ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

«Διερεύνηση Διαστασιολόγησης Υβριδικού Συστήματος ΑΠΕ και Αξιοποίησης Βιομάζας στο Δήμο Καρύστου»

Αναστάσιος Μαυρογιάννης

Επιβλέπων: Ευάγγελος Μπαλτάς, Καθηγητής Ε.Μ.Π

Αθήνα, Μάρτιος 2023

Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία σηματοδοτεί την ολοκλήρωση των σπουδών μου στη Σχολή Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Αυτό το κεφάλαιο δεν θα μπορούσε να κλείσει χωρίς πρώτα να ευχαριστήσω ορισμένους ανθρώπους.

Αρχικά, ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου, Φωτεινή και Χάρη, καθώς και τον αδερφό μου, Γιάννη, για την συνεχή υποστήριξη τους σε όλα τα βήματα μου.

Στη συνέχεια, θα ήθελα να ευχαριστήσω τις φίλες και τους φίλους μου, με πολλούς από τους οποίους η σχέση μας, από συναδελφική στα πλαίσια των σπουδών μας, εξελίχθηκε σε αδερφική.

Έπειτα, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή και επιβλέποντα της διπλωματικής μου κ. Ευάγγελο Μπαλτά, για τη καθοδήγηση και βοήθεια σε κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας, καθώς και την εμπιστοσύνη που μου έδειξε στην υλοποίηση ενός τόσο ενδιαφέροντος θέματος.

Επίσης, θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στην υποψήφια Διδάκτορα Σοφία Σκρουφούτα, για τον χρόνο και την πολύτιμη βοήθεια καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας.

Επιπρόσθετα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή Κωνσταντίνο Νουτσόπουλο και τον υποψήφιο Διδάκτορα Φίλλιπο Γκούμα για την καθοδήγηση τους στο κομμάτι της αξιοποίησης της βιομάζας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους καθηγητές του Τομέα Υδατικών Πόρων, οι οποίοι με την εκπαιδευτική τους στάση και διδασκαλία μου προσέφεραν σημαντικές γνώσεις και ώθηση για την ενασχόληση με τα αντίστοιχα μαθήματα.

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες iii
Περίληψη vi
Abstract viii
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή 1
1.1 Γενική Αναφορά 1
1.2 Αντικείμενο της Εργασίας 3
1.3 Διάρθρωση της Εργασίας 3
Κεφάλαιο 2: Υβριδικά Συστήματα Ενέργειας 5
2.1 Γενικά Στοιχεία Υβριδικών Συστημάτων 5
2.2 Πλεονεκτήματα Υβριδικών Συστημάτων 7
2.3 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας στα Υβριδικά Συστήματα 8
2.3.1 Αιολική Ενέργεια 8
2.3.2 Υδροηλεκτρική Ενέργεια 12
2.3.3 Ηλιακή Ενέργεια 16
2.4 Αφαλάτωση 17
2.4.1 Γενικά Στοιχεία 17
2.4.2 Αντίστροφη Ώσμωση 19
2.4.3 Αφαλάτωση και Ενέργεια 20
Κεφάλαιο 3: Γενικά Χαρακτηριστικά Περιοχής Μελέτης 21
3.1 Ιστορικά Στοιχεία Καρύστου 21
3.2 Γεωγραφικά – Διοικητικά Στοιχεία 22
3.3 Κλιματικά Χαρακτηριστικά 23
3.4 Φυσικό Περιβάλλον και Καθεστώς Προστασίας Περιοχής 25
3.5 Δημογραφικά Στοιχεία και Απασχόληση 27
3.6 Υποδομές 30
3.6.1 Αποχετευτικό Δίκτυο 30
3.6.2 Ύδρευση 30
3.6.3 Ενέργεια 30
Κεφάλαιο 4: Μεθοδολογία Ανάλυσης Δεδομένων 31
4.1 Επεξεργασία Δεδομένων 31

4.1.1 Παραγωγή Συνθετικής Χρονοσειράς Βροχόπτωσης 31
4.1.2 Παραγωγή Συνθετικής Χρονοσειράς Θερμοκρασίας 35
4.1.3 Παραγωγή Συνθετικής Χρονοσειράς Ανέμου 37
4.2 Εκτίμηση Υδρευτικών, Αρδευτικών και Ενεργειακών Αναγκών 42
4.2.1 Εκτίμηση Υδρευτικών Αναγκών 46
4.2.2 Εκτίμηση Αρδευτικών Αναγκών 49
4.2.3 Εκτίμηση Ενεργειακών Αναγκών 57
4.3 Εκτίμηση Παραγόμενης Ενέργειας 59
4.3.1 Εκτίμηση Παραγόμενης Αιολικής Ενέργειας 59
4.3.2 Εκτίμηση Παραγόμενης Υδροηλεκτρικής Ενέργειας 62
Κεφάλαιο 5: Ενέργεια από Βιομάζα 63
5.1 Γενικά για την Βιομάζα 63
5.2 Βιομάζα από Γεωργικά Υπολείμματα 67
5.3 Παραγωγή Ενέργειας από την Καύση Φυτικών Υπολειμμάτων 68
5.4 Παραγωγή Ενέργειας από τα Ζωικά Απόβλητα 71
5.4.1 Η ζωική παραγωγή στον Δήμο Καρύστου 71
5.4.2 Αναερόβια Χώνευση 72
5.4.3 Διαστασιολόγηση Βασικών Δεξαμενών 73
5.4.4 Παραγόμενη Ενέργεια από Βιοαέριο 77
Κεφάλαιο 6: Προσομοίωση, Αποτελέσματα και Συζήτηση 79
6.1 Ανάλυση Υβριδικού Συστήματος 79
6.2 Αξιοποίηση Βιομάζας στο Ενεργειακό Μίγμα 89
Κεφάλαιο 7: Συμπεράσματα – Μελλοντική έρευνα 93
7.1 Συμπεράσματα 93
7.2 Μελλοντική έρευνα 94
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 96

Περίληψη

Το νερό και η ενέργεια αποτελούν ίσως τα βασικότερα αγαθά για την διαβίωση του ανθρώπου και η επαρκής διάθεση τους συνιστά πυλώνα για τη λειτουργία και την εξέλιξη των κοινωνιών. Σήμερα, η ανθρωπότητα αντιμετωπίζει σημαντικές προκλήσεις σχετικά με τους υδατικούς και ενεργειακούς πόρους. Όσον αφορά τους υδατικούς πόρους, η έλλειψη τους αρχίζει να διαφαίνεται όλο και πιο έντονα σε παγκόσμιο επίπεδο, με την κλιματική αλλαγή και τις εκτεταμένες ξηρασίες να αποτελούν τα βασικά αίτια. Στον τομέα της ενέργειας, η μείωση των αποθεμάτων των ορυκτών καυσίμων, σε συνδυασμό με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της εκτεταμένης χρήσης τους, καθιστά αναγκαία την εφαρμογή εναλλακτικών προτάσεων. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) αποτελούν την πιο σημαντική εναλλακτική και η εφαρμογή τους διευρύνεται συνεχώς τις τελευταίες δεκαετίες. Σήμερα η ενεργειακή κρίση είναι πιο επίκαιρη από ποτέ, με τις συνέπειες της να γίνονται αντιληπτές σε καθημερινή βάση. Από τα παραπάνω δεν μένει ανεπηρέαστη και η Ελλάδα, η οποία καλείται, όπως όλες οι χώρες, να βρει βιώσιμες λύσεις στις ενεργειακές και υδατικές προκλήσεις.

Μία από τις τεχνολογίες που αναπτύσσονται ως απάντηση στα παραπάνω, είναι αυτή των υβριδικών συστημάτων (ΥΣ). Τα ΥΣ συνδυάζουν την παραγωγή ενέργειας από διαφορετικές πηγές, συμπεριλαμβανομένων των ΑΠΕ, με την αποθήκευση της ώστε να γίνεται αποτελεσματική διαχείριση της διακύμανσης της ζήτησης. Τα ΥΣ σε συνδυασμό με μονάδα αφαλάτωσης δύνανται να καλύπτουν αποτελεσματικά τόσο τις ενεργειακές όσο και τις υδατικές ανάγκες μιας περιοχής.

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη, η προσομοίωση και η αξιολόγηση ενός ΥΣ για την κάλυψη των υδατικών και ενεργειακών αναγκών στο Δήμο Καρύστου, μιας περιοχής με υψηλό αιολικό δυναμικό. Το υπό μελέτη έργο αποτελείται από 9 ανεμογεννήτριες, ένα αντλιοστάσιο, έναν υδροηλεκτρικό σταθμό (ΥΗΣ) με εφαρμογή αντλησιοταμίευσης, μια μονάδα αφαλάτωσης, ένα ταμιευτήρα θαλασσινού νερού και τέλος, ένα ταμιευτήρα αφαλατωμένου νερού. Επίσης, διερευνάται η αξιοποίηση της διαθέσιμης βιομάζας της περιοχής και η ένταξη της βιοενέργειας στο ενεργειακό μίγμα.

Αρχικά, για την ανάπτυξη του συστήματος μελετώνται τα ιστορικά ενεργειακά, υδρευτικά και αρδευτικά δεδομένα, σε σχέση με τα πληθυσμιακά χαρακτηριστικά και τις καλλιεργήσιμες εκτάσεις. Στη συνέχεια, από την ανάλυση και την επεξεργασία των διαθέσιμων ιστορικών δεδομένων,

παράγονται συνθετικές χρονοσειρές των ενεργειακών, υδρευτικών και αρδευτικών αναγκών διάρκειας 40 ετών, όση και η διάρκεια ζωής του έργου. Επιπλέον, με βάση τα ανεμολογικά δεδομένα, δημιουργούνται συνθετικές χρονοσειρές 40 ετών αντίστοιχα, από τις οποίες υπολογίζεται η παραγόμενη αιολική ενέργεια με επιλογή του βέλτιστου μοντέλου ανεμογεννήτριας. Με βάση αυτά τα δεδομένα γίνεται διαστασιολόγηση και προσομοίωση του ΥΣ, με την κάλυψη των υδρευτικών αναγκών να τίθεται σε προτεραιότητα. Τέλος, διαπιστώνονται και οι δυνατότητες που μπορεί να προσφέρει η βιομάζα ως πηγή ενέργειας.

Abstract

Water and energy are possibly the most essential resources for human survival and their adequate availability is critical to the functioning and development of societies. Today, humanity faces significant water and energy resource challenges. Water resources are becoming increasingly scarce around the world, owing primarily to climate change and widespread droughts. As for energy, the depletion of fossil fuel reserves, combined with the environmental consequences of their widespread use, necessitates the implementation of alternative proposals. Renewable energy sources (RES) are the most important alternative, and their use has grown steadily in recent decades. Today the energy crisis is more relevant than ever, with its consequences being felt on a daily basis. Greece is not unaffected by the above and, like every country, is under pressure to find long-term solutions to the energy and water crises.

One of the technologies created in response to the aforementioned is that of hybrid systems (HS). For successful demand management, HS integrate energy generation from various sources, including RES, with storage. The HS can efficiently meet a region's water and energy needs when used with a desalination unit.

The purpose of this thesis is to investigate, simulate, and evaluate a HS to meet the water and energy needs of the Municipality of Karystos, which is located in an area with high wind potential. The proposed project includes nine wind turbines, a pumping station, a hydroelectric station with pumped storage, a desalination unit, a seawater reservoir, and a desalinated water reservoir. In addition, the utilization of the area's available biomass and the incorporation of bioenergy into the energy mix are being investigated.

Initially, historical energy, water, and irrigation data are studied in relation to population characteristics and arable land in order to develop the system. Then, based on the analysis and processing of available historical data, synthetic time series of energy, water, and irrigation needs for the next 40 years, which is the project's life, are generated. Furthermore, based on the wind data, synthetic time series of 40 years are generated, from which the generated wind energy is calculated with the optimal wind turbine model selection. The HS is designed and simulated based on these data, with coverage of water needs prioritized. Finally, the possibilities for biomass as an energy source are identified.

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

1.1 Γενική Αναφορά

Η σύγχρονη πραγματικότητα διαμορφώνει ένα πλαίσιο, στο οποίο η ένταξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) στο ενεργειακό μίγμα κρίνεται ολοένα και πιο αναγκαία. Η συνεχής αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού, και οι διαρκώς αυξανόμενες ενεργειακές ανάγκες του, οδηγούν στην σταδιακή εξάντληση των αποθεμάτων των συμβατικών πόρων και των πρώτων υλών για παραγωγή ενέργειας. Οι ΑΠΕ είναι μη ορυκτές μορφές εκμεταλλεύσιμης ενέργειας οι οποίες προέρχονται από φυσικούς πόρους, όπως το φως του ήλιου, ο άνεμος, η κυκλοφορία του νερού, η γεωθερμία, δηλαδή από πηγές που θεωρούνται πρακτικά ανεξάντλητες ή που αναπληρώνονται φυσικά εντός του χρονικού ορίζοντα δράσης του ανθρώπου. Τα είδη των ΑΠΕ είναι η ηλιακή, η υδροηλεκτρική, η αιολική, η γεωθερμική, το βιοαέριο και η θαλάσσια ενέργεια.

Πλέον, θεωρείται ευρέως αποδεκτή η σύνδεση της χρήσης των συμβατικών ορυκτών καυσίμων με τα περιβαλλοντικά προβλήματα που αντιμετωπίζει ο πλανήτης, όπως το φαινόμενο του θερμοκηπίου και την κλιματική αλλαγή, την ατμοσφαιρική ρύπανση και την ρύπανση των υδάτων, κυρίως λόγω των μεγάλων ποσοτήτων διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) που απελευθερώνεται από την καύση τους. Τα παραπάνω, σε συνδυασμό με το γεγονός ότι οι ΑΠΕ μπορούν να συμβάλουν σημαντικά στην μείωση των εκπομπών CO_2, τις έχουν θέσει σε προτεραιότητα όσον αφορά το παγκόσμιο ενεργειακό ισοζύγιο. Συγκεκριμένα, η σημασία τους για την Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) διαφαίνεται από το θεσμικό πλαίσιο που έχει διαμορφωθεί τα τελευταία χρόνια. Σημαντικό βήμα ήταν όταν το 1997 η Επιτροπή των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων εξέδωσε ως ανακοίνωση το κείμενο «Ενέργεια για το Μέλλον» που έθεσε το πλαίσιο για την εφαρμογή ενός κοινού σχεδίου δράσης των χωρών μελών για την προώθηση των ΑΠΕ. Η ίδια επιτροπή το 2000 υπέβαλε το κείμενο «Πράσινη Βίβλος» που εστίαζε στην στρατηγική για την ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού της ΕΕ. Σύμφωνα με το πιο πρόσφατο πλάνο της ΕΕ για τις ΑΠΕ, ο στόχος για το 2030 είναι η συμμετοχή τους στο ενεργειακό ισοζύγιο σε ποσοστό τουλάχιστον 32%, με πιθανή αναθεώρηση προς τα πάνω, με την Κομισιόν να προτείνει την αύξηση του στόχου στο 45%.

Η Ελλάδα, ως κράτος – μέλος της ΕΕ, συμμετέχει στη συνολική προσπάθεια για την αύξηση της συμβολής των ΑΠΕ στο ενεργειακό μίγμα, με αυτές να κερδίζουν σταδιακά όλο και περισσότερο έδαφος στην ενεργειακή πολιτική της χώρας. Σύμφωνα με στοιχεία της Eurostat για το 2020, στην Ελλάδα το 36% της κατανάλωσης ρεύματος παρήχθη από ΑΠΕ, ποσοστό που ήταν οριακά μικρότερο σε σχέση με τον μέσο όρο του 37% στην ΕΕ, ενώ επί της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας η συμβολή των ΑΠΕ έφτασε το 21.7% για την Ελλάδα και 22.1% για την ΕΕ, ξεπερνώντας τους στόχους για το 2020. Η εγκατάσταση και λειτουργία συνδυασμό ΑΠΕ θεωρείται αναγκαία, ιδιαίτερα για τη νησιωτική Ελλάδα.

Τα νησιά της χώρας εμφανίζουν πλούσιο αιολικό δυναμικό και αποτελούν ελκυστικές περιοχές μελέτης αιολικών πάρκων για την εκμετάλλευση του δυναμικού αυτού. Ωστόσο, η αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας δεν είναι ικανοποιητική. Η έντονη μεταβλητότητα στην παραγόμενη ενέργεια των ανεμογεννητριών (Α/Γ) οφείλεται στη στοχαστικότητα, που διέπει την εμφάνιση του ανέμου. Η στοχαστικότητα, που περιέχουν τα φυσικά μεγέθη όπως ο άνεμος ή η ηλιοφάνεια, έχει ως αποτέλεσμα την αδυναμία πλήρους κάλυψης ενός συστήματος με πάγιες ανάγκες από ΑΠΕ. Η αδυναμία αυτή δύναται να καλυφθεί από τα Υβριδικά Συστήματα (ΥΣ). Ο στόχος των ΥΣ είναι η παραγωγή ενέργειας, μέσω του συνδυασμού διαφορετικών ΑΠΕ, όπως για παράδειγμα αιολικής και υδροηλεκτρικής με τη δυνατότητα αποθήκευσης της περίσσειας παραγόμενης ενέργειας. Η αποθήκευση ενέργειας αποτελεί σημαντικό μέρος ενός ΥΣ και μπορεί να επιτευχθεί με διάφορους τρόπους. Η πιο φιλική προς το περιβάλλον και πλέον διαδεδομένη μέθοδος αποθήκευσης είναι αυτή της αντλησιοταμίευσης, η οποία εξηγείται αναλυτικότερα στο Κεφάλαιο 2. Χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα της Ικαρίας, όπου λειτουργεί ΥΣ συνολικής ισχύος 6.8 MW το οποίο σχεδιάστηκε για την παραγωγή υδροηλεκτρικής και αιολικής ενέργειας, αξιοποιώντας δύο δεξαμενές νερού, προκειμένου να καλυφθούν οι αυξανόμενες ενεργειακές ανάγκες του νησιού, υποκαθιστώντας σε σημαντικό βαθμό την χρήση πετρελαίου από τον υπάρχοντα πετρελαϊκό σταθμό (Μπέρτσιου, 2017).

Ένα ΥΣ μπορεί να συμβάλλει, πέρα από την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών, και στην κάλυψη των υδατικών αναγκών. Οι ανάγκες της ύδρευσης και της άρδευσης είναι εξίσου σημαντικές με τις ενεργειακές και η κάλυψή τους αποτελεί συχνά πρόκληση για αρκετές περιοχές, ιδίως για τις νησιωτικές. Η πρόκληση γίνεται μεγαλύτερη σε περιόδους ξηρασίας, με την κλιματική αλλαγή να συμβάλλει συν τω χρόνω στο φαινόμενο αυτό. Σε ετήσια βάση, τους καλοκαιρινούς μήνες, η κατάσταση δυσχεραίνεται περισσότερο, καθώς η υδρευτική ζήτηση αυξάνεται λόγω των υψηλότερων θερμοκρασιών και της

αυξημένης τουριστικής κίνησης. Η έλλειψη σε νερό μπορεί να αντιμετωπιστεί ικανοποιητικά με την κατασκευή φράγματος για την αξιοποίηση του βρόχινου νερού, ωστόσο η αλλοίωση του φυσικού περιβάλλοντος και της τοπογραφίας του νησιού μπορεί να λειτουργήσουν ως ανασταλτικοί παράγοντες για την κατασκευή του. Αντίθετα, η εγκατάσταση μονάδας αφαλάτωσης, αν και έχει σχετικά υψηλές ενεργειακές απαιτήσεις, σε στα πλαίσια ενός κατάλληλα σχεδιασμένου ΥΣ μπορεί να αποτελέσει μόνιμη λύση στο πρόβλημα της λειψυδρίας.

Η ανεπαρκής κάλυψη των ενεργειακών και υδατικών αναγκών μιας περιοχής μπορούν να επιβαρύνουν τις κοινωνικοοικονομικές δραστηριότητες και να υποβαθμίσουν συνολικά την ποιότητα της ζωής των κατοίκων. Για αυτό τον λόγο, έργα όπως τα ΥΣ αξίζει να μελετώνται ακόμα περισσότερο καθώς μπορούν να δώσουν αποτελεσματικές λύσεις στις ενεργειακές και υδατικές προκλήσεις.

1.2 Αντικείμενο της Εργασίας

Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη ενός ΥΣ που θα εξυπηρετεί τις ενεργειακές, τις υδρευτικές και τις αρδευτικές ανάγκες του Δήμου Καρύστου, που βρίσκεται στο νησί της Εύβοιας. Το έργο περιλαμβάνει 9 Α/Γ, έναν ταμιευτήρα αφαλατωμένου νερού, έναν υδροηλεκτρικό σταθμό, ένα αντλιοστάσιο και μία μονάδα αφαλάτωσης, προσομοιώνοντας τη λειτουργία του συστήματος, βάσει των κανόνων που ορίζονται από την παρούσα μελέτη. Ζητούμενο της προσομοίωσης είναι τόσο η κατανόηση του τρόπου λειτουργίας ενός υβριδικού ενεργειακού συστήματος με στόχο την παραγωγή της απαιτούμενης ηλεκτρικής ενέργειας, όσο και η εκτίμηση της αξιοπιστίας και της αποδοτικότητας του συστήματος αναφορικά με την κάλυψη των ενεργειακών, υδρευτικών και αρδευτικών αναγκών του Δήμου Καρύστου. Επίσης διερευνάται η παραγωγή ενέργειας από την διαθέσιμη βιομάζα της περιοχής ώστε να καλύπτονται από αυτή οι ενεργειακές ανάγκες που δεν εξυπηρετούνται από το ΥΣ.

1.3 Διάρθρωση της Εργασίας

Η διπλωματική εργασία ξεκινάει με το Κεφάλαιο 2, στο οποίο παρουσιάζονται τα ΥΣ, οι ΑΠΕ με τις οποίες μπορούν να συνδυαστούν και η μέθοδος της αφαλάτωσης. Συγκεκριμένα, γίνεται ανάλυση του τρόπου λειτουργίας των ΥΣ και παρουσιάζονται οι ΑΠΕ και η παραγωγή ενέργειας από κάθε μορφή. Επίσης, γίνεται αναφορά στη διαδικασία της αφαλάτωσης και ειδικότερα στη

μέθοδο της αντίστροφης ώσμωσης, η οποία και εφαρμόζεται στο υπό μελέτη σύστημα.

Στη συνέχεια, στο Κεφάλαιο 3, περιγράφονται τα χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης. Συγκεκριμένα τα ιστορικά, γεωγραφικά και δημογραφικά στοιχεία, τα κλιματικά χαρακτηριστικά, το φυσικό περιβάλλον, καθώς και οι υποδομές του Δήμου Καρύστου.

Στο Κεφάλαιο 4 αναπτύσσεται η μεθοδολογία που εφαρμόζεται για την προσομοίωση του ΥΣ. Παρουσιάζεται η επεξεργασία των μετεωρολογικών δεδομένων (βροχόπτωση, θερμοκρασία, άνεμος) για την δημιουργία συνθετικών χρονοσειρών με στόχο την εκτίμηση των υδρευτικών, αρδευτικών και ενεργειακών αναγκών σε βάθος 40 ετών, καθώς και της παραγωγής αιολικής και υδροηλεκτρικής ενέργειας.

Στο Κεφάλαιο 5 διερευνάται η παραγωγή ενέργειας από την διαθέσιμη βιομάζα στην περιοχή μελέτης. Συγκεκριμένα γίνεται εκτίμηση των δυνατοτήτων που προσφέρει η αξιοποίηση των ζωικών και φυτικών αποβλήτων στο ενεργειακό μείγμα του Δήμου Καρύστου.

Κατόπιν, στο Κεφάλαιο 6 παρουσιάζονται αναλυτικά και συζητούνται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης του ΥΣ.

Τέλος, στο Κεφάλαιο 7, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα της παρούσας διπλωματικής και ορισμένες προτάσεις που χρήζουν μελλοντικής έρευνας.

Κεφάλαιο 2: Υβριδικά Συστήματα Ενέργειας

2.1 Γενικά Στοιχεία Υβριδικών Συστημάτων

Οι ΑΠΕ σήμερα αποτελούν την πιο ρεαλιστική και βιώσιμη απάντηση στο σύγχρονο ενεργειακό πρόβλημα, το οποίο εντοπίζεται ως επί το πλείστον στην εξάντληση των συμβατικών ορυκτών καυσίμων και στα περιβαλλοντικά προβλήματα που φαίνεται να δημιουργεί η ανεξέλεγκτη χρήση τους (κλιματική αλλαγή, ρύπανση κ.ά.). Η συνεχής αύξηση της ενεργειακής ζήτησης σε παγκόσμιο επίπεδο, σε συνδυασμό με την εξάντληση των ορυκτών πόρων και τις περιβαλλοντικές τους επιπτώσεις, οδηγεί φαινομενικά σε ένα αδιέξοδο με μόνη εναλλακτική επιλογή την αξιοποίηση των ΑΠΕ. Αυτός είναι ο κύριος λόγος που οι ΑΠΕ έχουν συγκεντρώσει το ενδιαφέρον για περαιτέρω έρευνα τις τελευταίες δεκαετίες, με αποτέλεσμα την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών και βελτιστοποίηση των ήδη υπαρχόντων. Παρόλα αυτά, οι περισσότερες μορφές ΑΠΕ, όπως η αιολική και η ηλιακή ενέργεια, παρουσιάζουν έντονη διακύμανση. Η αδυναμία να γίνει ακριβής πρόγνωση της μεταβλητότητας μέχρι και σε ωριαία κλίμακα καθιστά αναξιόπιστο και μη σταθερό ένα σύστημα παραγωγής ενέργειας που βασίζεται μόνο σε αυτές τις πηγές ενέργειας. Λόγω των φυσικών περιορισμών, όπως το γεγονός ότι ηλιακή ενέργεια δεν είναι διαθέσιμη όλο το εικοσιτετράωρο, καθώς και της στοχαστικότητας που διέπει τα φυσικά φαινόμενα, οι ΑΠΕ αντιμετωπίζουν το πρόβλημα της χρονικής αναντιστοιχίας της παραγωγής, με την κατανάλωση ενέργειας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η ενέργεια ορισμένες φορές να μην είναι διαθέσιμη όταν απαιτείται, ενώ σε άλλες περιπτώσεις να μην αξιοποιείται το πιθανό ενεργειακό πλεόνασμα. Αυτή η αναντιστοιχία μεταξύ προσφοράς και ζήτησης ενέργειας δημιουργεί την ανάγκη για ενσωμάτωση μεθόδων αποθήκευσης της πλεονάζουσας ενέργειας, με σκοπό την διάθεση του πλεονάσματος αυτού για την εξομάλυνση των ενεργειακών αιχμών. Με αυτό τον τρόπο, καθίσταται εφικτή η ελεγχόμενη παροχή ενέργειας προς το δίκτυο ανάλογα με τις ανάγκες, με αποτέλεσμα την καλύτερη εκμετάλλευση και απόδοση των ΑΠΕ. Αυτήν ακριβώς την ανάγκη δύναται να καλύψει η τεχνολογία των ΥΣ.

«Υβριδικά Συστήματα Ενέργειας» ονομάζονται τα συστήματα που χρησιμοποιούν πολλαπλές διατάξεις ενεργειακής μετατροπής ή περισσότερα του ενός καύσιμα, με σκοπό την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ένα τέτοιο σύστημα είναι δυνατόν να περιλαμβάνει μια συμβατική μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε συνδυασμό με μία τουλάχιστον μορφή ΑΠΕ, διατάξεις αποθήκευσης, συστήματα εποπτείας και ελέγχου καθώς και σύστημα διαχείρισης φόρτου. Έτσι, τα ΥΣ αποτελούν μια εναλλακτική και

αποτελεσματική επιλογή έναντι των συμβατικών συστημάτων, τα οποία βασίζονται στην παραγωγή ενέργειας από ορυκτά καύσιμα. (Manwell, 2004)

Ο καταλληλότερος και οικονομικότερος τρόπος αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας για τα ελληνικά νησιά είναι η αντλησιοταμίευση, που έχει τη μορφή αναστρέψιμου υδροηλεκτρικού έργου. Αποτελείται, από το αιολικό πάρκο, τον υδροστρόβιλο, το αντλιοστάσιο, δύο δεξαμενές σε διαφορετικού υψομέτρου (ή μια δεξαμενή και την στάθμη της θάλασσας σε περίπτωση συνδυασμού με μονάδα αφαλάτωσης) για την ανακύκλωση του νερού και σωληνώσεις. Οι δύο στάθμες πρέπει να βρίσκονται σε κοντινή απόσταση και να έχουν ικανή υψομετρική διαφορά. Ένα αιολικό πάρκο παράγει ηλεκτρική ενέργεια, η οποία αν περισσεύει από το σύστημα, αξιοποιείται για την άντληση νερού από τη χαμηλότερη προς την υψηλότερη στάθμη. Η ηλεκτρική ενέργεια μετατρέπεται σε δυναμική και αποθηκεύεται στην υψηλότερη δεξαμενή. Έτσι, τις ώρες αυξημένης ζήτησης ή όταν η αιολική ενέργεια δεν είναι δυνατόν να εξυπηρετήσει την απαιτούμενη ζήτηση, το νερό της υψηλότερης δεξαμενής χρησιμοποιείται για τη λειτουργία του υδροστρόβιλου. Η συνδυασμένη χρήση αιολικής ενέργειας με αντλησιοταμίευση αποτελεί λύση, που μπορεί να οδηγήσει σε ουσιαστική αύξηση της κάλυψης των αναγκών από ΑΠΕ. Η μέθοδος της αντλησιοταμίευσης μπορεί να συνδυαστεί και με μονάδες αφαλάτωσης, οι οποίες θα χρησιμοποιούν μέρος της αιολικής ενέργειας. Με αυτόν τον τρόπο εξασφαλίζεται η διαθεσιμότητα του νερού και για την κάλυψη την αναγκών ύδρευσης και άρδευσης. (Σκρουφούτα, 2020)

Τα ΥΣ μπορούν να είναι διασυνδεδεμένα με το δίκτυο και μπορεί να εγκαθίστανται, είτε αποκλειστικά για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, είτε ως συστήματα υποστήριξης σε περιπτώσεις διακοπής του ηλεκτρικού δικτύου, είτε μπαίνουν σε λειτουργία τις ώρες αιχμής, όταν η τιμή της ενέργειας (kWh) είναι υψηλή. Τα διασυνδεδεμένα με το δίκτυο, περιλαμβάνουν μονάδες ΑΠΕ, οι οποίες είτε διασυνδέονται απευθείας στο δίκτυο, είτε αποθηκεύουν την ενέργεια τους, ώστε να χρησιμοποιηθεί, όταν υπάρξει ανάγκη. Αυτό εξαρτάται από την τιμή της μονάδας παραγόμενης ενέργειας, από την εκάστοτε μορφή ΑΠΕ και από το φορτίο, που πρέπει να καλυφθεί σε περίπτωση ανάγκης (Φραγκιαδάκης, 2007). Υπάρχουν, όμως και τα μη συνδεδεμένα με το δίκτυο ΥΣ, τα οποία είναι ανεξάρτητα από τα μεγάλα εθνικά δίκτυα, και χρησιμοποιούν και αυτά ΑΠΕ σε συνδυασμό με συμβατικές πηγές ενέργειας. Η διαφορά ενός αυτόνομου σε σχέση με ένα διασυνδεδεμένο ΥΣ είναι ότι πρέπει να έχει τη δυνατότητα να παρέχει όλη την ενέργεια, που απαιτείται οποιαδήποτε χρονική στιγμή.

Το νησί της Εύβοιας είναι διασυνδεδεμένο με το εθνικό δίκτυο, οπότε η κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του Δήμου Καρύστου οποιαδήποτε χρονική

στιγμή από την διάταξη των Α/Γ και του Υ/Η δεν είναι απαραίτητη, γεγονός που αφήνει περιθώρια για προτεραιοποίηση της κάλυψης των υδρευτικών και αρδευτικών αναγκών.

2.2 Πλεονεκτήματα Υβριδικών Συστημάτων

Η μελέτη των ΥΣ έχει στόχο την βελτιστοποίηση της εκμετάλλευσης των χαρακτηριστικών της κάθε επιμέρους τεχνολογίας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, όπως των Α/Γ και των φωτοβολταϊκών. Με αυτό τον τρόπο εξασφαλίζεται υψηλή αξιοπιστία και αποδοτικότητα του συστήματος, γεγονός που δίνει τη δυνατότητα στα ΥΣ να αναπτυχθούν σαν αυτόνομα, καινούργια και ανεξάρτητα συστήματα, μέσα σε μικρά συστήματα διανομής ενέργειας.

Επίσης, τα ΥΣ που χρησιμοποιούν πηγή παραγωγής ενέργειας, με βάση ορυκτό καύσιμο, έχουν ως στόχο την ελάχιστη δυνατή κατανάλωση καυσίμου. Το ορυκτό καύσιμο χρησιμοποιείται όταν η ζήτηση δεν μπορεί να καλυφθεί πλήρως από τις ΑΠΕ που συμμετέχουν στο ΥΣ. Έτσι, η κατανάλωση του ορυκτού καυσίμου είναι πολύ μικρότερη συγκριτικά με τα συστήματα, που βασίζονται αποκλειστικά στα ορυκτά και στις συμβατικές τεχνολογίες, γεγονός που καθιστά τα ΥΣ μια βιώσιμη εναλλακτική τεχνολογία, φιλικότερη στο περιβάλλον. Επιπροσθέτως, το γεγονός ότι τα ΥΣ χρησιμοποιούν διαφορετικές πηγές ενέργειας, τα καθιστά χρήσιμη τεχνολογία για την αποφυγή της εξάρτησης από μεμονωμένες πηγές. Τέλος, η υψηλή, όπως φαίνεται από τα παραπάνω, αποδοτικότητα και η αξιοπιστία που χαρακτηρίζει τα ΥΣ αποτελούν αποτελεσματική λύση για παροχή ισχύος, σε περιπτώσεις διακοπών παροχής ή οποιασδήποτε έκτακτης ανάγκης (Μυσίρης, 2015).

Ειδικότερα, από την λειτουργία του υπό μελέτη ΥΣ αναμένονται τα μεταξύ άλλων τα ακόλουθα οφέλη:

- Σημαντική προσφορά ηλεκτρικής ενέργειας στην περιοχή μελέτης.
- Αποφυγή γενικών ή μερικών διακοπών ρεύματος.
- Περιορισμός των εκπομπών CO_2 και άλλων ρύπων λόγω της μειωμένης λειτουργίας του Τοπικού συμβατικού Σταθμού Παραγωγής (ΤΣΠ) της Δημόσιας Επιχείρησης Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ).
- Δημιουργία νέων θέσεων εργασίας στην περιοχή, για την κατασκευή και λειτουργία του έργου.
- Εξασφάλιση ικανών ποσοτήτων αφαλατωμένου νερού για την κάλυψη των υδατικών αναγκών.

- Αναβάθμιση της ποιότητας του υδροφόρου ορίζοντα, λόγω της αποδέσμευσης του από την κάλυψη των αναγκών σε ύδρευση και άρδευση.

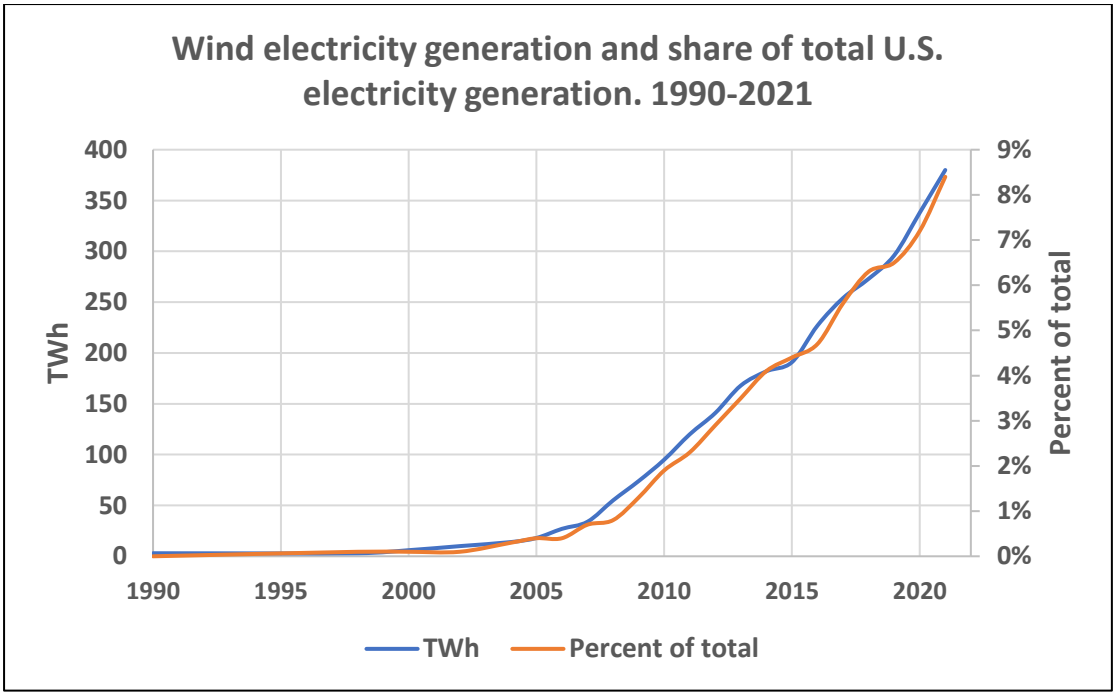
2.3 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας στα Υβριδικά Συστήματα

2.3.1 Αιολική Ενέργεια

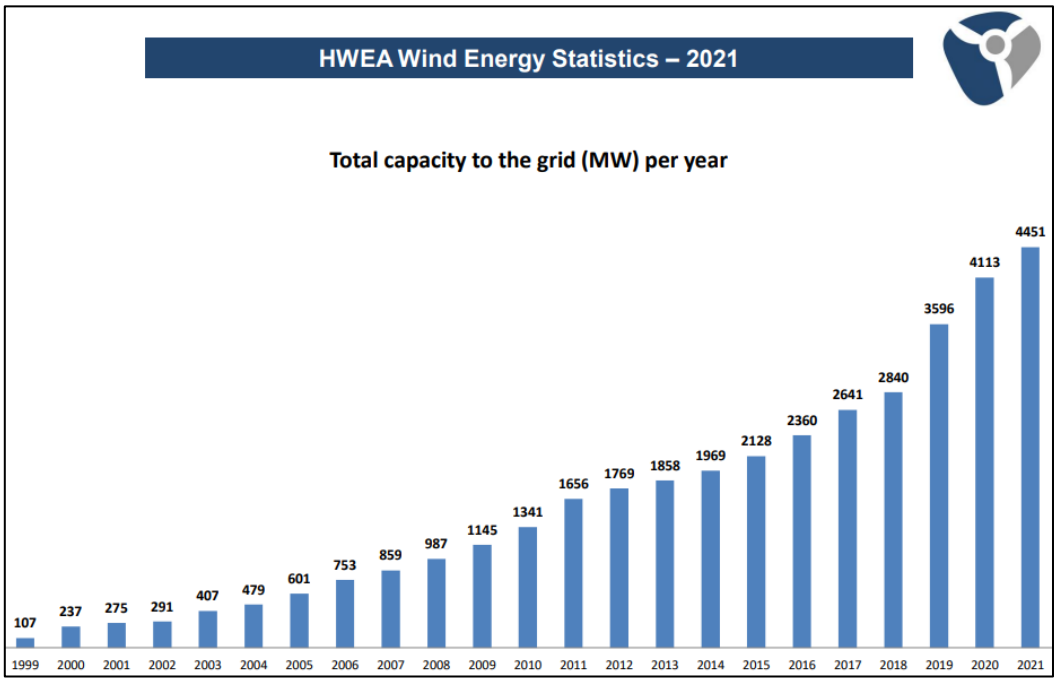
Αιολική ενέργεια ονομάζεται η ενέργεια που παράγεται από την εκμετάλλευση του ανέμου. Ο άνεμος δημιουργείται από την ηλιακή ακτινοβολία, καθώς η ανομοιόμορφη θέρμανση της επιφάνειας της γης προκαλεί τη μετακίνηση μεγάλων μαζών αέρα από μια περιοχή σε μια άλλη. Η αιολική είναι μια ήπια μορφή ενέργειας, φιλική προς το περιβάλλον, πρακτικά ανεξάντλητη και αποτελεί σήμερα μια ελκυστική λύση στο πρόβλημα της ηλεκτροπαραγωγής.

