ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΔΡΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Η λειτουργία του πλέγματος νερού – ενέργειας και τεχνικές λύσεις για την αυτάρκεια στο δήμο Μαντουδίου-Λίμνης-Αγίας Άννας

Όλγα Λύρα

Επιβλέπων: Γ.-Φοίβος Σαργέντης, ΕΔΙΠ Διδάκτορας

Αθήνα, 2024

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΔΡΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

Η λειτουργία του πλέγματος νερού – ενέργειας και τεχνικές λύσεις για την αυτάρκεια στο δήμο Μαντουδίου-Λίμνης-Αγίας Άννας

Διπλωματική εργασία

Περίοδος εκτέλεσης: Αύγουστος 2024 – Οκτώβριος 2024.

Στοιχεία επικοινωνίας: olga.lira2@gmail.com

Εικόνα εξωφύλλου: PowerLine, Greening the Grid: Roadmap for renewables integration

Αθήνα, Οκτώβριος 2024

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Κατάλογος εικόνων **7**

Κατάλογος πινάκων **9**

Κατάλογος Διαγραμμάτων **10**

Ευχαριστίες **11**

Περίληψη **12**

Summary **13**

1 Εισαγωγή **14**

1.1 Θέμα και στόχος της εργασίας 14

1.2 Διάρθρωση εργασίας 15

2 Το πλέγμα Νερού – Ενέργειας και Τροφίμων **17**

2.1 Γενικά 17

2.2 Νερό 17

2.3 Ενέργεια 18

2.4 Τρόφιμα 19

2.5 Το πλέγμα νερού-ενέργειας και τροφίμων 20

2.6 Ο ρόλος του πλέγματος στο χθες και σήμερα 21

2.7 Αξιολόγηση της υφιστάμενης κατάστασης 23

3 Η περιοχή μελέτης **26**

3.1 Γενικά 26

3.2 Ανθρωπογενή/Δημογραφικά χαρακτηριστικά 27

3.3 Χρήσεις Γης 29

3.4 Πρωτογενής παραγωγή 32

3.4.1 Μονάδες μέτρησης 32

3.4.2 Αγροτική και κτηνοτροφική παραγωγή 33

3.4.3 Το δάσος 33

4 Φυσικοί πόροι **41**

4.1 Υδατικοί πόροι 41
4.1.1 Βροχοπτώσεις..... 41
4.1.2 Επιφανειακά νερά 42
4.1.3 Υπόγεια νερά..... 44
4.2 Ήλιος 44
4.3 Άνεμος..... 48

5 Οι ανάγκες της περιοχής σε νερό και ενέργεια 50
5.1 Ανάγκες των κατοίκων 50
5.2 Ανάγκες αγροτικής παραγωγής 50
5.3 Υφιστάμενη κατάσταση 51
5.3.1 Κάλυψη των αναγκών της περιοχής σήμερα 51
5.3.2 Δυναμικό των φυσικών χαρακτηριστικών της περιοχής..... 52
Ήλιος και άνεμος 52
Ποτάμια: Νηλέας και Κηρέας 53
Βιομάζα 53
5.3.3 Αξιολόγηση..... 54

6 Εξεταζόμενες λύσεις για την αυτάρκεια 56
6.1 Αυτάρκεια σε ηλεκτρική ενέργεια..... 56
6.1.1 Συνολικές απαιτήσεις ηλεκτρικής ενέργειας στην περιοχή 56
Κάτοικοι 56
Ενέργεια για άντληση νερού (ύδρευση και άρδευση) 56
Ενέργεια για αγροτική εργασία 57
Ενέργεια για μετακίνηση 57
6.1.2 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με την αξιοποίηση των φυσικών πόρων 58
Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων στον κάμπο 58
Γενικά για τα φωτοβολταϊκά συστήματα 58
Υπολογισμοί για την περιοχή μελέτης 63
Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με εγκατάσταση ανεμογεννητριών 65

Γενικά για τις ανεμογεννήτριες 65

Υπολογισμοί για την περιοχή μελέτης 69

Εκμετάλλευση των ποταμών για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας 75

Γενικά για την υδροηλεκτρική ενέργεια 75

Υπολογισμοί για την περιοχή μελέτης 80

Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από την εκμετάλλευση της ξυλείας του δάσους 81

Γενικά για τη βιοενέργεια 81

Υπολογισμοί για την περιοχή μελέτης 83

6.2 Αυτάρκεια σε καύσιμα 83

6.2.1 Απαιτήσεις σε καύσιμα στην περιοχή 83

Πετρέλαιο θέρμανσης 84

Πετρέλαιο κίνησης 84

Πετρέλαιο αγροτικής παραγωγής 84

6.2.2 Παραγωγή βιοκαυσίμων από ενεργειακές καλλιέργειες 84

Γενικά για τα βιοκαύσιμα 84

Υπολογισμοί για την περιοχή μελέτης 85

6.3 Αποτελέσματα 86

7 Συμπεράσματα 89

8 Βιβλιογραφικές αναφορές 94

Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 2.1: Το πλέγμα νερού-ενέργειας και τροφίμων [3]. 17

Εικόνα 2.2: Οι αλληλεπιδράσεις στο πλέγμα νερού-ενέργειας και τροφίμων, (a) ωρολογιακά και (b) αντιωρολογιακά [67]. 20

Εικόνα 2.3: Το πλέγμα νερού-ενέργειας και τροφίμων (α) την προβιομηχανική εποχή και (β) σήμερα [13]. 22

Εικόνα 3.1: Η ευρύτερη περιοχή της Βόρειας Εύβοιας [24]. 26

Εικόνα 3.2: Δήμος Μαντουδίου-Λίμνης-Αγίας Άννας. Πηγή: Βικιπαίδεια [30]. 27

Εικόνα 3.3: Πληθυσμός Ευβοίας [31]. 28

Εικόνα 3.4: Χρήσεις γης. Corine Land Cover [33]. 30

Εικόνα 3.5: Χρωματικό υπόμνημα για την Εικόνα 3.4. 30

Εικόνα 3.6: Ο δήμος Μαντουδίου-Λίμνης-Αγίας Άννας και οι καλλιεργούμενες εκτάσεις του (Google Earth). 31

Εικόνα 3.7: Στον χάρτη επισημαίνεται με κίτρινο χρώμα το παράθυρο εργασίας από την Εικόνα 3.8, κοντά στις Ροβιές. 31

Εικόνα 3.8: Εστίαση στο παράθυρο εργασίας στην Εικόνα 3.7. 32

Εικόνα 3.9: Πευκοδάσος μεγαλύτερο των 20 ετών στην διασταύρωση της Σκεπαστής. 37

Εικόνα 3.10: Θαμνώδης βλάστηση σε πευκοδάσος μεγαλύτερο των 20 ετών (5-20% βιομάζα). 37

Εικόνα 3.11: Κλαδιά σε πευκοδάσος μεγαλύτερο των 20 ετών (15-30% βιομάζα). 37

Εικόνα 3.12: Η περιοχή των καμένων εκτάσεων από την πυρκαγιά του 2021. 38

Εικόνα 3.13: Περιοχή Κρύα Βρύση, ανάντη του κάμπου, πάνω από τον βάλτο. Καμένο δάσος που δε γίνεται βόσκηση (όψη από drone). Κατηγορία 1 στο Διάγραμμα 3.1. 39

Εικόνα 3.14: Περιοχή Κρύα Βρύση, ανάντη του κάμπου, πάνω από τον βάλτο - καμένο δάσος που γίνεται βόσκηση. Κατηγορία 1 στο Διάγραμμα 3.1. 39

Εικόνα 4.1: Γεωγραφική κατανομή της μέσης ημερήσιας βροχόπτωσης [13]. 42

Εικόνα 4.2: Τα ποτάμια του Δήμου: Νηλέας και Κηρέας. 43

Εικόνα 4.3: Μηκοτομή του Νηλέα (21 km) 43

Εικόνα 4.4: Μηκοτομή του Κηρέα (14.3 km) 44

Εικόνα 4.5: Ολική ηλιακή ενέργεια στην Εύβοια [46]. 46

Εικόνα 4.6: Ολική ηλιακή ενέργεια στη Βόρεια Εύβοια. 46

Εικόνα 4.7: Άμεση ηλιακή ενέργεια στην Εύβοια [46]. 47

Εικόνα 4.8: Άμεση ηλιακή ενέργεια στη Βόρεια Εύβοια. 47

Εικόνα 4.9: Μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου [47]. 48

Εικόνα 5.1: Η τοποθεσία του μετεωρολογικού σταθμού – Γεωγραφικό πλάτος 38.85797,

γεωγραφικό μήκος 23.39961, υψόμετρο 303 μέτρα..... 52
Εικόνα 6.1: Σχηματική απεικόνιση της διάταξης ενός φωτοβολταϊκού. Πηγή: Μαμάσης & Ευστρατιάδης [60]..... 59
Εικόνα 6.2: Από το φωτοβολταϊκό στοιχείο στο φωτοβολταϊκό σύστημα. Πηγή: Wikipedia [62]. 60
Εικόνα 6.3: Κατηγορίες των φωτοβολταϊκών συστημάτων [65]. 61
Εικόνα 6.4: Το φωτοβολταϊκό πάρκο στην Κοζάνη [71]. 62
Εικόνα 6.5: Ανεμογεννήτριες. Πηγή: Βικιπαίδεια [75]..... 66
Εικόνα 6.6: Διάταξη ανεμογεννήτριας οριζόντιου (αριστερά) και κατακόρυφου (δεξιά) άξονα. Πηγή: Μαμάσης & Ευστρατιάδης [81]. 66
Εικόνα 6.7: Τυπική διάταξη ανεμογεννήτριας οριζόντιου άξονα. Πηγή: ΚΑΠΕ [80]..... 68
Εικόνα 6.8: Αιολικό έργο Καφηρέα στη Νότια Εύβοια [84]. 69
Εικόνα 6.9: Βέλτιστες αποστάσεις μεταξύ ανεμογεννητριών [88]. 74
Εικόνα 6.10: Ενδεικτικό σημείο εγκατάστασης αιολικού πάρκου στο δήμο (Google Earth). 75
Εικόνα 6.11: Το φράγμα Three Gorges στον ποταμό Yangtze στην Κίνα [96]. 78
Εικόνα 6.12: Το φράγμα Grand Coulee στον ποταμό Columbia στις ΗΠΑ [97]..... 78
Εικόνα 6.13: Το φράγμα Κρεμαστών [99]. 79
Εικόνα 7.1: Ο δήμος Μαντουδίου-Λίμνης-Αγίας Άννας συγκριτικά με το λεκανοπέδιο της Αθήνας. 90

Κατάλογος πινάκων

Πίνακας 3.1: Κατανομή πληθυσμού στον Δήμο Μαντουδίου-Λίμνης-Αγίας Άννας (2021) [31]. 28

Πίνακας 3.2: Κατανομή της έκτασης της Εύβοιας στις βασικές κατηγορίες χρήσης/κάλυψης, κατά ΥΠΑ, νομό, δήμο ή κοινότητα [33]. 29

Πίνακας 3.3: Κατανομή των χρήσεων γης, από την εποπτική ανάλυση στο Google Earth. 32

Πίνακας 5.1: Ποσότητες καυσίμων και λιπάσματος για την καλλιέργεια σιταριού. 51

Πίνακας 5.2: Απαιτούμενες ποσότητες σε νερό και ενέργεια συγκεντρωτικά. 51

Πίνακας 6.1: Τεχνικά χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκού πλαισίου [73]. 64

Πίνακας 6.2: Πίνακας βασικών χαρακτηριστικών ανεμογεννήτριας. Πηγή: The Wind Power [87]. 70

Κατάλογος Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 3.1: Ρυθμός ανάπτυξης πεύκου και βιομάζας ενός εκταρίου πευκοδάσους. 36
Διάγραμμα 4.1: Μέσος όρος θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων-Σταθμός Προκοπίου [43]. 41
Διάγραμμα 4.2: Πυκνότητα πιθανότητας βροχόπτωσης που εκτιμάται από Κ ροπές [13]. 42
Διάγραμμα 4.3: Μηνιαίος αριθμός ημερών - ηλιόλουστες, νεφελώδεις, νεφοσκεπείς - Σταθμός Προκοπίου [45]. 45
Διάγραμμα 4.4: Ημέρες ανά μήνα για ορισμένες ταχύτητες ανέμου – Σταθμός Προκοπίου [48]. 49
Διάγραμμα 4.5: Ανεμολόγιο – Διεύθυνση και ταχύτητα ανέμου – Σταθμός Προκοπίου [48]. 49
Διάγραμμα 5.1: Μετρήσεις ηλιακής ακτινοβολίας και ταχύτητας ανέμου για το 2023. 53
Διάγραμμα 6.1: Ημερήσια χρονοσειρά ηλιακής ακτινοβολίας 2023 63
Διάγραμμα 6.2: Ισχύς Φ/Β – Ακτινοβολία. 64
Διάγραμμα 6.3: Ηλιακή ενέργεια και παραγόμενη ενέργεια από Φωτοβολταϊκά. 64
Διάγραμμα 6.4: Καμπύλη ισχύος της εξεταζόμενης Α/Γ [87]. 70
Διάγραμμα 6.5: Συχνότητα εμφάνισης ανά ταχύτητα ανέμου το 2023 71
Διάγραμμα 6.6: Ώρες του 2023 ανά ταχύτητα ανέμου. 71
Διάγραμμα 6.7: Αιολική ισχύς και ισχύς Α/Γ ανά ταχύτητα ανέμου. 72
Διάγραμμα 6.8: Βαθμός απόδοσης Α/Γ. 73
Διάγραμμα 6.9: Ηλεκτρική ισχύς – χρόνος (εμβαδόν = μέση ετήσια ηλεκτρική ενέργεια) 73
Διάγραμμα 6.10: Μέση ημερήσια παραγόμενη ενέργεια της Α/Γ, συσχετισμένη με την ταχύτητα του ανέμου 74
Διάγραμμα 6.11: Υδροηλεκτρική κατανάλωση παγκοσμίως 1800-2023 [94]. 77
Διάγραμμα 6.12: Παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα, 1965-2023 [94]. 77
Διάγραμμα 6.13: Η παραγόμενη ενέργεια από κάθε ΑΠΕ, το σύνολο και η σύγκριση με τη ζήτηση. 87
Διάγραμμα 6.14: Ποσότητες απαιτήσεων και παραγωγής καυσίμων. 88
Διάγραμμα 6.15: Παραγωγή ξυλείας ανά εκτάριο δάσους και απαίτηση ξυλείας για θέρμανση. 88

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας, ολοκληρώνεται και επίσημα ο κύκλος των προπτυχιακών μου σπουδών στη σχολή Πολιτικών Μηχανικών, ένας κύκλος πολύ όμορφος αλλά και πολύ δύσκολος.

Κατ' αρχάς, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή, κ. Σαργέντη, ΕΔΙΠ – Διδάκτορα του Τομέα Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, για την ανάθεση του θέματος, αλλά και την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση του καθόλη τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας.

Επιπλέον, οφείλω να ευχαριστήσω και τον κ. Μαμάση, καθηγητή του Τομέα Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, για τις εύστοχες παρατηρήσεις του και τη βοήθεια του να υλοποιηθεί η παρούσα εργασία.

Επίσης, ευχαριστώ πολύ τον κύριο Νίκο Μαλάμο, αναπληρωτή καθηγητή του τμήματος Γεωπονίας του Πανεπιστημίου Πατρών, για τα πολύτιμα μετεωρολογικά δεδομένα που παρείχε, ώστε να γίνουν σωστοί και ακριβείς υπολογισμοί.

Τέλος, ιδιαίτερη ευγνωμοσύνη θα ήθελα να εκφράσω στην οικογένεια μου και όλους τους κοντινούς μου ανθρώπους, για τη στήριξη τους σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου και κυρίως κατά την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας. Την εργασία αυτή θα ήθελα να την αφιερώσω στον πατέρα μου.

Περίληψη

Το πλέγμα νερού – ενέργειας και τροφίμων (WEF Nexus), είναι μία έννοια που διαδόθηκε τα τελευταία χρόνια, με σκοπό να αναδείξει τη σημαντική αλληλεξάρτηση μεταξύ αυτών των τριών πολύτιμων αγαθών για τις κοινωνίες. Η μελέτη της αλληλεξάρτησης αυτής μπορεί να συμβάλλει σημαντικά στην κατανόηση και την αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών αλλά και οικονομικών προκλήσεων που ταλαιπωρούν τον κόσμο σήμερα.

Η παρούσα διπλωματική εργασία μελετάει τη λειτουργία και τη διαχείριση του νερού και της ενέργειας στο δήμο Μαντουδίου-Λίμνης-Αγίας Άννας, μίας αγροτικής περιοχής που είναι αρκετά μεγάλη σε έκταση αλλά παράλληλα μικρή σε πληθυσμό (12.235 κάτοικοι). Η μελέτη αυτή αναδεικνύει την προβληματική διαχείριση των πόρων αυτών, αφού η περιοχή φαίνεται να στηρίζεται σχεδόν αποκλειστικά σε εισαγόμενους και μη ανανεώσιμους πόρους. Το γεγονός αυτό την καθιστά ιδιαίτερα ευάλωτη σε όλους τους εξωτερικούς παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν άμεσα τη διαβίωση της, όπως ενεργειακή κρίση, γεωπολιτικές συρράξεις, αυξήσεις τιμών. Παράλληλα, αναδεικνύονται τα φυσικά πλεονεκτήματα της περιοχής, ο ήλιος, τα ποτάμια, ο άνεμος, η βιομάζα, τα οποία μέσω των τεχνολογιών Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας μπορούν να αξιοποιηθούν με σκοπό να οδηγήσουν το δήμο σε ενεργειακή αυτάρκεια.

Με την εγκατάσταση ενός φωτοβολταϊκού πάρκου, ενός αιολικού πάρκου, μικρών υδροηλεκτρικών έργων στα ποτάμια της περιοχής αλλά και την αξιοποίηση της ξυλείας του δάσους, φαίνεται ότι ο δήμος θα μπορούσε να καλύψει εξ ολοκλήρου τις ανάγκες του σε ηλεκτρική ενέργεια. Επιπλέον, με την ένταξη κατάλληλων ενεργειακών καλλιεργειών στις καλλιεργούμενες εκτάσεις του δήμου, η περιοχή θα μπορούσε να παράγει βιοκαύσιμα, που έχουν τη δυνατότητα να καλύψουν ένα ποσοστό της απαίτησης ορυκτών καυσίμων.

Μέσω των υπολογισμών της παρούσας εργασίας, λοιπόν, φαίνεται ότι ο δήμος Μαντουδίου-Λίμνης-Αγίας Άννας διαθέτει αρκετά φυσικά χαρακτηριστικά, τα οποία με την αξιοποίηση τους μπορούν να καλύψουν πολλές από τις ανάγκες του δήμου σε νερό και ενέργεια και να οδηγήσουν σε ένα αρκετά αυτάρκες πλέγμα. Η ολιστική προσέγγιση και διαχείριση των δύο αυτών στοιχείων θα μειώσει κατά πολύ την εξάρτηση της περιοχής σε εισαγόμενους πόρους, δίνοντας μία μακροπρόθεσμη σταθερότητα, και παράλληλα μειώνοντας τις αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις που φέρει η υπερκατανάλωση μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Summary

The Water-Energy-Food (WEF) Nexus is a concept that has gained prominence in recent years, aiming to highlight the significant interdependence between these three essential resources for societies. Understanding this interdependence can significantly contribute to addressing and resolving the environmental and economic challenges the world faces today.

This diploma thesis examines the management and functioning of water and energy in the municipality of Mantoudi-Limni-Agia Anna, a rural area that is geographically large but has a small population (12,235 inhabitants). This study brings to light the problematic management of these resources, as the region appears to rely almost exclusively on imported and non-renewable resources. This reliance makes the area particularly vulnerable to external factors that can directly affect its livelihood, such as energy crises, geopolitical conflicts, and price increases. At the same time, the natural advantages of the area are highlighted—sun, rivers, wind, and biomass—which, through Renewable Energy Technologies, can be harnessed to lead the municipality toward energy self-sufficiency.

By installing a photovoltaic park, a wind farm, small hydroelectric projects in the area's rivers, and utilizing forest timber, it appears that the municipality could fully meet its electricity needs. Furthermore, by incorporating appropriate energy crops into the municipality's cultivated lands, the area could produce biofuels, which have the potential to meet a portion of its fossil fuel requirements.

Through the calculations presented in this work, it becomes evident that the municipality of Mantoudi-Limni-Agia Anna possesses sufficient natural characteristics, which, when harnessed, can meet many of its water and energy needs and lead to a largely self-sufficient nexus. A holistic approach and management of these two elements will greatly reduce the region's dependence on imported resources, providing long-term stability while also reducing the negative environmental impacts associated with the overconsumption of non-renewable energy sources.

1 Εισαγωγή

1.1 Θέμα και στόχος της εργασίας

Το νερό, η ενέργεια και τα τρόφιμα είναι τρία απολύτως απαραίτητα συστατικά για τη σύνθεση και την ανάπτυξη της ανθρώπινης ζωής και την ευημερία μίας κοινωνίας. Πρόκειται για μία τριάδα πολύτιμων αγαθών τα οποία στηρίζουν όλες τις ανθρώπινες δραστηριότητες, ως μονάδες αλλά και ως αλληλεξαρτώμενα στοιχεία, από την αρχαιότητα έως και σήμερα.

Η παρούσα εργασία αναπτύχθηκε διερευνώντας την αλληλεξάρτηση αυτή, η οποία αποτελεί το λεγόμενο πλέγμα νερού-ενέργειας και τροφίμων. Η έννοια του πλέγματος εισήχθη για πρώτη φορά στην παγκόσμια ατζέντα της βιώσιμης ανάπτυξης στις αρχές της δεκαετίας του 2010. Συγκεκριμένα, άρχισε να αποκτά αναγνώριση κατά τη Διάσκεψη της Βόννης το 2011 (Bonn 2011 Conference), όπου εξετάστηκε η διασύνδεση μεταξύ νερού, ενέργειας και τροφίμων ως θεμελιώδης παράγοντας για την αντιμετώπιση παγκόσμιων προκλήσεων στη διαχείριση φυσικών πόρων. Η διάσκεψη αυτή υπήρξε ουσιαστικά το σημείο καμπής για την καθιέρωση του πλέγματος ως ένα κρίσιμο πλαίσιο για επιστημονική έρευνα και ανάπτυξη πολιτικών, διεθνώς.

Σήμερα, το πλέγμα νερού-ενέργειας-τροφίμων είναι περισσότερο κρίσιμο από ποτέ, καθώς ο παγκόσμιος πληθυσμός αυξάνεται και οι πιέσεις στους φυσικούς πόρους εντείνονται. Η εξάντληση των υδάτινων πόρων, η αύξηση της ενεργειακής ζήτησης και οι ανάγκες για επαρκή και ασφαλή τροφή καθιστούν επιτακτική την ανάγκη για μια ολοκληρωμένη και ολιστική προσέγγιση στη διαχείριση αυτών των πόρων.

Η κατανόηση και η διαχείριση του πλέγματος νερού-ενέργειας-τροφίμων αποτελεί βασικό άξονα για τη διασφάλιση της βιωσιμότητας και της ανθεκτικότητας των κοινωνιών. Οι πολιτικές και οι πρακτικές που αναπτύσσονται σήμερα για την ορθολογική χρήση αυτών των πόρων θα καθορίσουν την ικανότητα να αντιμετωπιστούν οι προκλήσεις του μέλλοντος, διατηρώντας την ισορροπία μεταξύ ανάπτυξης και περιβαλλοντικής προστασίας.

Στην παρούσα εργασία διερευνάται η λειτουργία του πλέγματος νερού-ενέργειας και τροφίμων στο σήμερα. Πιο συγκεκριμένα, οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των τριών στοιχείων, με έμφαση στο νερό και την ενέργεια και η αξιολόγηση της αποδοτικότητας τους. Επιπλέον, αναζητούνται λύσεις για την αυτάρκεια σε νερό κι ενέργεια μιας περιοχής, η οποία θα βασίζεται σε τεχνολογίες Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας. Ως εξεταζόμενη περιοχή επιλέχθηκε η Βόρεια

Εύβοια, και συγκεκριμένα ο δήμος Μαντουδίου-Λίμνης-Αγίας Άννας. Τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής είναι ιδιαίτερα ποικιλόμορφα, με τα δάση να καλύπτουν μεγάλο μέρος της, ενώ αποτελείται από αρκετές πεδινές εκτάσεις και διαθέτει δύο κύρια ποτάμια, τα οποία θα εξεταστούν στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας.

Στόχος της εργασίας είναι να αναδείξει τη σημαντικότητα της διαχείρισης των βασικών πόρων ως ένα αλληλεξαρτώμενο σύνολο, ώστε να αναπτύσσονται συνεχώς συστήματα που αποδίδουν κατά το βέλτιστο τρόπο στις κοινωνίες και ανταποκρίνονται στο έπακρο στις ανάγκες ενός πολιτισμού. Τελικός σκοπός είναι η επίτευξη της κατά το δυνατόν μεγαλύτερης αυτάρκειας σε νερό και ενέργεια στον υπό εξέταση δήμο, με την εκμετάλλευση των φυσικών του πλεονεκτημάτων και των σύγχρονων τεχνολογιών Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας.

1.2 Διάρθρωση εργασίας

Η παρούσα εργασία διαρθρώνεται σε επτά (7) βασικά κεφάλαια για την ανάλυση του ζητήματος που πραγματεύεται.

Στο παρόν πρώτο κεφάλαιο γίνεται μία γενική αναφορά για την εισαγωγή του αναγνώστη στο θέμα και το στόχο της εργασίας.

Το δεύτερο κεφάλαιο βασίζεται στην ανάλυση του πλέγματος Νερού – Ενέργειας και Τροφίμων, όπου περιγράφονται τα επιμέρους χαρακτηριστικά αυτού, καθώς και ο τρόπος που αυτά αλληλεπιδρούν μεταξύ τους.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται αναλυτικά η περιοχή μελέτης. Εξετάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά της, γεωμορφολογικά και πληθυσμιακά.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται περιγραφή όλων των διαθέσιμων φυσικών πόρων της περιοχής μελέτης, οι οποίοι θα μπορούν να αξιοποιηθούν για την παραγωγή ενέργειας και τη διαχείριση του νερού στο δήμο υπό εξέταση.

Στο πέμπτο κεφάλαιο καταγράφονται όλες οι ανάγκες της περιοχής στα δύο εξεταζόμενα στοιχεία που συνθέτουν το πλέγμα – νερό και ενέργεια. Γίνονται υπολογισμοί και παραδοχές για την κατά το δυνατόν σωστότερη ποσοτικοποίηση των αναγκών και παρουσιάζονται οι τρόποι και οι πόροι με τους οποίους καλύπτονται σήμερα. Έπειτα, με βάση τις μετρήσεις αυτές, αξιολογείται η αποδοτικότητα της διαχείρισης του πλέγματος στην περιοχή.

Στο έκτο κεφάλαιο ερευνώνται όλοι οι τρόποι και οι τεχνολογίες με τους οποίους η περιοχή θα μπορούσε να οδηγηθεί στην αυτάρκεια των στοιχείων του πλέγματος. Με βάση την αξιοποίηση

των φυσικών της πόρων και τις τεχνικές των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, γίνονται οι απαραίτητοι υπολογισμοί για την ποσοτικοποίηση των αποτελεσμάτων. Έτσι, καταδεικνύεται η ικανότητα της περιοχής να πάψει να στηρίζεται πλήρως σε εισαγόμενους πόρους και να φτάσει σε μία πιθανή αυτάρκεια.

Τέλος, στο έβδομο κεφάλαιο καταγράφονται όλα τα συμπεράσματα που προκύπτουν για την περιοχή ύστερα από την εκτενή ανάλυση της, καθώς και κάποιες προτάσεις για μελλοντική διερεύνηση, πάντα με γνώμονα το πλέγμα Νερού – Ενέργειας – Τροφίμων.

2 Το πλέγμα Νερού – Ενέργειας και Τροφίμων

2.1 Γενικά

Το πλέγμα νερού – ενέργειας – τροφίμων (WEF Nexus) αναφέρεται στη στενή αλληλεξαρτώμενη σχέση μεταξύ αυτών των τριών (3) βασικών πόρων, που είναι απαραίτητοι για την ανθρώπινη επιβίωση και την εξέλιξη. Οι πόροι αυτοί είναι άρρηκτα συνδεμένοι μεταξύ τους, με τρόπους που συχνά δεν είναι τόσο προφανείς, όμως είναι σημαντικοί για την παγκόσμια σταθερότητα και ευημερία. Η ουσιαστική κατανόηση και διαχείριση του πλέγματος αυτού κρίνεται ιδιαίτερα σημαντική για την αντιμετώπιση διαφόρων προκλήσεων που έχουν προκύψει παγκοσμίως τα τελευταία χρόνια, όπως η μεγάλη αύξηση του πληθυσμού και η αστικοποίηση [1, 2, 3,4].

Εικόνα 2.1: Το πλέγμα νερού-ενέργειας και τροφίμων [3].

2.2 Νερό

Το νερό αποτελεί το πλέον βασικό στοιχείο του πλέγματος νερού-ενέργειας-τροφίμων, καθώς είναι απαραίτητο για κάθε πτυχή της ανθρώπινης δραστηριότητας. Είναι ένας αναντικατάστατος πόρος για την επιβίωση και την ευημερία όλων των ζωντανών οργανισμών. Η πρόσβαση σε καθαρό και ασφαλές πόσιμο νερό είναι θεμελιώδες ανθρώπινο δικαίωμα.

Επιπλέον, το νερό είναι ζωτικής σημασίας για την υγιεινή και την αποχέτευση, καθώς διευκολύνει την καθαριότητα και τη δημόσια υγεία. Η επαρκής παροχή νερού υποστηρίζει την καθημερινή λειτουργία των νοικοκυριών, των σχολείων και των υγειονομικών εγκαταστάσεων, διασφαλίζοντας ένα υγιές και ασφαλές περιβάλλον διαβίωσης. Παρά την σημασία του, είναι

γεγονός ότι, μέχρι και σήμερα, δισεκατομμύρια ανθρώπων δεν έχουν πρόσβαση σε καθαρό και ασφαλές πόσιμο νερό, ούτε σε εγκαταστάσεις αποχέτευσης [5]. Πιο συγκεκριμένα, το 2020, περί το 26% του παγκόσμιου πληθυσμού δεν είχε πρόσβαση σε πόσιμο νερό, ενώ το 46% δεν διέθετε υπηρεσίες αποχέτευσης [6].

Πέρα από τη βασική ανθρώπινη χρήση, το νερό είναι απαραίτητο για τη διατήρηση των φυσικών οικοσυστημάτων. Λίμνες, ποτάμια και υγροβιότοποι παρέχουν βιότοπους για πολλά είδη χλωρίδας και πανίδας, διατηρώντας τη βιοποικιλότητα και την οικολογική ισορροπία.

Επίσης, το νερό αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για τη γεωργία, καθώς είναι απαραίτητο για την άρδευση καλλιεργειών και την παραγωγή τροφίμων. Η επαρκής και έγκαιρη παροχή νερού εξασφαλίζει την ανάπτυξη των γεωργικών προϊόντων, συμβάλλοντας στην αύξηση των αποδόσεων και τη σταθερότητα της τροφικής παραγωγής. Η αποτελεσματική διαχείριση των υδάτινων πόρων για σκοπούς άρδευσης μπορεί να βελτιώσει την παραγωγικότητα, μειώνοντας ταυτόχρονα την εξάρτηση από τις βροχοπτώσεις, εξασφαλίζοντας έτσι σταθερές αποδόσεις ακόμη και σε περιόδους ξηρασίας.

Τέλος, τεράστιες ποσότητες νερού χρησιμοποιούνται στα συστήματα παραγωγής ενέργειας που βασίζονται στα ορυκτά καύσιμα, όπως ο άνθρακας, το φυσικό αέριο και τα πυρηνικά, για την ψύξη. Ενδεικτικά, σύμφωνα με το Γεωλογικό Ινστιτούτο των Η.Π.Α., περίπου το 45% της συνολικής άντλησης νερού της χώρας χρησιμοποιείται στην παραγωγή θερμοηλεκτρικής ενέργειας [7]. Ομοίως και στην Ευρώπη περίπου το 50% του αντλούμενου νερού αξιοποιείται στην παραγωγή ενέργειας, ενώ στην Κίνα φτάνει έως και το 84% [8].

2.3 Ενέργεια

Η συνιστώσα της ενέργειας στο πλέγμα Νερού – Ενέργειας – Τροφίμων είναι θεμελιώδης για τη σύγχρονη ζωή καθώς και αναπόσπαστο μέρος της οικονομικής ανάπτυξης. Είναι απαραίτητη για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στα νοικοκυριά για όλες τις καθημερινές δραστηριότητες όπως φωτισμός, θέρμανση, ψύξη, μαγείρεμα, κλπ., καθώς και για την καθημερινή μεταφορά των ανθρώπων. Η πρόσβαση σε αξιόπιστη αλλά και προσιτή ενέργεια βελτιώνει την ποιότητα ζωής, επιτρέποντας στους ανθρώπους να ζουν και να εργάζονται σε άνετες συνθήκες και διευκολύνοντας την πρόσβαση σε εκπαίδευση και υγειονομική περίθαλψη μέσω της τεχνολογίας.

Η ενέργεια είναι επίσης απαραίτητη για τη βιομηχανική και οικονομική δραστηριότητα. Τα εργοστάσια, οι βιομηχανίες και γενικότερα όλες οι επιχειρήσεις εξαρτώνται πλήρως από την

ενέργεια για τη λειτουργία των μηχανημάτων τους, την παραγωγή προϊόντων και την παροχή υπηρεσιών. Η διαθεσιμότητα σταθερής και οικονομικά προσιτής ενέργειας ενισχύει την παραγωγικότητα και την ανταγωνιστικότητα των επιχειρήσεων, δημιουργώντας θέσεις εργασίας και υποστηρίζοντας την οικονομική ανάπτυξη.

2.4 Τρόφιμα

Τα τρόφιμα αποτελούν κρίσιμο στοιχείο της ανθρώπινης επιβίωσης και ευημερίας. Παρέχουν την απαραίτητη ενέργεια και τα θρεπτικά συστατικά που απαιτεί το σώμα για να λειτουργήσει σωστά. Μία ισορροπημένη διατροφή συμβάλλει στη διατήρηση της υγείας και τη βελτίωση της ποιότητας ζωής. Η πρόσβαση σε επαρκή και ποιοτική τροφή είναι ζωτικής σημασίας για τη διατήρηση της σωματικής και πνευματικής ευημερίας αλλά και την πρόληψη ασθενειών. Η διασφάλιση ότι όλοι οι άνθρωποι έχουν σταθερή πρόσβαση σε τρόφιμα είναι θεμέλιος λίθος για την κοινωνική σταθερότητα και την ανάπτυξη. Παρόλα αυτά, περί το 9% του παγκόσμιου πληθυσμού υπέφερε από την πείνα το 2023 [9].

Η παραγωγή τροφίμων είναι ένας από τους πιο σημαντικούς τομείς της παγκόσμιας οικονομίας, παρέχοντας απασχόληση και εισόδημα σε εκατομμύρια ανθρώπους. Οι γεωργικές δραστηριότητες, η εκτροφή ζώων και η αλιεία αποτελούν βασικές πηγές διαβίωσης για πολλές κοινότητες. Η ανάπτυξη της αγροτικής παραγωγής και η βελτίωση των τεχνικών καλλιέργειας μπορούν να οδηγήσουν σε αυξημένη παραγωγικότητα, μείωση της πείνας, και βελτίωση της οικονομικής κατάστασης των αγροτών.

Η σύγχρονη αλυσίδα εφοδιασμού τροφίμων είναι ένα σύνθετο και εκτεταμένο σύστημα που περιλαμβάνει πολλαπλά στάδια από την παραγωγή έως την κατανάλωση. Ξεκινά με την πρωτογενή παραγωγή – γεωργία, κτηνοτροφία, αλιεία – όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Στη συνέχεια, τα προϊόντα μεταφέρονται σε μονάδες επεξεργασίας και μεταποίησης όπου υφίστανται διάφορες διαδικασίες για να καταστούν κατάλληλα για κατανάλωση, όπως συσκευασία, συντήρηση, κ.λπ. – δευτερογενής παραγωγή. Μετά την επεξεργασία, τα τρόφιμα διανέμονται στους καταναλωτές μέσω δικτύων χονδρικού και λιανικού εμπορίου.

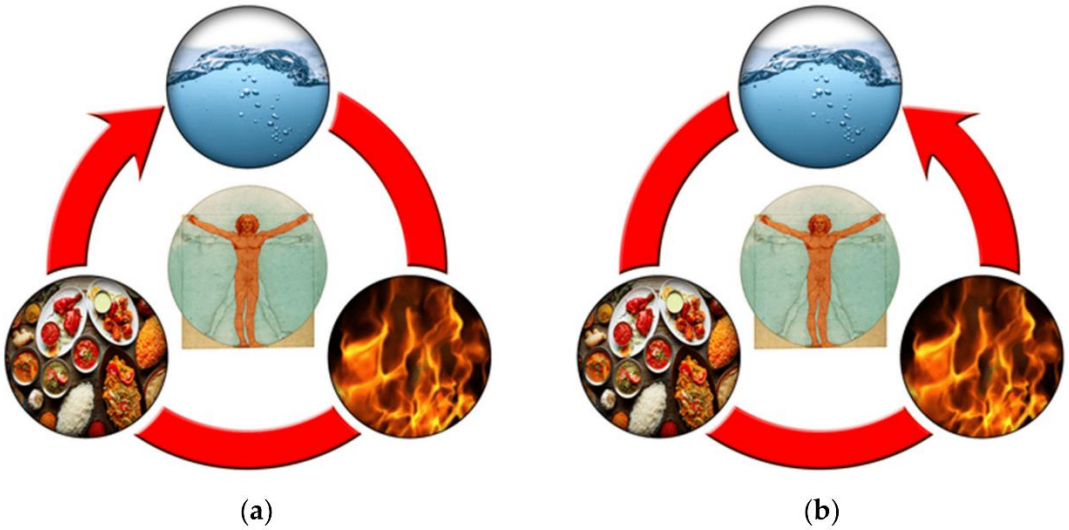
Η ποιότητα των τροφίμων έχει άμεσες επιπτώσεις στη δημόσια υγεία. Η παραγωγή και κατανάλωση ασφαλών και θρεπτικών τροφών κρίνεται απαραίτητη και διασφαλίζεται από εθνικούς και διεθνείς κανονισμούς μέσω προτύπων ποιότητας και ασφάλειας.

