



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΝΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

*ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΥΒΡΙΔΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ.
ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΗΣ ΙΚΑΡΙΑΣ*



Ρίπη Αικατερίνη
Επιβλέπων: Μαμάσης Νίκος
Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα
Ιούνιος 2013

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π. στον τομέα Υδάτινων Πόρων και Περιβάλλοντος. Η ενασχόληση με το αντικείμενο της διπλωματικής αυτής έγινε με αρκετή ευχαρίστηση, επιμονή και όρεξη για μάθηση. Ωστόσο, δεν θα ήταν εύκολη η επιτυχής περάτωση αυτής χωρίς την συμβολή, την καθοδήγηση και την στήριξη ορισμένων ανθρώπων που στάθηκαν κοντά μου.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Επίκουρο Καθηγητή Νίκο Μαμάση, ο οποίος ήταν και ο επιβλέπων καθηγητής της παρούσας εργασίας. Τον εκτιμώ και τον ευχαριστώ βαθύτατα για το ιδιαίτερο ενδιαφέρον και την διάθεση που έδειξε, ώστε να με βοηθήσει να ολοκληρώσω επιτυχώς την διπλωματική μου εργασία, παρά το απαιτητικό του πρόγραμμα. Ο χρόνος που μου διέθεσε με μεγάλη γενναιοδωρία και οι πολύτιμες συμβουλές του, νιώθω ότι με ωφέλησαν όχι μόνο σαν μηχανικό αλλά και ως άνθρωπο.

Ιδιαίτερες επίσης ευχαριστίες οφείλω να εκφράσω στον Δρ. Αντρέα Ευστρατιάδη και στον Λέκτορα Ιωάννη Στεφανάκο για την προθυμία που έδειξαν να με βοηθήσουν σε ό,τι χρειάστηκα και να με συμβουλέψουν, για την όσο το δυνατόν ορθή εξέλιξη της εργασίας αυτής.

Σημαντική ωστόσο ήταν και η συμβολή του μεταπτυχιακού φοιτητή στο τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π. στον τομέα Υδάτινων Πόρων και Περιβάλλοντος, Παναγιώτη Κοσσιέρη, στον οποίο και οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ για τον χρόνο που μου αφιέρωσε, πέρα από το όριο των δικών του υποχρεώσεων στη σχολή. Οι γνώσεις του και τα πολύτιμα εργαλεία που μου προσέφερε ήταν καταλυτικά για την επιτυχή ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας και για αυτό τον ευγνωμονώ.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω την Δ.Ε.Η. ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ Α.Ε., την Δ.Ε.Η./Δ.Υ.Η.Π. και τον Τοπικό Σταθμό Παραγωγής (ΤΣΠ) Αγίου Κηρύκου Ικαρίας για την παραχώρηση στοιχείων χωρίς τα οποία θα ήταν αδύνατη η εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Συγκεκριμένα, θέλω να εκφράσω την εκτίμηση και τις ευχαριστίες μου προς τον Διπλ.

Πολιτικό Μηχανικό Ε.Μ.Π. της Δ.Ε.Η. ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ Α.Ε. Βασίλη Μπακόλα, και τον Διπλ. Πολιτικό Μηχανικό Ε.Μ.Π., Τομεάρχη του τμήματος Υδρολογίας της Δ.Ε.Η./Δ.Υ.Η.Π. Ιωάννη Κουβόπουλο καθώς και το προσωπικό του ΤΣΠ Ικαρίας για τις πολύτιμες πληροφορίες και συμβουλές τους.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω την αμέριστη ευγνωμοσύνη μου στην οικογένειά μου αλλά και στους φίλους μου, που μπορεί να μην ενεπλάκησαν ενεργά στην εκπόνηση της παρούσας εργασίας, ωστόσο ο ρόλος τους ήταν πολύ σημαντικός για την επιτυχή περάτωσή της, μέσω της διαρκούς ηθικής και ψυχολογικής στήριξής τους.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Ευχαριστίες	i
Περίληψη	v
Abstract	vii
1. Εισαγωγή	1
1.1 Γενική Τοποθέτηση	1
1.2 Αντικείμενο της εργασίας.....	2
1.3 Διάρθρωση της εργασίας	3
2. Θεωρητικά στοιχεία υβριδικών έργων	6
2.1 Εισαγωγή στα υβριδικά συστήματα	6
2.2 Πλεονεκτήματα των υβριδικών συστημάτων	7
2.3 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στα υβριδικά συστήματα	9
2.3.1 Αιολική ενέργεια.....	9
2.3.2 Ηλιακή ενέργεια-το φωτοβολταϊκό σύστημα	15
2.3.3 Υδροηλεκτρική ενέργεια	16
2.4 Υβριδικά συστήματα υπό εφαρμογή	22
3. Η νήσος Ικαρία και η περιοχή μελέτης	30
3.1 Γενική προσέγγιση του νησιού	30
3.2 Τοπικός σταθμός παραγωγής ενέργειας.....	32
3.3 Φράγμα Πέζι	32
4. Το υβριδικό σύστημα της Ικαρίας	34
4.1 Εισαγωγή	34
4.2 Τεχνική περιγραφή του έργου	35
4.3 Εσωτερική λειτουργία του ΥΒΕ	43
5. Περιγραφή, επεξεργασία και προσομοίωση δεδομένων	47
5.1 Μοντέλα προσομοίωσης του συστήματος.....	47
5.1.1 Εισαγωγή	47
5.1.2 Στοχαστικό μοντέλο προσομοίωσης Bartlett-Lewis.....	48
5.1.3 Το μοντέλο «Ζυγός».....	54
5.2 Βροχομετρικά δεδομένα	61

5.3	Εξατμοδιαπνοή	61
5.4	Υδρολογικά δεδομένα	63
5.5	Ανεμολογικά δεδομένα	67
5.5.1	Γενικά	67
5.5.2	Προσομοίωση.....	69
5.6	Ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας.....	71
5.6.1	Γενικά	71
5.6.2	Προσομοίωση.....	77
6.	Προσομοίωση ενεργειακού ισοζυγίου του υβριδικού συστήματος.....	78
6.1	Σενάρια προσομοίωσης.....	78
6.2	Αναπαράσταση υδρολογικού ισοζυγίου στον ταμιευτήρα «Πέζι»	80
6.3	Αναπαράσταση ενεργειακού ισοζυγίου-Σενάριο 1β	82
6.4	Αποτελέσματα προσομοίωσης.....	87
6.4.1	Προσομοίωση ενός έτους για τα διάφορα σενάρια	87
6.4.2	Προσομοίωση για 50 έτη	90
7.	Συμπεράσματα.....	91
	Αναφορές	99
	Παράρτημα Α.....	104
	Παράρτημα Β.....	117
	Παράρτημα Γ	120

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Εξετάζεται το υπό κατασκευή υβριδικό ενεργειακό έργο (ΥΒΕ) της Ικαρίας, το οποίο θα συνδυάζει δύο μορφές Ανανεώσιμης Πηγής Ενέργειας (ΑΠΕ) για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, το υδατικό δυναμικό από την περίσσεια ύδατος του φράγματος στο Πέζι και το αιολικό δυναμικό στην περιοχή Στραβοκουντούρας. Το έργο θα αποτελείται από: (α) δύο δεξαμενές ύδατος, στις περιοχές Προεσπέρα και Κάτω Προεσπέρα, οι οποίες θα συνοδεύονται από δύο Μικρούς Υδροηλεκτρικούς Σταθμούς (ΜΥΗΣ), (β) το αιολικό πάρκο (Α/Π) στην περιοχή Στραβοκουντούρα με τρεις ανεμογεννήτριες (Α/Γ), (γ) ένα αντλιοστάσιο στην Κάτω Προεσπέρα και (δ) το Κέντρο Ελέγχου και Κατανομής Φορτίου στον υφιστάμενο Θερμικό Σταθμό στην περιοχή Άγιος Κήρυκος. Ο ΜΥΗΣ στην Προεσπέρα θα λαμβάνει, μέσω χαλύβδινου αγωγού προσαγωγής, την περίσσεια νερού του ταμιευτήρα στο αρδευτικό φράγμα στο Πέζι για την παραγωγή ενέργειας. Το νερό εξερχόμενο από τον Σταθμό Προεσπέρας καταλήγει στην παρακείμενη δεξαμενή. Στη συνέχεια, κατευθύνεται, μέσω χαλύβδινου αγωγού προσαγωγής, στον ΜΥΗΣ Κάτω Προεσπέρας όπου χρησιμοποιείται για την παραγωγή πρόσθετης ενέργειας και ακολούθως συγκεντρώνεται στη δεύτερη δεξαμενή. Η ενέργεια που παράγεται από το Α/Π διοχετεύεται στο δίκτυο ηλεκτροδότησης αλλά κυρίως και στο αντλιοστάσιο από όπου, με άντληση, γίνεται μεταφορά νερού, μέσω χαλύβδινου αγωγού κατάθλιψης, από την κάτω στην επάνω δεξαμενή και την εκ νέου παραγωγή υβριδικής ενέργειας από τον ΜΥΗΣ Κάτω Προεσπέρας.

Ζητούμενο, στην εργασία αυτή, είναι η εύρεση ενός μοντέλου αναπαράστασης του συστήματος αυτού, σύμφωνα με τους κανόνες και τις παραδοχές σχεδιασμού του, αλλά και η προσομοίωση αυτού για 50 χρόνια. Το μοντέλο αναπαράστασης αναπτύχθηκε με το πρόγραμμα Microsoft excel, ενώ η προσέγγιση της προσομοίωσης έγινε με την βοήθεια δύο στοχαστικών μοντέλων προσομοίωσης σε ωριαίο χρονικό βήμα. Συγκεκριμένα, ο σχεδιασμός αναπαράστασης του συστήματος, αρχικά, επιχειρήθηκε για ένα έτος σύμφωνα με τα μετεωρολογικά και υδρολογικά δεδομένα που διατέθηκαν από την ΔΕΗ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ Α.Ε. και τα τεχνικά χαρακτηριστικά του έργου. Αρχικά, ωστόσο, έγινε μια προσπάθεια προσομοίωσης του υδρολογικού ισοζυγίου του ταμιευτήρα στο Πέζι, προκειμένου να εκτιμηθεί ο διαθέσιμος όγκος προς εκμετάλλευση για το υβριδικό έργο. Στη

συνέχεια, για την προσομοίωση του συστήματος για 50 χρόνια, δημιουργήθηκαν συνθετικές χρονοσειρές ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, εισροών-απορροών και ταχύτητας ανέμου, οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από το Α/Π του ΥΒΕ. Αναλύεται η μεθοδολογία προσομοίωσης και επεξεργασίας των διαθέσιμων δεδομένων, από την οποία γίνεται δυνατή παράλληλα και η εξαγωγή μερικών αξιολογών συμπερασμάτων σχετικά με αυτά. Έπειτα, τα δεδομένα αυτά εισάγονται στο μοντέλο αναπαράστασης του συστήματος προκειμένου να προσομοιωθεί το ενεργειακό ισοζύγιο του υβριδικού έργου σε ωριαία βάση για 50 έτη. Στην προσπάθεια αυτή, προσομοίωσης, εξετάζονται και μερικά εναλλακτικά σενάρια λειτουργίας, προκειμένου να διαπιστωθεί η ευαισθησία του συστήματος με την αλλαγή στην συμμετοχή των διάφορων συνιστωσών του (ΜΥΗΣ, Α/Π, αντλησιοταμίευση κ.α.). Τελικά, οι παραπάνω διαδικασίες οδηγούν στην εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με την αποδοτικότητα του εν λόγω έργου ως προς την κάλυψη της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, τον βαθμό συμμετοχής των διαφόρων μελών του αλλά και γενικά για τον τρόπο λειτουργίας του.

ABSTRACT

The hybrid energy system (HES) of Ikaria is being analyzed, which is under construction and combines two forms of renewable energy source (RES) for electricity generation, the water potential of excess water in the dam Pezi and the wind potential in the area Stravokountoura. The project will consist of: (a) two water tanks in the areas Proespera and Lower Proespera, which will be accompanied by two Small Hydropower Stations (SHPS), (b) a wind farm (W/F) in Stravokountoura with three wind turbines (W/T), (c) a pumping station in Lower Proespera and (d) the Control Center and Dispatching of load in the existing thermal power station in Agios Kirikos. The SHPS in Proespera will receive, through a steel duct, the excess water from the reservoir to the irrigation dam Pezi for energy production. The water, exiting from the Proespera's station, ends in the adjacent tank. Then the same quantity of water is directed, through a steel duct, to the Lower Proespera's SHPS where it is used to generate additional energy and then it is concentrated in the second reservoir. The energy produced by the W/F, is fed to the electricity grid but mostly to the pumping station where the water is pumped and transferred, through a steel discharge line from the lower to the upper reservoir and hybrid energy is being re-produced by the Lower Proespera's SHPS.

The objective of this work is to find a representation model of the hybrid system, in accordance with the rules and assumptions of its design, but also to simulate it for 50 years. The representation model has been developed with the Microsoft excel program, while the approach of the simulation was done with the help of two stochastic simulation models in hourly time step. Specifically, the design of the representation of the system was initially attempted for one year according to the meteorological and hydrological data which had been provided by PPC Renewables S.A. and the technical features of the project. However, a simulation of the hydrological budget of the Pezi reservoir had been attempted in order to assess the available volume to be exploited for the hybrid project. Then, synthetic time series of the electricity demand, input-runoff and wind speed had been created in order to simulate the system for 50 years and which were used for the calculation of electricity which is produced by the W/F of HES. We analyze the methodology of modeling and processing the available data from which some meaningful outcomes can be concluded about them. Then,

these data are entered into the representation model of the system in order to simulate the energy budget of the hybrid project on an hourly basis for 50 years. In this effort of simulation, some alternative operating scenarios are being considered in order to note the sensitivity of the system by changing the participation of its various components (SHPS, W/F, pumped-storage, etc.). Eventually, these processes lead to conclusions about the efficiency of this project to meet the electricity demand, the degree of its elements' participation and generally how it works.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενική τοποθέτηση

Η συνεχόμενη αύξηση του πληθυσμού και παράλληλα της κατανάλωσης ενέργειας σε ολόκληρο τον κόσμο, οδηγούν στον περιορισμό ολοένα και περισσότερο των αποθεμάτων των συμβατικών καυσίμων και των πρώτων υλών για την παραγωγή ενέργειας. Από την άλλη, οι ρύποι που παράγονται από την καύση των συμβατικών ορυκτών καυσίμων εντείνουν το πρόβλημα της ρύπανσης του περιβάλλοντος και του φαινομένου του θερμοκηπίου. Έτσι, στο πλαίσιο του Πρωτοκόλλου του Κιότο με το «σχέδιο 20-20-20» (http://europa.eu/legislation_summaries/environment/tackling_climate_change/l28060_el.htm), τίθεται επιτακτική η ανάγκη για μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου και ανάπτυξη των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ). Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με την έντονη μεταβολή των τιμών των ορυκτών καυσίμων, έχει οδηγήσει στην επιθυμία για απεξάρτηση από τις συμβατικές μορφές ενέργειας, υποκαθιστώντας αυτές κυρίως με αιολικές και υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις σε διάφορες περιοχές της Ελλάδας.

Ιδιαίτερα στον νησιωτικό χώρο και κυρίως στα μη διασυνδεδεμένα νησιά, τα οποία έχουν αυτόνομους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, η διείσδυση εγκαταστάσεων διαφόρων μορφών Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ), όπως τα αιολικά πάρκα, οι φωτοβολταϊκοί σταθμοί και οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί, μπορεί να καλύψει ένα σημαντικό μέρος των αναγκών τροφοδότησης των καταναλωτών ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, μειώνοντας τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και το λειτουργικό κόστος των συμβατικών μονάδων παραγωγής.