Ιστορικά, ο άνθρωπος έχει εκμεταλλευτεί την αιολική ενέργεια ήδη από τα αρχαία χρόνια, με τους πρώτους πολιτισμούς να την αξιοποιούν για την κίνηση των πλοίων. Αρχαίοι πολιτισμοί όπως αυτοί των Κινέζων, των Ελλήνων, των Αιγυπτίων και των Περσών χρησιμοποιούσαν τους ανεμόμυλους για πολλούς αιώνες π.Χ. κυρίως για το άλεσμα των δημητριακών. Επιπλέον, οι ανεμόμυλοι χρησιμοποιούνταν για άντληση νερού. Αυτή η εφαρμογή ήταν περισσότερο διαδεδομένη στην Ολλανδία, όπου οι ανεμόμυλοι χρησιμοποιούνταν για την άντληση νερού προκειμένου να σωθούν μεγάλες περιοχές από πλημμύρες, επειδή αρκετές περιοχές της χώρας βρίσκονται κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας. Η πρώτη Α/Γ, που χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας κατασκευάστηκε στη Σκωτία το 1887. Ένα χρόνο αργότερα στις ΗΠΑ, στο Κλίβελαντ του Οχάιο, κατασκευάστηκε μια μεγαλύτερη Α/Γ ισχύος μόλις 12kW. Τα επόμενα χρόνια, μέχρι και τα μέσα του 20^{ου} αιώνα σημειώθηκε σταδιακή ανάπτυξη και εφαρμογή της τεχνολογίας των Α/Γ με την χώρα της Δανίας να σημειώνει σημαντική πρόοδο. Η πετρελαϊκή κρίση του 1973 άλλαξε το ενεργειακό περιβάλλον για τις ΗΠΑ και τον κόσμο, με τις ελλείψεις πετρελαίου να δημιουργούν ενδιαφέρον για την περεταίρω ανάπτυξη της αξιοποίησης των εναλλακτικών πηγών ενέργειας, όπως η αιολική. (Fleming, Probert, 1984)

Έκτοτε, ειδικά μετά το 2000, η αιολική ενέργεια κερδίζει όλο και περισσότερο έδαφος, με την τεχνολογία των Α/Γ σταδιακά να βελτιώνεται. Αυτή η ανάπτυξη είναι χαρακτηριστική στις ΗΠΑ όπως παρουσιάζεται στο ακόλουθο διάγραμμα που συντάχθηκε σύμφωνα με τα στοιχεία της U.S. Energy Information Administration (eia) (Σχήμα 2.1). Αντίστοιχη είναι και η ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας στην Ελλάδα (Σχήμα 2.2).



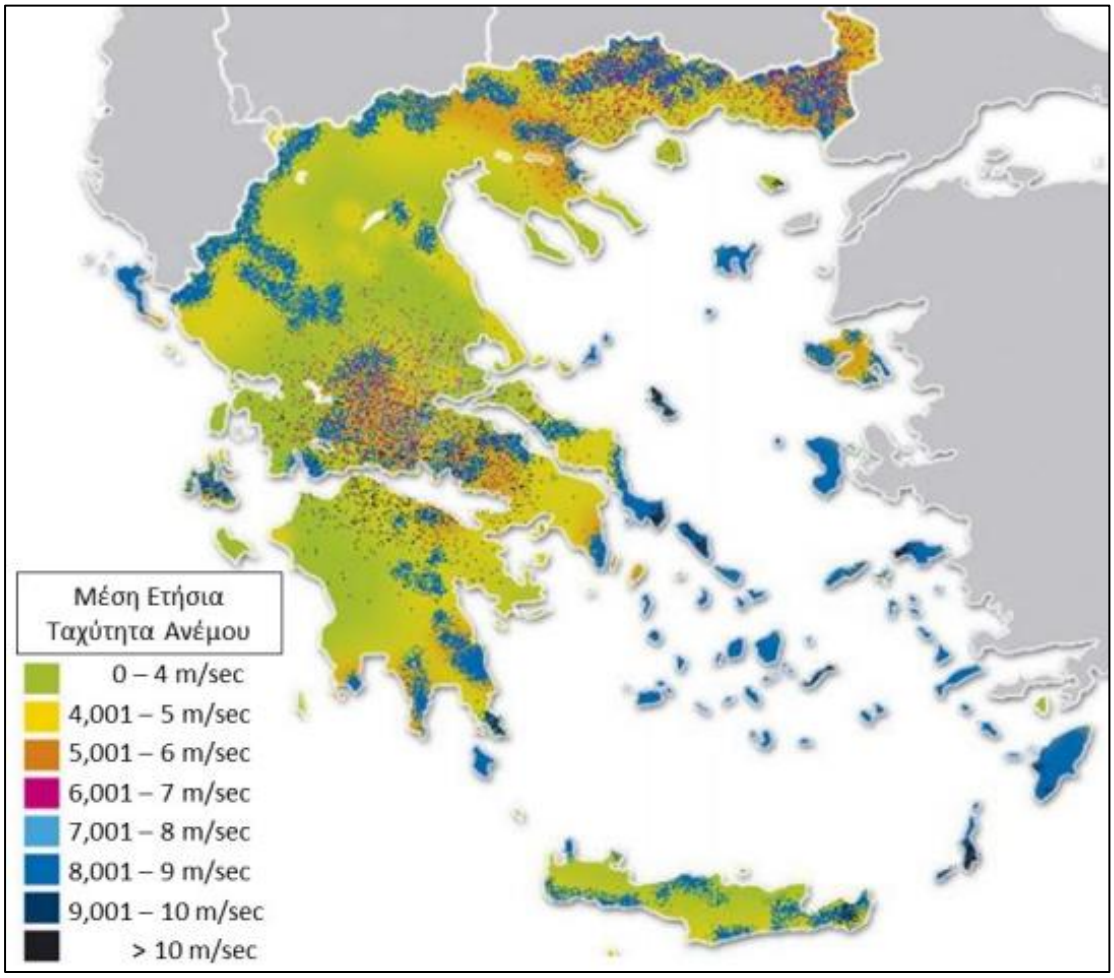
Σχήμα 2-1: Παραγωγή αιολικής ενέργειας στις ΗΠΑ 1990-2021
(Πηγή δεδομένων: eia)



Σχήμα 2-2: Εγκατεστημένη Ισχύς Αιολικής Ενέργειας στην Ελλάδα 1999-2021
(Πηγή: ΕΛΕΤΑΕΝ, 2021)

Η εγκατάσταση Α/Γ σε μια περιοχή προϋποθέτει υψηλό αιολικό δυναμικό. Οι ανεμολογικές συνθήκες, που επικρατούν στα ελληνικά νησιά και στις παράκτιες περιοχές, είναι κατάλληλες για την δημιουργία αιολικών πάρκων,

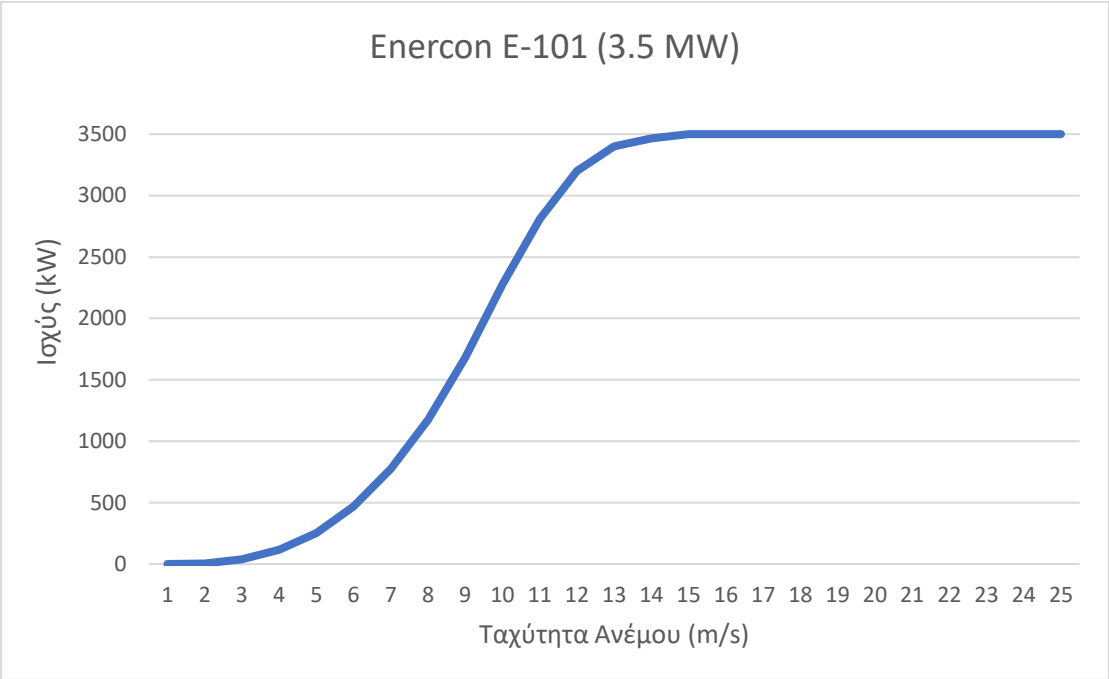
λόγω των συχνών και ισχυρών ανέμων (Σχήμα 2.3). Ωστόσο, η μεταβλητότητα που διέπει το φυσικό φαινόμενο του ανέμου, δηλαδή η έντονη και απρόβλεπτη διακύμανση του, συνεπάγεται έντονη και απρόβλεπτη διακύμανση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αστάθεια και την έλλειψη αξιοπιστίας ενός συστήματος παραγωγής ενέργειας, που βασίζεται μόνο στις Α/Γ. επίσης, προσοχή πρέπει να δίνεται στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την εγκατάσταση Α/Γ, οι οποίες συνοψίζονται κυρίως στην πιθανή διατάραξη του οικοσυστήματος της περιοχής (χλωρίδα και πανίδα) και στην αισθητική επέμβαση στην περιοχή.



Σχήμα 2-3: Αιολικό Δυναμικό της Ελλάδας (ΚΑΠΕ, 2013)

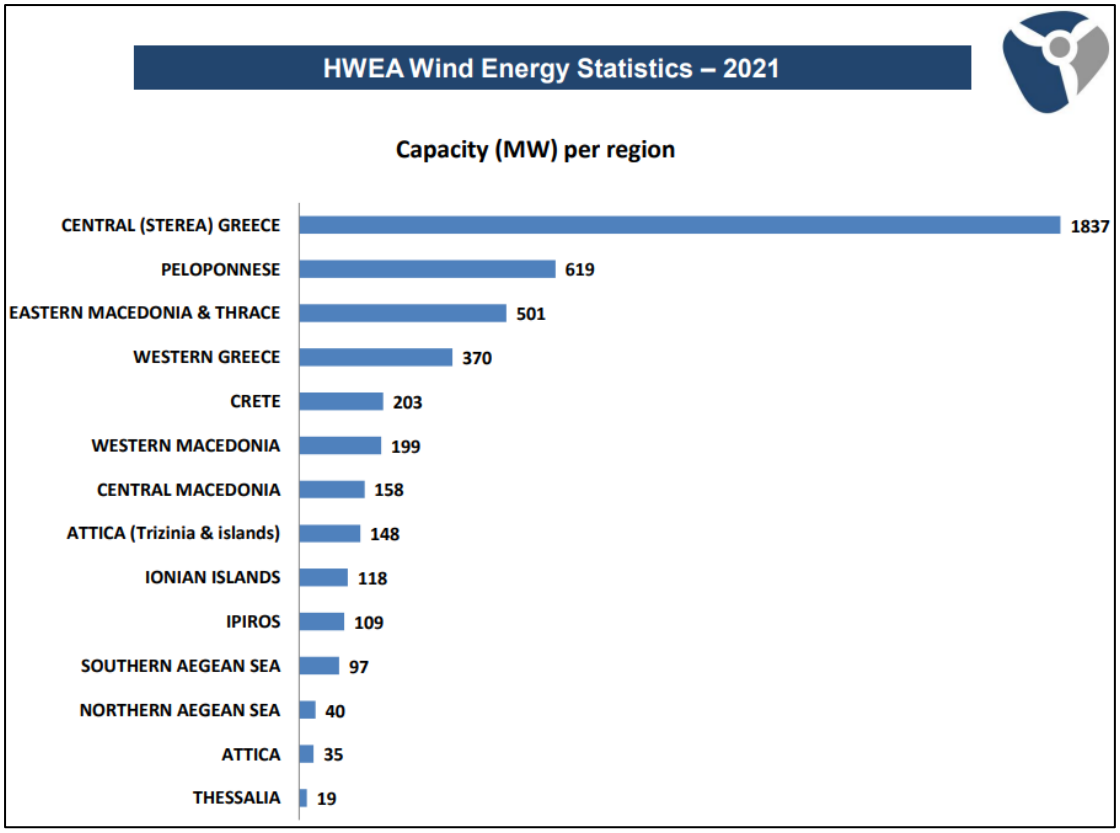
Προκειμένου να υπολογιστεί η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια που από μια Α/Γ χρειάζεται η καμπύλη ισχύος της (Σχήμα 2.4), η οποία παρέχεται από τον εκάστοτε κατασκευαστή. Από την καμπύλη, προκύπτει η παραγόμενη ενέργεια συναρτήσει της ταχύτητας του ανέμου. Στην καμπύλη αυτή, διακρίνονται δυο χαρακτηριστικά σημεία. Το πρώτο δείχνει την ταχύτητα για την οποία ξεκινάει

η παραγωγή ρεύματος από την Α/Γ, ενώ το τελευταίο παρουσιάζει το ανώτατο όριο ταχύτητας πάνω από το οποίο η Α/Γ σταματά την λειτουργία της, άρα και την παραγωγή ενέργειας. Ταχύτητες μεγαλύτερες από αυτήν θεωρούνται επικίνδυνες για την περαιτέρω περιστροφή των πτερωτών και υπάρχει ο κίνδυνος βλάβης ή καταστροφής της Α/Γ.



Σχήμα 2-4: Καμπύλη ισχύος προτεινόμενης Α/Γ
(Πηγή: en.wind-turbine-models.com)

Δεδομένου του υψηλού αιολικού δυναμικού της Ελλάδας και ιδιαίτερα των νησιωτικών και παράκτιων περιοχών είναι κρίσιμο να ενσωματωθούν ακόμα περισσότερα αιολικά πάρκα στο σύστημα παραγωγής ενέργειας, λαμβάνοντας υπόψιν τα περιβαλλοντικά ζητήματα και τους οικολογικούς περιορισμούς, καθώς μπορούν να συνεισφέρουν σημαντικά στην ενεργειακή διαχείριση της χώρας.



Σχήμα 2-5: Εγκατεστημένη Ισχύς Αιολικής Ενέργειας στην Ελλάδα ανά περιφέρεια για το 2021 (Πηγή: ΕΛΕΤΑΕΝ, 2021)

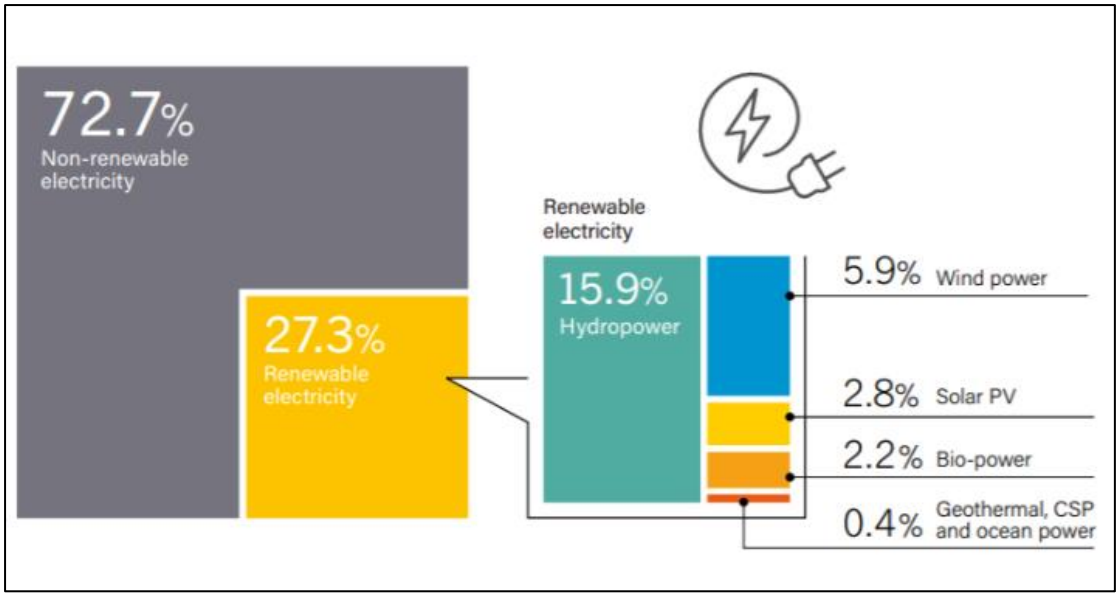
2.3.2 Υδροηλεκτρική Ενέργεια

Υδραυλική και εν μέρει υδροηλεκτρική ενέργεια είναι η ενέργεια που αποταμιεύεται ως δυναμική ενέργεια μέσα σε βαρυτικό πεδίο με τη συσσώρευση μεγάλων ποσοτήτων νερού σε υψομετρική διαφορά από τη συνέχιση της ροής του ελεύθερου νερού, και αποδίδεται ως κινητική μέσω της υδατόπτωσης. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, εκμεταλλευόμενη την ενέργεια του νερού, ονομάζεται υδροηλεκτρική ενέργεια. Το νερό ευρισκόμενο σε μεγάλα υψόμετρα έχει δυναμική ενέργεια, η οποία μετατρέπεται σε κινητική κατά την ροή σε χαμηλότερα υψόμετρα. Στη συνέχεια, με την χρήση των υδροστροβίλων παράγεται μηχανική ενέργεια, η οποία τελικά μετατρέπεται σε ηλεκτρική μέσω γεννητριών. Το σύνολο των έργων και του εξοπλισμού, μέσω των οποίων γίνεται η μετατροπή της υδραυλικής ενέργειας σε ηλεκτρική, ονομάζεται Υδροηλεκτρικό Έργο (ΥΗΕ). Η δέσμευση και αποθήκευση ποσοτήτων ύδατος σε φυσικές ή τεχνητές λίμνες, για έναν υδροηλεκτρικό σταθμό, ισοδυναμεί πρακτικά με αποταμίευση υδροηλεκτρικής ενέργειας. Η προγραμματισμένη αποδέσμευση αυτών των ποσοτήτων ύδατος και η εκτόνωσή τους στους υδροστροβίλους οδηγεί στην ελεγχόμενη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Με δεδομένη την ύπαρξη

κατάλληλων υδάτινων πόρων και τον επαρκή εφοδιασμό τους με τις απαραίτητες βροχοπτώσεις, η υδροηλεκτρική ενέργεια καθίσταται μια σημαντικότατη εναλλακτική ΑΠΕ. Στον γήινο κύκλο του νερού η ενέργεια προέρχεται κυρίως από τον ήλιο που εξατμίζει, μεγάλες ποσότητες νερού.

Ιστορικά, ο άνθρωπος έχει εκμεταλλευτεί την ενέργεια του νερού, ήδη από τα αρχαία χρόνια. Οι αρχαίοι πολιτισμοί κατασκεύασαν τους πρώτους νερόμυλους, δηλαδή την πρώτη μηχανή παραγωγής έργου που με τη χρήση φυσικής, ήπιας και ανανεώσιμης πηγής ενέργειας. Ωστόσο, οι βασικές εξελίξεις στην τεχνολογία υδροηλεκτρικής ενέργειας συνέβησαν πολύ αργότερα, τον 19^{ο} αιώνα, με τις πρώτες τουρμπίνες και τα πρώτα ΥΗΕ να κάνουν την εμφάνισή τους, αρχικά στην Ευρώπη και στη συνέχεια στις ΗΠΑ. Κατά τον 20^{ο} αιώνα, διαδόθηκε και εφαρμόστηκε ευρέως η παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας σε όλο τον κόσμο, και πραγματοποιήθηκαν ραγδαίες καινοτομίες και αλλαγές στο σχεδιασμό εγκαταστάσεων υδροηλεκτρικής ενέργειας, με την δημιουργία των πρώτων υπερκατασκευών. (Pandey, Karki, 2017)

Σήμερα, η υδραυλική ενέργεια αποτελεί την πιο διαδεδομένη μορφή ανανεώσιμης ενέργειας παγκοσμίως (Σχήμα 2.5). Στην Ελλάδα, το πρώτο σύγχρονο φράγμα είναι αυτό του Μαραθώνα, το οποίο κατασκευάστηκε το 1931. Η κατασκευή περισσότερων φραγμάτων και η παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας γνώρισε μεγαλύτερη ανάπτυξη, μετά τα μέσα της δεκαετίας του ’60. Πλέον, τα ΥΗΕ αποτελούν σημαντικό παράγοντα του συστήματος παραγωγής ενέργειας, με την μέση συνεισφορά της υδροηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα να αντιπροσωπεύει το 8-10% της συνολικής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Η ενέργεια που προέρχεται από υδροηλεκτρικούς σταθμούς καλύπτει ηλεκτρικά φορτία αιχμής.



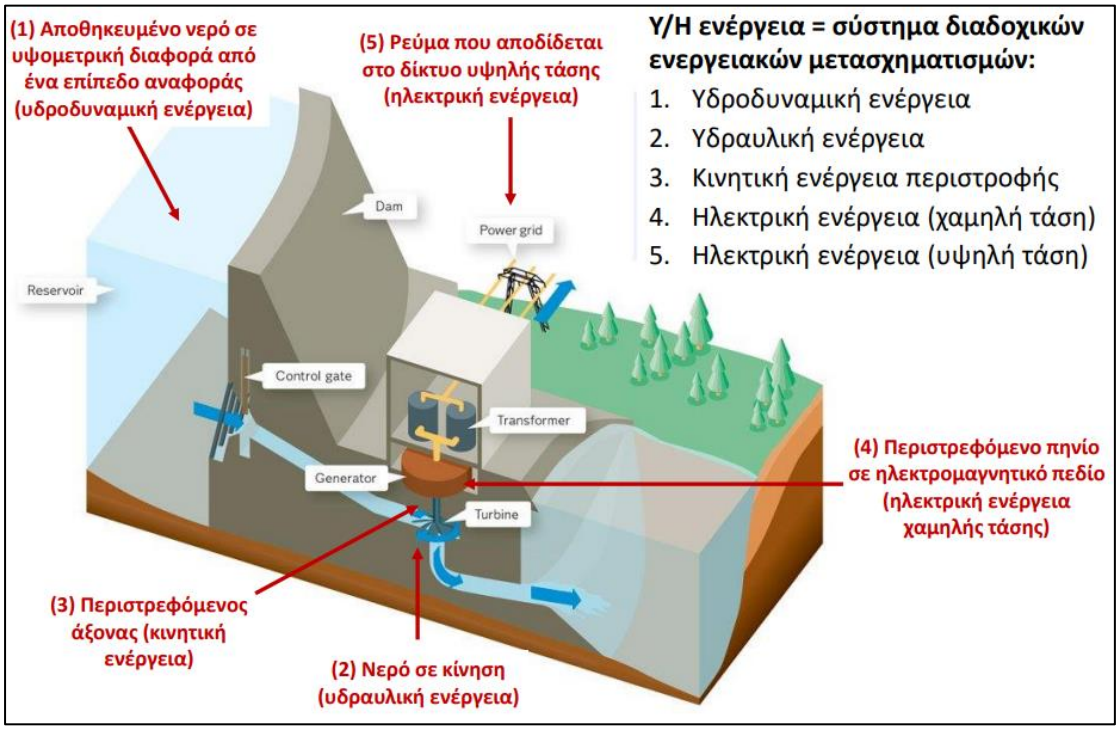
Σχήμα 2-6: Εκτιμώμενο μερίδιο ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην παγκόσμια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας το 2019 (Πηγή: REN21 2020)

Τα βασικά πλεονεκτήματα της υδροηλεκτρικής ενέργειας αναπτύσσονται ως εξής:

- Είναι μία καθαρή και ΑΠΕ, η οποία συμβάλλει στην εξοικονόμηση φυσικών πόρων και στην προστασία του περιβάλλοντος.
- Μέσω των ταμιευτήρων, δίνεται η δυνατότητα να ικανοποιηθούν και άλλες ανάγκες, όπως ύδρευση, άρδευση, ανάσχεση χειμάρρων, δημιουργία υγροτόπων, περιοχών αναψυχής και αθλητισμού.
- Αποτελεί την μόνη ΑΠΕ, που μπορεί να αποθηκευτεί σε μεγάλη κλίμακα και αξιόπιστα μέσω των ταμιευτήρων.
- Διακρίνεται από υψηλούς βαθμούς απόδοσης, που μπορούν να ξεπεράσουν το 90%.
- Η αξιοποίηση της υδροηλεκτρικής ενέργειας δεν υποβαθμίζει την ποιότητα του νερού και δεν αφήνει απόβλητα ή κατάλοιπα που μολύνουν το περιβάλλον.
- Είναι διάσπαρτη γεωγραφικά και οδηγεί στην αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος, αλλά και δίνει τη δυνατότητα ορθολογικής αξιοποίησης τοπικών ενεργειακών πόρων.
- Τα ΥΗΕ έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής (συμβατικός ωφέλιμος χρόνος ζωής τα 100 έτη).
- Η δυνατότητα αποθήκευσης ενέργειας σε μεγάλη κλίμακα δίνει την δυνατότητα στα ΥΗΕ να συμμετέχουν σημαντικά στα ΥΣ, μέσω της αντλησιοταμίευσης.

Τα βασικά χαρακτηριστικά ενός ΥΗΕ είναι τα ακόλουθα (Σχήμα 2.6): (Λεμονής, 2020)

- Το φράγμα ή ο ταμιευτήρας νερού, που χρησιμοποιείται για την αποθήκευση του υδάτινου όγκου,
- Το υψόμετρο του, από το οποίο εξαρτάται το ύψος υδατόπτωσης
- Η απόδοση του υδροστροβίλου,
- Η περιοχή υδροληψίας,
- Ο αγωγός πτώσης, από τον οποίο το νερό καταλήγει στους υδροστροβίλους,
- Ο υδροηλεκτρικός σταθμός με τον απαραίτητο ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας,
- Και ο αγωγός φυγής που οδηγεί το αξιοποιούμενο νερό από τους υδροστροβίλους στο φυσικό του περιβάλλον.



Σχήμα 2-7: Κύρια χαρακτηριστικά Υδροηλεκτρικών Έργων (Πηγή: Ευστρατιάδης κ.α., 2019)

Η παραγόμενη ενέργεια από τον υδροστρόβιλο προκύπτει από τη Σχέση 2.1:

$$E = \gamma \times Q \times H \times \eta \quad (2.1)$$

Όπου:

• γ: το ειδικό βάρος του νερού (9.81 kN/m^3),

• Q: η παροχή που διέρχεται από τον στρόβιλο (m/s),

• H: η υψομετρική διαφορά μεταξύ της στάθμης ανάντη και κατάντη,

• η: ο συντελεστής απόδοσης του στροβίλου.

2.3.3 Ηλιακή Ενέργεια

Με τον όρο ηλιακή ενέργεια χαρακτηρίζεται το σύνολο των διαφόρων μορφών ενέργειας που προέρχονται από τον ήλιο. Το φως και η θερμότητα που ακτινοβολούνται, απορροφούνται από στοιχεία και ενώσεις στη Γη και μετατρέπονται σε άλλες μορφές ενέργειας. Η ηλιακή ενέργεια στο σύνολό της είναι πρακτικά ανεξάντλητη. Η εκμετάλλευσή της χωρίζεται σε τρεις κατηγορίες εφαρμογών: α) τα παθητικά ηλιακά συστήματα, β) τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα, και γ) τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Τα παθητικά και τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα αποτελούνται από δομικά στοιχεία, κατάλληλα σχεδιασμένα και συνδυασμένα μεταξύ τους, ώστε να υποβοηθούν την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας για τον φυσικό φωτισμό των κτιρίων ή για τη ρύθμιση της θερμοκρασίας μέσα σε αυτά.

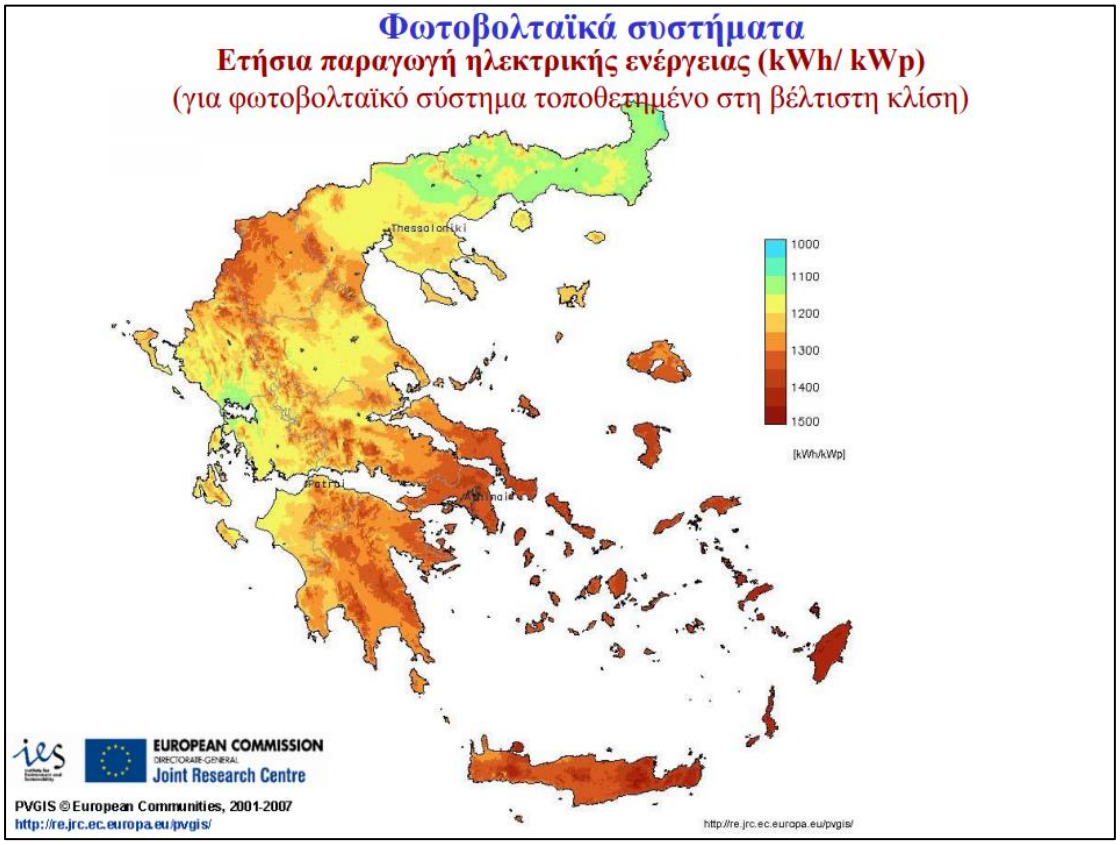
Η εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας και η μετατροπή της σε ηλεκτρικό ρεύμα γίνεται μέσω του φωτοβολταϊκού φαινομένου. Η μετατροπή αυτή γίνεται μέσα από την απορρόφηση των φωτονίων της ηλιακής ακτινοβολίας από ειδικούς ημιαγωγούς τοποθετημένους σε φωτοβολταϊκές κυψέλες, με αποτέλεσμα την παραγωγή συνεχούς ηλεκτρικού ρεύματος. Ένα σύνηθες φωτοβολταϊκό (Φ/Β) σύστημα απαρτίζεται από τον ηλιακό ή φωτοβολταϊκό συλλέκτη, μπαταρίες ως σύστημα αποθήκευσης και ηλεκτρονικά συστήματα για έλεγχο της ενέργειας που παράγει η φωτοβολταϊκή συστοιχία (Σκρουφούτα, 2020).

Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο ανακαλύφθηκε το 1839 και χρησιμοποιήθηκε για πρακτικούς σκοπούς στα τέλη της δεκαετίας του '50 σε διαστημικές εφαρμογές. Η μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική γίνεται αθόρυβα, αξιόπιστα και χωρίς περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Τα συστήματα αυτά, συνήθως εφαρμόζονται σε οροφές, αλλά ακόμα και σε όψεις κτηρίων, ενώ διαδεδομένη είναι η χρήση τους και σε μεγάλες εκτάσεις γης. (Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης ενέργειας, ΚΑΠΕ)

Μεγάλο πλεονέκτημα των ηλεκτρικών πλαισίων αποτελούν οι μηδενικές εκπομπές ρύπων, καθώς και το μικρό κόστος συντήρησης. Επίσης, παρουσιάζουν ευελιξία σε εφαρμογές, αφού μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο σε μικρής, όσο και σε μεγάλης κλίμακας συστήματα παραγωγής

ενέργειας. Ωστόσο, παρόλο που το κόστος εγκατάστασης τους είναι αρκετά υψηλό και η απόδοση που παρουσιάζουν αρκετά χαμηλή, 13 % έως 20 %, η εγκατάσταση τέτοιων συστημάτων έχει αυξηθεί παγκοσμίως, μέσω επιχειρησιακών προγραμμάτων ανάπτυξης για διείσδυση και προώθηση των ΑΠΕ (Ρίππη, 2013).

Η Ελλάδα είναι μία χώρα πλούσια σε ηλιακή ακτινοβολία, λόγω του κλίματος της και της γεωγραφικής της θέσης (Σχήμα 2.7), γεγονός που καθιστά την περαιτέρω ένταξη της ηλιακής ενέργειας στο ενεργειακό μίγμα της χώρας ρεαλιστική πρόταση, που μπορεί να προσφέρει λύσεις στην ενεργειακή διαχείριση.



Σχήμα 2-8: Ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για Φ/Β τοποθετημένα στη βέλτιστη κλίση (Πηγή: https://ec.europa.eu/jrc/en/pvgis/)

2.4 Αφαλάτωση

2.4.1 Γενικά Στοιχεία

Αφαλάτωση ονομάζεται οποιαδήποτε διεργασία αφαίρεσης αλάτων από μια αλατούχα ουσία, κυρίως από αλατούχα ύδατα. Δηλαδή, ως αφαλάτωση μπορεί να οριστεί η μέθοδος ανάκτησης πόσιμου νερού από θαλασσινό νερό, υφάλμυρα ποτάμια και λίμνες (Panagopoulos et al, 2019). Η ανάγκη αντιμετώπισης της λειψυδρίας, που παρατηρήθηκε έντονα σε πολλές περιοχές

του πλανήτη τον 20^{ο} αιώνα, οδήγησε στην ανάπτυξη της μεθόδου της αφαλάτωσης. Το 97% περίπου των παγκόσμιων αποθεμάτων νερού βρίσκεται αναμειγμένο σε μεγάλες αναλογίες με διάφορα διαλυμένα άλατα στη θάλασσα. Αυτό καθιστά την μέθοδο ιδιαίτερα σημαντική για την διαχείριση των υδατικών πόρων, καθώς προσφέρει νερό κατάλληλο για κάλυψη υδρευτικών, αρδευτικών και βιομηχανικών αναγκών.

Ιστορικά, η ιδέα της αφαλάτωσης ανάγεται στους αρχαίους Έλληνες ναυτικούς που την εφάρμοζαν κατά τον 4ο π.Χ. αιώνα με την εξάτμιση του θαλασσινού νερού που την περιγράφει και ο Αριστοτέλης (Kalogirou, 2005). Επίσης, περιγραφή αφαλάτωσης αναφέρεται ως πραγματεία από Άραβα συγγραφέα του 8ου μ.Χ. αιώνα που βασίζεται στην απόσταξη του νερού. Τον 18^{ο} αιώνα, με την ανάπτυξη της ατμοπλοΐας, η αναγκαιότητα μεγάλης ποσότητας ύδατος στη χρήση των ατμομηχανών κατέστησε επιτακτική ανάγκη την αφαλάτωση του θαλασσινού νερού, ώστε να μη προκαλείται ταχύτατη διάβρωση των μηχανών (Κασάπη, 2009). Το πρώτο δίπλωμα ευρεσιτεχνίας αφαλάτωσης νερού δόθηκε στην Αγγλία το 1869. Ο πρώτος μεγάλος εργοστασιακός σταθμός αφαλάτωσης θαλασσινού ύδατος για εμπορική και βιομηχανική χρήση εγκαταστάθηκε στην Αρούμπα (τότε Ολλανδικές Αντίλλες) το 1930. Έκτοτε, η τεχνολογία της αφαλάτωσης έχει αναπτυχθεί σημαντικά και πλέον λειτουργούν περισσότερες από 21000 μονάδες παγκοσμίως (Mazzega, Cassignol, 2022).

Η μέθοδος της αφαλάτωσης αποτελεί σημαντικό παράγοντα για την επίλυση των προβλημάτων έλλειψης υδατικών πόρων, που οφείλονται σε μεγάλο βαθμό στη συνεχή πληθυσμιακή αύξηση. Σημαντικά προβλήματα επίσης αποτελούν οι εποχιακές αυξήσεις της ζήτησης νερού εξαιτίας της τουριστικής ανάπτυξης των περιοχών, καθώς και η υποβάθμιση της ποιότητας των ήδη διαθέσιμων υδατικών πόρων. Στα παραπάνω προβλήματα, έρχονται να προστεθούν οι αυξανόμενες αρδευτικές ανάγκες στις σύγχρονες μεθόδους καλλιέργειας και η έλλειψη υδατικών πόρων εξαιτίας γεωμορφολογικών και άλλων χαρακτηριστικών.

Στην Ελλάδα, η έλλειψη υδατικών πόρων εντοπίζεται κυρίως στις νησιωτικές περιοχές. Σε αυτό, εκτός των μειωμένων βροχοπτώσεων και των περιορισμένων λεκανών απορροής, συμβάλλει και η αυξημένη ζήτηση σε νερό τους θερινούς μήνες, λόγω του τουρισμού. Στην αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος, μπορεί να συνδράμει η καλύτερη αξιοποίηση των υπόγειων υδάτων, η μεταφορά νερού με υδροφόρα πλοία (η οποία όμως έχει πολύ υψηλό κόστος), η δημιουργία ταμιευτήρων αποθήκευσης νερού και η εγκατάσταση συστημάτων αφαλάτωσης.

Οι κύριες μέθοδοι αφαλάτωσης έχουν δοκιμαστεί και εφαρμόζονται για περισσότερα από 40 χρόνια, είναι η εξάτμιση (απόσταξη), οι ιοντικές μέθοδοι και η αντίστροφη ώσμωση. Από τις παραπάνω μεθόδους, η πιο διαδεδομένη είναι η αντίστροφη ώσμωση (ΑΩ ή RO), η οποία βρίσκει τη μεγαλύτερη εφαρμογή, λόγω της χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας, της καταλληλότητας της για σύνδεση με Α/Γ ή φωτοβολταϊκά και της υψηλής παραγωγικότητας ποσοτήτων αφαλατωμένου νερού, σε σύγκριση με άλλες διαδικασίες αφαλάτωσης (Μυσίρης, 2015).