Επιπλέον, η βιώσιμη διαχείριση των τροφίμων είναι ζωτικής σημασίας για την προστασία του περιβάλλοντος. Η μείωση της σπατάλης των τροφίμων και η εφαρμογή βιώσιμων γεωργικών

πρακτικών μπορούν να μειώσουν το περιβαλλοντικό αποτύπωμα της παραγωγής τροφίμων. Τέτοιες πρακτικές μπορεί να είναι η χρήση βιολογικών μεθόδων καλλιέργειας, η ανακύκλωση των αποβλήτων τροφίμων και η προώθηση της τοπικής παραγωγής.

2.5 Το πλέγμα νερού-ενέργειας και τροφίμων

Όπως τονίστηκε και παραπάνω, το νερό, η ενέργεια και τα τρόφιμα είναι τρία αλληλένδετα αγαθά, απόλυτα απαραίτητα για την ανθρώπινη κοινωνία. Καθένα από αυτά εξαρτάται άμεσα από τα υπόλοιπα. Οποιαδήποτε διαταραχή προκύψει σε κάποιο από τα μέρη του πλέγματος, μπορεί να έχει άμεσες και ορατές επιπτώσεις σε ολόκληρο το πλέγμα.



Εικόνα 2.2: Οι αλληλεπιδράσεις στο πλέγμα νερού-ενέργειας και τροφίμων, (a) ωρολογιακά και (b) αντιωρολογιακά [67].

Πιο συγκεκριμένα, η παραγωγή τροφίμων απαιτεί μεγάλες ποσότητες νερού για την άρδευση των καλλιεργειών και την εκτροφή ζώων. Ταυτόχρονα, ο τομέας παραγωγής τροφίμων είναι ένας από τους μεγαλύτερους καταναλωτές ενέργειας, για τη λειτουργία των μηχανημάτων που χρησιμοποιεί για την καλλιέργεια τους, καθώς και για την επεξεργασία, τη μεταφορά και τη διανομή τροφίμων. Η έλλειψη νερού μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της γεωργικής παραγωγής, ενώ η έλλειψη ενέργειας μπορεί να περιορίσει τη δυνατότητα άντλησης και διανομής νερού, και φυσικά την παροχή τροφίμων στους καταναλωτές.

Από την άλλη πλευρά, η παραγωγή ενέργειας εξαρτάται επίσης από το νερό. Οι ηλεκτρικοί σταθμοί, που παράγουν την πλειονότητα της παγκόσμιας ηλεκτρικής ενέργειας χρειάζονται μεγάλες ποσότητες νερού για την ψύξη. Επίσης, η υδροηλεκτρική ενέργεια βασίζεται στην εκμετάλλευση της δυναμικής ενέργειας του νερού. Η διαθεσιμότητα και η ποιότητα του νερού

επηρεάζουν άμεσα την ικανότητα παραγωγής ενέργειας, ενώ οι ενεργειακές υποδομές και οι πολιτικές που εφαρμόζονται μπορούν να επηρεάσουν τη διαχείριση και την κατανομή των υδάτινων πόρων.

Η αλληλεξάρτηση αυτή επεκτείνεται και στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Οι δραστηριότητες που σχετίζονται με την παραγωγή ενέργειας και τροφίμων μπορεί να οδηγήσουν σε ρύπανση των υδάτινων πόρων και υποβάθμιση του περιβάλλοντος. Από την άλλη, οι περιβαλλοντικές μεταβολές μπορούν να επηρεάσουν τη διαθεσιμότητα νερού και την παραγωγή ενέργειας και τροφίμων.

Όπως λοιπόν διαπιστώνεται, η αλληλεξάρτηση μεταξύ των τριών αυτών αγαθών είναι κρίσιμη και τονίζει την ανάγκη για ολοκληρωμένη προσέγγιση και διαχείριση του πλέγματος. Μια τέτοια ολοκληρωμένη προσέγγιση απαιτεί συνεργασία μεταξύ κυβερνήσεων, τοπικών αρχών, επιστημονικής κοινότητας, επιχειρήσεων και κοινοτήτων για την ανάπτυξη στρατηγικών που θα βελτιώσουν την αποδοτικότητα των πόρων και κατ' επέκταση του πλέγματος και ταυτόχρονα θα μειώσουν τις αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, προωθώντας τη βιώσιμη ανάπτυξη [1,10,11,12].

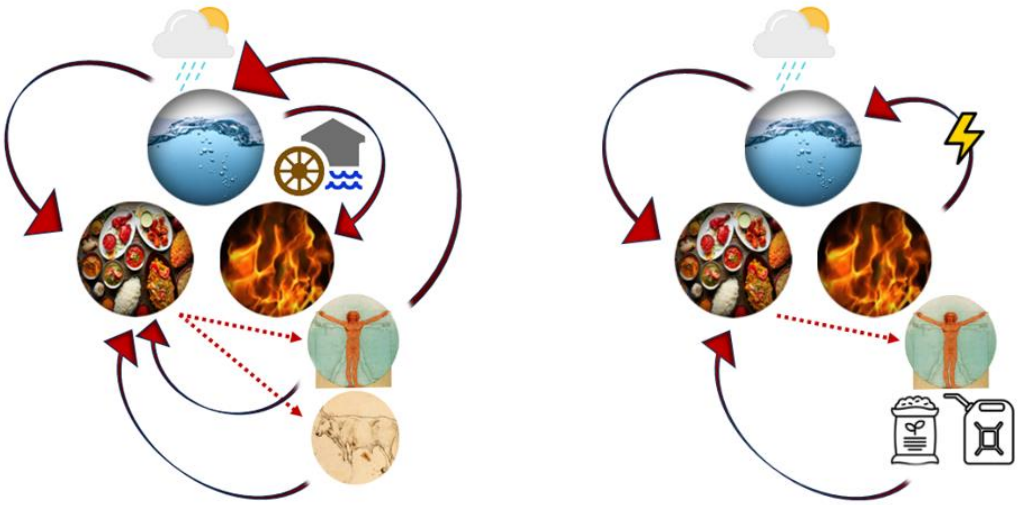
2.6 Ο ρόλος του πλέγματος στο χθες και σήμερα

Όπως προειπώθηκε, η έννοια του πλέγματος νερού-ενέργειας και τροφίμων αναγνωρίστηκε το 2011. Ιστορικά, η έννοια αυτή δεν αναγνωριζόταν, καθώς κάθε στοιχείο του πλέγματος διαχειρίζονταν συνήθως ανεξάρτητα από τα υπόλοιπα και δεν διερευνώνταν οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ τους σε θεωρητικό επίπεδο.

Παρόλο που, σε θεωρητικό επίπεδο, δεν είχε αναγνωριστεί η έννοια του πλέγματος νερού – ενέργειας και τροφίμων, τα παλαιότερα χρόνια, είναι αξιοσημείωτο ότι στην πράξη οι κοινωνίες βασίζονταν στην εκμετάλλευση των τριών πόρων πολύ πιο ολιστικά σε σχέση με την τωρινή κατάσταση. Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2.3, στην προβιομηχανική περιοχή (a), οι συνδέσεις μεταξύ του νερού, της ενέργειας και των τροφίμων, ήταν περισσότερες, απ' ότι στην σημερινή εποχή (b).

Αναλύοντας την προβιομηχανική εποχή, παρατηρείται ότι το επιφανειακό νερό και η βροχή αξιοποιούνταν φυσικά για την ύδρευση και αποχέτευση, στην παραγωγή τροφίμων μέσω της άρδευσης, αλλά και για την παραγωγή ενέργειας μέσω νερόμυλων. Επίσης, πριν από την εμφάνιση των σύγχρονων μηχανημάτων που βασίζονται στα καύσιμα, η παραγωγή τροφίμων στηριζόταν στην ανθρώπινη χειρωνακτική εργασία και στην «εργασία» των ζώων. Επιπλέον,

ως λίπασμα στην αγροτική παραγωγή χρησιμοποιούνταν τα κτηνοτροφικά υπολείμματα (ζωική κοπριά). Γενικά, εφόσον δεν υπήρχαν πολλές διαθέσιμες επιλογές, δινόταν ιδιαίτερη έμφαση στην αλληλεπίδραση των στοιχείων του πλέγματος, ώστε να αξιοποιείται το καθένα στο έπακρο, για να στηρίζει το άλλο [13].



(a) (b)

Εικόνα 2.3: Το πλέγμα νερού-ενέργειας και τροφίμων (α) την προβιομηχανική εποχή και (β) σήμερα [13].

Αντίθετα, στη σημερινή εποχή, με τα σύγχρονα μηχανήματα και τη γενικότερη αφθονία ενέργειας, τα στοιχεία του πλέγματος φαίνεται να στηρίζονται σχεδόν αποκλειστικά στην ενέργεια, χωρίς να δίνεται η δέουσα σημασία στην αλληλεπίδραση που μπορούν να έχουν μεταξύ τους. Παρόλο που πλέον έχει αναγνωριστεί το πλέγμα ως επίσημη έννοια, στην πράξη πρέπει να γίνουν ακόμα σημαντικές ενέργειες ώστε το νερό, η ενέργεια και τα τρόφιμα να αλληλοστηρίζονται στο μεγαλύτερο δυνατό βαθμό.

Πλέον, πρέπει να δίνεται όλο και περισσότερη βάση στα στοιχεία του, όχι ως ανεξάρτητες μονάδες, όπου η καθεμία στηρίζεται στην αφθονία ενέργειας για τη λειτουργία της, αλλά ως ένα σύστημα αλληλεξαρτώμενων αγαθών. Κάθε στοιχείο μπορεί να συνεισφέρει στο άλλο και κάθε δράση στο ένα μπορεί να επιφέρει επιπτώσεις στο άλλο. Αυτή η ολιστική προσέγγιση είναι ιδιαίτερα χρήσιμη στη διαμόρφωση αποφάσεων και στρατηγικών διεθνώς για το περιβάλλον [14].

Σύμφωνα με τις παγκόσμιες προβλέψεις, τονίζεται ότι οι απαιτήσεις σε νερό, ενέργεια και τρόφιμα θα αυξηθούν σημαντικά ανά τις επόμενες δεκαετίες, λόγω της αύξησης του πληθυσμού καθώς και της συγκέντρωσής του σε αστικές περιοχές, της κινητικότητας, της

οικονομικής ανάπτυξης και τις πολιτισμικές και τεχνολογικές αλλαγές [15,16]. Η αύξηση αυτή θα επιφέρει επιπλέον πίεση στους ήδη πιεσμένους φυσικούς πόρους, και επομένως η κατανόηση και σωστή διαχείριση του πλέγματος μπορεί να αποτελέσει ένα σημαντικό τρόπο αντιμετώπισης αυτών των προβλημάτων.

Παράλληλα, με την ολοένα αναπτυσσόμενη τεχνολογία για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, το πλέγμα και η διαχείριση του μπορεί να επηρεαστεί θετικά, μειώνοντας την χρήση των μη ανανεώσιμων πόρων, και δημιουργώντας σημαντικά μικρότερες αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον, δίνοντας έμφαση στη βιωσιμότητα. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκά ή από ανεμογεννήτριες, τεχνολογίες οι οποίες απαιτούν ελάχιστο νερό για τη λειτουργία τους σε αντίθεση τις συμβατικές μεθόδους παραγωγής θερμοηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να μειώσει έως και 97% την κατανάλωση νερού στην παραγωγή ενέργειας [17], σε σύγκριση με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από άνθρακα.

Από την άλλη, η βιοενέργεια, όσον αφορά την παραγωγή βιοκαυσίμων, είναι μία μορφή ανανεώσιμης πηγής ενέργειας που απαιτεί ποσότητες νερού για την άρδευση των βιοκαλλιεργειών (πχ καλαμπόκι, ζαχαροκάλαμο). Επίσης, απαιτεί χρήση γης, οπότε έρχεται σε ανταγωνισμό με την παραγωγή τροφής στα χωράφια, δημιουργώντας πιθανά προβλήματα έλλειψης και συνεπώς αύξησης των τιμών των προϊόντων αγροτικής παραγωγής. Ωστόσο, ένα ολοκληρωμένο σύστημα που θα μπορεί να αξιοποιεί τα γεωργικά υπολείμματα αλλά και τα απορρίμματα για την παραγωγή ενέργειας, θα μπορούσε να αποτελέσει μία λύση για την ελαχιστοποίηση του ανταγωνισμού αυτού, καθώς και για τη μείωση αποβλήτων [18,19].

Μία ακόμη βασική ανανεώσιμη πηγή ενέργειας είναι η υδροηλεκτρική, η οποία παράγει «καθαρή» ηλεκτρική ενέργεια, ενώ παράλληλα δίνει τη δυνατότητα αποθήκευσης νερού για άρδευση και υδροδότηση (μεγάλα υδροηλεκτρικά έργα). Όμως, τα μεγάλα υδροηλεκτρικά έργα μπορούν να έχουν και αρνητικές επιπτώσεις, αφού μπορεί να διαταράξουν τα φυσικά νερά, επηρεάζοντας τη γεωργία και τα οικοσυστήματα. Τα μικρά υδροηλεκτρικά έργα από την άλλη, που δεν διαθέτουν αποθήκευση νερού, έχουν ελάχιστες αρνητικές επιπτώσεις, αλλά φυσικά παράγουν πολύ λιγότερη ηλεκτρική ενέργεια [20].

2.7 Αξιολόγηση της υφιστάμενης κατάστασης

Οι σύγχρονες προσεγγίσεις στο πλέγμα δίνουν έμφαση στην αποδοτικότητα και τη βιωσιμότητα, όπως διαφαίνεται. Οι πολλαπλές τεχνολογικές εξελίξεις στην παραγωγή ενέργειας, στη γεωργία, στην εξοικονόμηση νερού, στην αξιοποίηση αποβλήτων δίνουν όλο

και περισσότερες λύσεις στις προκλήσεις που αντιμετωπίζουν οι κοινωνίες σήμερα.

Η τωρινή λειτουργία του πλέγματος νερού, ενέργειας και τροφίμων αντικατοπτρίζει μια γενικότερη τάση παγκόσμιας εξάρτησης από την αφθονία ενέργειας. Αυτό το σύστημα, το οποίο συνδέει την παραγωγή τροφίμων, την κατανάλωση νερού και την παροχή ενέργειας, διαδραματίζει κεντρικό ρόλο στη βιωσιμότητα και την ευημερία της περιοχής. Ωστόσο, στηρίζεται σε ένα μοντέλο που, παρά τη φαινομενική αποτελεσματικότητά του στο να στηρίζει τις ανάγκες των κοινωνιών, παρουσιάζει σοβαρές αδυναμίες όσον αφορά την αποδοτικότητά του και τη μακροπρόθεσμη βιωσιμότητά του.

Καταρχάς, η ενεργειακή αφθονία, η οποία αποτελεί τον πυλώνα του σύγχρονου συστήματος παραγωγής τροφίμων, στηρίζεται μέχρι και σήμερα κατά κύριο λόγο στα ορυκτά καύσιμα, τα οποία φυσικά εισάγονται από άλλες περιοχές/χώρες. Ενδεικτικά, πολλές από τις ανθρώπινες αλλά και αγροτικές δραστηριότητες στηρίζονται απόλυτα στο πετρέλαιο, το οποίο είναι εισαγόμενος πόρος. Η λειτουργία της πλειοψηφίας των οχημάτων – ΙΧ και αγροτικά οχήματα – λειτουργεί με πετρέλαιο/βενζίνη, ενώ παράλληλα η γεωργία και παραγωγή τροφίμων εξαρτώνται από την εισαγωγή λιπασμάτων, φυτοφαρμάκων και άλλων γεωργικών εισροών.

Η εξάρτηση από εισαγόμενους ενεργειακούς πόρους σημαίνει ότι το πλέγμα νερού-ενέργειας-τροφίμων δεν είναι πραγματικά βιώσιμο και δημιουργεί μία ασταθή βάση, καθώς οποιαδήποτε διαταραχή στην προμήθεια ενέργειας μπορεί να έχει άμεσες και σοβαρές συνέπειες. Αυξάνεται το κόστος παραγωγής, ενώ γενικά το σύστημα είναι ιδιαίτερα ευάλωτο σε εξωτερικούς παράγοντες [21]. Τα αυξημένα κόστη ενέργειας, ειδικά σε εποχές ενεργειακής κρίσης, μπορούν να επηρεάσουν άμεσα την παραγωγικότητα των αγροτικών καλλιεργειών και την επάρκεια του νερού. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα της εν λόγω ευαλωτότητας, είναι η περίοδος της πανδημίας του COVID-19, όπου διαπιστώθηκαν κρίσεις σε όλους τους τομείς, και κατά συνέπεια δημιουργήθηκαν προβλήματα σε πολλές περιοχές. Γενικά, οι σύγχρονες κοινωνίες, και ιδιαίτερα οι πόλεις εξαρτώνται απόλυτα από εξωτερικούς πόρους αλλά και από όλα τα τεχνολογικά εργαλεία, κι έτσι οποιαδήποτε πιθανή παρεμπόδιση σε αυτά θα μπορούσε να έχει αλλεπάλληλες αρνητικές επιπτώσεις στη λειτουργία τους.

Επιπλέον, το σημερινό μοντέλο διαχείρισης νερού δεν είναι αποδοτικό. Οι υπερβολικές χρήσεις για την άρδευση, σε συνδυασμό με την υπερκατανάλωση νερού από αστικές και βιομηχανικές δραστηριότητες, οδηγούν σε σπατάλη πόρων. Σε πολλές περιοχές, η αυξανόμενη ζήτηση για νερό, λόγω των αγροτικών αλλά και τουριστικών δραστηριοτήτων, επιβαρύνει ακόμη περισσότερο τις υδατικές πηγές. Αυτό ενισχύει την ευαισθησία των τοπικών οικοσυστημάτων

σε ξηρασίες και άλλες περιβαλλοντικές αλλαγές, καθιστώντας την ορθολογική διαχείριση του νερού απαραίτητη.

Αντίστοιχα, η παραγωγή τροφίμων, που βασίζεται στην εκτεταμένη χρήση ενέργειας και νερού, μπορεί να θεωρηθεί αναποτελεσματική μακροπρόθεσμα. Οι μονοκαλλιέργειες και η εντατική καλλιέργεια εδαφών, αν και αποφέρουν βραχυπρόθεσμα κέρδη, εξαντλούν το έδαφος και απαιτούν ακόμη περισσότερους πόρους για να διατηρηθούν οι αποδόσεις [22]. Αυτό δημιουργεί έναν φαύλο κύκλο υπερκατανάλωσης πόρων που δεν είναι βιώσιμος.

Συνοψίζοντας, το πλέγμα νερού, ενέργειας και τροφίμων στηρίζεται στην ενεργειακή αφθονία και την υπερκατανάλωση φυσικών πόρων με τρόπο που δεν είναι ουσιαστικά αποδοτικός. Η ανάγκη για μετάβαση σε πιο βιώσιμες πρακτικές, που θα μειώσουν την εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα και θα προωθήσουν την ορθολογική χρήση του νερού, είναι επιτακτική για την προστασία του περιβάλλοντος και τη διασφάλιση της ευημερίας των τοπικών κοινωνιών μακροπρόθεσμα. Πολλές περιοχές έχουν τη δυνατότητα να αναπτύξουν πιο αποδοτικά και κατά το δυνατότερο αυτάρκη συστήματα διαχείρισης του πλέγματος νερού, ενέργειας και τροφίμων, ώστε οι κοινωνίες να έχουν μία πολύ πιο σταθερή βάση. Με βάση όλα αυτά, γίνεται προσπάθεια εφαρμογής τέτοιων πρακτικών και στην υπό εξέταση περιοχή.

3 Η περιοχή μελέτης

3.1 Γενικά

Η Εύβοια αποτελεί ένα από τα μεγαλύτερα νησιά της Μεσογείου με έκταση 3.654 km^2. Ανήκει στο γεωγραφικό διαμέρισμα της Στερεάς Ελλάδας και έχει πρωτεύουσα την πόλη της Χαλκίδας [23,24]. Η λεκάνη απορροής (ΛΑΠ) της Εύβοιας (EL19) εντάσσεται στο υδατικό διαμέρισμα της Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας.

Εικόνα 3.1: Η ευρύτερη περιοχή της Βόρειας Εύβοιας [24].

Το βόρειο τμήμα της Εύβοιας χαρακτηρίζεται από ποικιλόμορφη γεωμορφολογία, αφού συνδυάζει δάση, βουνά, ποτάμια και παραλίες. Τα κύρια χαρακτηριστικά του είναι τα εξής:

- Οροσειρές και βουνά: Τα υψηλότερα είναι το Καντήλιο όρος (1.236 μέτρα [25]), και το Ξηρόν όρος (990 μέτρα), από τα οποία πηγάζουν και οι δύο κύριοι ποταμοί της περιοχής, Κηρέας και Νηλέας, αντίστοιχα [26].
- Πεδιάδες και Κοιλάδες: Υπάρχουν αρκετές πεδιάδες και κοιλάδες ανάμεσα στις οροσειρές, με πιο γνωστή την πεδιάδα της Ιστιαίας, μία από τις μεγαλύτερες της περιοχής.
- Ακτογραμμή και Παραλίες: Η ακτογραμμή της περιοχής είναι ποικιλόμορφη, με βραχώδεις ακτές και αμμώδεις παραλίες.
- Ποτάμια: Τα δύο κύρια ποτάμια είναι ο Νηλέας και ο Κηρέας.
- Δάση και Βλάστηση: Χαρακτηρίζεται από πυκνά δάση που καλύπτουν μεγάλες εκτάσεις, κυρίως πευκοδάση και δάση βελανιδιάς.

Για να καθοριστούν τα όρια σε μια περιοχή μελέτης, επιλέχθηκε ο Δήμος Μαντουδίου-Λίμνης-

Αγίας Άννας , μια περιοχή που έχει υποστεί διαδοχικές φυσικές καταστροφές:

- ασθένεια των πλατανιών (2017-σήμερα) [27]
- καταιγίδα Ζορμπάς (2018), πυρκαγιά (2021) [28]
- καταιγίδες (Daniel-Elias) [29]

Εικόνα 3.2: Δήμος Μαντουδίου-Λίμνης-Αγίας Άννας. Πηγή: Βικιπαίδεια [30].

3.2 Ανθρωπογενή/Δημογραφικά χαρακτηριστικά

Ο δήμος Μαντουδίου-Λίμνης-Αγίας Άννας αποτελείται από τρείς βασικές δημοτικές ενότητες [30] – Δ.Ε. Ελυμνίων, Δ.Ε. Κηρέως, Δ.Ε. Νηλέως - και από 49 οικισμούς (Πίνακας 3.1), και οι συνολικοί κάτοικοι σύμφωνα με την απογραφή του 2021 ανέρχονται στους 12.235 [31].

Περιφερειακή Ενότητα Ευβοίας

Δήμος	Πληθυσμός		Άνδρες		Γυναίκες	
	2011	2021	2011	2021	2011	2021
ΧΑΛΚΙΔΕΩΝ	102.223	**109.256**	51.701	54.241	50.522	55.015
ΔΙΡΦΥΩΝ - ΜΕΣΣΑΠΙΩΝ	18.800	**15.934**	9.912	8.207	8.888	7.727
ΕΡΕΤΡΙΑΣ	13.053	**12.652**	6.563	6.341	6.490	6.311
ΙΣΤΙΑΙΑΣ - ΑΙΔΗΨΟΥ	21.083	**19.396**	10.396	9.589	10.687	9.807
ΚΑΡΥΣΤΟΥ	12.180	**11.903**	6.091	5.990	6.089	5.913
ΚΥΜΗΣ - ΑΛΙΒΕΡΙΟΥ	28.437	**26.350**	14.323	13.137	14.114	13.213
ΜΑΝΤΟΥΔΙΟΥ - ΛΙΜΝΗΣ - ΑΓΙΑΣ ΑΝΝΑΣ	12.045	**12.235**	6.024	6.211	6.021	6.024
ΣΚΥΡΟΥ	2.994	**3.052**	1.638	1.605	1.356	1.447

Εικόνα 3.3: Πληθυσμός Ευβοίας [31].

Πίνακας 3.1: Κατανομή πληθυσμού στον Δήμο Μαντουδίου-Λίμνης-Αγίας Άννας (2021) [31].

Δημοτική Ενότητα	**Οικισμός**	**Κάτοικοι**	**Δημοτική Ενότητα**	**Οικισμός**	**Κάτοικοι**
Δ.Ε. Ελυμνίων	Λίμνη	1.566		Τρούπι	14
	Κατούνια	13		Κήρινθος	594
	Μονή Α. Νικολάου Γαλατάκη	6		Ζωοδόχος Πηγή	76
	Μυρτιάς	198		Κρύα Βρύση	52
	Ρετσινόλακκος	12		Μετόχι	180
	Σηπιάδα	80		Πήλι	647
	Χρόνια	86		Προκόπι	949
	Κεχριές	416		Σπαθάρι	238
	Δάφνη	183		Καλύβια	78
	Κουρκουλοί	304		Στροφυλιά	440
	Ροβιές	941		Φαράκλα	140
	Δαμιά	50	**Δ.Ε. Νηλέως**	Αγία Άννα	598
	Δρυμώνα	46		Αγκάλη	404
	Καλαμούδι	12		Παλαιόβρυση	60
	Κούλουρος	3		Αμέλαντες	44
	Μαρούλι	4		Στράφοι	17
	Μονή Οσίου Δαυίδ Γέροντος	9		Αχλάδι	264
	Παλαιοχώρι	28		Φραγκάκη	86

	Σκεπαστή	158		Κεράμεια	94
Δ.Ε. Κηρέως	Μαντούδι	2.201		Κερασιά	332
	Κυμάσι	37		Κοτσικιά	92
	Φούρνοι	6		Αχλαδοπόταμο	18
	Βλαχιά	129		Παραλία Κοτσικιάς	63
	Σαρακήνικο	22		Παππάδες	192
	Δαφνούσσα	38			
				Σύνολο Δήμου:	**12.235**

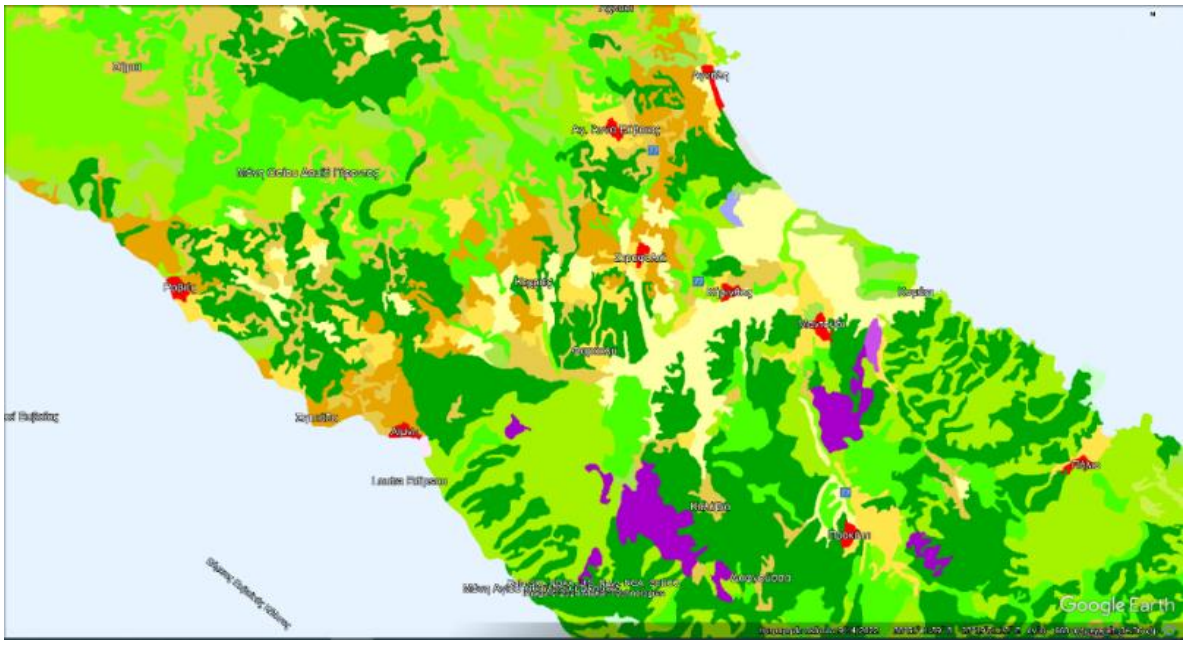
3.3 Χρήσεις Γης

Ο δήμος Μαντουδίου-Λίμνης-Αγίας Άννας είναι μια τυπική αγροτική περιοχή με το υψηλότερο ποσοστό κάλυψης της γης να καταλαμβάνουν δάση κωνοφόρων και πλατύφυλλων δέντρων [32] (Πίνακας 3.2).

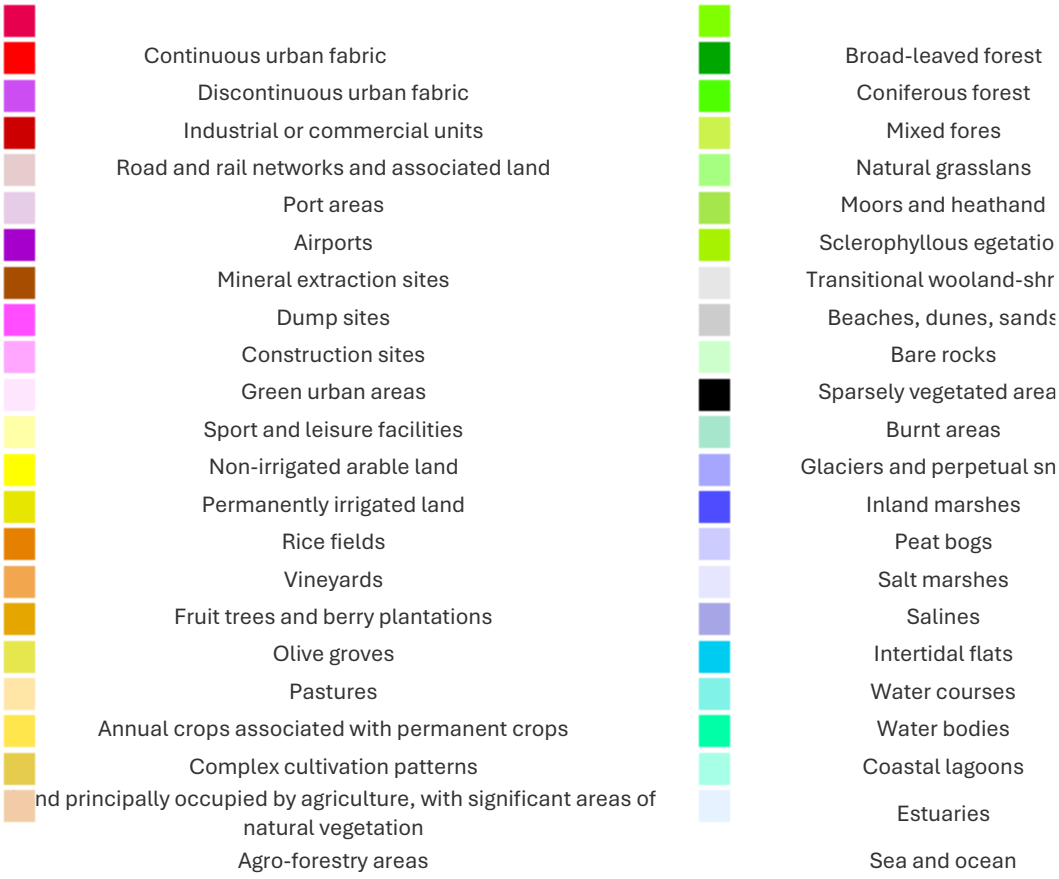
Για τη μελέτη της περιοχής, κατ' αρχάς χρησιμοποιήθηκαν διαθέσιμα χωρικά στοιχεία από το Corine Land Cover [33] (Εικόνα 3.4, Εικόνα 3.5).

Πίνακας 3.2: Κατανομή της έκτασης της Εύβοιας στις βασικές κατηγορίες χρήσης/κάλυψης, κατά ΥΠΑ, νομό, δήμο ή κοινότητα [33].

ΥΠΑ, νομοί, δήμοι, κοινότητες	**Σύνολο εκτάσεων**	**Καλλιεργούμενες εκτάσεις και αγραναπαύσεις**	**Βοσκότοποι**	**Δάση**	**Εκτάσεις καλυπτόμενες από νερά**	**Εκτάσεις οικισμών (κτίρια, δρόμοι, κ.λπ.)**	**Άλλες εκτάσεις**
Δ. ΑΙΔΗΨΟΥ	115,6	48,2	1,9	62,9	0,3	1,6	0,7
Δ. ΑΡΤΕΜΙΣΙΟΥ	123,6	43,3	0,0	79,1	0,3	0,9	0,0
Δ. ΕΛΥΜΝΙΩΝ	161,3	56,7	0,0	103,5	0,3	0,3	0,5
Δ. ΙΣΤΙΑΙΑΣ	181,8	96,2	0,0	82,6	2,2	0,3	0,5
Δ. ΚΗΡΕΩΣ	296,1	51,4	2,8	205,2	1,2	1,1	34,4
Δ. ΝΗΛΕΩΣ	128,0	50,9	0,0	76,3	0,0	0,2	0,6
Δ. ΩΡΕΩΝ	49,3	32,4	0,0	15,8	0,0	1,0	0,0
Κ. ΛΙΧΑΔΟΣ	38,8	13,4	0,0	25,2	0,0	0,0	0,2
ΣΥΝΟΛΟ	**1.094,6**	**392,5**	**4,8**	**650,6**	**4,3**	**5,5**	**36,8**



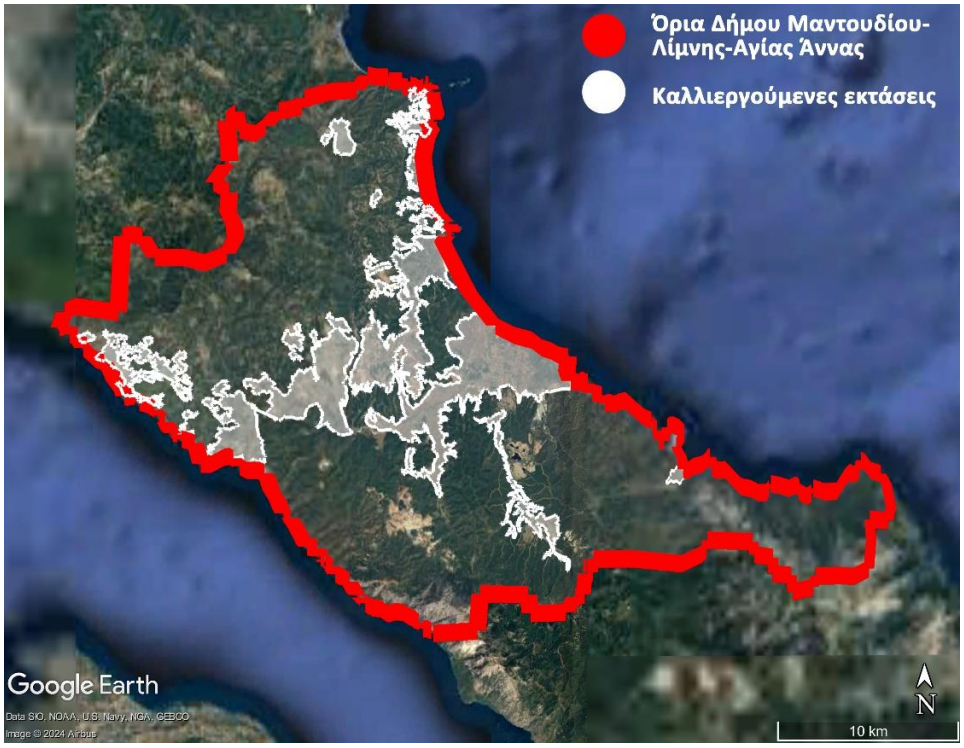
Εικόνα 3.4: Χρήσεις γης. Corine Land Cover [33].



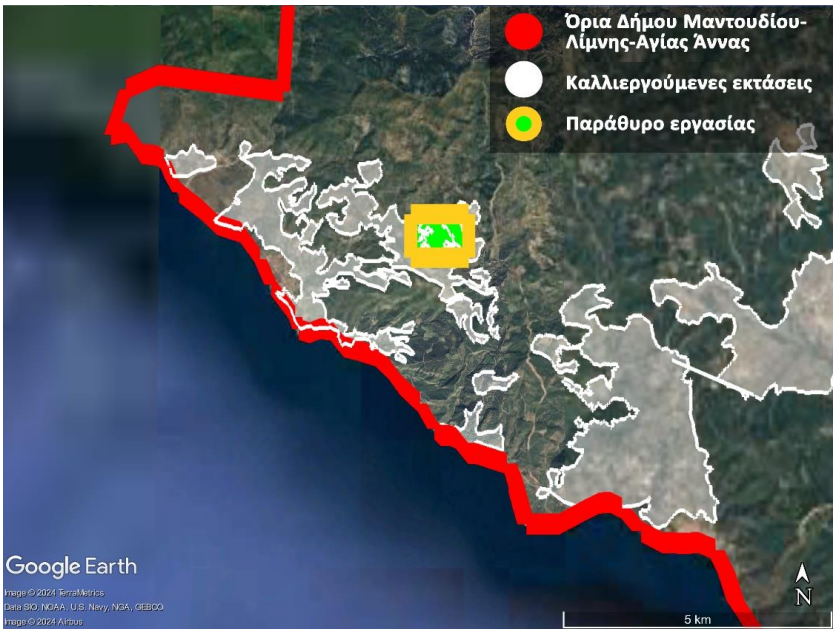
Εικόνα 3.5: Χρωματικό υπόμνημα για την Εικόνα 3.4.