Ωστόσο, τα επίπεδα αιολικής διείσδυσης στα ελληνικά νησιά παραμένουν ακόμη χαμηλά, παρά το υψηλό αιολικό τους δυναμικό, εξαιτίας των διάφορων προβλημάτων που εμφανίζουν τέτοιου είδους εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Οι ξαφνικές μεταβολές με σημαντική μείωση ή αύξηση της παραγόμενης ισχύος των ανεμογεννητριών και η περιορισμένη δυνατότητά τους να ελέγχουν την ισχύ τους καθιστούν αμφίβολο τον βαθμό αξιοπιστίας της λειτουργίας και απόδοσης τέτοιων εγκαταστάσεων στις

απομακρυσμένες περιοχές. Παρόμοια προβλήματα παρουσιάζουν και οι εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών. Η εξάρτηση των ΑΠΕ από τα φυσικά φαινόμενα έχουν ως αποτέλεσμα την χρονική μεταβολή του ενεργειακού δυναμικού τους. Με τον κατάλληλο όμως τρόπο και την σχεδίαση της λειτουργίας αυτών, καθώς και με τον συνδυασμό τους με άλλες μορφές ενέργειας, προκειμένου να αποθηκεύεται η περίσσεια, είναι δυνατή η επίτευξη υψηλού βαθμού κάλυψης της ζήτησης σε ηλεκτρική ενέργεια σε περιοχές μη διασυνδεδεμένες με το δίκτυο διανομής της ηπειρωτικής χώρας.

Στα πλαίσια, λοιπόν, αυτής της προσπάθειας, ξεκίνησε η υλοποίηση Υβριδικών Ενεργειακών Έργων (ΥΒΕ), όπως είναι αυτό της Ικαρίας, από την ΔΕΗ ΑΕ. Στόχος του έργου αυτού είναι η παραγωγή ενέργειας που θα βασίζεται στο συνδυασμό δύο διαφορετικών μορφών ΑΠΕ, αιολικής και υδροηλεκτρικής ενέργειας, με αποθήκευση της απορριπτόμενης αιολικής ενέργειας μέσω άντλησης. Το Σύστημα Διαχείρισης φορτίων του έργου πέραν των δύο παραπάνω μορφών ΑΠΕ θα ελέγχει επιπλέον την ισχύ των νηζελογεννητριών του Σταθμού Αγίου Κηρύκου, το φορτίο κατανάλωσης του νησιού, τα ανεμολογικά στοιχεία των αιολικών πάρκων, την στάθμη νερού στις λιμνοδεξαμενές, την ευστάθεια του ηλεκτρικού δικτύου του νησιού και θα διατηρεί κάθε φορά τη μέγιστη δυνατή κάλυψη των φορτίων κατανάλωσης του νησιού από ΑΠΕ.

Το συγκεκριμένο έργο είναι ένα από τα πρώτα του είδους στην Ευρώπη, του οποίου η εξέλιξη της λειτουργίας θα δώσει μια αξιόπιστη απάντηση στο πολύ σημαντικό ζήτημα της αποθήκευσης και ελεγχόμενης διανομής της παραγόμενης καθαρής ενέργειας. Παράλληλα, το έργο αυτό αποτελεί μια φιλική κατασκευή προς το περιβάλλον και δημιουργεί σημαντικές αναπτυξιακές ευκαιρίες στο νησί της Ικαρίας.

1.2 Αντικείμενο της εργασίας

Αντικείμενο της εργασίας είναι η αναπαράσταση του υπό κατασκευή υβριδικού ενεργειακού συστήματος της Ικαρίας σε ωριαία κλίμακα, που περιλαμβάνει ανεμογεννήτριες και ταμιευτήρες με υδροστρόβιλους, προσομοιώνοντας την λειτουργία του συστήματος σύμφωνα με τους κανόνες και τους περιορισμούς που έχουν τεθεί κατά την μελέτη. Ζητούμενο της αναπαράστασης είναι η κατανόηση του τρόπου λειτουργίας του

συστήματος αυτού και η συνεργασία των διάφορων μορφών ενέργειας που συμμετέχουν στην παραγωγή της επιθυμητής ηλεκτρικής ενέργειας. Από την άλλη, σκοπός της προσομοίωσης είναι η εκτίμηση της αξιοπιστίας και της αποδοτικότητας αυτού του συστήματος ως προς την κάλυψη της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας του νησιού σε βάθος χρόνου.

Έμφαση, στην εργασία αυτή, δίνεται αφενός στη διερεύνηση της λειτουργικότητας ενός τέτοιου έργου και τον προσδιορισμό της συμμετοχής των διαφόρων συνιστωσών (ανεμογεννήτριες, υδροηλεκτρικοί σταθμοί, σύστημα αντλησιοταμίευσης) του συστήματος στην κάλυψη της ζήτησης και αφετέρου στη διατύπωση μιας προσεγγιστικής μεθοδολογίας σχεδιασμού υβριδικών σταθμών. Αναπτύσσεται ένα μεθοδολογικό πλαίσιο γενικού σκοπού, που καθιστά δυνατή την εξαγωγή αποτελεσμάτων για διαφορετικές συνθήκες και παραδοχές (τύπος ανεμογεννητριών, ισχύς υδροστροβίλων, υδρολογικά και μετεωρολογικά δεδομένα, παραδοχές προσομοίωσης συστήματος κ.α.) από αυτές που ελήφθησαν στην πιλοτική εφαρμογή. Στην εφαρμογή αυτή εξετάζεται η λειτουργία του υβριδικού συστήματος, ακολουθώντας όσο το δυνατόν πιστά τους κανόνες σχεδιασμού του έργου και την εξέλιξη των διάφορων υδρολογικών δεδομένων και κυρίως του υδρολογικού ισοζυγίου στον ταμιευτήρα στο Πέζι Ικαρίας, ενώ ταυτόχρονα εξετάζονται και εναλλακτικά σενάρια. Παράλληλα, επιχειρείται η προσομοίωση του συστήματος για 50 χρόνια, με την γένεση συνθετικών χρονοσειρών με βάση τα ιστορικά δεδομένα.

1.3 Διάρθρωση της εργασίας

Η διπλωματική χωρίζεται σε 7 κεφάλαια και τρία παραρτήματα. Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή στο αντικείμενο και στους στόχους της εργασίας.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται μια συνοπτική βιβλιογραφική επισκόπηση που αφορά την έννοια και την χρησιμότητα των υβριδικών σταθμών παραγωγής και παράλληλα την παρουσίαση των χαρακτηριστικών των διάφορων τύπων ενέργειας που συνεργάζονται σε τέτοιου είδους έργα. Επίσης γίνεται μια ανασκόπηση των υβριδικών ενεργειακών έργων που έχουν κατασκευαστεί παγκοσμίως.

Στο τρίτο κεφάλαιο δίνονται κάποια γενικά χαρακτηριστικά της νήσου Ικαρίας και της περιοχής όπου κατασκευάζεται το έργο. Ακόμη, αναφέρονται στοιχεία σχετικά με τον τοπικό σταθμό παραγωγής του νησιού και το φράγμα Πέζι.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται η τοποθέτηση των προβλεπόμενων μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στο χάρτη της Ικαρίας, ενώ δίνεται και η τεχνική περιγραφή των συνιστωσών του υβριδικού έργου. Στη συνέχεια, περιγράφεται η εσωτερική λειτουργία του υβριδικού ενεργειακού συστήματος σύμφωνα με τους κανόνες και τις παραδοχές λειτουργίας.

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα ιστορικά υδρολογικά και μετεωρολογικά δεδομένα αλλά και τα δεδομένα ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, με την βοήθεια των οποίων σχεδιάστηκε το μοντέλο αναπαράστασης του συστήματος για ένα χρόνο. Περιγράφονται αναλυτικά τα μοντέλα προσομοίωσης, «Ζυγός» και Barlett-Lewis, που χρησιμοποιήθηκαν, στη συνέχεια, για την γένεση συνθετικών χρονοσειρών των δεδομένων και την προσομοίωση του συστήματος για 50 χρόνια. Παράλληλα, περιγράφεται η διαδικασία επεξεργασίας και προσομοίωσης των εκάστοτε δεδομένων, από την οποία γίνεται δυνατή και η εξαγωγή κάποιων γενικών συμπερασμάτων για τα δεδομένα αυτά.

Στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα σενάρια αναπαράστασης που εξετάστηκαν και στη συνέχεια περιγράφεται αναλυτικά το μοντέλο αναπαράστασης που σχεδιάστηκε για ένα από αυτά και σύμφωνα με το οποίο πραγματοποιήθηκε η προσομοίωση του συστήματος για ένα χρόνο. Αναφέρονται, επίσης, οι παραδοχές που έγιναν για την κατασκευή του μοντέλου αυτού, ενώ γίνεται και μια συνοπτική περιγραφή για την προσέγγιση του υδρολογικού ισοζυγίου του ταμιευτήρα Πέζι. Τέλος, παραθέτονται τα αποτελέσματα της αναπαράστασης του συστήματος από τα διάφορα σενάρια και εκείνα της προσομοίωσής του με ένα από αυτά για 50 χρόνια.

Στο έβδομο κεφάλαιο συνοψίζονται τα βασικά συμπεράσματα της εργασίας, που αφορούν τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την προσομοίωση, την αποδοτικότητα του υβριδικού έργου και τις παραδοχές που έγιναν στην συγκεκριμένη διπλωματική για την αναπαράσταση του συστήματος, προτείνοντας εναλλακτικούς τρόπους διαχείρισης αυτού.

Στο Παράρτημα Α βρίσκονται οι πίνακες με τα ιστορικά μετεωρολογικά και υδρολογικά (εισορές) δεδομένα αλλά και ο πίνακας με τον ημερήσιο εκμεταλλεύσιμο όγκο νερού από τον ταμιευτήρα Πέζι για ύδρευση, άρδευση και οικολογική παροχή. Στο Παράρτημα Β δίνονται τα στατιστικά χαρακτηριστικά των ιστορικών και συνθετικών χρονοσειρών βροχόπτωσης και ταχύτητας ανέμου αλλά και οι παράμετροι των μοντέλων προσομοίωσης που χρησιμοποιήθηκαν. Τέλος, στο Παράρτημα Γ παρουσιάζονται σχήματα που απεικονίζουν διάφορα χαρακτηριστικά του ενεργειακού ισοζυγίου του υβριδικού συστήματος (όγκος δεξαμενών σε ωριαία βάση, περίσσεια ενέργειας κ.α.) και η εικόνα από το αρχείο excel όπου αναπαραστάθηκε το σύστημα.

2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΥΒΡΙΔΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ

2.1 Εισαγωγή στα υβριδικά συστήματα

Η απρόβλεπτη προσφορά ενέργειας, σε σχέση με τον χρόνο και την ποσότητα, των ΑΠΕ καθώς και η έντονη μεταβλητότητα που παρουσιάζει η τιμή των ορυκτών καυσίμων, εξαιτίας οικονομικών, πολιτικών και τεχνικών συνθηκών, σε συνδυασμό με τις περιβαλλοντικές συνέπειες που αυτά προκαλούν, οδήγησε στην έρευνα και την ανάπτυξη υβριδικών συστημάτων. Συγκεκριμένα, οι έντονες διακυμάνσεις της ηλιακής και της αιολικής ενέργειας, που αποτελούν δύο από τις κυρίαρχες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, δυσκολεύουν τεχνικά την απευθείας διάθεσή τους στο δίκτυο προς κατανάλωση, με αποτέλεσμα, για την καλύτερη αξιοποίηση τους, να απαιτείται η χρήση αποθηκευτικών μονάδων που σκοπεύουν να χρησιμοποιηθούν στα υβριδικά συστήματα.

«Ο όρος «Υβριδικά Συστήματα Ενέργειας», ή πιο απλά «Υβριδικά Συστήματα», αναφέρεται σε συστήματα όπου χρησιμοποιούνται πολλαπλές διατάξεις ενεργειακής μετατροπής, ή περισσότερα του ενός καύσιμα για την ίδια διάταξη, με σκοπό την παραγωγή ενέργειας. Ένα υβριδικό σύστημα μπορεί να περιλαμβάνει μία συμβατική μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε συνδυασμό με μία τουλάχιστον μορφή ανανεώσιμης πηγής ενέργειας, διατάξεις αποθήκευσης, συστήματα εποπτείας και ελέγχου, καθώς και σύστημα διαχείρισης φορτίου. Με αυτήν την έννοια, τα υβριδικά συστήματα αποτελούν μία εναλλακτική επιλογή αντί των συμβατικών συστημάτων, τα οποία τυπικά βασίζονται στην παραγωγή ενέργειας από ορυκτά καύσιμα» (Βρεττός, 2010).

Σύμφωνα με το **νόμο 3468/2006** για τις ΑΠΕ, Κεφάλαιο 2, άρθρο 2, παράγραφος 25, ως υβριδικό σύστημα ή αλλιώς υβριδικός σταθμός ορίζεται κάθε σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που:

- i) Χρησιμοποιεί μία, τουλάχιστον, μορφή ΑΠΕ.
- ii) Η συνολική ενέργεια που απορροφά από το δίκτυο, σε ετήσια βάση, δεν υπερβαίνει το 30% της συνολικής ενέργειας που καταναλώνεται για την πλήρωση του συστήματος αποθήκευσης του σταθμού αυτού. Ως ενέργεια που απορροφά ο υβριδικός σταθμός από το

δίκτυο ορίζεται η διαφορά μεταξύ της ενέργειας που μετράται κατά την είσοδό της στο σταθμό και της ενέργειας που αποδίδεται απευθείας στο δίκτυο από τις μονάδες ΑΠΕ του υβριδικού σταθμού. Η διαφορά αυτή υπολογίζεται, για τα μη διασυνδεδεμένα νησιά, σε ωριαία βάση. Αν για την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας εφαρμόζεται τεχνολογία διαφορετική από αυτή των φωτοβολταϊκών, μπορεί να χρησιμοποιείται και συμβατική ενέργεια που δεν απορροφάται στο δίκτυο, εφόσον η χρήση της ενέργειας αυτής κρίνεται αναγκαία για την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας. Η χρησιμοποιούμενη συμβατική ενέργεια δεν μπορεί να υπερβαίνει το 10% της συνολικής ενέργειας που παράγεται, σε ετήσια βάση, από τις μονάδες αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας.

iii) Η μέγιστη ισχύς παραγωγής των μονάδων ΑΠΕ του σταθμού δε μπορεί να υπερβαίνει την εγκατεστημένη ισχύ των μονάδων αποθήκευσης του σταθμού αυτού, προσαυξημένη κατά ποσοστό μέχρι 20%.

2.2 Πλεονεκτήματα των υβριδικών συστημάτων

Τα υβριδικά συστήματα αποσκοπούν στην βέλτιστη αξιοποίηση της κάθε τεχνολογίας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (ανεμογεννήτριες, φωτοβολταϊκά κ.τ.λ.) και παρέχουν ενέργεια ικανοποιητικής ποιότητας προς απορρόφηση από το δίκτυο. Έτσι μπορούν να αναπτυχθούν σαν αυτόνομα, καινούργια και ανεξάρτητα συστήματα μέσα σε μικρά συστήματα διανομής ενέργειας ή να ενταχθούν σε υπάρχουσες θερμικές μονάδες βασιζόμενες στο πετρέλαιο, μετά από τις απαραίτητες επεμβάσεις στο υπάρχον σύστημα.

Τα υβριδικά συστήματα που περιέχουν τεχνολογία με καύσιμο λειτουργούν με την ελάχιστη δυνατή κατανάλωση καυσίμου. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να καθιστά τέτοια συστήματα πιο οικονομικά σε περιοχές απομακρυσμένες από το δίκτυο (αγροτικές περιοχές) ή σε ΜΔΝ (Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά είναι ελληνικά νησιά που δεν συνδέονται με το δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας της ηπειρωτικής χώρας), όπου η σύνδεσή τους με το ηλεκτρικό δίκτυο, η εγκατάσταση γραμμών διάθεσης ενέργειας ή η μεταφορά καυσίμου θεωρούνται αντιοικονομικές επιλογές. Επιπλέον, λόγω της υψηλής αποδοτικότητάς τους και της αξιοπιστίας τους, τέτοιου τύπου συστήματα μπορούν να φανούν χρήσιμα σαν μία αποτελεσματική λύση παροχής ισχύος σε περιπτώσεις διακοπών παροχής ή ακόμη και σε

εξειδικευμένους καταναλωτές, όπως οι τηλεπικοινωνιακοί σταθμοί και οι νοσοκομειακές μονάδες (Σαραφιανός και Σειραγάκης,2009).

Φυσικά, δεν θα μπορούσε να παραληφθεί το πλεονέκτημα που εμφανίζουν τα υβριδικά έργα ως προς την ταχύτητα εγκατάστασης των τεχνολογιών, την σχετική σταθερότητα του κόστους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που εμφανίζουν, καθώς και την χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας φιλικών προς το περιβάλλον.

Τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζονται σε τοπικό επίπεδο αυξάνονται ανάλογα πάντα με την κατασκευή, τοποθεσία και χρήση του εκάστοτε υβριδικού έργου. Συγκεκριμένα, το υπό κατασκευή ΥΒΕ της Ικαρίας αναμένεται να έχει τα εξής οφέλη:

- i) Σημαντική προσφορά ηλεκτρικής ενέργειας στο νησί τους χειμερινούς μήνες και κάλυψη των αιχμών ιδιαίτερα τους καλοκαιρινούς μήνες, όπου η απαιτούμενη ισχύς είναι μεγάλη
- ii) Αποφυγή γενικών ή μερικών black-out στο νησί
- iii) Αύξηση της απασχόλησης στο νησί, μέσα από την δημιουργία νέων θέσεων εργασίας
- iv) Βελτίωση και ανάπτυξη ηλεκτρικού και οδικού δικτύου
- v) Αύξηση των επισκεπτών (επιστημονικός τουρισμός)-ενίσχυση τοπικής οικονομίας
- vi) Η επιτυχής κατασκευή και λειτουργία ενός τέτοιου έργου μπορεί να λειτουργήσει ως πιλότος για την υιοθέτηση παρόμοιας μορφής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε μεγαλύτερη κλίμακα

Επιπλέον, το έργο παρουσιάζει και κάποια οικολογικά οφέλη (Τσιπουρίδης κ.α., 2010), όπως:

- i) Η γεωργική αξιοποίηση της περιοχής του έργου, λόγω της μεταφοράς νερών σε χαμηλότερο υψόμετρο
- ii) Κάλυψη των πιθανών αναγκών πυρόσβεσης στην περιοχή
- iii) Μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων από την μείωση της λειτουργίας του τοπικού Θερμικού Σταθμού (συγκεκριμένα προβλέπεται αποφυγή εκπομπής CO₂ της τάξεως των 13.600 τόνων/έτος)

- iv) Η ανακύκλωση του νερού καθώς και οι περιορισμοί σχετικά με την αξιοποίηση των νερών από τον ταμιευτήρα συμβάλλουν στην διατήρηση της υπάρχουσας κατάστασης των υδροφόρων οριζόντων, αποτρέποντας κάθε πιθανότητα οικολογικής διαταραχής.

Από την άλλη πλευρά, ενδεχόμενη είναι η εμφάνιση κάποιων τεχνικών προβλημάτων κατά τη λειτουργία του ΥΒΕ Ικαρίας όπως: (i) οι πιθανές επιπτώσεις που μπορεί να έχει η υποκατάσταση των μονάδων diesel από τους υδροστροβίλους του Υβριδικού Σταθμού (ΥΒΣ), (ii) η αξιοπιστία της υδροαιολικής συνεργασίας (δηλαδή κατά πόσο οι υδροστροβίλοι έχουν την απαιτούμενη ταχύτητα απόκρισης, ώστε να παρακολουθούν πλήρως τις μεταβολές της αιολικής παραγωγής του ΥΒΣ) και της αντλιοαιολικής συνεργασίας και οι επιπτώσεις τους στο σύστημα, (iii) καθώς και η πιθανή αισθητική αλλοίωση του φυσικού τοπίου από τις ανεμογεννήτριες και τις δεξαμενές (Παπαευθυμίου, 2012). Ωστόσο, είναι φανερό κατά πόσο υπερτερούν τα πλεονεκτήματα ενός τέτοιου έργου.

2.3 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στα υβριδικά συστήματα

2.3.1 Αιολική ενέργεια

- **Εισαγωγή**

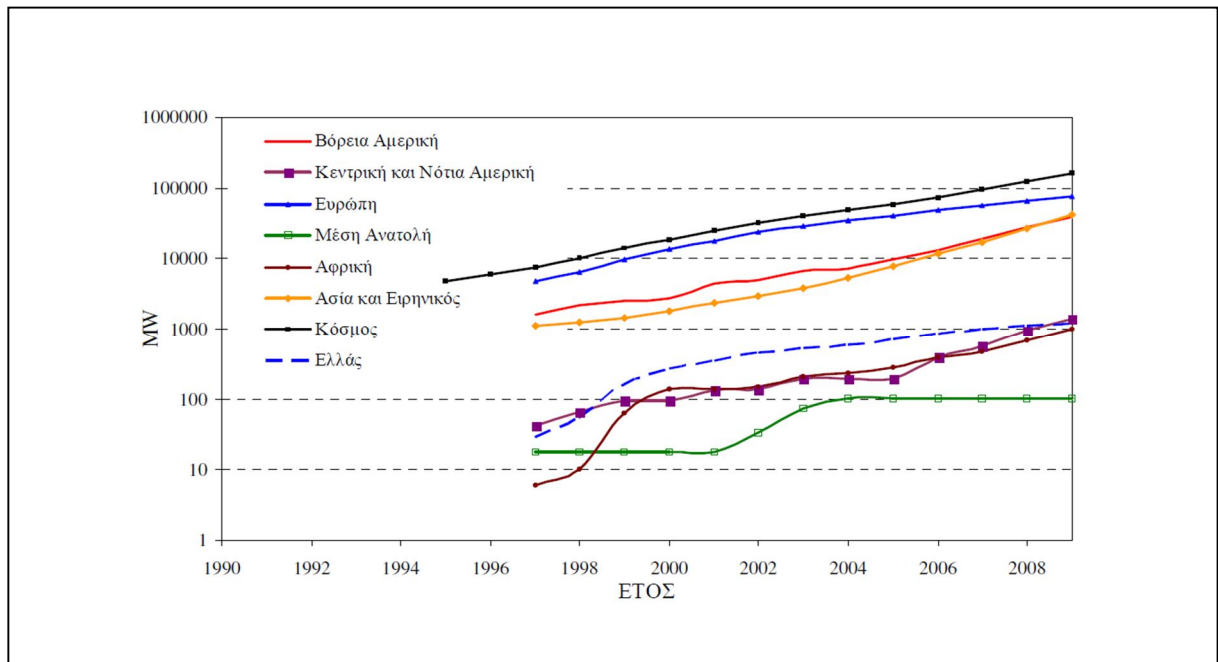
Η πρώτη χρήση αιολικής ενέργειας έγινε στη ναυσιπλοΐα, ενώ οι πρώτοι ανεμόμυλοι χρησιμοποιήθηκαν για άλεσμα δημητριακών και άντληση νερού. Με την εξέλιξη της τεχνολογίας και την αναζήτηση εναλλακτικών πηγών ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, οικονομικότερων και φιλικότερων προς το περιβάλλον, το ενδιαφέρον στράφηκε προς την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας. Ο πρώτος ανεμόμυλος για παραγωγή ηλεκτρισμού κατασκευάστηκε το 1888 στο Cleveland του Ohio (Η.Π.Α.), ισχύος 12 kW, ενώ σήμερα οι αιολικές μηχανές που κατασκευάζονται είναι της τάξης των 750-3.000 kW (Μαμάσης και Στεφανάκος, 2012).

Η στροφή αυτή προς την εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας για παραγωγή ηλεκτρισμού έγινε καταρχήν γιατί αποτελεί μια ελεύθερη, άφθονη και ανεξάντλητη πηγή ενέργειας, ανεξάρτητη από ορυκτά καύσιμα και φιλική στο περιβάλλον. Ακόμη, η χρήση εξελιγμένης τεχνολογίας, η γρήγορη και τυποποιημένη συναρμολόγηση και εγκατάσταση καθώς και το

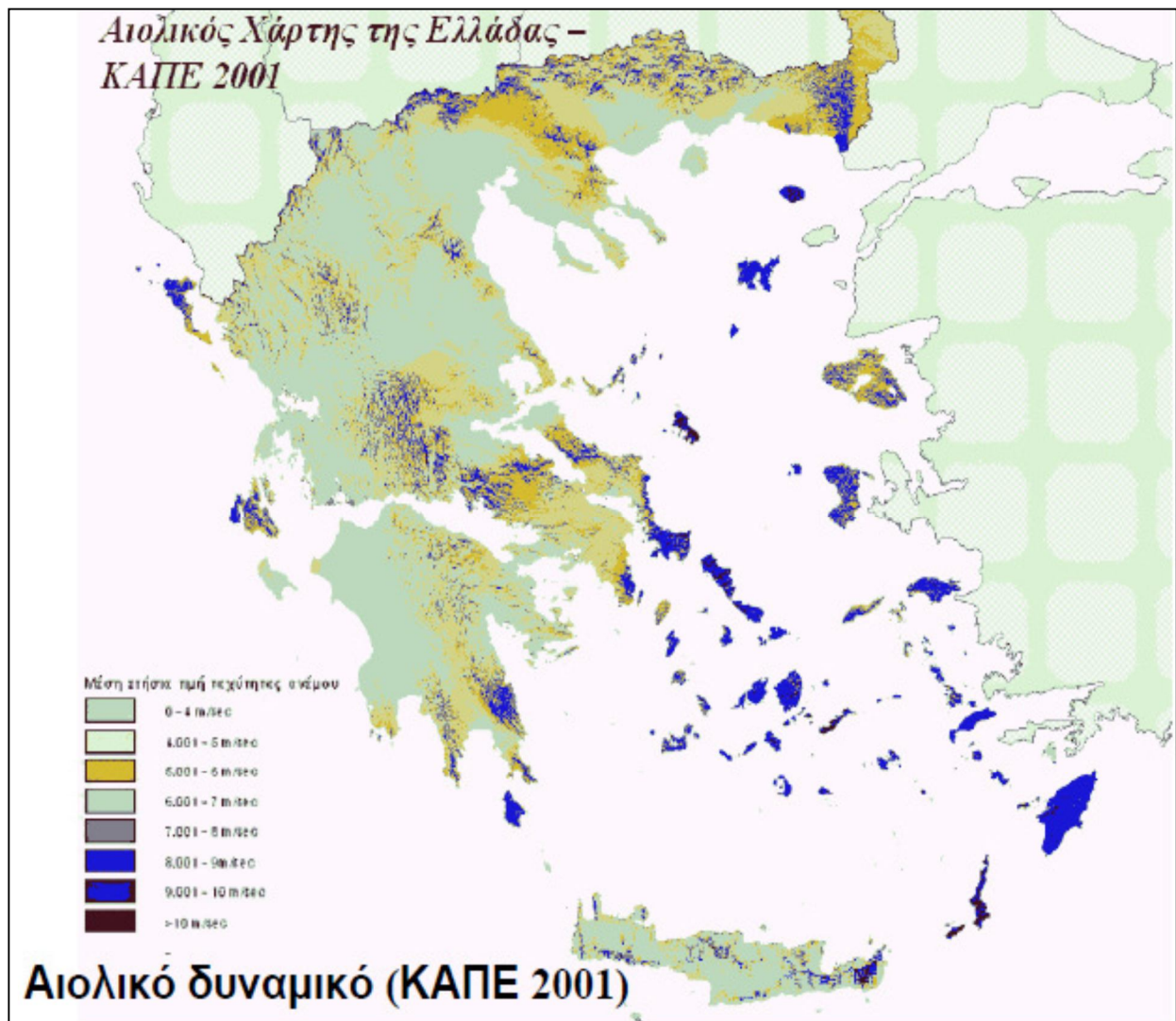
χαμηλό λειτουργικό κόστος είναι μερικά από τα χαρακτηριστικά των ανεμογεννητριών (Α/Γ) που τις καθιστούν μια αρκετά ελκυστική και ανταγωνιστική επιλογή ανάμεσα στις υπόλοιπες ΑΠΕ.

Μερικά από τα μειονεκτήματα που παρουσιάζει η χρήση ανεμογεννητριών είναι κυρίως η απρόβλεπτη και έντονη διακύμανση που δίνουν, καθώς κάτι τέτοιο μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα στο δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, ο εκπεμπόμενος θόρυβος καθώς και η οπτική όχληση. Ωστόσο με την εξέλιξη της τεχνολογίας, τα δύο πρώτα μειονεκτήματα που αναφέρθηκαν, έχουν βελτιωθεί αρκετά, πράγμα που όμως σημαίνει και μεγαλύτερο κόστος αγοράς. Όσον αφορά την οπτική όχληση, αποτελεί ένα καθαρά υποκειμενικό κριτήριο και εξαρτάται από την αισθητική του κάθε ανθρώπου. Τέλος, η πιθανή πρόσκρουση πουλιών στις ανεμογεννήτριες καλό είναι να λαμβάνεται υπόψη, όταν πρόκειται για την εγκατάσταση αιολικών μηχανών σε προστατευόμενες περιοχές.

Παρά τα μειονεκτήματα ωστόσο, η χρήση της αιολικής ενέργειας φαίνεται να παρουσιάζει μια αυξητική τάση παγκοσμίως (Σχήμα 2.1). Ειδικότερα στην Ελλάδα, η προοπτική περαιτέρω διεύδυσης των ανεμογεννητριών στο σύστημα ηλεκτροπαραγωγής είναι πολύ θετική, αν λάβουμε υπόψη και το αιολικό δυναμικό της χώρας, κυρίως στα νησιά του Αιγαίου (Εικόνα 2.1).



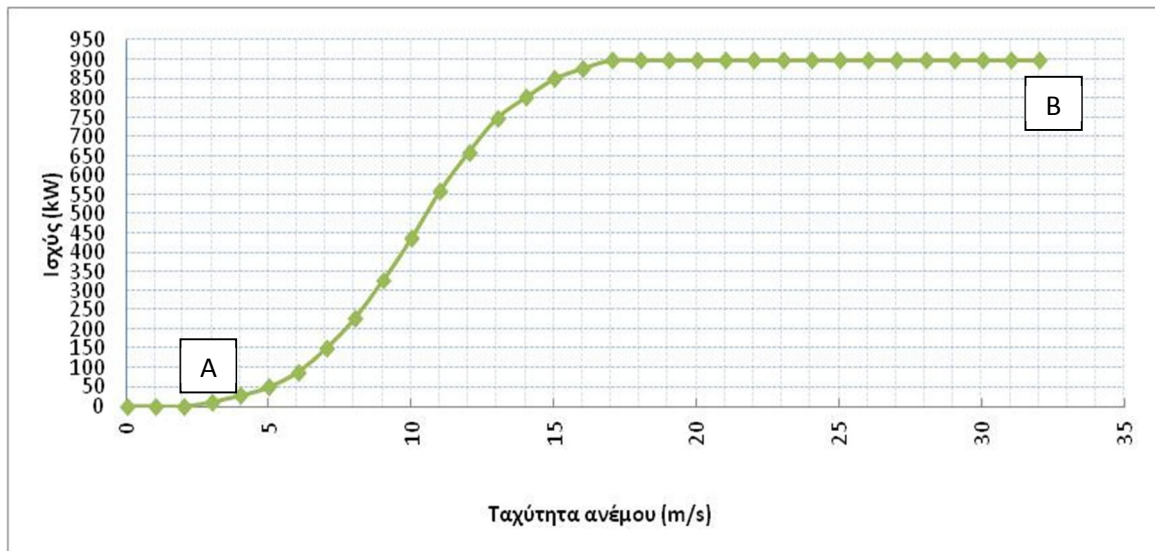
Σχήμα 2.1 Χρονική εξέλιξη εγκατεστημένης αιολικής ισχύος (MW) σε διάφορες περιοχές του κόσμου (πηγή: Μαμάσης και Στεφανάκος, 2012)



Εικόνα 2.1 Αιολικό δυναμικό της Ελλάδας (μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου σε m/s) σύμφωνα με στοιχεία από το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ) 2001 (πηγή: Μαμάσης και Στεφανάκος, 2012)

- **Αιολική ισχύς**

Προκειμένου να υπολογιστεί η καθαρή ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από μια ανεμογεννήτρια χρειάζεται η καμπύλη ισχύος της, στην οποία δίνεται η σχέση ισχύος της ανεμογεννήτριας ανάλογα με την ταχύτητα του ανέμου, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.2.



Σχήμα 2.2 Καμπύλη ισχύος-ταχύτητας ανέμου της Α/Γ Enercon E44-900 kW (πηγή: ΔΕΗ Ανανεώσιμες ΑΕ.)