2.4.2 Αντίστροφη Ώσμωση

Η τεχνολογία της ΑΩ αποτελεί τη μοναδική μέθοδο αφαλάτωσης που χρησιμοποιείται στα ελληνικά νησιά και που έχει επιλεχθεί να εφαρμοστεί στο υπό μελέτη ΥΣ. Η ΑΩ είναι μια διαδικασία διαχωρισμού που χρησιμοποιεί πίεση για να ωθήσει ένα διάλυμα μέσα από μια μεμβράνη, η οποία περιορίζει τη διαλυμένη ουσία στη μια της πλευρά και επιτρέπει στον καθαρό διαλύτη να περάσει στην άλλη. Είναι η αντίστροφη διαδικασία της ορθής ώσμωσης, η οποία περιγράφεται όταν δύο διαλύματα με διαφορετικές συγκεντρώσεις χωρίζονται από μια ημιπερατή μεμβράνη, δηλαδή μεμβράνη που δεν επιτρέπει τη διέλευση ορισμένων ουσιών μέσα από αυτή (όπως άλατα). Τότε θα περάσει από τη μεμβράνη το διάλυμα με τη μικρότερη συγκέντρωση προς το πυκνότερο διάλυμα, έως ότου εξισωθούν οι συγκεντρώσεις τους. Η πίεση που πρέπει να ασκηθεί στην πλευρά του πυκνότερου διαλύματος, για να μη λάβει χώρα το φαινόμενο της ώσμωσης, ονομάζεται ωσμωτική πίεση. (Μυσίρης, 2015)

Η μέθοδος της ΑΩ διακρίνεται σε τρεις φάσεις επεξεργασίας. Η πρώτη είναι η φάση προεπεξεργασίας και αποτελεί κρίσιμο στάδιο, καθώς είναι υπεύθυνη για την εξασφάλιση της καθαρότητας των μεμβρανών, μέσα από την καταστροφή των μικροοργανισμών και την απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών, και συνεπώς την αποτελεσματική λειτουργία της μονάδας. Η δεύτερη φάση αφορά τη διαδικασία της αντίστροφης ώσμωσης στην οποία παράγεται νερό απαλλαγμένο από άλατα, ενώ τέλος, ακολουθεί η τελική φάση επεξεργασίας, στην οποία γίνεται η προετοιμασία του νερού για τη διανομή του ως πόσιμου με χρήση χημικών για τη σταθεροποίηση του. Είναι εμφανές, λοιπόν, πως στη μέθοδος αντίστροφης ώσμωσης η κατανάλωση ενέργειας εξαρτάται σχεδόν αποκλειστικά από τις αντλίες για τη συμπίεση του νερού. Βασικό πλεονέκτημα της, έναντι των άλλως μεθόδων αφαλάτωσης, είναι ότι αποτελεί μια από τις λιγότερο ενεργοβόρες μεθόδους, γεγονός που καθιστά το κόστος παραγωγής του νερού ακόμα πιο χαμηλό. (Λεμονής, 2020)

2.4.3 Αφαλάτωση και Ενέργεια

Η κατανάλωση ισχύος για την αφαλάτωση με ΑΩ κυμαίνεται από 2 έως 5 kWh/m^3, ανάλογα τον τύπο νερού που επιλέγεται για αφαλάτωση, δηλαδή υφάλμυρο νερό ή θαλασσινό νερό. Τα τελευταία χρόνια η έρευνα στον τομέα της αφαλάτωσης έχει επικεντρωθεί στο συνδυασμό των μονάδων αφαλάτωσης με ΑΠΕ, ώστε να μειωθεί το ενεργειακό κόστος και, κατ' επέκταση, το κόστος του αφαλατωμένου νερού. Ωστόσο, αρκετές έρευνες υπέδειξαν τα προβλήματα που αντιμετωπίζουν τα συστήματα αφαλάτωσης όταν συνδέονται με ΑΠΕ, όπως η αδυναμία εξασφάλισης συνεχούς παροχής ενέργειας και αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας για την απρόσκοπτη λειτουργία της μονάδας αφαλάτωσης. Παρόλα αυτά, η αιολική ενέργεια μπορεί να συνεισφέρει στην εύρεση λύσης για την ενεργειακή κάλυψη των μονάδων, σε περιοχές με υψηλό αιολικό δυναμικό. Στις περιοχές αυτές η αιολική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για την αφαλάτωση, όσο και για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών των κατοίκων και αποδεικνύεται από το γεγονός πως σε πολλά ελληνικά νησιά έχουν εγκατασταθεί μικρές μονάδες αφαλάτωσης, που καλύπτονται ενεργειακά από την αιολική ενέργεια.

Στην υπό μελέτη εργασία, η ένταξη της αιολικής ενέργειας και της μονάδας αφαλάτωσης στο ΥΣ μπορεί να εξασφαλίσει την αδιάκοπη παροχή ηλεκτρικής ενέργειας προς το δίκτυο, αλλά και προς τη μονάδα αφαλάτωσης για κάλυψη των αναγκών σε αφαλατωμένο νερό ανά πάσα στιγμή. Τέλος, αξίζει να αναφερθεί πως η αφαλάτωση με ΑΠΕ δεν έχει αποτύπωμα άνθρακα, γεγονός που την καθιστά φιλική προς το περιβάλλον.

Κεφάλαιο 3: Γενικά Χαρακτηριστικά Περιοχής Μελέτης

3.1 Ιστορικά Στοιχεία Καρύστου

Η γεωγραφική θέση της Καρύστου, στο νοτιότερο άκρο της νήσου Εύβοιας, υπήρξε καθοριστικός παράγοντας για την ανάπτυξή της, καθώς ήταν σταυροδρόμι από τον ελλαδικό κορμό προς το νησιωτικό Αιγαίο και την Ανατολή. Από την πρώιμη αρχαιότητα μέχρι τα πιο πρόσφατα χρόνια, χαρακτηρίζεται από ένα πλούσιο ιστορικό παρελθόν, με την πρώτη αναφορά να εντοπίζεται στα ομηρικά έπη, καθώς συγκαταλέγεται στις πόλεις που συμμετείχαν με τον στόλο τους στον Τρωικό Πόλεμο. Τα πρώτα δείγματα ανθρώπινου πολιτισμού στην περιοχή χρονολογούνται προς το τέλος της Νεολιθικής εποχής, έως και το 4000 π.Χ., πιο συγκεκριμένα στο σπήλαιο της Αγίας Τριάδας και στον οικισμό που υπήρχε στον παράκτιο λόφο. Επίσης, εντοπίστηκαν εργαλεία από οψιδιανό, δηλαδή ευρήματα της πρώιμης και μέσης εποχής του Χαλκού (3000-1600 π.Χ.), ενώ στην περιοχή βρέθηκαν και πολλά ευρήματα της Αρχαϊκής περιόδου, όπως ιερά, κεραμίδια και ερείπια οικισμών. Κατά την Κλασική περίοδο και τον Περσικό Πόλεμο η Κάρυστος έπεσε στα χέρια του Ξέρξη, ενώ κατά τον Πελοποννησιακό Πόλεμο αναγκάστηκε αρχικά να συμμαχήσει με την Αθήνα αν και στη συνέχεια άλλαξε στρατόπεδο δύο φορές. Το 338 π.Χ., καταλαμβάνεται όλη η Εύβοια από τους Μακεδόνες, με την Μακεδονική φρουρά να διατηρείται στην Κάρυστο μέχρι το 198 π.Χ., οπότε και καταλήφθηκε από τους Ρωμαίους. Κατά την Ρωμαϊκή περίοδο, η πόλη γνώρισε σημαντική ανάπτυξη κυρίως λόγω των λατομείων εξόρυξης μαρμάρου, αλλά στη συνέχεια υπέστη μεγάλη παρακμή, κυρίως λόγω των πειρατικών επιδρομών, μέχρι την έλευση της Βυζαντινής περιόδου. Έκτοτε Φράγκοι, Λομβαρδοί, Ενετοί και Τούρκοι κατέκτησαν την Κάρυστο, μέχρι την απελευθέρωση της το 1833, οπότε και ακολούθησε μια πορεία ανάπτυξης. Οι κάτοικοι μετακινήθηκαν από τη βόρεια περιοχή δίπλα στο λιμάνι, ιδρύοντας τη νέα πόλη της Καρύστου, που άρχισε να κτίζεται το 1843. (Ιστοσελίδα Δήμου Καρύστου)

Το κύριο χαρακτηριστικό της περιοχής, μέχρι και την πρόσφατη ιστορία της, ήταν η έλλειψη εκσυγχρονισμού μιας. Αυτό εντοπιζόταν στην έλλειψη ηλεκτρισμού και στο απαρχαιωμένο οδικό δίκτυο το οποίο ανάγκαζε την περιοχή να επικοινωνεί με τον έξω κόσμο δια θαλάσσης και αυτό, μόνο όταν ο καιρός το επέτρεπε. Αποτέλεσμα είναι να αργήσει σημαντικά η τουριστική ανάπτυξη στην περιοχή και οι κάτοικοι να ζουν από την κτηνοτροφία και τα σχολεία κλείνουν από έλλειψη μαθητών. Λόγω των δυσκολιών διαβίωσης, πολλοί κάτοικοι μεταναστεύουν στις μεγάλες πόλεις. Στα τέλη του 20^{ου} αιώνα, η δημιουργία δρόμων βελτιώνεται η πρόσβαση σε όλη την περιοχή, ενώ

επεκτείνονται και τα λατομεία της Καρύστου. Τα τελευταία χρόνια, οι εξοχικές κατοικίες έχουν αυξηθεί ιδιαίτερα και η Κάρυστος, με την σύνδεση της με Ραφήνα και Αγία Μαρίνα, αποτελεί σημαντικό τουριστικό θέρετρο της περιοχής. (Τεγόπουλος, Μανιατέας, 1996)

3.2 Γεωγραφικά – Διοικητικά Στοιχεία

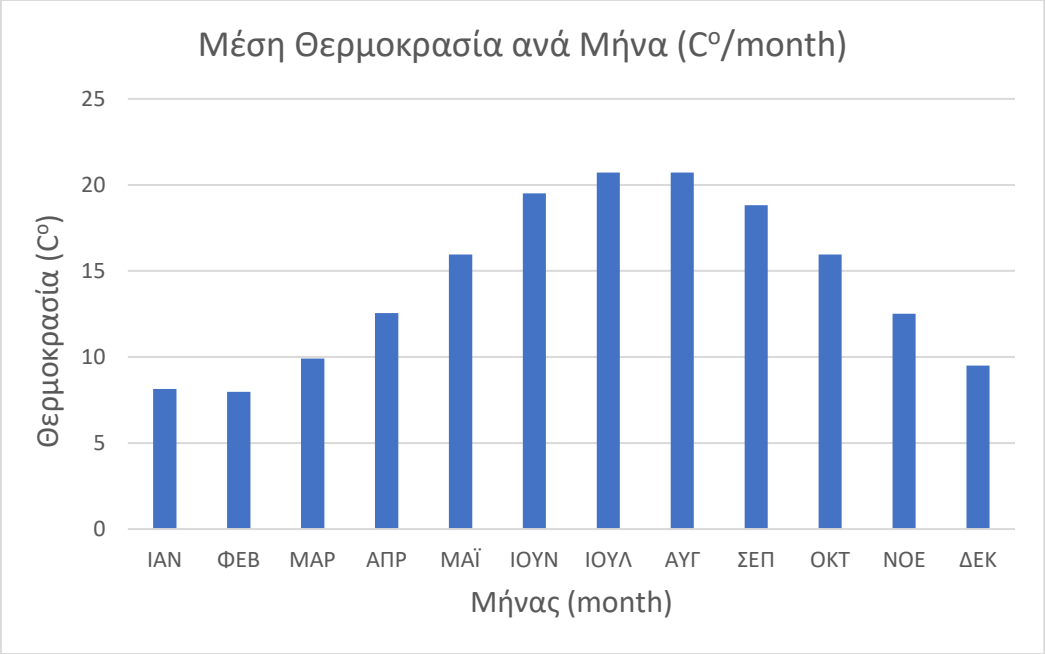
Η παρούσα μελέτη αφορά συνολικά τον Δήμο Καρύστου ο οποίος ανήκει στην Περιφερειακή Ενότητα Εύβοιας της περιφέρειας Στερεάς Ελλάδας, που συστάθηκε με το Πρόγραμμα Καλλικράτης από τη συνένωση των προϋπαρχόντων δήμων Καρύστου, Στυραίων και Μαρμαρίου και της δεύτερης κοινότητας της Εύβοιας, της Κοινότητας Καφηρέως. Η έκταση του νέου δήμου είναι 672.43 km^2 και ο πληθυσμός του 11,593 κάτοικοι σύμφωνα με την απογραφή του 2021. Έδρα του δήμου ορίστηκε η Κάρυστος. Η Κάρυστος είναι παραθαλάσσια κωμόπολη και λιμένας στη Νότια Εύβοια και αποτελεί την έδρα του ομώνυμου δήμου, ενώ υπήρξε πρωτεύουσα της ομώνυμης τέως επαρχίας. Είναι κτισμένη στον μυχό ομώνυμου κόλπου σε υψόμετρο 20 m. και έχει ομώνυμο λιμένα, που απέχει 61 ναυτικά μίλια από τον Πειραιά. Μέσω του λιμένα Καρύστου, εξυπηρετείται τακτική θαλάσσια συγκοινωνία με τη Ραφήνα. Παλαιότερα, υπήρχε θαλάσσια συγκοινωνία από Πειραιά με ενδιάμεσο λιμένα προσέγγισης την Κάρυστο, που συνέχιζε μέχρι τον Βόλο. Επίσης, συνδέεται οδικώς με Αθήνα μέσω Χαλκίδας, από την οποία απέχει 118 km.

Σχήμα 3-1: Γεωγραφική θέση Δήμου Καρύστου (Πηγή: ArcGIS Pro)

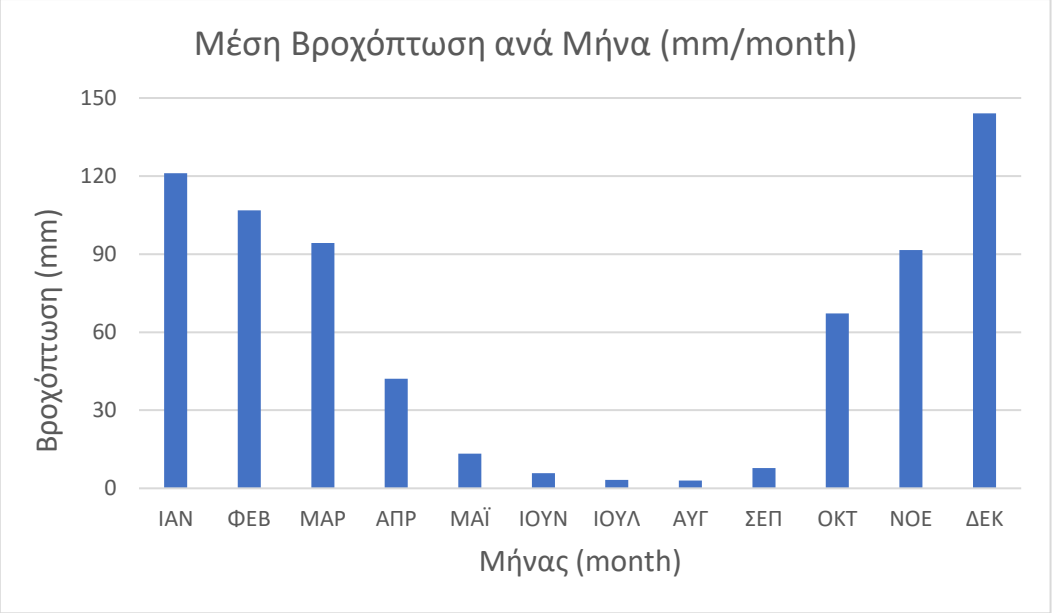
3.3 Κλιματικά Χαρακτηριστικά

Το κλίμα στην περιοχή της Καρύστου είναι μεσογειακό, με σχετικά ήπιους χειμώνες, έντονους ανέμους και αρκετές βροχοπτώσεις. Σύμφωνα με το μετεωρολογικό σταθμό της Καρύστου της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (ΕΜΥ), για τον οποίο υπάρχουν δεδομένα θερμοκρασίας και βροχόπτωσης για την περίοδο 1975-1993, προκύπτουν τα διαγράμματα των Σχημάτων 3.2, 3.3.

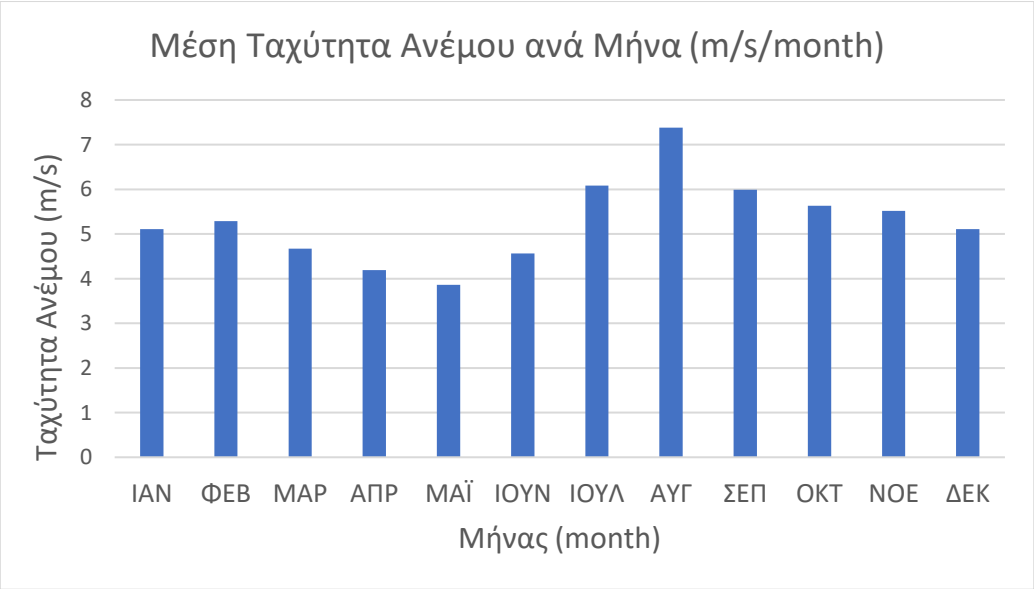
Η μέση η ετήσια θερμοκρασία αγγίζει τους 14.41 °C, ενώ οι μέσες μηνιαίες τιμές κυμαίνονται μεταξύ 8.15 °C (Ιανουάριος) και 20.73°C (Ιούλιος). Όσον αφορά στην βροχόπτωση, η μέση ετήσια ανέρχεται στα 700 mm, με τις μέσες μηνιαίες να κυμαίνονται από 3 mm (Αύγουστος) μέχρι 144 mm (Δεκέμβριος). Σχετικά με την ταχύτητα του ανέμου, από τον ίδιο μετεωρολογικό σταθμό για την περίοδο 2012 – 2021, προκύπτει μέση ετήσια ταχύτητα 5.28 m/s, με μέγιστη μηνιαία 7.38 m/s (Αύγουστος) και ελάχιστη 3.86 m/s (Μάιος) (Σχήμα 3.4).



Σχήμα 3-2: Μέση Μηνιαία Θερμοκρασία Ιστορικής Χρονοσειράς (Πηγή: ΕΜΥ)



Σχήμα 3-3: Μέση Μηνιαία Βροχόπτωση Ιστορικής Χρονοσειράς (Πηγή: ΕΜΥ)



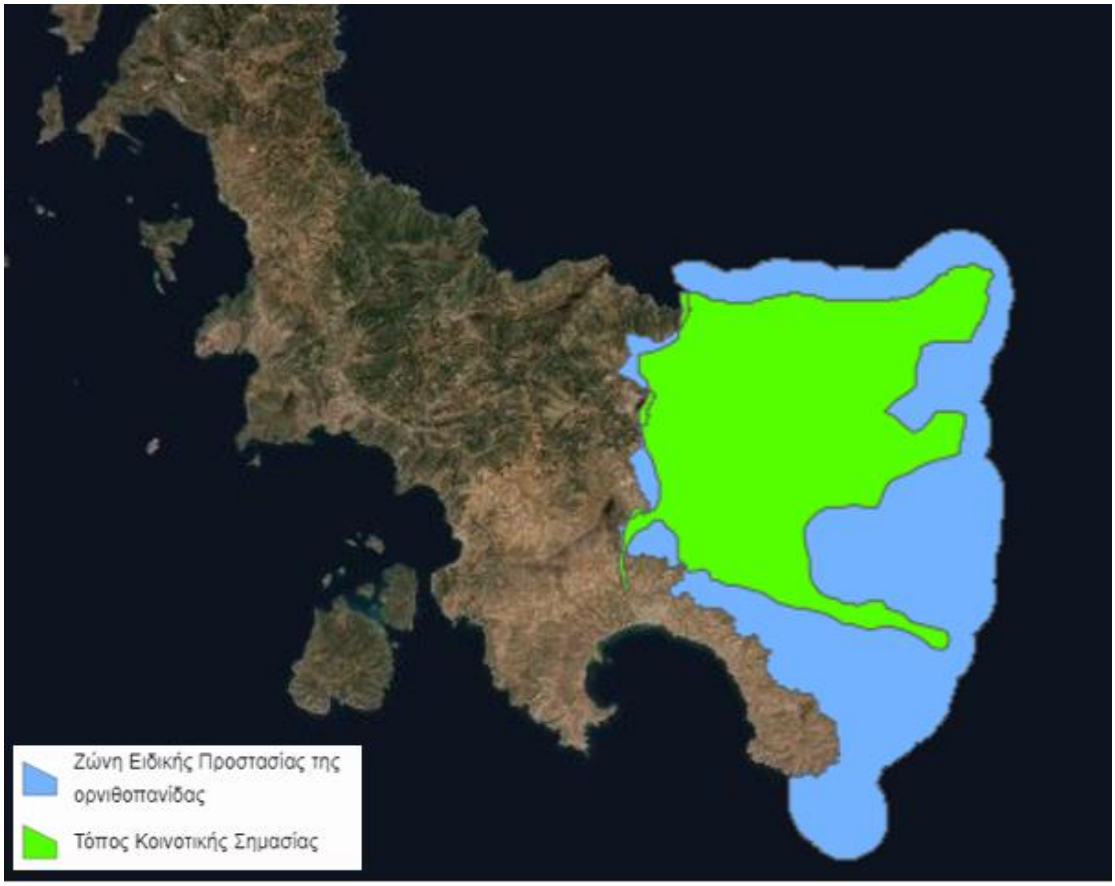
Σχήμα 3-4: Μέση Μηνιαία Ταχύτητα Ανέμου Ιστορικής Χρονοσειράς (Πηγή: ΕΜΥ)

3.4 Φυσικό Περιβάλλον και Καθεστώς Προστασίας Περιοχής

Το ανάγλυφο της περιοχής είναι ορεινό με κεντρική κορυφή την Όχη (1,398 m) και την κορυφή Γιούδας (1,368 m) και περιμετρικά κατέρχεται ομαλά στη θάλασσα. Όλη η περιοχή εκτός από τους βασικούς οικιστικούς πόλους που είναι η Κάρυστος, το Μαρμάρι και τα Στύρα, χαρακτηρίζεται από μικρούς οικισμούς, σε μεσαίο υψόμετρο. Οι ορεινές περιοχές είναι εξαιρετικά

δυσπρόσιτες χωρίς οικισμούς. Χαρακτηριστικό των οικισμών της περιοχής είναι η εξαιρετικά διάσπαρτη δόμηση. Η επαρχία Καρύστου είναι η πιο απομακρυσμένη ενότητα, σε σχέση με το κέντρο του νομού (Χαλκίδα). Για το λόγο αυτό, η περιοχή έχει αναπτύξει ιδιαίτερα την επικοινωνία με την Αττική. Σύμφωνα με τη Μελέτη Πλαισίου Χωροταξικού Σχεδιασμού και Αειφόρου Ανάπτυξης της Περιφέρειας Στερεάς Ελλάδας (Φεβρουάριος 2014), τα προστατευόμενα φυσικά τοπία είναι τα «Τοπία Ιδιαιτέρου Φυσικού κάλλους», τα αισθητικά δάση, οι πυρήνες και οι περιφερειακές ζώνες των Εθνικών Δρυμών και οι υγρότοποι, τα οποία είναι δυνατόν να κηρυχθούν ως προστατευόμενες περιοχές με σχετικές Υπουργικές Αποφάσεις. Στην Περιφέρεια Στερεάς Ελλάδας, έχουν καταγραφεί 28 Τοπία Ιδιαίτερου Φυσικού Κάλλους και στο Δήμο Καρύστου ανήκουν 3 από αυτά. Συγκεκριμένα, το Ακρωτήριο Καφηρέας (Κάβο Ντόρο), η Κοιλάδα Ρουκλίων και στην Όχη Ευβοίας το Δημοσάρη και ο Καστανόλογγος. (Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Δήμου Καρύστου 2016-2020).

Όσον αφορά στις περιοχές «NATURA 2000», αυτές αποτελούν το ευρωπαϊκό οικολογικό δίκτυο ζωνών προστασίας της φύσης με στόχο την διασφάλιση της μακροπρόθεσμης διατήρησής των πιο πολύτιμων και των πλέον απειλούμενων ειδών και ενδιαιτημάτων της σε ικανοποιητικό επίπεδο. Στο Δήμο Καρύστου καταλαμβάνουν έκταση 160 km^2 και περιλαμβάνουν τις περιοχές Όρος Όχη, Κάμπο Καρύστου, Ποτάμι, Ακρωτήριο Καφηρεύς και Παράκτια θαλάσσια ζώνη. Οι δύο περιοχές NATURA 2000 του Δήμου Καρύστου έχουν κωδικούς GR2420001 και GR2420012 (https://filotis.itia.ntua.gr). Τέλος, ως "Μνημείο τους Φύσης" έχουν χαρακτηρισθεί «Οι Ελιές του Αλμυροποτάμου», στο χωριό Αλμυροπόταμος.



Σχήμα 3-5: Περιοχές NATURA στον Δήμο Καρύστου
(Πηγή: https://www.geogreece.gr/natura.php)

3.5 Δημογραφικά Στοιχεία και Απασχόληση

Ο μόνιμος πληθυσμός του Δήμου Καρύστου, σύμφωνα με την τελευταία απογραφή το 2011, από την Ελληνική Στατιστική Αρχή (ΕΛ.ΣΤΑΤ), ανέρχεται σε 12,180 κατοίκους. Η εξέλιξη του μόνιμου πληθυσμού του Δήμου από το 2001 έως το 2021 φαίνεται στους Πίνακες 3.1 και 3.2. Σύμφωνα με τα δημογραφικά δεδομένα της ΕΛ.ΣΤΑΤ, ο δείκτης γήρανσης για τον Δήμο είναι 22% (65 ετών+), υψηλότερος από τον μέσο Εθνικό Δείκτη 17%. Οι μεγαλύτερες αριθμητικά ομάδες ηλικιών στον Δήμο είναι μεταξύ 40 - 49 ετών και ακολούθως μεταξύ 50-59 ετών, οι οποίες αποτελούν τον πυρήνα της παραγωγικής βάσης. Η μέση ηλικία των κατοίκων του Δήμου είναι τα 42.5 έτη. Τέλος, σύμφωνα με την απογραφή του 2021, από τους 11,593 μόνιμους κατοίκους οι 5,796 είναι γυναίκες και οι 5,797 άντρες.

Πίνακας 3-1: Πληθυσμός Δήμου Καρύστου (Πηγή : ΕΛ.ΣΤΑΤ)

Μόνιμος Πληθυσμός			
ΔΗΜΟΣ ΚΑΡΥΣΤΟΥ	2001	2011	2021
	13602	12180	11593

Πίνακας 3-2: Μεταβολή Πληθυσμού

Μεταβολή Μόνιμου Πληθυσμού		
ΔΗΜΟΣ ΚΑΡΥΣΤΟΥ	2001-2011	2011-2021
	-10.45%	-4.82%

Πίνακας 3-3: Ηλικιακή Κατανομή Πληθυσμού (Πηγή : ΕΛ.ΣΤΑΤ)

ΟΜΑΔΕΣ ΗΛΙΚΙΩΝ	
0-9	8%
10-19	10%
20-19	10%
30-39	13%
40-49	14%
50-59	12%
60-69	12%
70 & άνω	20%

Όσον αφορά στην απασχόληση στο Δήμο Καρύστου, με βάση τα στοιχεία της απογραφής του 2011, φαίνεται πως κυριαρχεί ο τριτογενής τομέας και συγκεκριμένα ο κλάδος του τουρισμού, της παροχής υπηρεσιών (χώροι εστίασης, μεταφορά αποθήκευση και επικοινωνίες), λιανικό και χονδρικό εμπόριο και ελεύθεροι επαγγελματίες. Στον τριτογενή, απασχολούνται 2,031 άνθρωποι, περίπου το 56% του συνόλου των οικονομικώς ενεργών απασχολούμενων. Ακολουθεί ο δευτερογενής τομέας παρασκευής και μεταποίησης (λατομεία, κατασκευές κτλ.) απασχολώντας 660 εργαζόμενους, δηλαδή το 12% των οικονομικά ενεργών απασχολούμενων. Ο πρωτογενής τομέας, γεωργία-κτηνοτροφία-αλιεία, καταλαμβάνει το μικρότερο ποσοστό στο Δήμο με 759 άτομα απασχολούμενους το 2011.

Πίνακας 3-4: Κατανομή στους οικονομικούς τομείς (Πηγή: ΕΛ.ΣΤΑΤ)

Οικονομικός Τομέας	Απασχολούμενοι
Πρωτογενής	759
Δευτερογενής	815
Τριτογενής	2031
Σύνολο	3605

Πίνακας 3-5: Κατανομή στους κλάδους οικονομικής δραστηριότητας (Πηγή: ΕΛ.ΣΤΑΤ)

Κλάδοι οικονομικής δραστηριότητας	Απασχολούμενοι	Ποσοστό
ΓΕΩΡΓΙΑ, ΔΑΣΟΚΟΜΙΑ ΚΑΙ ΑΛΙΕΙΑ	759	21%
ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ	487	14%
ΧΟΝΔΡΙΚΟ ΚΑΙ ΛΙΑΝΙΚΟ ΕΜΠΟΡΙΟ - ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΜΗΧΑΝΟΚΙΝΗΤΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΜΟΤΟΣΥΚΛΕΤΩΝ	542	15%
ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΚΑΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ	221	6%
ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ ΠΑΡΟΧΗΣ ΚΑΤΑΛΥΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ ΕΣΤΙΑΣΗΣ	366	10%
ΔΙΟΙΚΗΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΥΠΟΣΤΗΡΙΚΤΙΚΕΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ	51	1%
ΔΗΜΟΣΙΑ ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΚΑΙ ΑΜΥΝΑ - ΥΠΟΧΡΕΩΤΙΚΗ ΚΟΙΝΩΝΙΚΗ ΑΣΦΑΛΙΣΗ	230	6%
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ	182	5%
ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ ΣΧΕΤΙΚΕΣ ΜΕ ΤΗΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΥΓΕΙΑ ΚΑΙ ΤΗΝ ΚΟΙΝΩΝΙΚΗ ΜΕΡΙΜΝΑ	136	4%
ΛΟΙΠΟΙ ΚΛΑΔΟΙ	631	18%
ΣΥΝΟΛΟ	3,605	

3.6 Υποδομές

3.6.1 Αποχετευτικό Δίκτυο

Η πόλη της Καρύστου διαθέτει σύστημα αγωγών αποχέτευσης, οι οποίοι οδηγούν τα λύματα σε κεντρικό αγωγό που καταλήγει στον Κεντρικό Αποχετευτικό Αγωγό. Το συνολικό μήκος των αγωγών του δικτύου αποχέτευσης φτάνει τα 15 km. Ο Κ.Α.Α. καταλήγει στη θέση Λιβαδάκι, όπου λειτουργεί από το 1995 η Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων (ΕΛΛ), που λειτουργεί από το 1995 προβλέπει την επεξεργασία αστικών λυμάτων καθώς και βοθρολύματων. Επίσης, στον χώρο των εγκαταστάσεων, από το 2008 λειτουργεί εργαστήριο ελέγχου ποιότητας των λυμάτων. Οι υπόλοιποι οικισμοί του Δήμου δεν εξυπηρετούνται από ΕΛΛ. (Ιστοσελίδα Δήμου Καρύστου)

3.6.2 Ύδρευση

Η ύδρευση του Δήμου Καρύστου πραγματοποιείται με πόσιμο νερό που αντλείται από πηγές, γεωτρήσεις και υδραγωγεία, και διανέμεται αποκλειστικά στους κατοίκους του Δήμου μόνο για οικιακή και επαγγελματική χρήση, και όχι για άρδευση καλλιεργειών ή άλλες κτηνοτροφικές δραστηριότητες, σύμφωνα με την υπ. αρ. 79/1-4/2012 απόφαση του Δημοτικού Συμβουλίου Καρύστου.

3.6.3 Ενέργεια

Ο Δήμος Καρύστου καλύπτεται ενεργειακά από τον σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας του Αλιβερίου, που λειτουργεί από το 1953. Ο σταθμός έως το 2012 χρησιμοποιούσε ως καύσιμο τον λιγνίτη και το μαζούτ. Σήμερα, αποτελεί μία από τις σύγχρονες μονάδες φυσικού αερίου της χώρας, με τη συνολική εγκαταστημένη ισχύ να ανέρχεται σε 426.9 MW. Επίσης, στην περιοχή λειτουργούν δεκάδες αιολικά πάρκα, με την εγκατεστημένη ισχύς τους σταδιακά να αυξάνεται. Ωστόσο, αξίζει να σημειωθεί ότι αρκετά από τα εν λειτουργεία Α/Π έχουν εγκατασταθεί εντός των περιοχών «NATURA 2000», γεγονός που προκαλεί αντιδράσεις στην τοπική, αλλά και στην ευρύτερη κοινωνία.

Κεφάλαιο 4: Μεθοδολογία Ανάλυσης Δεδομένων

4.1 Επεξεργασία Δεδομένων

Οι εκτιμήσεις και οι προβλέψεις φυσικών και υδρολογικών εξάγονται κατόπιν επεξεργασίας της διαθέσιμης ιστορικής πληροφορίας, με πιθανοθεωρητικές και στατιστικές μεθόδους. Η ιστορική πληροφορία, υπό την μορφή ιστορικής χρονοσειράς, είναι ένα σύνολο μετρήσεων μιας φυσικής διεργασίας, που αναφέρεται σε συγκεκριμένη περιοχή ή θέση. Είναι, λοιπόν, αυτονόητο ότι η λήψη των κατάλληλων μετρήσεων και η κατάρτιση ενός επαρκούς υδρολογικού δείγματος προηγείται και αποτελεί τη βάση της στατιστικής επεξεργασίας και συναγωγής συμπερασμάτων. Επιπρόσθετα, ισχύει ότι όσο πιο μεγάλο είναι το μέγεθος του δείγματος και όσο μεγαλύτερη η αξιοπιστία των μετρήσεων, τόσο πιο αξιόπιστες είναι και οι εκτιμήσεις και οι προβλέψεις (Κουτσογιάννης, 1997).

Η μελέτης του ΥΣ της παρούσας εργασίας έχει διάρκεια ζωής 40 έτη. Για το λόγο αυτό, καθίσταται αναγκαία η παραγωγή συνθετικών χρονοσειρών μήκους 40 ετών, καθώς τα ιστορικά διαθέσιμα δεδομένα έχουν σημαντικά μικρότερη διάρκεια και διαφορετικό μήκος μεταξύ τους. Επίσης, η διαστασιολόγηση του συστήματος δε μπορεί να πραγματοποιηθεί με χρήση των αυτούσιων ιστορικών δεδομένων, διότι είναι απαραίτητο να συμπεριληφθεί η στοχαστικότητα των φυσικών μεγεθών, δηλαδή της βροχόπτωσης, της θερμοκρασίας και της ταχύτητας ανέμου, η οποία στοχαστικότητα μπορεί να εξασφαλιστεί με την χρήση των συνθετικών χρονοσειρών.

4.1.1 Παραγωγή Συνθετικής Χρονοσειράς Βροχόπτωσης

Από την ΕΜΥ, λαμβάνεται η ιστορική χρονοσειρά βροχόπτωσης συνολικού μήκους 18 χρόνων (1975-1993). Οι μετρήσεις προέρχονται από τον μετεωρολογικό σταθμό της Καρύστου, σε υψόμετρο 29 m και έχουν ημερήσιο βήμα, χωρίς να παρουσιάζουν ελλείψεις. Η αρχική ανάλυση γίνεται με τη μετατροπή της χρονοσειράς από ημερήσια σε μηνιαία, καθώς και τη μονιμοποίηση των μηνιαίων τιμών, με σκοπό να προκύψουν οι απαραίτητες στατιστικοί παράμετροι και συντελεστές, βάσει των οποίων γίνεται η παραγωγή των συνθετικών χρονοσειρών (Mimikou, Baltas, Tsihrintzis, 2016). Στον Πίνακα 4.1, παρουσιάζονται οι μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις, ανά μήνα της ιστορικής χρονοσειράς. Η βροχόπτωση αποτελεί αθροιστικό μέγεθος, συνεπώς το ημερήσιο άθροισμα κάθε μήνα αποτελεί την μέση τιμή του.