Για να γίνει μια πιο αναλυτική προσέγγιση της παραγωγικής δυναμικής της γης του Δήμου Μαντουδίου-Λίμνης-Αγίας Άννας, ποσοτικοποιήθηκαν οι χρήσεις γης στις παρακάτω

κατηγορίες: υψηλής γεωργικής εκμετάλλευσης, χαμηλής γεωργικής εκμετάλλευσης, δενδρώδεις καλλιέργειες (ελιές), δάση και λοιπές χρήσεις (Εικόνα 3.4), μέσω της αναλυτικής εποπτείας των επιφανειών από το Google Earth.



Εικόνα 3.6: Ο δήμος Μαντουδίου-Λίμνης-Αγίας Άννας και οι καλλιεργούμενες εκτάσεις του (Google Earth).



Εικόνα 3.7: Στον χάρτη επισημαίνεται με κίτρινο χρώμα το παράθυρο εργασίας από την Εικόνα 3.8, κοντά στις Ροβιές.

Εικόνα 3.8: Εστίαση στο παράθυρο εργασίας στην Εικόνα 3.7.

Από την παραπάνω ανάλυση προκύπτει ο Πίνακας 3.3 στον οποίο συνοψίζονται οι χρήσεις γης του δήμου Μαντουδίου-Λίμνης-Αγίας Άννας.

Πίνακας 3.3: Κατανομή των χρήσεων γης, από την εποπτική ανάλυση στο Google Earth.

	Σύνολο	**Υψηλής γεωργικής εκμετάλλευσης**	**Χαμηλής γεωργικής εκμετάλλευσης**	**Δενδρώδεις καλλιέργειες (ελιές)**	**Δάση & άλλες χρήσεις**
Εκτάρια (ha)	57.852	2.645,2	3.821,96	2.874,34	48.510,5
Ποσοστό (%)	100	4,6	6,6	5,0	83,9

Το σύνολο των καλλιεργούμενων εκτάσεων εκτιμάται 9.341,5 ha ενώ οι χρήσεις γης για καλλιεργούμενες εκτάσεις μέχρι το 2000 είχαν εκτιμηθεί στα 15.700 ha [33].

3.4 Πρωτογενής παραγωγή

3.4.1 Μονάδες μέτρησης

Η μονάδα ενέργειας στο Διεθνές Σύστημα Μονάδων (SI) είναι το τζάουλ (J) [34]. Ένα Joule είναι η ενέργεια που δαπανάται όταν 1 kg μετακινείται κατά 1 m με δύναμη 1 Newton. Αυτή είναι η αποδεκτή τυπική μονάδα ενέργειας και θα χρησιμοποιηθεί στη συνέχεια της εργασίας. Επίσης, η βατώρα (Wh) είναι μία μονάδα ενέργειας που θα χρησιμοποιηθεί για την έκφραση της ηλεκτρικής ενέργειας.

3.4.2 Αγροτική και κτηνοτροφική παραγωγή

Η γεωργία και η κτηνοτροφία παίζουν σημαντικό ρόλο στην τοπική οικονομία και την καθημερινότητα των κατοίκων της περιοχής. Όσον αφορά την αγροτική παραγωγή, η περιοχή βασίζεται κυρίως στα σιτηρά, τους ελαιώνες αλλά και τα κηπευτικά. Επιπλέον, σημαντική δραστηριότητα είναι η καλλιέργεια οπωροφόρων δέντρων, όπως μηλιές, συκιές, κερασιές, αρωματικών φυτών, όπως ρίγανη και θυμάρι, καθώς και η καλλιέργεια αμπελιών και η παραγωγή κρασιού. Η αγροτική παραγωγή της περιοχής είναι ικανή να καλύψει τις ανάγκες των κατοίκων και των τοπικών αγορών, ενώ πολλά τοπικά προϊόντα εξάγονται και σε άλλες αγορές. Οι ελιές της περιοχής επίσης μπορούν να δώσουν βιομάζα από τα κλαδέματα, η οποία υπολογίζεται ως 10.000 kg/ha κάθε έτος.

Για τον υπολογισμό των απαιτήσεων της αγροτικής παραγωγής σε νερό και σε ενέργεια, χωρίστηκαν οι καλλιέργειες σε υψηλής και χαμηλής εκμετάλλευσης και σε δενδρώδεις καλλιέργειες (Πίνακας 3.3). Μια τυπική τιμή για την άρδευση των υψηλής εκμετάλλευσης καλλιεργειών είναι 6.000 m^3/ha [13], ενώ για τις ανάγκες των υπολογισμών εκτιμάται ότι οι χαμηλής εκμετάλλευσης καλλιέργειες απαιτούν 2.000 m^3/ha. Τέλος, όσον αφορά τις ελιές, θεωρούμε ότι αυτές δεν αρδεύονται γιατί είναι ενήλικες [35].

Έχει υπολογιστεί ότι η ενέργεια που απαιτείται για την καλλιέργεια σιταριού με τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται στην περιοχή είναι 45.500 MJ/ha (1 L= 38 MJ, 1 kg λίπασμα = 60 MJ) [36,37,38]. Για τις ανάγκες των υπολογισμών, εκτιμάται ότι για τις χαμηλής εκμετάλλευσης καλλιέργειες απαιτούνται 20.000 MJ/ha, ενώ για τις ελιές 10.000 MJ/ha.

Όσον αφορά την κτηνοτροφική παραγωγή της περιοχής, αυτή βασίζεται κυρίως στην εκτροφή αιγοπροβάτων για το γάλα και τα λοιπά γαλακτοκομικά προϊόντα και το κρέας. Σημαντική δραστηριότητα επίσης είναι η μελισσοκομία, καθώς και η πτηνοτροφία και η βοοτροφία.

3.4.3 Το δάσος

Το δάσος της περιοχής είναι ένα πολύτιμο οικοσύστημα και αποτελεί μία από τις πιο πράσινες και φυσικά πλούσιες περιοχές της Ελλάδας. Περιλαμβάνει μεγάλη ποικιλία δέντρων και φυτών και συνεισφέρει στην διατήρηση της βιοποικιλότητας της περιοχής. Στα κυρίαρχα είδη του περιλαμβάνονται η χαλέπιος πεύκη (κοινό πεύκο, pinus halepensis) – καλύπτουν περίπου το 74% των δασών ολόκληρης της Εύβοιας - η μαύρη πεύκη (pinus nigra), καθώς επίσης και διάφορα είδη βελανιδιάς [39]. Επίσης υπάρχουν διάφορα είδη θάμνων και αρωματικών φυτών, όπως θυμάρι και φασκόμηλο, ενώ φιλοξενούνται και πολλά άγρια ζώα, όπως ζαρκάδια, λύκοι, αλεπούδες, και αρπακτικά πτηνά, όπως ο χρυσαετός και το βραχοκιρκίνεζο.

Πέρα όμως από σημαντικό οικοσύστημα, το δάσος αποτελεί ζωτικό πόρο και πηγή εισοδήματος για τους κατοίκους της περιοχής, αφού προσφέρει την ξυλεία του, ρητίνη και διάφορα άλλα φυτικά προϊόντα. Συγκεκριμένα, η συλλογή ρητίνης από τα πεύκα είναι παραδοσιακή πρακτική στην περιοχή, αφού εκμεταλλεύεται εδώ και πολλές γενεές, για την παραγωγή υποπροϊόντων, αποφέροντας έσοδα, αλλά και βοηθώντας στην καλύτερη συντήρηση των δέντρων. Παράλληλα, το δάσος αποτελεί ιδανικό τόπο για παραγωγικές δραστηριότητες, όπως η μελισσοκομία, αλλά και τόπο αναψυχής για τους κατοίκους και για τους επισκέπτες ή τουρίστες.

Παρακάτω αναλύεται το πεύκο, μιας και αποτελεί την πλειοψηφία του δάσους. Η ανάπτυξη ενός πεύκου διακρίνεται στα παρακάτω στάδια [40]:

- Φάση Εγκατάστασης (0-5 χρόνια):

  Αργή ανάπτυξη, καθώς το δέντρο επικεντρώνεται στην ανάπτυξη ριζών και στην προσαρμογή στο περιβάλλον του.

  Ρυθμός Ανάπτυξης: Σχετικά αργός σε ύψος και διάμετρο.

- Φάση Νεανικής Ανάπτυξης (5-20 χρόνια):

  Ταχεία Ανάπτυξη: Μόλις εγκατασταθεί, το δέντρο εισέρχεται σε μια περίοδο ταχείας κάθετης ανάπτυξης, με σημαντικές αυξήσεις σε ύψος και διάμετρο.

  Ρυθμός Ανάπτυξης: Εκθετικός ή σχεδόν εκθετικός, ειδικά σε ύψος.

- Φάση Ωρίμανσης (20-50 χρόνια):

  Επιβράδυνση της Ανάπτυξης: Ο ρυθμός ανάπτυξης αρχίζει να επιβραδύνεται καθώς το δέντρο πλησιάζει το μέγιστο ύψος του. Η ανάπτυξη της διαμέτρου μπορεί να συνεχιστεί με σταθερό ρυθμό, αλλά η αύξηση του ύψους επιβραδύνεται.

  Ρυθμός Ανάπτυξης: Γραμμικός, με βαθμιαία επιβράδυνση.

- Φάση Γήρανσης (50+ χρόνια):

  Ελάχιστη Ανάπτυξη: Η αύξηση του ύψους σταματά σε μεγάλο βαθμό, αλλά μπορεί να συνεχίσει να αυξάνεται η διάμετρος με πολύ πιο αργό ρυθμό.

  Ρυθμός Ανάπτυξης: Ασυμπτωτικός, όπου το ύψος σταθεροποιείται και η ανάπτυξη

της διαμέτρου είναι πολύ αργή.

Η βιομάζα σε ένα μεσογειακό πευκοδάσος μπορεί να ποικίλλει σημαντικά ανάλογα με παράγοντες όπως το είδος, η ποιότητα του εδάφους, το κλίμα και τις πρακτικές διαχείρισης του δάσους.

Μια γενική ανάλυση της συσσώρευσης βιομάζας με την πάροδο του χρόνου για ένα τυπικό μεσογειακό πευκοδάσος, όπου κυριαρχούν είδη όπως **Pinus halepensis** (Χαλέπιος Πεύκη) ή **Pinus pinea** (Πεύκη Κουκουναριά) αναλύεται όπως η παρακάτω:

0-10 χρόνια: Σχετικά χαμηλή. Τα νεαρά πεύκα επικεντρώνονται στην εγκατάσταση των ριζών και έχουν μικρούς κορμούς και κλαδιά, μεταξύ 1-10 τόνους ανά εκτάριο.

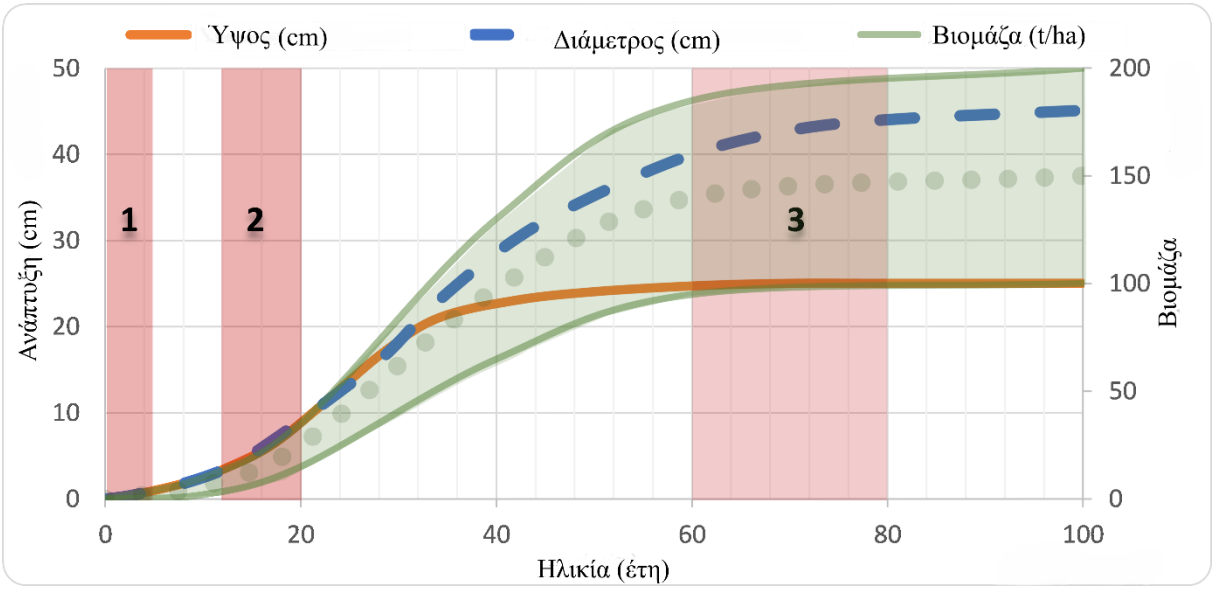
10-20 χρόνια: Ταχεία αύξηση καθώς τα δέντρα εισέρχονται στη φάση νεανικής ανάπτυξης, περίπου 10-40 τόνους ανά εκτάριο.

20-40 χρόνια: Τα δέντρα ωριμάζουν, με σημαντικές αυξήσεις στη διάμετρο του κορμού και το μέγεθος της κόμης, περίπου 40-100 τόνους ανά εκτάριο.

40-60 χρόνια: Επιβραδύνεται καθώς το δάσος φτάνει στην ωριμότητα. Η διάμετρος συνεχίζει να αυξάνεται, αλλά η ανάπτυξη του ύψους επιβραδύνεται, περίπου 100-200 τόνους ανά εκτάριο.

Στην περιοχή παρατηρούνται δάση τα οποία διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες (Διάγραμμα 3.1):

- Η πρώτη σε νεαρό δάσος που έχει καεί το 2021 (3 ετών)
- Η δεύτερη σε δάσος ανάπτυξης που έχει καεί το 2006 (18 ετών)
- Η τρίτη σε ώριμα δάση που είναι ηλικίας μεγαλύτερης των 60 ετών (δεν αναφέρεται κάποια φωτιά στη συλλογική μνήμη του τόπου)



Διάγραμμα 3.1: Ρυθμός ανάπτυξης πεύκου και βιομάζας ενός εκταρίου πευκοδάσους.

Συνήθως, η βιομάζα σε ένα δάσος πεύκων αυξάνεται με την ηλικία των δέντρων. Η βιομάζα σε ένα δάσος μπορεί να διαχωριστεί σε τρεις κύριες κατηγορίες: κορμοί, κλαδιά, και θάμνοι. Γενικά, η κατανομή της βιομάζας σε ένα δάσος πεύκων κατανέμεται ως εξής:

- Κορμοί: 50-70% της συνολικής βιομάζας (συνήθης τιμή 60%)
- Κλαδιά: Περίπου 15-30% της βιομάζας (συνήθης τιμή 30%)
- Θάμνοι: Περίπου 5-20% της βιομάζας (συνήθης τιμή 10%)

Ένα εκτάριο του δάσους της Βορείου Ευβοίας με ενήλικα πεύκα (20-40 ετών), από επιτόπιες έρευνες και συνεντεύξεις ανθρώπων που ασχολούνται με την καλλιέργεια του δάσους και την υλοτομία, εκτιμάται ότι περιέχει περίπου 50 τόνους καυσόξυλα (κορμούς πεύκων) (Εικόνα 3.9), περίπου 20 τόνους κλαδιά (Εικόνα 3.11) και 10 τόνους θαμνώδη βλάστηση (Εικόνα 3.10).

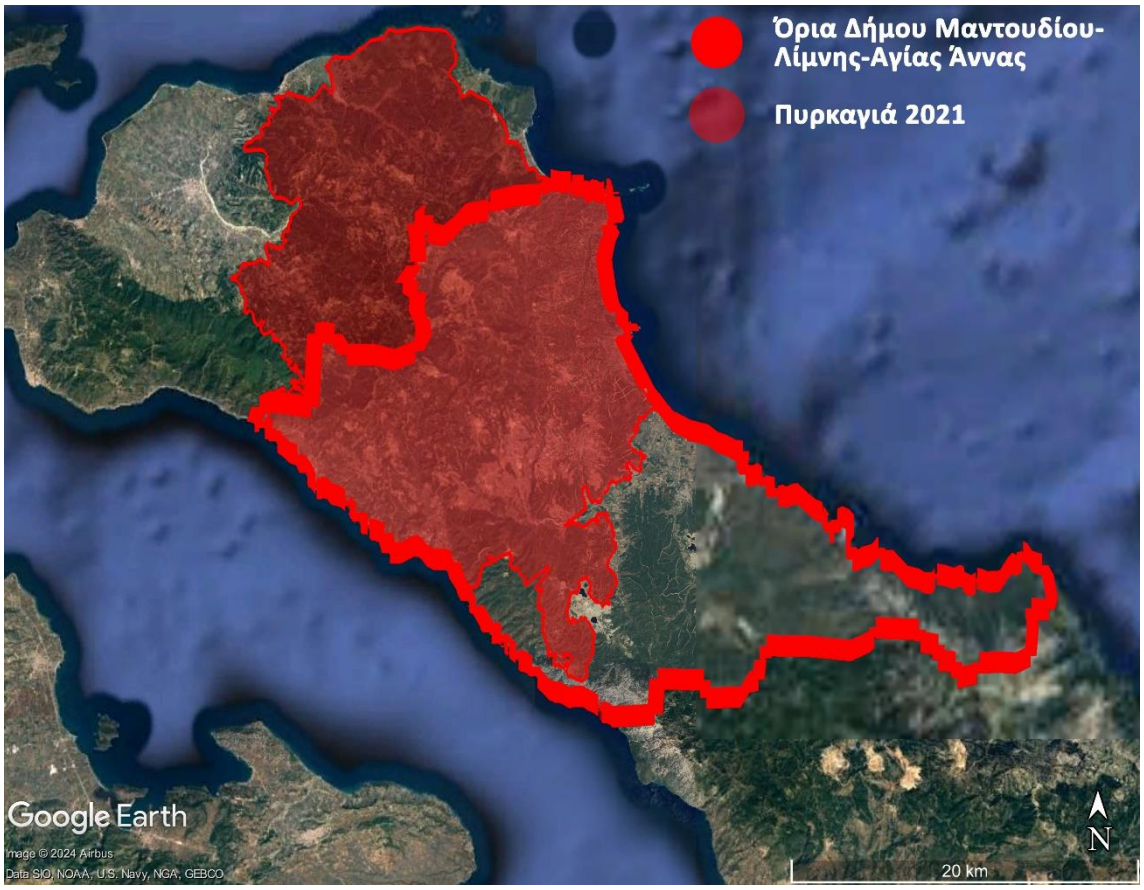
Εικόνα 3.9: Πευκοδάσος μεγαλύτερο των 20 ετών στην διασταύρωση της Σκεπαστής.

Εικόνα 3.10: Θαμνώδης βλάστηση σε πευκοδάσος μεγαλύτερο των 20 ετών (5-20% βιομάζα).

Εικόνα 3.11: Κλαδιά σε πευκοδάσος μεγαλύτερο των 20 ετών (15-30% βιομάζα).

Με δεδομένο ότι το στεγνό ξύλο περιέχει 14,5 MJ/kg (3.452 kcal/kg) [41], ένα μέσο δάσος μεγαλύτερο των 20 ετών με εκτιμώμενη δυναμική καλής διαχείρισης μπορεί να δώσει **1.015 GJ/ha.**

Επισημαίνεται όμως, ότι το δάσος της περιοχής κάηκε το 2021 και η διαθέσιμη βιόμαζα είναι μειωμένη κατά περίπου 72%. Στην Εικόνα 3.12 επισημαίνεται η έκταση των καμένων εκτάσεων από την πυρκαγιά του 2021.



Εικόνα 3.12: Η περιοχή των καμένων εκτάσεων από την πυρκαγιά του 2021.

Στην Εικόνα 3.13 και Εικόνα 3.14 που απεικονίζονται δάση της κατηγορίας 1 στο Διάγραμμα 3.1 (νεαρό δάσος που κάηκε το 2021) παρατηρούμε ότι στο δάσος στο οποίο γίνεται βόσκηση έχει γίνει μια φυσική αραίωση. Στο νεαρό δάσος, τα δέντρα είναι περισσότερο ανεπτυγμένα από το δάσος στο οποίο δεν γίνεται βόσκηση.

Παράλληλα, έχουν δημιουργηθεί δευτερεύουσες οδεύσεις μέσα στο νεαρό δάσος, που μελλοντικά θα κάνουν το δάσος βατό και προσβάσιμο όταν αναπτυχθεί.

Αντιθέτως, με την πάροδο του χρόνου, το ώριμο δάσος, εμφανίζει ένα τοίχος στην βάση του λόγω της πυκνής χαμηλής βλάστησης που αναπτύσσει και δεν είναι προσβάσιμο και διαχειρίσιμο.

Εικόνα 3.13: Περιοχή Κρύα Βρύση, ανάντη του κάμπου, πάνω από τον βάλτο. Καμένο δάσος που δε γίνεται βόσκηση (όψη από drone). Κατηγορία 1 στο Διάγραμμα 3.1.

Εικόνα 3.14: Περιοχή Κρύα Βρύση, ανάντη του κάμπου, πάνω από τον βάλτο - καμένο δάσος που γίνεται βόσκηση. Κατηγορία 1 στο Διάγραμμα 3.1.

Μετά τις προαναφερθείσες καταστροφικές πυρκαγιές στο δάσος, έγιναν μεγάλης κλίμακας αναδασώσεις, οι οποίες σε συνδυασμό με τη συστηματική βόσκηση, συμβάλλουν σημαντικά στο να επανέλθει σταδιακά αλλά και να διατηρηθεί η οικολογική ισορροπία της περιοχής. Βέβαια, η καταστροφή ήταν αρκετά μεγάλη και οι πληγές είναι ακόμα εμφανείς, ιδιαίτερα στα σημεία όπου η φυσική αναγέννηση του δάσους δεν προχώρησε με ικανοποιητικό ρυθμό.

Η βόσκηση που πραγματοποιείται στο δάσος, κυρίως των αιγοπροβάτων, παίζει καθοριστικό ρόλο στη διατήρηση του δασικού τοπίου αλλά και της προσβασιμότητάς του. Σε περιοχές του

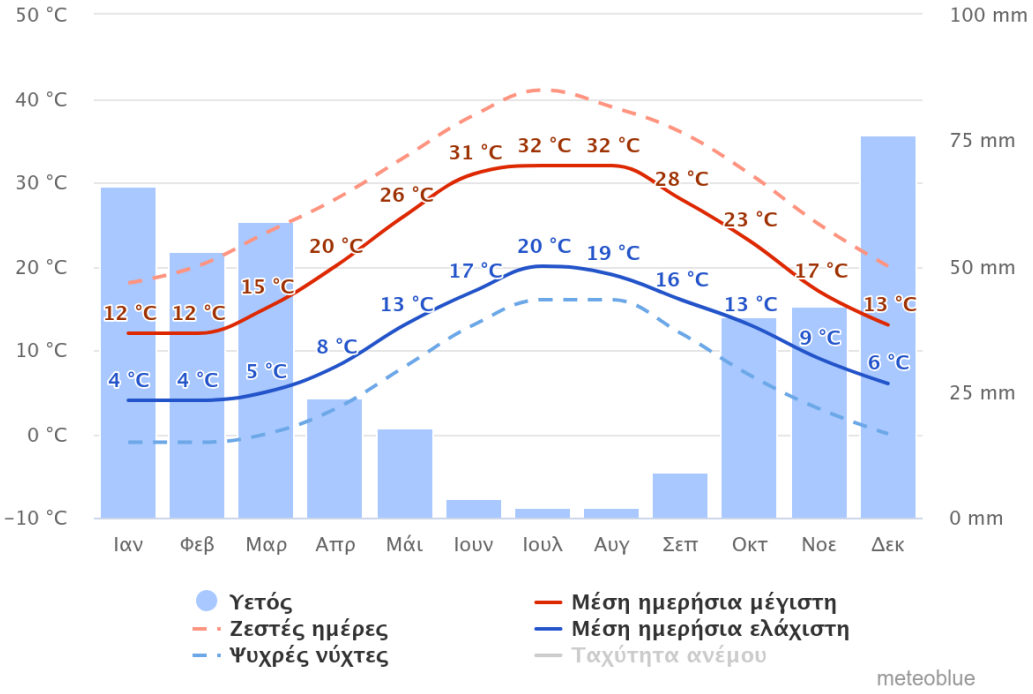
δάσους με έντονη δενδροκάλυψη και πυκνή βλάστηση, η βόσκηση συμβάλλει στον έλεγχο της ανάπτυξης της χαμηλής βλάστησης, της οποίας η υπερανάπτυξη καθιστά το δάσος εξαιρετικά δυσπρόσιτο και συνεπώς πολύ δύσκολα διαχειρίσιμο. Επίσης, με τον περιορισμό της χαμηλής βλάστησης μέσω της βόσκησης, δημιουργείται ένα φυσικό φράγμα ενάντια στις πυρκαγιές, αφού οι θάμνοι λειτουργούν ως «εύφλεκτη ύλη» στην περίπτωση πυρκαγιάς. Συνεπώς, η βόσκηση είναι μία διαδικασία που αποδεδειγμένα μπορεί να βοηθήσει το δάσος να αναπτυχθεί, όπως φάνηκε και από τις παραπάνω εικόνες.

4 Φυσικοί πόροι

4.1 Υδατικοί πόροι

4.1.1 Βροχοπτώσεις

Το κλίμα στον ελλαδικό χώρο είναι μεσογειακό με διάφορες εναλλαγές που εξαρτώνται από το υψόμετρο και την απόσταση της εκάστοτε περιοχής από τη θάλασσα. Στο ίδιο πλαίσιο κυμαίνεται και η Βόρεια Εύβοια όπου παρατηρούνται ήπιοι υγροί χειμώνες και θερμά καλοκαίρια [42].



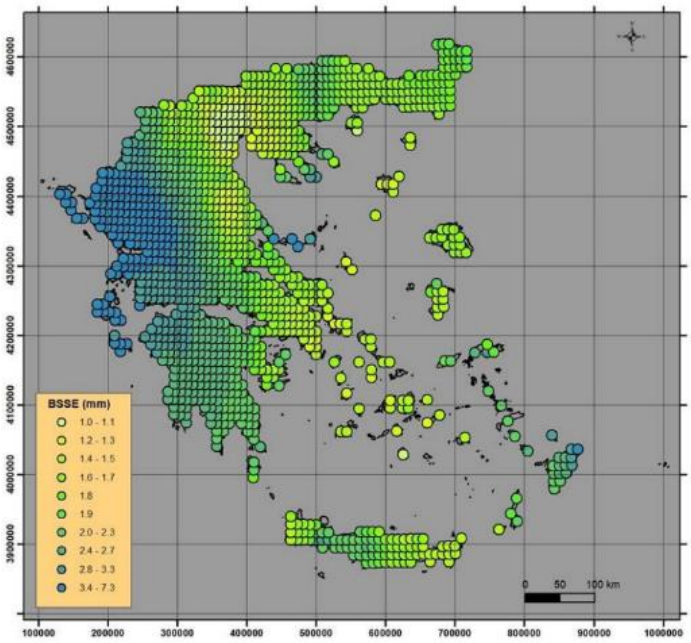
Διάγραμμα 4.1: Μέσος όρος θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων-Σταθμός Προκοπίου [43].

Ειδικότερα κατά την διάρκεια των φθινοπωρινών και χειμερινών μηνών παρατηρείται αυξημένος υετός με ύψη βροχής ≈60mm και σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες ενώ κατά τους καλοκαιρινούς μήνες η βροχόπτωση μειώνεται αισθητά και οι θερμοκρασίες ανεβαίνουν [43].

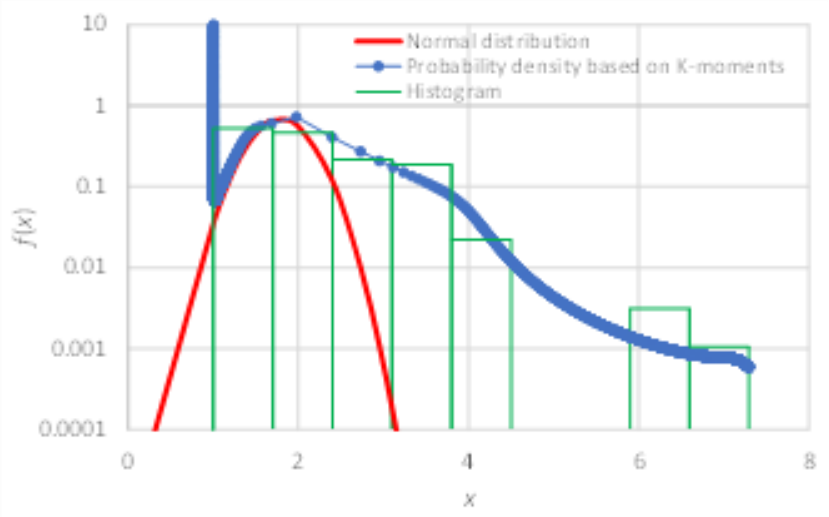
Η διαθεσιμότητα των επιφανειακών υδάτων εξαρτάται κυρίως από την ένταση των βροχοπτώσεων στην εκάστοτε περιοχή. Πρόσφατη έρευνα [44] έδειξε τη γεωγραφική κατανομή της μέσης ημερήσιας βροχόπτωσης στην Ελλάδα.

Θεωρώντας ότι η βροχόπτωση σηματοδοτεί τον πλούτο μιας περιοχής, πρόσφατη εργασία, παρουσιάζει σε Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών, τα δεδομένα που δείχνουν τις μέσες ποσότητες βροχόπτωσης μεταξύ των διαφόρων περιοχών της Ελλάδας. Προκειμένου να

καταδειχθούν έντονες μεταβολές της βροχόπτωσης και να αποφευχθεί η κατασκευή ιστογράμματος που συνεπάγεται υποκειμενικότητα, στερείται λεπτομέρειας και ακρίβειας, οι ανισότητες ποσοτικοποιούνται με πυκνότητα πιθανότητας, εκτιμώμενη από K ροπές.



Εικόνα 4.1: Γεωγραφική κατανομή της μέσης ημερήσιας βροχόπτωσης [13].



Διάγραμμα 4.2: Πυκνότητα πιθανότητας βροχόπτωσης που εκτιμάται από K ροπές [13].

4.1.2 Επιφανειακά νερά

Τα δύο ποτάμια, ο Νηλέας και ο Κηρέας που καταλήγουν στο Βούδουρο, από μετρήσεις in situ, τους καλοκαιρινούς μήνες (Ιούλιο και Αύγουστο) έχουν συνολική παροχή ~ 1m^3/sec.

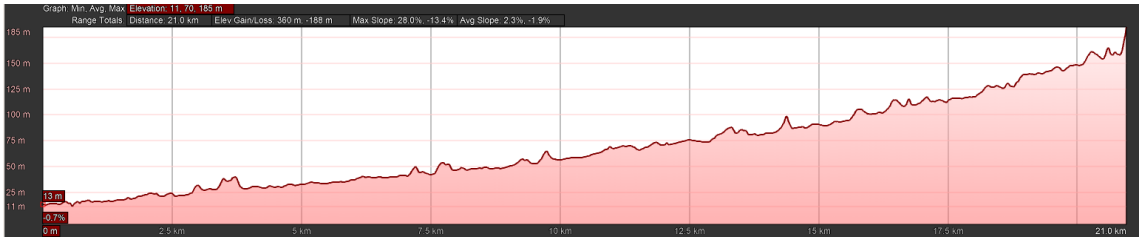
Η μέση παροχή του κάθε ποταμού εκτιμάται ~ 1.5 m^3/sec, και κυμαίνεται μεταξύ 0.5—10 m^3/sec.

Εικόνα 4.2: Τα ποτάμια του Δήμου: Νηλέας και Κηρέας.

Επειδή δε βοηθάει η ακρίβεια του ψηφιακού ανάγλυφου του Google Earth και ενώ η επισήμανση των ποταμιών είναι τοποθετημένη μέσα στην κοίτη τους, εμφανίζονται «ανηφόρες» στην κατεύθυνση του νερού οι οποίες προκύπτουν λόγω σφαλμάτων του ψηφιακού μοντέλου εδάφους (Εικόνα 4.3, Εικόνα 4.4).

Σημειώνεται όμως ότι από σχετική έρευνα πεδίου, δεν εντοπίζονται αξιοσημείωτες πτώσεις που θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Εκτιμάται ότι, τα τελευταία 10 km των οδεύσεων των ποταμών, η μέση κλίση τους είναι 1% και 0.5% για τον Νηλέα και τον Κηρέα αντίστοιχα.



Εικόνα 4.3: Μηκοτομή του Νηλέα (21 km)

Εικόνα 4.4: Μηκοτομή του Κηρέα (14.3 km)

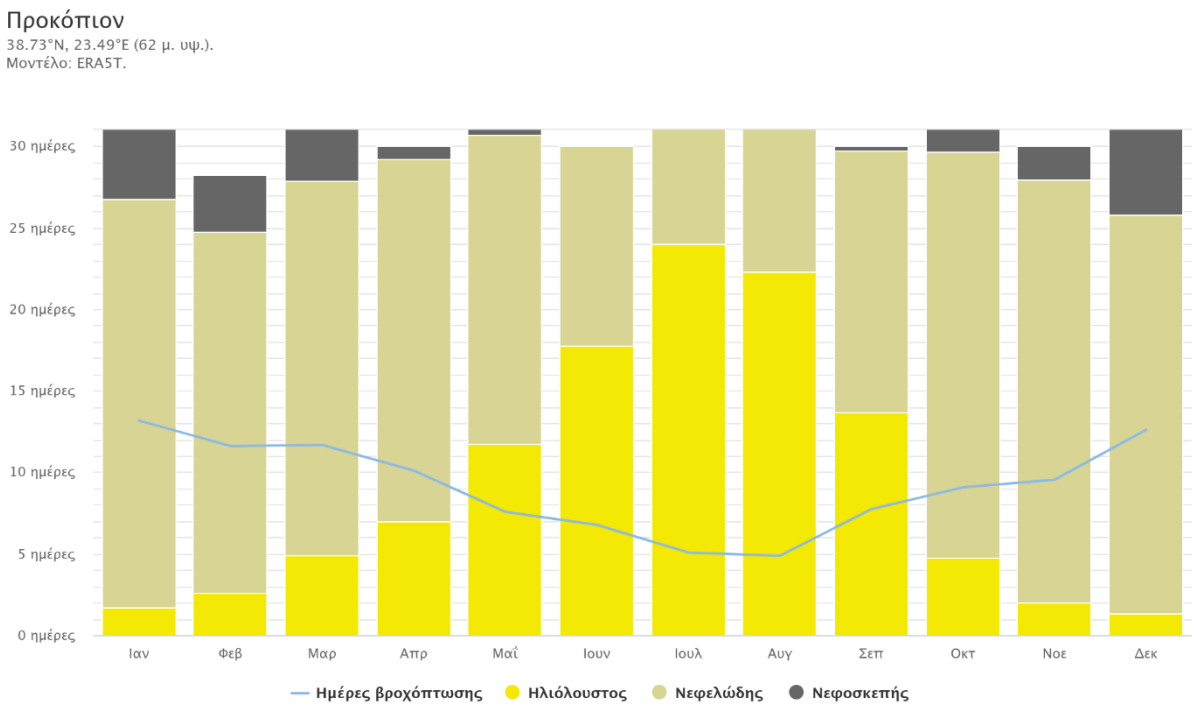
4.1.3 Υπόγεια νερά

Ο υπόγειος υδροφορέας της περιοχής κυμαίνεται, ανάλογα την θέση της γεώτρησης, μεταξύ 10-120 m. Για τους σκοπούς της παρούσας μελέτης θα θεωρήσουμε μια μέση στάθμη γεώτρησης 50 m.

Εκτός εξαιρέσεων, ο υπόγειος υδροφορέας χρησιμοποιείται για την άρδευση των καλλιεργειών και για την ύδρευση των κατοίκων.

4.2 Ήλιος

Η περιοχή της Βόρειας Εύβοιας, όπως και γενικότερα της Ελλάδας, χαρακτηρίζεται από αρκετά υψηλή ηλιοφάνεια κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, ενώ οι υπόλοιποι μήνες είναι πιο νεφελώδεις. Οι ημέρες με λιγότερο από 20% νεφοκάλυψη ονομάζονται αίθριες, 20-80% νεφοκάλυψη είναι νεφελώδεις, και πάνω από 80% θεωρούνται νεφοσκεπείς. Στο Διάγραμμα 4.3 φαίνονται τα στοιχεία αυτά για τη Βόρεια Εύβοια, σύμφωνα με το σταθμό μέτρησης εγκατεστημένο στο χωριό Προκόπι [45].