Από την καμπύλη αυτή διακρίνουμε δύο χαρακτηριστικά σημεία: το Α το οποίο παρουσιάζει την ταχύτητα που η γεννήτρια αρχίζει να παράγει ρεύμα και το Β στο οποίο η ταχύτητα του ανέμου για την συγκεκριμένη Α/Γ θεωρείται απαγορευτική για την περαιτέρω περιστροφή των πτερωτών, προκειμένου να αποφευχθεί ο κίνδυνος καταστροφής της Α/Γ. Όπως θα δούμε και σε επόμενα κεφάλαια, οι ταχύτητες αυτές θεωρήθηκαν περίπου 3 m/s και 32 m/s αντίστοιχα.

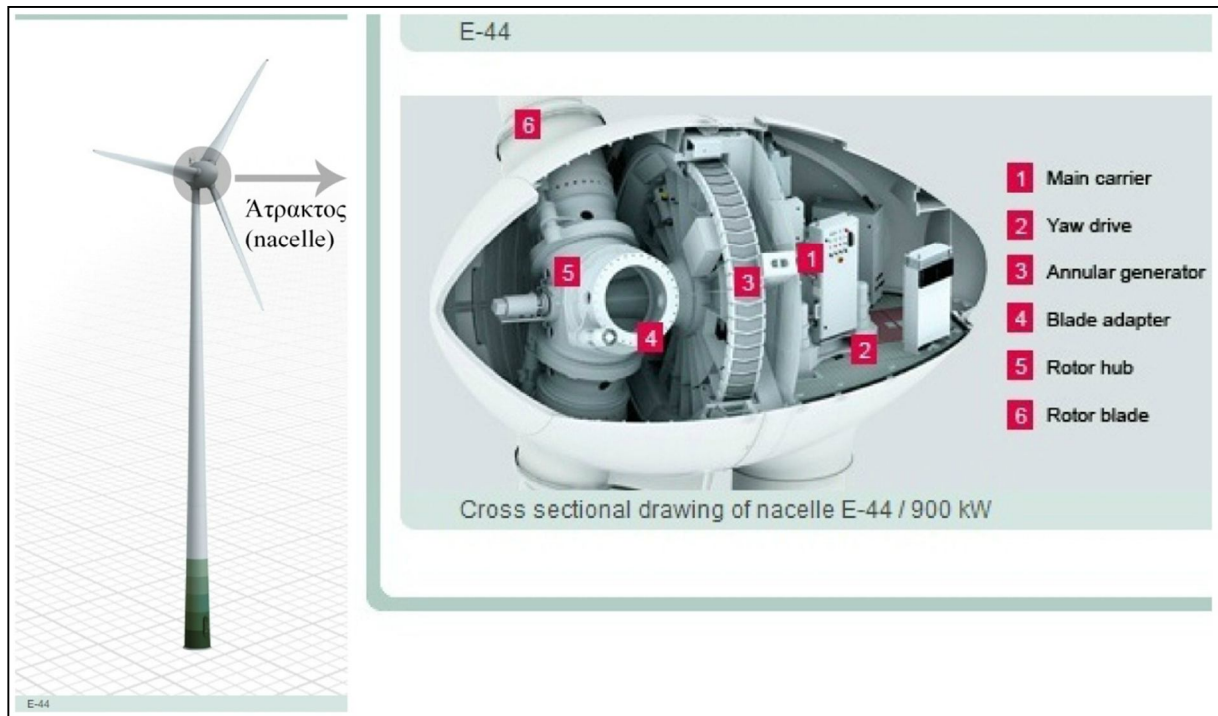
Η καμπύλη ισχύος της εκάστοτε Α/Γ παρέχεται από τον κατασκευαστή και συνήθως εκτιμάται εμπειρικά από μετρήσεις πεδίου, γι' αυτό και υπάρχουν αβεβαιότητες σχετικά με την μέτρηση της ταχύτητας και την ποσότητα αέρα που εισέρχεται στην πτερωτή. Γενικά, ο βαθμός απόδοσης μιας Α/Γ κυμαίνεται στο 35% της αναμενόμενης θεωρητικής ισχύος της.

- **Κύρια μέρη ανεμογεννητριών**

Τα βασικά μέρη από τα οποία αποτελείται μια ανεμογεννήτρια (Μπαλάρας κ.α., 2006) είναι (Εικόνα 2.2):

- Ο πύργος στήριξης πάνω στον οποίο τοποθετείται η άτρακτος και ο ρότορας. Είναι κυλινδρικής μορφής και συνήθως αποτελείται από δύο ή τρία συνδεδεμένα τμήματα.

- ii) Ο θάλαμος ή αλλιώς η άτρακτος που περιέχει τα μηχανικά υποσυστήματα που είναι ο κύριος άξονας, το σύστημα πέδησης (δισκόφρενο), το κιβώτιο ταχυτήτων, η ηλεκτρογεννήτρια και η διάταξη προσανατολισμού.
- iii) Τα ηλεκτρονικά συστήματα ελέγχου ασφαλούς λειτουργίας που εξασφαλίζουν την ασφαλή λειτουργία της Α/Γ σε όλες τις συνθήκες.
- iv) Τα πτερύγια



Εικόνα 2.2 Αριστερά η εικόνα της ανεμογεννήτριας Enercon 44/900 kW και δεξιά τα μηχανικά υποσυστήματα της ατράκτου

Συγκεκριμένα, στην Εικόνα 2.2, δεξιά φαίνεται η μηκοτομή της ατράκτου της ανεμογεννήτριας με τα διάφορα μηχανικά μέρη. Το σημείο 1 υποδεικνύει τον κύριο άξονα, το σημείο 2 το κιβώτιο ταχυτήτων, το σημείο 3 την ηλεκτρογεννήτρια, το 4 το σύστημα προσαρμογής των πτερυγίων, το 5 την πλήμνη του ρότορα και το 6 το πτερύγιο.

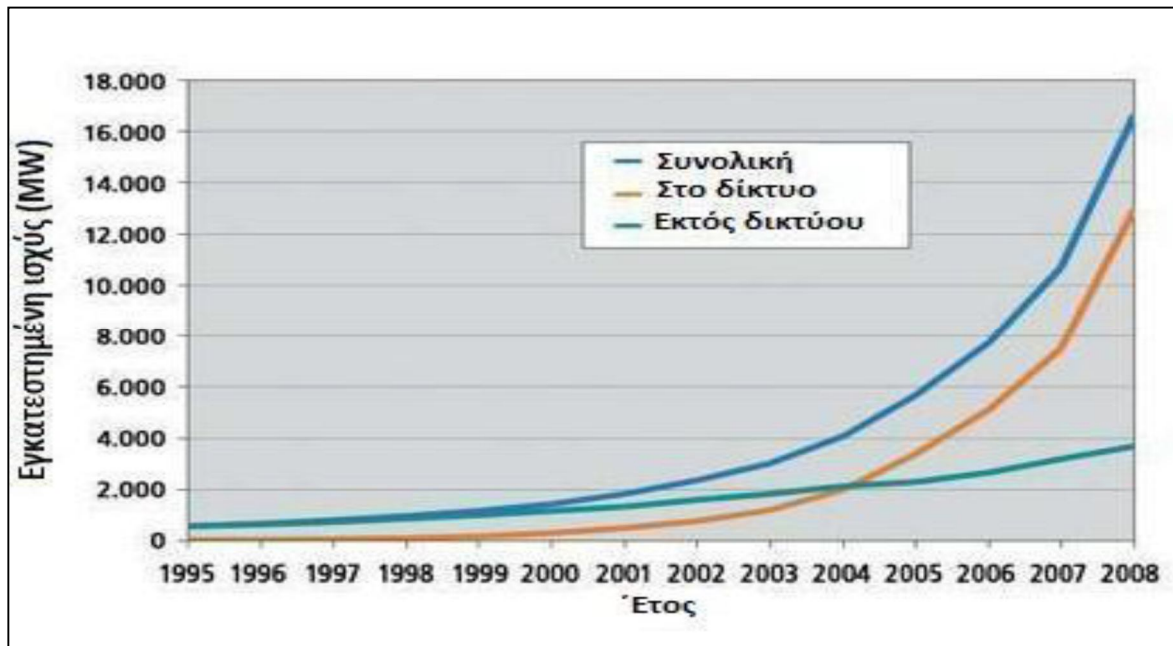
2.3.2 Ηλιακή ενέργεια-το φωτοβολταϊκό σύστημα

Τα μηχανικά μέσα που χρησιμοποιούνται σήμερα για την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας είναι το ηλεκτρικό πλαίσιο ή αλλιώς «φωτοβολταϊκό» και το θερμικό πλαίσιο, το οποίο αποκαλείται «ηλιακός συλλέκτης» ή ηλιακός θερμοσίφωνας.

Οι ηλιακοί συλλέκτες μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε θερμότητα, η οποία έπειτα χρησιμοποιείται για την θέρμανση νερού χρήσης και χώρων. Έχουν βρει εφαρμογή σαν ηλιακοί θερμοσίφωνες σε μεμονωμένες κατοικίες αλλά και σαν ηλιακοί φούρνοι και τμήματα ηλιακών πύργων για την θέρμανση μεγάλων κτιρίων ή για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αντίστοιχα (Μαμάσης και Στεφανάκος, 2012).

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα μετατρέπουν μέρος της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρικό ρεύμα. Η τεχνολογία των Φ/Β χρησιμοποιήθηκε πρώτα κατά την δεκαετία του '60 για την παραγωγή ενέργειας στις διαστημικές εφαρμογές (τροφοδοσία δορυφόρων). Αργότερα τα Φ/Β ξεκίνησαν να συνεισφέρουν στην κάλυψη αναγκών σε ηλεκτρική ενέργεια σε διάφορες περιοχές του κόσμου. Βρίσκουν εφαρμογή σε στέγες ιδιωτικών κατοικιών ή σε προσόψεις μεγάλων κτιρίων, συνδεδεμένα στο δίκτυο ή ακόμη ως μέρη υβριδικών συστημάτων όπως θα δούμε στο επόμενο υποκεφάλαιο.

Τα ηλεκτρικά πλαίσια δεν παράγουν ρύπους, έχουν μικρό κόστος συντήρησης ενώ είναι ευέλικτα σε εφαρμογές, καθώς μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μεγάλης και μικρής κλίμακας συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Από την άλλη πλευρά, το κόστος εγκατάστασής τους είναι αρκετά υψηλό και παρουσιάζουν σχετικά μικρή απόδοση (13-20%). Ωστόσο, μέσω των προγραμμάτων ανάπτυξης και προώθησης των ΑΠΕ που εφαρμόζονται, η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων έχει αυξηθεί παγκοσμίως (Σχήμα 2.3).



Σχήμα 2.3 Χρονική εξέλιξη εγκατεστημένης ισχύος φωτοβολταϊκών (MW) σε παγκόσμια κλίμακα (πηγή: Σαραφειανός και Σειραγάκης, 2009)

2.3.3 Υδροηλεκτρική ενέργεια

- **Εισαγωγή**

Με την κατασκευή και την τεχνική εξέλιξη των υδροηλεκτρικών έργων (ΥΗΕ) επιτεύχθηκε η αξιόλογη αξιοποίηση της υδραυλικής ενέργειας του νερού, το οποίο μέσω υδατοπτώσεων κινεί υδροστροβίλους για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Το 2006 η παραγόμενη υδροηλεκτρική ενέργεια παγκοσμίως εκτιμάται στις 3.142 TWh, αποτελώντας έτσι το 16,6% της παγκόσμιας ηλεκτρικής παραγωγής που ανέρχεται στις 18.930 TWh. Στην Ελλάδα, η εγκατεστημένη υδροηλεκτρική ισχύς συνεισφέρει στο 10, 5% της συνολικής εγχώριας παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας.

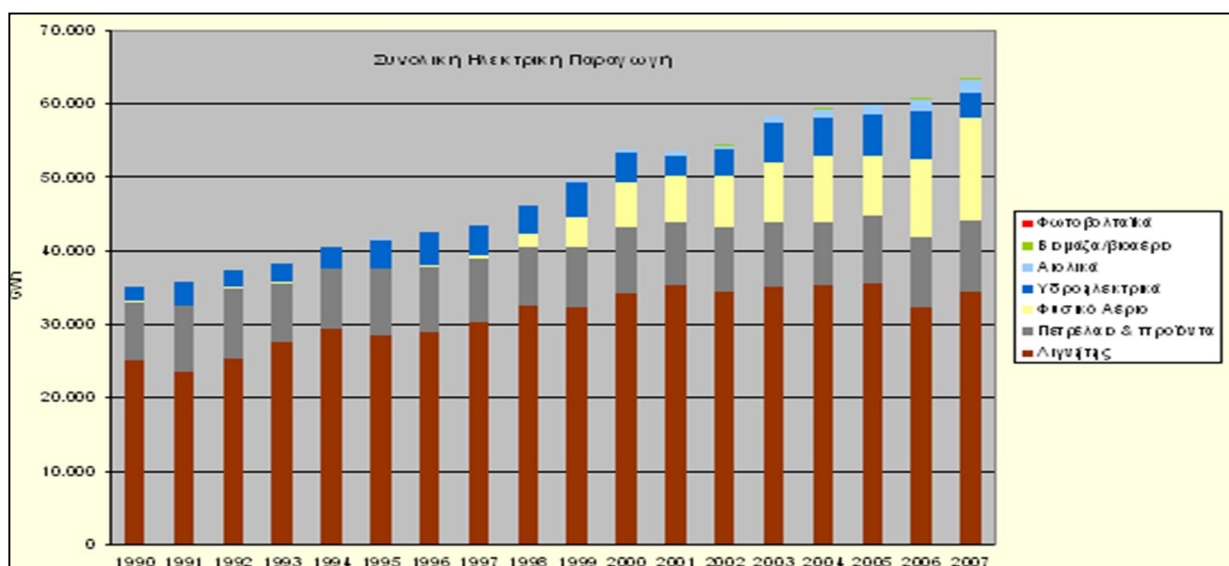
Producers	TWh	% of World total	Installed Capacity (based on production)	GW	Country (based on first 10 producers)	% of hydro in total domestic electricity generation
People's Rep. of China	397	13.3	People's Rep. of China	108	Norway	98.9
Canada	364	12.1	United States	96	Brazil	83.7
Brazil	337	11.3	Brazil	69	Venezuela	73.9
United States	290	9.7	Canada	67	Canada	57.9
Russia	175	5.8	Japan	45	Sweden	46.0
Norway	137	4.6	Russia	44	Russia	18.3
India	100	3.3	India	31	People's Rep. of China	15.9
Japan	86	2.9	Norway	27	India	14.3
Venezuela	75	2.5	France	24	Japan	7.8
Sweden	73	2.4	Italy	21	United States	6.8
Rest of the World	960	32.1	Rest of the World	304	Rest of the World*	13.9
World	2 994	100.0	World	836	World	16.4

2005 data

2004 data
Sources: United Nations, IEA

2005 data

Εικόνα 2.2 Παραγόμενη υδροηλεκτρική ενέργεια σε διάφορες χώρες του κόσμου (πρώτη στήλη) για το έτος 2005, εγκατεστημένη υδροηλεκτρική ενέργεια για το έτος 2004 (δεύτερη στήλη) και ποσοστό της παραγόμενης υδροηλεκτρικής ενέργειας που συνεισφέρει στην εγχώρια ηλεκτροδότηση για το έτος 2005 (τρίτη στήλη)



Εικόνα 2.3 Συνολική ηλεκτρική παραγωγή (GWh) στην Ελλάδα για την περίοδο 1990-2007