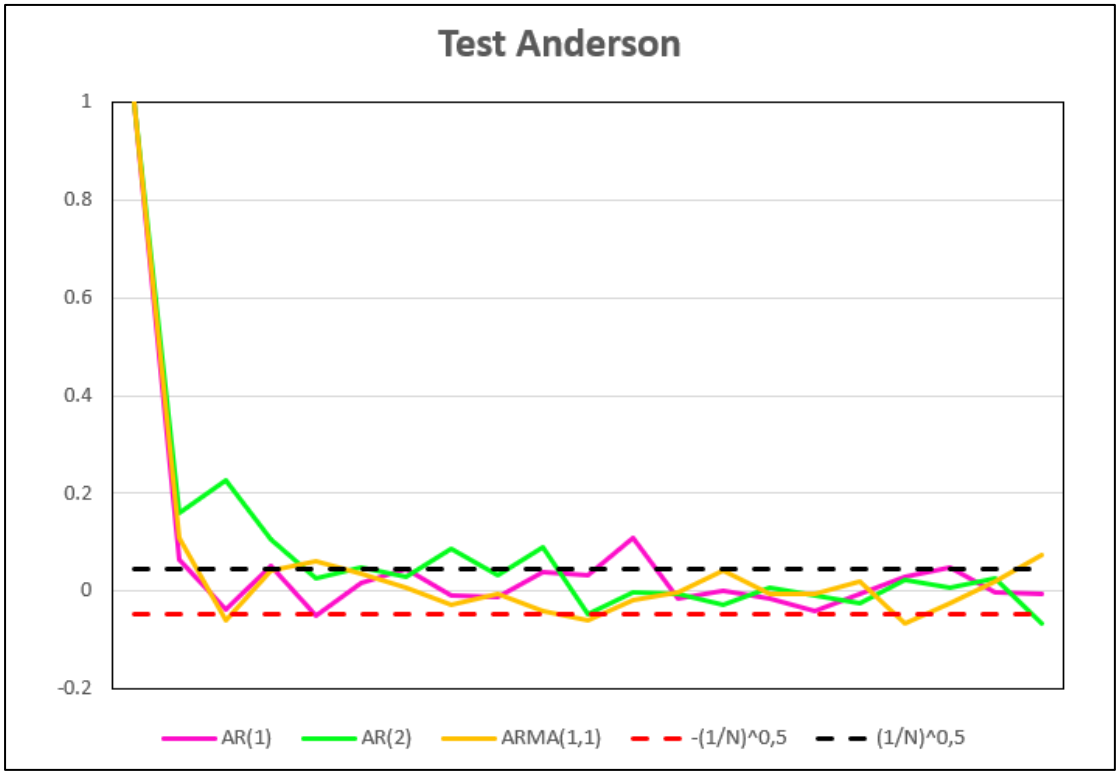
Πίνακας 4-1: Μέση τιμή και τυπική απόκλιση ανά μήνα ιστορικής χρονοσειράς βροχόπτωσης

Μήνας	**Μέση Τιμή (mm)**	**Τυπική Απόκλιση (mm)**
ΙΑΝ	121.08	116.88
ΦΕΒ	106.85	66.56
ΜΑΡ	94.33	79.49
ΑΠΡ	42.11	44.80
ΜΑΪ	13.30	13.36
ΙΟΥΝ	5.83	11.26
ΙΟΥΛ	3.27	7.74
ΑΥΓ	2.99	5.77
ΣΕΠ	7.77	16.88
ΟΚΤ	67.23	78.38
ΝΟΕ	91.54	48.26
ΔΕΚ	144.13	67.19

Μετά την ανάλυση της ιστορικής χρονοσειράς, πραγματοποιείται παραγωγή συνθετικών χρονοσειρών, εξετάζοντας τρία διαφορετικά μοντέλα. Συγκεκριμένα, γίνεται παραγωγή συνθετικών χρονοσειρών με τα μοντέλα AR(1) (μοντέλο αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης), AR(2) (μοντέλο αυτοσυσχέτισης δεύτερης τάξης) και με το ARMA(1,1) (μοντέλο αυτοπαλινδρόμησης πρώτης τάξης και κυλιόμενου μέσου) (Κουτσογιάννης, 2017). Στην συνέχεια, μέσω του ελέγχου Anderson - Darling επιλέγεται η βέλτιστη συνθετική χρονοσειρά (Anderson, Darling, 1952). Στο Σχήμα 4.1, φαίνονται τα αποτελέσματα του ελέγχου. Η βέλτιστη χρονοσειρά είναι εκείνη της οποίας το μεγαλύτερο μέρος βρίσκεται μέσα στο διάστημα { $-(1/N)^{0,5}$, $(1/N)^{0,5}$ } δηλαδή μεταξύ των διακεκομμένων γραμμών του Σχήματος 4.1.

Με βάση τον έλεγχο Anderson, προκύπτει πως τα μοντέλα AR(1) και ARMA(1,1) έχουν καλύτερη συμπεριφορά. Η πρώτη μέθοδος αναπαριστά μια τυχαία διαδικασία, που στηρίζει ότι η βροχόπτωση ορίζεται γραμμικά από την αμέσως προηγούμενη τιμή της, αφού το μοντέλο είναι πρώτης τάξης, και από έναν στοχαστικό όρο, το λευκό θόρυβο, ο οποίος μετράει τα σφάλματα. Ως λευκός θόρυβος ορίζεται, σε διακριτό χρόνο, ένα διακριτό σήμα του οποίου τα δείγματα θεωρούνται ως ακολουθία ασυσχέτιστων τυχαίων μεταβλητών, με μηδενική μέση τιμή και πεπερασμένη διακύμανση, ή αλλιώς μια στιγμιαία και

διακριτή διακύμανση στο δείγμα (Λεμονής, 2020). Η δεύτερη μέθοδος είναι ένας συνδυασμός από τη μέθοδο AR και από διαδικασία κινητού μέσου MA. Να σημειωθεί ότι τα υποδείγματα κινητού μέσου MA είναι χρήσιμα για την περιγραφή φαινομένων, όπου τα γεγονότα παράγουν ένα άμεσο αποτέλεσμα, η επίδραση του οποίου δεν σταματά εκεί αλλά συνεχίζει. Ο συνδυασμός των δύο μεθόδων, γνωστός ARMA, έχει αποδειχτεί ως ένα μοντέλο κατάλληλο για την ανάλυση ιστορικών χρονοσειρών, αλλά και την παραγωγή μελλοντικών συνθετικών χρονοσειρών.



Σχήμα 4-1: Έλεγχος Anderson για τη Χρονοσειρά Βροχόπτωσης

Τελικά, προκρίνεται το μοντέλο ARMA(1,1) από το οποίο, σύμφωνα με τον έλεγχο (Σχήμα 4.1), μπορεί να παραχθεί η βέλτιστη συνθετική χρονοσειρά βροχόπτωσης.

Η συνθετική χρονοσειρά που παράγεται αρχικά έχει μηνιαίο βήμα. Προκειμένου η συνθετική χρονοσειρά να μετατραπεί σε ημερήσια, υπολογίζεται από την ιστορική το ποσοστό βροχόπτωσης κάθε ημέρας για κάθε μήνα (Πίνακας 4.2).

Πίνακας 4-2: Ημερήσιο ποσοστό βροχόπτωσης ανά μήνα (%)

Ημερήσιο Ποσοστό Βροχόπτωσης κάθε Μήνα (%)												
Α/Α	**ΙΑΝ**	**ΦΕΒ**	**ΜΑΡ**	**ΑΠΡ**	**ΜΑΪ**	**ΙΟΥΝ**	**ΙΟΥΛ**	**ΑΥΓ**	**ΣΕΠ**	**ΟΚΤ**	**ΝΟΕ**	**ΔΕΚ**
1	7.13	4.19	4.20	6.89	2.18	0.90	0.16	0.00	3.39	0.67	1.03	1.66
2	3.17	5.60	2.40	0.04	2.37	7.40	13.37	0.00	0.00	0.42	2.36	2.02
3	3.09	3.60	8.98	2.62	2.77	0.90	4.83	0.00	0.00	0.00	1.72	4.97
4	0.96	0.49	5.52	2.62	0.00	1.81	0.32	0.00	14.35	5.64	3.45	3.94
5	0.87	4.04	4.07	0.76	0.44	3.61	12.88	0.00	0.00	16.36	3.37	2.58
6	3.35	5.86	3.92	3.37	7.52	34.30	6.44	0.00	0.00	4.24	2.07	3.47
7	6.22	3.70	7.72	2.75	9.50	3.70	4.83	0.00	2.03	3.60	1.12	3.88
8	4.63	2.76	4.35	1.25	1.58	2.71	0.00	8.80	0.00	0.55	3.51	4.90
9	6.69	3.35	5.86	0.51	1.58	11.10	0.32	4.05	3.39	0.31	2.26	3.93
10	5.09	0.65	4.35	1.42	5.54	14.80	6.60	1.23	4.06	0.09	1.32	5.55
11	1.27	0.94	4.64	7.25	2.45	1.81	0.00	0.00	4.06	0.00	0.11	1.59
12	0.70	2.23	2.57	1.80	11.91	0.90	0.00	0.00	0.00	0.08	0.41	2.57
13	3.61	3.35	3.96	5.51	5.14	0.45	0.00	0.18	17.47	1.02	0.35	2.47
14	0.78	5.66	0.04	2.26	0.79	0.00	0.00	0.00	4.06	2.85	1.29	3.70
15	0.30	4.14	1.62	2.37	7.60	0.00	0.00	1.94	2.71	0.96	1.85	0.89
16	4.45	4.58	3.74	1.51	5.14	3.61	0.00	7.04	0.00	0.46	2.82	1.04
17	5.61	3.64	5.64	3.75	3.96	0.00	0.00	0.00	0.00	2.68	0.83	3.12
18	2.83	4.10	1.90	3.75	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	1.49	5.24	5.78
19	3.52	3.00	2.35	13.77	0.04	0.00	0.00	10.92	0.00	1.02	3.59	5.67
20	3.78	1.59	2.13	4.67	4.35	2.80	0.00	0.00	26.40	2.27	4.59	3.84
21	3.39	2.36	0.12	3.37	0.00	4.51	0.00	0.00	1.35	4.72	4.43	3.05
22	3.15	4.58	1.89	3.52	0.00	4.51	0.00	10.56	6.09	13.49	5.01	4.55
23	2.22	6.41	3.29	2.25	0.40	0.00	0.00	0.00	0.07	2.86	4.97	3.47
24	2.05	8.03	5.58	0.37	7.12	0.00	0.00	30.11	3.39	1.41	4.54	3.44
25	2.49	6.55	2.23	0.25	2.61	0.00	0.16	0.00	0.00	0.49	6.67	1.66
26	1.35	1.92	0.23	2.52	2.81	0.00	0.16	0.00	0.00	1.65	5.86	3.73
27	2.13	1.09	1.56	0.76	0.00	0.18	0.00	0.00	0.00	6.73	3.46	1.99
28	4.54	0.99	2.90	2.77	0.79	0.00	0.00	0.00	0.68	10.57	9.14	2.36
29	2.10	2.25	0.84	10.14	0.00	0.00	40.26	0.35	0.41	9.39	6.67	2.69
30	4.32		0.78	5.12	8.31	0.00	9.66	0.18	6.09	1.64	5.95	2.89
31	4.23		0.59		3.01		0.00	24.65		2.35		2.62

4.1.2 Παραγωγή Συνθετικής Χρονοσειράς Θερμοκρασίας

Η ιστορική χρονοσειρά θερμοκρασίας λαμβάνεται από τον ίδιο μετεωρολογικό σταθμό, για την ίδια περίοδο με την χρονοσειρά της βροχόπτωσης (1975 - 1993). Για την παραγωγή των συνθετικών χρονοσειρών, ακολουθείται η ίδια διαδικασία με της βροχόπτωσης, με διαφορά ότι η μέση ημερήσια θερμοκρασία ορίζεται ως ο μέσος όρος της θερμοκρασίας εκείνη την ημέρα, και όχι το άθροισμα. Όμοια με την διαδικασία που περιγράφεται στο υποκεφάλαιο 4.1.1 για την βροχόπτωση, έτσι και για την θερμοκρασία υπολογίζεται αρχικά η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση κάθε μήνα της ιστορικής χρονοσειράς. Στη συνέχεια υπολογίζονται τα ημερήσια ποσοστά θερμοκρασίας του κάθε μήνα ως προς τη μέση τιμή του μήνα, με βάση τα οποία οι συνθετικές μηνιαίες χρονοσειρές μετατρέπονται σε ημερήσιες. Με βάση τον έλεγχο Anderson, η βέλτιστη μέθοδος για την παραγωγή των συνθετικών χρονοσειρών είναι, και πάλι, το ARMA (1,1).

Στον Πίνακα 4.3, παρουσιάζονται οι μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις για κάθε μήνα και στον Πίνακα 4.4 τα ημερήσια ποσοστά κάθε μήνα, που προκύπτουν από την ιστορική χρονοσειρά.

Πίνακας 4-3: Μέση τιμή και τυπική απόκλιση ανά μήνα ιστορικής χρονοσειρά θερμοκρασίας

Μήνας	**Μέση Τιμή (mm)**	**Τυπική Απόκλιση (mm)**
ΙΑΝ	8.15	1.05
ΦΕΒ	7.97	1.59
ΜΑΡ	9.91	1.21
ΑΠΡ	12.56	0.71
ΜΑΪ	15.96	1.01
ΙΟΥΝ	19.50	0.65
ΙΟΥΛ	20.73	0.83
ΑΥΓ	20.71	0.65
ΣΕΠ	18.82	0.73
ΟΚΤ	15.96	1.50
ΝΟΕ	12.51	1.48
ΔΕΚ	9.50	1.24

Πίνακας 4-4: Ημερήσιο ποσοστό θερμοκρασίας ανά μήνα

Ημερήσιο Ποσοστό (%) Θερμοκρασίας κάθε Μήνα (C°)												
Α/Α	**ΙΑΝ**	**ΦΕΒ**	**ΜΑΡ**	**ΑΠΡ**	**ΜΑΪ**	**ΙΟΥΝ**	**ΙΟΥΛ**	**ΑΥΓ**	**ΣΕΠ**	**ΟΚΤ**	**ΝΟΕ**	**ΔΕΚ**
1	1.02	0.96	0.81	0.94	0.86	0.90	1.01	1.01	1.05	1.10	1.09	1.09
2	1.02	0.98	0.93	0.97	0.89	0.89	0.99	1.01	1.06	1.05	1.09	1.16
3	0.95	0.99	0.97	0.96	0.87	0.91	1.00	1.00	1.07	1.06	1.13	1.11
4	0.93	0.89	0.90	0.97	0.90	0.91	1.01	1.00	1.04	1.04	1.12	1.05
5	0.99	0.94	0.88	0.99	0.93	0.93	1.00	1.02	1.04	1.06	1.14	1.06
6	0.98	0.99	0.82	1.03	0.95	0.95	1.00	1.00	1.01	1.07	1.11	1.06
7	1.03	1.05	0.86	1.02	0.92	0.96	1.03	1.01	1.00	1.08	1.06	1.13
8	0.94	0.95	0.87	1.01	0.91	0.96	0.99	0.99	1.00	1.10	1.01	1.09
9	0.85	1.00	0.87	1.03	0.93	0.97	0.99	1.02	1.01	1.14	0.95	1.03
10	0.94	1.06	0.89	1.06	0.97	0.98	0.98	1.04	1.02	1.11	0.95	1.02
11	1.03	1.16	0.87	1.01	0.99	0.99	0.98	1.05	0.99	1.06	0.92	1.05
12	1.12	1.17	0.86	0.97	0.99	1.01	1.00	1.02	1.04	1.08	0.93	0.99
13	1.09	1.20	0.84	0.95	0.96	1.01	1.00	1.02	1.00	1.08	0.93	0.92
14	0.99	1.13	0.91	0.95	0.96	1.00	0.98	1.01	0.98	1.02	1.03	0.95
15	0.96	1.07	0.95	0.92	0.97	1.00	1.01	1.00	1.02	1.01	1.05	1.03
16	1.01	1.07	0.97	0.95	0.98	1.02	1.03	1.00	1.01	1.02	1.04	1.01
17	0.88	1.06	0.93	0.98	1.00	1.03	1.02	0.98	0.99	0.99	1.03	1.05
18	0.87	1.02	0.98	1.01	1.02	1.02	1.00	0.98	0.99	0.98	1.00	1.10
19	0.90	0.91	0.99	1.01	1.04	1.03	1.00	0.99	0.99	1.00	0.97	1.13
20	0.94	0.93	1.02	0.96	1.05	1.03	1.00	1.00	0.97	1.01	0.98	1.07
21	0.97	0.94	1.09	0.94	1.07	1.04	1.00	0.99	0.97	1.01	1.00	0.94
22	0.95	0.96	1.16	0.96	1.09	1.02	1.01	0.97	0.98	0.95	1.00	0.99
23	1.04	0.88	1.16	0.97	1.09	1.05	0.98	0.98	0.98	0.94	1.03	0.99
24	1.09	0.87	1.18	1.03	1.09	1.07	0.98	0.99	0.99	0.93	0.97	0.89
25	1.04	0.91	1.14	1.07	1.07	1.07	0.99	0.99	0.98	0.88	0.95	0.88
26	1.07	0.93	1.16	1.09	1.05	1.06	1.01	0.99	0.98	0.87	0.95	0.81
27	1.15	0.99	1.18	1.08	1.05	1.04	1.03	0.99	0.98	0.88	0.94	0.78
28	1.11	0.99	1.15	1.07	1.07	1.04	1.03	1.00	0.97	0.87	0.90	0.82
29	1.13	0.91	1.22	1.07	1.10	1.05	1.01	0.98	0.96	0.86	0.90	0.93
30	1.09		1.21	1.03	1.12	1.05	0.97	0.99	0.95	0.87	0.83	0.94
31	0.95		1.20		1.12		0.97	0.96		0.87		0.95

4.1.3 Παραγωγή Συνθετικής Χρονοσειράς Ανέμου

Ένας από τους πιο σημαντικούς παράγοντες, για την διαστασιολόγηση του ΥΣ, είναι το αιολικό δυναμικό της περιοχής μελέτης. Τα ιστορικά ανεμολογικά δεδομένα προέρχονται, όπως για την βροχόπτωση και την θερμοκρασία, από την ΕΜΥ και τον σταθμό της Καρύστου σε υψόμετρο 29 m. Η ιστορική χρονοσειρά έχει διάρκεια 11 έτη (2011-2021) και τρίωρο βήμα. Τα δεδομένα παρουσιάζουν ελλείψεις οι οποίες καλύπτονται έτσι ώστε να διατηρείται η εποχικότητα και η ημερήσια διακύμανση του ανέμου κάθε μήνα.

Η μεθοδολογία, που χρησιμοποιείται για την παραγωγή των συνθετικών χρονοσειρών ταχύτητας ανέμου, διαφέρει από αυτή που εφαρμόζεται για τα μεγέθη της βροχόπτωσης και της θερμοκρασίας, και βασίζεται στους Negra et al. (2007). Πιο συγκεκριμένα, η ιστορική χρονοσειρά ορίζεται ως δεδομένο εισόδου για την μεθοδολογία, με την οποία εξάγεται μια συνθετική χρονοσειρά ενός έτους με τρίωρο βήμα. Η μέθοδος εφαρμόζεται 40 φορές, ώστε η τελική συνθετική χρονοσειρά να έχει διάρκεια ίση με την διάρκεια ζωής του έργου, δηλαδή 40 έτη. Τελικά, οι συνθετικές χρονοσειρές τρίωρου βήματος που προκύπτουν, μετατρέπονται σε ωριαίου βήματος, ώστε να υπάρχει κοινό χρονικό βήμα μεταξύ των χρονοσειρών βροχόπτωσης, θερμοκρασίας και ανέμου.

Τα βήματα της μεθοδολογίας είναι τα ακόλουθα:

- Δημιουργία ενός πίνακα, που περιλαμβάνει κλάσεις ανάλογα με την ταχύτητα του ανέμου.

- Για κάθε κλάση υπολογίζεται η πιθανότητα εμφάνισης της, State Probability $p_{ws,i}$, σύμφωνα με τη σχέση 4.1:

$$p_{ws,i} = \frac{\sum_{j=1}^{M_{ws}} D_{ws,i,j}}{\sum_{k=1}^{M_{ws}} \sum_{j=1}^{M_{ws}} D_{ws,k,j}} \quad (4.1)$$

  Όπου $p_{ws,i}$ η πιθανότητα εμφάνισης και $D_{ws,i,j}$ ο χρόνος παραμονής στην εκάστοτε κλάση πριν μεταβεί στην επόμενη.

- Στη συνέχεια, υπολογίζεται η συχνότητα εμφάνισης, Frequency, δηλαδή πόσο συχνά ο άνεμος μετακινείται στην εξεταζόμενη κλάση από μια προηγούμενη ή επόμενη κλάση, με τη σχέση (4.2):

$$f_{ws,i} = N_{ws,i,i+1} + N_{ws,i,i-1} \quad (4.2)$$

- Για κάθε κλάση υπολογίζεται η συχνότητα που ο άνεμος μετακινείται από προηγούμενη κλάση στην εξεταζόμενη κλάση, Up, και αντίστοιχα η συχνότητα που μετακινείται από επόμενη κλάση στην εξεταζόμενη, Down.

- Για κάθε κλάση, υπολογίζεται η μέση διάρκεια παραμονής στη συγκεκριμένη κλάση, με τη σχέση (4.3):

$$d_{ws,i} = \frac{p_{ws,i}}{f_{ws,i}} \quad (4.3)$$

- Υπολογίζονται οι τιμές των συντελεστών $\lambda_{ws,i+1}$ και $\lambda_{ws,i-1}$, οι οποίοι σχετίζονται με την πιθανότητα να υπάρξει μετακίνηση στην αμέσως προηγούμενη ή στην αμέσως επόμενη αντίστοιχα, από μία συγκεκριμένη κλάση, με τη σχέση (4.4):

$$\lambda_{ws,i\pm1} = \frac{N_{ws,i\pm1}}{p_{ws,i}} \quad (4.4)$$

Μετά τον προσδιορισμό των παραμέτρων για κάθε μήνα και της ταξινόμησης τους σε πίνακες, ακολουθεί η παραγωγή των χρονοσειρών ανέμου με βήμα αντίστοιχο της ιστορικής χρονοσειράς, σύμφωνα με τα παρακάτω βήματα:

- Το διάνυσμα της ταχύτητας αποκτά μια αρχική ταχύτητα. Στο πρώτο χρονικό, ως αρχική τιμή επιλέγεται η μέση ετήσια ταχύτητα.

- Για κάθε χρονικό βήμα δημιουργούνται δύο τυχαίοι αριθμοί, U_1^i και U_2^i, οι οποίες παίρνουν τιμές από 0 έως 1, και αντιπροσωπεύουν την πιθανότητα το διάνυσμα της ταχύτητας να μετατοπιστεί στην αμέσως επόμενη ή προηγούμενη κλάση.

- Υπολογίζεται ο χρόνος μετάβασης στην αμέσως επόμενη και στην αμέσως προηγούμενη κλάση, με τις σχέσεις (4.5) και (4.6):

$$TUU^i = \frac{h}{\lambda_{up}} \ln\left(U_1^i\right) \quad (4.5)$$

$$TUD^i = \frac{h}{\lambda_{down}} ln\left(U_2^i\right) \quad (4.6)$$

Όπου h η περίοδος προσομοίωσης σε τρίωρα, δηλαδή ίδια με την ιστορική χρονοσειρά. Η μικρότερη τιμή μεταξύ των σχέσεων καθορίζει σε ποια κατάσταση θα βρεθεί το νέο διάνυσμα της ταχύτητας.

- Σε περίπτωση που $TTU^i = 0$, τότε θεωρείται ότι ο άνεμος δεν μπορεί να μετατοπιστεί σε μεγαλύτερη κλάση και, επομένως, μετατοπίζεται στην αμέσως χαμηλότερη σε χρονικό διάστημα TTD^i. Αντίθετα, στην περίπτωση που $TTD^i = 0$ θεωρείται ότι ο άνεμος δεν μπορεί να μετατοπιστεί σε μικρότερη κλάση και μετατοπίζεται, τελικά, στην αμέσως μεγαλύτερη σε χρονικό διάστημα TTU^i.

- Όταν η τιμή της ταχύτητας είναι μηδέν, τότε αναγκαστικά μετατοπίζεται σε μεγαλύτερη κλάση ενώ, αντίστοιχα, ο άνεμος δε μπορεί να λάβει τιμές μεγαλύτερες από εκείνες που δεν έχουν παρατηρηθεί στην ιστορική χρονοσειρά.

- Σε περίπτωση που $TTU^i < TTD^i$, το διάνυσμα της ταχύτητας μεγαλώνει μια μονάδα ενώ στην αντίθετη περίπτωση το διάνυσμα μειώνεται κατά μία μονάδα. Μετά από κάθε βήμα, το χρονικό διάστημα αυξάνεται κατά $t^i = t^{i-1} + TTU^i$ για την πρώτη περίπτωση και $t^i = t^{i-1} + TTD^i$ για τη δεύτερη.

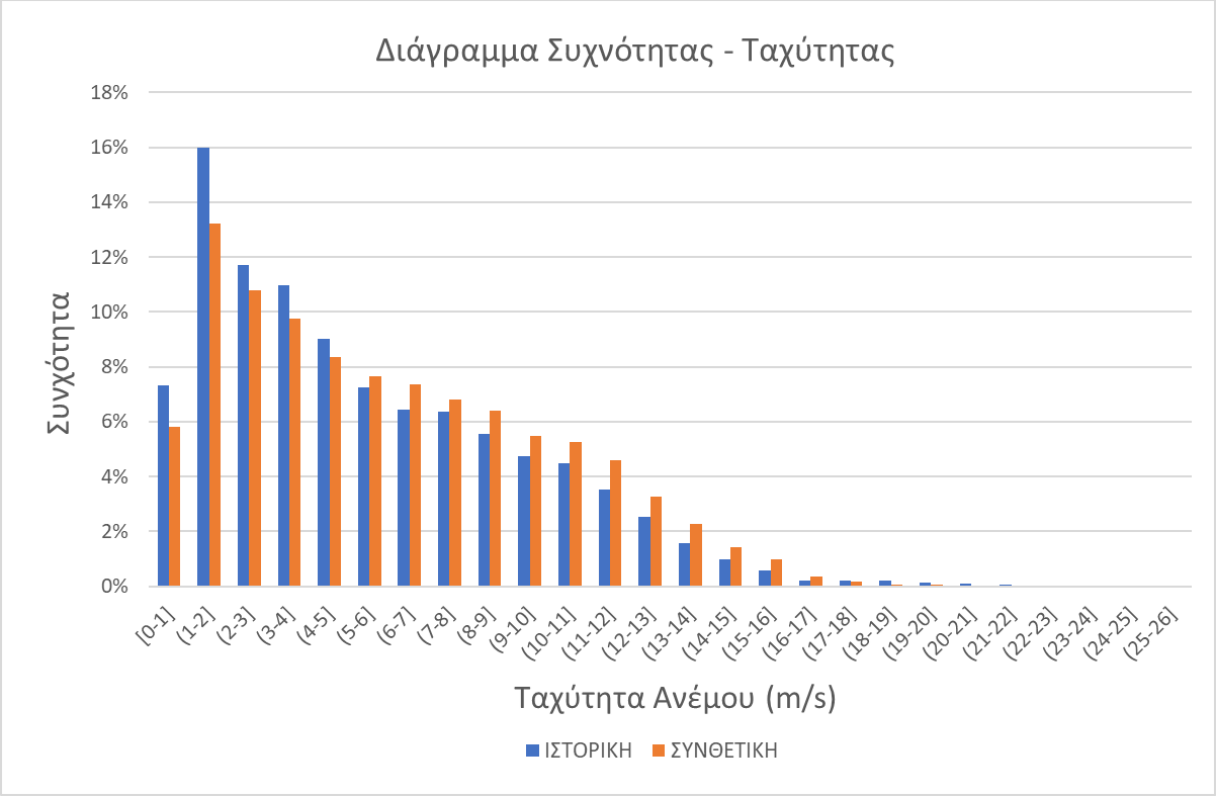
- Τα βήματα 2 έως και 4 επαναλαμβάνονται μέχρις ότου το t να ισούται ή να ξεπερνάει το h.

Η παραπάνω διαδικασία οδηγεί στην παραγωγή μιας ετήσιας χρονοσειράς, συνεπώς για τις ανάγκες του έργου, η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρις ότου παραχθούν 40 συνθετικές χρονοσειρές. Η εφαρμογή του μοντέλου για παραγωγή των χρονοσειρών πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του προγράμματος Microsoft Excel.

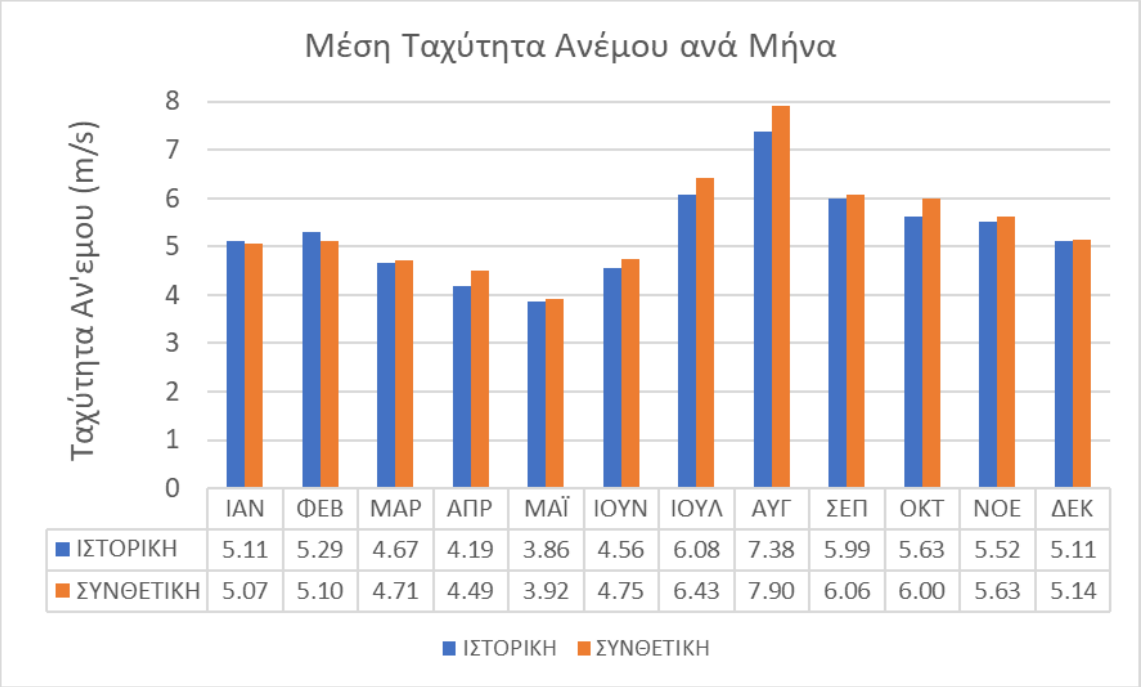
Πίνακας 4-5: Συχνότητα κάθε κλάσης ανά Μήνα

Κλάσεις	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
[0-1]	3.0%	4.1%	7.8%	8.4%	9.8%	9.1%	3.3%	2.5%	6.0%	6.7%	4.6%	4.4%
(1-2]	10.0%	11.1%	16.9%	18.5%	22.6%	15.6%	8.2%	6.2%	10.7%	14.9%	10.4%	13.1%
(2-3]	8.3%	11.2%	12.7%	11.6%	15.0%	14.2%	10.4%	5.4%	8.8%	9.9%	10.6%	11.4%
(3-4]	9.7%	10.9%	10.5%	11.2%	9.6%	12.5%	8.3%	7.0%	6.8%	7.6%	10.9%	12.1%
(4-5]	14.4%	10.6%	8.3%	6.8%	6.8%	7.9%	9.8%	6.3%	6.8%	4.7%	8.9%	9.2%
(5-6]	12.3%	10.4%	7.4%	7.2%	6.6%	4.5%	7.2%	3.8%	6.7%	5.1%	10.2%	10.4%
(6-7]	9.0%	9.4%	7.6%	7.8%	6.9%	5.7%	7.5%	4.6%	7.0%	5.2%	8.9%	9.0%
(7-8]	12.8%	9.1%	7.1%	5.4%	5.2%	5.4%	6.4%	6.0%	7.9%	5.0%	6.1%	5.4%
(8-9]	9.7%	6.0%	4.5%	7.1%	3.8%	4.0%	7.1%	8.4%	9.7%	5.2%	5.3%	6.0%
(9-10]	4.5%	5.4%	3.0%	4.2%	3.0%	3.9%	6.7%	9.1%	8.6%	7.8%	4.9%	4.8%
(10-11]	2.6%	4.7%	3.7%	5.6%	3.8%	3.7%	6.2%	9.2%	7.1%	9.2%	4.4%	2.8%
(11-12]	1.6%	2.5%	3.6%	3.3%	2.2%	4.4%	5.1%	10.2%	5.2%	8.1%	4.2%	4.3%
(12-13]	1.3%	2.6%	2.2%	1.4%	1.1%	4.2%	3.4%	7.5%	4.3%	4.8%	3.9%	2.6%
(13-14]	0.6%	1.0%	1.4%	0.8%	1.1%	4.1%	3.4%	5.2%	1.7%	3.1%	3.5%	1.2%
(14-15]	0.0%	0.3%	2.2%	0.2%	1.4%	0.5%	3.1%	4.1%	0.6%	1.5%	1.5%	1.4%
(15-16]	0.0%	0.5%	1.0%	0.4%	0.7%	0.1%	3.3%	2.2%	0.8%	0.6%	0.8%	1.0%
(16-17]	0.0%	0.1%	0.0%	0.2%	0.3%	0.0%	0.3%	1.1%	1.0%	0.3%	0.3%	0.5%
(17-18]	0.1%	0.0%	0.1%	0.0%	0.1%	0.1%	0.2%	0.7%	0.2%	0.1%	0.3%	0.2%
(18-19]	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.1%	0.2%	0.1%	0.1%	0.1%	0.0%
(19-20]	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.3%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%
(20-21]	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
(21-22]	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
(22-23]	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
(23-24]	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
(24-25]	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
(25-26]	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%

Ο άνεμος αποτελεί το πιο ευαίσθητο δεδομένο εισόδου για την προσομοίωση του συστήματος και η διατήρηση της ωριαίας διακύμανσης και της μηνιαίας εποχικότητας του είναι υψηλής σημασίας, οπότε απαιτείται να γίνει έλεγχος της αξιοπιστίας της παραγόμενης συνθετικής χρονοσειράς. Ο έλεγχος γίνεται μέσω της σύγκρισης της συνθετικής με την ιστορική χρονοσειρά. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.2 και στο Σχήμα 4.3, οι δύο χρονοσειρές παρουσιάζουν εμφανή ομοιότητα, τόσο στην σχέση συχνότητας εμφάνισης – ταχύτητας, όσο και στην μέση ταχύτητα ανέμου ανά μήνα, γεγονός που επαληθεύει την αξιοπιστία του μοντέλου και τελικά της συνθετικής χρονοσειράς της ταχύτητας ανέμου.



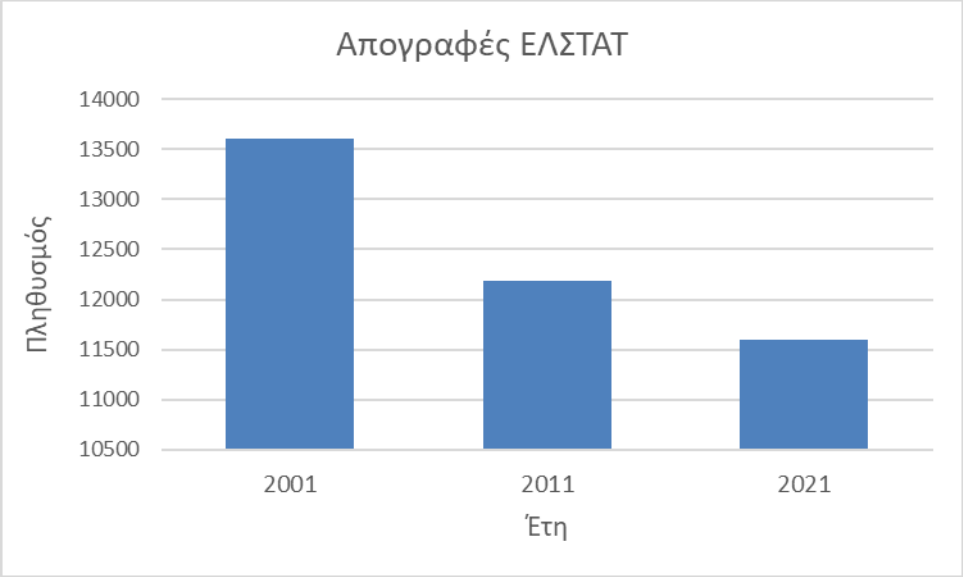
Σχήμα 4-2: Σύγκριση Ιστορικής και Συνθετικής Χρονοσειράς (Συχνότητα – Ταχύτητα)



Σχήμα 4-3: Σύγκριση Ιστορικής και Συνθετικής Χρονοσειράς (Μέση ταχύτητα ανέμου ανά Μήνα)

4.2 Εκτίμηση Υδρευτικών, Αρδευτικών και Ενεργειακών Αναγκών

Η αξιοπιστία της προσομοίωσης του ΥΣ εξαρτάται τόσο από την ποιότητα των μετεωρολογικών δεδομένων (βροχόπτωσης, θερμοκρασίας και ανέμου) που συλλέγονται, όσο και από την ορθή εκτίμηση των αναγκών της περιοχής μελέτης. Οι ανάγκες χωρίζονται σε υδρευτικές, αρδευτικές και ενεργειακές, και για να υπολογιστούν λαμβάνεται υπόψιν ο πληθυσμός του Δήμου Καρύστου και η εν δυνάμει αύξησή του κατά την διάρκεια της ζωής του έργου, δηλαδή για τα επόμενα 40 έτη. Σε πρώτο στάδιο, γίνεται αναγωγή του πληθυσμού στον προσδοκώμενο πληθυσμό για τα επόμενα 40 έτη. Σύμφωνα με τις απογραφές της ΕΛΣΤΑΤ για τα έτη 2001, 2011 και 2021, η εξέλιξη του πληθυσμού του Δήμου Καρύστου παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.4.



Σχήμα 4-4: Απογραφές μόνιμου πληθυσμού 2001 - 2021 (Πηγή: ΕΛ.ΣΤΑΤ)

Πίνακας 4-6: Μεταβολή Μόνιμου Πληθυσμού (Πηγή: ΕΛ.ΣΤΑΤ)

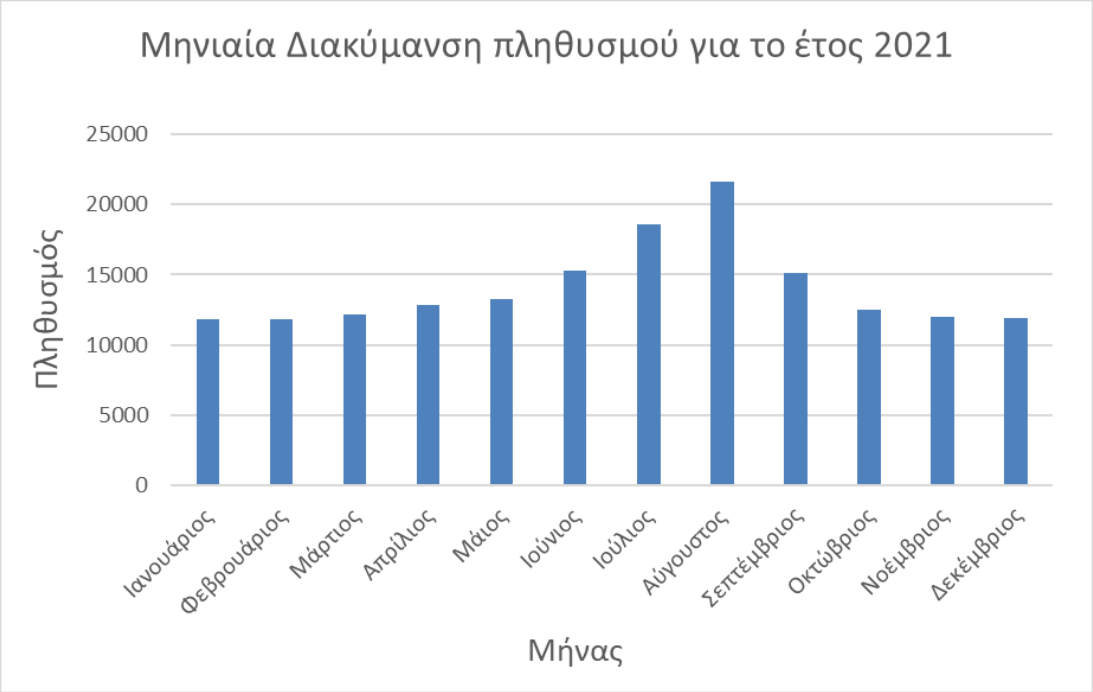
Μεταβολή Μόνιμου Πληθυσμού		
ΔΗΜΟΣ ΚΑΡΥΣΤΟΥ	2001-2011	2011-2021
	-10.45%	-4.82%

Αν και παρατηρείται σταδιακή μείωση του μόνιμου πληθυσμού, όπως παρουσιάζεται και στην συνέχεια, θεωρείται συντηρητικά υπέρ της ασφαλέστερης διαστασιολόγησης του συστήματος ότι για τα επόμενα 40 έτη ο πληθυσμός αυξάνεται, με σχετικά αργό ρυθμό.