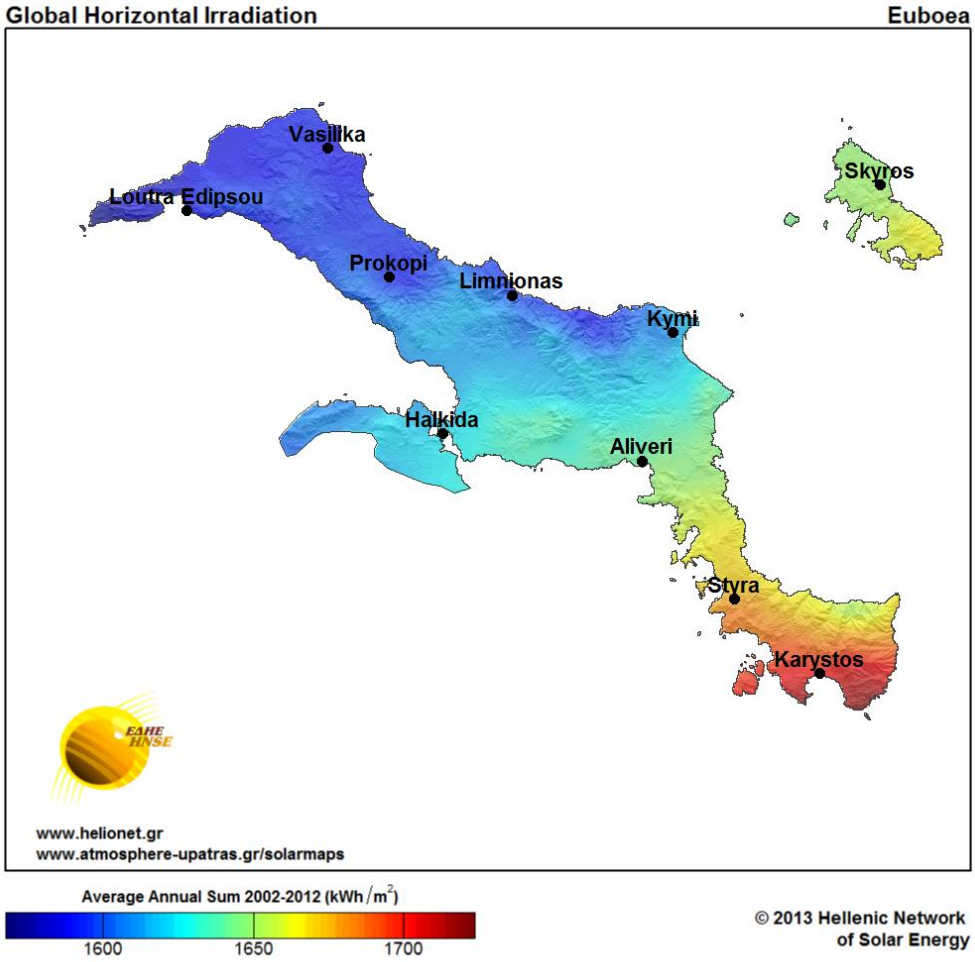


Διάγραμμα 4.3: Μηνιαίος αριθμός ημερών - ηλιόλουστες, νεφελώδεις, νεφοσκεπείς - Σταθμός Προκοπίου [45].

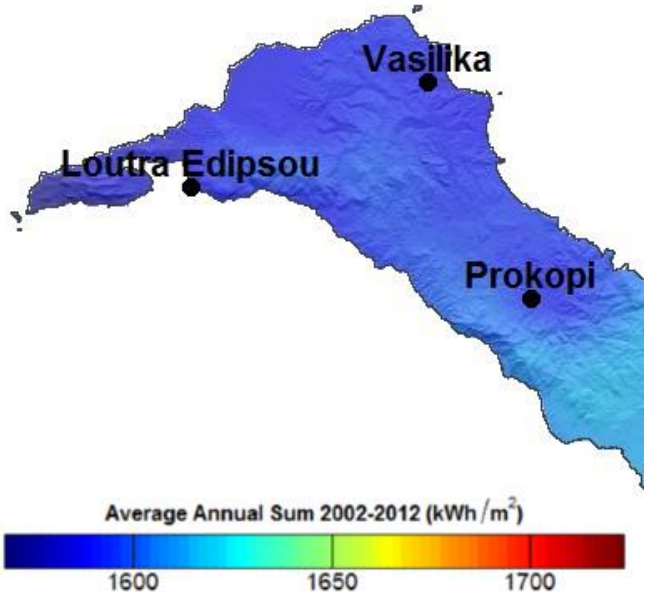
Η ηλιοφάνεια και η ηλιακή ενέργεια είναι σημαντικοί παράγοντες που μπορούν να αξιοποιηθούν για όλα τα στοιχεία του πλέγματος - κύκλος του νερού, αγροτική παραγωγή - και δη για την παραγωγή ενέργειας, όπως καταδεικνύεται και σε επόμενο κεφάλαιο.

Όσον αφορά την ηλιακή ενέργεια, το Εργαστήριο Φυσικής της Ατμόσφαιρας του Πανεπιστημίου Πατρών παρέχει σημαντικά στοιχεία για την ποσοτικοποίηση της σε όλες τις περιοχές της Ελλάδας, δίνοντας τους κλιματολογικούς χάρτες ηλιακής ενέργειας [46].

Παρακάτω, παρατίθενται οι χάρτες για την ολική ηλιακή ενέργεια στην Εύβοια γενικότερα (Εικόνα 4.5), και με μεγέθυνση για την περιοχή μελέτης (Εικόνα 4.6).



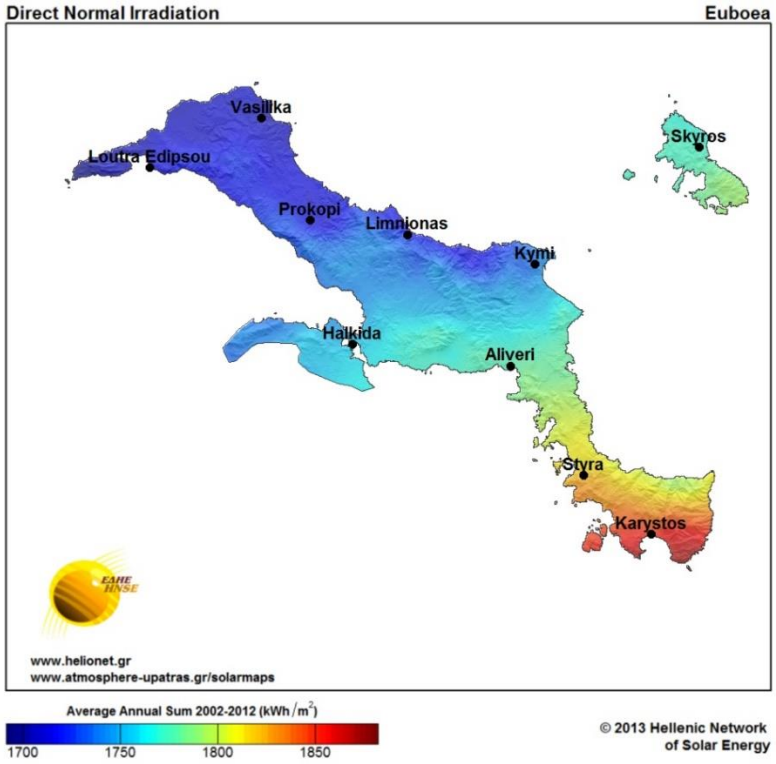
Εικόνα 4.5: Ολική ηλιακή ενέργεια στην Εύβοια [46].



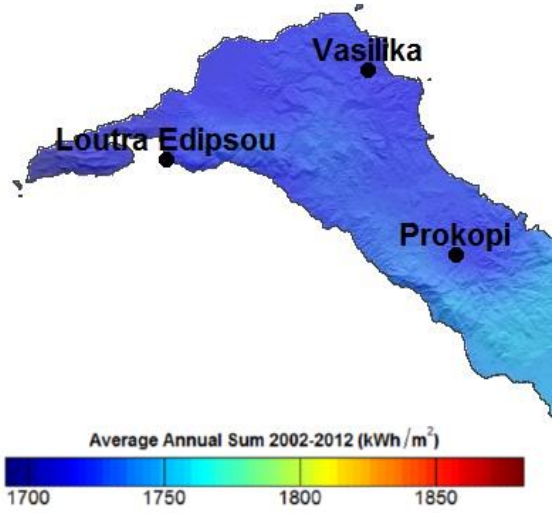
Εικόνα 4.6: Ολική ηλιακή ενέργεια στη Βόρεια Εύβοια.

Για την περιοχή ενδιαφέροντος διακρίνεται ότι η ολική ηλιακή ενέργεια είναι περίπου **1.600 kWh/m^2** (Εικόνα 4.6).

Επιπλέον, δίνεται η άμεση ηλιακή ενέργεια, η οποία προέρχεται από την ηλιακή ακτινοβολία που λαμβάνεται χωρίς να έχει υποστεί σκέδαση στην ατμόσφαιρα.



Εικόνα 4.7: Άμεση ηλιακή ενέργεια στην Εύβοια [46].

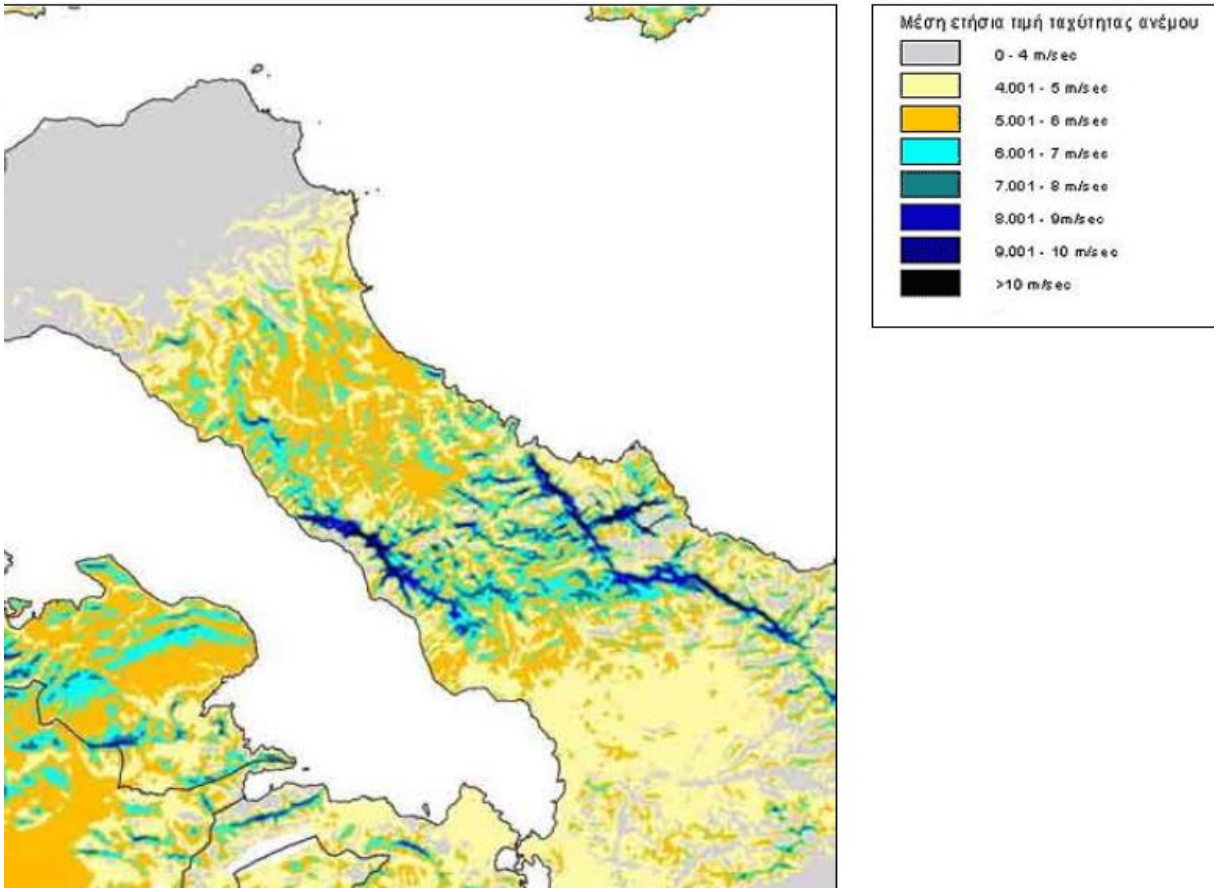


Εικόνα 4.8: Άμεση ηλιακή ενέργεια στη Βόρεια Εύβοια.

Για την περιοχή ενδιαφέροντος διακρίνεται ότι η άμεση ηλιακή ενέργεια είναι περίπου **1.730 kWh/m^2** (Εικόνα 4.8).

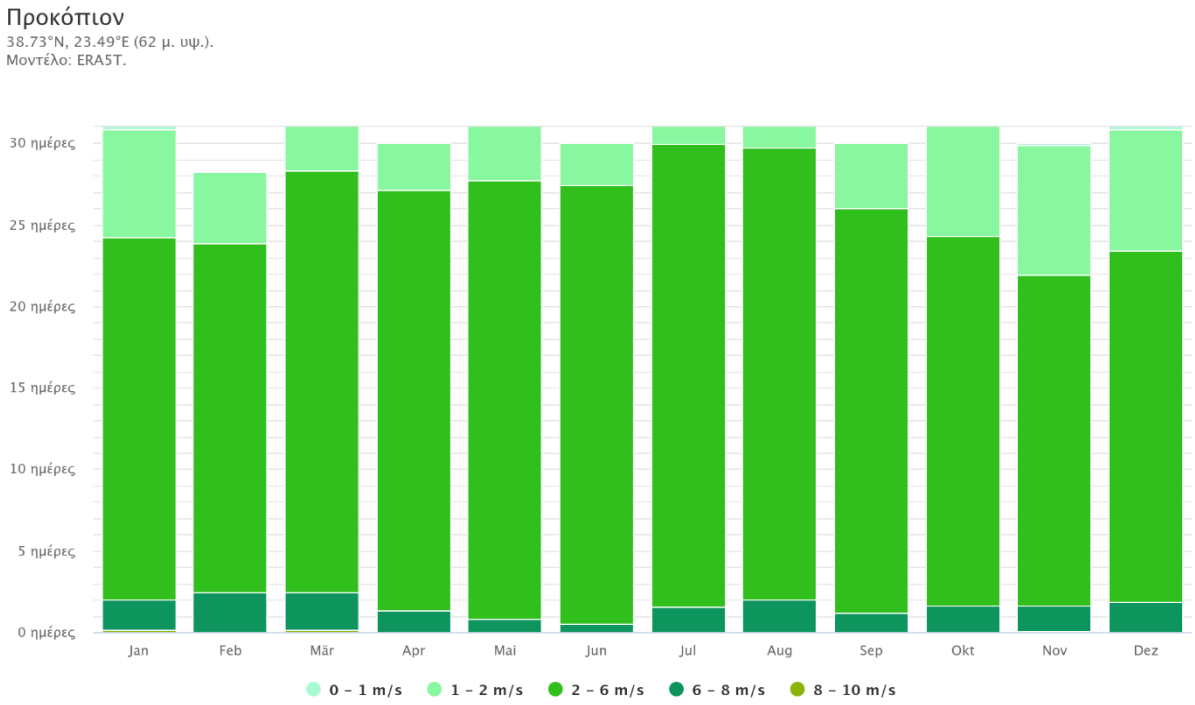
4.3 Άνεμος

Ο άνεμος και κατ' επέκταση η αιολική ενέργεια είναι ένας ακόμη παράγοντας που θα εξεταστεί στην περιοχή μελέτης, καθώς τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Στην Εικόνα 4.9 παρουσιάζεται η μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου για την ευρύτερη περιοχή μελέτης, η οποία υπολογίζεται περίπου 6 m/s [47].

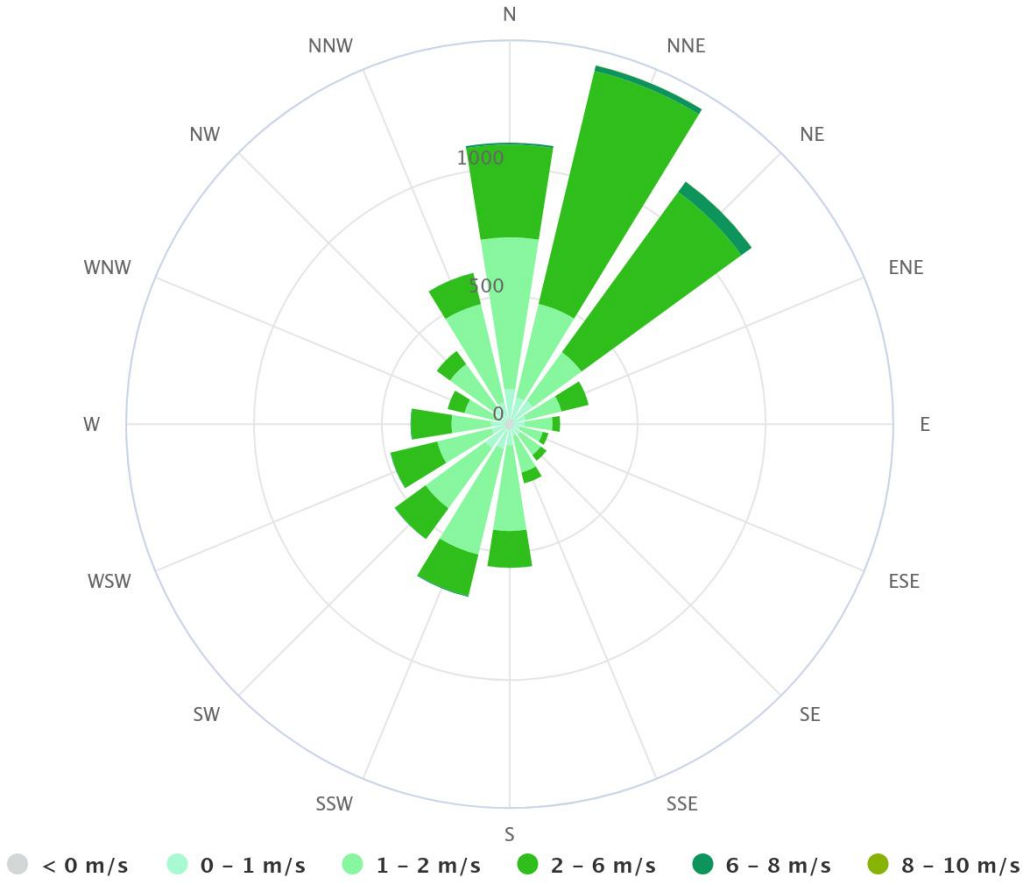


Εικόνα 4.9: Μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου [47].

Η ταχύτητα του ανέμου καθώς και η διεύθυνση του είναι από τα πιο σημαντικά μετρήσιμα στοιχεία του, και χρησιμοποιούνται για την βέλτιστη αξιοποίησή του. Παρακάτω, εμφανίζονται τα χαρακτηριστικά του ανέμου όπως μετρήθηκαν στο μετεωρολογικό σταθμό Προκοπίου [48] (Διάγραμμα 4.4, Διάγραμμα 4.5).



Διάγραμμα 4.4: Ημέρες ανά μήνα για ορισμένες ταχύτητες ανέμου – Σταθμός Προκοπίου [48].



Διάγραμμα 4.5: Ανεμολόγιο – Διεύθυνση και ταχύτητα ανέμου – Σταθμός Προκοπίου [48].

5 Οι ανάγκες της περιοχής σε νερό και ενέργεια

5.1 Ανάγκες των κατοίκων

Νερό

Ο μέσος κάτοικος της Ελλάδας καταναλώνει περίπου 200 λίτρα/ημέρα (73 m^3/έτος) που χρησιμοποιούνται για όλες τις οικιακές χρήσεις (πλύσιμο, μαγείρεμα, αποχέτευση κ.λπ.) [49, 50]. Δεδομένου ότι οι κάτοικοι της περιοχής είναι 12.235 [31], προκύπτει ότι συνολικά η ετήσια κατανάλωση νερού των κατοίκων είναι **893.155 m^3/έτος**.

Ενέργεια

Η συνολική κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας της Ελλάδας για το έτος 2023 ανέρχεται στις 305 TWh [51]. Ο πληθυσμός της Ελλάδας σύμφωνα με την απογραφή του 2021 ανέρχεται στους 10.482.487 κατοίκους [52]. Επομένως η συνολική κατανάλωση ενέργειας προκύπτει ως 305 TWh/ 10.482.487 = 29.096,2 kWh/κάτοικο/έτος. Από αυτές, οι ανάγκες σε ηλεκτρική ενέργεια συγκεκριμένα για το έτος 2023 προέκυψαν 5.180 kWh/κάτοικο/έτος [53]. Συνεπώς, στην περιοχή υπολογίζεται η απαίτηση των **63,4 GWh/έτος** σε ηλεκτρική ενέργεια.

5.2 Ανάγκες αγροτικής παραγωγής

Νερό

Όπως σημειώθηκε στο Υποκεφάλαιο 3.4.2, το απαιτούμενο νερό για υψηλής εκμετάλλευσης καλλιέργειες είναι 6.000 m^3/ha σε κάθε αρδευτική περίοδο, και εφόσον αυτές καλύπτουν 2.645,2 ha (Πίνακας 3.3), τότε το απαιτούμενο νερό είναι **15.871.200 m^3/έτος**.

Αντίστοιχα, οι χαμηλής εκμετάλλευσης καλλιέργειες καλύπτουν 3.821,96 ha και απαιτούν 2.000 m^3/ha, άρα συνολικά απαιτούν **7.643.920 m^3/έτος**.

Τέλος, οι ελιές στην περιοχή δεν αρδεύονται καθώς είναι ενήλικες.

Ενέργεια

Όπως προαναφέρθηκε (Υποκεφάλαιο 3.4.2), απαιτούνται 45.500 MJ/ha ενέργειας για τις καλλιέργειες υψηλής εκμετάλλευσης (2.645,2 ha), άρα συνολικά **120.357 GJ/έτος**, οι χαμηλής εκμετάλλευσης (3.821,96 ha) απαιτούν 20.000 MJ/ha, άρα συνολικά **76.439 GJ/έτος**, και οι ελιές (2.874,34 ha) απαιτούν 10.000 MJ/ha, άρα συνολικά **28.743 GJ/έτος.** Όσον αφορά τα καύσιμα και τα λιπάσματα που απαιτεί η αγροτική παραγωγή, αυτά συνοψίζονται στον

παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 5.1: Ποσότητες καυσίμων και λιπάσματος για την καλλιέργεια σιταριού.

Διαδικασία	**Απαιτούμενο πετρέλαιο (lit/ha)**
Όργωμα	30
Καλλιεργητής	20
Σπορά	25
Θερισμός	75
Ράντισμα	100
Λίπασμα	**Απαιτούμενη ποσότητα (kg/ha)**
Αζωτούχα λιπάσματα	600

5.3 Υφιστάμενη κατάσταση

5.3.1 Κάλυψη των αναγκών της περιοχής σήμερα

Σύμφωνα με όλα τα παραπάνω, προκύπτει ο Πίνακας 5.2 όπου καταγράφονται κάποιες βασικές ανάγκες σε νερό και ενέργεια των κύριων δραστηριοτήτων του δήμου Μαντουδίου-Λίμνης-Αγίας Άννας. Στο επόμενο κεφάλαιο θα υπολογιστούν και επιπρόσθετες απαιτήσεις σε ενεργειακές μονάδες.

Πίνακας 5.2: Απαιτούμενες ποσότητες σε νερό και ενέργεια συγκεντρωτικά.

		Νερό (m^3/έτος)	**Ενέργεια (GJ/έτος)**	**Ηλεκτρική ενέργεια (GWh/έτος)**
Κάτοικοι		893.155	-	63,4
Αγροτική παραγωγή	**Υψηλής εκμετάλλευσης**	15.871.200	120.357	-
	Χαμηλής εκμετάλλευσης	7.643.920	76.439	-
	Ελιές	-	28.743	-
Σύνολο:		**24.408.275**	**225.539**	**63,4**

Η κάλυψη των απαιτήσεων νερού και ενέργειας που υπολογίστηκαν γενικά βασίζεται σε εισαγόμενους μη ανανεώσιμους πόρους. Εν γένη, το απαιτούμενο νερό για την ύδρευση και την άρδευση του δήμου προέρχεται από την άντληση του υπόγειου υδροφορέα – διαδικασία που απαιτεί ενέργεια - ενώ τα επιφανειακά νερά των ποταμών Κηρέας και Νηλέας δεν αξιοποιούνται.

Επιπλέον, τα νοικοκυριά βασίζονται στο ηλεκτρικό ρεύμα για τη λειτουργία τους, το οποίο προέρχεται από το εθνικό δίκτυο ηλεκτροδότησης που αποτελείται από τις μονάδες παραγωγής με λιγνίτη. Τα επιβατικά οχήματα βασίζονται στην κατανάλωση βενζίνης και πετρελαίου, όπως και τα αγροτικά οχήματα, ενώ η περιοχή τροφοδοτείται πλέον σε μεγάλο βαθμό από

εισαγόμενα τρόφιμα.

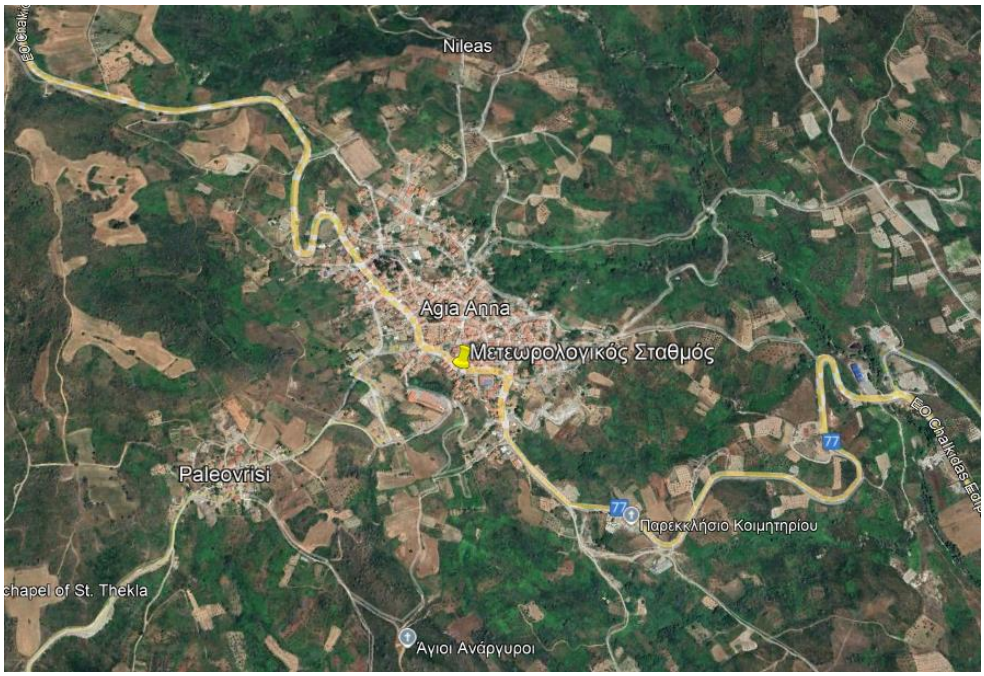
Αναλύοντας την περιοχή, φαίνεται ότι η λειτουργία του πλέγματος στη Βόρεια Εύβοια, παρουσιάζει την εικόνα που επικρατεί γενικότερα στον κόσμο. Δηλαδή, η κάλυψη των αναγκών βασίζεται σχεδόν αποκλειστικά στους εισαγόμενους πόρους και στην ευρύτερη αφθονία ενέργειας σε όλες τις πλευρές των ανθρώπινων δραστηριοτήτων.

5.3.2 Δυναμικό των φυσικών χαρακτηριστικών της περιοχής

Οι ενεργειακοί πόροι της περιοχής που θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν για τη λειτουργία του πλέγματος νερού και ενέργειας είναι ο ήλιος, ο άνεμος, τα ποτάμια (υδραυλικό δυναμικό) και η βιομάζα.

Ήλιος και άνεμος

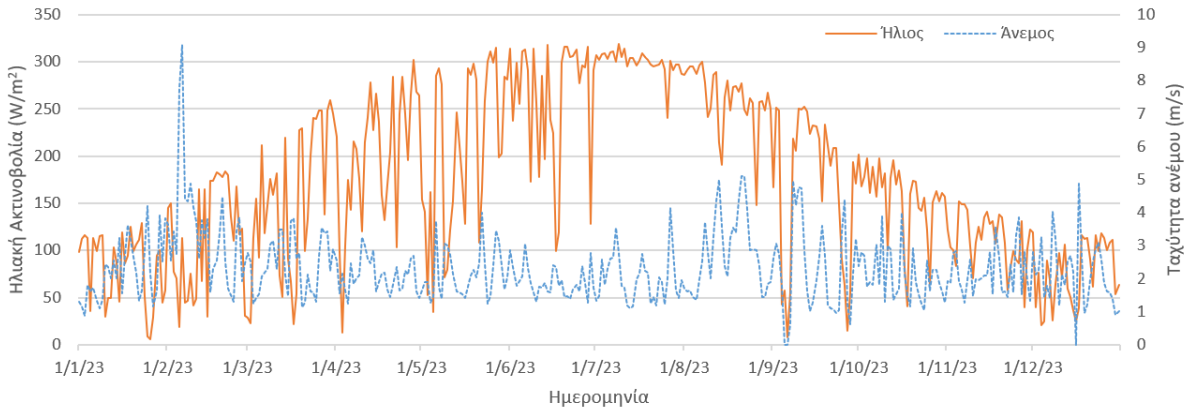
Το εργαστήριο Γεωργικής Υδραυλικής του Τμήματος Γεωπονίας του Πανεπιστημίου Πατρών έχει εγκαταστήσει ένα μετεωρολογικό σταθμό στο χωριό Αγία Άννα στη Βόρεια Εύβοια (Εικόνα 5.1), με υπεύθυνο τον κύριο Νίκο Μαλάμο, αναπληρωτή καθηγητή του Πανεπιστημίου Πατρών.



Εικόνα 5.1: Η τοποθεσία του μετεωρολογικού σταθμού – Γεωγραφικό πλάτος 38.85797, γεωγραφικό μήκος 23.39961, υψόμετρο 303 μέτρα.

Στο σταθμό καταγράφηκαν οι μέσες τιμές για κάθε δεκάλεπτο της ώρας για ολόκληρο το έτος 2023 της ηλιακής ακτινοβολίας (W/m^2) και της ταχύτητας του ανέμου (m/s) στην περιοχή (52.560 μετρήσεις για το κάθε φαινόμενο).

Στο Διάγραμμα 5.1 αποδίδονται σχηματικά οι εν λόγω μετρήσεις.



Διάγραμμα 5.1: Μετρήσεις ηλιακής ακτινοβολίας και ταχύτητας ανέμου για το 2023.

Σύμφωνα με αυτές τις καταγραφές και την επεξεργασία των δεδομένων, η διαθέσιμη ηλιακή ενέργεια για το έτος 2023 προέκυψε **1.534,5 kWh/m^2**.

Όσον αφορά τον άνεμο, για το έτος 2023 η μέση ταχύτητα ανέμου μετρήθηκε περίπου **8,4 m/s** (σε υψόμετρο περίπου 100 μέτρων από το έδαφος).

Ποτάμια: Νηλέας και Κηρέας

Η ελάχιστη παροχή των ποταμών Νηλέας και Κηρέας είναι 1 m^3/s τους καλοκαιρινούς μήνες. Με βάση αυτήν την παροχή τα ποτάμια μία αρδευτική περίοδο (90 ημέρες) θα μπορούσαν να δώσουν 1 m^3/sec * 90 ημέρες (αρδευτική περίοδος) = **7.776.000 m^3**.

Βιομάζα

Με εξαίρεση μικρή μερίδα της βιομάζας που χρησιμοποιείται σε σόμπες ή τζάκια δεν υπάρχει άλλη συστηματική ενεργειακή εκμετάλλευση από τους πόρους της περιοχής.

Η διαθέσιμη βιομάζα αναγέννησης της περιοχής (κλαδέματα και αναγεννημένο δάσος) ανά έτος υπολογίζεται όπως παρακάτω.

1.015 GJ/ha * 48.510,5 ha (δάσος) = 49.238.157,5 GJ

14,5 MJ/kg * 10.000 kg/ha * 2.874,34 ha (ελιές) = 416.779,3 GJ

Συνολικά η διαθέσιμη ενέργεια από την βιομάζα είναι **49.654.936,8 GJ/έτος**

Λόγω της πυρκαγιάς του 2021, το ώριμο εναπομείναν δάσος είναι περίπου 28% του παλαιού.

Έτσι προκύπτει ότι η διαθέσιμη βιομάζα του δάσους σήμερα, είναι:

1.015 GJ/ha * 48.510,5 ha *0,28 (δάσος που δεν έχει καεί) = **13.786.684,1 GJ/έτος**

Φαίνεται λοιπόν ότι η ευρύτερη περιοχή του υπό εξέταση δήμου διαθέτει σημαντικούς φυσικούς πόρους που μπορούν να εκμεταλλευτούν για τα στοιχεία του πλέγματος.

5.3.3 Αξιολόγηση

Η λειτουργία του πλέγματος στη σημερινή εποχή, όπως περιγράφηκε, καταφέρνει μεν να αποδίδει τα επιθυμητά αποτελέσματα και να καλύπτει εξ ολοκλήρου τις ανάγκες της περιοχής μέχρι και σήμερα, δεν εγγυάται όμως τη μακροπρόθεσμη σταθερότητα. Η αφθονία ενέργειας που υπάρχει στηρίζει την γεωργική και κτηνοτροφική παραγωγή, όμως αυτή η ενέργεια προέρχεται από τα ορυκτά καύσιμα που όπως είναι γνωστό μπορεί να δημιουργήσει περιβαλλοντικά προβλήματα στην περιοχή, όπως η ρύπανση του αέρα και των τοπικών υδάτων.

Επιπλέον, ένα από τα σημαντικά προβλήματα είναι οι αρνητικές επιπτώσεις στην οικονομία της περιοχής. Εφόσον οι απαραίτητοι πόροι είναι εισαγόμενοι οποιαδήποτε παρεμπόδιση στην προμήθειά τους μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική αύξηση των τιμών σε όλους τους τομείς δραστηριοτήτων της περιοχής. Οι απότομες αλλαγές στις διεθνείς αγορές ή οι γεωπολιτικές αναταραχές μπορούν να προκαλέσουν αλυσιδωτές σημαντικές αυξήσεις στο κόστος βασικών αγαθών και υπηρεσιών. Ως συνέπεια επιβαρύνονται οι κάτοικοι, οι τοπικές επιχειρήσεις, ο τουρισμός της περιοχής και γενικότερα η οικονομία της.

Τέλος, οι εισαγόμενοι πόροι, όπως το πετρέλαιο, είναι μη ανανεώσιμοι και εξαντλούνται πολύ γρήγορα, ειδικά με τη συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση ενέργειας λόγω της αύξησης του πληθυσμού και της αστικοποίησης του. Έτσι, είναι σημαντικό να περιοριστεί κατά το δυνατόν η υπερκατανάλωση τους, στρέφοντας την περιοχή σε πιο βιώσιμες μακροπρόθεσμα εναλλακτικές.

Αυτές οι μακροχρόνιες αρνητικές συνέπειες είναι πολύ πραγματικές και έχουν ήδη φανεί στις κοινωνίες – πχ πανδημία COVID 19, γεωπολιτική σύγκρουση μεταξύ Ρωσίας και Ουκρανίας. Ιδιαίτερα στην περιοχή της Βόρειας Εύβοιας, η οποία έχει βιώσει, και μάλιστα πρόσφατα, σοβαρές φυσικές καταστροφές, όπως η μεγάλη πυρκαγιά του 2021, φάνηκε η αδυναμία της υπάρχουσας διαχείρισης του πλέγματος να ανταπεξέλθει αποδοτικά σε τέτοια απρόβλεπτα γεγονότα.

Διαπιστώνοντας τη μη αποδοτικότητα του σύγχρονου τρόπου λειτουργίας του πλέγματος, αναζητούνται λύσεις για τη δημιουργία ενός συστήματος που θα στηρίζεται στην ικανότητα της κάλυψης των αναγκών της περιοχής, ενώ παράλληλα θα είναι πιο σταθερό και πολύ λιγότερο ευάλωτο σε δυσάρεστους εξωτερικούς παράγοντες. Αυτό θα μπορούσε να επιτευχθεί

στρέφοντας την περιοχή προς την αυτάρκεια, με την εκμετάλλευση των σημαντικών φυσικών και ανανεώσιμων πόρων της.

Η επίτευξη της αυτάρκειας της περιοχής θα καταφέρει να μειώσει σημαντικά την εξάρτηση από εισαγόμενους πόρους μειώνοντας έτσι την ευάλωτη θέση της απέναντι σε εξωτερικούς παράγοντες, όπως διεθνείς κρίσεις ή διαταραχές στην εφοδιαστική αλυσίδα. Προωθείται έτσι η οικονομική σταθερότητα της και παράλληλα μπορούν να αναπτυχθούν οι τοπικές επιχειρήσεις, ενισχύεται η τοπική παραγωγή και δημιουργούνται νέες θέσεις εργασίας.

Παράλληλα, με την εκτεταμένη χρήση ανανεώσιμων πόρων για την παραγωγή της ζητούμενης ενέργειας μειώνονται οι αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις της υπερβολικής χρήσης ορυκτών καυσίμων, μειώνεται η ρύπανση του αέρα και των τοπικών υδάτων, βελτιώνοντας έτσι κατά πολύ την ποιότητα ζωής των κατοίκων αλλά και των επισκεπτών/τουριστών.

Όπως ήδη αναφέρθηκε, η περιοχή έχει σημαντικούς φυσικούς και ανανεώσιμους πόρους που στο παρόν δεν αξιοποιούνται σχεδόν καθόλου. Με την εισαγωγή τεχνικών λύσεων και πρακτικών που εκμεταλλεύονται τα φυσικά πλεονεκτήματα της περιοχής, μπορεί να δημιουργηθεί ένα αρκετά αυτάρκες πλέγμα νερού, ενέργειας και τροφίμων προσφέροντας στο δήμο Μαντουδίου-Λίμνης-Αγίας Άννας όλες τις θετικές απολαβές που καταγράφηκαν παραπάνω.

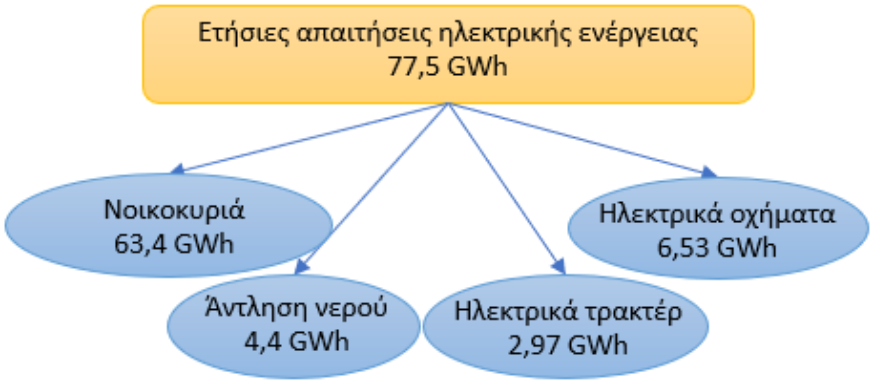
Στο επόμενο κεφάλαιο, αναζητούνται οι τεχνικές λύσεις προς αυτή την κατεύθυνση στην περιοχή, ποσοτικοποιώντας τα αποτελέσματα και δίνοντας μια καθαρή εικόνα για το πως θα μπορούσε να λειτουργεί το πλέγμα νερού και ενέργειας, καλύπτοντας σε όσο το δυνατόν μεγαλύτερο βαθμό τις ανάγκες της με πολύ πιο αποδοτικό και βιώσιμο τρόπο.

