serbia: current situation, possibilities and barriers. *Applied Engineering Letters*, 3, 90-97. <https://doi.org/10.18485/aeletters.2018.3.3.2>
- Barron-Gafford, G. A., Pavao-Zuckerman, M. A., Minor, R. L., Sutter, L. F., Barnett-Moreno, I., Blackett, D. T., Thompson, M., Dimond, K., Gerlak, A. K., Nabhan, G. P., & Macknick, J. E. (2019). Agrivoltaics provide mutual benefits across the food–energy–water nexus in drylands. *Nature Sustainability*, 2(9), 848–855. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0364-5>
- Coşgun, A., Sacid Endiz, M., Demir, H., & Özcan, M. (2024). Agrivoltaic systems for sustainable energy and agriculture integration in Turkey. *Heliyon*, 10(11), e32300–e32300. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e32300>
- Davis, R., Macknick, J. (2022). ASTRO: Facilitating Advancements in Low-Impact Solar Research, Deployment, and Dissemination. National Laboratory of the U.S. Department of Energy (NREL), Office of Energy Efficiency & Renewable Energy.
- Deteix, L., Salou, T., Drogué, S., & Loiseau, E. (2023). The importance of land in resource criticality assessment methods: A first step towards characterising supply risk. *Science of the Total Environment*, 880, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163248>
- Draft of the New Spatial Plan of the Republic of Serbia, 2010-2035. Belgrade: Ministry of Construction, Transport and Infrastructure, Republic of Serbia.
- Dupraz, C., Marrou, H., Talbot, G., Dufour, L., Nogier, A., Ferard, Y. (2011). Combining solar photovoltaic panels and food crops for optimising land use: Towards new agrivoltaic schemes. *Renewable Energy*, 36, 10, 2725–2732, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.03.005>.
- Energy Sector Development Strategy of the Republic of Serbia for the period by 2025 with projections by 2030 (2016). Belgrade, Republic of Serbia: Ministry of Mining and Energy, Department for strategic planning in energy sector.
- Goetzberger, A., Zastrow, A. (1981). On the Coexistence of Solar-Energy Conversion and Plant Cultivation. *Int. J. Sol. Energy*, 1, 55–69. <https://doi.org/10.1080/01425918208909875>
- Gvozdenac, D., Nakomčić-Smaragdakis, B., Gvozdenac Urošević, B. (2011). Tehnologije obnovljivih izvora energije. Fakultet tehničkih nauka.
- Hartmann, H.M., Gripoo, M., Heath, G. et al. (2016). Understanding Emerging Impacts and Requirements Related to Utility-scale Solar Development (Technical Report). US Department of Energy, Office of Scientific and Technical Information.
- Integrated National Energy and Climate plan of the Republic of Serbia for the period up to 2030 with projections up to 2050. Belgrade, Serbia: Ministry of Mining and Energy.
- Kabir, E., Kumar, P., Kumar, S., Adelodun, A. A., & Kim, K.H. (2018). Solar energy: Potential and future prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82(1364-0321), 894–900. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.094>
- Marrou, H., Guilioni, L., Dufour, L., Dupraz, C., Wery, J. (2013). Microclimate under Agrivoltaic Systems: Is Crop Growth Rate Affected in the Partial Shade of Solar Panels? *Agric. For. Meteorol.*, 177, 117–132. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2013.04.012>

- Marrou, H., Wery, J., Dufour, L., Dupraz, C. (2013). Productivity and radiation use efficiency of lettuces grown in the partial shade of photovoltaic panels. *European Journal of Agronomy*, 44, 54-66. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2012.08.003>
- Naushad, M., Sagar, A. (2023). Solar energy in Agriculture. *Just Agriculture: multidisciplinary e-newsletter*, 23, 12, e-ISSN: 2582-8223.
- Pascaris, A. S., Schelly, C., Burnham, L., & Pearce, J. M. (2021). Integrating solar energy with agriculture: Industry perspectives on the market, community, and socio-political dimensions of agrivoltaics. *Energy Research & Social Science*, 75, <https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.102023>
- Pringle, A., Handler, R., Pearce, J. (2017). Aquavoltaics: Synergies for dual use of water area for solar photovoltaic electricity generation and aquaculture. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 80, 572-584. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.191>
- Pump, C., Trommdorff, M., Beckman, V., Bretzel, T. (2024). Agrivoltaics in Germany – Status Quo and Future Developments. *AgriVoltaics World Conference 2023, Legal Framework & Public Policies*, <https://doi.org/10.52825/agripv.2i.1005>
- Saxena, N.N., Kumar, P. (2021). A Review on Application of Solar Energy in Agriculture Sector. *International Journal of Innovative Research in Engineering & Management (IJREAM)*, 8, 6. <https://doi.org/10.55524/ijirem.2021.8.6.23>
- Sekiyama, T. Akira Nagashima Sunlight Power Generation System. Patent No. 2005-277038, 6 October 2005.
- Sovacool, B. (2009). Exploring and Contextualizing Public Opposition to Renewable Electricity in the United States. *Sustainability*, 1, 3, 702–721. <https://doi.org/10.3390/su1030702>
- Tariq, G. H., Ashraf, M., & Hasnain, U. S. (2021). Solar Technology in Agriculture. *IntechOpen*. <https://www.intechopen.com/chapters/77058>
- Toledo, C., Scognamiglio, A. (2021). Agrivoltaic Systems Design and Assessment: A Critical Review, and a Descriptive Model towards a Sustainable Landscape Vision (Three-Dimensional Agrivoltaic Patterns). *Sustainability*, 13(12), 6871. <https://doi.org/10.3390/su13126871>
- Towner, E., Karas, T., Janski, J., Macknick, J. & Ravi, S. (2022). Managed sheep grazing can improve soil quality and carbon sequestration at solar photovoltaic sites [*Conference presentation*]. *AGU Fall Meeting 2021*, New Orleans, LA, United States. <https://doi.org/10.1002/essoar.10510141.1>
- Wagner, J., Buhner, C., Golz, S., Trommsdorff, M., Jurkenbeck, K. (2024). Factors influencing the willingness to use agrivoltaics: A quantitative study among German farmers. *Applied Energy*, 361, 122934, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.122934>
- Wüstenhagen, R., Wolsink, M., Bürer, M. (2007). Social acceptance of renewable energy innovation: An introduction to the concept, *Energy Policy*, 35, 5, 2683–2691. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2006.12.001>.