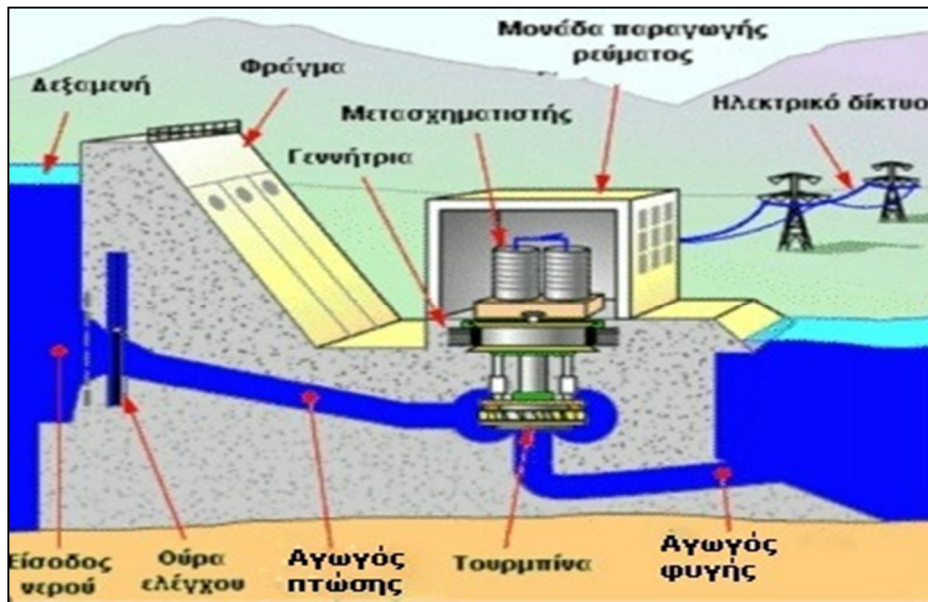
Η κατασκευή υδροηλεκτρικών έργων (ΥΗΕ) για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με την χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, εμφανίζεται να αποτελεί την προτιμότερη και ανταγωνιστικότερη επιλογή μεταξύ των υπόλοιπων υπαρχουσών τεχνολογιών ΑΠΕ, όταν η

φύση το επιτρέπει, αφού παρουσιάζουν τον μεγαλύτερο βαθμό ενεργειακής απόδοσης, περίπου 85% και παράγουν καλής ποιότητας ενέργεια, χωρίς διακυμάνσεις. Σημαντική είναι επίσης και η δυνατότητα των ΥΗΕ να παραλαμβάνουν και να απορρίπτουν γρήγορα το φορτίο, με αποτέλεσμα την άμεση κάλυψη των αιχμών της ζήτησης. Φυσικά, η κατασκευή ενός υδροηλεκτρικού έργου μπορεί να συνεισφέρει και στην ικανοποίηση άλλων αναγκών όπως άρδευση, ύδρευση, αντιπλημμυρική προστασία, βιομηχανικές χρήσεις κ.α. (Μαμάσης και Στεφανάκος, 2012). Σημαντική, ακόμη, είναι και η δυνατότητα πολλών υδροηλεκτρικών να λειτουργούν αντιστρεπτά με το σύστημα άντλησης ταμίευσης καθώς και σε συνδυασμό με άλλες τεχνολογίες ΑΠΕ. Τέλος, αν στα παραπάνω προστεθούν οι μηδενικές εκπομπές ρύπων και το πολύ χαμηλό κόστος λειτουργίας και συντήρησης γίνεται κατανοητό γιατί τα ΥΗΕ κατατάσσονται πρώτα στη λίστα των ΑΠΕ.

Ωστόσο, δεν θα μπορούσαν να παραβλεφθούν οι επιπτώσεις που μπορεί να έχουν αυτά τα ογκώδη έργα στην χλωρίδα και την πανίδα της περιοχής στην οποία χτίζονται, στο έδαφος, τα επιφανειακά και υπόγεια νερά. Δεν αποκλείεται, επίσης κάποια από αυτά να προκαλούν και οπτική όχληση.

- **Βασικά χαρακτηριστικά των ΥΗΕ**

Οι κυριότερες συνιστώσες ενός υδροηλεκτρικού έργου είναι, όπως φαίνονται και στην Εικόνα 2.4, το φράγμα ή η δεξαμενή νερού που χρησιμοποιείται για την αποθήκευση και την αύξηση του ύψους πτώσης του νερού, η περιοχή υδροληψίας όπου κατά την είσοδο απομακρύνονται ογκώδη απορρίμματα με την βοήθεια εσχάρων και επιτυγχάνεται η ομαλή είσοδος του νερού, ο αγωγός πτώσης που οδηγεί το νερό στους υδροστροβίλους (τουρμπίνες), ο υδροηλεκτρικός σταθμός (ΥΗΣ) με όλο τον απαραίτητο ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και τέλος, ο αγωγός φυγής, που οδηγεί το εξερχόμενο νερό από τους υδροστροβίλους, πίσω στο φυσικό περιβάλλον.



Εικόνα 2.4 Βασικά χαρακτηριστικά Υδροηλεκτρικών Έργων

- **Ισχύς υδροστροβίλου και αντλίας**

Ο κυριότερος μηχανολογικός εξοπλισμός των υδραυλικών έργων είναι οι υδροστροβίλοι και οι αντλίες. Ένας υδροστροβίλος απορροφά την υδραυλική ενέργεια του νερού προκειμένου να την μετατρέψει σε μηχανική ενέργεια κατά την περιστροφική του κίνηση και στη συνέχεια μέσω γεννητριών να παραχθεί ηλεκτρική ενέργεια. Στην αντίθετη περίπτωση, μια αντλία προσδίδει μηχανική ενέργεια στην ροή του νερού, ώστε να επιτευχθεί η ανοδική του πορεία και τελικά η άντλησή του (Στάμος, 2009).

Η ισχύς I (σε kW) που απαιτεί μια αντλία ή αποδίδει ένας υδροστροβίλος υπολογίζεται από τις σχέσεις,

$$I = g * Q * H_{man} * n_t , \quad \text{για υδροστροβίλο} \quad (2.1)$$

$$I = \frac{g * Q * H_{man}}{n_p} , \quad \text{για αντλία} \quad (2.2)$$

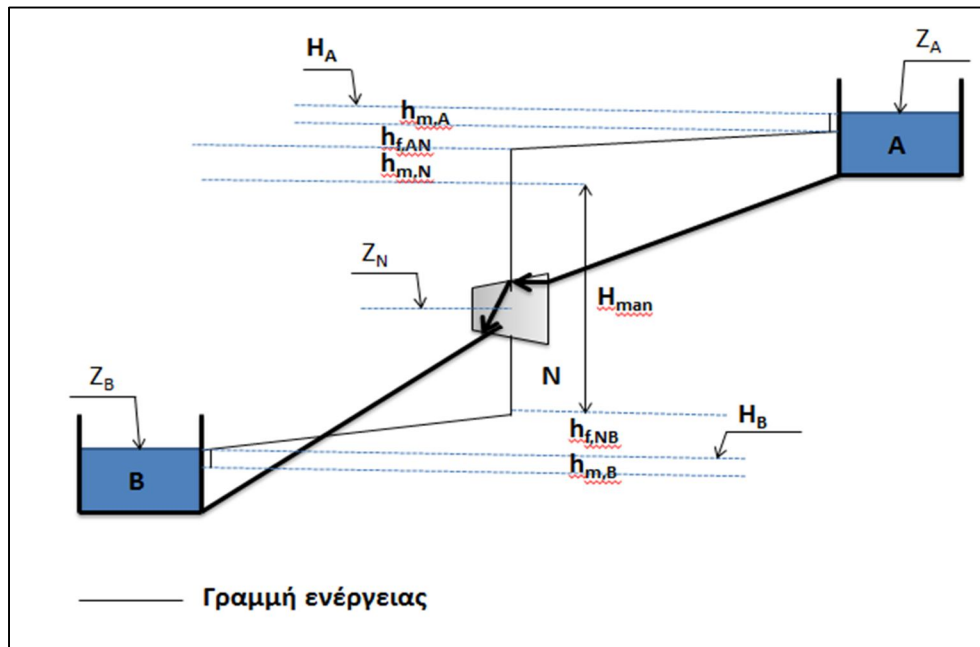
όπου g η επιτάχυνση της βαρύτητας $9,81 \text{ m/s}^2$, Q η παροχή στον αγωγό πτώσης (m^3/s), H_{man} το μανομετρικό ύψος της αντλίας ή του υδροστροβίλου (m) και n_t , n_p οι συντελεστές βαθμού απόδοσης του υδροστροβίλου που λαμβάνεται ίσος με 0,90 και της αντλίας με 0,69 αντίστοιχα.

Η εξίσωση ενέργειας για τον υπολογισμό του μανομετρικού ύψους γράφεται ως εξής

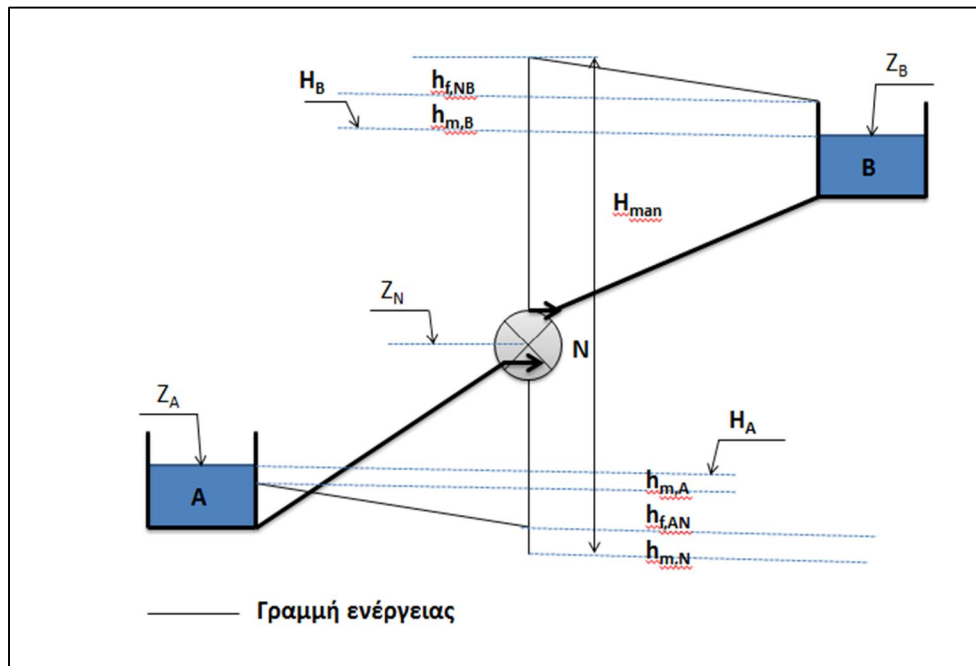
$$H_A + H_{man} = H_B + \sum h_{f(A-B)} + \sum h_{m(A-B)}, \text{ για αντλία} \quad (2.3)$$

$$H_A = H_{man} + H_B + \sum h_{f(A-B)} + \sum h_{m(A-B)}, \text{ για υδροστροβίλο} \quad (2.4)$$

όπου H_{man} είναι το μανομετρικό ύψος της αντλίας ή του υδροστροβίλου αντίστοιχα, H_A είναι η στάθμη στην δεξαμενή A, H_B η στάθμη στη δεξαμενή B, $\sum h_{f(A-B)}$ το άθροισμα των γραμμικών απωλειών των σωλήνων και $\sum h_{m(A-B)}$ το άθροισμα των τοπικών απωλειών, όπως φαίνονται στα Σχήματα 2.4 και 2.5.



Σχήμα 2.4 Χρησιμοποίηση υδροστροβίλου μεταξύ των δεξαμενών A και B για την απορρόφηση ενέργειας (προέλευση: Στάμος, 2009, μετά από προσαρμογή)



Σχήμα 2.5 Χρησιμοποίηση αντλίας για την ανύψωση της στάθμης του νερού από την δεξαμενή A στη B (προέλευση: Στάμος, 2009, μετά από προσαρμογή)

Οι τοπικές απώλειες, στην συγκεκριμένη διπλωματική, έχουν υπολογιστεί όπως αναφέρεται και σε επόμενο κεφάλαιο ως ένα ποσοστό 10% των γραμμικών απωλειών. Για την εκτίμηση των γραμμικών απωλειών (σε m) έχει χρησιμοποιηθεί η εξίσωση **Darcy-Weisbach**

$$h_f = f * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2 * g} \quad (2.5)$$

όπου f ο συντελεστής τριβών Darcy που λαμβάνεται ίσος με 0,012, L το μήκος του αγωγού (m), D η διάμετρος του αγωγού (m), g η επιτάχυνση της βαρύτητας $9,81 \text{ m/s}^2$ και V η ταχύτητα του νερού στον αγωγό (m/s) η οποία δίνεται από τη σχέση

$$V = \frac{Q_D}{\pi * r^2} \quad (2.6)$$

όπου Q_D η παροχή σχεδιασμού του αγωγού (m^3/s) και r η ακτίνα του αγωγού (m).

2.4 Υβριδικά συστήματα υπό εφαρμογή

- **Κατηγορίες υβριδικών συστημάτων**

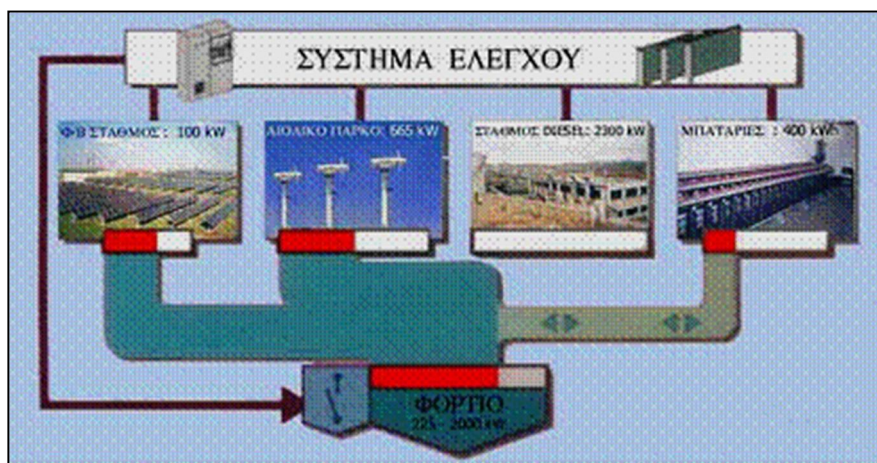
Σημαντικό ενδιαφέρον σαν κατηγορία υβριδικού συστήματος παρουσιάζει η σύνδεση ανεμογεννητριών με κυψέλες καυσίμου (ΚΚ) ή νηζελογεννήτριες.

Όσον αφορά τον συνδυασμό Α/Γ-ΚΚ, η λειτουργία του επιτυγχάνεται ως εξής: η παραγόμενη αιολική ενέργεια παρέχεται απευθείας στο δίκτυο για την κάλυψη του φορτίου. Σε περίπτωση περίσσειας αιολικής ενέργειας, αυτή χρησιμοποιείται σε έναν ηλεκτρολύτη-reformer για την παραγωγή H_2 , το οποίο στη συνέχεια αποθηκεύεται σε δεξαμενές υδρογόνου. Εναλλακτικά η πλεονάζουσα αιολική ενέργεια αποθηκεύεται σε μπαταρίες. Εάν η παραγόμενη ενέργεια από τις Α/Γ δεν επαρκεί για την κάλυψη της ζήτησης, οι ΚΚ μετατρέπουν το H_2 σε ηλεκτρική ενέργεια η οποία συμπληρώνει το υπολειπόμενο φορτίο (Σαραφειανός και Σειραγάκης, 2009). Ένα τέτοιο σύστημα βρίσκει εφαρμογή από το έτος 2003-2004 στο νησί **Utsira**, που βρίσκεται 20 km από τις δυτικές ακτές της Νορβηγίας και ο πληθυσμός του σύμφωνα με απογραφή του 2008 φτάνει τους 235 κατοίκους. Το νησί έχει ετήσια ζήτηση ενέργειας περίπου 3,5 GWh με αιχμή 900 kW. Μέχρι το 2008, το έργο κάλυπτε το φορτίο ζήτησης δέκα κατοικιών με αιχμή 50 kW και ετήσια κατανάλωση ενέργειας περίπου 200 MWh/έτος. Τα σημαντικότερα επιτεύγματα του έργου είναι η παροχή καλής ποιότητας ενέργειας, η συνεισφορά στις τοπικές δραστηριότητες και στον τουρισμό καθώς και η δυνατότητα για ενεργειακή αυτονομία για ένα αξιόλογο χρονικό διάστημα ανά έτος (Γεωργαντέας, 2011).

Στην περίπτωση του συνδυασμού Α/Γ-νηζελογεννήτριας, η περίσσεια αιολική ενέργεια αποθηκεύεται σε μπαταρίες, οι οποίες συμπληρώνουν την διαθέσιμη από τις Α/Γ ενέργεια για την κάλυψη του φορτίου σε περίπτωση έλλειψης. Εάν η φόρτιση των μπαταριών και η δυνατή προσφερόμενη αιολική ενέργεια δεν επαρκούν για την ικανοποίηση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, τότε μπαίνουν σε λειτουργία οι νηζελογεννήτριες. Η λειτουργία αυτή, υβριδικού έργου βρίσκει εφαρμογή από το 2002 στην κοινότητα **Wales** των 160 κατοίκων στην Αλάσκα. Από δοκιμές που έγιναν στην κοινότητα για 18 μέρες την περίοδο

του Αυγούστου, οι Α/Γ σε συνδυασμό με της μπαταρίες κάλυψαν το 41% της ζήτησης, ενώ το υπόλοιπο φορτίο καλύφθηκε από την συμβατική παραγωγή.