6 Εξεταζόμενες λύσεις για την αυτάρκεια

6.1 Αυτάρκεια σε ηλεκτρική ενέργεια

6.1.1 Συνολικές απαιτήσεις ηλεκτρικής ενέργειας στην περιοχή

Στις ανάγκες ηλεκτρικής ενέργειας των νοικοκυριών της περιοχής, όπως υπολογίστηκαν παραπάνω, προστίθενται και κάποιες επιπρόσθετες, ώστε να δημιουργηθεί μία πιο ολοκληρωμένη διαχείριση.



Κάτοικοι

Στο προηγούμενο κεφάλαιο ποσοτικοποιήθηκαν οι ανάγκες των κατοίκων σε ηλεκτρική ενέργεια, στις οποίες συμπεριλαμβάνονται όλες οι εργασίες μίας κατοικίας – φωτισμός, θέρμανση, ψύξη, λειτουργία ηλεκτρικών συσκευών. Η ποσότητα αυτή μετρήθηκε **63,4 GWh/έτος** συνολικά για την περιοχή.

Ενέργεια για άντληση νερού (ύδρευση και άρδευση)

Επίσης στο προηγούμενο κεφάλαιο μετρήθηκαν οι απαιτήσεις του νερού στην περιοχή, για ύδρευση και την άρδευση, και η ποσότητα αυτή είναι 24.408.275 m^3/έτος κατά μέσο όρο.

Συνεπώς, μπορούμε να υπολογίσουμε την ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται για την άντληση της απαιτούμενης ποσότητας από τα 50 m βάθος, στην περίπτωση που χρησιμοποιείται αντλία νερού που λειτουργεί με ηλεκτρικό ρεύμα. Αυτή υπολογίζεται από την εξής σχέση [54]:

$$P = Q \cdot H \cdot \rho \cdot g/\eta, \text{ όπου:}$$

- P η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας,
- Q είναι η παροχή (m^3/year) = 24.408.275 m^3
- H είναι το ύψος (m) = 50 m
- ρ η πυκνότητα του νερού (kg/m^3) = 1.000 kg/m^3
- g η επιτάχυνση της βαρύτητας (m/s^2) = 9,81 m/s^2
- η είναι ο συντελεστής απόδοσης

Για συντελεστή απόδοσης 75%, προκύπτει η απαίτηση **15.963 GJ/έτος** ενέργειας για την άντληση του νερού που χρειάζεται ολόκληρη η περιοχή. Ισοδύναμα, απαιτούνται **4,4 GWh/έτος** σε ηλεκτρική ενέργεια.

Ενέργεια για αγροτική εργασία

Όσον αφορά την αγροτική εργασία, όπως αναφέρθηκε παραπάνω (Πίνακας 5.1) απαιτούνται περίπου 250 λίτρα πετρέλαιο/ha από ένα συμβατικό πετρελαιοκίνητο τρακτέρ. Συνολικά προκύπτει, για το σύνολο των καλλιεργούμενων εκτάσεων (υψηλής και χαμηλής γεωργικής εκμετάλλευσης) στην περιοχή μελέτης, ήτοι 6.467,16 ha (Πίνακας 3.3), ότι απαιτούνται 250 λίτρα πετρέλαιο/ha * 6467,16 ha = **1.616.790 λίτρα πετρέλαιο** ή **1.616,8 m^3 πετρέλαιο**.

Στην περίπτωση που γινόταν αντικατάσταση του συμβατικού πετρελαιοκίνητου τρακτέρ με ένα ηλεκτροκίνητο, η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας υπολογίζεται ως εξής:

Έστω ότι επιλέγουμε ένα ηλεκτροκίνητο τρακτέρ απόδοσης 55 kW [55], το οποίο συνεπώς καταναλώνει 55 kWh ανά ώρα λειτουργίας. Ο μέσος χρόνος λειτουργίας ενός τυπικού τρακτέρ είναι 300-600 ώρες ετησίως, ανάλογα με την ένταση και τη φύση των γεωργικών εργασιών. Συνεπώς η ετήσια κατανάλωση ενός τέτοιου τρακτέρ προκύπτει 16.500 – 33.000 kWh. Με την παραδοχή ότι θα προστεθούν στην περιοχή αρχικά 90 ηλεκτροκίνητα τρακτέρ, η συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας θα είναι **1,5 – 2,97 GWh/έτος**.

Ενέργεια για μετακίνηση

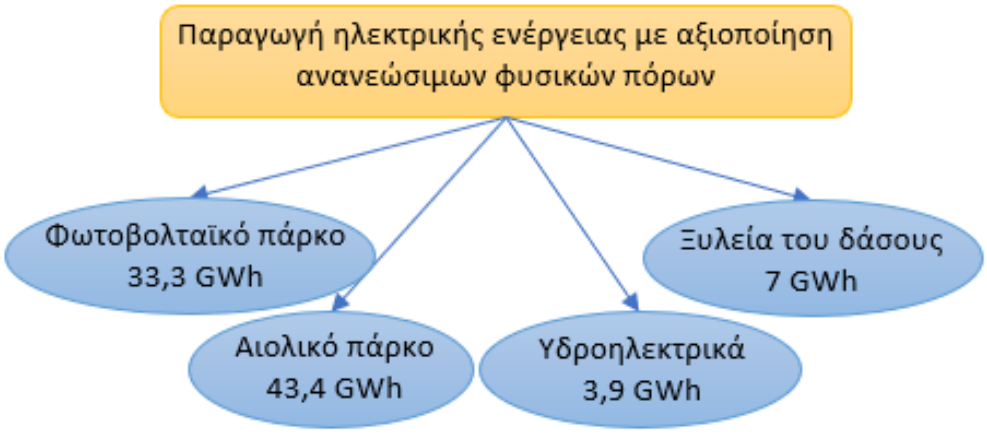
Για τον υπολογισμό απαιτήσεων μετακίνησης σε ηλεκτρική ενέργεια, γίνεται μία εύλογη παραδοχή ότι ο μέσος κάτοικος της περιοχής διανύει περίπου 10.000 km/έτος με το αυτοκίνητο [56,57]. Με την εύλογη παραδοχή ότι περίπου το 1/3 των κατοίκων της περιοχής, άρα περίπου 4.080 άτομα, κατέχουν αυτοκίνητο τα συνολικά διανυόμενα χιλιόμετρα του δήμου προκύπτουν ίσα με 40.800.000 km/έτος.

Ένα ηλεκτροκίνητο αυτοκίνητο μέσα στην πόλη καταναλώνει περίπου 16-17 kWh/100 km [58], οπότε συνολικά σε ένα έτος για τη μετακίνηση απαιτείται ηλεκτρική ενέργεια ίση με 16 kWh/100 km · 40.800.000 km/έτος = **6,53 GWh/έτος** κατ' ελάχιστο.

<u>Συνολική απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια στο έτος</u>

Σύμφωνα με όλα τα παραπάνω, οι ετήσιες ανάγκες ολόκληρου του δήμου σε ηλεκτρική ενέργεια προκύπτουν κατ' ελάχιστο **77,5 GWh/έτος,** με την προσθήκη ηλεκτροκίνητων οχημάτων και τρακτέρ, και την άντληση του απαιτούμενου νερού αποκλειστικά με χρήση ηλεκτρικής αντλίας.

6.1.2 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με την αξιοποίηση των φυσικών πόρων

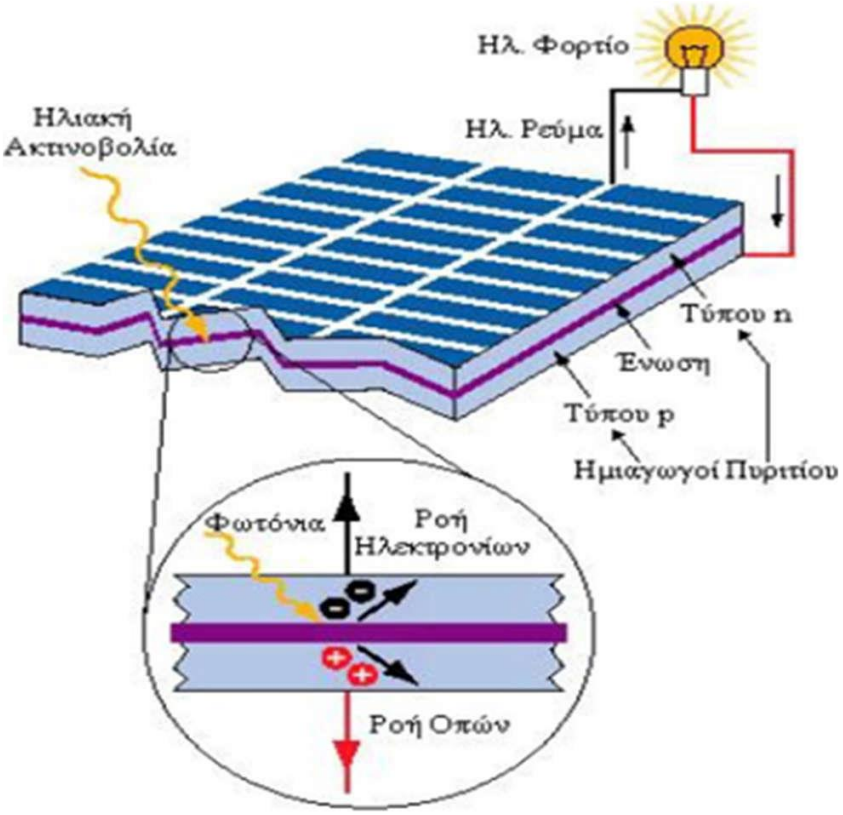


Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων στον κάμπο

Γενικά για τα φωτοβολταϊκά συστήματα

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι τεχνολογία, ευρέως διαδεδομένη παγκοσμίως τα τελευταία χρόνια, η οποία συγκαταλέγεται στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, και βασίζεται στην ηλιακή ακτινοβολία (ενέργεια του φωτός του ήλιου). Στην ουσία, πρόκειται για την απευθείας μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια με τη χρήση των φωτοβολταϊκών κυττάρων (solar cells) [59].

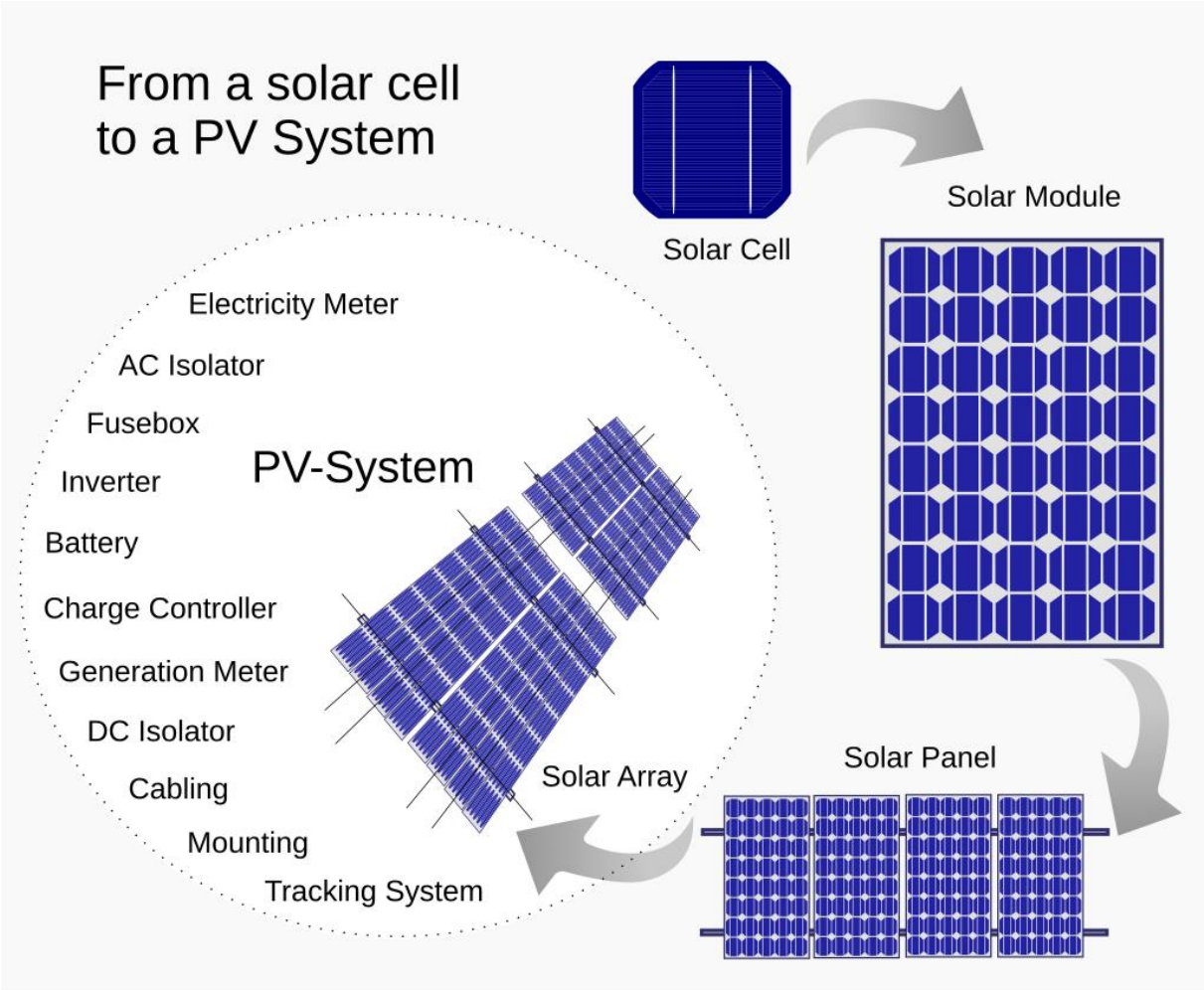
Το φωτοβολταϊκό κύτταρο είναι ουσιαστικά ένας «ημιαγωγός», ο οποίος απορροφά ένα μέρος της ενέργειας των φωτονίων – δέσμες ενέργειας του ήλιου - που φτάνουν στο φωτοβολταϊκό στοιχείο και το μετατρέπει σε ηλεκτρικό ρεύμα [60].



Εικόνα 6.1: Σχηματική απεικόνιση της διάταξης ενός φωτοβολταϊκού. Πηγή: Μαμάσης & Ευστρατιάδης [60].

Το φωτοβολταϊκό κύτταρο είναι συνήθως τετραγωνικού σχήματος με πλευρά 120-160 χιλιοστών. Δημιουργείται είτε από άμορφο είτε από κρυσταλλικό πυρίτιο, με το τελευταίο να διακρίνεται σε μονοκρυσταλλικό ή πολυκρυσταλλικό. Ανά περίπτωση, απαιτείται αξιολόγηση των συνθηκών εφαρμογής (διάρκεια και κατεύθυνση της ηλιοφάνειας, σκιάσεις, κλπ.), με σκοπό να επιλέγεται η κατάλληλη τεχνολογία [61].

Τα ως άνω φωτοβολταϊκά στοιχεία ομαδοποιούνται σε κατάλληλο αριθμό (36 έως 50), επικαλύπτονται με ειδικές μεμβράνες και εγκιβωτίζονται σε γυαλί με πλαίσιο από αλουμίνιο και, έτσι, συγκροτούν τα φωτοβολταϊκά πλαίσια/πάνελ. Ένα τυπικό φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελείται από ένα ή περισσότερα τέτοια πλαίσια/πάνελ φωτοβολταϊκών στοιχείων (solar cells) ηλεκτρικά συνδεδεμένα μεταξύ τους, μαζί με τις επιπρόσθετες απαραίτητες συσκευές για τη μετατροπή της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας στην επιθυμητή μορφή [62].



Εικόνα 6.2: Από το φωτοβολταϊκό στοιχείο στο φωτοβολταϊκό σύστημα. Πηγή: Wikipedia [62].

Όπως ειπώθηκε και παραπάνω, ένα φωτοβολταϊκό σύστημα, πέρα από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια/πάνελ που αναλύθηκαν, απαιτεί και κάποιες επιπρόσθετες συσκευές για τη σωστή λειτουργία του. Τέτοιες συσκευές ή/και διατάξεις, όπως διαφαίνεται και στην Εικόνα 6.2, είναι οι εξής:

- **Συσκευές για την ισορροπία του συστήματος:**
  - **Βάσεις στήριξης** των πάνελ, οι οποίες διασφαλίζουν τη στιβαρή εγκατάσταση του πλαισίου (πχ αντίσταση σε δυνατό άνεμο).
  - **Αποθήκευση ενέργειας**, η οποία στην εν λόγω περίπτωση πραγματοποιείται με κατάλληλων χαρακτηριστικών μπαταρίες/συσσωρευτές.
  - **Συσκευή για τη ρύθμιση φόρτισης:** Ο ρυθμιστής φόρτισης είναι ο συνδετικός κρίκος μεταξύ του φωτοβολταϊκού πάνελ, της μπαταρίας και του φορτίου, διατηρούν την τάση σταθερή και προστατεύουν τη μπαταρία (πχ υπερφόρτιση).
  - **Μετατροπέας**: μετατρέπει το συνεχές ρεύμα σε εναλλασσόμενο.

- **Φορτίο**: Ο εξοπλισμός που τροφοδοτείται από το φωτοβολταϊκό σύστημα είναι το ηλεκτρικό φορτίο του συστήματος [63].

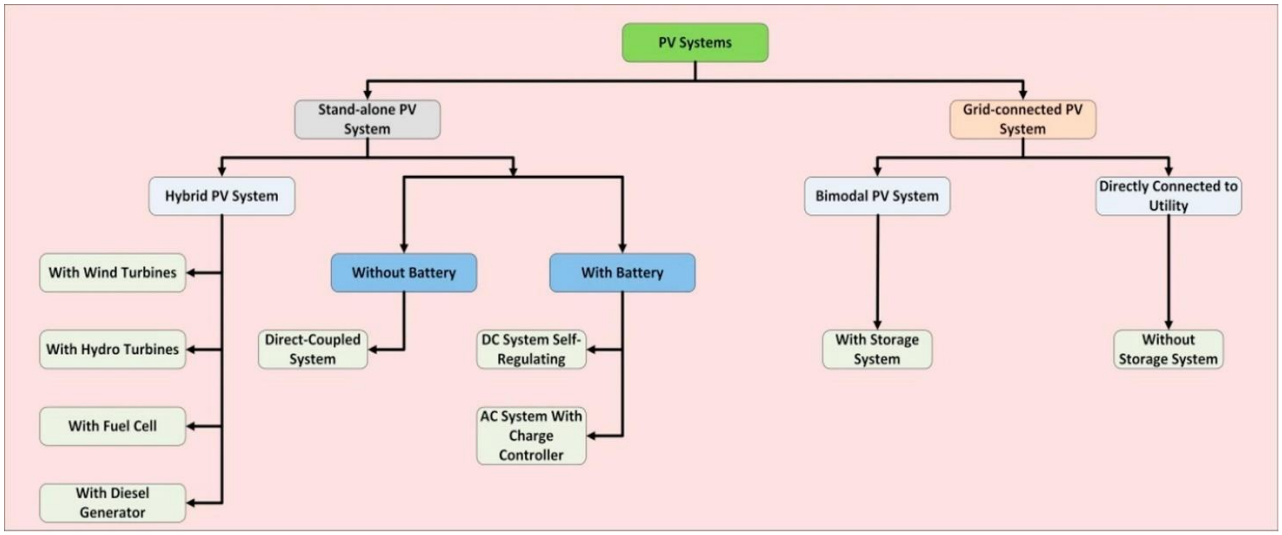
Τα φωτοβολταϊκά συστήματα μπορούν να διακριθούν σε δύο υποκατηγορίες [64]:

- Διασυνδεδεμένα με το δίκτυο συστήματα

Στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι σταθμοί παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας δυναμικότητας 50kW έως μερικά MW (ονομαστική ισχύς), των οποίων η παραγόμενη ενέργεια διοχετεύεται απευθείας στο δίκτυο. Επιπλέον, στην κατηγορία αυτή ανήκουν και τα φωτοβολταϊκά συστήματα μεγέθους 1,5 kW έως και 20 kW, εγκατεστημένα σε κατοικίες/κτίρια για την εξυπηρέτηση των ιδίων, με την όποια πλεονάζουσα παραγόμενη ενέργεια να διοχετεύεται επίσης στο δίκτυο.

- Αυτόνομα συστήματα

Σε αυτή την κατηγορία συγκαταλέγονται τα συστήματα φωτοβολταϊκών για την εξυπηρέτηση των αναγκών κατοικιών, μικρών οικισμών αλλά και εφαρμογών μικρής κλίμακας (τροχόσπιτα, σκάφη αναψυχής κ.α.), τα οποία δεν είναι συνδεδεμένα στο δίκτυο.



Εικόνα 6.3: Κατηγορίες των φωτοβολταϊκών συστημάτων [65].

Τα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα μπορούν επιπλέον να κατηγοριοποιηθούν ως εξής, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 6.3 [65]:

- Χωρίς δυνατότητα αποθήκευσης: Τα συστήματα αυτά έχουν τη δυνατότητα να τροφοδοτούν μόνο κατά τη διάρκεια της ηλιοφάνειας.
- Με δυνατότητα αποθήκευσης: Με τη χρήση κατάλληλων συσσωρευτών (μπαταρίες), τα συστήματα αποθηκεύουν ενέργεια, η οποία μπορεί να αξιοποιηθεί όταν δεν υπάρχει

ηλιοφάνεια.

- Υβριδικά: Τα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα τα οποία, εκτός από την ηλιακή ακτινοβολία, μπορούν να εκμεταλλευτούν κι άλλες μορφές ενέργειας για τη λειτουργία τους (ανεμογεννήτριες, υδροστρόβιλοι, κυψέλες καυσίμου, γεννήτριες πετρελαίου).

Με δεδομένο τη συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση ενέργειας και επομένως την υπερεκμετάλλευση των συμβατικών πηγών ενέργειας, η χρήση των φωτοβολταϊκών συστημάτων γίνεται ολοένα και πιο ελκυστική [66]. Ειδικότερα, για τις χώρες με υψηλό ποσοστό ηλιακής ακτινοβολίας όπως πχ η Ελλάδα, θα μπορούσε να αναπτυχθεί σε πολύ ικανοποιητικό βαθμό. Σήμερα, η παραγωγή ενέργειας με τη χρήση φωτοβολταϊκών είναι η τρίτη πιο σημαντική ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, με την υδροηλεκτρική και την αιολική να είναι η πρώτη και η δεύτερη αντιστοίχως [67].

Για το 2023, η συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με τη χρήση φωτοβολταϊκών ανήλθε στις 1.629,90 TWh παγκοσμίως. Στην Ελλάδα, η αντίστοιχη παραγωγή ήταν 9,39 TWh [68]. Σύμφωνα με το Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ) του Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας [69], ο στόχος για την Ελλάδα είναι, έως το 2030, η ηλεκτροπαραγωγή από τα φωτοβολταϊκά να έχει φτάσει τις 12,1 TWh. Το μεγαλύτερο φωτοβολταϊκό πάρκο σε λειτουργία στην Ελλάδα βρίσκεται στην Κοζάνη (Εικόνα 6.4), εγκαινιάστηκε το 2022, καταλαμβάνει έκταση 4.500 στρεμμάτων και αποτελείται από 18 φωτοβολταϊκούς σταθμούς συνολικής ισχύος 204 MW [70,71].

Εικόνα 6.4: Το φωτοβολταϊκό πάρκο στην Κοζάνη [71].

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι μία πολλά υποσχόμενη λύση, καθώς είναι ένας εντελώς καθαρός τρόπος παραγωγής χωρίς επιπτώσεις στο περιβάλλον – μηδενικοί ρύποι και μηδενική ηχορύπανση. Ωστόσο, πρόκειται για ένα σύστημα χαμηλής απόδοσης και η παραγόμενη ισχύς εξαρτάται κυρίως από την ηλιακή ακτινοβολία και τη θερμοκρασία, οπότε δεν είναι μία ιδιαίτερα σταθερή λύση [72].

Ο βαθμός απόδοσης των φωτοβολταϊκών, ήτοι το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια, με τη σύγχρονη τεχνολογία κυμαίνεται μεταξύ περίπου 13% - 20%. Συγκριτικά, τα πρώτα φωτοβολταϊκά είχαν βαθμό απόδοσης 1 – 2%, ενώ το 1950 ήταν περίπου 6% [60].

Υπολογισμοί για την περιοχή μελέτης

Με την επεξεργασία των δεδομένων που καταγράφηκαν από το μετεωρολογικό σταθμό της Αγίας Άννας (Διάγραμμα 5.1), όσον αφορά την ηλιακή ακτινοβολία στο έδαφος, για το 2023 προκύπτει η ημερήσια χρονοσειρά (Διάγραμμα 6.1).

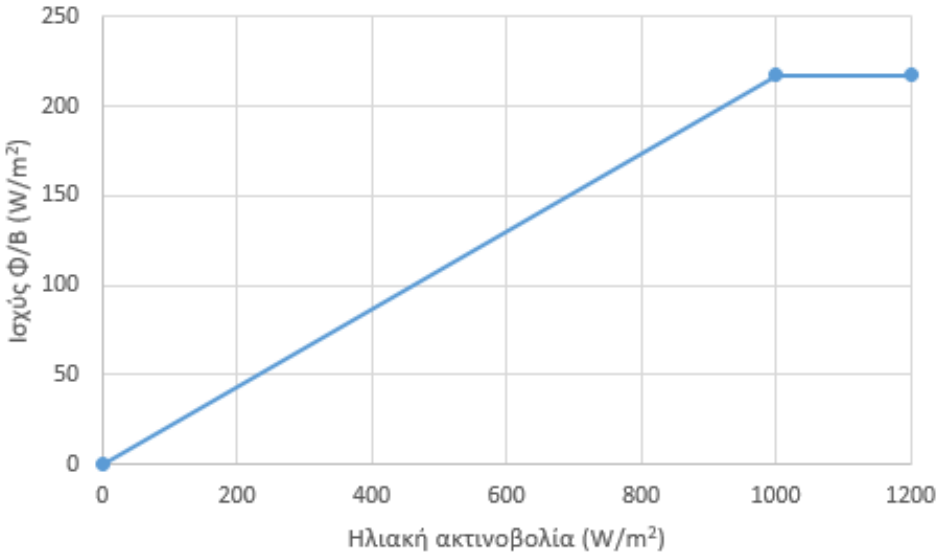
Διάγραμμα 6.1: Ημερήσια χρονοσειρά ηλιακής ακτινοβολίας 2023

Για τους υπολογισμούς στην περιοχή εξετάζεται η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών πλαισίων, όπου επιλέγεται ένα τυπικό φωτοβολταϊκό [73], του οποίου τα χαρακτηριστικά εμφανίζονται στον Πίνακας 6.1.

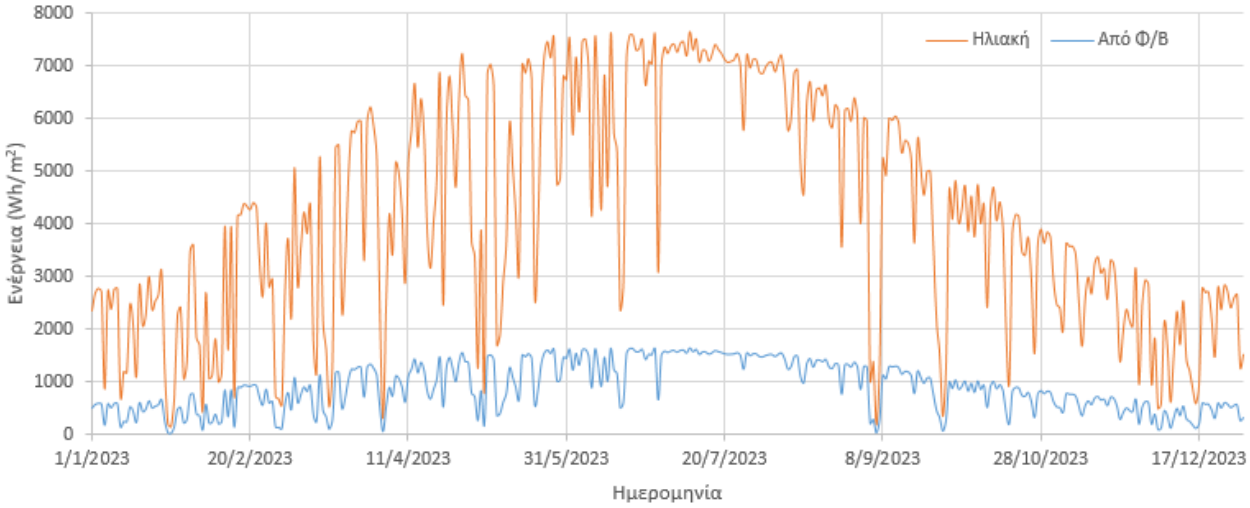
Πίνακας 6.1: Τεχνικά χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκού πλαισίου [73].

Ονομαστική Ισχύς:	217 Wp
Τύπος:	Πολυκρυσταλλικό πυρίτιο
Διαστάσεις πλαισίου (ΜxΠxΥ):	1640x990x42 mm
Διαστάσεις κυττάρου:	156x156 mm
Πλήθος κυττάρων:	60
Θερμοκρασιακός συντελεστής ισχύος:	-0.42 %/°C

Για το εν λόγω φωτοβολταϊκό, το απλοποιημένο διάγραμμα της αποδιδόμενης ισχύος είναι το εξής:



Διάγραμμα 6.2: Ισχύς Φ/Β – Ακτινοβολία.



Διάγραμμα 6.3: Ηλιακή ενέργεια και παραγόμενη ενέργεια από Φωτοβολταϊκά.

Μετά την επεξεργασία των δεδομένων του μετεωρολογικού σταθμού και τους κατάλληλους υπολογισμούς, προκύπτει ότι η συνολική παραγόμενη ενέργεια από την εγκατάσταση ενός τέτοιου φωτοβολταϊκού συστήματος, θα ήταν 333.154,3 Wh/m^2. Με την εγκατάσταση 20 εκταρίων (ha) = 200.000 m^2 φωτοβολταϊκών πλαισίων στον κάμπο, η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια για το έτος 2023 θα ήταν 66,6 GWh. Για εδαφικούς και κατασκευαστικούς λόγους και για τον προσανατολισμό των πλαισίων, περίπου το μισό της εν λόγω έκτασης θα καλυφθεί από τα πλαίσια, άρα 100.000 m^2. Τελικά, η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια για το 2023 θα ήταν περίπου **33,3 GWh**.

Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με εγκατάσταση ανεμογεννητριών

Γενικά για τις ανεμογεννήτριες

Οι ανεμογεννήτριες είναι μία τεχνολογία παραγωγής ενέργειας, η οποία στηρίζεται στην αιολική ενέργεια. Είναι, δηλαδή, μία "μηχανή" που έχει τη δυνατότητα να μετατρέπει την κινητική ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική ενέργεια [74,75].

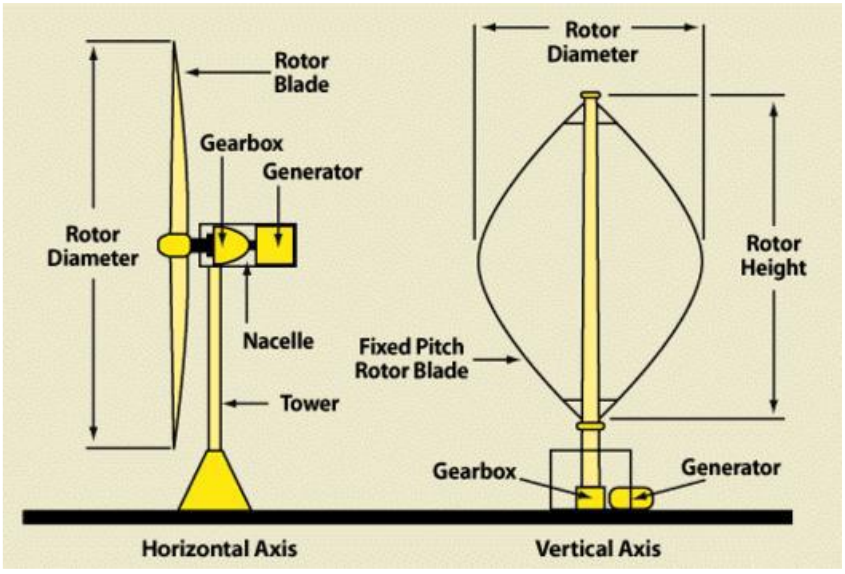
Η αιολική ενέργεια είναι μία μορφή ενέργειας που αξιοποιείται από τον άνθρωπο από τα αρχαία χρόνια, κυρίως για την κίνηση των ιστιοφόρων πλοίων, πριν επέλθει η εφεύρεση των μετέπειτα μηχανών κίνησης. Με την πάροδο των ετών και την εξέλιξη της ανθρωπότητας, ο άνεμος αξιοποιήθηκε για την τροφοδότηση ανεμόμυλων με σκοπό την άλεση των σιτηρών ή την άντληση νερού, ενώ πλέον υπάρχει η δυνατότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μέσω των ανεμογεννητριών, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω [76,77].

Η πρώτη ανεμογεννήτρια κατασκευάστηκε το 1891, από τον Δανό Poul LaCour, ενώ έκτοτε Δανοί μηχανικοί βελτίωσαν την κατασκευή κατά τον Α' και Β' παγκόσμιο πόλεμο [78], αξιοποιώντας την τότε τεχνολογία έχοντας ως στόχο την αντιμετώπιση των ενεργειακών ελλείψεων. Αυτές οι κατασκευές ουσιαστικά θεωρούνται οι "πρόγονοι" των σύγχρονων ανεμογεννητριών [79].

Εικόνα 6.5: Ανεμογεννήτριες. Πηγή: Βικιπαίδεια [75].

Οι σύγχρονες ανεμογεννήτριες χωρίζονται στις εξής δύο κατηγορίες:

- Οριζόντιου άξονα: Ο δρομέας (Εικόνα 6.7) είναι τύπου έλικα και είναι συνεχώς παράλληλος με το έδαφος και την κατεύθυνση του ανέμου.
- Κατακόρυφου άξονα: Ο άξονας είναι σταθερός και κάθετος στην επιφάνεια του εδάφους.

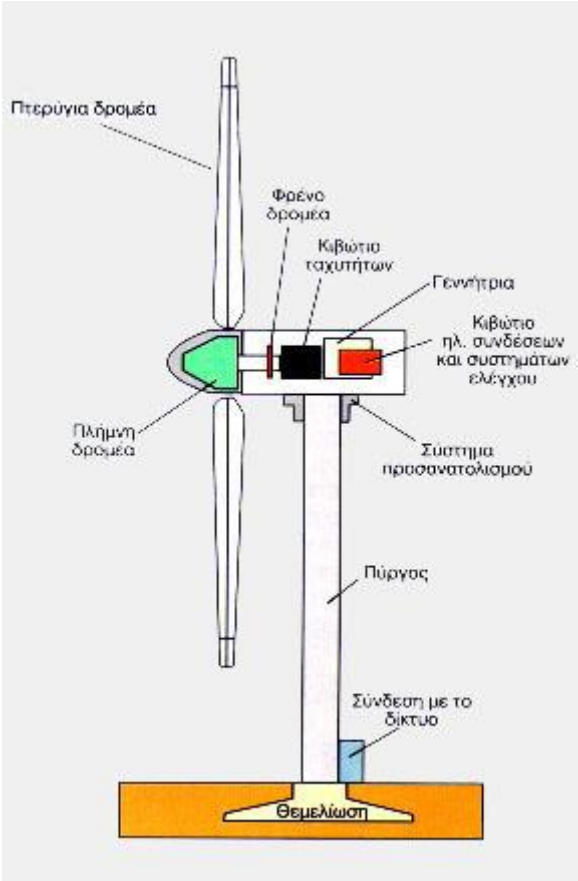


Εικόνα 6.6: Διάταξη ανεμογεννήτριας οριζόντιου (αριστερά) και κατακόρυφου (δεξιά) άξονα. Πηγή: Μαμάσης & Ευστρατιάδης [81].

Στη σημερινή αγορά, έχουν επικρατήσει οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα, με δύο ή τρία πτερύγια, για λόγους αισθητικής, αλλά και γιατί οι κατακόρυφου άξονα έχουν μικρότερο βαθμό απόδοσης και καταλαμβάνουν μεγαλύτερη επιφάνεια στο έδαφος [80,81].

Μία τυπική ανεμογεννήτρια οριζόντιου άξονα αποτελείται από τα εξής μέρη:

- Δρομέας: αποτελείται από δύο ή τρία πτερύγια από ενισχυμένο πολυεστέρα. Τα πτερύγια αυτά προσδένονται σε μία πλήμνη, είτε σταθερά, είτε δύνανται να περιστρέφονται γύρω από το διαμήκη άξονά τους. Είναι κατασκευές σύνθετων υλικών (υαλονήματα και ειδικές ρητίνες), ώστε να είναι ανθεκτικά σε μεγάλες καταπονήσεις.
- Σύστημα μετάδοσης κίνησης: Αποτελείται από τον κύριο άξονα, τα έδρανά του και το κιβώτιο πολλαπλασιασμού στροφών, το οποίο προσαρμόζει την ταχύτητα περιστροφής στη σύγχρονη ταχύτητα της ηλεκτρογεννήτριας. Κατά την κανονική λειτουργία της ανεμογεννήτριας, η ταχύτητα περιστροφής παραμένει σταθερή.
- Ηλεκτρική γεννήτρια: Συνδέεται με την έξοδο του πολλαπλασιαστή μέσω ενός ελαστικού ή υδραυλικού συνδέσμου και μετατρέπει τη μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική.
- Σύστημα προσανατολισμού: Αναγκάζει τον άξονα περιστροφής του δρομέα να βρίσκεται συνεχώς παράλληλα στη διεύθυνση του ανέμου.
- Πύργος: Στηρίζει όλη την εγκατάσταση και είναι συνήθως σωληνωτός ή δικτυωτός και σπανίως από οπλισμένο σκυρόδεμα.
- Σύστημα πέδης: Δισκόφρενο που τοποθετείται στον κύριο άξονα ή στον άξονα της γεννήτριας.
- Ηλεκτρικός πίνακας και πίνακας ελέγχου: Τοποθετούνται στη βάση του πύργου και παρακολουθούν, συντονίζουν και ελέγχουν όλες τις λειτουργίες της ανεμογεννήτριας.