Εκτός του μόνιμου πληθυσμού, πρέπει να ληφθούν υπόψιν οι παραθεριστές και οι τουρίστες, που επισκέπτονται κάθε χρόνο τον Δήμο Καρύστου. Η τουριστική περίοδος διαρκεί κυρίως από τον Ιούνιο μέχρι τον Σεπτέμβριο, ενώ επίσης αυτούς τους μήνες παρατηρείται και η υψηλότερη προσέλευση παραθεριστών. Με βάση και τις εκτιμήσεις κατόπιν επικοινωνίας με την αρμόδια υπηρεσία του Δήμου, παρουσιάζεται στον Πίνακα 4.7 η εκτίμηση της διάρθρωσης του συνολικού πληθυσμού ανά μήνα για το έτος 2021.

Πίνακας 4-7: Διάρθρωση Συνολικού Πληθυσμού ανά Μήνα για το έτος 2021

Μήνας	Μόνιμοι	Παραθεριστές	Τουρίστες
Ιανουάριος	11,593	100	100
Φεβρουάριος	11,593	100	100
Μάρτιος	11,593	200	400
Απρίλιος	11,593	600	600
Μάιος	11,593	800	900
Ιούνιος	11,593	1,500	2,200
Ιούλιος	11,593	3,000	4,000
Αύγουστος	11,593	4,500	5,500
Σεπτέμβριος	11,593	1,500	2,000
Οκτώβριος	11,593	500	400
Νοέμβριος	11,593	200	200
Δεκέμβριος	11,593	200	100



Σχήμα 4-5: Μηνιαία διακύμανση πληθυσμού για το έτος 2011

Οι υδρευτικές και ενεργειακές ανάγκες εξαρτώνται από τον πληθυσμό, οπότε απαιτείται η αναγωγή του για τα επόμενα 40 έτη, όση και η διάρκεια ζωής του έργου. Η πληθυσμιακή αναγωγή επιτυγχάνεται με παραδοχή σταθερής

γεωμετρικής αύξησης κάθε έτος, σύμφωνα με την σχέση (4.7) (Τσακίρης, 2010):

$$P_i = \alpha \times P_{i-1} \quad (4.7)$$

Όπου $\alpha = 1 + \gamma$, $\gamma = \frac{P_i - P_{i-1}}{P_{i-1}}$ και i το εκάστοτε έτος.

Στους Πίνακες 4.8 και 4.9, παρουσιάζονται τα στοιχεία της πληθυσμιακής αναγωγής και η αναγωγή του μόνιμου πληθυσμού για τα επόμενα 40 έτη.

Πίνακας 4-8: Στοιχεία Πληθυσμιακής Αναγωγής

Αναγωγή (Μόνιμου) Πληθυσμού	
P_0	11593
P_{40}	11821
α	1.0005
γ	0.0005
n	40
Συνολική Αύξηση Πληθυσμού (%)	2

Πίνακας 4-9: Αναγωγή Πληθυσμού για τα επόμενα 40 Έτη

Α/Α	Έτος	Πληθυσμός	Συντ. Αναγωγής		Α/Α	Έτος	Πληθυσμός	Συντ. Αναγωγής
1	2023	11593	1.000		**21**	2043	11827	1.020
2	2024	11605	1.001		**22**	2044	11839	1.021
3	2025	11616	1.002		**23**	2045	11851	1.022
4	2026	11628	1.003		**24**	2046	11863	1.023
5	2027	11639	1.004		**25**	2047	11874	1.024
6	2028	11651	1.005		**26**	2048	11886	1.025
7	2029	11663	1.006		**27**	2049	11898	1.026
8	2030	11674	1.007		**28**	2050	11910	1.027
9	2031	11686	1.008		**29**	2051	11922	1.028
10	2032	11698	1.009		**30**	2052	11934	1.029
11	2033	11709	1.010		**31**	2053	11946	1.030
12	2034	11721	1.011		**32**	2054	11958	1.031
13	2035	11733	1.012		**33**	2055	11970	1.032
14	2036	11745	1.013		**34**	2056	11982	1.033
15	2037	11756	1.014		**35**	2057	11994	1.034
16	2038	11768	1.015		**36**	2058	12006	1.035
17	2039	11780	1.016		**37**	2059	12018	1.036
18	2040	11792	1.017		**38**	2060	12030	1.037
19	2041	11803	1.018		**39**	2061	12042	1.038
20	2042	11815	1.019		**40**	2062	12054	1.039

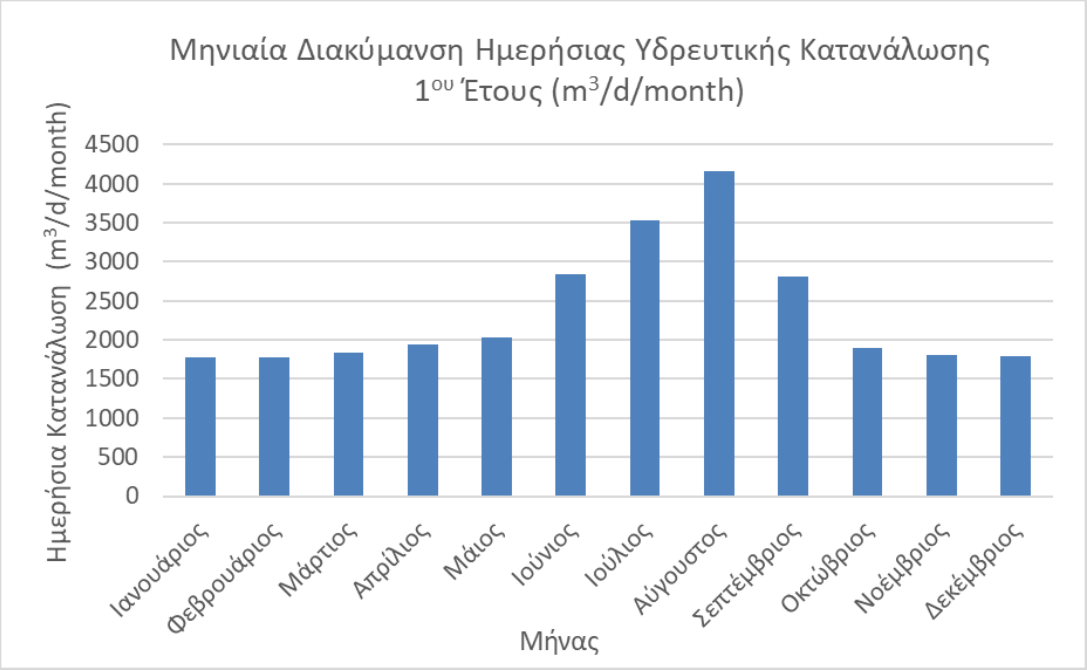
4.2.1 Εκτίμηση Υδρευτικών Αναγκών

Για τον υπολογισμό των υδρευτικών αναγκών, είναι απαραίτητη η εκτίμηση της κατανάλωσης νερού ανά κάτοικο. Συγκεκριμένα, η ημερήσια κατανάλωση νερού ανά άτομο θεωρείται 150 L/ημέρα/κάτοικο για τους μόνιμους κατοίκους, 150 L/ημέρα/κάτοικο για τους τουρίστες και 200 L/ημέρα/κάτοικο για τους παραθεριστές (Κουτσογιάννης, Ευστρατιάδης, 2015). Για τους θερινούς μήνες και τον Σεπτέμβριο, θεωρείται αύξηση της ημερήσιας κατανάλωσης ανά άτομο κατά 20%, ώστε να ληφθούν υπόψιν οι αυξημένες ανάγκες σε νερό λόγω των υψηλότερων θερμοκρασιών. Στον Πίνακα 4.10,

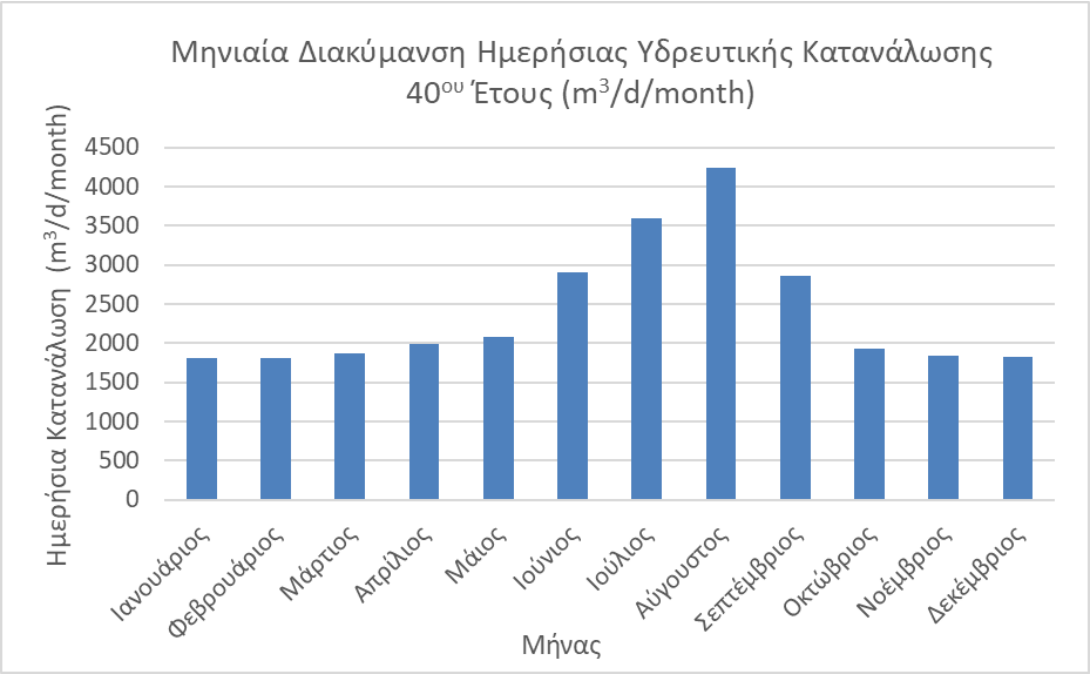
παρουσιάζονται οι μέσες ημερήσιες και οι συνολικές καταναλώσεις των εποχιακών και μονίμων κατοίκων ανά μήνα.

Πίνακας 4-10: Εκτίμηση Υδρευτικών Καταναλώσεων

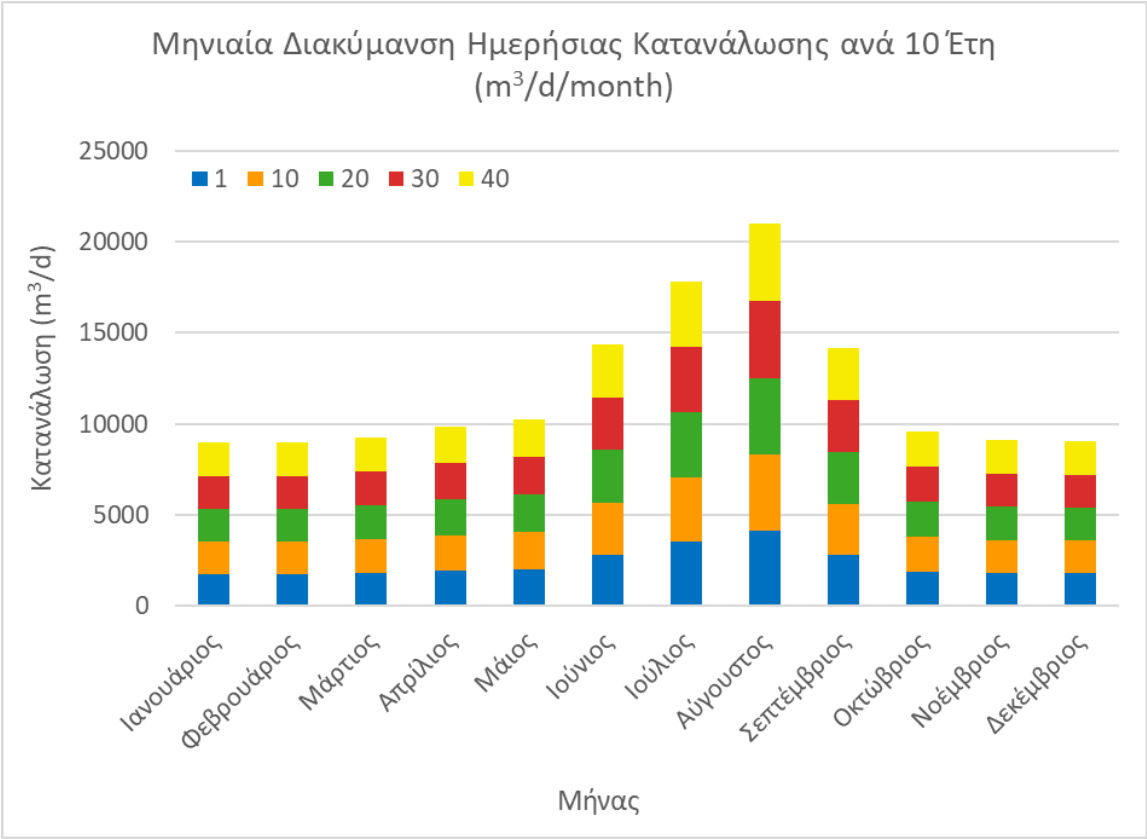
Μήνας	Ζήτηση Μόνιμων (m^3/d/month)	Ζήτηση Παραθεριστών (m^3/d/month)	Ζήτηση Τουριστών (m^3/d/month)	Συνολική Ημερήσια Ζήτηση (m^3/d/month)	Συνολική Μηνιαία Ζήτηση (m^3/month)
Ιανουάριος	1,739.0	20	15	1,774.0	54,992.5
Φεβρουάριος	1,739.0	20	15	1,774.0	49,670.6
Μάρτιος	1,739.0	40	60	1,839.0	57,007.5
Απρίλιος	1,739.0	120	90	1,949.0	58,468.5
Μάιος	1,739.0	160	135	2,034.0	63,052.5
Ιούνιος	2,086.7	360	396	2,842.7	85,282.2
Ιούλιος	2,086.7	720	720	3,526.7	109,328.9
Αύγουστος	2,086.7	1,080	990	4,156.7	128,858.9
Σεπτέμβριος	2,086.7	360	360	2,806.7	84,202.2
Οκτώβριος	1,739.0	100	60	1,899.0	58,867.5
Νοέμβριος	1,739.0	40	30	1,809.0	54,268.5
Δεκέμβριος	1,739.0	40	15	1,794.0	55,612.5



Σχήμα 4-6: Μηνιαία Διακύμανση Ημερήσιας Υδρευτικής Κατανάλωσης 1ου Έτους



Σχήμα 4-7: Μηνιαία Διακύμανση Ημερήσιας Υδρευτικής Κατανάλωσης 40ου Έτους



Σχήμα 4-8: Μηνιαία Διακύμανση Ημερήσιας Κατανάλωσης ανά 10 Έτη

Στο Σχήμα 4.8, παρουσιάζεται η μηνιαία διακύμανση της ημερήσιας υδρευτικής κατανάλωσης ανά 10 έτη, για όλη τη διάρκεια ζωής του έργου. Παρατηρείται, εκτός της υψηλότερης ζήτησης κατά τους θερινούς μήνες, μικρή αλλά εύλογη αύξηση των αναγκών κάθε δεκαετία λόγω του σχετικά χαμηλού ρυθμού αύξησης του πληθυσμού.

4.2.2 Εκτίμηση Αρδευτικών Αναγκών

Οι αρδευτικές ανάγκες της περιοχής μελέτης προκύπτουν από το άθροισμα των αναγκών των καλλιεργειών και της κτηνοτροφίας σε νερό.

4.2.2.1 Εκτίμηση Αναγκών Άρδευσης Καλλιεργειών

Για την εκτίμηση των αναγκών των καλλιεργειών, πρέπει πρώτα να εκτιμηθεί η εξατμοδιαπνοή των καλλιεργειών του Δήμου. Το φαινόμενο της εξατμοδιαπνοής αναλύεται σε δύο επιμέρους διαδικασίες. Αρχικά, στην εξάτμιση, που πραγματοποιείται λόγω είτε της θερμοκρασίας, της ηλιακής ακτινοβολίας ή του ανέμου. Στη συνέχεια, στη διαπνοή, δηλαδή στη βιολογική διεργασία κατά την οποία νερό απορροφάται από τις ρίζες των φυτών και στη συνεχεία χρησιμοποιείται είτε για την διάπλαση των ιστών των φυτών, είτε αποβάλλεται από το φύλλωμα στον ατμοσφαιρικό αέρα. Πρακτικά, η ποσότητα της εξατμοδιαπνοής συνδέεται με την ανάγκη της καλλιέργειας σε νερό, οπότε αν από αυτή αφαιρεθεί η φυσικά προσφερόμενη ποσότητα νερού μέσω της βροχόπτωσης, προκύπτει η αρδευτική ανάγκη της καλλιέργειας. Για τον υπολογισμό της εξατμοδιαπνοής, χρησιμοποιείται η μέθοδος Blaney – Criddle (1962) (Μιμίκου, Μπαλτάς, 2018), η οποία θεσμοθετήθηκε το 1992 από το Υπουργείο Γεωργίας ως η πιο ακριβής μέθοδος για την εκτίμηση των αναγκών των καλλιεργειών σε νερό, όσον αφορά στην Ελλάδα και βασίζεται στη μέση θερμοκρασία του αέρα και το μέσο ποσοστό ωρών ημέρας, όπου αυτά συνδέονται με την εξατμισοδιαπνοή μέσω της Σχέσης 4.8:

$$ET = k_c F = k_c \frac{(1.8T+32)p}{3.94} \quad (4.8)$$

Όπου:

- ET η ημερήσια δυνητική εξατμισοδιαπνοή σε mm
- kc ο εμπειρικός συντελεστής καλλιέργειας
- T η μέση ημερήσια θερμοκρασία σε °C
- p το μέσο ημερήσιο ποσοστό διάρκειας των ωρών ημέρας %

Η μέση ημερήσια θερμοκρασία T προκύπτει από την επεξεργασία της ιστορικής χρονοσειράς, ως η συνθετική χρονοσειρά μήκους 40 ετών, όπως αναλύεται στο κεφάλαιο 4.1.2. Το μέσο ημερήσιο ποσοστό p προσδιορίζεται

για κάθε μήνα, με βάση το γεωγραφικό πλάτος της Καρύστου (φ = 38.01°) και τη μέση αστρονομική διάρκεια της ημέρας σε ώρες, οι τιμές των οποίων παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.11.

Πίνακας 4-11: Μέσο ημερήσιο ποσοστό διάρκειας των ωρών ημέρας ανά μήνα

Μήνας	Διάρκεια Αστρονομικής Ημέρας (h)	Μέσο Ημερήσιο Ποσοστό p
Ιανουάριος	9.7	0.40
Φεβρουάριος	10.5	0.44
Μάρτιος	11.7	0.49
Απρίλιος	13	0.54
Μάιος	14	0.58
Ιούνιος	14.6	0.61
Ιούλιος	14.4	0.60
Αύγουστος	13.5	0.56
Σεπτέμβριος	12.2	0.51
Οκτώβριος	11	0.46
Νοέμβριος	9.9	0.41
Δεκέμβριος	9.4	0.39

Για τον υπολογισμό του φυτικού συντελεστή k_c, οι πληροφορίες που είναι απαραίτητες για την εκτίμηση του είναι η διάρκεια κάθε σταδίου βλάστησης, δηλαδή του αρχικού, κύριου, μέσου και τελικού, και οι αντίστοιχοι συντελεστές για το κάθε στάδιο καθώς και ο μήνας φύτευσης της εκάστοτε καλλιέργειας. Τα παραπάνω στοιχεία λαμβάνονται από το FAO Irrigation and Drainage Paper No.56 Crop Evapotranspiration. Εξαίρεση αποτελούν τα αμπέλια των οποίων τα στοιχεία λαμβάνονται από τους Παναγούλια και Δήμου (2000), καθώς ανταποκρίνονται καλύτερα στα ελληνικά δεδομένα. Να σημειωθεί ότι στην περίπτωση των ελαιόδεντρων, ο φυτικός συντελεστής είναι μηδενικός σε όλη τη διάρκεια του έτους, αφού δεν αποτελεί αρδευόμενο είδος καλλιέργειας. Σύμφωνα με τις γεωργικές στατιστικές της ΕΛΣΤΑΤ του 2019, ο Δήμος Καρύστου διαθέτει συνολική αξιοποιήσιμη γεωργική έκταση ίση με 126,252 στρέμματα, από τα οποία εκτιμάται πως αρδεύονται τα 8,902 στρέμματα, θεωρώντας πας τα βοσκοτόπια που καταλαμβάνουν και την μεγαλύτερη έκταση (περίπου 100,000 στρ.), τα κοφτολίβαδα (7,000 στρ.) και οι ελαιώνες (10,000 στρ.) δεν αρδεύονται. Στους Πίνακες 4.12 έως 4.15

παρουσιάζονται τα είδη των κύριων καλλιεργειών και τα απαραίτητα στοιχεία για την εκτίμηση του φυτικού συντελεστή k_c.

Πίνακας 4-12: Είδη Καλλιέργειας Δήμου Καρύστου

Καλλιέργεια	**Έκταση (στρέμματα)**	**Ποσοστό**
Αμπελώνες	2,180	28.15%
Λεμονιές	20	0.26%
Μανταρινιές	2.2	0.03%
Πορτοκαλιές	6	0.08%
Πατάτες	10.1	0.13%
Αγγούρια υπαίθρου	5.2	0.07%
Καρπούζια	10.1	0.13%
Κολοκύθια	4.9	0.06%
Κουνουπίδια	0.9	0.01%
Κρεμμύδια νωπά	0.5	0.01%
Κρεμμύδια ξερά	1.4	0.02%
Λάχανα	3.5	0.05%
Μαρούλια	2	0.03%
Μελιτζάνες	5.8	0.07%
Μπάμιες	1	0.01%
Μπρόκολα	1.2	0.02%
Πεπόνια	23.9	0.31%
Πιπεριές	3.9	0.05%
Σέλινα	0.2	0.00%
Σπανάκια	10	0.13%
Τομάτες	15.3	0.20%
Φασολάκια χλωρά	20.2	0.26%
Φασόλια	0.3	0.00%
Αραβόσιτος	17.1	0.22%
Σιτάρι/Βρώμη/Κριθάρι	4,835.7	62.44%
Βίκος	563.7	7.28%

Πίνακας 4-13: Φυτικός Συντελεστής για τα Αμπέλια (Παναγούλια, Δήμου, 2000)

Μήνας	**Αμπελώνες**
Απρίλιος	0.45
Μάιος	0.6
Ιούνιος	0.7
Ιούλιος	0.7
Αύγουστος	0.7
Σεπτέμβριος	0.7
Οκτώβριος	0.6
Νοέμβριος	0.35

Πίνακας 4-14: Διάρκεια κάθε σταδίου βλάστησης σε ημέρες

Καλλιέργεια	**Ini**	**Dev**	**Mid**	**Late**	**Total**	**Plant Date**
Λεμονιές	60	90	120	95	365	Ιανουάριος
Μανταρινιές	60	90	120	95	365	Ιανουάριος
Πορτοκαλιές	60	90	120	95	365	Ιανουάριος
Πατάτες	30	35	50	30	145	Απρίλιος
Αγγούρια υπαίθρου	20	30	40	15	105	Ιούνιος
Καρπούζια	20	30	30	30	110	Απρίλιος
Κολοκύθια	20	30	25	15	90	Μάιος
Κουνουπίδια	35	50	40	15	140	Σεπτέμβριος
Κρεμμύδια νωπά	25	30	10	5	70	Απρίλιος
Κρεμμύδια ξερά	15	25	70	40	150	Απρίλιος
Λάχανα	40	60	50	15	165	Σεπτέμβριος
Μαρούλια	35	50	45	10	140	Φεβρουάριος
Μελιτζάνες	30	45	40	25	140	Μάιος
Μπάμιες	20	30	30	10	90	Μάρτιος
Μπρόκολα	35	45	40	15	135	Σεπτέμβριος
Πεπόνια	25	35	40	20	120	Μάιος
Πιπεριές	30	35	40	20	125	Ιούνιος
Σέλινα	25	40	45	15	125	Απρίλιος
Σπανάκια	20	20	15	5	60	Σεπτέμβριος
Τομάτες	30	40	45	30	145	Απρίλιος
Φασολάκια χλωρά	20	30	30	10	90	Μάρτιος
Φασόλια	20	30	40	20	110	Μάιος
Αραβόσιτος	20	25	25	10	80	Μάιος
Σιτάρι/Βρώμη/Κριθάρι	30	140	40	30	240	Νοέμβριος
Βίκος	30	60	40	80	210	Απρίλιος

Πίνακας 4-15: Φυτικοί Συντελεστές για κάθε στάδιο βλάστησης

Καλλιέργεια	**Kc Ini**	**Kc Dev**	**Kc Mid**	**Kc End**
Λεμονιές	0.80	0.80	0.80	0.80
Μανταρινιές	0.75	0.75	0.75	0.75
Πορτοκαλιές	0.75	0.75	0.80	0.80
Πατάτες	0.50	0.78	1.05	0.95
Αγγούρια υπαίθρου	0.50	0.75	1.00	0.90
Καρπούζια	0.40	0.75	1.00	0.75
Κολοκύθια	0.50	0.73	0.95	0.75
Κουνουπίδια	0.70	0.88	1.05	0.95
Κρεμμύδια νωπά	0.50	0.70	1.00	1.00
Κρεμμύδια ξερά	0.50	0.75	1.05	0.85
Λάχανα	0.70	0.85	1.00	0.95
Μαρούλια	0.70	0.85	1.00	0.95
Μελιτζάνες	0.60	0.83	1.05	0.90
Μπάμιες	0.50	0.78	1.05	0.90
Μπρόκολα	0.70	0.88	1.05	0.95
Πεπόνια	0.40	0.75	1.05	0.75
Πιπεριές	0.35	0.70	1.05	0.90
Σέλινα	0.50	0.70	1.05	1.00
Σπανάκια	0.45	0.60	1.00	0.90
Τομάτες	0.60	0.88	1.15	0.90
Φασολάκια χλωρά	0.35	0.70	1.10	0.90
Φασόλια	0.35	0.70	1.10	0.30
Αραβόσιτος	0.40	0.80	1.15	1.00
Σιτάρι/Βρώμη/Κριθάρι	0.35	0.75	1.15	0.45
Βίκος	0.30	0.50	0.70	0.45

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω στοιχεία, υπολογίζονται οι φυτικοί συντελεστές κάθε καλλιέργειας με ακρίβεια πενταημέρου, οι οποίοι στη συνέχεια ανάγονται σε ημερήσια κλίμακα. Με βάση τα ποσοστά κάθε καλλιέργειας ως προς την συνολική έκταση των καλλιεργειών και πολλαπλασιάζοντάς τα με τον εκάστοτε φυτικό συντελεστή, προκύπτει ο σταθμισμένος φυτικός συντελεστής k_c για κάθε μήνα της περιοχής μελέτης. Στη συνέχεια, υπολογίζεται μέσω της σχέσης της μεθόδου Blaney – Criddle η

ημερήσια εξατμισοδιαπνοή της συνολικής αρδευόμενης έκτασης, ενώ η τελική εκτίμηση των αρδευτικών αναγκών σε mm βασίζεται στην αφαίρεση της ημερήσιας βροχόπτωσης από την υπολογισμένη εξατμισοδιαπνοή. Ο συνολικός ημερήσιος όγκος αρδευόμενου νερού σε κυβικά (m^3) υπολογίζεται από τον πολλαπλασιασμό των ημερήσιων αρδευτικών αναγκών (m) με την συνολική αρδευόμενη έκταση (m^2). Κατά την εφαρμογή, ο όγκος αυτός διαιρείται με τον βαθμό απόδοσης, ο οποίος υπολογίζεται σύμφωνα με τη σχέση (4.9) και τις τιμές του Πίνακα 4.16 (Παναγούλια, Δήμου, 2000).

$$E_p = E_d \times E_\alpha \quad (4.9)$$

Όπου:

- Ed ο βαθμός απόδοσης διανομής
- Ea ο βαθμός απόδοσης άρδευσης

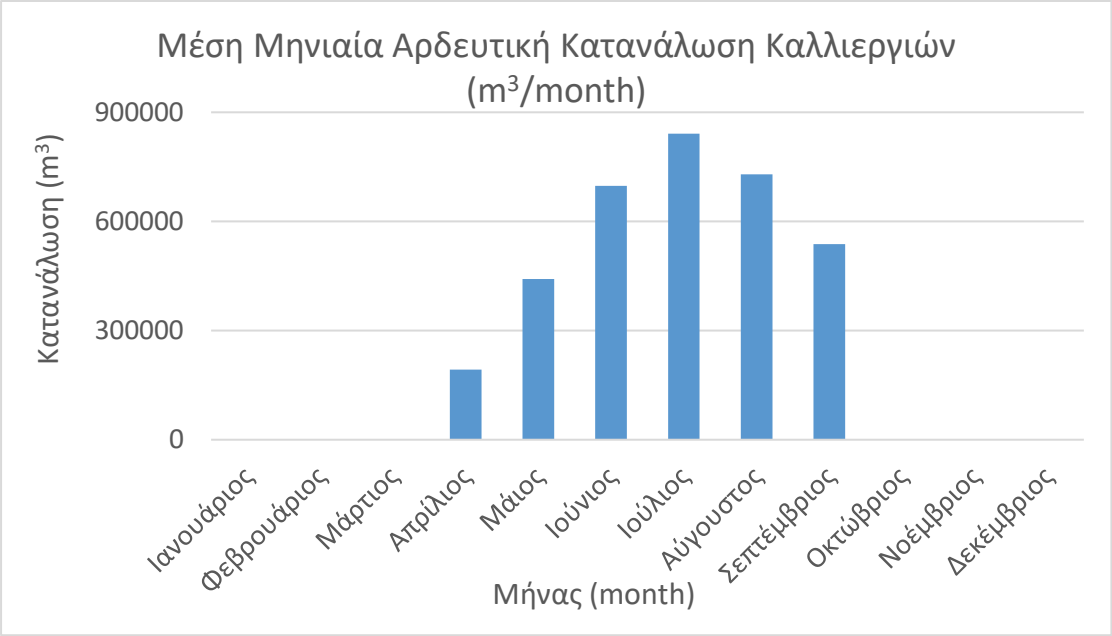
Πίνακας 4-16: Συντελεστές απόδοσης για εκτίμηση ημερήσιου όγκου αρδευόμενου νερού

Συντελεστές Απόδοσης	
E_d	0.700
E_α	0.950
E_p	0.665

Η παραπάνω διαδικασία δέχεται ως δεδομένα τη συνθετική χρονοσειρά θερμοκρασίας και βροχόπτωσης για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής. Έτσι, προκύπτουν οι αρδευόμενες ανάγκες του νησιού για τα επόμενα 40 έτη, οι οποίες και συμπεριλαμβάνονται στην ανάπτυξη του υβριδικού μοντέλου. Τέλος, λόγω των ήπιων θερμοκρασιών που επικρατούν στη Καρύστου τους περισσότερους μήνες του χρόνου, γίνεται η παραδοχή πως η εξατμισοδιαπνοή πραγματοποιείται από τον Απρίλιο έως και το Σεπτέμβριο. Με βάση τα παραπάνω, παρουσιάζεται η μέση ημερήσια και η μέση μηνιαία ζήτηση σε αρδευτικό νερό στον Πίνακα 4.17 και στο Σχήμα 4.9.

Πίνακας 4-17: Μέση μηνιαία και ημερήσια ζήτηση καλλιεργειών σε αρδευτικό νερό

Μήνας	Μέση Μηνιαία Ζήτηση (m^3/month)	Μέση Ημερήσια Ζήτηση (m^3/day)
Ιανουάριος	0	0
Φεβρουάριος	0	0
Μάρτιος	0	0
Απρίλιος	192,843	6,428
Μάιος	441,535	14,243
Ιούνιος	697,529	23,251
Ιούλιος	841,143	27,134
Αύγουστος	729,569	23,534
Σεπτέμβριος	538,083	17,936
Οκτώβριος	0	0
Νοέμβριος	0	0
Δεκέμβριος	0	0



Σχήμα 4-9: Μέση Μηνιαία Αρδευτική Κατανάλωση Καλλιεργειών

4.2.2.2 Εκτίμηση Αναγκών Άρδευσης Κτηνοτροφίας

Για την σωστή εκτίμηση των κτηνοτροφικών αναγκών σε νερό, είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε τα είδη των ζώων, το πλήθος τους ανά είδος, την ηλιακή τους κατανομή καθώς και το ποσοστό υγρασίας του γρασιδιού (ξηρό ή χλωρό γρασίδι) (Σκρουφούτα, 2020). Για την περιοχή μελέτης θεωρείται

υψηλή η ηλικιακή κατανομή και ξηρό το γρασίδι. Έτσι, γνωρίζοντας το πλήθος του κάθε είδους, προκύπτουν οι αρδευτικές ανάγκες της ζωικής παραγωγής, όπως παρουσιάζονται στους Πίνακες 4.18 και 4.19.

Πίνακας 4-18: Ημερήσια και Ετήσια Κατανάλωση κάθε είδους κατά κεφαλήν

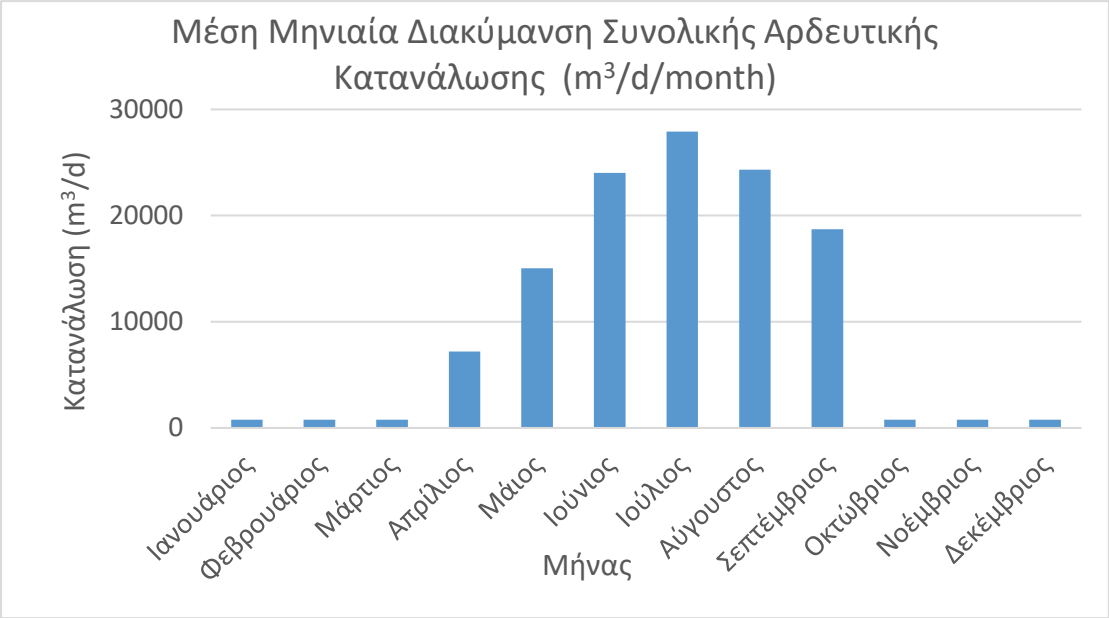
Είδος	Κατανάλωση κατά κεφαλήν (L/d)	Ετήσια Κατανάλωση κατά κεφαλήν (L/y)
Αίγες	5	1,825
Πρόβατα	12	4,380
Βοοειδή	140	5,100
Άλογα	20	7,300
Κότες	5	1,825
Χοίροι	40	14,600
Σύνολο	222	81,030

Πίνακας 4-19: Συνολική Ημερήσια και Ετήσια Κατανάλωση κάθε Είδους

Είδος	Πλήθος	Συνολική Ημερήσια Κατανάλωση (m^3/d)	Συνολική Ετήσια Κατανάλωση (m^3/y)
Αίγες	28,452	142.26	51,924.90
Πρόβατα	52,035	624.42	227,913.30
Βοοειδή	96	13.44	4,905.60
Άλογα	12	0.24	87.60
Κότες	145	0.73	264.63
Χοίροι	29	1.16	423.40
Σύνολο	80,769	782.25	285,519.43

4.2.2.3 Εκτίμηση Συνολικών Αναγκών Άρδευσης

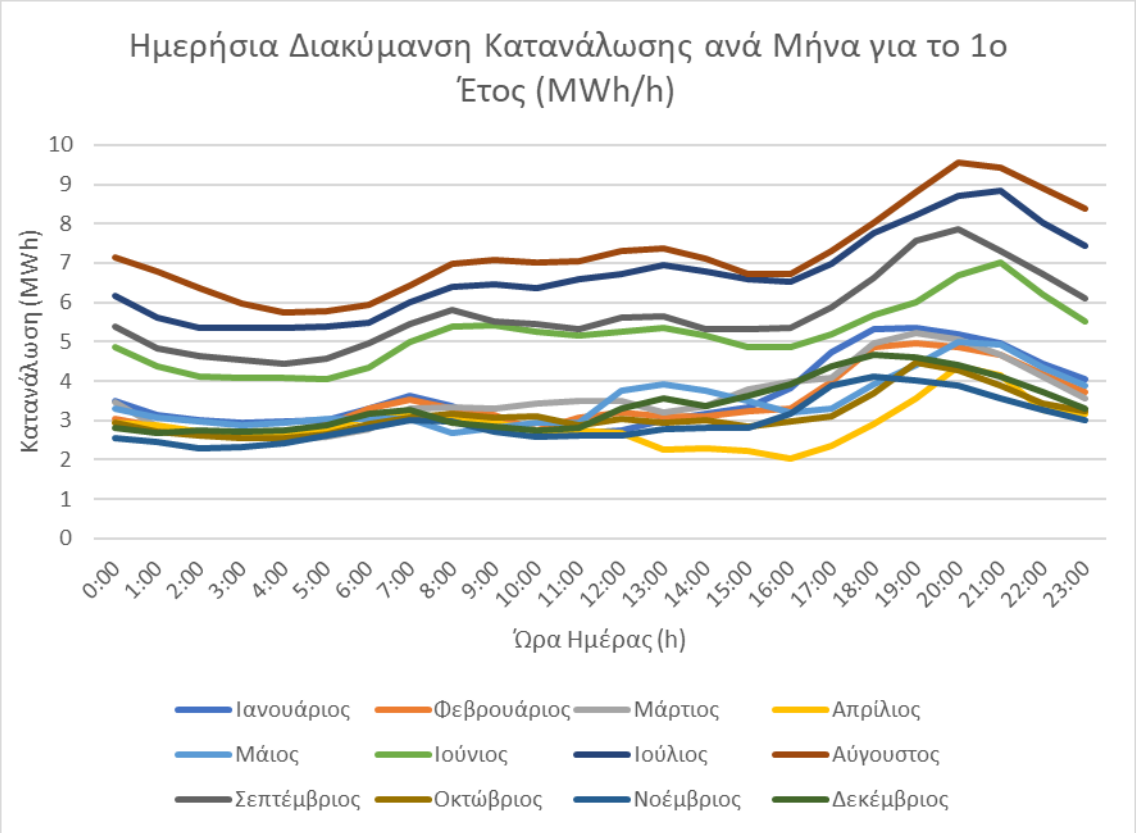
Το σύνολο των αρδευτικών αναγκών αποτελείται από τις ανάγκες των καλλιεργειών και της κτηνοτροφίας. Έτσι, με βάση την ανάλυση του υποκεφαλαίου 4.2.2.2, οι συνολικές ανάγκες σε άρδευση προκύπτουν από το άθροισμα της ημερήσιας ζήτησης των καλλιεργειών για τα επόμενα 40 έτη και της σταθερής ημερήσιας ζήτησης της κτηνοτροφία. Στο Σχήμα 4.10, παρουσιάζεται η εκτιμώμενη μέση μηνιαία διακύμανση για τη διάρκεια ζωής του έργου.