Μια άλλη κατηγορία υβριδικού συστήματος είναι ο συνδυασμός ανεμογεννητριών και φωτοβολταϊκών με μπαταρίες και νηζελογεννήτριες. Αν η ζήτηση ενέργειας είναι μικρότερη από την παραγόμενη ενέργεια από τις Α/Γ, το πλεόνασμα της ενέργειας μαζί με αυτήν που παράγεται από τα φωτοβολταϊκά αποθηκεύεται σε μπαταρίες. Εάν η ζήτηση είναι μεγαλύτερη από την προσφερόμενη ενέργεια των Α/Γ τότε, εκείνη που υπολείπεται καλύπτεται από τα φωτοβολταϊκά. Αν, παρ' όλα αυτά η ζήτηση συνεχίζει να μην καλύπτεται τότε μπαίνουν σε λειτουργία οι μπαταρίες αφού βέβαια είναι επαρκώς φορτισμένες. Στην περίπτωση που τίποτα από τα παραπάνω δεν είναι αρκετά για να καλύψουν το απαιτούμενο φορτίο, η ενέργεια που χρειάζεται προσφέρεται από τις νηζελογεννήτριες. Μια τέτοια εφαρμογή υβριδικού συστήματος αναφέρεται στο νησί της **Κύθνου** στην Ελλάδα, όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.5 και στο νησί **King** που βρίσκεται στον πορθμό Bass μεταξύ Αυστραλίας και Τασμανίας με 1.723 κατοίκους και τιμή φορτίου που κυμαίνεται μεταξύ 1,2 MW και 3,3 MW. Το εφαρμοζόμενο υβριδικό σύστημα και στα δύο νησιά συνέβαλαν στην βελτίωση της ευστάθειας του δικτύου, της ποιότητας της παρεχόμενης ενέργειας και στην σημαντική εξοικονόμηση κατανάλωσης καυσίμου.



Εικόνα 2.5 Βασικά χαρακτηριστικά υβριδικού συστήματος Κύθνου

Αξιόλογο επίσης είναι και το υβριδικό σύστημα με το οποίο καλύπτει τις ενεργειακές της ανάγκες η **Ιερά Μονή Σίμωνος Πέτρας** στο Άγιο Όρος. Το σύστημα αυτό συνδυάζει την

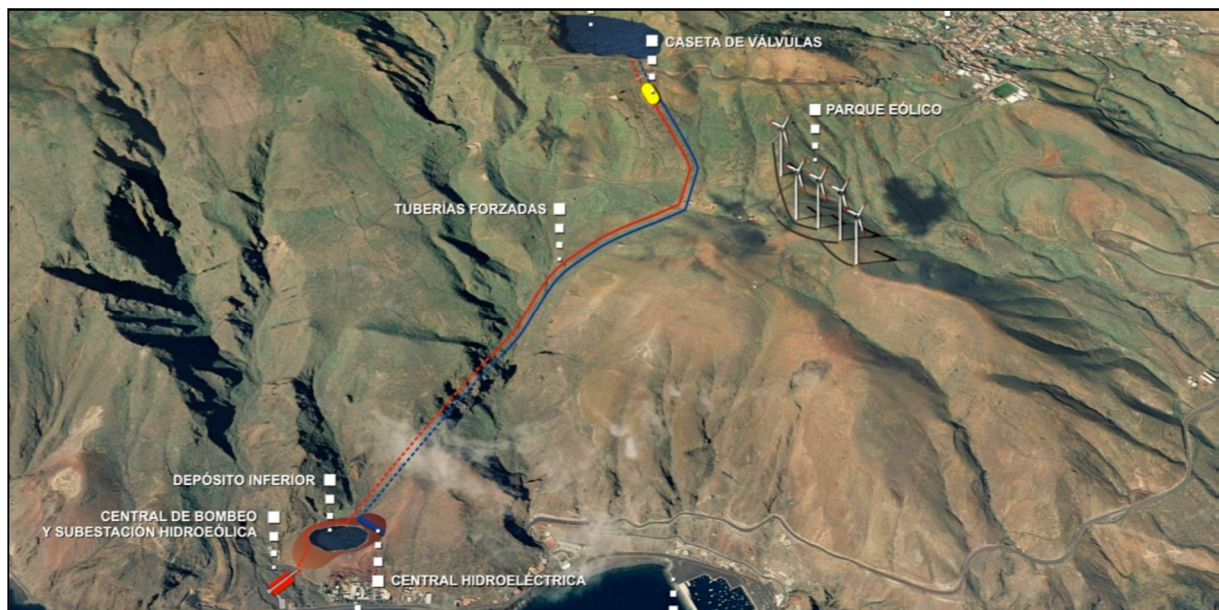
λειτουργία ενός μικρού υδροηλεκτρικού έργου, μιας εγκατάστασης φωτοβολταϊκών και νηζελογεννητριών. Σε περίπτωση περίσσειας ενέργειας, η πλεονάζουσα ηλιακή ενέργεια που απορροφάται από τα φωτοβολταϊκά ή ακόμα και η περίσσεια υδροηλεκτρικής αποθηκεύεται σε μπαταρίες. Η αποθηκευμένη στις μπαταρίες ενέργεια αξιοποιείται τις ώρες που παρουσιάζεται έλλειμμα στην κάλυψη της ζήτησης. Εάν η προσφερόμενη υδροηλεκτρική και ηλιακή ενέργεια και η διαθέσιμη ενέργεια από τις μπαταρίες δεν είναι αρκετές για την κάλυψη της ζήτησης, τότε μπαίνουν σε λειτουργία οι νηζελογεννήτριες. Σημαντικό, ωστόσο είναι το γεγονός ότι με τον συνδυασμό των πηγών αυτών, επιτεύχθηκε η ανεξαρτητοποίηση της Μονής από τις συμβατικές μορφές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε βαθμό 85-90% για όλο το έτος.

Σημαντική επίσης είναι και η κατηγορία υβριδικού συστήματος που συνδυάζει την λειτουργία φωτοβολταϊκών με νηζελογεννήτριες καθώς η εφαρμογή του σε διάφορες μικρές επαρχιακές πόλεις στην Ελλάδα, έχει επιδείξει αξιόλογα αποτελέσματα.

Τέλος, το σύστημα που εξετάζεται στην παρούσα διπλωματική είναι εκείνο που αξιοποιεί την παραγόμενη ενέργεια από υδροηλεκτρικό έργο, Α/Γ και νηζελογεννήτριες. Το σύστημα αυτό βρίσκεται ακόμα σε πειραματικό στάδιο καθώς είναι ακόμα υπό κατασκευή στο νησί της Ικαρίας, το οποίο και αναλύεται στην εργασία αυτή, και στο νησί El Hierro, ένα από τα Κανάρια νησιά της Ισπανίας που βρίσκεται κοντά στις βορειοδυτικές ακτές της Αφρικής.

Η λειτουργία του συστήματος στο El Hierro έχει ως εξής: πέντε ανεμογεννήτριες συνολικής παραγωγής 11,5 MW θα φροντίζουν για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας σε περίπου 11.000 κατοίκους, που είναι και ο συνολικός πληθυσμός του νησιού, σε έναν επιπρόσθετο αριθμό τουριστών καθώς και σε τρεις εγκαταστάσεις αφαλάτωσης που λειτουργούν. Το υδροηλεκτρικό έργο άντλησης-ταμίευσης θα αποθηκεύει την περίσσεια αιολικής ενέργειας, αντλώντας νερό σε ύψος 700 m, γεμίζοντας τον κρατήρα ενός αδρανοποιημένου ηφαιστείου. Σε περίπτωση αδυναμίας κάλυψης της ζήτησης από το αιολικό πάρκο, το νερό θα απελευθερώνεται από τον κρατήρα παράγοντας έως και 11,3 MW ηλεκτρικής ενέργειας και γεμίζοντας κατά την απόθεσή του την τεχνητή δεξαμενή που έχει κατασκευαστεί στον πόδα του ηφαιστείου. Στη συνέχεια, το νερό αντλείται από τη κάτω στην πάνω δεξαμενή όταν υπάρχει πλεονάζουσα αιολική ενέργεια. Το σύστημα αυτό αναμένεται να καλύπτει το

80% των ενεργειακών αναγκών του νησιού, ενώ το υπόλοιπο 20% προβλέπεται να καλύπτεται από ηλιακούς συλλέκτες και φωτοβολταϊκά, καθιστώντας έτσι το νησί ενεργειακά ανεξάρτητο από συμβατικές μορφές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Φυσικά, οι υπάρχουσες νηζελογεννήτριες θα συνεχίσουν την λειτουργία τους καλύπτοντας το υπολειπόμενο φορτίο ζήτησης σε περίπτωση αδυναμίας κάλυψης του συνολικού από τον συνδυασμό των παραπάνω τεχνολογιών. Στην Εικόνα 2.6 φαίνεται μια αναπαράσταση του προβλεπόμενου υβριδικού συστήματος του νησιού.



Εικόνα 2.6 Αναπαράσταση του υβριδικού υδροηλεκτρικού συστήματος στο νησί El Hierro

Άξιο επίσης αναφοράς είναι το νησί Samsø, που βρίσκεται στον κόλπο Kattegat στη Βόρεια Θάλασσα και ανήκει στη Δανία, το οποίο κατάφερε να αποκτήσει ενεργειακή ανεξαρτησία από τις συμβατικές μορφές ενέργειας 100%, συνδυάζοντας onshore και offshore αιολικά πάρκα, συστήματα τηλεθέρμανσης εκμεταλλευόμενοι και τα τοπικά αποθέματα βιομάζας καθώς και ηλιακούς συλλέκτες.

- **Αντλησιοταμίευση**

Η τεχνολογία άντλησης ταμίευσης, που μπορεί να θεωρηθεί σαν κατηγορία υβριδικού συστήματος, συνδυάζει την συνεργασία δύο δεξαμενών κι έχει την δυνατότητα αποθήκευσης ενέργειας μεγάλης κλίμακας στον πάνω ταμιευτήρα τις ώρες μικρής ζήτησης

μέσω άντλησης και την προσφορά της στο δίκτυο τις ώρες αιχμής. Συνήθως οι μονάδες μετατροπής της ενέργειας που χρησιμοποιούνται σε αυτά τα συστήματα λειτουργούν αντιστρεπτά, παίζουν δηλαδή τον ρόλο του υδροστροβίλου και της αντλίας, όπως είναι οι υδροστρόβιλοι Francis. Η απόδοση του κύκλου εκτιμάται περίπου στο 70% και γενικά εξαρτάται από τους βαθμούς απόδοσης του εκάστοτε εξοπλισμού (αντλίες, υδροστρόβιλοι) καθώς και τις απώλειες των υπόλοιπων εγκαταστάσεων του έργου (σωληνώσεις κ.τ.λ.) (Παπαντώνης, 2009).

Η ανάγκη αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας από τα αιολικά πάρκα για την αύξηση της διείσδυσής τους στο δίκτυο, καθιστούν την μέθοδο άντλησης ταμίευσης αρκετά καλή επιλογή καθώς παρουσιάζει ικανοποιητικό βαθμό απόδοσης για αποθήκευση μεγάλης ποσότητας ενέργειας. Στην Ελλάδα αυτή τη στιγμή λειτουργούν δύο έργα άντλησης ταμίευσης. Το πρώτο ξεκίνησε το 1979 στο νομό Ημαθίας, στην περιοχή Σφηκιά, στον ποταμό Αλιάκμονα (Εικόνα 2.7). Αποτελείται από έναν υδροηλεκτρικό σταθμό εγκατεστημένης ισχύος 315 MW και τρεις υδροστροβίλους Francis αντιστρεπτής λειτουργίας. Το νερό αντλείται από τον κάτω ταμιευτήρα που βρίσκεται στα Ανώματα, στον πάνω ταμιευτήρα στη Σφηκιά κατά την διάρκεια της νύχτας και απελευθερώνεται τις ώρες αιχμής την ημέρα.



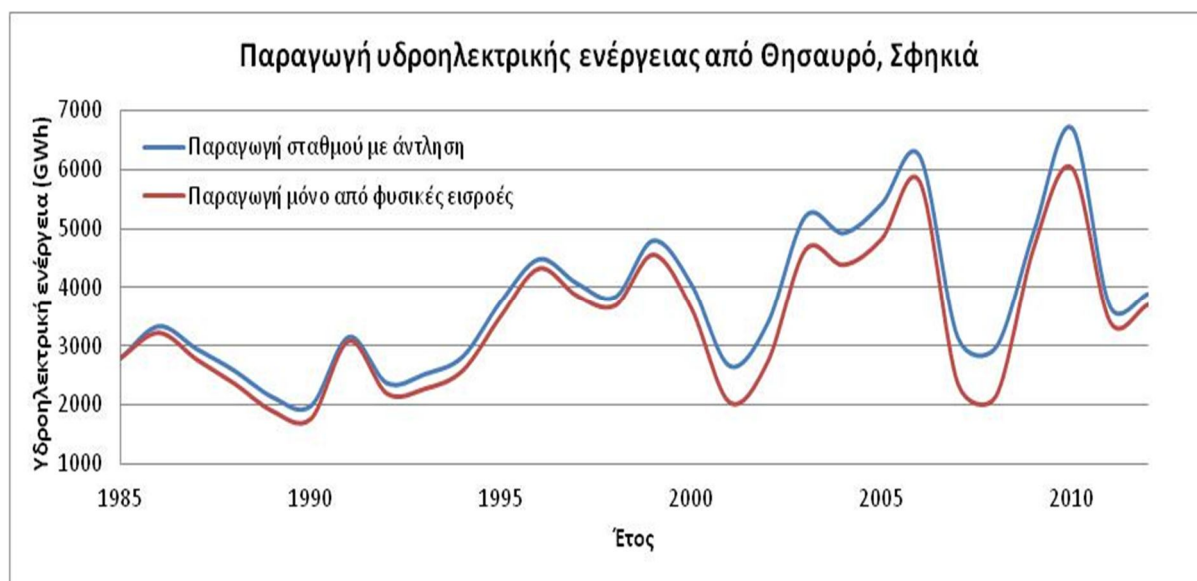
Εικόνα 2.7 Αριστερά το υδροηλεκτρικό στη Σφηκιά και δεξιά στα Ανώματα (πηγή: ΔΑΥΕ-ΔΕΗ ΑΕ.)

Το δεύτερο εν ενεργεία σύστημα άντλησης ταμίευσης περατώθηκε το 1998 στον ποταμό Νέστο, στην περιοχή Θησαυρού στο νομό Δράμας (Εικόνα 2.8). Ομοίως με το υδροηλεκτρικό στη Σφηκιά, το έργο στο Θησαυρό αποτελείται από τρεις αντιστρέψιμες μονάδες Francis συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 381 MW και αντλεί το νερό από τον υποκείμενο ταμιευτήρα του υδροηλεκτρικού Πλατανόβρυσης.

Στο Σχήμα 2.6 φαίνεται η συνολική παραγωγή ενέργειας από τα δύο αντλησιοταμιευτικά έργα της Σφηκιάς και του Θησαυρού, πριν και μετά την εγκατάσταση του συστήματος της άντλησης.