Εικόνα 6.7: Τυπική διάταξη ανεμογεννήτριας οριζόντιου άξονα. Πηγή: ΚΑΠΕ [80].

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω ανεμογεννητριών είναι μία "καθαρή" ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, αφού βασίζεται στον άνεμο και δεν μολύνει καθόλου το περιβάλλον σε αντίθεση με τους συμβατικούς τρόπους. Επιπλέον, είναι μία οικονομικά ανταγωνιστική λύση με χαμηλό λειτουργικό κόστος. Τα τελευταία χρόνια, με τη βελτίωση της τεχνολογίας και της δυναμικότητας των ανεμογεννητριών, η παραγωγή ενέργειας κατά αυτόν τον τρόπο είναι μία από τις σημαντικότερες μορφές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Για το έτος 2023 η συνολική παγκόσμια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας ανήλθε στις 2.304,44 TWh. Στην Ελλάδα το αντίστοιχο νούμερο ήταν 10,91 TWh [82]. Σύμφωνα με το Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ) του Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας, ο στόχος για την Ελλάδα είναι, έως το 2030, η ηλεκτροπαραγωγή από τα ανεμογεννήτριες να έχει φτάσει τις 17,1 TWh [69]. Στην Ελλάδα, το μεγαλύτερο αιολικό έργο είναι το έργο Καφηρέα (Εικόνα 6.8), το οποίο βρίσκεται στη Νότια Εύβοια και αποτελείται από 8 αιολικά πάρκα με 73 ανεμογεννήτριες. Το έργο έχει συνολική εγκατεστημένη ισχύ άνω των 167,9 MW [83, 84].

Εικόνα 6.8: Αιολικό έργο Καφηρέα στη Νότια Εύβοια [84].

Παρόλο που ο άνεμος είναι ένα φυσικό φαινόμενο που εμφανίζεται παντού, δεν είναι καθόλου σταθερό στοιχείο κι έτσι δημιουργείται απρόβλεπτη μεταβλητότητα της παραγόμενης ενέργειας (έντονα στοχαστική ΑΠΕ) [81]. Επίσης, η λειτουργία των ανεμογεννητριών φέρει και το μειονέκτημα της ηχορύπανσης λόγω του θορύβου που παράγουν τα πτερύγια τους, καθώς και την αισθητική παραμόρφωση του τοπίου εγκατάστασής τους [85].

Ο βαθμός απόδοσης της ανεμογεννήτριας, ήτοι το ποσοστό της αιολικής ενέργειας που μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια, εξαρτάται κυρίως από την ταχύτητα του ανέμου υπολογισμένη στο ύψος των πτερυγίων [86], καθώς και από τα πτερύγια της ανεμογεννήτριας – το πλήθος και τη γωνία τους – και την ταχύτητα περιστροφής του ρότορα. Ένα σύγχρονο πλήρες σύστημα ανεμογεννήτριας μπορεί να έχει βαθμό απόδοσης έως και 45% κατά το μέγιστο [81].

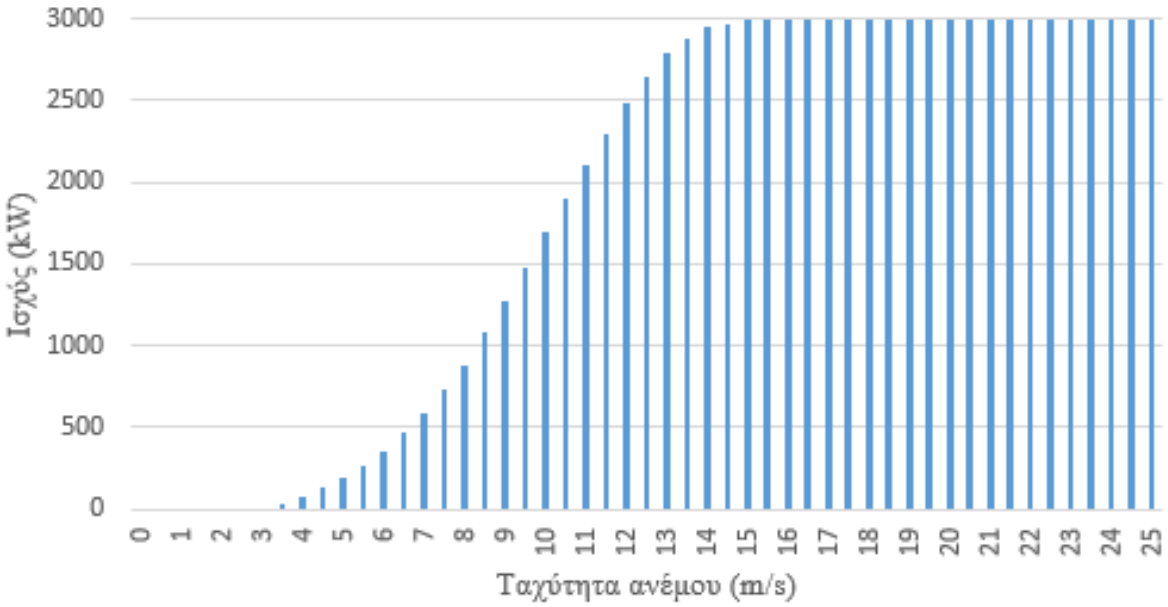
Υπολογισμοί για την περιοχή μελέτης

Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας, επιλέχτηκε ανεμογεννήτρια οριζόντιου άξονα τύπου VESTAS V90/3000 [87], της οποίας τα κύρια χαρακτηριστικά παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα:

Πίνακας 6.2: Πίνακας βασικών χαρακτηριστικών ανεμογεννήτριας. Πηγή: The Wind Power [87].

Ονομαστική Ισχύς, P_O (kW)	3.000
Διάμετρος ρότορα, D (m)	90
Αριθμός πτερυγίων	3
Ταχύτητα έναρξης λειτουργίας (cut-in speed) (m/s)	3,5
Ονομαστική ταχύτητα (m/s)	16,5
Ταχύτητα παύσης λειτουργίας (cut-out speed) (m/s)	25
Μέγιστο ύψος πλήμνης, H (m)	105

Επιπλέον, από τον κατασκευαστή παρέχεται η καμπύλη ισχύος της ανεμογεννήτριας:



Διάγραμμα 6.4: Καμπύλη ισχύος της εξεταζόμενης Α/Γ [87].

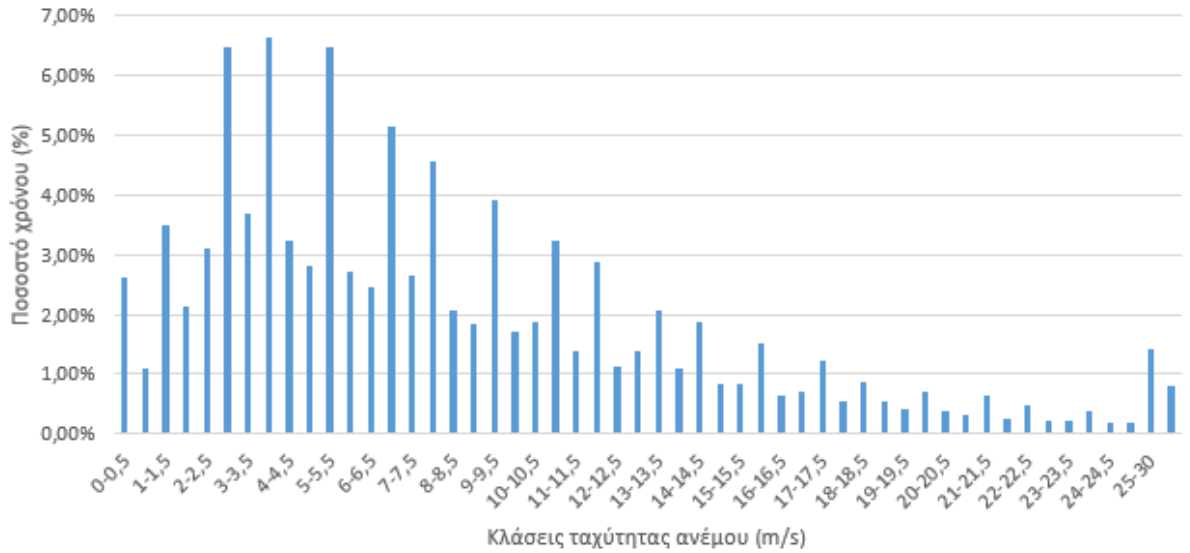
Για τον υπολογισμό της παραγόμενης ενέργειας από την εν λόγω ανεμογεννήτρια απαιτούνται στοιχεία για την ταχύτητα του ανέμου στην περιοχή. Διαθέτοντας τα δεδομένα του μετεωρολογικού σταθμού της Αγίας Άννας, ο οποίος κατέγραψε τη μέση τιμή της ταχύτητας του ανέμου για κάθε 10λεπτο του 2023 (Διάγραμμα 5.1), αρχικά, για τη σωστή επεξεργασία τους, γίνεται η κατάλληλη αναγωγή τους στο ύψος της ανεμογεννήτριας, ήτοι 105 m - το ύψος του σταθμού είναι 8 μέτρα - χρησιμοποιώντας την εξής σχέση:

$$u_2 = u_1 \cdot ln(z_2/z_0) / ln(z_1/z_0)$$ [81],

όπου:

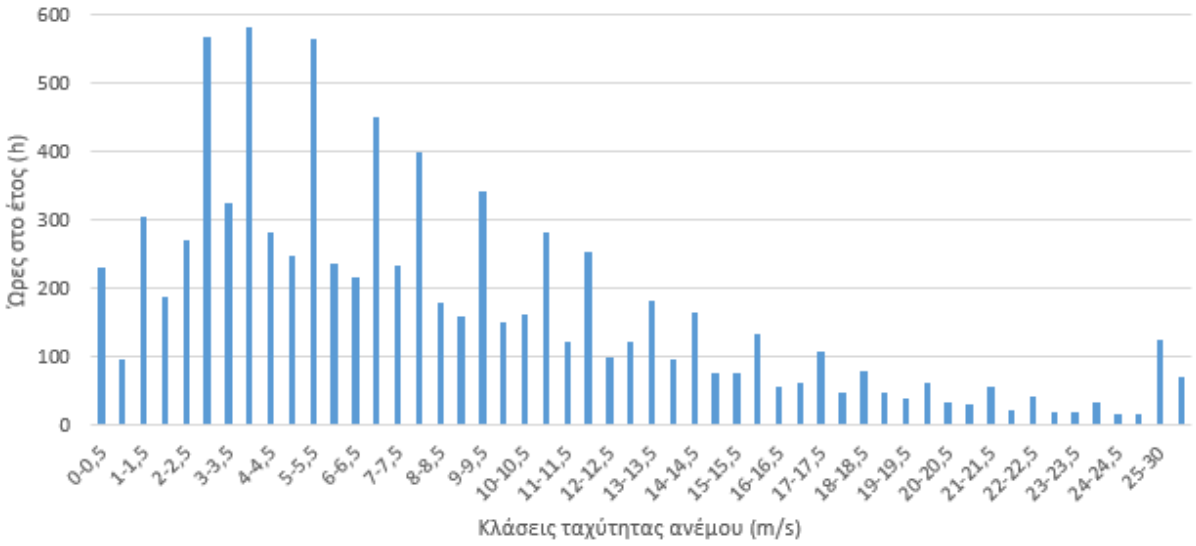
- u_1 = η υπολογισμένη ταχύτητα του ανέμου στο ύψος του μετεωρολογικού σταθμού (m/s)
- z_0 = παράμετρος ταχύτητας της φυσικής επιφάνειας (m) = 3,00 m
- z_1 = ύψος μετεωρολογικού σταθμού (m) = 8 m
- z_2 = ύψος πλήμνης ανεμογεννήτριας (m) = 105 m
- u_2 = ταχύτητα ανέμου στο ύψος της ανεμογεννήτριας (m/s)

Μετά και την αναγωγή και την επεξεργασία των δεδομένων προκύπτει το ιστόγραμμα που δείχνει το ποσοστό του έτους 2023 για το οποίο εμφανίζεται μία δεδομένη ταχύτητα ανέμου.



Διάγραμμα 6.5: Συχνότητα εμφάνισης ανά ταχύτητα ανέμου το 2023

Τα παραπάνω ποσοστά τα ανάγουμε σε ώρες στο έτος και προκύπτει το παρακάτω διάγραμμα:



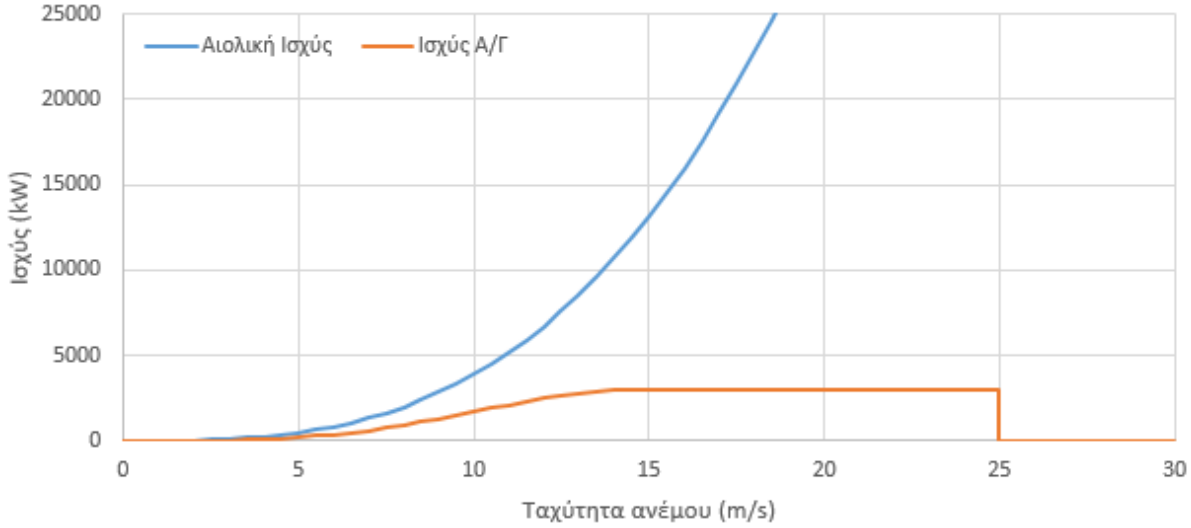
Διάγραμμα 6.6: Ώρες του 2023 ανά ταχύτητα ανέμου.

Επιπλέον, υπολογίζεται η αιολική ισχύς P_o για κάθε ταχύτητα ανέμου, με τη χρήση του εξής τύπου:

$$P_o = (\rho \cdot \pi \cdot D^2 \cdot V^3)/8$$ [81], όπου:

- ρ = πυκνότητα αέρα = 1.225 kg/m^3
- π = μαθηματική σταθερά = 3.14
- D = διάμετρος ανεμογεννήτριας = 90 m
- V = ταχύτητα ανέμου = (m/s)

και τα αποτελέσματα εμφανίζονται στο Διάγραμμα 6.7.

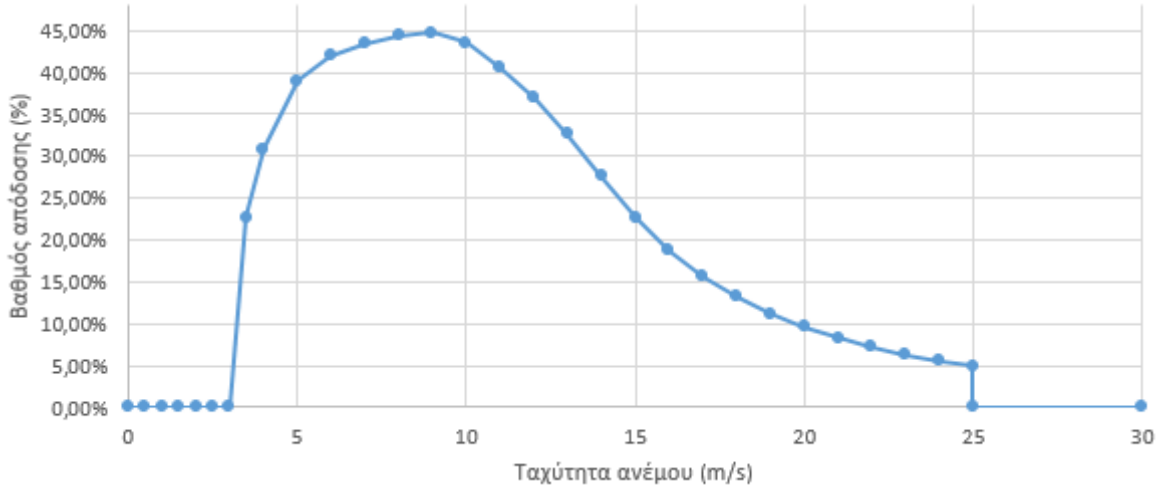


Διάγραμμα 6.7: Αιολική ισχύς και ισχύς Α/Γ ανά ταχύτητα ανέμου.

Έχοντας υπολογίσει την αιολική ισχύ (P_o) για κάθε ταχύτητα, και έχοντας την ισχύ (P) της ανεμογεννήτριας από την καμπύλη ισχύος κατασκευαστή, μπορεί να υπολογιστεί ο βαθμός απόδοσης (η) της ανεμογεννήτριας στην περιοχή για κάθε ταχύτητα του ανέμου, σύμφωνα με τη σχέση:

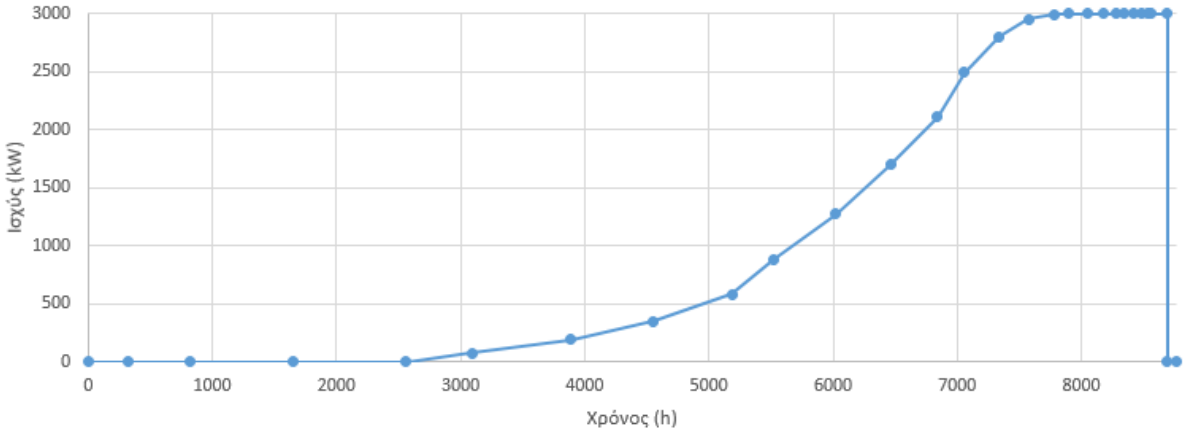
$$\eta = P/P_o,$$

και τα αποτελέσματα εμφανίζονται στο Διάγραμμα 6.8.



Διάγραμμα 6.8: Βαθμός απόδοσης Α/Γ.

Τελικά, η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από την εν λόγω ανεμογεννήτρια υπολογίζεται από το Διάγραμμα 6.9, υπολογίζοντας το εμβαδόν.

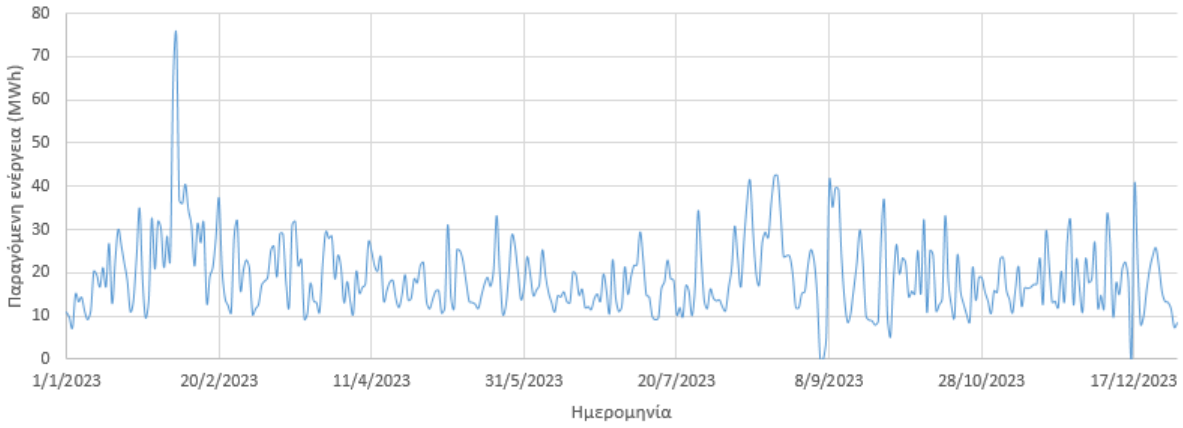


Διάγραμμα 6.9: Ηλεκτρική ισχύς – χρόνος (εμβαδόν = μέση ετήσια ηλεκτρική ενέργεια)

Σύμφωνα με τα παραπάνω, υπολογίζεται ότι η μέση ετήσια παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια μίας τέτοιας ανεμογεννήτριας είναι **8.670,4 MWh**.

Ο συντελεστής δυναμικότητας της ανεμογεννήτριας, ήτοι ο λόγος της παραγόμενης ενέργειας προς τη δυνητική ετήσια ενέργεια για συνεχή λειτουργία στη μέγιστη ισχύ, προκύπτει 0,33 που είναι εύλογος αριθμός για αιολικό έργο.

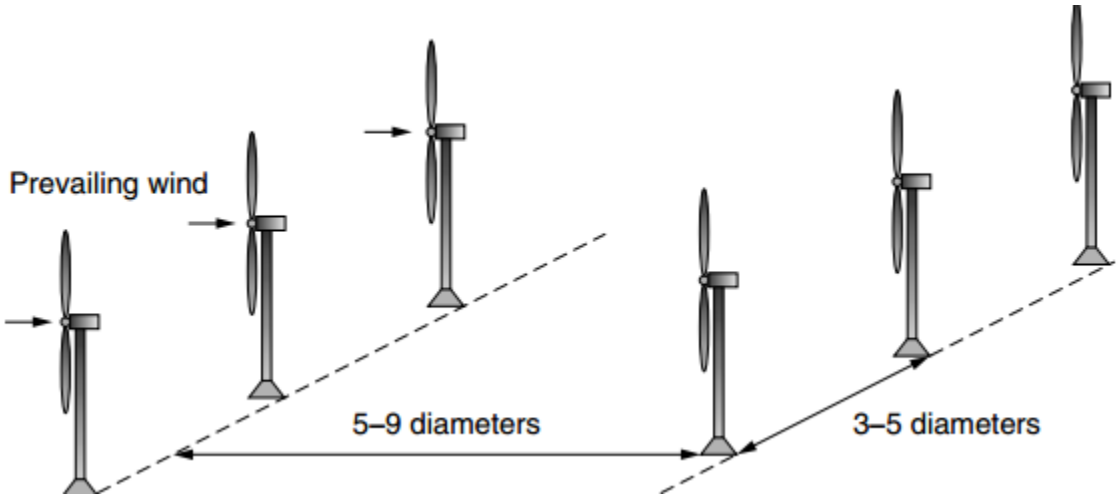
Στο Διάγραμμα 6.10 σχεδιάστηκε η μέση ημερήσια παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από την εξεταζόμενη ανεμογεννήτρια, όπου διακρίνονται οι έντονες διακυμάνσεις που χαρακτηρίζουν τη συγκεκριμένη ΑΠΕ και την απόλυτη εξάρτηση της από τις εναλλαγές της ταχύτητας του ανέμου.



Διάγραμμα 6.10: Μέση ημερήσια παραγόμενη ενέργεια της Α/Γ, συσχετισμένη με την ταχύτητα του ανέμου.

Χωροθέτηση ανεμογεννητριών

Σύμφωνα με το ανεμολόγιο της περιοχής (Διάγραμμα 4.5), η διεύθυνση των επικρατούντων ανέμων είναι βόρειο – βορειοανατολική, οπότε οι ανεμογεννήτριες τοποθετούνται σύμφωνα με αυτή τη διεύθυνση. Στην εγκατάσταση πολλαπλών ανεμογεννητριών (αιολικό πάρκο), οι αποστάσεις μεταξύ των ανεμογεννητριών είναι συγκεκριμένες για τη βέλτιστη λειτουργία τους, ώστε η μία να μην επηρεάζει την αποδοτικότητα της άλλης [88] και έχουν υπολογιστεί όπως φαίνεται στην Εικόνα 6.9.



Εικόνα 6.9: Βέλτιστες αποστάσεις μεταξύ ανεμογεννητριών [88].

Πρέπει να τονιστεί ότι η βέλτιστη τοποθέτηση ανεμογεννητριών σε οποιαδήποτε περιοχή πρέπει να προκύπτει ύστερα από εκτενείς και λεπτομερείς μελέτες, οι οποίες λαμβάνουν υπόψη όλους τους απαραίτητους κανονισμούς και περιορισμούς, που αφορούν περιβαλλοντικές αλλά και κοινωνικές επιπτώσεις [89]. Γενικότερα, ιδανικά σημεία είναι εκείνα με ισχυρούς και κατά το δυνατόν σταθερούς ανέμους, σε ικανό υψόμετρο, αλλά και σημεία που είναι εύκολα προσβάσιμα, για τη μεταφορά των ανεμογεννητριών και τη δημιουργία των απαραίτητων

υποδομών. Παράλληλα, θα πρέπει να τηρούνται οι κανόνες ελάχιστων αποστάσεων από τις κατοικημένες περιοχές, για τη μείωση της οπτικής όχλησης αλλά και της ηχορύπανσης, και γενικότερα όλες οι απαιτήσεις του νομικού πλαισίου.

Στο δήμο Μαντουδίου-Λίμνης-Αγίας Άννας αναζητούνται τέτοια σημεία, ώστε να γίνει μία εκτίμηση, για την τοποθεσία ενός αιολικού πάρκου. Φυσικά, μία τέτοια εγκατάσταση θα πρέπει να προκύψει ύστερα από αναλυτική μελέτη, αλλά για τους σκοπούς της συγκεκριμένης εργασίας γίνεται μία προσπάθεια προσέγγισης.

Έτσι, λαμβάνοντας υπόψη το αιολικό δυναμικό της περιοχής και εφαρμόζοντας την Εικόνα 4.9 στο Google Earth, και υπολογίζοντας τις αποστάσεις από τις κατοικημένες περιοχές, ένα ενδεικτικό σημείο εγκατάστασης θα μπορούσε να είναι το εξής:

- 38°41'43.58"N, 23°26'16.48"E, είναι μία τοποθεσία όπου η μέση ταχύτητα ανέμου είναι έως και 9 m/s (Εικόνα 4.9), και παράλληλα έχει ικανή απόσταση από τις πλησιέστερες κατοικημένες περιοχές (>2 km).

Εικόνα 6.10: Ενδεικτικό σημείο εγκατάστασης αιολικού πάρκου στο δήμο (Google Earth).

Με την εγκατάσταση ενός αιολικού πάρκου στην περιοχή, αποτελούμενο από 4-5 ανεμογεννήτριες τύπου VESTAS V90/3000 (όπως αναλύθηκε παραπάνω), η ετήσια παραγόμενη ενέργεια θα μπορούσε να είναι περίπου **34,7 – 43,4 GWh**.

Εκμετάλλευση των ποταμών για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

Γενικά για την υδροηλεκτρική ενέργεια

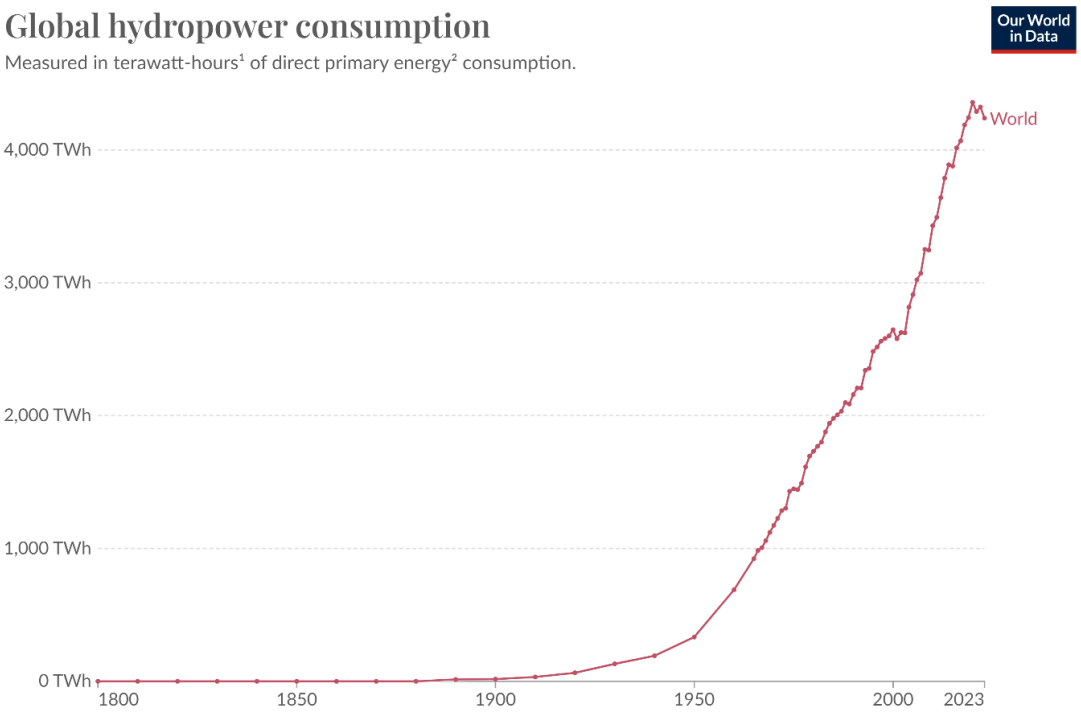
Τα ποτάμια της περιοχής, Νηλέας και Κηρέας, μπορούν να αξιοποιηθούν για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω υδροηλεκτρικών έργων (Υδροηλεκτρική ενέργεια).

Υδροηλεκτρική ενέργεια ονομάζεται η ηλεκτρική ενέργεια που προκύπτει από την εκμετάλλευση της μηχανικής ενέργειας του τρεχούμενου νερού. Συνήθως περιλαμβάνει την κατασκευή ενός φράγματος σε έναν ποταμό το οποίο δημιουργεί μία δεξαμενή ή αυξάνει το ύψος του νερού. Όταν το νερό απελευθερώνεται, ρέει μέσω ειδικών τουρμπινών, οι οποίες περιστρέφονται και παράγουν ηλεκτρική ενέργεια. Πρόκειται για μία ανανεώσιμη πηγή ενέργειας καθώς το διαθέσιμο υδραυλικό δυναμικό στον πλανήτη ανανεώνεται συνεχώς λόγω της ηλιακής ακτινοβολίας (κύκλος του νερού) [90].

Από το παρελθόν μέχρι και σήμερα, το νερό εκτός από απαραίτητη πηγή ζωής, αξιοποιείται και σε άλλες χρήσεις, όπως η παραγωγή μίας μορφής ενέργειας. Από τον 1ο αιώνα π.Χ. χρησιμοποιούταν για διάφορες εργασίες (τροχοί λείανσης, σφυριά, κ.λπ.), μέσω υδραυλικών τροχών που μετέδιδαν τη μηχανική τους ενέργεια. Επιπλέον, το υδραυλικό δυναμικό παρείχε ενέργεια σε νερόμυλους για την άλεση δημητριακών ή/και την κοπή ξυλείας (υδροπρίονα), για τη μεταφορά μεταλλεύματος και συντριμμιών από τα ορυχεία, καθώς και σε σιδηρουργεία και σε υφαντουργεία [91,92].

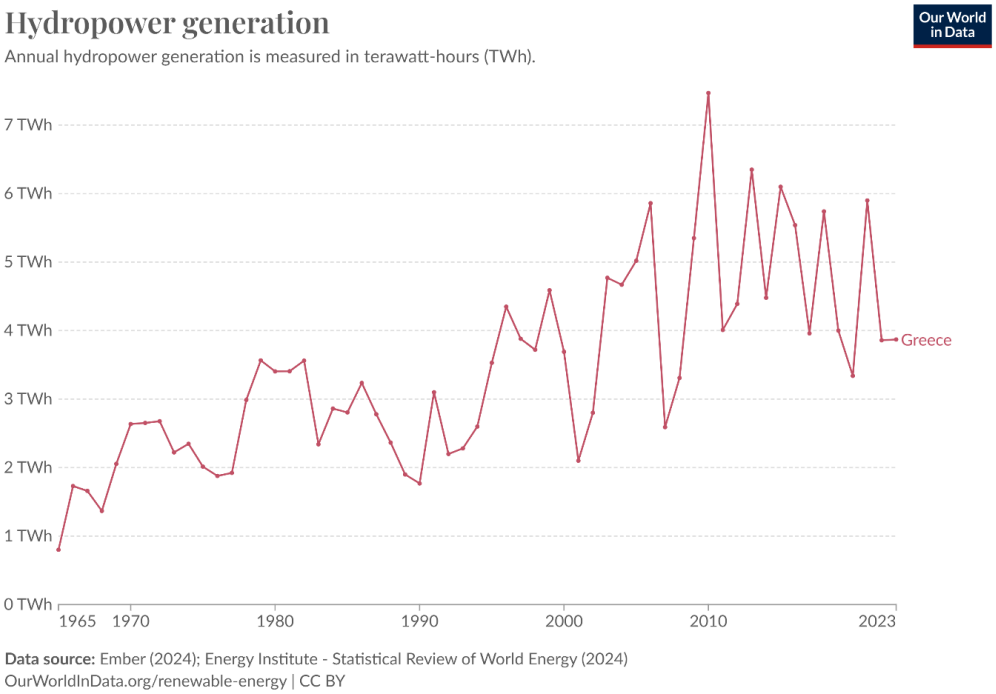
Σήμερα, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω υδροηλεκτρικών έργων θεωρείται η σημαντικότερη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, παράγοντας πάνω από το 16% της ηλεκτρικής ενέργειας παγκοσμίως και περίπου το 70% της ανανεώσιμης ενέργειας [93]. Σε σύγκριση με την αιολική ή την ηλιακή ενέργεια, οι οποίες εξαρτώνται από τις καιρικές συνθήκες, είναι η πιο ικανή μορφή παραγωγής ενέργειας, λόγω της δυνατότητάς της να παράγει αξιόπιστη και σταθερή ενέργεια βάσης. Η υδροηλεκτρική ενέργεια είναι μία από τις πιο αποδοτικές πηγές ενέργειας, με μερικά από τα συστήματα να μπορούν να μετατρέπουν έως και 90% της ενέργειας του νερού σε ηλεκτρική ενέργεια [20].

Για το 2023, η συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από υδροηλεκτρικά παγκοσμίως ήταν 4.240 TWh [94] (Διάγραμμα 6.11).



Διάγραμμα 6.11: Υδροηλεκτρική κατανάλωση παγκοσμίως 1800-2023 [94].

Στην Ελλάδα, η ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από υδροηλεκτρικά για το 2023 ήταν 3,87 TWh [94] (Διάγραμμα 6.12). Σύμφωνα με το Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ) του Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας [69], ο στόχος για την Ελλάδα είναι, έως το 2030, η παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας να έχει φτάσει τις 6,4 TWh.



Διάγραμμα 6.12: Παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα, 1965-2023 [94].

Οι πέντε κορυφαίες χώρες στον τομέα παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας [20,95] είναι η Κίνα [96] (1.245,17 TWh για το 2023), η Βραζιλία (431,28 TWh το 2023), ο Καναδάς (365,39 TWh), οι ΗΠΑ [97] (233,96 TWh) και η Ρωσία (200,6 TWh).

Εικόνα 6.11: Το φράγμα Three Gorges στον ποταμό Yangtze στην Κίνα [96].

Εικόνα 6.12: Το φράγμα Grand Coulee στον ποταμό Columbia στις ΗΠΑ [97].

Στην Ελλάδα, το μεγαλύτερο υδροηλεκτρικό έργο είναι το υδροηλεκτρικό φράγμα των Κρεμαστών, στον ποταμό Αχελώο (Εικόνα 6.13). Το φράγμα έχει ύψος 153 μέτρα και σχηματίζει τεχνητή λίμνη 30.000 στρεμμάτων [98,99]. Διαθέτει 4 εγκατεστημένες μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, συνολικής ισχύος 440 MW.

Εικόνα 6.13: Το φράγμα Κρεμαστών [99].

Οι τέσσερεις κύριοι τύποι υδροηλεκτρικών σταθμών είναι οι εξής [100]:

- Σταθμοί ροής ποταμού: αξιοποιούν τη φυσική ροή του ποταμού και δεν απαιτούν μεγάλες δεξαμενές. Είναι οι λιγότερο επιζήμιοι για τα οικοσυστήματα με ελάχιστες περιβαλλοντικές επιπτώσεις αλλά ως προς την παραγωγή ενέργειας είναι λιγότερο αξιόπιστοι λόγω της εξάρτησης από τη ροή του ποταμού (πχ περίοδοι ξηρασίας).
- Σταθμοί αποθήκευσης: Δημιουργία φραγμάτων στα ποτάμια για τη δημιουργία μεγάλων δεξαμενών αποθήκευσης του νερού. Είναι ικανοί για σταθερή παραγωγή ενέργειας λόγω της αποθήκευσης.
- Σταθμοί Αντλησιοταμίευσης: Το νερό αντλείται από μία χαμηλότερη δεξαμενή σε μία υψηλότερη κατά τη διάρκεια χαμηλής ζήτησης ενέργειας και όταν η ζήτηση είναι υψηλή το αποθηκευμένο νερό απελευθερώνεται για την παραγωγή ενέργειας.
- Σταθμοί υπεράκτιοι: Τεχνολογίες που χρησιμοποιούν παλιρροιακά ρεύματα ή τη δύναμη των κυμάτων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Είναι λιγότερο εδραιωμένοι προς το παρόν.