Σχήμα 4-10: Μέση Μηνιαία Διακύμανση Συνολικής Αρδευτικής Ζήτησης

4.2.3 Εκτίμηση Ενεργειακών Αναγκών

Για την εκτίμηση των ενεργειακών καταναλώσεων, χρειάζονται αντίστοιχα ιστορικά δεδομένα για μία σειρά ετών. Λόγω αδυναμίας παροχής των δεδομένων αυτών για τον Δήμο Καρύστου από τον Διαχειριστή Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΕΔΔΗΕ), χρησιμοποιούνται τα διαθέσιμα δεδομένα για μία περιοχή με παρόμοια οικονομική δραστηριότητα και χαρακτηριστικά στους κλάδους με την περισσότερη κατανάλωση ενέργειας όπως το εμπόριο, την εστίαση και των υπηρεσιών παροχής καταλυμάτων. Αυτή η περιοχή είναι το νησί της Λήμνου, για το οποίο έχουν ληφθεί δεδομένα ενεργειακής κατανάλωσης από τον ΔΕΔΔΗΕ για την περίοδο από το 2016 έως το 2020 (Αγαπητίδου, 2021). Η σύγκριση του Δήμου Καρύστου και της Λήμνου κατά κλάδο οικονομικής δραστηριότητας γίνεται με βάση τα στοιχεία της απογραφής του 2011 από την ΕΛΣΤΑΤ. Τα δεδομένα καταναλώσεων της Λήμνου ανάγονται στον Δήμο Καρύστου αναλογικά με τον πληθυσμό των δύο περιοχών. Στο Σχήμα 4.11 παρουσιάζεται η ημερήσια διακύμανση της κατανάλωσης ανά μήνα για το 1ο έτος και στον Πίνακα 4.20 η μέση ενεργειακή ζήτηση σε MWh για το έτος βάση.



Σχήμα 4-11: Ημερήσια Διακύμανση Ενεργειακής Κατανάλωσης ανά Μήνα για το 1ο Έτος

Πίνακας 4-20: Ζήτηση Ενέργειας 1ου και 40ου Έτους

Μήνας	**Μέση μηνιαία ζήτηση 1ου έτους (MWh/month)**	**Μέση μηνιαία ζήτηση 40ου έτους (MWh/month)**
Ιανουάριος	3,781.94	3,929.43
Φεβρουάριος	3,268.10	3,395.56
Μάρτιος	3,229.46	3,355.40
Απρίλιος	2,848.22	2,959.30
Μάιος	2,752.44	2,859.78
Ιούνιος	3,293.71	3,422.16
Ιούλιος	4,240.36	4,405.74
Αύγουστος	4,705.49	4,889.00
Σεπτέμβριος	3,339.35	3,469.58
Οκτώβριος	2,819.85	2,929.83
Νοέμβριος	3,013.76	3,131.30
Δεκέμβριος	3,568.05	3,707.20
Ετήσια	**40,860.73**	**42,454.30**

4.3 Εκτίμηση Παραγόμενης Ενέργειας

4.3.1 Εκτίμηση Παραγόμενης Αιολικής Ενέργειας

Ο Δήμος Καρύστου διαθέτει ήδη αιολικά πάρκα, ωστόσο στην παρούσα μελέτη εξετάζεται η εγκατάσταση νέων Α/Γ που πρόκειται να λειτουργούν αποκλειστικά στο πλαίσιο του ΥΣ. Η χωροθέτηση των Α/Γ προτείνεται να γίνει στο ανατολικό μέρος του Δήμου, όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.10. Η θέση αυτή βρίσκεται εκτός των περιοχών NATURA 2000, όπως παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 3.4, χαρακτηρίζεται από ισχυρούς ανέμους και έχει υψόμετρο περίπου 450 m.

Για την εκτίμηση της παραγόμενης αιολικής ενέργειας, γίνεται διόρθωση της συνθετικής χρονοσειράς ταχύτητας ανέμου από το υψόμετρο του μετεωρολογικού σταθμού που προέρχονται οι μετρήσεις, στο υψόμετρο των Α/Γ. Η διόρθωση αυτή γίνεται με βάση την Σχέση (4.10)) (Skroufouta, Baltas, 2021) :

$$u_2 = u_1 \times \ln\left(\frac{z_2}{z_0}\right) \Big/ \ln\left(\frac{z_1}{z_0}\right) \quad (4.10)$$

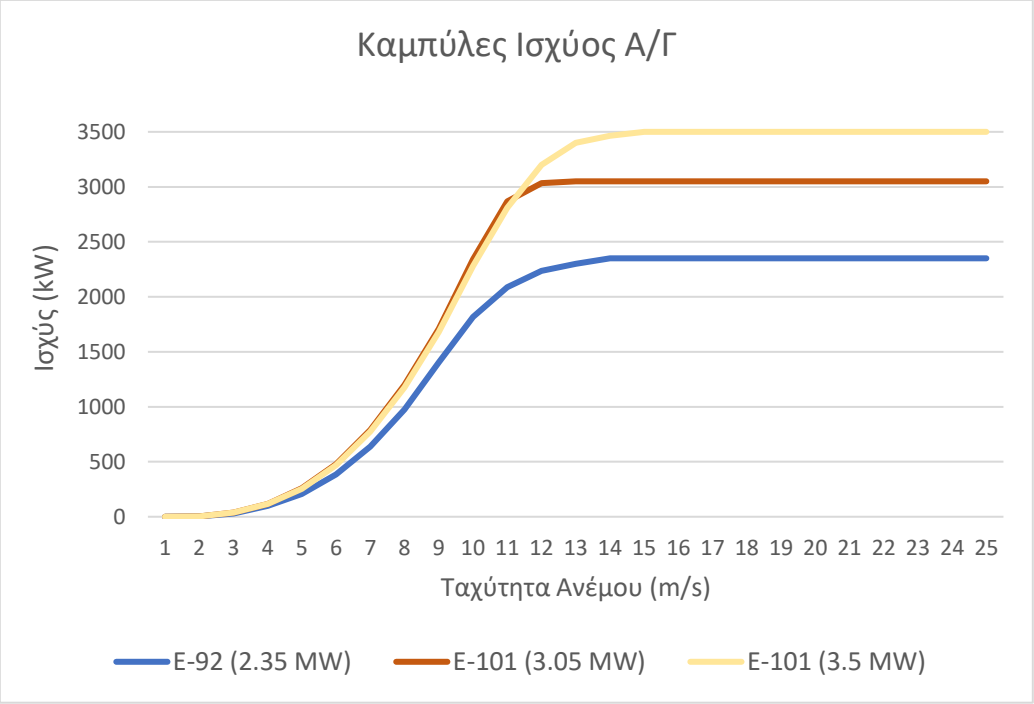
Όπου:

- u_2 η διορθωμένη ταχύτητα του ανέμου σε υψόμετρο z_2 = 550 m, που αντιστοιχεί στο υψόμετρο του ρότορα των ανεμογεννητριών (ύψους 100 m)
- u_1 η ταχύτητα από τη χρονοσειρά του ανέμου που αντιστοιχεί στο υψόμετρο του σταθμού που έγιναν οι μετρήσεις, z_1 = 29 m
- z_0 η παράμετρος τραχύτητας του εδάφους, οι τιμές της οποίας λαμβάνονται σύμφωνα με τον Πίνακα 4.21. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, θεωρείται ίση με 0.2 cm καθώς στη θέση των ανεμογεννητριών το ύψος της χλόης δεν ξεπερνάει τα 10 cm.

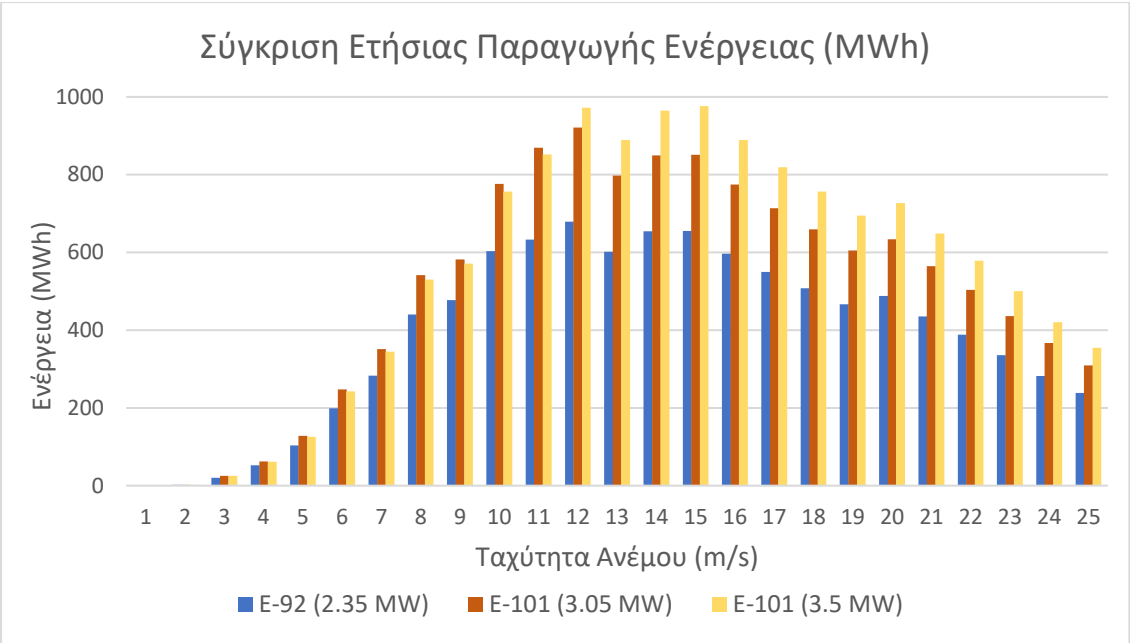
Πίνακας 4-21: Τυπικές τιμές της παραμέτρου τραχύτητας z_0 για διάφορες φυσικές επιφάνειες

Τυπικές τιμές της παραμέτρου τραχύτητας z_0 για διάφορες φυσικές επιφάνειες (cm)	
Πάγος	0.001
Ασφαλτοστρωμένη επιφάνεια	0.002
Υδάτινη επιφάνεια	0.01-0.06
Χλόη ύψους μέχρι 1 cm	0.1
Χλόη ύψους 1-10 cm	0.1-0.2
Χλόη-σιτηρά κλπ ύψους 10-50 cm	2.0-5.0
Φυτοκάλυψη ύψους 1-2 m	20
Δένδρα ύψους 1-2 m	40-70

Για την επιλογή του τύπου Α/Γ, γίνεται σύγκριση μεταξύ τριών μοντέλων: α) του Enercon E-92 (2.35 MW), β) του Enercon E-101 (3.05 MW) και γ) του Enercon E-101 (3.5 MW). Για την σύγκριση, χρησιμοποιείται η ιστορική χρονοσειρά ταχύτητας του ανέμου, διορθωμένη σύμφωνα με την Σχέση 4.10 και με ωριαίο πλέον βήμα. Στη συνέχεια, παρουσιάζεται η καμπύλη ισχύος του κάθε μοντέλου (Σχήμα 4.12) και η ωριαία κατανομή των ταχυτήτων μέσα στο έτος (Σχήμα 4.13).



Σχήμα 4-12: Σύγκριση Καμπύλων Ισχύος των τριών μοντέλων Α/Γ



Σχήμα 4-13: Σύγκριση Ετήσιας Παραγωγής Ενέργειας των τριών μοντέλων Α/Γ με βάση την διορθωμένη ιστορική χρονοσειρά

Πίνακας 4-22: Σύγκριση Ετήσιας Παραγωγής Ενέργειας των τριών μοντέλων Α/Γ

Μοντέλο	**MWh/Year**
E-92 (2.35 MW)	8365
E-101 (3.05 MW)	10834
E-101 (3.5 MW)	11697

Συνεπώς, προκύπτει ότι η Α/Γ Ε-101 (3.5 MW) θα παράγει 8% περισσότερη ενέργεια από την Ε-101 (3.05 MW), αλλά για να γίνει πληρέστερη προσέγγιση, λαμβάνεται υπόψιν και ο οικονομικός παράγοντας. Σύμφωνα με τα ενημερωτικά δελτία του ΑΔΜΗΕ για τη μεσοσταθμική τιμή αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας στο διασυνδεδεμένο σύστημα για τα έτη 2014 έως 2022, προκύπτει μία μέση τιμή στα 98.72 €/MWh (Πίνακας 4.23).

Πίνακας 4-23: Μεσοσταθμική Τιμή Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας στο Διασυνδεδεμένο Σύστημα (ΑΔΜΗΕ)

Έτος	Μεσοσταθμική Τιμή Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας στο Διασυνδεδεμένο Σύστημα (€/MWh)
2014	75.48
2015	56.93
2016	50.21
2017	68.87
2018	68.42
2019	71.75
2020	58.10
2021	132.12
2022	306.59
Μ.Ο.	98.72

Θεωρώντας ως τιμή πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από τις Α/Γ τα 98.72 €/MWh και ότι το κόστος για την αγορά Α/Γ ανέρχεται στα 1.5 εκατομμύρια €/MW, υπολογίζεται ότι το επιπλέον κόστος του μοντέλου Ε-101 (3.5 MW) έναντι του Ε-101 (3.05 MW) πρόκειται να καλυφθεί σε 8 έτη. Οπότε, δεδομένου ότι οι σύγχρονες Α/Γ έχουν διάρκεια ζωής έως και 25 έτη, τελικά επιλέγεται το μοντέλο Ε-101 (3.5 MW).

4.3.2 Εκτίμηση Παραγόμενης Υδροηλεκτρικής Ενέργειας

Το υδροηλεκτρικό έργο (ΥΗΕ), που μελετάται, αποτελείται από ένα ταμιευτήρα θαλασσινού νερού σε ύψος 230 m, στο βορειοδυτικό μέρος του Δήμου (Σχήμα 6.10), έναν αντλητικό σταθμό ισχύος 9 MW και έναν υδροηλεκτρικό σταθμό παροχής 5 m^3/s. Η ενέργεια που παράγεται υπολογίζεται με ωριαίο βήμα από την Σχέση (4.11) (Ευστρατιάδης κ.α., 2019).

$$E = \gamma \times Q \times H \times \eta \quad (4.11)$$

Όπου:

- γ: το ειδικό βάρος του νερού (9.81 kN/m^3),
- Q: η παροχή που διέρχεται από τον στρόβιλο (m^3/s),
- H: η υψομετρική διαφορά μεταξύ της στάθμης του νερού ανάντη και του υψομέτρου του υδροστρόβιλου κατάντη και (m),
- η: ο συντελεστής απόδοσης του στροβίλου, που λαμβάνεται ίσος με 0.85.

Κεφάλαιο 5: Ενέργεια από Βιομάζα

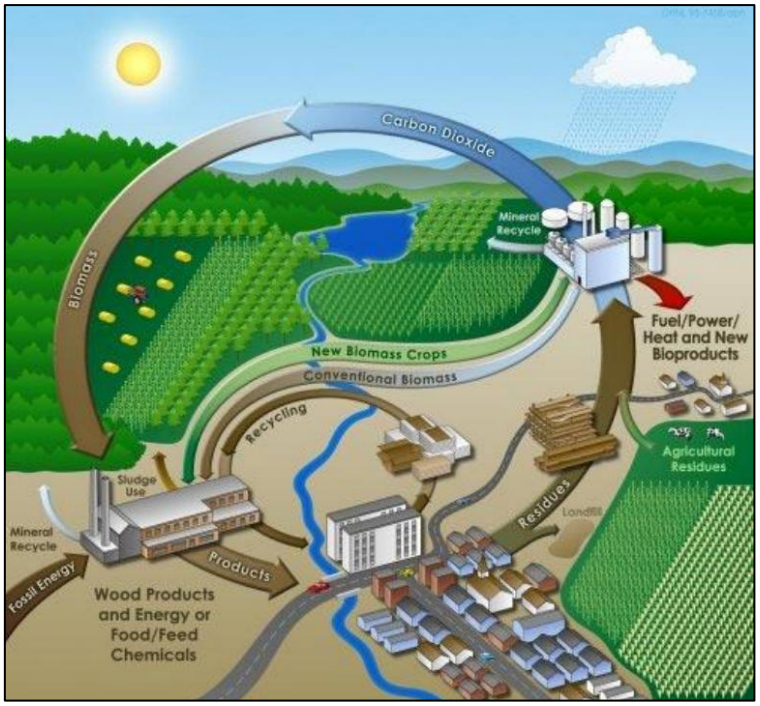
5.1 Γενικά για την Βιομάζα

Ως βιομάζα ορίζεται η ύλη που έχει βιολογική (οργανική) προέλευση. Πρακτικά, στον όρο βιομάζα εμπεριέχεται οποιοδήποτε υλικό προέρχεται, άμεσα ή έμμεσα, από το φυτικό κόσμο. Πιο συγκεκριμένα, η βιομάζα περιλαμβάνει:

- τα φυτικά και δασικά υπολείμματα (καυσόξυλα, κλαδοδέματα, άχυρα, πριονίδια, ελαιοπυρήνες, κ.ά.).
- τα ζωικά απόβλητα (κοπριά, άχρηστα αλιεύματα)
- τα φυτά που καλλιεργούνται στις ενεργειακές φυτείες για να χρησιμοποιηθούν ως πηγή ενέργειας (όπως π.χ. ο ηλίανθος, ο μίσχανθος, η αγριαγκινάρα κ.ά.).
- τα αστικά απορρίμματα και τα υπολείμματα της βιομηχανίας τροφίμων, της αγροτικής βιομηχανίας και το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα των αστικών απορριμμάτων.

Η βιοενέργεια αποτελεί μία δεσμευμένη και αποθηκευμένη μορφή της ηλιακής ενέργειας και είναι αποτέλεσμα της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας των φυτικών οργανισμών. Η δημιουργία της βασίζεται στην αέναη χρήση φυσικών ενεργειακών ροών που μιμείται τους οικολογικούς κύκλους. Κατά την διαδικασία αυτή, η χλωροφύλλη των φυτών μετασχηματίζει την ηλιακή ενέργεια με μια σειρά διεργασιών, χρησιμοποιώντας ως βασικές πρώτες ύλες διοξείδιο του άνθρακα (CO2) από την ατμόσφαιρα καθώς και νερό και ανόργανα συστατικά από το έδαφος (Δανιήλ, 2018). Η διεργασία αυτή μπορεί να παρασταθεί σχηματικά ως εξής:

$$H_2O + CO_2 + \text{Ηλιακή Ενέργεια (φωτόνια)} + \text{Ανόργανα Στοιχεία} \longrightarrow \text{Βιομάζα} + O_2$$



Σχήμα 5-1: Ενεργειακός κύκλος βιομάζας (Πηγή: alternativeenergyatunc.wordpress.com)

Η ενέργεια από βιομάζα αποτελεί μια σημαντική, ανεξάντλητη και φιλική προς το περιβάλλον πηγή ενέργειας, η οποία μπορεί να συνεισφέρει σημαντικά στο ενεργειακό μείγμα, αντικαθιστώντας τα συνεχώς εξαντλούμενα αποθέματα ορυκτών καυσίμων (πετρέλαιο, άνθρακας, φυσικό αέριο κ.ά.). Χρησιμοποιείται κυρίως για την παραγωγή θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας, αλλά και για την παραγωγή υγρών βιοκαυσίμων (βιοαιθανόλη, βιοντίζελ κλπ.). Η βιομάζα θεωρείται ανανεώσιμη καθώς απαιτείται μόνο μια σύντομη χρονική περίοδος για να αναπληρωθεί ό,τι χρησιμοποιείται ως πηγή ενέργειας. Επίσης, είναι η πιο παλιά και διαδεδομένη ΑΠΕ, καθώς οι πρωτόγονοι άνθρωποι, για να ζεσταθούν και να μαγειρέψουν, χρησιμοποιούσαν την ενέργεια (θερμότητα) που προερχόταν από την καύση των ξύλων.

Η βιομάζα ως πηγή ενέργειας παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα, συγκεκριμένα:

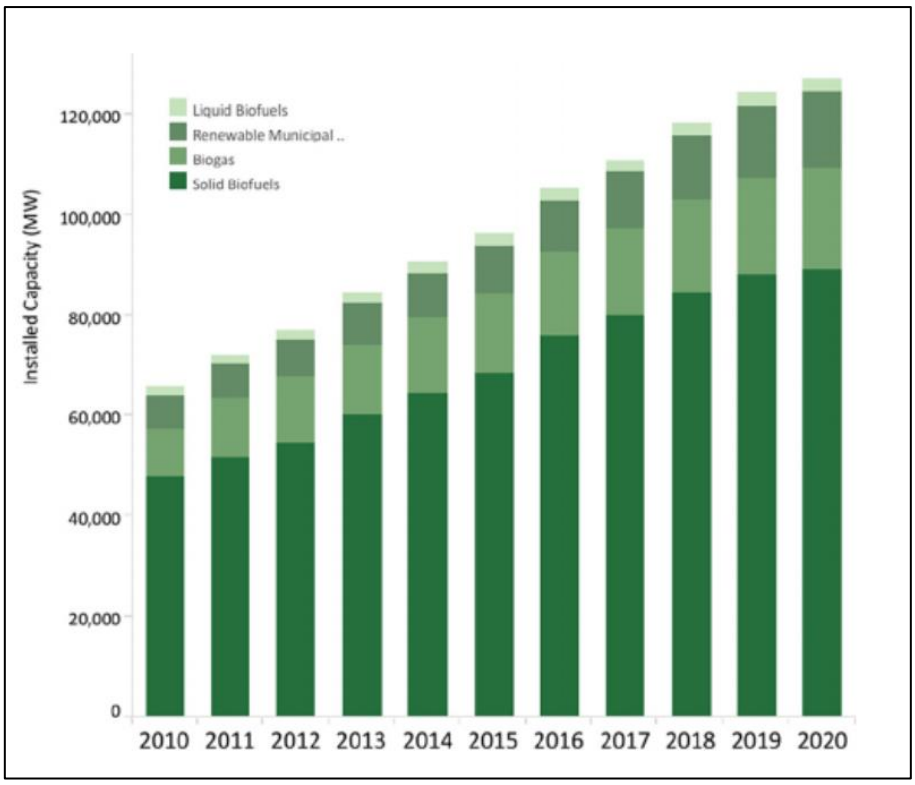
- Αποτελεί ΑΠΕ.
- Η καύση της έχει μηδενικό αποτύπωμα διοξειδίου του άνθρακα (CO_2), οπότε δεν συμβάλλει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Αυτό, γιατί τα φυτά μέσω της φωτοσύνθεσης δεσμεύουν την ποσότητα CO_2 που απελευθερώνεται κατά την καύση της βιομάζας.
- Η μηδενική έως χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο συμβάλλει σημαντικά στον περιορισμό των εκπομπών του διοξειδίου του θείου (SO_2), που είναι υπεύθυνο για την όξινη βροχή.

- Ως εγχώρια πηγή ενέργειας, μπορεί να βοηθήσει σημαντικά στη μείωση της εξάρτησης από εισαγόμενα καύσιμα και εισαγόμενη ενέργεια, και άρα, στην αναβάθμιση της αυτονομίας της χώρας.
- Η ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας σε μια περιοχή μπορεί να δημιουργήσει νέες θέσεις εργασίας και να συμβάλλει στην περαιτέρω ανάπτυξη της.

Ωστόσο, η αξιοποίηση της βιομάζας για παραγωγή ενέργειας παρουσιάζει και ορισμένα μειονεκτήματα, όπως:

- Ο αυξημένος όγκος και η μεγάλη περιεκτικότητα σε υγρασία δυσχεραίνουν την ενεργειακή αξιοποίηση της.
- Πιθανές δυσκολίες κατά τη συλλογή, μεταφορά και αποθήκευση αυξάνουν το κόστος της αξιοποίησης της.
- Η διασπορά και η εποχιακή παραγωγή της βιομάζας δυσκολεύουν την συνεχή τροφοδοσία μονάδων παραγωγής ενέργειας με πρώτη ύλη.
- Υψηλό κόστος εγκατάστασης και εξοπλισμού των μονάδων, σε σχέση με τα συμβατικά καύσιμα.

Παρόλο που η χρήση της βιομάζας ως πηγή παραγωγής ενέργειας όλο και αυξάνεται παγκοσμίως (Σχήμα 5.2), η συμμετοχή της στο παγκόσμιο ενεργειακό μείγμα για την παραγωγή ηλεκτρικής παραμένει χαμηλή, μόλις στο 2% (REN21 2020). Τα περιθώρια για περεταίρω ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας είναι πολύ μεγάλα, καθώς εκτιμάται ότι παγκοσμίως η βιομάζα που παράγεται κάθε χρόνο ανέρχεται σε 172 δισ. τόνους ξηρού υλικού, με ενεργειακό περιεχόμενο δεκαπλάσιο της ενέργειας, που καταναλώνεται στο ίδιο διάστημα.



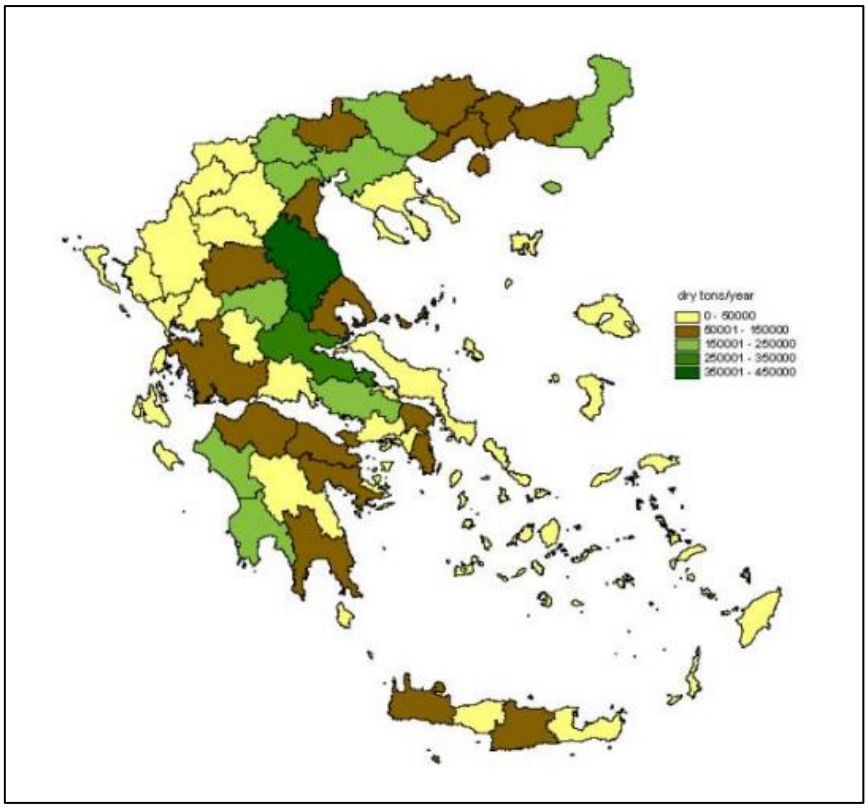
Σχήμα 5-2: Παγκόσμια εγκατεστημένη ισχύς μονάδων αξιοποίησης βιομάζας για τα έτη 2010 -2020 (Πηγή: IRENA)

Το ίδιο ισχύει και για την Ελλάδα, αν και δυνητικά η συνεισφορά της βιομάζας μπορεί να είναι πολύτιμη. Συγκεκριμένα, εκτιμάται ότι τα ετήσια διαθέσιμα γεωργικά και δασικά υπολείμματα ισοδυναμούν ενεργειακά με 3-4 εκατ. τόνους πετρελαίου, ενώ το δυναμικό των ενεργειακών καλλιεργειών μπορεί με τα σημερινά δεδομένα να ξεπεράσει αρκετά εκείνο των γεωργικών και δασικών υπολειμμάτων. Το ποσό αυτό αντιστοιχεί ενεργειακά στο 30-40% της ποσότητας του πετρελαίου, που καταναλώνεται ετησίως στη χώρα. Σημειώνεται ότι 1 τόνος βιομάζας ισοδυναμεί με περίπου 0.4 τόνους πετρελαίου. Η βιομάζα στη χώρα μας χρησιμοποιείται κυρίως για την παραγωγή θερμότητας στον οικιακό τομέα (θέρμανση, μαγειρική), για τη θέρμανση θερμοκηπίων, σε ελαιουργεία και στη βιομηχανία σε περιορισμένη όμως κλίμακα. Σύμφωνα με στοιχεία για το έτος 2016, μόλις το 2.5% της ηλεκτρικής ζήτησης της χώρας καλύπτεται με τη χρήση βιομάζας. Συγκεκριμένα για το ίδιο έτος, η συνολική εγκατεστημένη ισχύς 38 μονάδων αξιοποίησης βιομάζας και βιοαερίου είναι 59.1 MW, από αυτές οι 31 είναι μονάδες βιοαερίου με ισχύ 51 MW. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τις παραπάνω μονάδες είναι 253 GWh.

5.2 Βιομάζα από Γεωργικά Υπολείμματα

Τα γεωργικά υπολείμματα χρησιμοποιούνται ευρέως για την παράγωγη βιομάζας, έτσι αξιοποιούνται πλήρως οι γεωργικές καλλιέργειες, καθώς το μεγαλύτερο ποσοστό υπολειμμάτων παραμένουν ανεκμετάλλευτα μέχρι να αποσυντεθούν, να καούν ή να χρησιμοποιηθούν για βοσκή ζώων. Τα αγροτικά παραπροϊόντα που χρησιμοποιούνται κυρίως για την παράγωγη βιομάζας είναι: (Δανιήλ, 2018)

- Υπολείμματα αροτριαίων καλλιεργειών:
  -Άχυρο σιτηρών,
  -Στέλεχος καλαμποκιών,
- Υπολείμματα δενδρώδους βιομάζας:
  -Κλαδέματα δέντρων,
  -Νεκρά κλαδιά, φλοιοί δέντρων,
- Αγροτοβιομηχανικά υπολείμματα:
  -Πυρήνες φρούτων,
  -Περικάρπια ξηρών καρπών,
  -Υπολείμματα οινοποίησης,
- Ζωικά Απόβλητα.



Σχήμα 5-3: Θεωρητικό δυναμικό γεωργικών υπολειμμάτων στην Ελλάδα ανά νομό (Πηγή: cres.gr)

Τα αγροτικά υπολείμματα εντάσσονται στην κατηγορία της βιομάζας και αποτελούν καύσιμα υδρογονανθράκων. Με βάση την φυσικό-χημική τους, σύσταση σε κανονικές περιβαλλοντικές συνθήκες εντάσσονται στην κατηγορία των στερεών καυσίμων και, με βάση την δυνατότητα συλλογής τους, εντάσσονται στην κατηγορία των διαθέσιμων πρωτογενώς καυσίμων.

Στην παρούσα μελέτη, διερευνάται η παραγωγή ενέργειας από φυτικά υπολείμματα και από ζωικά απόβλητα.

5.3 Παραγωγή Ενέργειας από την Καύση Φυτικών Υπολειμμάτων

Στον Δήμο Καρύστου, η γεωργία αποτελεί τον κλάδο με την μεγαλύτερη απασχόληση. Σύμφωνα με τα στοιχεία για το 2019, η καλλιεργήσιμη έκταση του Δήμου ανέρχεται σε 25.72 km^2 ή 25,720 στρέμματα, χωρίς να λαμβάνονται υπόψιν οι βοσκότοποι, η έκταση των οποίων αγγίζει τα 100 km^2 ή 100,000 στρέμματα. Οι κύριες καλλιέργειες, των οποίων τα παραπροϊόντα μπορούν να αξιοποιηθούν ως βιομάζα, είναι αυτές της βρώμης, του κριθαριού, του σιταριού, του αμπελιού και της ελιάς, με συνολική έκταση τα 17,000 στρέμματα. Τα μέρη των φυτών ή αλλιώς τα υπολείμματα που προσφέρονται για βιομάζα είναι το άχυρο από την βρώμη, το κριθάρι και το σιτάρι, τα κλαδέματα από τα αμπέλια και τις ελιές, από τις οποίες επίσης αξιοποιείται ο πυρήνας. Για την κάθε καλλιέργεια, λαμβάνεται υπόψιν η παραγόμενη ξηρά ουσία των υπολειμμάτων (kg/στρέμμα), καθώς και η θερμογόνος δύναμη των υπολειμμάτων (MJ/kg).

Η μέθοδος που επιλέγεται για την παραγωγή ενέργειας από την φυτική βιομάζα είναι η καύση, ως η πιο διαδεδομένη. Κατά την καύση, η βιομάζα αντιδρά με το οξυγόνο του αέρα και παράγονται θερμά καυσαέρια (800 - 1,000°C) που με την σειρά τους παράγουν ατμό. Στη συνέχεια, ο ατμός χρησιμοποιείται για την ηλεκτροπαραγωγή, εκτονωμένος μέσω ατμοστροβίλου σε ένα κύκλο Rankine. Συνήθως, σε ένα κύκλο ατμού με συμπύκνωση παράγεται μόνο ηλεκτρισμός, ενώ σε έναν κύκλο με απομάστευση πραγματοποιείται συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας, όπως προβλέπεται να γίνει στην παρούσα μελέτη.

Αναλυτικότερα, μια μονάδα συμπαραγωγής με καύση βιομάζας, περιλαμβάνει συνήθως έξι βασικές υπομονάδες: (Δανιήλ, 2018)

- Την υπομονάδα υποδοχής της βιομάζας,
- Την υπομονάδα αποθήκευσης, μεταποίησης και τροφοδοσίας της βιομάζας,
- Την υπομονάδα τροφοδοσίας του καυστήρα,

- Την υπομονάδα καύσης της βιομάζας,
- Την υπομονάδα ηλεκτροπαραγωγής,
- Την υπομονάδα διάθεσης της θερμότητας.

Η υπομονάδα υποδοχής της βιομάζας θα πρέπει να διαθέτει υποδομή για ζύγισμα της βιομάζας, ο οποία αν είναι ξηρή μπορεί να αποθηκευτεί με ασφάλεια στην αποθήκη.

Η υπομονάδα αποθήκευσης, μεταποίησης και τροφοδοσίας της βιομάζας πρέπει να έχει μέγεθος που να δύναται να καλύπτει τις ανάγκες για ορισμένο χρονικό διάστημα. Εάν η βιομάζα έχει περισσότερη υγρασία από την μέγιστη απαιτούμενη, πρέπει να προβλέπεται μονάδα ξήρανσης.

Στην υπομονάδα τροφοδοσίας του καυστήρα, τα δέματα βιομάζας πρέπει να αποσυσκευαστούν και να τροφοδοτηθούν τα στελέχη στον καυστήρα.

Η υπομονάδα καύσης της βιομάζας είναι το μέρος όπου γίνεται η καύση της βιομάζας κατά την οποία παράγεται θερμότητα που τροφοδοτείται σε διαθερμικό λάδι το οποίο στη συνέχεια θερμαίνει νερό προς παραγωγή ατμού, που χρησιμοποιείται από τη μονάδα ηλεκτροπαραγωγής.

Η υπομονάδα ηλεκτροπαραγωγής βασίζεται στον οργανικό κύκλο Rankine (ORC) και είναι πλήρως αυτοματοποιημένη.

Η υπομονάδα διάθεσης της θερμότητας μπορεί να διαμορφωθεί ανάλογα με τις εκάστοτε απαιτήσεις.

Ο σταθμός συμπαραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας θεωρείται ότι λειτουργεί με ενεργειακές απώλειες της τάξης του 15%, ενώ από την παραγόμενη ενέργεια θεωρείται ότι το 25% μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια και το υπόλοιπο 75% σε θερμική.

Πίνακας 5-1: Συμπαραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας από φυτικά υπολείμματα

Καλλιέργειες	Μέρος Φυτού	Στρέμματα	Υγρασία μετά την συγκομιδή	Ετήσια Υπολείμματα ξηράς ουσίας (kg/στρέμμα)
Βρώμη	Άχυρο	2,857.13	8.5%	355.00
Κριθάρι	Άχυρο	1,337.53	10%	120.00
Σιτάρι	Άχυρο	641.03	10%	217.00
Αμπέλια	Κλαδέματα	2,180.00	39%	32.10
Ελιές	Κλαδέματα	9,984.30	43%	37.20
	Πυρήνας		48%	120.00
Καλλιέργειες	**Παραγωγή ξηράς ουσίας (kg)**	**Θερμογόνος Δύναμη (MJ/kg)**	**Θεωρητικά Παραγόμενη Ενέργεια (MJ)**	**Παραγόμενη Ενέργεια (MJ)** (-απώλειες 15%)
Βρώμη	1,014,282	18.00	18,257,082	15,518,520
Κριθάρι	160,504	18.20	2,921,173	2,482,997
Σιτάρι	139,104	18.50	2,573,428	2,187,414
Αμπέλια	69,978	18.70	1,308,589	1,112,300
Ελιές	371,416	19.00	7,056,903	5,998,368
	1,198,116	19.70	23,602,885	20,062,452
Συνολική Παραγόμενη Ενέργεια (MJ)	47,362,051	25% →	**Ετήσια Ηλεκτρική Ενέργεια (MWh)**	**3,289**
Συνολική Παραγόμενη Ενέργεια (MWh)	13,156	75%	**Ετήσια Θερμική Ενέργεια (MWh)**	**9,867**

Όπως προκύπτει από τους υπολογισμούς του Πίνακα 5.1, η ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ανέρχεται σε 3,289 MWh και της θερμικής σε 9,887 MWh. Η ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να πωλείται και να διατίθεται απ' ευθείας στο δίκτυο ηλεκτρισμού. Η διάθεση της θερμικής ενέργειας όμως είναι πιο σύνθετη και για να αξιοποιηθεί πλήρως πρέπει να υπάρχουν καταναλωτές, οι οποίοι θα μπορούν να απορροφήσουν τη θερμότητα σε όλη (σχεδόν) τη διάρκεια του έτους.

Χρήσιμες εφαρμογές αξιοποίησης της παραγόμενης θερμότητας μπορεί να είναι αυτές της τηλεθέρμανσης, δηλαδή της παροχής θέρμανσης με ειδικό δίκτυο μονωμένων αγωγών που μεταφέρουν ζεστό νερό, το οποίο θερμαίνεται αρκετά μακριά από το χώρο κατανάλωσης. Με την τηλεθέρμανση, μπορούν να καλυφθούν οι ανάγκες θερμοκηπίων της περιοχής ή/και κατοικιών. Επίσης, η θερμική ενέργεια μπορεί να διατεθεί και σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις ή σε ξηραντήρια.

Αξίζει να αναφερθεί ότι η υπολογισμένη παραγόμενη ενέργεια, προέρχεται από την εκμετάλλευση των κύριων υπαρχόντων καλλιεργειών και μπορεί να εμπλουτιστεί από τα υπολείμματα των μικρότερων σε έκταση, καθώς και με την ενσωμάτωση ενεργειακών καλλιεργειών. Επίσης, θα μπορούσε με την απαραίτητη οργάνωση ο Δήμος να συλλέγει και τα υπολείμματα (π.χ. κλαδέματα) από τα δέντρα των δημοσίων χώρων, αλλά και των ιδιόκτητων. Με αυτούς τους τρόπους, διαπιστώνεται ότι υπάρχουν περιθώρια για περαιτέρω παραγωγή ενέργειας από την φυτική βιομάζα.