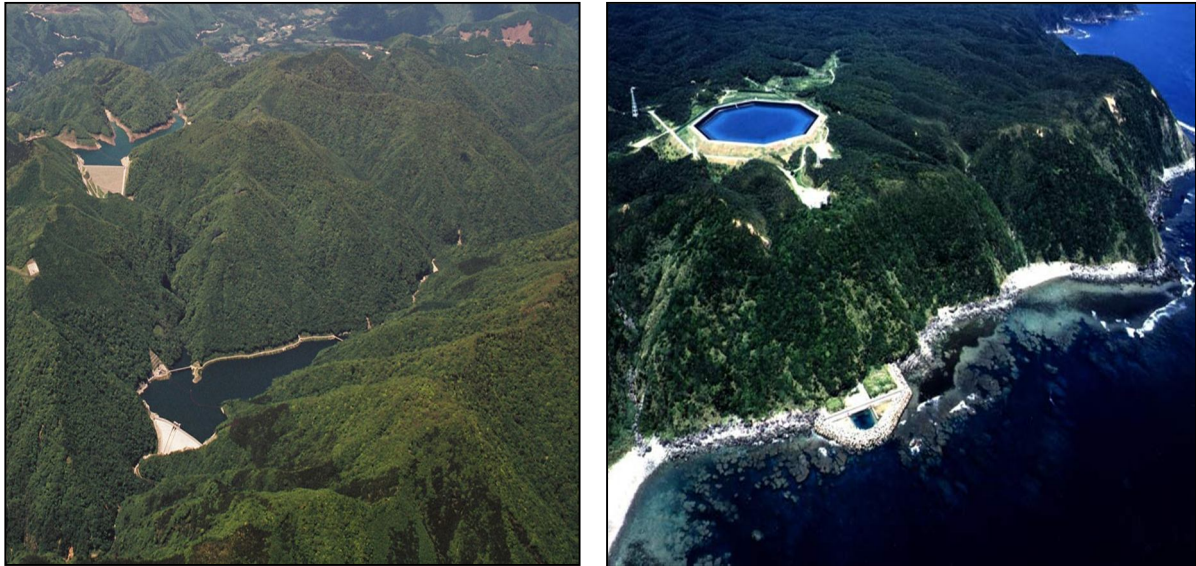
Εικόνα 2.8 Αριστερά το υδροηλεκτρικό στο Θησαυρό και δεξιά στην Πλατανόβρυση (πηγή: ΔΑΥΕ-ΔΕΗ ΑΕ.)



Σχήμα 2.6 Παραγωγή συνολικής ενέργειας από τα υδροηλεκτρικά στο Θησαυρό και στη Σφηκιά με και χωρίς την λειτουργία της άντλησης

Τέλος, άξια, επίσης, αναφοράς είναι τα συστήματα άντλησης ταμίευσης που κατασκευάστηκαν στην περιοχή Yamnashi-Ken και στο νησί Okinawa της Ιαπωνίας (Εικόνα 2.9). Το μεν πρώτο, έχει συνολική εγκατεστημένη ισχύ 1600 MW, αποτελείται από δύο ταμιευτήρες με υψομετρική διαφορά 685 m, ενώ ο σταθμός παραγωγής ενέργειας βρίσκεται 500 m κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Το δεύτερο είναι το πρώτο έργο

άντλησης ταμίευσης στον κόσμο που χρησιμοποιεί θαλασσινό νερό προς άντληση και έχει ισχύ μόλις 30 MW (Μαμάσης και Στεφανάκος, 2012).

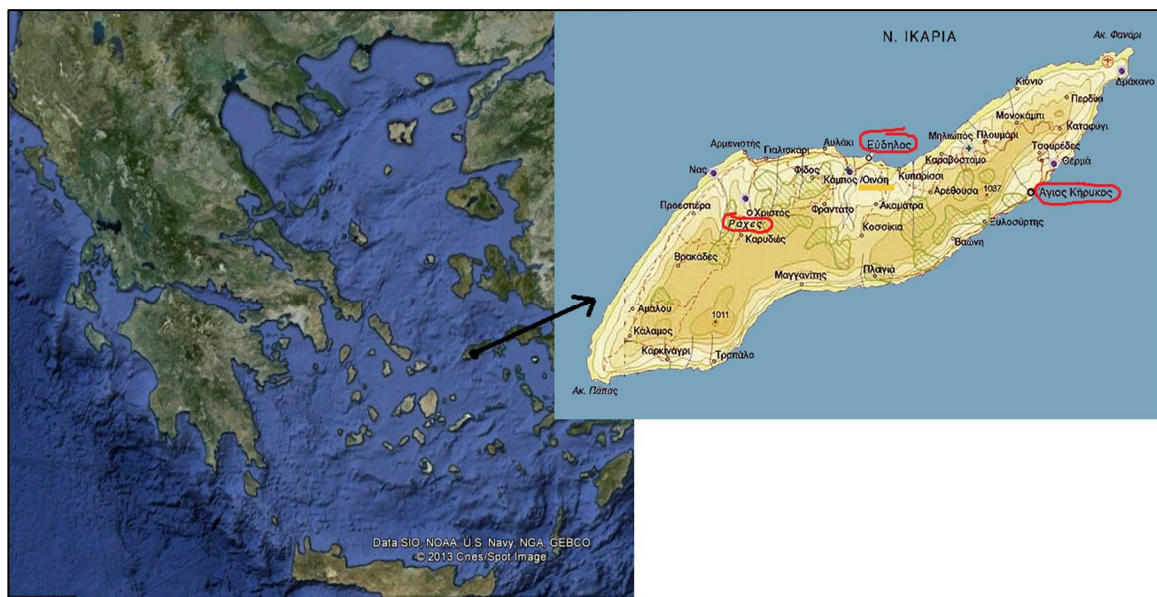


Εικόνα 2.9 Αριστερά το σύστημα άντλησης-ταμίευσης στο Yamnashi-Ken (Kazunogawa) και δεξιά στο νησί Okinawa

3. Η ΝΗΣΟΣ ΙΚΑΡΙΑ ΚΑΙ Η ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

3.1 Γενική προσέγγιση του νησιού

Η Ικαρία είναι ένα νησί του ανατολικού Αιγαίου (Εικόνα 3.1), έκτασης 255 km² και πληθυσμού 8.312 κατοίκων, από απογραφή του 2001. Το νησί χωρίζεται σε τρεις δημοτικές ενότητες, τον Άγιο Κήρυκο, που είναι και πρωτεύουσα του νησιού, με 3.243 κατοίκους, τον Εύδηλο με 2.831 κατοίκους και τις Ράχες με 2.238 κατοίκους.

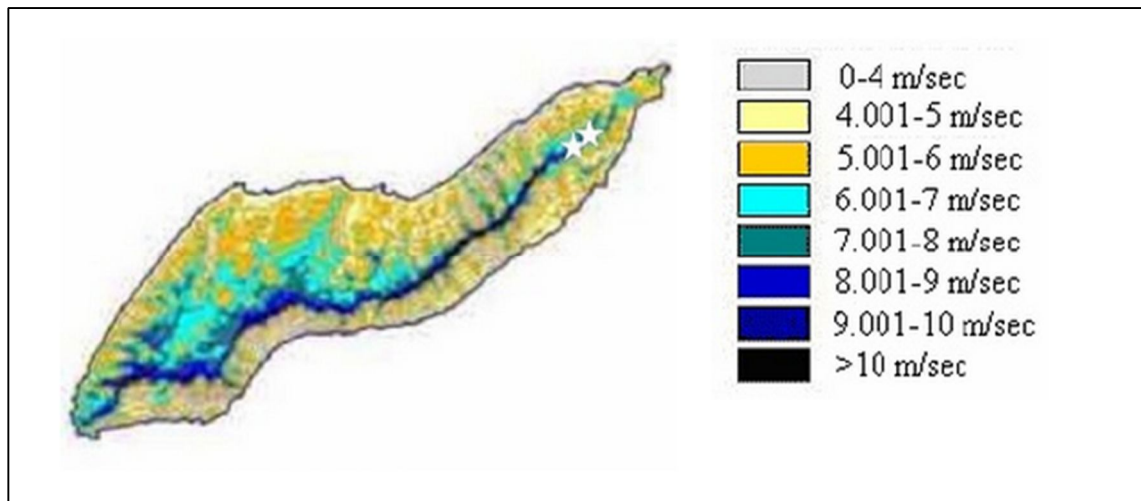


Εικόνα 3.1 Νήσος Ικαρία

Το νησί είναι ορεινό στο μεγαλύτερο μέρος του και διασχίζεται από την οροσειρά του Αθήρα (Πράμνος), με διεύθυνση ΝΝΔ-ΒΒΑ, του οποίου η υψηλότερη κορυφή είναι 1.041 m και ο οποίος χωρίζει το νησί σε βόρειο και νότιο τμήμα. Οι καλλιεργήσιμες εκτάσεις του νησιού βρίσκονται κατά κύριο λόγο στο βορειοδυτικό τμήμα, στο δήμο Ραχών.

Σύμφωνα με γεωλογικά δεδομένα του ΙΓΜΕ, η Ικαρία αποτελείται από μεταμορφωμένα πετρώματα (π.χ. γνεύσιοι), τα οποία διασχίζονται από γρανίτες. Συγκεκριμένα, η περιοχή υλοποίησης (δήμος Ραχών) του ΥΒΕ Ικαρίας, που βρίσκεται στο δυτικό τμήμα του νησιού, αποτελείται αποκλειστικά από γρανιτογνεύσιους και γρανίτες που καλύπτουν περίπου τη μισή έκταση του νησιού (Πατσιδης, 2012).

Το κλίμα του νησιού θεωρείται ήπιο, με τα μελέμια να αποτελούν το κύριο χαρακτηριστικό της θερινής περιόδου. Η Ικαρία θεωρείται ένα από τα νησιά με το μεγαλύτερο αιολικό δυναμικό, με μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου σε ένα μέσο υψόμετρο, σύμφωνα με το κλιματικό δελτίο της ΕΜΥ, να εκτιμάται στα 7 m/s. Στην Εικόνα 3.2 φαίνεται η κατανομή του αιολικού δυναμικού στο νησί.



Εικόνα 3.2 Αιολικό δυναμικό Ικαρίας (πηγή: Σπυρόπουλος, 2007)

Οι ανάγκες της Ικαρίας σε αρδευτικό νερό υπολογίζονται σε 566.312 m³/έτος (εκ των οποίων τα 450.000 m³/έτος περίπου προσφέρονται στο βορειοδυτικό τμήμα του νησιού), ενώ οι ανάγκες σε υδρευτικό νερό ανέρχονται σε 700.000 m³/έτος. Οι απώλειες του δικτύου ύδρευσης του νησιού είναι της τάξης του 30%. Σημαντικό ρόλο, στην ύδρευση του νησιού, παίζουν οι φυσικές πηγές και οι υπάρχουσες γεωτρήσεις στην ανατολική, κεντρική και δυτική Ικαρία (Κρητικού, 2005). Να σημειωθεί ότι οι πηγές και οι γεωτρήσεις που υπάρχουν στην περιοχή κατασκευής του υβριδικού έργου δεν ελήφθησαν υπόψη κατά την προσομοίωση των υδρολογικών δεδομένων εξαιτίας έλλειψης των λεπτομερών χαρακτηριστικών τους.

Το υδρογραφικό δίκτυο της Ικαρίας χαρακτηρίζεται γενικά αδρομερές (πυκνότητα υδρογραφικού δικτύου 1,6-5,2 km/km²). Τα μεγαλύτερο μήκος μισγάγγειας, που φτάνει τα 12,5 km, παρατηρείται στην λεκάνη απορροής του ρέματος Χάλαρης, που είναι και η λεκάνη απορροής της περιοχής του έργου. Η λεκάνη αυτή εκτιμάται ότι έχει έκταση 20,85 km², μέσο υψόμετρο 669,2 m και μέση κλίση 22,1%.

3.2 Τοπικός Σταθμός Παραγωγής Ενέργειας

Το εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας βρίσκεται στον Άγιο Κήρυκο και λειτουργεί από 1967. Είναι εξοπλισμένο με 11 μηχανές εσωτερικής καύσεως, των οποίων το καύσιμο τροφοδοσίας είναι mazout και diesel. Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά αυτών.

Πίνακας 3.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά των μηχανών εσωτερικής καύσεως (ο αριθμός σε παρένθεση δηλώνει τον αριθμό της μηχανής που έχει το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό)

Τύπος μηχανής	Πλήθος	Ονομαστική Ισχύς (kW)	Ισχύς Απόδοσης (kW)	Τεχνικό ελάχιστο (kW)
Fiat	4	975	750	200
Sulzer	2	2260 ⁽³⁾ /3104 ⁽⁸⁾	2000 ⁽³⁾ /2900 ⁽⁸⁾	500
SKD	2	1280	1100	300
Sacm	3	1200 ⁽⁹⁾ /1296 ^(11,12)	750 ⁽⁹⁾ /1000 ^(11,12)	100

3.3 Φράγμα Πέζι

Το φράγμα «Πέζι» (Εικόνες 3.3, 3.4) κατασκευάστηκε στον δήμο Ραχών Ικαρίας, στην περιοχή Πέζι (φ: 37° 35' 13'' Β, λ: 26° 05' 25'' Α) από όπου πήρε και το όνομά του. Λειτουργεί από το 1995 και κατασκευάστηκε κυρίως για την ύδρευση και άρδευση του δήμου.

Τεχνικά χαρακτηριστικά φράγματος: το φράγμα είναι χωμάτινο με αργιλικό πυρήνα και τροφοδοτείται από τον χειμάρρο της Χάλαρης (ή Πέζι). Ο αρχικός ωφέλιμος όγκος ήταν 1.000.000 m³, ο οποίος λόγω προσχώσεων και φερτών υλών μειώθηκε στα 910.000 m³. Η επιφάνεια του ταμιευτήρα ανέρχεται στα 100.000 m². Για την στεγανοποίηση του ταμιευτήρα δεν χρειάστηκαν πρόσθετα αναχώματα και ειδικές κατασκευές, αφού ο γρανίτης, το πέτρωμα πάνω στο οποίο κατασκευάστηκε το φράγμα, συντελεί από μόνο του στη φυσική στεγανότητα του ταμιευτήρα. Το ύψος του αναχώματος είναι 29 m, το μήκος στέψης 235 m και το πλάτος στέψης 10 m. Ο όγκος αναχώματος που χρησιμοποιήθηκε

υπολογίστηκε στα 163.100 m³ και το συνολικό κόστος κατασκευής του έργου εκτιμάται στα 4.223.000 €.



Εικόνα 3.3 Φράγμα Πέξι (πηγή: ΔΕΗ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΑΕ.)



Εικόνα 3.4 Κάτοψη του φράγματος

4. ΤΟ ΥΒΡΙΔΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΗΣ ΙΚΑΡΙΑΣ

4.1 Εισαγωγή

Η ιδέα υλοποίησης του υβριδικού ενεργειακού έργου στην Ικαρία ανήκει στη ΔΑΥΕ/ΔΕΗ (νυν ΔΥΗΠ) και στην Αναπτυξιακή Εταιρεία του πρώην δήμου Ραχών Ικαρίας, οι οποίες από το 1999 σε συνεργασία με ευρωπαϊκές εταιρείες πρότειναν στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή τη χρηματοδότηση της μελέτης. Η πρόταση έγινε αποδεκτή αλλά, λόγω αδυναμίας συνεργασίας των εταιρειών, το όλο εγχείρημα δεν ευοδώθηκε.

Αργότερα, εκτιμώντας την αξία του έργου, η ΔΑΥΕ/ΔΕΗ προχώρησε στον σχεδιασμό και στις μελέτες δημοπράτησης, με την συνδρομή και του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου (ΕΜΠ) στον σχεδιασμό του ηλεκτρικού δικτύου. Το 2006 εγκρίθηκε η Διακήρυξη της Σύμβασης και έγινε ο διαγωνισμός.

Το 2007 το έργο μεταβιβάστηκε στη ΔΕΗ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΑΕ, μετά την απόσχιση του κλάδου των ΑΠΕ από την ΔΕΗ ΑΕ. Το 2008 υπεγράφη η σύμβαση κατασκευής του με Ανάδοχο την εταιρεία ΕΝΕΤ ΑΕ. Η επίβλεψη του έργου πραγματοποιείται από τη ΔΥΗΠ/ΔΕΗ, με τον ρόλο της ως τεχνικού συμβούλου του κυρίου του έργου.

Τον Νοέμβριο του 2009 υποβλήθηκε στη Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ) αίτηση για μεταβίβαση της Άδειας Παραγωγής του έργου, με προσαρμογή του τρόπου λειτουργίας του στο υφιστάμενο θεσμικό πλαίσιο για τους υβριδικούς σταθμούς, με βάση μελέτη που εκπονήθηκε από το ΕΜΠ. Η τιμή πώλησης της υβριδικής ενέργειας ορίστηκε από τη ΡΑΕ ίση με 295 €/MWh (ΔΕΗ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΑΕ., 2012).