Παρά τα πολλαπλά οφέλη της υδροηλεκτρικής ενέργειας, αυτή μπορεί να δημιουργήσει και

αρνητικές επιπτώσεις, περιβαλλοντικές και κοινωνικές, κυρίως τα μεγάλης κλίμακας υδροηλεκτρικά έργα, όπως:

- Διαταραχή τοπικών συστημάτων: Τα φράγματα μπορεί να διαταράξουν τη μετανάστευση των ψαριών, ή/και να αλλοιώσουν την ποιότητα του νερού [101].
- Συσσώρευση ιζημάτων: Τα φράγματα παγιδεύουν ιζήματα, μειώνοντας έτσι τη χωρητικότητα των δεξαμενών και ενδεχομένως αλλοιώνοντας τα οικοσυστήματα κατάντη με την πάροδο του χρόνου [102].
- Κοινωνική εκτόπιση: Τα μεγάλης κλίμακας έργα φραγμάτων συχνά οδηγούν στη μετακίνηση των τοπικών κοινοτήτων. Για παράδειγμα, το φράγμα Three Gorges στην Κίνα (Εικόνα 6.11) εκτόπισε εκατομμύρια ανθρώπους [103].

Για την αντιμετώπιση τέτοιων επιπτώσεων έχουν πραγματοποιηθεί σημαντικές καινοτομίες τα τελευταία χρόνια, όπως νέοι σχεδιασμοί για φιλικές προς τα ψάρια τουρμπίνες, με στόχο τη μείωση των επιπτώσεων στην υδρόβια πανίδα [104]. Επίσης, τα μικρής κλίμακας έργα υδροηλεκτρικής ενέργειας, όπως micro-hydro (παραγωγή ενέργειας μικρότερη των 100 kW) έχουν ελάχιστο περιβαλλοντικό αποτύπωμα [105], ενώ μπορούν να υποστηρίξουν τοπικές γεωργικές κοινότητες με σταθερή ενεργειακή παροχή και καλύτερη διαχείριση του νερού.

Τα υδροηλεκτρικά φράγματα συχνά εξυπηρετούν πολλαπλούς σκοπούς όπως άρδευση, παροχή πόσιμου νερού και παραγωγή ενέργειας, γεγονός που τα καθιστά πολύ σημαντικά στη λειτουργία του πλέγματος νερού, ενέργειας και τροφίμων. Γενικότερα ή ένταξη υδροηλεκτρικών έργων στο πλέγμα μπορεί να ενισχύσει την αειφορία και την αυτάρκεια, ενώ παράλληλα προστατεύει τους φυσικούς πόρους.

Υπολογισμοί για την περιοχή μελέτης

Στον εξεταζόμενο δήμο Μαντουδίου-Λίμνης-Αγίας Άννας, οι δύο κύριο ποταμοί, ο Κηρέας και ο Νηλέας (Υποκεφάλαιο 4.1.2), είναι ρεύματα που μπορούν να αξιοποιηθούν για την παραγωγή ενέργειας, αν και η υδατική ροή είναι περιορισμένη σε σχέση με άλλες περιοχές της Ελλάδας. Στην τοπική κλίμακα θα μπορούσαν εφαρμοστούν μικρά υδροηλεκτρικά έργα, τα οποία είναι και φιλικά προς το περιβάλλον. Τέτοια έργα θα μπορούσαν να καλύψουν τις τοπικές ανάγκες και να συμβάλλουν στη μείωση εκμετάλλευσης ορυκτών καυσίμων, ενώ θα μπορούσαν να ενταχθούν σε ένα συνολικότερο πλαίσιο διαχείρισης του νερού στην περιοχή που θα εξυπηρετεί και την άρδευση των καλλιεργειών.

Πιο συγκεκριμένα στους δύο ποταμούς η παροχή υπολογίστηκε περίπου 1,5 m^3/s. Επίσης εκτιμάται ότι η κλίση στα τελευταία 10 km των ποταμών είναι 0,5% για τον Κηρέα και 1% για το Νηλέα, ενώ διαπιστώνεται ότι δεν υπάρχουν σημαντικές πτώσεις που θα μπορούσαν να

αξιοποιηθούν για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Οι κοίτες των ποταμών έχουν βάθος περίπου 3-4 μέτρα πριν τη συμβολή τους με το Βούδουρο. Για την εκμετάλλευση των ποταμών για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας εξετάζεται η εγκατάσταση διαδοχικών θυροφραγμάτων ύψους 2 μέτρων το καθένα. Τα θυροφράγματα αυτά θα ανοίγουν σε περιόδους πλημμύρας και θα κλείνουν όταν δεν θα υπάρχουν ή θα αναμένονται πλημμύρες.

Όταν τα θυροφράγματα είναι κλειστά, η κοίτη του κάθε ποταμού θα πλημμύριζε πίσω από κάθε πύλη, δημιουργώντας ύψος πτώσης 2 μέτρων, το οποίο μπορεί να αξιοποιηθεί μέσω ενός μικρής κλίμακας υδροηλεκτρικού έργου. Αναζητήθηκε τέτοια λύση διαδικτυακά, και επιλέχθηκε η χρήση μίας τουρμπίνας δυναμικότητας 15 kW [106]. Για τη λειτουργία μίας τέτοιας τεχνολογίας στους δύο ποταμούς Κηρέα και Νηλέα υπολογίζεται η παραγόμενη ισχύς μέσω της σχέσης:

$$P = \rho \cdot g \cdot h \cdot Q \cdot \eta, \text{ όπου:}$$

- P = ικανότητα παραγωγής ενέργειας (W)
- ρ = πυκνότητα του νερού = 1.000 kg/m^3
- g = επιτάχυνση της βαρύτητας = 9,81 m/s^2
- h = ύψος πτώσης (m) = 2 m στην περίπτωση αυτή
- Q = παροχή του νερού (m^3/s) = 1,5 m^3/s στην περίπτωση αυτή
- η = συντελεστής απόδοσης του συστήματος = εύλογη παραδοχή 75%

Άρα τελικά προκύπτει ότι η εγκατάσταση ενός τέτοιου συστήματος θα έδινε 22.072 W, ενώ η ετήσια ενέργεια υπολογίζεται από την εξής σχέση:

$$E_{year} = P \cdot T \text{ , όπου}$$

- E_{year} = Ετήσια ενέργεια (kWh)
- T = χρόνος λειτουργίας (h) = 8.760 h για ένα έτος πλήρους λειτουργίας

Τελικά η ετήσια ενέργεια είναι ίση με 193.350 kWh. Αν εγκατασταθούν **20** τέτοιες μονάδες συνολικά στους δύο ποταμούς, μπορούν να παραχθούν έως και **3,9 GWh** στο έτος.

Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από την εκμετάλλευση της ξυλείας του δάσους

Γενικά για τη βιοενέργεια

Η βιοενέργεια γενικότερα είναι μία μορφή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που προέρχεται από την αξιοποίηση υλικών βιολογικής προέλευσης (βιομάζα) για την παραγωγή καθαρής ενέργειας. Τέτοια υλικά μπορεί να είναι το ξύλο σε όλες τις μορφές, απόβλητα τροφίμων, κτηνοτροφικά απόβλητα, καλλιέργειες ειδικών φυτών, κ.α., τα οποία με κατάλληλη

επεξεργασία μπορούν να παράξουν το λεγόμενο βιοκαύσιμο το οποίο με τη σειρά του μπορεί να μετατραπεί σε βιοενέργεια (ηλεκτρική, θερμική, κινητική ενέργεια) [107].

Η παραγωγή ενέργειας από βιομάζα είναι μία μορφή ενέργειας που μπορεί να συμβάλλει ενεργά στη μείωση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, εφόσον οι πηγές της βιομάζας διαχειρίζονται βιώσιμα, με χρήση ενεργειακά αποδοτικών συστημάτων [108]. Επιπλέον, τα απόβλητα επαναχρησιμοποιούνται ως ενεργειακοί πόροι αντί να καταλήγουν ως ρύποι στο περιβάλλον, δίνοντας έτσι μία βιώσιμη λύση στο πρόβλημα της διαχείρισης αποβλήτων και προωθώντας η κυκλική οικονομία [109].

Επίσης, οι πρακτικές παραγωγής βιοενέργειας μπορούν να ενισχύσουν την τοπική οικονομία, ιδιαίτερα σε αγροτικές περιοχές όπως η περίπτωση της περιοχής μελέτης. Δημιουργούνται νέες θέσεις εργασίας ενώ παράλληλα ενισχύεται η ενεργειακή αυτονομία και μειώνεται η εξάρτηση από την εισαγωγή ορυκτών καυσίμων [110]. Ακόμη, σε κρίσεις ή καταστάσεις έκτακτης ανάγκης που μπορεί να προκύψουν - φυσικές καταστροφές ή διαταραχές στην εφοδιαστική αλυσίδα των καυσίμων – ή/και για απομακρυσμένες περιοχές με περιορισμένη πρόσβαση σε κεντρικά ενεργειακά δίκτυα, η βιοενέργεια μπορεί να προσφέρει αποτελεσματική λύση για την παροχή ενέργειας [111].

Η γενικότερη ανάγκη για στροφή προς τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, έχει προωθήσει την ανάπτυξη της βιοενέργειας, μέσω νέων τεχνολογιών, όπως οι προηγμένοι θερμοχημικοί μετασχηματισμοί – πχ αεριοποίηση, πυρόλυση - οι οποίες προσφέρουν τη δυνατότητα για πιο αποδοτική παραγωγή ενέργειας. Επιτρέπουν ουσιαστικά την ταυτόχρονη παραγωγή ηλεκτρισμού, θερμότητας αλλά και βιοκαυσίμου, για μια πιο συνολική ενεργειακή απόδοση, μειώνοντας παράλληλα τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις [112].

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από την αξιοποίηση βιομάζας δεν είναι ιδιαίτερα διαδεδομένη μέθοδος σε σύγκριση με τις υπόλοιπες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Συγκεκριμένα, για το 2023 η παραγωγή από βιομάζα ήταν 678,74 TWh παγκοσμίως, ενώ στην Ελλάδα ήταν 0,57 TWh [113]. Η εξάπλωση της βιοενέργειας θα μπορούσε να οδηγήσει στα οφέλη που αναφέρθηκαν, αλλά θα μπορούσε να έχει και αρνητικές επιπτώσεις όσο αυξάνεται η ανάγκη για ποσότητες βιομάζας, κυρίως λόγω της επέκτασης των διεθνών αλυσίδων εφοδιασμού και της μεταφοράς της σε μεγάλες αποστάσεις. Θα μπορούσε επίσης να οδηγήσει σε υπερεκμετάλλευση των δασών και επιπρόσθετα να επηρεάσει τη βιοποικιλότητα, ενώ οι καλλιέργειες βιομάζας μπορούν να έρθουν σε ανταγωνισμό με την παραγωγή τροφίμων [114].

Υπολογισμοί για την περιοχή μελέτης

Όπως υπολογίστηκε στο Υποκεφάλαιο 3.4.3, το δάσος του δήμου Μαντουδίου-Λίμνης-Αγίας Άννας, έκτασης 48.510,5 ha, περιέχει περίπου 50 τόνους κορμών, 20 τόνους κλαδιά και 10 τόνους θαμνώδη βλάστηση ανά εκτάριο, άρα συνολικά περίπου 3,4 εκατομμύρια τόνοι ξύλου. Δεδομένου ότι το στεγνό ξύλο αντιστοιχεί σε 14,5 MJ/kg [41] τότε προκύπτει ότι το δάσος μπορεί να διαθέτει 1.015 GJ/ha, άρα συνολικά περίπου 49.300.000 GJ. Όμως λόγω της πυρκαγιάς του 2021, η διαθέσιμη βιομάζα είναι το 28% της αρχικής, άρα 13.804.000 GJ (952.000 τόνοι ξύλου).

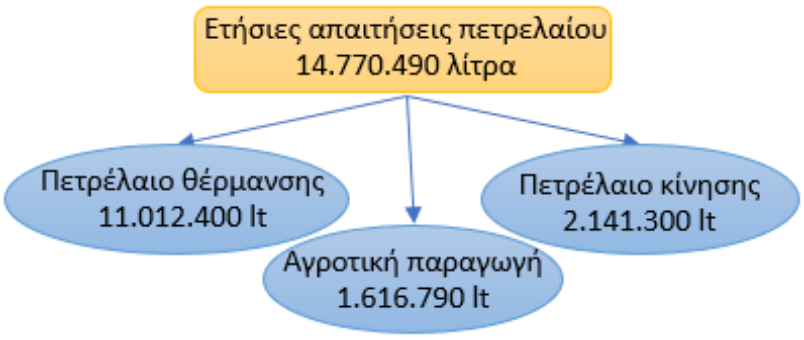
Με τη χρήση νέων τεχνολογιών μικρής κλίμακας, μπορεί η διαθέσιμη ξυλεία της περιοχής να αξιοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ένα τέτοιο μηχάνημα, δυναμικότητας 25 kW έχει τη δυνατότητα να παράγει 1 kWh για κάθε κιλό στεγνού ξύλου [115,116]. Το συγκεκριμένο μηχάνημα, λόγω των μικρών διαστάσεων του, θα ήταν ιδιαίτερα βολικό και πρακτικό για την περιοχή, θα μπορούσε να εγκατασταθεί εύκολα και θα ήταν πολύ εύχρηστο. Στην περίπτωση αυτή θα μπορούσαμε να έχουμε παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας έως και περίπου 952 GWh συνολικά από όλο το δάσος.

Αν γίνει η παραδοχή ότι εντός ενός έτους η διαθέσιμη ξυλεία του δάσους αποκλειστικά για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι 7.000 τόνοι, η παραγόμενη ενέργεια θα είναι, όπως προκύπτει από τους παραπάνω υπολογισμούς, **7 GWh/έτος**.

6.2 Αυτάρκεια σε καύσιμα

6.2.1 Απαιτήσεις σε καύσιμα στην περιοχή

Για την ποσοτικοποίηση των αναγκών σε καύσιμα της περιοχής, θα μετρηθούν τα λίτρα πετρέλαιο που απαιτούνται για όλες τις εργασίες/δραστηριότητες στο δήμο Μαντουδίου-Λίμνης-Αγίας Άννας.



Πετρέλαιο θέρμανσης

Με την παραδοχή ότι κάθε νοικοκυριό στην περιοχή αποτελείται από 4 άτομα, το σύνολο των νοικοκυριών του δήμου είναι 12.235/4 = 3.059 νοικοκυριά. Κάνοντας μία ακόμη εύλογη παραδοχή ότι κάθε νοικοκυριό καταναλώνει ετησίως 3 τόνους πετρελαίου για τη θέρμανση, προκύπτει ότι η συνολική κατανάλωση πετρελαίου θέρμανσης στην περιοχή είναι 9.177 τόνοι/έτος (=11.012.400 λίτρα πετρελαίου).

Πετρέλαιο κίνησης

Ένα σύγχρονο αυτοκίνητο καταναλώνει περίπου 7 λίτρα πετρελαίου/100 km. Θεωρώντας ότι το ¼ των κατοίκων της περιοχής (δηλαδή ένα αυτοκίνητο ανά νοικοκυριό) διανύει 10.000 km/έτος με το αυτοκίνητο προκύπτουν τα ετήσια χιλιόμετρα του δήμου 30.590.000, και συνεπώς η κατανάλωση πετρελαίου ισούται με 2.141.300 λίτρα πετρελαίου/έτος (=1.784,4 τόνοι).

Πετρέλαιο αγροτικής παραγωγής

Τα συνολικά καλλιεργούμενα εκτάρια της περιοχής είναι 6.467,16 (Πίνακας 3.3), και οι ποσότητες καυσίμων που απαιτούνται για την καλλιέργεια ενός εκταρίου είναι 250 λίτρα/ha. Άρα συνολικά απαιτούνται 1.616.790 λίτρα πετρελαίου (=1.347,3 τόνοι) στο έτος.

Συνολικά, λοιπόν υπάρχει στην περιοχή η απαίτηση για 3.758.090 λίτρα πετρελαίου κίνησης και 11.012.400 λίτρα πετρελαίου θέρμανσης.

6.2.2 Παραγωγή βιοκαυσίμων από ενεργειακές καλλιέργειες

Γενικά για τα βιοκαύσιμα

Τα βιοκαύσιμα είναι καύσιμα που παράγονται από ανανεώσιμες οργανικές ύλες, γνωστές ως βιομάζα. Χρησιμοποιούνται ως εναλλακτική πηγή ενέργειας αντί για τα ορυκτά, ώστε να μειώνονται οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα [117]. Οι βασικές κατηγορίες βιοκαυσίμων είναι οι εξής [118]:

- Βιοαιθανόλη: Παράγεται κυρίως από ζαχαρούχες ή αμυλούχες καλλιέργειες και χρησιμοποιείται κυρίως ως υποκατάστατο ή πρόσθετο στα καύσιμα μεταφοράς (βενζίνη).
- Βιοντίζελ: Παράγεται από φυτικά έλαια ή ζωικά λίπη και χρησιμοποιείται ως υποκατάστατο του παραδοσιακού πετρελαίου κίνησης.
- Βιοαέριο: Παράγεται από την αναερόβια ζύμωση οργανικών αποβλήτων, όπως αγροτικά υπολείμματα ή απορρίμματα τροφίμων. Αποτελείται κυρίως από μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα και χρησιμοποιείται για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θέρμανση.

- Βιομάζα: Κάθε είδους οργανική ύλη που μπορεί να καεί για παραγωγή ενέργειας, όπως ξύλο.

Τα λεγόμενα βιοκαύσιμα πρώτης γενιάς είναι αυτά που παράγονται από γεωργικές καλλιέργειες που χρησιμοποιούνται και για την παραγωγή τροφίμων – σ' αυτά ανήκουν η βιοαιθανόλη και το βιοντίζελ – και για το λόγο αυτό έρχονται σε ανταγωνισμό με την παραγωγή τροφίμων. Τα βιοκαύσιμα δεύτερης γενιάς παράγονται από μη βρώσιμες πρώτες ύλες, όπως αγροτικά και δασικά υπολείμματα ή απόβλητα τροφίμων – εδώ ανήκει το βιοαέριο. Επιπλέον, υπάρχουν και τα βιοκαύσιμα τρίτης γενιάς, τα οποία προέρχονται από άλγη και έχουν τη δυνατότητα να παράγουν μεγάλες ποσότητες καυσίμου με μικρό περιβαλλοντικό αποτύπωμα [119].

Επιπρόσθετα, προσαρμοσμένα βιοκαύσιμα – τα βιοκαύσιμα υψηλής ενέργειας – όπως βιοκαύσιμα που προέρχονται από λιπαρά οξέα και εστέρες, μπορούν να αντικαταστήσουν τα συμβατικά καύσιμα σε τομείς που είναι δύσκολο να χρησιμοποιηθούν τεχνολογίες βασισμένες στον ηλεκτρισμό, όπως οι αεροπορικές και οι θαλάσσιες μεταφορές [120]. Οι αερομεταφορές, ειδικά, που είναι ένας ταχέα αναπτυσσόμενος κλάδος, μπορούν με την αντικατάσταση των συμβατικών καυσίμων με βιοκαύσιμα, να μειώσουν τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου έως και πάνω από 60% [121].

Η βιομάζα σήμερα παρέχει περίπου το 13% της παγκόσμιας τελικής κατανάλωσης ενέργειας [122]. Η παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας από βιοκαύσιμα για το έτος 2023 ανήλθε στις 1.193,23 TWh, ενώ στην Ελλάδα ήταν μόλις 2,87 TWh [123].

Μερικές από τις πιο βασικές καλλιέργειες φυτών που μπορούν να αξιοποιηθούν για την παραγωγή βιοκαυσίμων είναι το ζαχαροκάλαμο, ζαχαρότευτλα, σιτάρι, κριθάρι, αραβόσιτος, ελαιοκράμβη, γλυκό σόργο, ηλιοτρόπιο και πολλά άλλα [124].

Υπολογισμοί για την περιοχή μελέτης

Όσον αφορά την εξεταζόμενη περιοχή, θα μπορούσε ένα μέρος των καλλιεργούμενων εκτάσεων να χρησιμοποιηθεί για την καλλιέργεια των εν λόγω φυτών. Ιδανικά για καλλιέργεια στην περιοχή είναι τα ηλιοτρόπια και η ελαιοκράμβη λόγω των κλιματικών συνθηκών. Η ελαιοκράμβη έχει το πλεονέκτημα ότι κατά το χειμώνα αρκείται στη βροχόπτωση για να ποτιστεί, ενώ το καλοκαίρι απαιτεί ελάχιστη άρδευση. Η απόδοση της είναι μεταξύ 120-250 kg/στρέμμα χωρίς άρδευση, ενώ με άρδευση έως και 400 kg/στρέμμα [125]. Από την άλλη τα ηλιοτρόπια μπορούν να αποδώσουν 100-250 kg/στρέμμα σε άγονα χωράφια, ενώ σε γόνιμα χωράφια 300-500 kg/στρέμμα [126]. Ένα στρέμμα ελαιοκράμβης μπορεί να παράγει κατά μέσο

όρο **60-115 λίτρα βιοντίζελ,** δηλαδή **600-1.150 λίτρα/ha**, το ίδιο και ένα στρέμμα ηλίανθων [127].

Για την παραγωγή των βιοκαυσίμων υπάρχουν μηχανήματα μικρής κλίμακας που θα μπορούσαν να εγκατασταθούν στην περιοχή [128,129,130], για την ευκολία της εγκατάστασης τους, λόγω των συμπαγών διαστάσεών τους, και την ευχρηστία τους. Με την καλλιέργεια 500 εκταρίων ελαιοκράμβης και 500 εκταρίων ηλιοτροπίων, θα ήταν δυνατό να παραχθούν έως και 600.000 – 1.150.000 λίτρα βιοντίζελ. Δηλαδή, θα μπορούσε να καλυφθεί το 16% - 31% των συνολικών απαιτήσεων πετρελαίου κίνησης, ή εναλλακτικά θα μπορούσαν να καλύψουν έως και 71% των απαιτήσεων της αγροτικής παραγωγής αποκλειστικά.

Εφόσον η παραγωγή βιοντίζελ προκύπτει αρκετά μικρή, και οι ανάγκες δεν μπορούν να καλυφθούν εξ ολοκλήρου από τις ενεργειακές καλλιέργειες, η μερική αντικατάσταση πετρελαιοκίνητων επιβατικών και αγροτικών οχημάτων με ηλεκτροκίνητα όπως σημειώθηκε προηγουμένως, θα μπορούσε να οδηγήσει στην αυτάρκεια. Έστω ότι η αντικατάσταση αυτή ήταν στο 50%, άρα η συνολική απαίτηση πετρελαίου κίνησης θα ήταν ίση με 50% * 3.758.090 λίτρα = 1.879.045 λίτρα/έτος. Άρα, η παραγωγή βιοντίζελ θα μπορούσε να καλύπτει έως και το 61% της ζήτησης.

Επιπλέον, όσον αφορά τη θέρμανση, τα λίτρα πετρελαίου που απαιτούνται είναι πάρα πολλά, οπότε η θέρμανση θα μπορούσε να καλύπτεται από την καύση της ξυλείας (τζάκια, ξυλόσομπες). Με την παραδοχή ότι κάθε νοικοκυριό απαιτεί περίπου 10 τόνους ξύλου το χρόνο για τη θέρμανση, προκύπτει ότι η συνολική απαίτηση είναι 3.059 νοικοκυριά * 10 τόνους/έτος = **30.590 τόνοι ξύλου/έτος**. Το εναπομείναν δάσος μπορεί να δώσει έως και 952.000 τόνους (σελίδα 83), και επομένως να καλύψει τις απαιτήσεις θέρμανσης.

6.3 Αποτελέσματα

Φωτοβολταϊκά συστήματα: Η υψηλή ηλιακή ακτινοβολία που δέχεται η περιοχή είναι ικανή να καλύψει ένα μέρος των ηλεκτρικών ενεργειακών αναγκών, μέσω της εγκατάστασης φωτοβολταϊκών πάρκων, τα οποία μπορούν να αξιοποιηθούν σε δημόσιους ή και ιδιωτικούς χώρους. Με την εγκατάσταση ενός πάρκου συνολικής έκτασης είκοσι (20) εκταρίων μπορούν να παραχθούν **33,3 GWh/έτος**.

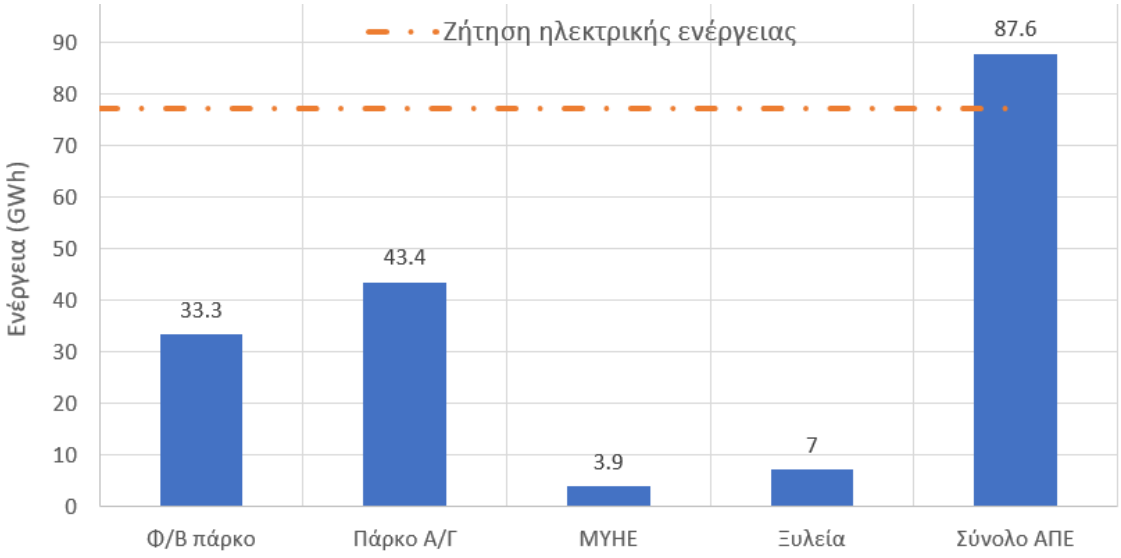
Ανεμογεννήτριες: Το αιολικό δυναμικό σε ορισμένα σημεία στην περιοχή προσφέρει μια αξιόλογη πηγή ηλεκτρικής ενέργειας. Με την εγκατάσταση ενός αιολικού πάρκου 4 ανεμογεννητριών μπορούν να παραχθούν **43,4 GWh/έτος.**

Όσον αφορά τις δύο αυτές μεθόδους, είναι απαραίτητο να μελετηθεί και να εγκατασταθεί ένα σύστημα αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας, ώστε να ρυθμιστεί η τυχαία παραγωγή της ηλιακής και αιολικής ενέργειας.

Μικρά υδροηλεκτρικά έργα: Με βάση την παροχή των ποταμών της περιοχής, μπορούν να εγκατασταθούν μικρής κλίμακας υδροηλεκτρικά έργα τα οποία μπορούν να παράγουν έως και **3,9 GWh/έτος.**

Εκμετάλλευση ξυλείας δάσους: Το δάσος της περιοχής είναι αρκετά μεγάλο και μπορεί να παρέχει την ξυλεία του, η οποία αξιοποιούμενη από ειδικά μηχανήματα μπορεί να δώσει **7 GWh/έτος,** υποθέτοντας ότι 7.000 τόνοι ξύλου υλοτομούνται για αυτόν το σκοπό.

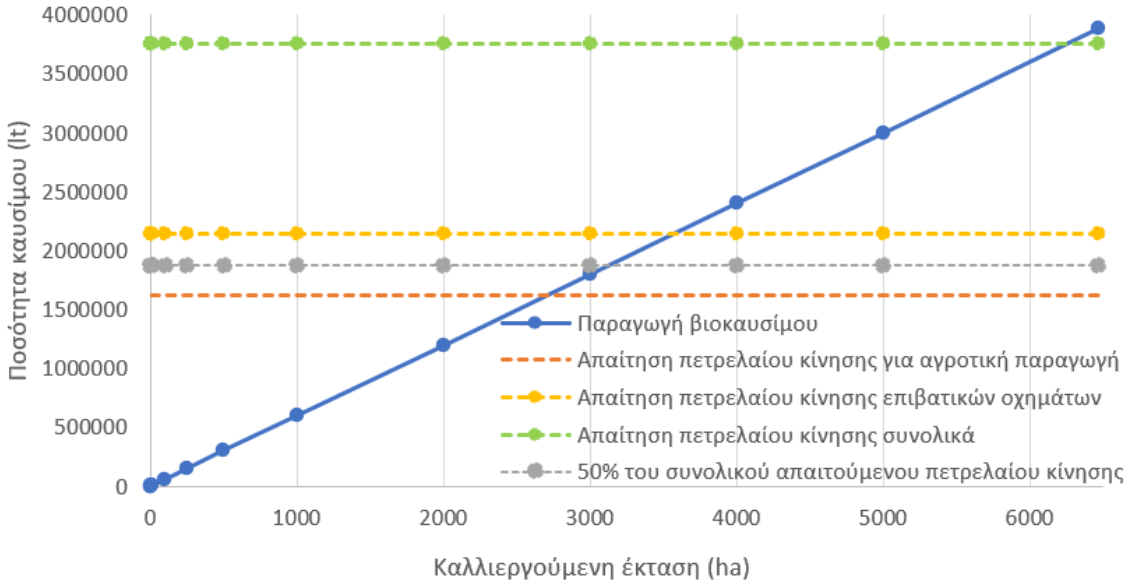
Συνεπώς, συνολικά έχουμε θεωρητική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας **87,6 GWh** μέσα σε ένα έτος από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, που δύνανται να καλύψουν τις ανάγκες των 77,5 GWh που υπολογίστηκαν, όπως φαίνεται και στο Διάγραμμα 6.13.



Διάγραμμα 6.13: Η παραγόμενη ενέργεια από κάθε ΑΠΕ, το σύνολο και η σύγκριση με τη ζήτηση.

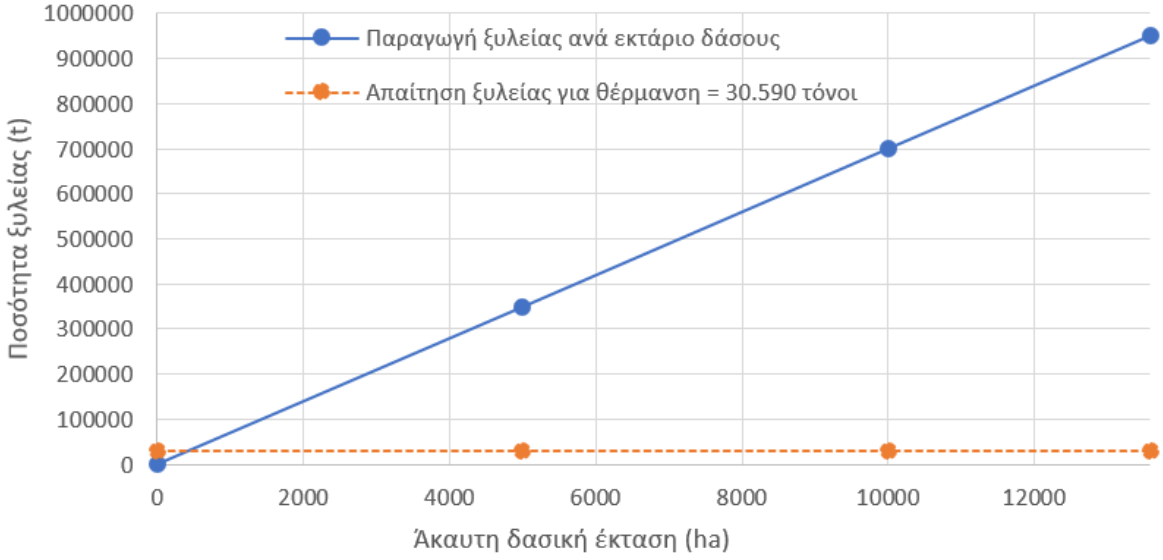
Επιπλέον, όσον αφορά την παραγωγή βιοκαυσίμων μέσω ενεργειακών καλλιεργειών, η δυνατότητα παραγωγής είναι 600 – 1150 λίτρα/ha, όπως προαναφέρθηκε, και στο Διάγραμμα 6.14, καταγράφεται η παραγωγή ανάλογα με την έκταση βιοκαλλιεργειών, καθώς και οι ανάγκες που υπολογίστηκαν. Όπως διαπιστώνεται η δυναμικότητα είναι αρκετά μικρή, αφού για να καλυφθεί εξ ολοκλήρου η απαίτηση μόνο του πετρελαίου κίνησης, απαιτείται ολόκληρη η έκταση καλλιεργειών. Όμως, θα μπορούσε να καλυφθεί ένα ικανοποιητικό ποσοστό των απαιτήσεων πετρελαίου, ώστε να μειωθεί η κατανάλωση ορυκτών καυσίμων. Αν γινόταν η αντικατάσταση των πετρελαιοκίνητων με ηλεκτροκίνητα οχήματα κατά 50%, τότε η παραγωγή

βιοντίζελ θα μπορούσε να καλύπτει πολύ μεγαλύτερο ποσοστό της ζήτησης σε πετρέλαιο κίνησης.



Διάγραμμα 6.14: Ποσότητες απαιτήσεων και παραγωγής καυσίμων.

Η απαίτηση θέρμανσης των νοικοκυριών θα μπορούσε να καλυφθεί από την εκμετάλλευση της ξυλείας του δάσους (30.590 τόνοι) αντί για το πετρέλαιο που είναι μία τεράστια απαιτούμενη ποσότητα (11.012.400 lt). Στο Διάγραμμα 6.15 φαίνεται ότι το άκαυτο δάσος μπορεί να καλύψει τις ανάγκες σε ξύλο για θέρμανση, με την υλοτόμηση 437 εκταρίων στο έτος.



Διάγραμμα 6.15: Παραγωγή ξυλείας ανά εκτάριο δάσους και απαίτηση ξυλείας για θέρμανση.

7 Συμπεράσματα

Στην εργασία αυτή έγινε προσπάθεια να αναλυθεί το αναγνωρισμένο πλέον από την επιστημονική κοινότητα πλέγμα νερού-ενέργειας και τροφίμων, ο τρόπος λειτουργίας του, με έμφαση στις συνιστώσες του νερού και της ενέργειας, με μελέτη περίπτωσης το δήμο Μαντουδίου-Λίμνης-Αγίας Άννας. Κύριος στόχος της ανάλυσης αυτής ήταν να εξεταστεί το κατά πόσο η παρούσα λειτουργία του είναι αποδοτική αλλά και βιώσιμη, και με βάση την αξιολόγηση αυτή να προταθούν λύσεις που πιθανώς θα βελτίωναν τα αποτελέσματα, εξασφαλίζοντας μακροπρόθεσμη αποδοτικότητα αλλά και τη μεγαλύτερη δυνατή αυτάρκεια του δήμου σε νερό και ενέργεια.

Μέσα από την ανάλυση της περιοχής, των βασικών χαρακτηριστικών της, τους διαθέσιμους φυσικούς της πόρους αλλά και όλες τις ανάγκες των κατοίκων και των δραστηριοτήτων της, διαπιστώθηκε ότι ο δήμος διαθέτει αρκετά σημαντικά στοιχεία που θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν για τα στοιχεία του πλέγματος, νερό και ενέργεια. Οι ανάγκες της περιοχής στο σήμερα, όπως διαπιστώθηκε, καλύπτονται από εισαγόμενους πόρους αλλά και στα ορυκτά καύσιμα, ενώ οι πολύτιμοι φυσικοί και ανανεώσιμοι πόροι της (ήλιος, άνεμος, υδραυλικό δυναμικό, βιομάζα) δεν αξιοποιούνται σχεδόν καθόλου, γεγονός που καθιστά το σύστημα ιδιαίτερα ευάλωτο σε εξωτερικούς παράγοντες και αδύνατο να εγγυηθεί μακροπρόθεσμη αποδοτικότητα.

Η περιοχή, παρόλο που είναι μεγάλη σε έκταση, είναι αρκετά αραιοκατοικημένη. Συγκεκριμένα, ο δήμος έχει συνολική επιφάνεια 57.852 ha και πυκνότητα πληθυσμού 0,2 κάτοικοι/ha. Συγκριτικά, το λεκανοπέδιο της Αθήνας όπως περιγράφεται στο Google Earth (Εικόνα 7.1), έχει επιφάνεια 34.500 ha και πληθυσμό 3.059.764 κατοίκους, άρα πυκνότητα πληθυσμού 88,7 κατοίκους/ha. Οπότε ο συνδυασμός της μεγάλης έκτασης με τον μικρό πληθυσμό, οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η περιοχή, αξιοποιώντας τα πλεονεκτήματα της και τις σύγχρονες τεχνολογίες, έχει τη δυνατότητα να καλύψει την πλειοψηφία των αναγκών της, χωρίς να εξαρτάται από εισαγόμενους πόρους.

Εικόνα 7.1: Ο δήμος Μαντουδίου-Λίμνης-Αγίας Άννας συγκριτικά με το λεκανοπέδιο της Αθήνας.

Ποσοτικοποιώντας το σύνολο των αναγκών της περιοχής σε νερό, καύσιμα, ηλεκτρική ενέργεια, έγινε η αναζήτηση τεχνικών λύσεων οι οποίες θα βασίζονται σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ώστε οι ανάγκες αυτές να καλύπτονται σε όσο το δυνατόν μεγαλύτερο ποσοστό.