Τέλος, η διαστασιολόγηση της μονάδας συμπαραγωγής ενέργειας με καύση της βιομάζας και ο λεπτομερής σχεδιασμός και βελτιστοποίηση των επιμέρους διαδικασιών, όπως η συλλογή και η διαχείριση της εποχιακής διασποράς της διάθεσης των υπολειμμάτων κάθε καλλιέργειας, θα μπορούσε να αποτελέσει αντικείμενο ξεχωριστής μελέτης. Μία τέτοια ανάλυση ξεπερνάει τα πλαίσια της παρούσας που σε αυτό το υποκεφάλαιο σκοπό έχει την ποιοτική διερεύνηση των δυνατοτήτων που προσφέρει η αξιοποίηση της φυτικής βιομάζας στο ενεργειακό μείγμα του Δήμου Καρύστου.

5.4 Παραγωγή Ενέργειας από τα Ζωικά Απόβλητα

5.4.1 Η ζωική παραγωγή στον Δήμο Καρύστου

Στον Δήμο Καρύστου, ο κλάδος της γεωργίας είναι αυτός που σε μόνιμη βάση έχει την μεγαλύτερη απασχόληση, με την κτηνοτροφία να έχει ένα σημαντικό μερίδιο. Σύμφωνα με τα στοιχεία του ΟΠΕΚΕΠΕ για το 2019, τα ζώα που εκτρέφονται παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.2, κατηγοριοποιημένα ανά είδος. Από αυτά, επιλέγεται να αξιοποιηθούν τα απόβλητα από τις αίγες, τα πρόβατα

και τα βοοειδή, καθώς τα υπόλοιπα παράγουν συγκριτικά αμελητέες ποσότητες.

Πίνακας 5-2: Ζωική παραγωγή Δήμου Καρύστου (Πηγή: ΟΠΕΚΕΠΕ)

Είδος	Πλήθος
Αίγες	28,452
Πρόβατα	52,035
Βοοειδή	96
Άλογα	12
Κότες	145
Χοίροι	29

Η μέθοδος, με την οποία πρόκειται να αξιοποιηθούν τα ζωικά απόβλητα για παραγωγή ενέργειας, είναι η αναερόβια χώνευση.

5.4.2 Αναερόβια Χώνευση

Η αναερόβια χώνευση είναι μία βιοχημική διεργασία, κατά τη διάρκεια της οποίας σύνθετα οργανικά στοιχεία αποσυντίθενται απουσία οξυγόνου, από διάφορους τύπους αναερόβιων μικροοργανισμών και μετατρέπονται σε βιοαέριο. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται σε συνθήκες έλλειψης οξυγόνου και σε θερμοκρασιακή περιοχή περίπου μεταξύ 20 – 55°C, κατά την οποία συντελείται βακτηριακή αποδόμηση σύνθετων οργανικών μορίων σε μικρότερα, όπως το μεθάνιο και το διοξείδιο του άνθρακα. (Angelidaki et al, 2003).

Η διαδικασία αυτή συναντάται και στην φύση, καθώς μεθάνιο παράγεται μέσω της αποικοδόμησης της οργανικής ύλης από μικροβιακές, αλλά και ζωικές δραστηριότητες. Η φυσική αυτή διεργασία αξιοποιείται από τον άνθρωπο στις εγκαταστάσεις παραγωγής βιοαερίου σε δεξαμενές, που λειτουργούν ως χωνευτήρες (Γεωργακάκης, 2010). Το βιοαέριο ως βιοκαύσιμο έχει θερμογόνο δύναμη ίση με 5,500 kcal/m^3.

Η παραγωγή βιοαερίου μέσω της αναερόβιας χώνευσης παρουσιάζει αρκετά πλεονεκτήματα, όπως ότι: (Τασσόπουλος, 2015)

- Αποτελεί ΑΠΕ και βελτιώνει το ενεργειακό ισοζύγιο.
- Συμβάλλει στην μείωση των αερίων του φαινομένου του θερμοκηπίου.
- Μειώνει την εξάρτηση από ορυκτά καύσιμα.
- Μετατρέπει τα απόβλητα σε πολύτιμο πόρο και βοηθά στην αειφόρο διαχείριση τους.
- Παρουσιάζει ευελιξία στην χρήση διαφορετικών πρώτων υλών.

Ωστόσο, παρουσιάζει και κάποια μειονεκτήματα όπως: (Τασσόπουλος, 2015)

- Το υψηλό κόστος εγκατάστασης.
- Η ανάγκη για περαιτέρω επεξεργασία των εκροών, όπως παστερίωση, για ασφαλή διάθεση τους στο περιβάλλον.
- Η κατασκευή αγωγών μεταφοράς του στα αστικά κέντρα που αυξάνει το συνολικό κόστος του έργου.

Στην παρούσα μελέτη, γίνεται διαστασιολόγηση των βασικών δεξαμενών της εγκατάστασης παραγωγής βιοαερίου, δηλαδή των δεξαμενών αποθήκευσης των αποβλήτων, της δεξαμενής υδρόλυσης και του αναερόβιου χωνευτή. Ο πιο λεπτομερής σχεδιασμός υπερβαίνει τους στόχους αυτού του κεφαλαίου, δηλαδή την εκτίμηση των δυνατοτήτων που προσφέρει η αξιοποίηση των ζωικών αποβλήτων στο ενεργειακό μείγμα του Δήμου Καρύστου, και μπορεί να αποτελέσει αντικείμενο νέας μελέτης.

5.4.3 Διαστασιολόγηση Βασικών Δεξαμενών

<u>Δεξαμενές Αποθήκευσης:</u>

Το μείγμα ζωικών αποβλήτων προέρχεται από αίγες, πρόβατα και βοοειδή. Προκειμένου να υπάρχει καλύτερος έλεγχος σε κάθε υπόστρωμα πριν από την ανάμειξη, επιλέγεται το καθένα να αποθηκευτεί σε ξεχωριστή δεξαμενή. Για τον καθορισμό του όγκου κάθε δεξαμενής, λαμβάνεται υπόψη η προσφερόμενη μάζα κάθε υποστρώματος, προσαυξημένη κατά 50% υπέρ της ασφαλείας, ενώ η πυκνότητα των αποβλήτων θεωρείται περίπου στα 1,100 kg/m^3 (Bouaziz, 2014). Όλες οι δεξαμενές επιλέγονται να έχουν κυλινδρικό σχήμα. Ο όγκος κάθε δεξαμενής αποθήκευσης και οι διαστάσεις τους παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες.

Πίνακας 5-3: Υπολογισμός όγκου δεξαμενών αποθήκευσης αποβλήτων

Απόβλητα από	Μάζα (Kg/d)	Μάζα (Kg/d) + 50% για ασφ	Πυκνότητα Αποβλήτων (Kg/m3)	Όγκος Δεξαμενής (m3)
Αίγες	11,381	17,071	1,100	15.71
Πρόβατα	93,663	140,,495	1,100	137.44
Βοοειδή	3,552	5328	1,100	4.95

Πίνακας 5-4: Διαστάσεις κυλινδρικών δεξαμενών αποθήκευσης

Απόβλητα από	Ύψος (m)	Διάμετρος (m)
Αίγες	5.0	2.0
Πρόβατα	7.0	5.0
Βοοειδή	2.8	1.5

<u>Δεξαμενή Υδρόλυσης:</u>

Το πιο σημαντικό συστατικό που περιέχεται στα απόβλητα είναι οι πολυμερείς ενώσεις, όπως για παράδειγμα οι υδατάνθρακες, οι πρωτεΐνες και τα λίπη. Η υδρόλυση αυτών των ενώσεων σε μικρότερα μόρια είναι το πρώτο στάδιο της αναερόβιας διεργασίας και πραγματοποιείται στην δεξαμενή υδρόλυσης. Ο σκοπός αυτής της δεξαμενής είναι να διασπάσει τα μόρια, ενισχύοντας τη διαδικασία της ζύμωσης, η οποία συμβαίνει γρηγορότερα σε υψηλή θερμοκρασία, με αποτέλεσμα να βελτιώνεται σε σημαντικό βαθμό η βιοδιασπασιμότητα των υποστρωμάτων (Bouaziz, 2014). Για τον καθορισμό του όγκου, λαμβάνεται υπόψιν πως η παροχή στην δεξαμενή ισούται με το άθροισμα των παροχών από κάθε δεξαμενή αποθήκευσης και θεωρείται χρόνος παραμονής 4 ημερών.

Πίνακας 5-5: Καθορισμός όγκου και διαστάσεων δεξαμενής υδρόλυσης

Απόβλητα από		**Παροχή (m^3/ημέρα)**
Αίγες		15.52
Πρόβατα		127.72
Βοοειδή		4.84
Χρόνος Παραμονής (ημέρες)		4.00
Απαιτούμενος Όγκος (m^3)		592.00
Όγκος δεξαμενής υδρόλυσης (m^3)	**Ύψος (m)**	**Διάμετρος (m)**
604.00	9.50	9.00

<u>Αναερόβιος Χωνευτής:</u>

Για τον καθορισμό του όγκου του χωνευτή είναι απαραίτητος ο προσδιορισμός ορισμένων μεγεθών. Αρχικά, ο υπολογισμός της περιεκτικότητας του μείγματος των υποστρωμάτων σε στερεά (DM%), που υπολογίζεται ως ο σταθμισμένος μέσος όρος κάθε υποστρώματος, όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 5.6.

Πίνακας 5-6: Περιεκτικότητα του μείγματος σε στερεά

Απόβλητα από	**Volatile Solids (%)**		**Μάζα (tn/year)**	
Αίγες	VS_1	24%	X_1	4154
Πρόβατα	VS_2	20%	X_2	34187
Βοοειδή	VS_3	10%	X_3	1296
Περιεκτικότητα σε στερεά (%) $= \frac{X1 * VS1 + X2 * VS2 + X3 * VS3}{X1 + X2 + X3}$ $=$ 20%				

Επίσης, πρέπει να καθοριστεί ο ρυθμός οργανικής φόρτισης (ORL), ο οποίος λαμβάνεται ίσος με 5 $kg\ VDM/day * m^3$ (Bouaziz, 2014). Η μάζα εισόδου στον χωνευτή ανέρχεται στα 108,596 kg/day και τα πτητικά στερεά (VDM(% of DM)) αντιστοιχούν σε ποσοστό 80% της ξηράς ουσίας. Με βάση τα παραπάνω μεγέθη, γίνεται αρχική εκτίμηση του όγκου του αναερόβιου χωνευτή σύμφωνα με τη Σχέση 5.1:

$$Digester\ Volume\ (m^3) = \frac{Substrate\ input(kg/day) \times DM(\%) \times VDM(\%\ of\ DM)}{OLR(kg\ VDM/day \times m^3)}$$

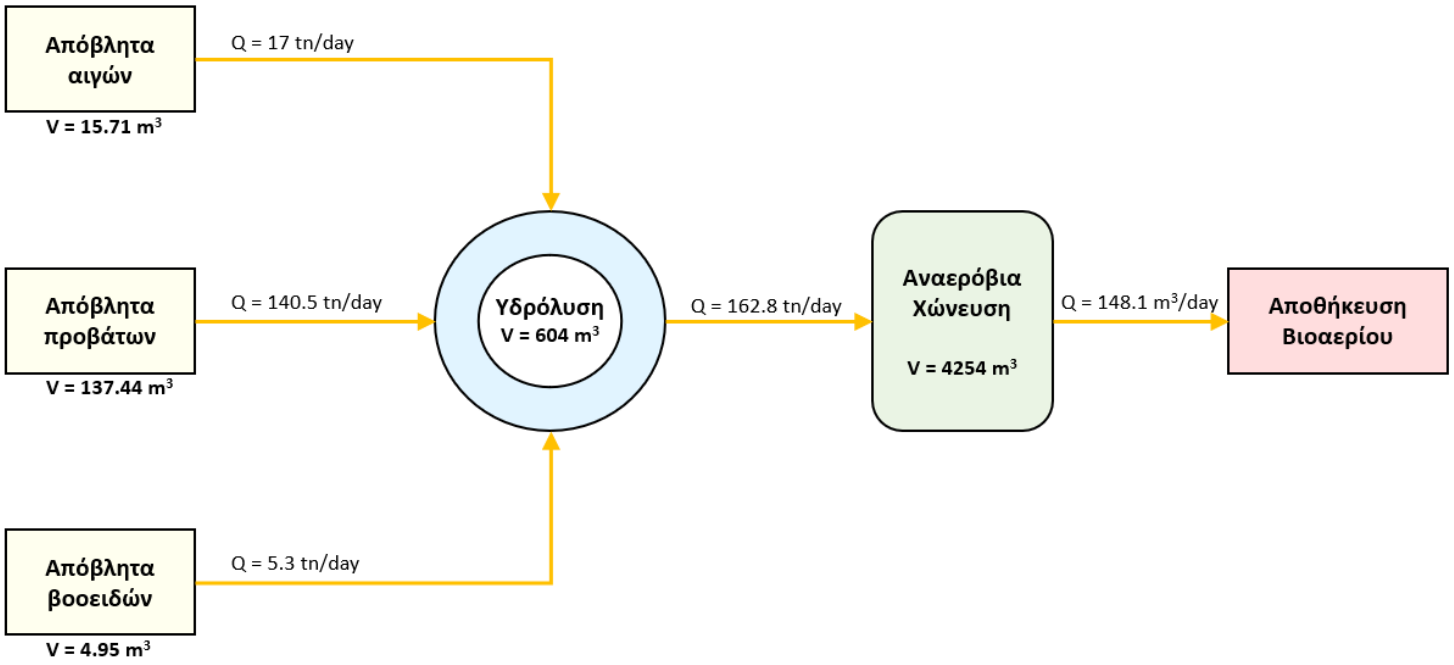
(5.1)

Ο απαιτούμενος όγκος αυξάνεται κατά 20% υπέρ της ασφαλείας και ο τελικός όγκος μαζί με τις διαστάσεις παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.7.

Πίνακας 5-7: Όγκος και διαστάσεις αναερόβιου χωνευτή

Όγκος Αναερόβιου Χωνευτήρα (m^3)	**Ύψος (m)**	**Διάμετρος (m)**
4254.40	10.70	22.50

Η διάταξη των προαναφερθέντων διαδικασιών απεικονίζεται στο διάγραμμα ροής του Σχήματος 5.4.



Σχήμα 5-4: Διάγραμμα Ροής Αναερόβιας Χώνευσης

5.4.4 Παραγόμενη Ενέργεια από Βιοαέριο

Κατά την παραγωγή ενέργειας από βιοαέριο, θεωρείται ότι από το σύνολο της δυνητικά παραγόμενης ενέργειας το 10% χάνεται ως απώλειες, το 35% μετατρέπεται σε ηλεκτρική και το 55% σε θερμική ενέργεια. Λαμβάνοντας υπόψιν πως το βιοαέριο έχει θερμογόνο δύναμη 5,500 kcal/m^3 (ή 23 MJ/m^3), καθώς και τις υπόλοιπες παραμέτρους που παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.8, υπολογίζεται η ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στις 5,216 MWh και της θερμικής ενέργειας στις 8,197 MWh.

Πίνακας 5-8: Παραγωγή ενέργειας από τα ζωικά απόβλητα

Είδος	Πλήθος	Ημερήσια Παραγόμενα Απόβλητα (κοπριά) (kg/d)	Συνολικά Ημερήσια Απόβλητα (κοπριά) (kg/d)	Συνολικά Ετήσια Παραγόμενα Απόβλητα (κοπριά) (kg/y)	Υγρασία %	Ξηρά ουσία (ΞΟ) %	Ξηρά ουσία (kg)
Αίγες	28,452	0.4	11,381	4,153,992	70%	30%	1,246,198
Πρόβατα	52,035	1.8	93,663	34186,995	75%	25%	8,546,749
Βοοειδή	96	37	3,552	1,296,480	88%	12%	155,578

Είδος	VS % της ΞΟ	VS % του αρχικού	Ετήσια παραγωγή VS (kg)	Παραγωγή βιοαερίου m^3/kg VS	Ετήσιο Παραγόμενο βιοαέριο (m^3)	Θερμογόνος Δύναμη Βιοαερίου (kcal/m^3)	Θεωρητικά Παραγόμενη Ενέργεια (kcal)
Αίγες	80%	24%	996,958	0.25	249240	5500	1,370,817,360
Πρόβατα	80%	20%	6,837,399	0.30	2051220	5500	11,281,708,350
Βοοειδή	80%	10%	124,462	0.25	31116	5500	171,135,360

Συνολική Ετήσια Παραγόμενη Ενέργεια	12,823,661,070	(kcal)
	14,904	(MWh)

Τελικά	Ετήσια (MWh)	Ποσοστό
Ηλεκτρική Ενέργεια	**5,216**	35%
Θερμική Ενέργεια	**8,197**	55%
Απώλειες	1,490	10%

Κεφάλαιο 6: Προσομοίωση, Αποτελέσματα και Συζήτηση

6.1 Ανάλυση Υβριδικού Συστήματος

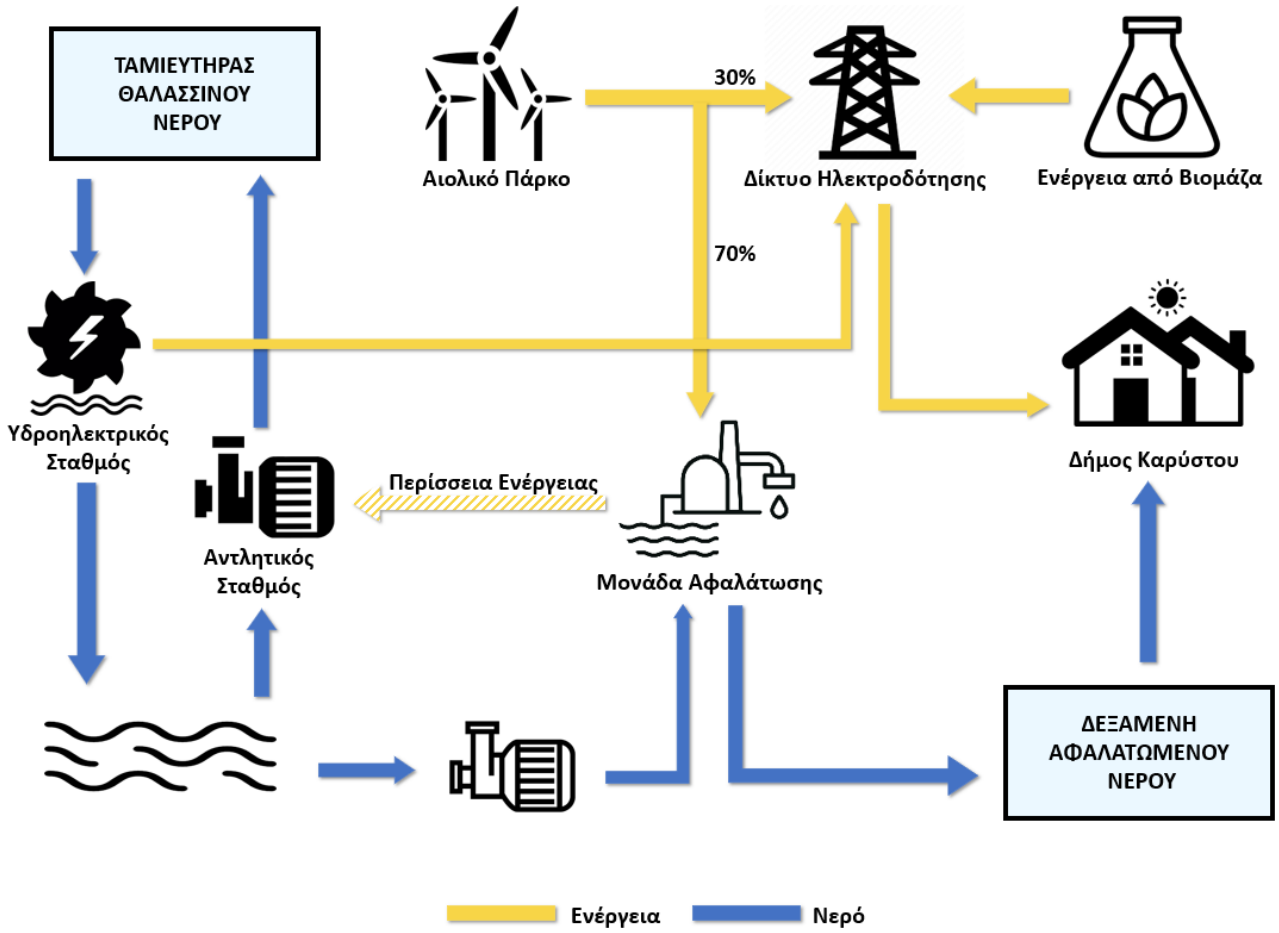
Στην παρούσα μελέτη, διερευνάται η διαστασιολόγηση ενός υβριδικού συστήματος που συνδυάζει την παραγωγή ενέργειας από αιολικό πάρκο και υδροηλεκτρικό σταθμό, την αποθήκευση ενέργειας μέσω αντλησιοταμίευσης και την διάθεση πόσιμου νερού μέσω μονάδας αφαλάτωσης (Σχήμα 6.1). Κατά την προσομοίωση, δίνεται προτεραιότητα στην κάλυψη των υδρευτικών αναγκών, προσπαθώντας συγχρόνως να επιτευχθεί υψηλή κάλυψη των αρδευτικών και ενεργειακών.

Η προσομοίωση του ΥΣ πραγματοποιείται σε περιβάλλον Microsoft Excel 365, με ωριαίο βήμα για 40 έτη και με δεδομένα εισόδου:

- Την χρονοσειρά υδρευτικών αναγκών,
- Την χρονοσειρά αρδευτικών αναγκών,
- Την χρονοσειρά ενεργειακών αναγκών,
- Την χρονοσειρά παραγόμενης αιολικής ενέργειας,
- Τα χαρακτηριστικά μεγέθη της μονάδας αφαλάτωσης, δηλαδή τη δυναμικότητα της και την απαιτούμενη ενέργειά της,
- Την χωρητικότητα της δεξαμενής πόσιμου (αφαλατωμένου) νερού,
- Τα χαρακτηριστικά μεγέθη του υδροηλεκτρικού, δηλαδή το υψόμετρο του ταμιευτήρα θαλασσινού νερού, τη μέγιστη και ελάχιστη στάθμη του, την χωρητικότητά του, την παροχετευτικότητα του αγωγού, καθώς και την ισχύ των αντλιών.

Από την προσομοίωση του ΥΣ, τελικά προκύπτουν ως δεδομένα εξόδου οι ακόλουθες ωριαίες χρονοσειρές:

- Η χρονοσειρά παραγόμενου υδρευτικού νερού,
- Η χρονοσειρά παραγόμενου αρδευτικού νερού,
- Η χρονοσειρά παραγόμενης υδροηλεκτρικής ενέργειας,
- Η χρονοσειρά συνολικής ενέργειας (από Α/Γ και ΥΗΕ),
- Η χρονοσειρά πλήρωσης της δεξαμενής πόσιμου νερού και του ταμιευτήρα του ΥΗΕ,
- Η χρονοσειρά του ελλείμματος ηλεκτρικής ενέργειας,
- Η ωριαία χρονοσειρά ελλείμματος υδρευτικού και αρδευτικού νερού,
- Η αξιοπιστία κάλυψης των υδρευτικών, αρδευτικών και ενεργειακών αναγκών,
- Τα ποσοστά κάλυψης και αστοχίας των παραπάνω αναγκών.

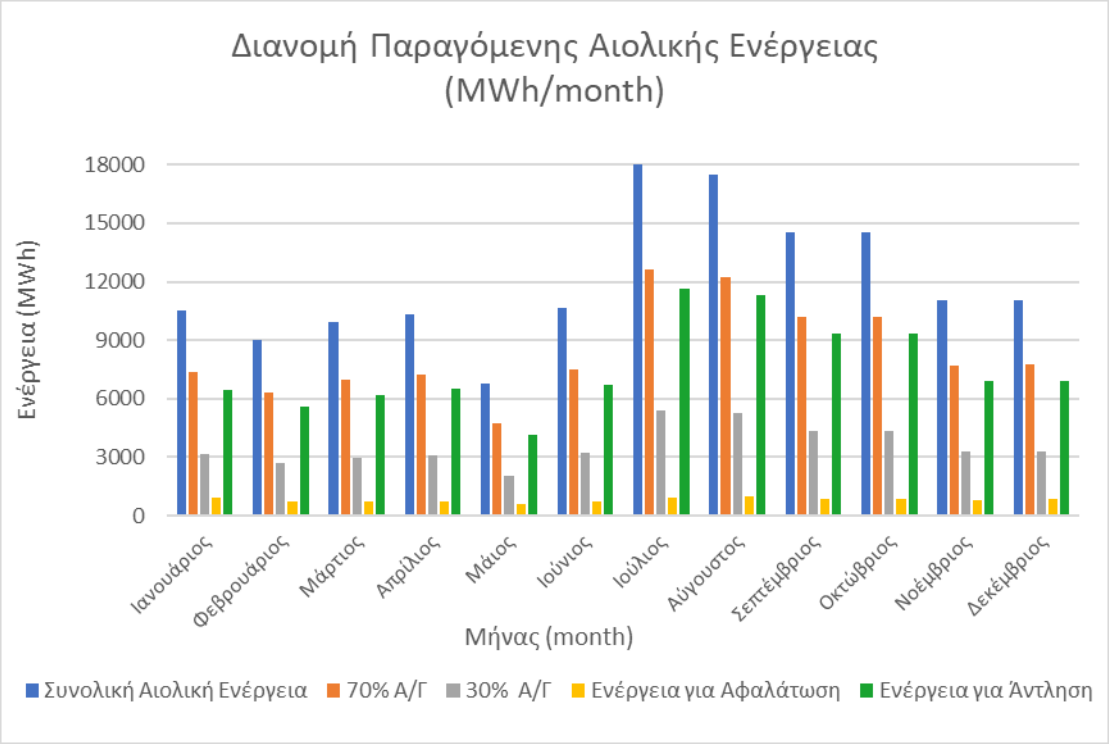


Σχήμα 6-1: Σχηματικό Διάγραμμα Λειτουργίας Συστήματος

Όπως παρουσιάζεται στο διάγραμμα του Σχήματος 6.1, το 30% της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από το αιολικό πάρκο διατίθεται απευθείας στο δίκτυο ηλεκτροδότησης, ενώ το υπόλοιπο 70% διατίθεται στο ΥΣ. Πρώτα στη μονάδα αφαλάτωσης για παραγωγή πόσιμου νερού, καθώς η κάλυψη των υδρευτικών αναγκών τίθεται σε προτεραιότητα, και στη συνέχεια προς τον αντλητικό σταθμό, για την άντληση θαλασσινού νερού στα πλαίσια της αντλησιοταμίευσης.

Με βελτιστοποίηση της προσομοίωσης ώστε να επιτυγχάνεται η καλύτερη δυνατή αξιοπιστία κάλυψης των αναγκών σε νερό και ενέργεια, καθορίζονται τα επιμέρους μεγέθη του υβριδικού συστήματος. Ειδικότερα, η επιλογή του πλήθος των Α/Γ και του όγκου του ταμιευτήρα θαλασσινού νερού, γίνεται λαμβάνοντας υπόψιν και την παραγωγή ενέργειας από τη βιομάζα, όπως αναλύεται στο υποκεφάλαιο 6.2. Το αιολικό πάρκο έχει συνολική

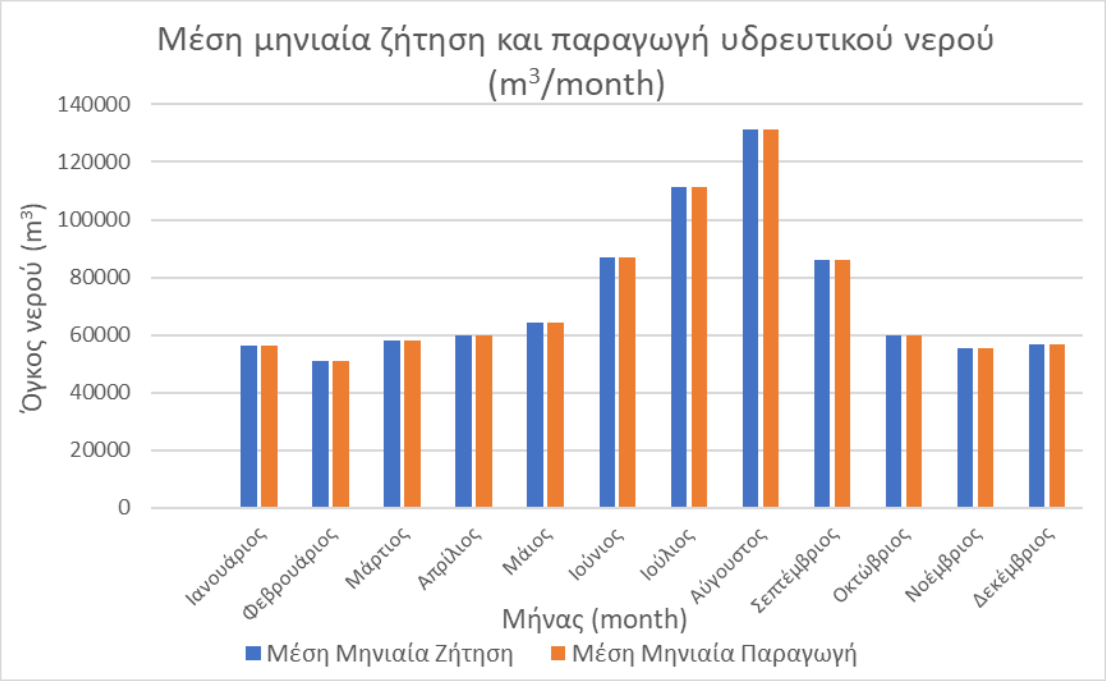
εγκατεστημένη ισχύ 31.5 MW και λειτουργεί με 9 Α/Γ μοντέλου Enercon E-101 (3.5 MW). Όπως προαναφέρεται, το 30% της παραγόμενης αιολικής ενέργειας διατίθεται αμέσως στο δίκτυο, ενώ το 70 % στις επιμέρους μονάδες του συστήματος, και πρώτα στην μονάδα αφαλάτωσης η οποία απαιτεί 4 kWh/m^3 και έχει μέγιστη δυναμικότητα παραγωγής πόσιμου νερού όγκου 9,600 m^3/day. Το νερό αυτό διοχετεύεται στην δεξαμενή αφαλατωμένου νερού χωρητικότητας 100,000 m^3, η οποία στην αρχή της προσομοίωσης θεωρείται γεμάτη κατά 50% και για την οποία ορίζεται ένα ποσοστό πληρότητας (70%) κάτω από το οποίο καλύπτονται μόνο οι υδρευτικές ανάγκες και όχι οι αρδευτικές. Η περίσσεια ενέργειας από την αφαλάτωση οδηγείται στον αντλητικό σταθμό ισχύος 9000 kW, για την άντληση του θαλασσινού νερού στον αντίστοιχο ταμιευτήρα του ΥΗΕ χωρητικότητας 1.7 hm^3. Στη συνέχεια, η αναγκαία ποσότητα νερού διοχετεύεται στους υδροστροβίλους με παροχή 5 m^3/sec για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών. Αυτό συμβαίνει στις περιπτώσεις, που η παραγόμενη ενέργεια από Α/Γ που διανέμεται στο δίκτυο δεν αρκεί για την κάλυψη της ζήτησης, οπότε και λειτουργεί το ΥΗΕ με την αποθηκευμένη δυναμική ενέργεια να μετατρέπεται σε ηλεκτρική. Στο Σχήμα 6.2, παρουσιάζεται η διανομή της μέσης μηνιαίας παραγόμενης αιολικής ενέργειας.



Σχήμα 6-2: Διανομή της μέσης μηνιαίας παραγόμενης αιολικής ενέργειας

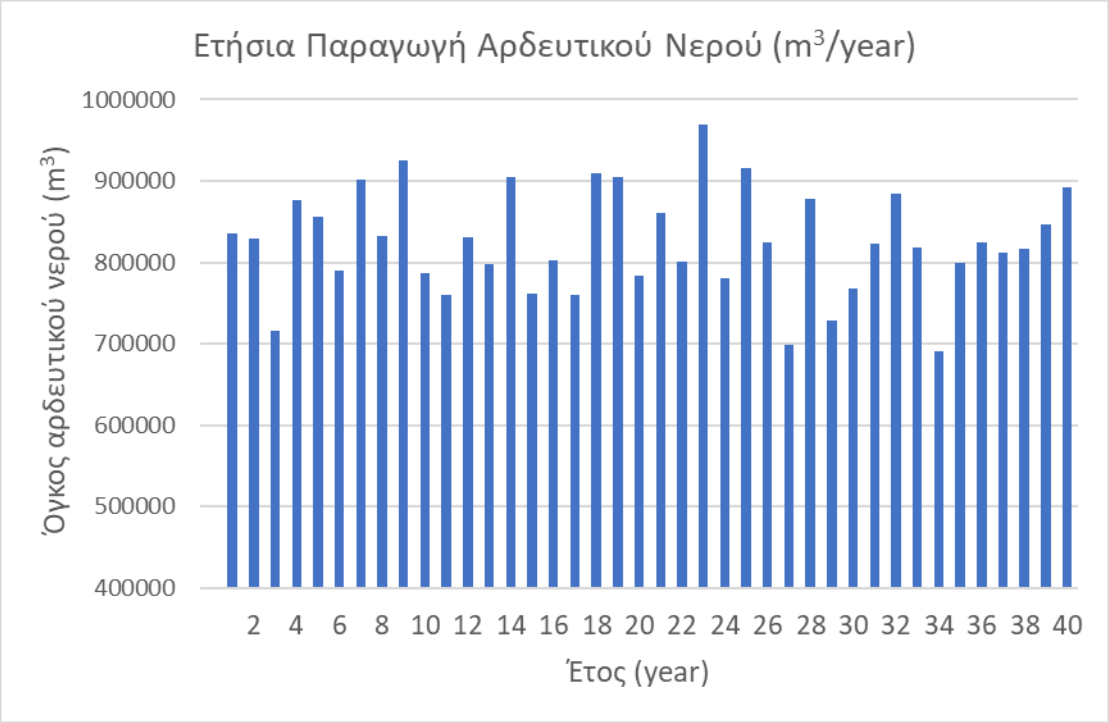
Όπως φαίνεται, η προσφερόμενη ενέργεια για αφαλάτωση, που είναι σε προτεραιότητα, είναι σταθερή, γεγονός που υποδηλώνει πολύ υψηλή κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της μονάδας από το σύστημα. Από την άλλη, η διακύμανση της προσφερόμενης ενέργειας για άντληση είναι ανάλογη παραγόμενης αιολικής ενέργειας και ακολουθεί την μεταβλητότητα της. Στο Σχήμα 6.3, φαίνεται η ετήσια παραγωγή υδρευτικού νερού, η οποία έχει αυξητική τάση ανάλογη με την προβλεπόμενη αύξηση του πληθυσμού και των αναγκών. Η κάλυψη των υδρευτικών αναγκών γίνεται πιο σαφής στο Σχήμα 6.4. Είναι φανερό ότι μέση μηνιαία παραγωγή πρακτικά ταυτίζεται με την μέση μηνιαία ζήτηση, οπότε επιτυγχάνεται πλήρης κάλυψη της υδρευτικής ζήτησης από το ΥΣ.

Σχήμα 6-3: Ετήσια παραγωγή υδρευτικού νερού

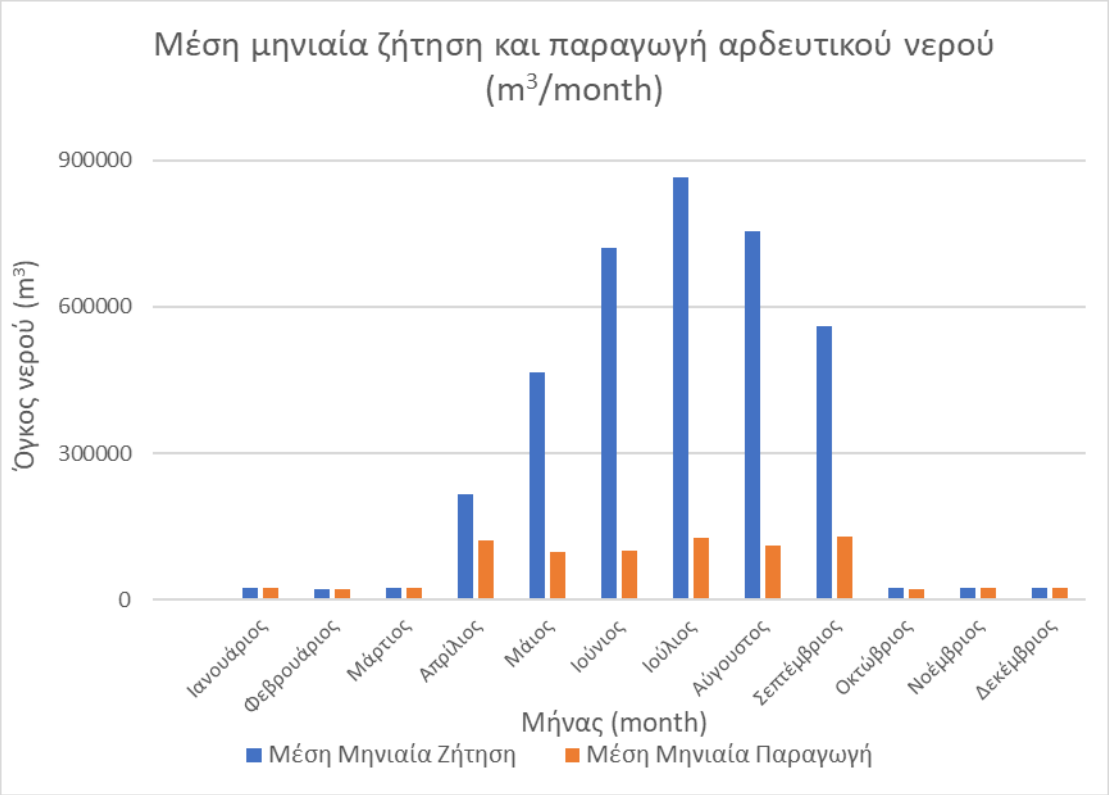


Σχήμα 6-4: Μηνιαία ζήτηση και παραγωγή υδρευτικού νερού

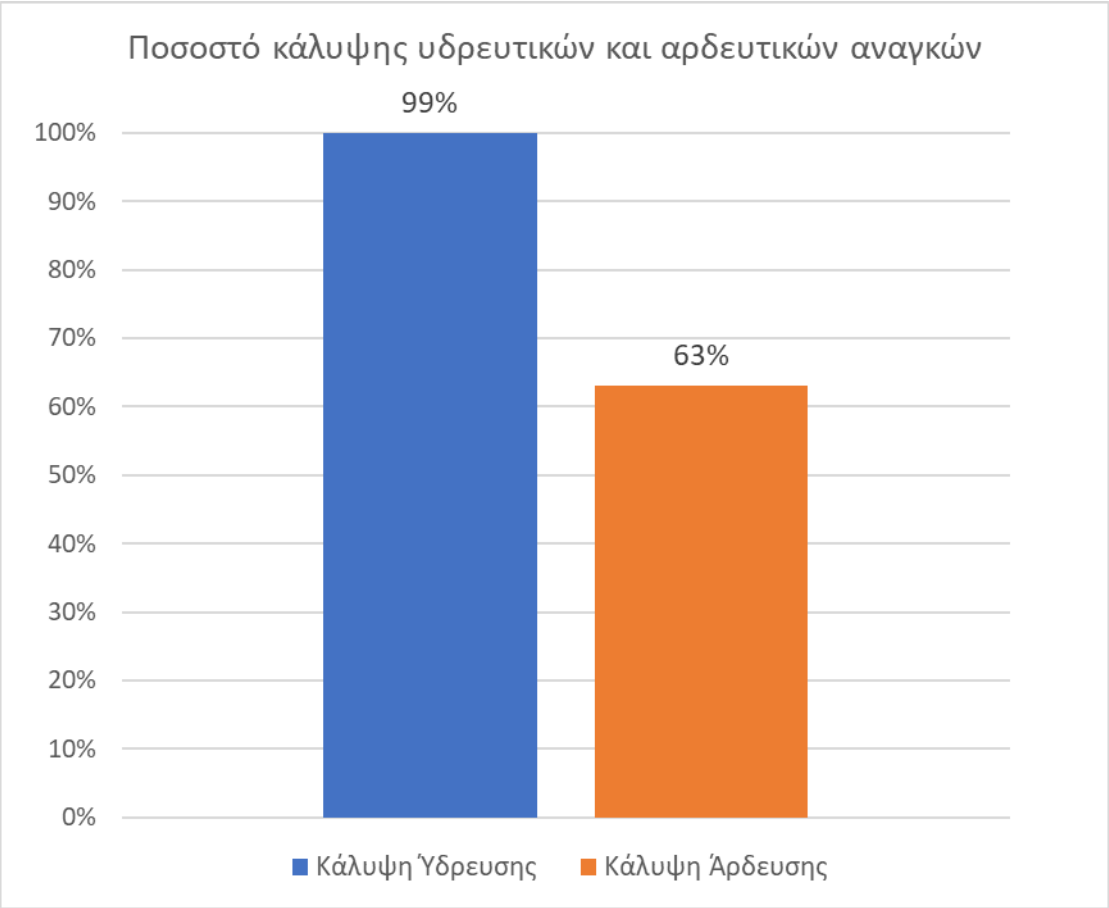
Όσον αφορά στην ετήσια παραγωγή αρδευτικού νερού, όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 6.5, χαρακτηρίζεται από έντονη διακύμανση ανά τα έτη. Αυτό συνεπάγεται μερική κάλυψη της αρδευτικής ζήτησης, κάτι το οποίο διαπιστώνεται και στο Σχήμα 6.6. Τους χειμερινούς μήνες, οι αρδευτικές ανάγκες, όπως είναι αναμενόμενο λόγω της εντονότερης βροχόπτωσης, είναι μικρότερες και καλύπτονται πλήρως. Αντιθέτως, τους θερινούς μήνες η αρδευτική ζήτηση αυξάνεται. Κατά την θερινή περίοδο, επίσης, αυξάνεται η υδρευτική ζήτηση λόγω των υψηλότερων θερμοκρασιών, καθώς και της αυξημένης προσέλευσης παραθεριστών και τουριστών. Τα παραπάνω, σε συνδυασμό με την προτεραιοποίηση της υδρευτικής ζήτησης, εξηγούν τις αστοχίες στην κάλυψη των αρδευτικών αναγκών. Τα αποτελέσματα αυτά συνοψίζονται στο Σχήμα 6.7, όπου φαίνονται τα ποσοστά κάλυψης των υδατικών αναγκών. Όπως διαπιστώνεται, η κάλυψη των υδρευτικών αναγκών, που αποτελεί βασικό στόχο του ΥΣ, ανέρχεται στο 99%, ενώ οι αρδευτικές καλύπτονται στο 63%.