Websites:

- Associazione Italiana Agrivoltaico Sostenibile, available at <https://www.associazioneitalianagrivoltaicosostenibile.com/>
- Balkan Green Energy News, Brite Solar to complete agrisolar panel plant in Greece by end-2024, available at <https://balkangreenenergynews.com/brite-solar-to-complete-agrisolar-panel-plant-in-greece-by-end-2024/>

- Balkan Green Energy News, Solar Harvest: Serbia's first agrisolar power plant, available at <https://balkangreenenergynews.com/solar-harvest-serbias-first-agrisolar-power-plant/>
- BayWa-re, Agrivoltaics in Germany, available at <https://www.baywa-re.de/en/solar/system-applications/agri-pv#our-expertise>
- Brite Solar, Open-Field Agrivoltaics, available at <https://www.britesolar.com/argipv>
- CommonEn Energy Community of Epirus, available at <https://www.commonen.gr/en/#erga>
- DW, Energy democracy takes off in Greece, available at <https://www.dw.com/en/greece-renewable-energy-gets-a-democratic-retrofit-in-democracys-birthplace/a-68238698>
- Electra Energy.coop, Community Solar Garden, available at <https://electraenergy.coop/en/communitysolargarden-en/>
- Energypress Greek energy news portal: Community Agrivoltaics: A new application of social and climate justice, available at <https://energypress.eu/community-agrivoltaics-a-new-application-of-social-and-climate-justice/>
- Enel Green Power, Agrivoltaics - a valuable ally in the energy transition (author Stefano Amaducci, PhD), available at <https://www.enelgreenpower.com/learning-hub/contributors/agrivoltaics-ally-energy-transition>
- Enel Green Power, In Sicilia l'energia rinnovabile si fa come il buon vino, available at <https://www.enelgreenpower.com/it/media/news/2024/03/agrivoltaico-salaparuta>
- Elektropionir, Elektrana solarna berba, available at <https://elektropionir.rs/elektrana-solarna-berba/>
- European Commission, Common agricultural policy, available at https://agriculture.ec.europa.eu/common-agricultural-policy_en
- Farmer's Guide to Going Solar, U.S. Department of Energy, available at <https://www.energy.gov/eere/solar/farmers-guide-going-solar>
- Fresh Energy, The Center for Pollinators in Energy, available at <https://fresh-energy.org/beeslovesolar>
- Infobuildenergia, Agrivoltaico e sostenibilità: in Puglia si fa la storia e si crea comunità, available at <https://www.infobuildenergia.it/approfondimenti/fotovoltaico-agricoltura-agrivoltaico-progetti/>
- Infobuildenergia, Impianti agrivoltaici, come sfruttare l'energia solare per migliorare l'agricoltura, available at <https://www.infobuildenergia.it/approfondimenti/impianti-agrivoltaici-energia-solare-agricoltura-esempi/>
- MERCOM Clean energy insights, available at <https://www.mercomindia.com/italy-greenlights-agrivoltaic-projects>
- Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica, available at <https://va.mite.gov.it/it-IT/Oggetti/Info/9788>
- NREL Transform Energy, Solar Market Research & Analysis, Agrivoltaics, available at <https://www.nrel.gov/solar/market-research-analysis/agrivoltaics.html>
- OEKOGENO, available at <https://oekogeno.de/>
- Open EI: Open energy information, data and resources, available at https://openei.org/wiki/InSPIRE/Agrivoltaics_Map
- Oxford PV, Perovskite solar cell achieves 28% efficiency, OPE Journal, available at <https://opejournal.com/news/oxford-pv-perovskite-solar-cell-achieves-28-efficiency>
- PV Magazine, available at <https://www.pv-magazine.com/>

- REScoop.eu, April Success story: Combining negative energy bills and positive energy futures in Greece, available at <https://www.rescoop.eu/news-and-events/stories/april-success-story-combining-negative-energy-bills-and-positive-energy-futures-in-greece>
- Solar Power Europe: Agrisolar Europe, available at <https://agrisolareurope.org/insights/>
- United Nations: Our growing population: available at <https://www.un.org/en/global-issues/population>
- Worldmeter:World Population Clock, available at <https://www.worldometers.info/world-population/>