Βασικά ευρήματα

Ηλεκτρική ενέργεια

Δεδομένου ότι οι συνολικές ανάγκες σε ηλεκτρική ενέργεια της περιοχής είναι 77,5 GWh/έτος, υπολογίζεται ότι η ζήτηση θα μπορούσε να καλυφθεί εξ ολοκλήρου από την εγκατάσταση όλων των εξεταζόμενων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπου η καθεμία θα συμβάλλει σε διαφορετικό ποσοστό.

Συγκεκριμένα, ένα φωτοβολταϊκό πάρκο συνολικής έκτασης είκοσι (20) εκταρίων – το οποίο θεωρείται ιδιαίτερα μικρό - θα μπορούσε να παρέχει περίπου το 43% της ζήτησης.

Ένα αιολικό πάρκο πέντε (5) κατάλληλων ανεμογεννητριών, θα μπορούσε να αποδώσει έως και το 56% των απαιτήσεων ηλεκτρικής ενέργειας.

Τα μικρά υδροηλεκτρικά έργα που επιλέχθηκαν για εγκατάσταση στους δύο ποταμούς θα μπορούσαν να δώσουν το 5% της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας.

Τέλος η εκμετάλλευση 7.000 τόνων της ξυλείας του δάσους για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας θα μπορούσε να καλύψει περίπου το 9% της συνολικής ζήτησης.

Καύσιμα

Η δυνατότητα παραγωγής βιοκαυσίμων είναι αρκετά περιορισμένη σε σχέση με τις απαιτήσεις της περιοχής, λόγω της έκτασης των καλλιεργούμενων εκτάσεων. Οι εκτάσεις αυτές χρησιμοποιούνται για την παραγωγή τροφίμων, και η υπερεκμετάλλευση τους για βιοκαλλιέργειες θα είχε πολύ αρνητικό αντίκτυπο στο δήμο, αφού βασίζεται στην αγροτική παραγωγή. Παρ' όλα αυτά ακόμα και μία μικρή αξιοποίηση των βιοκαυσίμων ως συμπλήρωμα των ορυκτών, θα μπορούσε να έχει θετικά αποτελέσματα, μειώνοντας την απόλυτη εξάρτηση στα εισαγόμενα καύσιμα, αλλά και τις επιβλαβείς περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Επιπλέον, με τη χρήση ηλεκτροκίνητων οχημάτων αντί για πετρελαιοκίνητα θα μειωνόταν η απαίτηση, κι έτσι ο δήμος θα μπορούσε να φτάσει σε ακόμη μεγαλύτερη αυτάρκεια σε καύσιμα.

Προκλήσεις και περιορισμοί

Παρά τα πολλαπλά οφέλη εφαρμογής τέτοιων πρακτικών, υπάρχουν και κάποιο σοβαροί περιορισμοί που θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη. Αρχικά, ο τοπικός πληθυσμός και οι κοινωνικές αντιλήψεις ενδέχεται να παρουσιάζουν αντίσταση σε νέες τεχνολογίες, όπως οι ανεμογεννήτριες ή τα φωτοβολταϊκά πάρκα, ειδικά σε θέματα που αφορούν την αισθητική και τη χρήση γης. Τέτοιες εγκαταστάσεις καταλαμβάνουν αρκετή από τη γη και επομένως έρχονται σε ανταγωνισμό με τις καλλιέργειες τροφίμων, που είναι από τις πιο σημαντικές δραστηριότητες της εξεταζόμενης περιοχής. Επιπλέον, η αρχική χρηματοδότηση για την υλοποίηση των έργων ανανεώσιμης ενέργειας ενδέχεται να αποτελέσει εμπόδιο, καθώς απαιτείται σημαντικό αρχικό κεφάλαιο και πρόκειται για μεγάλες επενδύσεις. Τέλος, η κοινωνική αποδοχή των νέων τεχνολογιών και έργων, όπως οι ανεμογεννήτριες, μπορεί να αποτελέσει πρόκληση, κυρίως όσον αφορά τον αντίκτυπο στο τοπικό τοπίο και τις πιθανές αντιδράσεις από κατοίκους.

Προτάσεις για μελλοντική έρευνα και δράση

Βάσει των ευρημάτων και των περιορισμών της παρούσας μελέτης, είναι σημαντικό να διεξαχθούν περαιτέρω έρευνες για την ανάπτυξη λεπτομερέστερων και εξειδικευμένων λύσεων για την περιοχή. Η συλλογή πιο ακριβών δεδομένων σχετικά με την υδατική κατανάλωση και τις ανάγκες ενέργειας του Δήμου θα επιτρέψει την αποτελεσματικότερη προσαρμογή των προτεινόμενων λύσεων. Επίσης, η ενσωμάτωση νέων τεχνολογιών, όπως τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας και η καλύτερη διαχείριση των υδάτων μέσω ανακυκλώσιμων δικτύων, θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε ακόμη πιο βιώσιμες λύσεις. Τέλος, προτείνεται η

ενίσχυση της ευαισθητοποίησης του τοπικού πληθυσμού για τα οφέλη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, κάτι που θα βοηθήσει στην αποδοχή και την εφαρμογή των νέων τεχνολογιών.

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι τα προτεινόμενα εργαλεία για την επίτευξη αυτάρκειας, όπως οι ανεμογεννήτριες, τα φωτοβολταϊκά συστήματα ή τα μηχανήματα παραγωγής ρεύματος από την ξυλεία και παραγωγής βιοκαυσίμων, απαιτούν και τα ίδια ενέργεια και πόρους για την εγκατάσταση, τη συντήρηση και τη λειτουργία τους. Αυτοί οι παράγοντες, αν και κρίσιμοι για την πλήρη αξιολόγηση τους, δεν υπολογίστηκαν εκτενώς στην παρούσα εργασία. Η κατασκευή και η συντήρηση των συστημάτων αυτών ενδέχεται να επιβαρύνουν την περιοχή με επιπλέον ενεργειακό και περιβαλλοντικό κόστος, κάτι που απαιτεί περαιτέρω διερεύνηση σε μελλοντική μελέτη.

Ένα ακόμα σημαντικό ζήτημα που χρήζει προσοχής είναι ότι η ενέργεια που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές, όπως οι ανεμογεννήτριες και τα φωτοβολταϊκά συστήματα, είναι στοχαστική (τυχαία), με αποτέλεσμα να μην παρέχει σταθερή και προβλέψιμη ενέργεια. Αυτή η αστάθεια μπορεί να δημιουργήσει προκλήσεις στη διαχείριση της ενεργειακής προσφοράς και ζήτησης. Για την αποτελεσματική αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, είναι κρίσιμο να υπάρξει ένα σύστημα ρύθμισης και αποθήκευσης ενέργειας, όπως οι μπαταρίες, οι οποίες μπορούν να αποθηκεύουν την παραγόμενη ενέργεια κατά τις περιόδους υψηλής παραγωγής και να την απελευθερώνουν όταν η ζήτηση είναι υψηλή. Αυτή η προσέγγιση θα συμβάλει στη σταθεροποίηση της ενεργειακής τροφοδοσίας και θα ενισχύσει την αξιοπιστία των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην περιοχή.

Ένα ακόμη στοιχείο που θα ήταν ιδιαίτερα χρήσιμο να διερευνηθεί μελλοντικά, είναι η παραγωγή λιπασμάτων, μιας και πρόκειται για τη μεγαλύτερη ενεργειακή απαίτηση της αγροτικής παραγωγής. Με την εφαρμογή ενός ολοκληρωμένου συστήματος διαχείρισης των βιοαποβλήτων του δήμου – δίκτυο συλλογής βιοαποβλήτων, εγκατάσταση κομποστοποίησης - η περιοχή θα μπορούσε να παράγει βιολιπάσματα για τις καλλιέργειες, μειώνοντας την εισαγωγή λιπασμάτων από άλλες αγορές, ενώ παράλληλα τα απορρίμματα αξιοποιούνται και δεν καταλήγουν να ρυπαίνουν επιπλέον το περιβάλλον.

Συνολικά, η παρούσα μελέτη κατέδειξε τη δυνατότητα του Δήμου Μαντουδίου-Λίμνης-Αγίας Άννας να καταστεί ενεργειακά και υδατικά αυτάρκης, με βάση τις φυσικές δυνατότητες της περιοχής και την αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Οι λύσεις που προτάθηκαν είναι ρεαλιστικές και εφικτές, αλλά απαιτούν περαιτέρω μελέτη, προσεκτικό σχεδιασμό και

την ενεργή συμμετοχή της τοπικής κοινότητας. Η επίτευξη αυτάρκειας σε τοπικό επίπεδο αποτελεί ένα κρίσιμο βήμα προς τη βιώσιμη ανάπτυξη, όχι μόνο για την εν λόγω περιοχή, αλλά και για πολλές ακόμη που αντιμετωπίζουν παρόμοιες προκλήσεις.

8 Βιβλιογραφικές αναφορές

[1] Food and Agriculture Organization of United Nations (FAO), The Water-Energy-Food Nexus: A new approach in support of food security and sustainable agriculture. Available online: https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/86fe97cc-4a38-4511-a37f-8eb8ea8fe941/content (accessed on 30 July 2024).

[2] Hoff, H. (2011). Understanding the Nexus. Hoff, H. (2011). Understanding the Nexus. Background Paper for the Bonn2011 Conference: The Water, Energy and Food Security Nexus. Stockholm Environment Institute, Stockholm

[3] The Bush School, The Water-Energy-Food Nexus. Available online: https://bush.tamu.edu/istpp/nexus/ (accessed on 15 September 2024).

[4] Sargentis, G. F., & Koutsoyiannis, D. (2023). The function of money in water–energy–food and land Nexus. *Land*, *12*(3), 669.

[5] Unicef, Water, sanitation, and hygiene. Available online: https://www.unicef.org/water-sanitation-and-hygiene-wash (accessed on 5 August 2024).

[6] Unesco, UN World Water Development Report 2023. Available online: https://www.unesco.org/reports/wwdr/2023/en (accessed on 30 July 2024).

[7] USGS, Water Use in the United States. Available online: https://www.usgs.gov/mission-areas/water-resources/science/water-use-united-states#overview (accessed on 1 August 2024).

[8] Pan, S. Y., Snyder, S. W., Packman, A. I., Lin, Y. J., & Chiang, P. C. (2018). Cooling water use in thermoelectric power generation and its associated challenges for addressing water-energy nexus. *Water-Energy Nexus*, *1*(1), 26-41.

[9] Action Against Hunger, World Hunger Facts. Available online: https://www.actionagainsthunger.org/the-hunger-crisis/world-hunger-facts/ (accessed on 28 September 2024)

[10] Food and Agriculture Organization of United Nations (FAO), The State of Food and Agriculture 2015 - Social protection and agriculture: breaking the cycle of rural poverty. Available online: https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/4704f05c-5ce0-40d0-b568-27be1de6a227/content (accessed on 1 August 2024).

[11] Ringler, C., Bhaduri, A., & Lawford, R. (2013). "The Nexus Across Water, Energy, Land and Food (WELF): Potential for Improved Resource Use Efficiency?" *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 5(6), 617-624.

[12] Sovacool, B.K.(2016) The history and politics of energy transitions: Comparing contested views and finding common ground. WIDER Working Paper 2016/81. Helsinki: UNU-WIDER. https://doi.org/10.35188/UNU-WIDER/2016/124-6

[13] Sargentis G.-F.; Mamassis N.; Kitsou O.; Koutsoyiannis D. (2024) The role of technology in the water–energy–food nexus. A case study: Kerinthos, North Euboea, Greece. Front. Water. 6:1343344. https://doi.org/10.3389/frwa.2024.1343344

[14] Al-Saidi, M., & Elagib, N. A. (2017). Towards understanding the integrative approach of the water, energy and food nexus. *Science of the Total Environment*, *574*, 1131-1139.

[15] IEA, World Energy Outlook 2022. Available online: https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022 (accessed on 1 August 2024).

[16] Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), The future of food and agriculture: Trends and Challenges. Available online: https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/2e90c833-8e84-46f2-a675-ea2d7afa4e24/content (accessed on 2 August 2024).

[17] IRENA, Renewable Energy in the Water, Energy & Food Nexus. Available online: https://www.irena.org/publications/2015/Jan/Renewable-Energy-in-the-Water-Energy--Food-Nexus (accessed on 1 August 2024).

[18] Deininger, K., & Byerlee, D. (2011). Rising global interest in farmland: Can it yield sustainable and equitable benefits?. World Bank Publications.

[19] Food and Agriculture Organization of the United Nations, Examples of Positive Bioenergy and Water Relationships. Available online: https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/93337d34-6304-4e60-8822-3822e01a976a/content (accessed on 2 August 2024).

[20] IHA, World Hydropower Outlook 2024. Available online: https://www.hydropower.org/publications/2024-world-hydropower-outlook (accessed on 3 August 2024).

[21] Sargentis, G. F., & Kougkia, M. (2024). Vulnerabilities of water-energy and food nexus in cities of digital era. *Insight-Civil Engineering*, *7*(1), 608-608.

[22] Mortensen, D. A., & Smith, R. G. (2020). Confronting barriers to cropping system diversification. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, *4*, 564197.

[23] Βικιπαίδεια, Εύβοια. Διαθέσιμο online: https://el.wikipedia.org/wiki/Εύβοια (ανάκτηση 3 Αυγούστου 2024).

[24] Google Earth Pro, Version 7.3.3.7786; Map Publisher: Washington, DC, USA, 2021. (accessed on 12 August 2024).

[25] MOUNTAINS GREECE, Καντήλι. Διαθέσιμο online: https://mountainsgreece.com/kantili/ (ανάκτηση 25 Αυγούστου 2024).

[26] EVIMA, Ξηρόν Όρος: Το υψηλότερο βουνό στη Βόρεια Εύβοια. Διαθέσιμο online https://www.evima.gr/apopseis/xiron-oros-to-ypsilotero-vouno-stin-voreia-evvoia-eikones/ (ανάκτηση 25 Αυγούστου 2024).

[27] Dimitriadis, P.; Kougia, M.; Sargentis, G.-F.; Iliopoulou, T.; Mamasis, N.; Koutsoyiannis, D.Violent land terrain alterations and their impacts on water management; Case study: North Euboea, EGU General Assembly 2023, Vienna, Austria, 24–28 Apr 2023, EGU23-13318, https://doi.org/10.5194/egusphere-egu23-13318, 2023.

[28] Sargentis, G.-F.; Ioannidis, R.; Bairaktaris, I.; Frangedaki, E.; Dimitriadis, P.; Iliopoulou, T.; Koutsoyiannis, D.; Lagaros, N.D. Wildfires vs. Sustainable Forest Partitioning. Conservation 2022, 2, 195-218. https://doi.org/10.3390/conservation2010013

[29] Moraiti K.; Sigourou S.; Dimitriadis P.; Ioannidis R.; Benekos I.; Iliopoulou T.; Kitsou O.; Mamassis N.; Koutsoyiannis D.; Sargentis G.-F. Documenting the Changing Floodplain of Nileas Basin in North Euboea (Greece) before and after Storms Daniel and Elias. Rural and Regional Development. 2024; 2(3):10013. https://doi.org/10.35534/rrd.2024.10013

[30] Βικιπαίδεια, Δήμος Μαντουδίου–Λίμνης–Αγίας Άννας. Διαθέσιμο online: https://el.wikipedia.org/wiki/Δήμος_Μαντουδίου-Λίμνης-Αγίας_Άννας (ανάκτηση 13 Αυγούστου 2024).

[31] Ελληνική Στατιστική Αρχή, Αποτελέσματα Απογραφής Πληθυσμού - Κατοικιών 2021. Διαθέσιμο online: https://www.statistics.gr/2021-census-res-pop-results (ανάκτηση 13 Αυγούστου 2024).

[32] GEODATA, Πίνακες χρήσεων γης. Διαθέσιμο online: https://geodata.gov.gr/dataset/khreseis-ges-1999-2000/resource/6a61ded3-b5d9-4653-8b1a-ccd6c411d6ed (ανάκτηση 13 Αυγούστου 2024).

[33] Copernicus Land Monitoring Service (CLMS), CORINE Land Cover 2012 (vector/raster 100 m), Europe, 6-yearly. Διαθέσιμο online: https://land.copernicus.eu/en/products/corine-land-cover/clc-2012 (ανάκτηση 16 Αυγούστου 2024).

[34] Βικιπαίδεια, Τζάουλ (μονάδα μέτρησης). Διαθέσιμο online: https://el.wikipedia.org/wiki/Τζάουλ_(μονάδα_μέτρησης) (ανάκτηση 18 Αυγούστου 2024).

[35] Malamos, N. Estimation of irrigation water needs for the restoration of the North Evia olive grooves after the August 2021 forest fire: The case of Agia Anna. 12th National Congress of the Hellenic Society of Agricultural Engineers.

[36] IEA, Ammonia Technology Roadmap. Available online: https://iea.blob.core.windows.net/assets/6ee41bb9-8e81-4b64-8701-2acc064ff6e4/AmmoniaTechnologyRoadmap.pdf (accessed August 11, 2024).

[37] Kirkmalis, G., Sargentis, G.-F., Ioannidis, R., Markantonis, D., Iliopoulou, T., Dimitriadis, P., et al. (2023) Fertilizers as batteries and regulators in the global water-energy-food equilibrium. EGU General Assembly 2023, Vienna, Austria, April 24–28, 2023, EGU23-11915. doi: 10.5194/egusphere-egu23-11915.

[38] Fertilizers Europe (n.d.). Harvesting energy with fertilizers. Available online: https://www.fertilizerseurope.com/wp-content/uploads/2019/08/FertilizersEurope-Harvesting_energy-V_2.pdf (accessed August 11, 2024).

[39] Τα δάση της Ελλάδας, Δάση Βόρειας Εύβοιας. Διαθέσμο online: https://www.greekforests.gr/component/forestlife/?view=forest&id=53 (ανάκτηση 17 Αυγούστου 2024).

[40] iBuilders, Πόσο καιρό μεγαλώνει ένα πεύκο; Διαθέσιμο online: https://ibuilders-el.techinfus.com/sosna/skolko-rastet/ (ανάκτηση 17 Αυγούστου 2024).

[41] ELMETAL, Ξύλο ως καύσιμο, Θερμαντική ικανότητα ξύλου. Διαθέσιμο online: http://www.elmetalproducts.gr/el/index.php/2013-11-07-16-47-23/2013-11-07-16-48-26/87-thermansi#%CE%A3%CE%A4%CE%91%CE%94%CE%99%CE%91%20%CE%9A%CE%91%CE%A5%CE

%A3%CE%97%CE%A3%20%CE%A4%CE%9F%CE%A5%20%CE%9E%CE%A5%CE%9B%CE%9F%CE%A5 (ανάκτηση 24 Αυγούστου 2024)

[42] Βικιπαίδεια, Κλίμα της Ελλάδας. Διαθέσιμο online: https://el.wikipedia.org/wiki/Κλίμα_της_Ελλάδας (ανάκτηση 16 Αυγούστου 2024)

[43] Meteoblue, Μέσος όρος θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων. Διαθέσιμο online: https://www.meteoblue.com/el/καιρός/historyclimate/climatemodelled/Προκόπιον_Ελλάδα_254584 (ανάκτηση 10 Αυγούστου 2024).

[44] Koutsoyiannis, D., Iliopoulou, T., Koukouvinos, A., Malamos, N., Mamassis, N., Dimitriadis, P., et al. (2023a). Technical Report, Production of maps with updated parameters of the ombrian curves at country level (impementation of the EU Directive 2007/60/EC in Greece). Available at: https://www.itia.ntua.gr/en/docinfo/2273/

[45] Meteoblue, Μηνιαίος αριθμός ημερών, ηλιόλουστες, νεφελώδεις, νεφοσκεπείς, και ημέρες βροχόπτωσης. Διαθέσιμο online: https://www.meteoblue.com/el/%CE%BA%CE%B1%CE%B9%CF%81%CF%8C%CF%82/historyclimate/climatemodelled/%ce%a0%cf%81%ce%bf%ce%ba%cf%8c%cf%80%ce%b9%ce%bf%ce%bd_%ce%95%ce%bb%ce%bb%ce%ac%ce%b4%ce%b1_254584 (ανάκτηση 10 Αυγούστου 2024).

[46] Εργαστήριο Φυσικής της Ατμόσφαιρας του Πανεπιστημίου Πατρών, Κλιματολογικοί χάρτες ηλιακής ενέργειας. Διαθέσιμο online: https://www.atmosphere-upatras.gr/solarmaps/Euboea, (ανάκτηση 3 Αυγούστου 2024)

[47] Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ), Χάρτες Αιολικού Δυναμικού. Διαθέσιμο online: http://www.cres.gr/kape/images/maps/img_pre2.htm (ανάκτηση 3 Αυγούστου 2024)

[48] Meteoblue, Ταχύτητα ανέμου & Ανεμολόγιο. Διαθέσιμο online: https://www.meteoblue.com/el/%CE%BA%CE%B1%CE%B9%CF%81%CF%8C%CF%82/historyclimate/climatemodelled/%ce%a0%cf%81%ce%bf%ce%ba%cf%8c%cf%80%ce%b9%ce%bf%ce%bd_%ce%95%ce%bb%ce%bb%ce%ac%ce%b4%ce%b1_254584 (ανάκτηση 10 Αυγούστου 2024).

[49] G.-F. Sargentis, and N. Mamassis, Water collection in houses and complexes– Guidelines for the design in small scales, 75–80, 2021.

[50] Sargentis, G.F.; Lagaros, N.D.; Cascella, G.L.; Koutsoyiannis, D. Threats in Water–Energy–Food–Land Nexus by the 2022 Military and Economic Conflict. Land 2022, 11, 1569. https://doi.org/10.3390/land11091569

[51] U.S. Energy Information Administration (2023); Energy Institute - Statistical Review of World Energy (2024) – with major processing by Our World in Data. "Primary energy consumption" [dataset]. U.S. Energy Information Administration, "International Energy Data"; Energy Institute, "Statistical Review of World Energy" [original data], Available online: https://ourworldindata.org/energy-production-consumption (Accessed 16 August 2024).

[52] Ελληνική Στατιστική Αρχή, Δημογραφικά χαρακτηριστικά 2021. Διαθέσιμο online: https://www.statistics.gr/el/statistics/-/publication/SAM03/- (ανάκτηση 16 Αυγούστου 2024).

[53] Ember (2024) – with major processing by Our World in Data. "Electricity demand – Ember and Energy Institute" [dataset]. Ember, "Yearly Electricity Data" [original data]. Available online: https://ourworldindata.org/grapher/electricity-demand (Retrieved 16 August 2024).

[54] Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, Εξοικονόμηση ενέργειας σε αντλίες νερού. Διαθέσιμο online: http://www.cres.gr/motorchallenge/Praktika/pdf_synedriou/Pump_Systems.pdf (ανάκτηση 3 Αυγούστου 2024).

[55] New Holland, T4 Electric Power. Available online: https://agriculture.newholland.com/en-us/nar/products/tractors-telehandlers/t4-electric-power (accessed on 4 August 2024).

[56] Eurostat, Passenger mobility statistics. Available online: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Passenger_mobility_statistics (accessed on 4 August 2024).

[57] Odyssee Mure, Distance travelled by car. Available online: https://www.odyssee-mure.eu/publications/efficiency-by-sector/transport/distance-travelled-by-car.html (accessed on 4 August 2024).

[58] Electric Vehicle Database, Energy consumprion of full electric vehicles, Available online: https://ev-database.org/cheatsheet/energy-consumption-electric-car (accessed on 4 August 2024).

[59] Häberlin, H. (2012). *Photovoltaics: system design and practice*. John Wiley & Sons.

[60] Μαμάσης Ν. και Ευστρατιάδης Α., Ηλιακή Ενέργεια, Σημειώσεις μαθήματος: Εισαγωγή στην Ενεργειακή Τεχνολογία, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Ακαδημαϊκό έτος 2023-2024

[61] Βικιπαίδεια, Φωτοβολταϊκά. Διαθέσιμο online: https://el.wikipedia.org/wiki/Φωτοβολταϊκά (ανάκτηση 13 Αυγούστου 2024).

[62] Wikipedia, Solar Panel. Available online: https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_panel (ανάκτηση 13 Αυγούστου 2024).

[63] Zeman, M. (2012). Photovoltaic systems. *Solar cells*, *9*.

[64] Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ), Φωτοβολταϊκά Συστήματα, Διαθέσιμο online: http://www.cres.gr/kape/energeia_politis/energeia_politis_photovol.htm (ανάκτηση 14 Αυγούστου 2024).

[65] Hernández-Callejo, L., Gallardo-Saavedra, S., & Alonso-Gómez, V. (2019). A review of photovoltaic systems: Design, operation and maintenance. *Solar Energy*, *188*, 426-440.

[66] Kumar, K., Ansari, M. A., Varshney, S. K., Rana, V., & Tyagi, A. (2018). An efficient technique for power management in hybrid solar PV and fuel cell system. *Smart Science*, *6*(3), 234-244.

[67] Sargentis, G. F., Siamparina, P., Sakki, G. K., Efstratiadis, A., Chiotinis, M., & Koutsoyiannis, D. (2021). Agricultural land or photovoltaic parks? The water–energy–food nexus and land development perspectives in the Thessaly plain, Greece. *Sustainability*, *13*(16), 8935.

[68] Ember (2024); Energy Institute - Statistical Review of World Energy (2024) – with major processing by Our World in Data. “Electricity generation from solar power – Ember and Energy Institute” [dataset]. Ember, “Yearly Electricity Data”; Energy Institute, “Statistical Review of World Energy” [original data].

[69] Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ). Διαθέσιμο online: http://www.opengov.gr/minenv/?p=10156 (ανάκτηση 9 Αυγούστου 2024).

[70] Μηχανή του χρόνου, Το μεγαλύτερο φωτοβολταϊκό πάρκο στην Ελλάδα. Διαθέσιμο online:

https://www.mixanitouxronou.gr/deite-apo-psila-to-megalytero-fotovoltaiko-parko-stin-ellada-oi-ananeosimes-piges-energeias-kai-oi-antidraseis-ton-katoikon-drone/ (ανάκτηση 27 Αυγούστου 2024).

[71] Ecozen, ΕΛΠΕ: Το μεγαλύτερο φωτοβολταϊκό πάρκο στην Κοζάνη. Διαθέσιμο online: https://ecozen.gr/2020/02/elpe-to-megalytero-fotovoltaiko-parko-stin-kozani/ (ανάκτηση 27 Αυγούστου 2024).

[72] Mahela, O. P., & Shaik, A. G. (2017). Comprehensive overview of grid interfaced solar photovoltaic systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *68*, 316-332.

[73] Solar Design Tool, Schott Solar Poly 217W Manufacturer Data Sheet. Available online: http://www.solardesigntool.com/components/module-panel-solar/Schott-Solar/248/Poly-217/specification-data-sheet.html (accessed on 9August 2024).

[74] Βικιπαίδεια, Αιολική Ενέργεια, Available online: https://el.wikipedia.org/wiki/Αιολική_ενέργεια (ανάκτηση 3 Αυγούστου 2024).

[75] Βικιπαίδεια, Ανεμογεννήτρια. Διαθέσιμο online: https://el.wikipedia.org/Ανεμογεννήτρια (ανάκτηση 3 Αυγούστου 2024).

[76] Hansen, M. (2015). *Aerodynamics of wind turbines*. Routledge.

[77] Burton, T., Jenkins, N., Sharpe, D., & Bossanyi, E. (2011). *Wind energy handbook*. John Wiley & Sons.

[78] Şahin, A. D. (2004). Progress and recent trends in wind energy. *Progress in energy and combustion science*, *30*(5), 501-543.

[79] Gipe, P. (1995). *Wind energy comes of age* (Vol. 4). John Wiley & Sons.

[80] Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ), Ανεμογεννήτριες. Available online: http://www.cres.gr/kape/energeia_politis/energeia_politis_windmill.htm (ανάκτηση 4 Αυγούστου 2024).

[81] Μαμάσης Ν., Ευστρατιάδης Α., Αιολική Ενέργεια, Σημειώσεις μαθήματος: Εισαγωγή στην Ενεργειακή Τεχνολογία, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Ακαδημαϊκό έτος 2023-2024.

[82] Ember (2024) – with major processing by Our World in Data. “Electricity generation from bioenergy – Ember and Energy Institute” [dataset]. Ember, “Yearly Electricity Data” [original data].

[83] Principia Energy, Συστοιχία Αιολικών Πάρκων Καφηρέα. Διαθέσιμο online: https://principia-energy.com/plants/aioliko-ergo-kafirea (ανάκτηση 29 Αυγούστου 2024)

[84] Energy Press, Ο Καφηρέας, το μεγαλύτερο σύμπλεγμα αιολικών στην Ελλάδα. Διαθέσιμο online: https://energypress.gr/news/enel-green-power-o-kafireas-megalytero-symplegma-aiolikon-stin-ellada-einai-ergo-pnois (Ανάκτηση 3 Σεπτεμβρίου 2024).

[85] Wagner, H. J., Mathur, J., Wagner, H. J., & Mathur, J. (2018). Wind energy today. *Introduction to Wind Energy Systems: Basics, Technology and Operation*, 1-6.

[86] Bilgili, M., & Yasar, A. (2017). Performance evaluation of a horizontal axis wind turbine in operation. *International Journal of Green Energy*, *14*(12), 1048-1056.

[87] The Wind Power, Manufacturers and Turbines, VESTAS V90/3000. Available online: https://www.thewindpower.net/turbine_en_33_vestas_v90-3000.php (accessed on 18 August 2024)

[88] Nomandela, S., Mnguni, M. E., & Raji, A. K. (2023). Modeling and simulation of a large-scale wind power plant considering grid code requirements. *Energies*, *16*(6), 2897.

[89] Sargentis, G. F., Dimitriadis, P., Ioannidis, R., Iliopoulou, T., & Koutsoyiannis, D. (2019). Stochastic evaluation of landscapes transformed by renewable energy installations and civil works. *Energies*, *12*(14), 2817.

[90] Βικιπαίδεια, Υδροηλεκτρική ενέργεια. Διαθέσιμο online: https://el.wikipedia.org/wiki/Υδροηλεκτρική_ενέργεια (ανάκτηση 22 Αυγούστου 2024)

[91] Viollet, P. L. (2024). A short history of hydroelectricity. *LHB*, *110*(1), 2343897.

[92] Fasol, K. H. (2002). A short history of hydropower control. *IEEE Control systems magazine*, *22*(4), 68-76.

[93] Bilgili, F., Lorente, D. B., Kuşkaya, S., Ünlü, F., Gençoğlu, P., & Rosha, P. (2021). The role of hydropower energy in the level of CO2 emissions: An application of continuous wavelet transform. *Renewable Energy*, *178*, 283-294.

[94] Energy Institute - Statistical Review of World Energy (2024); Smil (2017) – with major processing by Our World in Data. "Direct primary energy from hydropower" [dataset]. Energy Institute, "Statistical Review of World Energy"; Smil, "Energy Transitions: Global and National Perspectives" [original data]. Retrieved August 26, 2024 from https://ourworldindata.org/grapher/global-hydro-consumption

[95] Ember (2024); Energy Institute - Statistical Review of World Energy (2024) – with major processing by Our World in Data. "Electricity generation from hydropower – Ember and Energy Institute" [dataset]. Ember, "Yearly Electricity Data"; Energy Institute, "Statistical Review of World Energy" [original data]. Retrieved August 20, 2024 from https://ourworldindata.org/grapher/hydropower-consumption

[96] NS ENERGY, Profiling the top five hydropower producing countries in the world. Available online: https://www.nsenergybusiness.com/news/top-hydropower-producing-countries/?cf-view (accessed on 1 September 2024).

[97] Wikipedia, Grand Coulee Dam. Available online: https://en.wikipedia.org/wiki/Grand_Coulee_Dam (accessed on 1 September 2024).

[98] Βικιπαίδεια, Υδροηλεκτρικό φράγμα Κρεμαστών. Διαθέσιμο online: https://el.wikipedia.org/wiki/Υδροηλεκτρικό_φράγμα_Κρεμαστών (ανάκτηση 9 Αυγούστου 2024).

[99] Αγρίνιο Culture, Η ιστορία του φράγματος των Κρεμαστών και των κατοίκων της περιοχής. Διαθέσιμο online: https://www.agrinioculture.gr/2013/07/06/η-ιστορία-του-φράγματος-των-κρεμαστών/ (ανάκτηση 9 Αυγούστου 2024).

[100] IHA, Types of Hydropower, Available online: https://www.hydropower.org/iha/discover-types-of-hydropower (accessed on 10 August 2024).

[101] Alla, Y. M. K., & Liu, L. (2021). Impacts of dams on the environment: a review. *International Journal of*

Environment, Agriculture and Biotechnology, *6*(1).

[102] Kondolf, M., & Yi, J. (2022). Dam renovation to prolong reservoir life and mitigate dam impacts. *Water*, *14*(9), 1464.

[103] Jackson, S., & Sleigh, A. (2000). Resettlement for China's Three Gorges Dam: socio-economic impact and institutional tensions. *Communist and Post-Communist Studies*, *33*(2), 223-241.

[104] Odeh, M. (1999). A summary of environmentally friendly turbine design concepts. *US Department of Energy Idaho Operations Office*.

[105] Paish, O. (2002). Small hydro power: technology and current status. *Renewable and sustainable energy reviews*, *6*(6), 537-556.

[106] Turbulent, Projects. Available online: https://www.turbulent.be/projects (accessed on 15 September 2024).

[107] Βικιπαίδεια, Βιοενέργεια. Διαθέσιμο online: https://el.wikipedia.org/wiki/Βιοενέργεια (ανάκτηση 8 Σεπτεμβρίου 2024).

[108] Welfle, A. J., Almena, A., Arshad, M. N., Banks, S. W., Butnar, I., Chong, K. J., ... & Röder, M. (2023). Sustainability of bioenergy–Mapping the risks & benefits to inform future bioenergy systems. *Biomass and Bioenergy*, *177*, 106919.

[109] Sherwood, J. (2020). The significance of biomass in a circular economy. *Bioresource technology*, *300*, 122755.

[110] Ham, C., Kleynhans, T.E. (2014). Socio-Economic Aspects of Rural Bioenergy Production. In: Seifert, T. (eds) Bioenergy from Wood. Managing Forest Ecosystems, vol 26. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-007-7448-3_9

[111] Vávrová, K., Knápek, J., & Weger, J. (2017). Short-term boosting of biomass energy sources–Determination of biomass potential for prevention of regional crisis situations. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *67*, 426-436.

[112] Siwal, S. S., Sheoran, K., Saini, A. K., Vo, D. V. N., Wang, Q., & Thakur, V. K. (2022). Advanced thermochemical conversion technologies used for energy generation: Advancement and prospects. *Fuel*, *321*, 124107.

[113] Ember (2024) – with major processing by Our World in Data. "Electricity generation from bioenergy – Ember and Energy Institute" [dataset]. Ember, "Yearly Electricity Data" [original data].

[114] Banerjee, N. (2023). Biomass to energy—an analysis of current technologies, prospects, and challenges. BioEnergy Research, 16(2), 683-716.

[115] All power labs, Power pallet PP30 Sheet. Available online: https://www.allpowerlabs.com/wp-content/uploads/2019/08/PP30OneSheet2_1_23-2.pdf (accessed on 9 September 2024).

[116] Re^2, Biomass power plants from Re^2. Available online: https://re2.energy/en/biomass-power-plants/overview-biomass-power-plant (accessed on 9 September 2024).

[117] European Commision Energy, Biofuels. Available online: https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-

energy/bioenergy/biofuels_en (accessed on 9 September 2024).

[118] Rodionova, M. V., Poudyal, R. S., Tiwari, I., Voloshin, R. A., Zharmukhamedov, S. K., Nam, H. G., ... & Allakhverdiev, S. I. (2017). Biofuel production: challenges and opportunities. *International Journal of Hydrogen Energy*, *42*(12), 8450-8461.

[119] Benti, N.E., Gurmesa, G.S., Argaw, T. *et al.* The current status, challenges and prospects of using biomass energy in Ethiopia. *Biotechnol Biofuels* **14**, 209 (2021). https://doi.org/10.1186/s13068-021-02060-3

[120] O'Connell, A., Kousoulidou, M., Lonza, L., & Weindorf, W. (2019). Considerations on GHG emissions and energy balances of promising aviation biofuel pathways. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *101*, 504-515.

[121] De Jong, S., Antonissen, K., Hoefnagels, R., Lonza, L., Wang, M., Faaij, A., & Junginger, M. (2017). Life-cycle analysis of greenhouse gas emissions from renewable jet fuel production. *Biotechnology for biofuels*, *10*, 1-18.

[122] Popp, J., Kovács, S., Oláh, J., Divéki, Z., & Balázs, E. (2021). Bioeconomy: Biomass and biomass-based energy supply and demand. *New biotechnology*, *60*, 76-84.

[123] Energy Institute - Statistical Review of World Energy (2024) – with major processing by Our World in Data. "Biofuels consumption" [dataset]. Energy Institute, "Statistical Review of World Energy" [original data].

[124] Food and Agriculture Organization of the United Nations (2008), The State of Food and Agriculture, BIOFUELS: prospects, risks and opportunities. Available online: https://www.fao.org/4/i0100e/i0100e.pdf (accessed on 11 September 2024).

[125] Agroclica, Ελαιοκράμβη. Διαθέσιμο online: https://www.agroclica.gr/wiki/54/elaiokramvi (ανάκτηση 16 Σεπτεμβρίου 2024).

[126] Agroclica, Ηλίανθος. Διαθέσιμο online: https://www.agroclica.gr/wiki/53/hlianthos (ανάκτηση 16 Σεπτεμβρίου 2024).

[127] Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ), Ενεργειακές καλλιέργειες για την παραγωγή υγρών και στερεών καυσίμων στην Ελλάδα, Διαθέσιμο online: http://www.cres.gr/cres/files/xrisima/ekdoseis/ekdoseis_GR8.pdf (ανάκτηση 17 Αυγούστου 2024).

[128] EnviTec Biogas. Διαθέσιμο online: https://www.envitec-biogas.com/ (accessed on 16 August 2024).

[129] Green Fuels, The Green fuels Way. Available online: https://greenfuels.co.uk/gfway/ (accessed on 16 September 2024).

[130] Springboard Biodiesel. Available online: https://www.springboardbiodiesel.com/ (accessed on 18 September 2024).