Σχήμα 6-5: Ετήσια παραγωγή αρδευτικού νερού

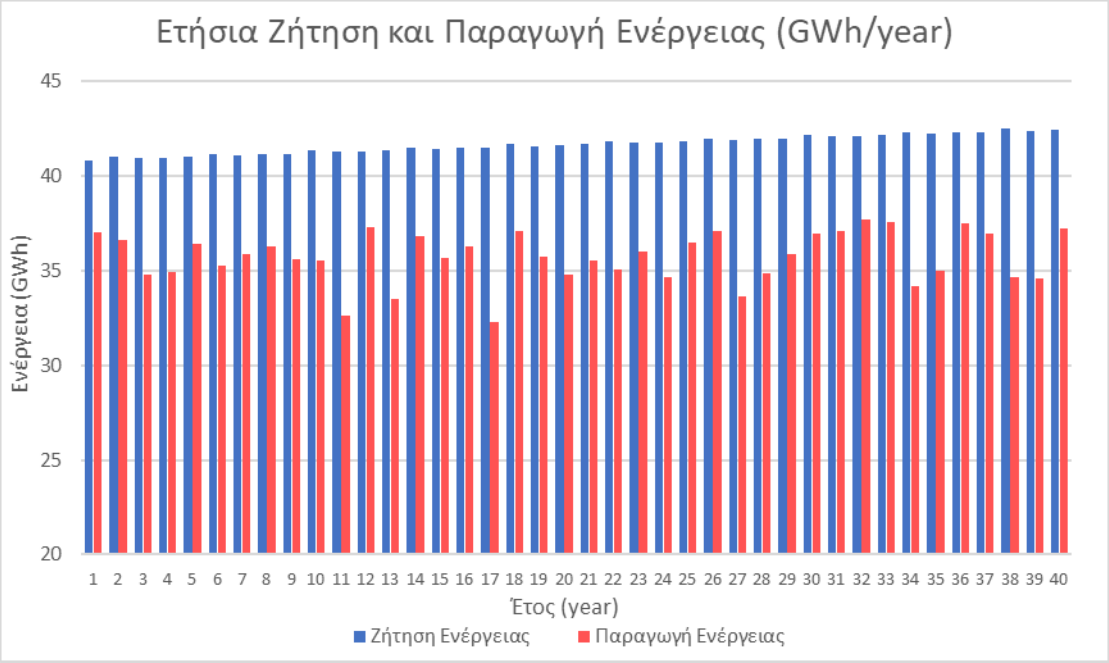


Σχήμα 6-6: Μηνιαία ζήτηση και παραγωγή αρδευτικού νερού

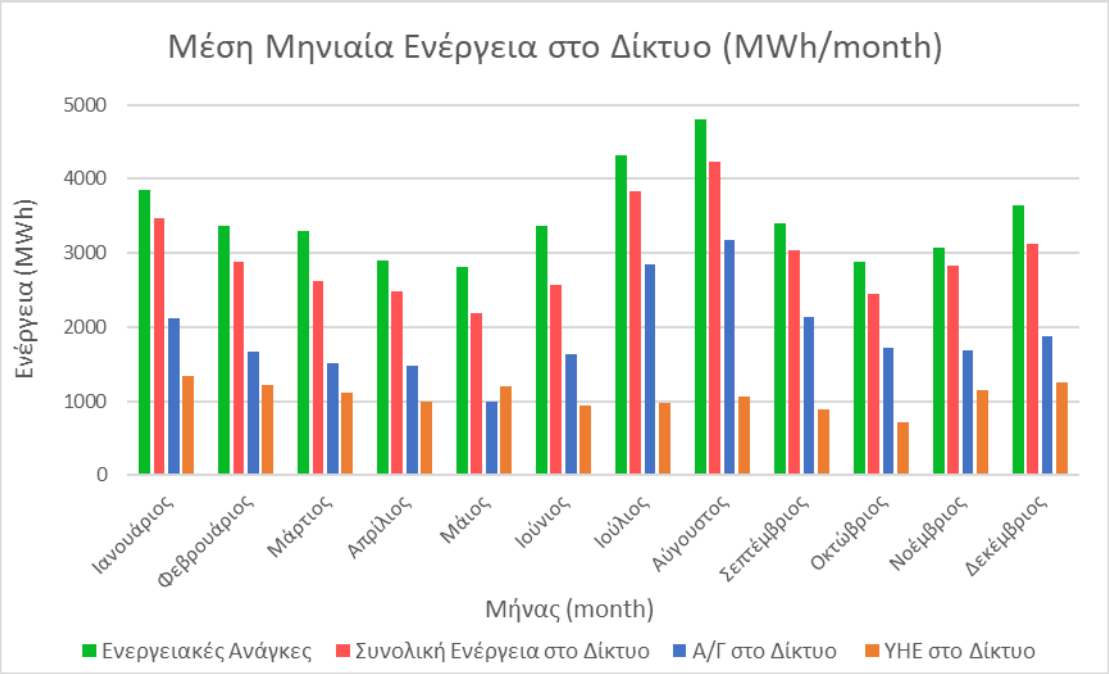


Σχήμα 6-7: Ποσοστό Κάλυψης Υδρευτικών και Αρδευτικών Αναγκών

Πέρα από τις υδατικές ανάγκες, το ΥΣ σχεδιάζεται ώστε να επιτυγχάνεται υψηλή κάλυψη και των ενεργειακών αναγκών. Στα Σχήματα 6.8 και 6.9, παρουσιάζεται η ετήσια και η μέση μηνιαία παραγωγή ενέργειας αντίστοιχα από το σύστημα συγκριτικά με τη ζήτηση. Όπως φαίνεται, η παραγόμενη από το σύστημα ενέργεια που διανέμεται στο δίκτυο ηλεκτροδότησης παρουσιάζει διακυμάνσεις ανά τα έτη, αλλά καλύπτει κατά ένα σημαντικό μέρος τις ενεργειακές ανάγκες. Ειδικότερα, παρατηρείται ότι η συνεισφορά των Α/Γ στην παραγωγή ενέργειας είναι μεγαλύτερη από ότι του ΥΗΕ, γεγονός που οφείλεται στο υψηλό αιολικό δυναμικό της περιοχής, καθώς και στο πλήθος των Α/Γ, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι το ΥΗΕ δεν συμμετέχει σημαντικά.



Σχήμα 6-8: Ετήσια ζήτηση και παραγωγή ενέργειας από το ΥΣ



Σχήμα 6-9: Μέση μηνιαία ενέργεια στο δίκτυο

Πίνακας 6-1: Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας και ποσοστό κάλυψης

Έτος	Παραγωγή Ενέργειας (MWh)	Ποσοστό Κάλυψης Ενέργειας (%)	Έτος (year)	Παραγωγή Ενέργειας (MWh)	Ποσοστό Κάλυψης Ενέργειας (%)
1	37,050.10	91%	**21**	35,570.99	85%
2	36,606.66	89%	**22**	35,102.91	85%
3	34,,813.70	85%	**23**	36,010.58	86%
4	34929.54	85%	**24**	34,658.36	81%
5	36,448.16	89%	**25**	36,507.71	87%
6	35,269.15	86%	**26**	37,081.33	88%
7	35,849.40	87%	**27**	33,667.04	80%
8	36,283.30	88%	**28**	34,891.10	84%
9	35,597.39	86%	**29**	35,904.96	85%
10	35,524.39	86%	**30**	36,935.92	88%
11	32,597.40	80%	**31**	37,089.65	88%
12	37,285.05	90%	**32**	37,708.26	89%
13	33,499.46	80%	**33**	37,593.91	89%
14	36,851.03	88%	**34**	34,172.53	80%
15	35,700.72	87%	**35**	34,979.94	82%
16	36,270.91	88%	**36**	37,521.24	89%
17	32,326.03	78%	**37**	36,984.71	88%
18	37,131.23	89%	**38**	34,635.27	81%
19	35,759.27	86%	**39**	34,593.42	80%
20	34,810.22	83%	**40**	37,240.77	88%

Πίνακας 6-2: Μηνιαία αξιοπιστία και ποσοστό κάλυψης ενεργειακών αναγκών

Μήνας	**Μηνιαία Αξιοπιστία Ενέργειας**	**Μηνιαίο Ποσοστό Κάλυψης Ενέργειας**
Ιανουάριος	0.72	0.91
Φεβρουάριος	0.71	0.86
Μάρτιος	0.68	0.80
Απρίλιος	0.73	0.85
Μάιος	0.67	0.78
Ιούνιος	0.66	0.77
Ιούλιος	0.76	0.89
Αύγουστος	0.76	0.88
Σεπτέμβριος	0.79	0.89
Οκτώβριος	0.75	0.85
Νοέμβριος	0.80	0.93
Δεκέμβριος	0.70	0.86
Μέση	**0.73**	**0.86**

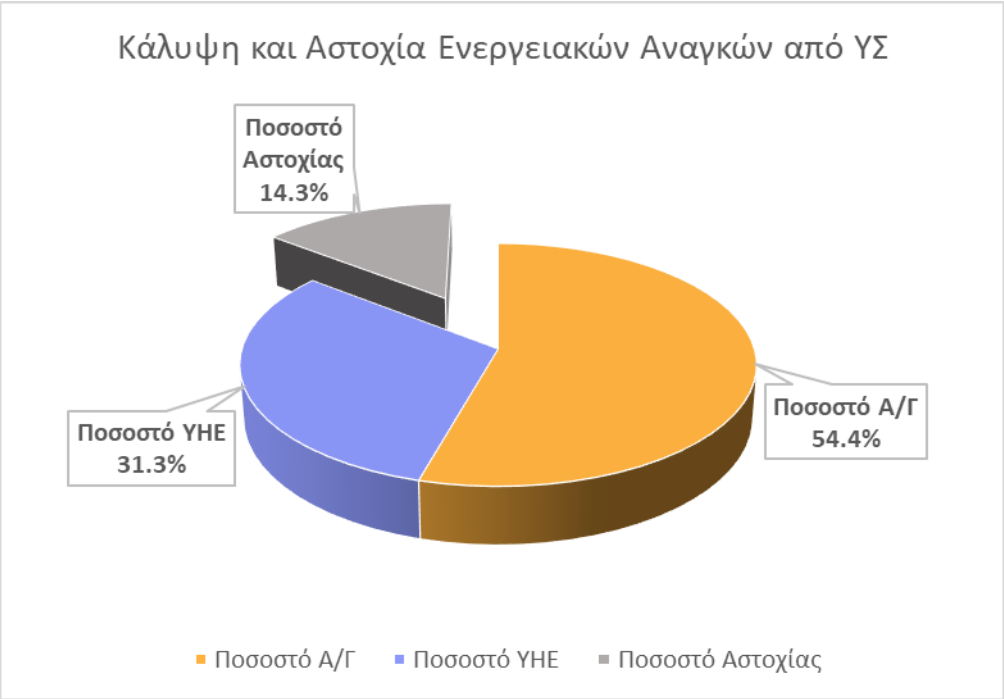
Για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων του ΥΣ λαμβάνονται υπόψιν τα μεγέθη της αξιοπιστίας και της ποσοστιαίας κάλυψης. Η αξιοπιστία αποτελεί θεμελιώδες μέγεθος ενός συστήματος υδατικών πόρων, και ορίζεται ως η πιθανότητα επίτευξης ενός συγκεκριμένου στόχου ή επίδοσης, για καθορισμένο χρονικό διάστημα (Ευστρατιάδης, Κουτσογιάννης, 2015). Στην προσομοίωση, για κάθε ωριαίο βήμα λαμβάνει τιμές 0 ή 1 ανάλογα με την επίτευξη ή όχι της πλήρους κάλυψης της ζήτησης. Το ποσοστό κάλυψης αναφέρεται στο ποσοστό στο οποίο καλύπτεται η ζήτηση στο καθορισμένο χρονικό διάστημα, και λαμβάνει τιμές από 0% έως 100%. Στον Πίνακα 6.1, παρουσιάζεται συγκεντρωτικά η παραγόμενη ενέργεια του ΥΣ καθόλη τη διάρκεια ζωής του έργου, μαζί με το αντίστοιχο ποσοστό κάλυψης των ενεργειακών αναγκών. Διαπιστώνεται ότι το ποσοστό είναι αρκετά υψηλό και κυμαίνεται ανά έτος από 78% έως 91%. Ομοίως, στον Πίνακα 6.2, συνοψίζονται η μηνιαία αξιοπιστία και το μηνιαίο ποσοστό κάλυψης της ενέργειας, με την μέση αξιοπιστία τελικά να ανέρχεται στο 73% και το ποσοστό κάλυψης στο 86%. Τα αποτελέσματα αυτά αξιολογούνται ως αρκετά ικανοποιητικά, ιδιαίτερα λαμβάνοντας υπόψιν και την υψηλή κάλυψη των υδατικών αναγκών (ύδρευση 99%, άρδευση 63%). Τέλος, στο Σχήμα 6.10 παρουσιάζονται οι προτεινόμενες θέσεις των μερών του ΥΣ.

Σχήμα 6-10: Μέρη Υβριδικού Συστήματος (Πηγή: ArcGIS Pro)

6.2 Αξιοποίηση Βιομάζας στο Ενεργειακό Μίγμα

Σύμφωνα με την ανάλυση του ΥΣ, όπως αυτή περιγράφεται στο υποκεφάλαιο 6.1, το σύστημα είναι σε θέση να καλύψει τις ενεργειακές ανάγκες του Δήμου Καρύστου στο αρκετά υψηλό ποσοστό του 86%. Παρόλα αυτά, υπάρχουν περιπτώσεις που οι Α/Γ και στη συνέχεια το ΥΗΕ αδυνατούν να παράξουν

αρκετή ενέργεια, με αποτέλεσμα να προκύπτουν ελλείματα. Αυτό το ποσοστό αστοχίας κάλυψης των ενεργειακών αναγκών, καθώς και τα ακριβή ποσοστά συνεισφοράς των Α/Γ και του ΥΗΕ παρουσιάζονται στο Σχήμα 6.11.



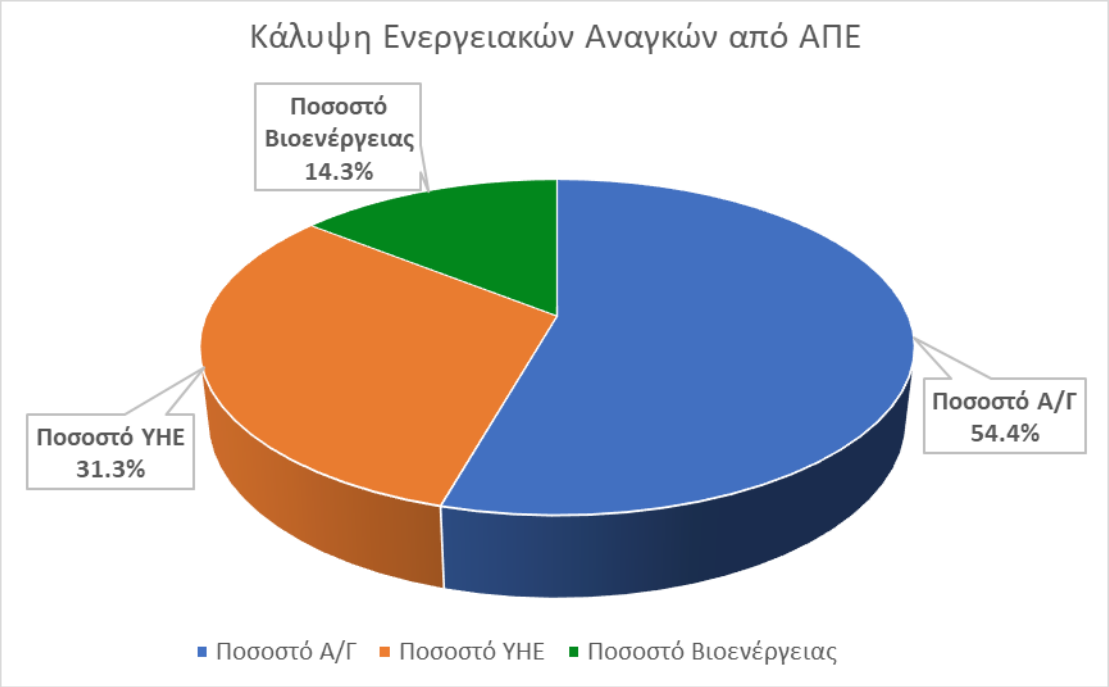
Σχήμα 6-11: Ποσοστό κάλυψης και αστοχίας ενεργειακών αναγκών από ΥΣ

Διαπιστώνεται ότι οι Α/Γ συμβάλλουν σε ποσοστό 54.4%, το ΥΗΕ σε ποσοστό 31.3%, ενώ το ακριβές ποσοστό αστοχίας της κάλυψης ανέρχεται σε 14.3%. Αυτό το ποσοστό αναμένεται να καλύπτεται από την διαθέσιμη ενέργεια του διασυνδεδεμένου δικτύου, η οποία όμως σε μεγάλο ποσοστό προέρχεται από συμβατικές, μη ΑΠΕ. Η πρόταση της παρούσας μελέτης είναι αυτό το ποσοστό αστοχίας να καλύπτεται από ΑΠΕ, και συγκεκριμένα από ενέργεια παραγόμενη από βιομάζα.

Στο Κεφάλαιο 5, διερευνάται η δυνατότητα αξιοποίησης της διαθέσιμης βιομάζας του Δήμου Καρύστου για την παραγωγή ενέργειας. Συγκεκριμένα, υπολογίζεται ότι η παραγωγή ετήσιας ηλεκτρικής ενέργειας από την αξιοποίηση των φυτικών υπολειμμάτων μπορεί να φτάσει τις 3,289 MWh, και αντίστοιχα από την αξιοποίηση των ζωικών αποβλήτων τις 5,216 MWh. Συνολικά, η ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από βιομάζα μπορεί να

φτάσει τις 8,505 MWh και αντιστοιχεί ακριβώς στο 20% της ζήτησης για το 40^{ο} έτος της προσομοίωσης, το οποίο είναι και το τελευταίο για την διάρκεια ζωής του έργου. Λαμβάνοντας υπόψιν ορισμένους περιορισμούς όπως δυσκολίες στη συλλογή, στη μεταφορά ή στην οργάνωση, γίνεται αντιληπτό πως είναι εξαιρετικά αισιόδοξο ένα σενάριο πλήρους αξιοποίησης της βιομάζας. Για αυτό το λόγο, γίνεται πιο συντηρητική και ρεαλιστική θεώρηση αξιοποίησης του 70% της δυνητικής παραγόμενης ενέργειας, που αντιστοιχεί σε 5,954 MWh/year. Τελικά, αυτή η εκτιμώμενη ενέργεια αντιστοιχεί στο 14% της ενεργειακής ζήτησης του 40^{ου} έτους, που είναι και το πιο δυσμενές, δηλαδή όσο και το μέσο ποσοστό αστοχίας κάλυψης των ενεργειακών αναγκών από το ΥΣ.

Η ταύτιση του ποσοστού αστοχίας κάλυψης της ενέργειας από το ΥΣ με το ποσοστό κάλυψης των ενεργειακών αναγκών από τη βιομάζα δεν είναι τυχαία. Επιλέγεται κατόπιν δοκιμών και αποτελεί κριτήριο διαστασιολόγησης του ταμιευτήρα θαλασσινού νερού, καθώς και επιλογής του πλήθους των Α/Γ. Δηλαδή το ΥΣ σχεδιάζεται έτσι, ώστε τα ενεργειακά του ελλείμματα να καλύπτονται από την παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας από βιομάζα. Η ενέργεια από βιομάζα δεν αποτελεί δεδομένο εισόδου της προσομοίωσης, διότι ο υπολογισμός της γίνεται με λιγότερο αναλυτικό τρόπο σε σχέση με τα υπόλοιπα μεγέθη, όπως για παράδειγμά σε σχέση με την αιολική ενέργεια, και δεν λαμβάνεται υπόψιν η πιθανή ετήσια, μηνιαία ή ακόμα και ημερήσια διακύμανση της. Στα πλαίσια όμως της παρούσας μελέτης, θεωρείται ότι υπάρχει η δυνατότητα συνεχούς προσφοράς ενέργειας από βιομάζα, με επαρκή αποθήκευση της, και με σταθερή ετήσια παραγωγή. Τελικά, λαμβάνοντας υπόψιν τις παραπάνω θεωρήσεις για την ένταξη της βιομάζας στο ενεργειακό μίγμα του Δήμου Καρύστου, όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 6.12, η παραγόμενη βιοενέργεια μπορεί να καλύψει τα ελλείματα του ΥΣ και οι ενεργειακές ανάγκες να καλύπτονται πλήρως από ΑΠΕ.



Σχήμα 6-12: Κάλυψη ενεργειακών αναγκών με την αξιοποίηση της βιομάζας

Κεφάλαιο 7: Συμπεράσματα – Μελλοντική έρευνα

7.1 Συμπεράσματα

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως βασικό στόχο την ανάπτυξη μεθοδολογίας που ακολουθείται για την εφαρμογή ΥΣ με χρήση ΑΠΕ. Αρχικά, παρουσιάζονται τα ΥΣ, οι ΑΠΕ και η τεχνολογία της αφαλάτωσης, που συνδυαστικά εφαρμόζονται στο υπό μελέτη έργο. Το ΥΣ αποτελείται από 9 Α/Γ, μία μονάδα αφαλάτωσης και ένα υδροηλεκτρικό έργο αντλησιοταμίευσης. Ο σκοπός του έργου είναι η κάλυψη των υδρευτικών, αρδευτικών και ενεργειακών αναγκών του Δήμου Καρύστου. Για την μοντελοποίηση του συστήματος, γίνεται συλλογή και ανάλυση δεδομένων βροχόπτωσης, θερμοκρασίας και ανέμου, εκτίμηση των αναγκών ύδρευσης, άρδευσης και ενέργειας της περιοχής μελέτης και υπολογισμός της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από αυτό. Η διάρκεια ζωής του έργου ανέρχεται στα 40 έτη.

Η ανάγκη ένταξης των ΑΠΕ στο ενεργειακό μίγμα γίνεται όλο και πιο κρίσιμη. Η συνεχής αύξηση του πληθυσμού, και οι αυξανόμενες ενεργειακές ανάγκες του πλανήτη, οδηγούν στην σταδιακή εξάντληση των αποθεμάτων των συμβατικών πόρων και των πρώτων υλών για παραγωγή ενέργειας. Τα ορυκτά καύσιμα συνδέονται πλέον με αρκετά περιβαλλοντικά προβλήματα που αντιμετωπίζει η ανθρωπότητα, όπως το φαινόμενο του θερμοκηπίου και η κλιματική αλλαγή, η ατμοσφαιρική ρύπανση και η ρύπανση των υδάτων. Η σύγχρονη πραγματικότητα έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη και βελτίωση των τεχνολογιών γύρω από τις ΑΠΕ, όπως και των ΥΣ. Τα ΥΣ προσφέρουν τη δυνατότητα αποθήκευσης ενέργειας με χρήση ΑΠΕ φιλικών ως προς το περιβάλλον, ενώ βασικός τους στόχος είναι ο συνδυασμός διαφορετικών πηγών ενέργειας με τέτοιο τρόπο, ώστε να εξασφαλίζεται συνεχής και σταθερή τροφοδοσία ενέργειας. Επιπλέον, τα ΥΣ μπορούν να αναπτυχθούν ανεξάρτητα συστήματα ή να ενσωματωθούν στο υπάρχον δίκτυο, όπως προτείνεται στην παρούσα μελέτη.

Εκτός των ενεργειακών αναγκών, τα ΥΣ μπορούν να καλύψουν και τις ανάγκες σε νερό συνδυαζόμενα με μονάδες αφαλάτωσης. Για το υπό μελέτη σύστημα, η πλήρης κάλυψη των υδρευτικών αναγκών είναι ο βασικός στόχος και τίθεται σε προτεραιότητα έναντι των αρδευτικών και των ενεργειακών. Η εγκατάσταση μονάδας αφαλάτωσης, με εφαρμογή της πλέον ανεπτυγμένης μεθόδου της αντίστροφης ώσμωσης, η οποία καλύπτεται ενεργειακά από το ΥΣ και η χρήση δεξαμενής πόσιμου νερού, είναι σε θέση να καλύπτουν τις υδρευτικές ανάγκες καθόλη τη διάρκεια ζωής του έργου.

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης του συστήματος επιβεβαιώνουν την υψηλή αποδοτικότητα των ΥΣ και την σημασία της συμβολής τους στην επίλυση των υδατικών και ενεργειακών προκλήσεων. Συγκεκριμένα, επιτυγχάνεται κάλυψη των υδρευτικών αναγκών σε ποσοστό 99%, των αρδευτικών σε ποσοστό 63% και των ενεργειακών σε ποσοστό 86%. Κατά τους θερινούς μήνες η ζήτηση σε ύδρευση και άρδευση είναι αυξημένη και παρατηρείται χαμηλότερη κάλυψη των αρδευτικών αναγκών, λόγω της προτεραιοποίησης των υδρευτικών. Όσον αφορά τις ενεργειακές ανάγκες, αυτές καλύπτονται πρωτίστως από τις Α/Γ και σε χαμηλότερο, αλλά σημαντικό, βαθμό από το ΥΗΕ. Το υψηλό ποσοστό κάλυψης εξηγείται από το έντονο αιολικό δυναμικό της περιοχής μελέτης σε συνδυασμό με το πλήθος των Α/Γ.

Επίσης, στα πλαίσια της παρούσας μελέτης διερευνάται η ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας στον Δήμο Καρύστου. Εκτιμάται η μέγιστη δυνατή ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τα διαθέσιμα φυτικά υπολείμματα και ζωικά απόβλητα, και γίνεται θεώρηση αξιοποίησης στην πράξη του 70% αυτής. Η προσφερόμενη βιοενέργεια που υπολογίζεται, δύναται να καλύπτει τα ενεργειακά ελλείματα του ΥΣ, με αποτέλεσμα η ένταξη της στο ενεργειακό μίγμα να δίνει τη δυνατότητα πλήρους κάλυψης των ενεργειακών αναγκών της περιοχής μελέτης από ΑΠΕ.

7.2 Μελλοντική έρευνα

Τα αποτελέσματα της παρούσας διπλωματικής εργασίας μπορούν να διερευνηθούν περαιτέρω και η μελέτη να εξελιχθεί σε μία ολοκληρωμένη μελέτη τεχνικού έργου. Η μεθοδολογία που αναπτύσσεται μπορεί να εφαρμοστεί και σε άλλες παράκτιες περιοχές της χώρας καθώς και σε μη διασυνδεδεμένα νησιά.

Όσον αφορά την προσομοίωση του συστήματος, περαιτέρω έρευνα μπορεί να εστιάσει στην βελτιστοποίηση του μοντέλου, για την καλύτερη χρονική και χωρική κατανομή του νερού των διαφορετικών χρήσεων και της ενέργειας, για την κάλυψη των αντίστοιχων αναγκών.

Μελλοντική έρευνα χρήζει και η διερεύνηση αξιοποίησης της βιομάζας. Συγκεκριμένα μπορεί να γίνει αναλυτική διαστασιολόγηση της μονάδας συμπαραγωγής ενέργειας με καύση της φυτικής βιομάζας, ο λεπτομερής σχεδιασμός και η βελτιστοποίηση των επιμέρους διαδικασιών, όπως η συλλογή, η αποθήκευση και η διαχείριση της εποχιακής διασποράς της διάθεσης των υπολειμμάτων κάθε καλλιέργειας. Το ίδιο μπορεί να γίνει και με την μονάδα αναερόβιας χώνευσης για την παραγωγή βιοενέργειας από τα ζωικά απόβλητα. Με αυτόν τρόπο η παραγόμενη βιοενέργεια θα μπορούσε να

αποτελέσει δεδομένο εισόδου της προσομοίωσης καθώς θα υπολογίζεται η πιθανή ημερήσια διακύμανση της προσφοράς της και θα υπάρχει δυνατότητα βελτιστοποίησης των μονάδων. Τέλος, ενδιαφέρον παρουσιάζει η τεχνολογία της τηλεθέρμανσης για την εκμετάλλευση της θερμικής ενέργειας που παράγεται από τη βιομάζα, με τις εφαρμογές της να αποτελούν αξιοσημείωτο πεδίο μελέτης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική Βιβλιογραφία

Αγαπητίδου Α. Α., Ανάπτυξη μεθοδολογίας υβριδικών συστημάτων ΑΠΕ με αντλησιοταμίευση και δεξαμενή υδρογόνου στο νησί της Λήμνου, Διπλωματική εργασία, ΕΜΠ, Αθήνα, Οκτώβριος 2021

Γεωργακάκης Δ., Δευτεροβάθμια (Βιολογική) Επεξεργασία Γεωργο-Βιομηχανικών Αποβλήτων, Αθήνα 2010

Δανιήλ Β., Διερεύνηση Χρήσης Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στο μη συνδεδεμένο νησί της Αστυπάλαιας, Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Μάρτιος, 2018

Ευστρατιάδης Α., Κουτσογιάννης Δ., Σημειώσεις μαθήματος Διαχείριση Υδατικών Πόρων, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2015.

Κασάπη Κ.Α., Τεχνικές Αφαλάτωσης με τη Χρήση ΑΠΕ - Εφαρμογή στη Ρόδο, Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 2009

Κουτσογιάννης Δ., Στατιστική Υδρολογία, Έκδοση 4, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 1997

Κουτσογιάννης Δ. και Ευστρατιάδης, Α., Σημειώσεις Αστικών Υδραυλικών Έργων Υδροδοτικά Έργα, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο 2015

Κουτσογιάννης Δ., Σημειώσεις Στοχαστικών Μεθόδων, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2017

Λεμονής Α., Ανάπτυξη Μεθοδολογίας Εφαρμογής Υβριδικού Συστήματος για την Κάλυψη Υδατικών και Ενεργειακών Αναγκών στη Νήσο Λέρο, Διπλωματική εργασία, ΕΜΠ, Αθήνα, Οκτώβριος 2020

Μαμάσης Ν., Κουτσογιάννης Δ. και Ευστρατιάδης Α., Σημειώσεις μαθήματος Ανανεώσιμη Ενέργεια και Υδροηλεκτρικά Έργα, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2019

Μαντζουράνης Ε., Ολοκληρωμένη Αξιολόγηση ενός Υβριδικού Συστήματος Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στη Νήσο Σκύρο στο πλαίσιο Απολιγνιτοποίησης, Διπλωματική εργασία, ΕΜΠ, Αθήνα, Μάρτιος 2021

Μπέρτσιου Μ., Αξιολόγηση Υβριδικού Συστήματος Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στους Φούρνους Κορσεών, Αθήνα Οκτώβριος 2016

Μυσίρης Π., Αξιολόγηση ενός Υβριδικού Συστήματος Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στη Νήσο Δονούσα, Διπλωματική εργασία, ΕΜΠ, Αθήνα, Ιούλιος 2015

Παναγούλια, Δ. και Δήμου, Γ., Εισαγωγή στα Εγγειοβελτιωτικά Έργα. Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα, 2000

Ρίππη Α., Μαθηματική προσομοίωση υβριδικών συστημάτων. Το σύστημα της Ικάριας, Διπλωματική εργασία, ΕΜΠ, Αθήνα, 2013

Σκρουφούτα Σ., Διερεύνηση Διαστασιολόγησης Υβριδικού Συστήματος ΑΠΕ για τη Διασφάλιση των Ενεργειακών και Υδατικών Αναγκών στο Νησί της Καρπάθου, Διπλωματική εργασία, ΕΜΠ, Αθήνα, Μάρτιος 2020

Τασσόπουλος Δ., Τεχνική διερεύνηση εγκατάστασης παραγωγής βιοαερίου μεγέθους 0.5 MW στα Μέγαρα Αττικής και των εγκαταστάσεων διαχείρισης των εκροών για διάφορα μίγματα τροφοδοσίας, Μεταπτυχιακή Διατριβή, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, 2015

Τεγόπουλος – Μανιατέας, Εγκυκλοπαίδεια Νέα Δομή, Αθήνα, 1996

Τσακίρης Γ., Υδραυλικά Έργα, Σχεδιασμός και Διαχείριση, 2010

Φραγκιαδάκης Ι.Ε, Φωτοβολταϊκά Συστήματα, Εκδόσεις ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη, 2007

Συλλογικό Έργο, Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας (ΚΑΠΕ), Εγχειρίδιο Βιοαερίου, 2008

Δήμος Καρύστου, Απόφαση Δημοτικού Συμβουλίου 79/1-4-2012 «Ύδρευση Δήμου Καρύστου», 2012

Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

Angelidaki I., Ellegaard L. & Ahring, B.K., Applications of the Anaerobic Digestion Process Environment & Resources, 2003

Anderson T. W., Darling D. A., Asymptotic Theory of Certain "Goodness of Fit" Criteria Based on Stochastic Processes, 1952

Bouaziz A., Design of an Anaerobic Digester in Quebec, Canada, 2014

Fleming P.D., Probert S.D, The Evolution of Wind-Turbines: An Historical Review, Great Britain, 1984

Kalogirou, S.A., Seawater desalination using renewable energy sources. Progress in Energy and Combustion Science, 2005

Mazzega E.M-A., Cassignol E., The Geopolitics of Seawater Desalination, France, 2022

Manwell J F., Hybrid energy systems, Encyclopedia of Energy, 2004

Mimikou M.A., Baltas E.A. , and Tsihrintzis V.A., Hydrology and Water Resource Systems Analysis, CRC Press-Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL, USA, 2016

Negra, N.B., Birgitte, B.J., Sorensen, P., Model of a Synthetic Wind Speed Time Series Generator, 2007

Panagopoulos et al, Desalination brine disposal methods and treatment technologies, Athens, 2019

Pandey B., Karki A., Hydroelectric Energy: renewable energy and the environment, 2017

Skroufouta S., Baltas E., Investigation of hybrid renewable energy system (HRES) for covering energy and water needs on the Island of Karpathos in Aegean Sea, Renewable Energy Volume 173, August 2021

Wellinger A., Murphy J., Baxter D., The Biogas Handbook: Science, Production and Applications, 2013

FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56

Ιστοσελίδες

Ενέργεια για το μέλλον, ΕΕ

https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/7b73afad-d12f-4697-b4d6-1252ccbe6bb4/language-el

Πράσινη Βίβλος, ΕΕ

https://op.europa.eu/el/publication-detail/-/publication/0ef8d03f-7c54-41b6-ab89-6b93e61fd37c

ΕΛΕΤΑΕΝ

https://eletaen.gr/hwea-wind-statistics/

Χάρτες Natura 2000
https://www.arcgis.com/apps/View/index.html?appid=107b5e3695bd4712b8f02536a19de4dc

https://www.geogreece.gr/natura.php

ΦΙΛΟΤΗΣ - Βάση Δεδομένων για την Ελληνική Φύση

https://filotis.itia.ntua.gr/

Ιστοσελίδα Δήμου Καρύστου

http://www.dimoskarystou.gr/

http://www.dimoskarystou.gr/index.php?option=com_content&task=view&id=168&Itemid=198

http://www.dimoskarystou.gr/index.php?option=com_content&task=view&id=81&Itemid=125

http://www.dimoskarystou.gr/index.php?option=com_content&task=view&id=244&Itemid=217

http://www.dimoskarystou.gr/index.php?option=com_content&task=section&id=38&Itemid=260

ΑΔΜΗΕ, Μεσοσταθμική Τιμή Αγοράς
https://www.admie.gr/agora/enimerotika-deltia/mesostathmiki-timi-agoras

Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας
https://www.cres.gr

ΕΛΣΤΑΤ

https://www.statistics.gr/

Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία

http://www.emy.gr/emy/el/

ΟΠΕΚΕΠΕ

https://www.opekepe.gr/

Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ)

https://geo.rae.gr/

Eurostat

https://ec.europa.eu/eurostat/web/energy/data

U.S. Energy Information Administration
https://www.eia.gov/energyexplained/wind/electricity-generation-from-wind.php#:~:text=Electricity%20generation%20with%20wind&text=Total%20annual%20U.S.%20electricity%20generation,U.S.%20utility%2Dscale%20electricity%20generation

International Energy Agency

https://www.iea.org/

International Renewable Energy Agency (IRENA)

https://www.irena.org/

International Hydropower Association
https://www.hydropower.org/iha/discover-facts-about-hydropower

FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56

http://www.climasouth.eu/sites/default/files/FAO%2056.pdf

Renewables Now

https://www.ren21.net/gsr-2020/

Enercon Wind Turbines

https://www.enercon.de/en/home/

https://en.wind-turbine-models.com/turbines/1289-enercon-e-101-e2-3.500