Η συνολική επένδυση υλοποίησης του υβριδικού ενεργειακού έργου Ικαρίας ανέρχεται περίπου στο χρηματικό ποσό των 40 εκ. €, στο οποίο εκτός από την κατασκευή των βασικών μερών του έργου, της επίβλεψής του κ.λ.π., συμπεριλαμβάνονται και τα έξοδα για την κατασκευή καινούργιας οδοποιίας αλλά και την βελτίωση της υπάρχουσας στην περιοχή

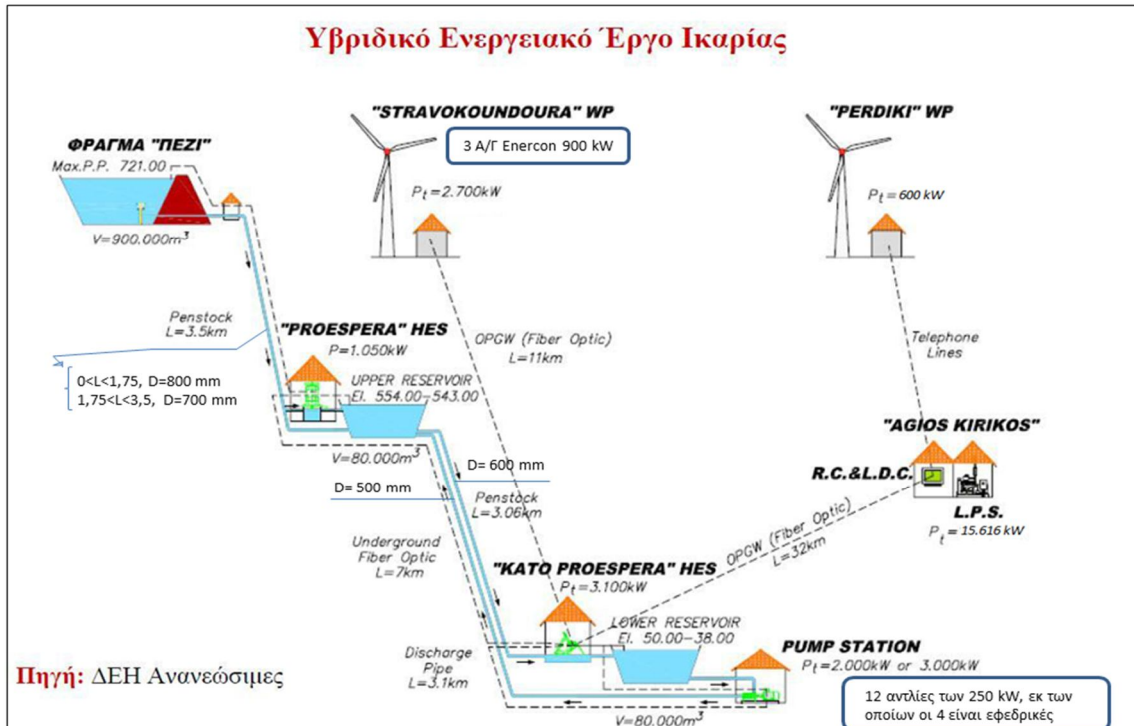
του έργου καθώς και για την αναβάθμιση και ανακατασκευή του δικτύου ηλεκτροδότησης του νησιού.

4.2 Τεχνική περιγραφή του έργου

Το σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας της Ικαρίας, περιλαμβανομένου του ΥΒΕ, παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.1, ενώ στην Εικόνα 4.1 και 4.2 απεικονίζονται η χωροθέτηση και αντίστοιχα η διάταξη των διαφόρων μονάδων στον χάρτη της Ικαρίας. Οι υπάρχουσες μονάδες παραγωγής αποτελούνται από τον τοπικό σταθμό παραγωγής Αγίου Κηρύκου (ΤΣΠ) και την ιδιωτική Α/Γ ΛΑΚΙΟΣ ΑΕ ονομαστικής ισχύος 600 kW, που βρίσκεται στο Περδίκι.

Το υβριδικό έργο κατασκευάζεται στον πρώην δήμο Ραχών και ο υφιστάμενος σχεδιασμός του περιλαμβάνει το αιολικό πάρκο (Α/Π) στην περιοχή του λόφου Στραβοκουνδούρα, αποτελούμενο από τρεις Α/Γ Enercon E-44/900 των 900 kW η κάθε μία (η καμπύλη ισχύος και τα τεχνικά χαρακτηριστικά αυτών φαίνονται στο Σχήμα 2.2 και Εικόνα 2.2 αντίστοιχα στο κεφάλαιο 2), με ύψος πλήμνης 55 m, το αντλιοστάσιο Κάτω Προεσπέρας που αποτελείται από 12 αντλίες ονομαστικής ισχύος 250 kW έκαστη, εκ των οποίων οι τέσσερις είναι εφεδρικές, δύο δεξαμενές και έναν ταμιευτήρα: τον ταμιευτήρα Πεζίου, όπως περιγράφεται στο κεφάλαιο 3, συνολικού όγκου 910.000 m³ περίπου, η περίσσεια υδάτων του οποίου θα αξιοποιείται, και τις δύο μικρότερου μεγέθους δεξαμενές στην Προεσπέρα και Κάτω Προεσπέρα αντίστοιχα, με εκμεταλλεύσιμο όγκο νερών περίπου 80.000 m³, που θα εξυπηρετούν τις ανάγκες της αντλησιοταμίευσης για την απορρόφηση της αιολικής ενέργειας. Επίσης περιλαμβάνει τον Μικρό Υδροηλεκτρικό Σταθμό (ΜΥΗΣ) Προεσπέρας με έναν υδροστρόβιλο, τύπου Pelton, ισχύος 1,05 MW που θα αξιοποιεί μόνο την περίσσεια νερών του ταμιευτήρα Πεζίου (αφού πρώτα ικανοποιηθούν οι υποχρεώσεις για ύδρευση, οικολογική παροχή και άρδευση) και τον ΜΥΗΣ Κάτω Προεσπέρας, με δύο υδροστρόβιλους, τύπου Pelton, ισχύος 2×1,55 MW, που θα αξιοποιεί τόσο την περίσσεια νερών του ταμιευτήρα όσο και τα νερά που προέρχονται από αντλησιοταμίευση (Παπαευθυμίου κ.α., 2009).

Η λειτουργία των δύο ΜΥΗΣ διέπεται και από υποχρεώσεις που τίθενται στην περιβαλλοντική αδειοδότηση του έργου και έχουν σκοπό την εξασφάλιση της αρδευτικής επάρκειας του ταμιευτήρα. Συγκεκριμένα, δεν επιτρέπεται η λειτουργία του ΜΥΗΣ Προεσπέρας την θερινή περίοδο (Μαΐου-Οκτωβρίου), ενώ το υπόλοιπο διάστημα τίθενται απαιτήσεις ελάχιστης στάθμης νερού στον ταμιευτήρα Πεζίου. Οι απαιτήσεις αυτές αναλύονται στο απόσπασμα που ακολουθεί από την μελέτη του έργου: «...Προκειμένου να ανταποκριθεί η διαχείριση του ταμιευτήρα στις κατά τα ανωτέρω σύνθετες απαιτήσεις, καταρτίστηκε από τους μελετητές της ΔΕΗ/ΔΑΥΕ ένα σενάριο ελαχίστου επιτρεπτού όγκου νερού στον ταμιευτήρα για το χρονικό διάστημα της ενεργειακής λειτουργίας του, δηλαδή τη χειμερινή περίοδο Οκτωβρίου – Απριλίου. Βάσει αυτού, με την έναρξη της χειμερινής περιόδου, η ενεργειακή εκμετάλλευση επιτρέπεται να αρχίσει αφού ο ταμιευτήρας θα έχει συγκεντρώσει 500.000,00 m³ νερού. Η εκμετάλλευση που θα ακολουθήσει δεν επιτρέπεται μέχρι τις 31 Δεκεμβρίου να αφήσει τον ταμιευτήρα με λιγότερο νερό. Στη συνέχεια, το ελάχιστο όριο εξελίσσεται γραμμικά ημέρα με την ημέρα μέχρι το τέλος Μαρτίου που ο περιβαλλοντικός όρος επιβάλλει ελάχιστη στάθμη το +720,00, που αντιστοιχεί σε όγκο νερών 819.259,00 m³. Την επόμενη ημέρα ο μήνας είναι Απρίλιος και σύμφωνα με τον περιβαλλοντικό όρο η στάθμη πρέπει να είναι κατ' ελάχιστον +720,50, που αντιστοιχεί σε όγκο 862.730,00 m³. Είναι φανερό ότι μεταξύ 31/03 και 01/04 ο περιβαλλοντικός όρος εισάγει μια ασυνεχή μεταβολή με μορφή άλματος στην ελάχιστη επιτρεπόμενη στάθμη άρα και στον ελάχιστο επιτρεπόμενο όγκο. Στη συνέχεια και μέχρι τη 14η ημέρα του Απριλίου, η στάθμη τηρείται σταθερά πάνω από το +720,50 σύμφωνα με τον περιβαλλοντικό όρο, οπότε και το όριο του ελαχίστου όγκου μένει σταθερό στα 862.730,00 m³. Από τη 15η ημέρα του Απριλίου αρχίζει πάλι μια γραμμική αύξηση του ορίου, ημέρα με την ημέρα, ώστε να καταλήξει ο ταμιευτήρας στο τέλος Απριλίου γεμάτος, δηλαδή με ελάχιστο όγκο όσο και η χωρητικότητά του (910.000,00 m³) και στάθμη την ΑΣΛ (+721,00). Από τη χρονική στιγμή αυτή παύει η ενεργειακή λειτουργία του ταμιευτήρα (και μαζί με αυτήν η λειτουργία του ΜΥΗΣ Προεσπέρας) σύμφωνα με τον περιβαλλοντικό όρο, μέχρι να τελειώσει η αρδευτική περίοδος.»



Σχήμα 4.1 Εσωτερική διαμόρφωση του ΥΒΕ και λοιπές μονάδες παραγωγής συστήματος της Ικαρίας 2013 (προέλευση: Μαμάσης και Στεφανάκος, 2012, μετά από προσαρμογή)



Εικόνα 4.1 Τοποθέτηση μονάδων παραγωγής στον χάρτη της Ικαρίας



Εικόνα 4.2 Διάταξη Υβριδικού Έργου (πηγή: ΔΕΗ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΑΕ, 2011)

Για την διαχείριση των διαφόρων μονάδων παραγωγής, θα εγκατασταθούν σε κάθε ΥΗΣ, στο αντλιοστάσιο και στο αιολικό πάρκο, τοπικά συστήματα που θα επικοινωνούν με το κεντρικό σύστημα διαχείρισης, το οποίο θα εγκατασταθεί στο Κέντρο Ελέγχου και Κατανομής Φορτίου στον Τοπικό Σταθμό Παραγωγής (ΤΣΠ) Ικαρίας. Το κεντρικό σύστημα ανάλογα με το φορτίο του ηλεκτρικού συστήματος θα ορίζει τις μονάδες που θα τίθενται σε λειτουργία σύμφωνα με την διαθεσιμότητά τους και την σειρά προτεραιότητάς τους, σε τρόπο που να ικανοποιείται η ζήτηση.

Η όλη λειτουργία των μονάδων θα είναι πλήρως αυτοματοποιημένη και θα ελέγχεται από το σύστημα αυτοματισμού που θα διαθέτει SCADA με το απαραίτητο PLC (Αρχοντική, 2010).

Παρακάτω παρατίθενται μερικές φωτογραφίες από τα διάφορα υπό κατασκευή τμήματα του έργου, μετά από επίσκεψη της συγγραφέως που πραγματοποιήθηκε στην περιοχή μελέτης, τον Νοέμβριο του 2012.



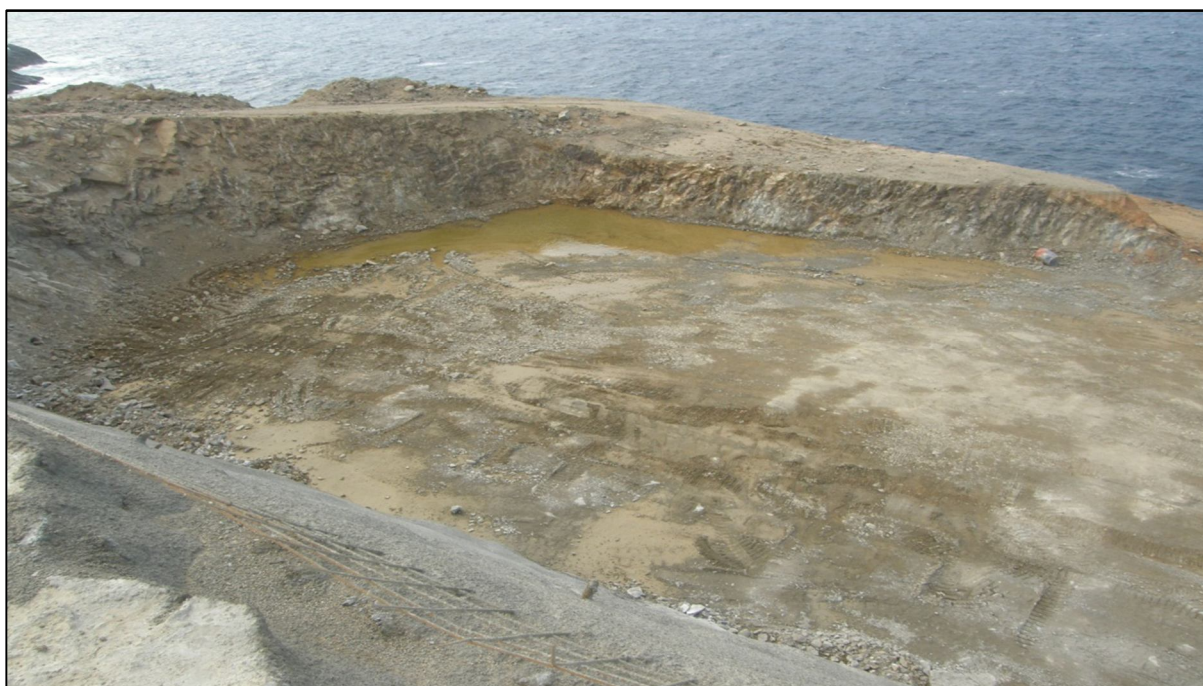
Εικόνα 4.3 Δεξαμενή Προεσπέρας



Εικόνα 4.4 Περιοχή κατασκευής του ΥΗΣ Προεσπέρας



Εικόνα 4.5 Δεξαμενή Κάτω Προεσπέρας



Εικόνα 4.6 Περιοχή κατασκευής αντλιοστασίου



Εικόνα 4.7 Εκσκαφή θεμελίου ανεμογεννήτριας (πηγή: ΔΕΗ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΑΕ, 2011)

- **Τεχνικά χαρακτηριστικά και υπολογισμοί βασικών υδραυλικών μεγεθών**

Προκειμένου να υπολογιστεί το μανομετρικό ύψος των υδροστροβίλων, $H_{\text{man}(1-2)}$, από τον ταμιευτήρα στο Πέζι μέχρι την δεξαμενή Προεσπέρας (διαδρομή 1-2) και το $H_{\text{man}(2-3)}$, από την δεξαμενή Προεσπέρας μέχρι την δεξαμενή Κάτω Προεσπέρας (διαδρομή 2-3), σύμφωνα με την σχέση 2.4 καθώς και των αντλιών, $H_{\text{man}(3-2)}$, από την δεξαμενή Κάτω Προεσπέρας μέχρι την δεξαμενή Προεσπέρας (διαδρομή 3-2), σύμφωνα με την σχέση 2.3, εκτιμήθηκαν αρχικά οι γραμμικές, h_f και οι τοπικές, h_t , απώλειες.

Οι τοπικές απώλειες, εξαιτίας έλλειψης στοιχείων σχετικά με την ακριβή γεωμετρία των αγωγών, θεωρήθηκαν ως ένα ποσοστό, 10%, των γραμμικών απωλειών.

Οι γραμμικές απώλειες για κάθε διαδρομή υπολογίστηκαν από την σχέση 2.5 και σύμφωνα με τα τεχνικά χαρακτηριστικά που δίνονται στον πίνακα που ακολουθεί. Να σημειωθεί ότι επειδή στα μέσα της διαδρομής 1-2, η διάμετρος του αγωγού προσαγωγής αλλάζει από 0,8 m, στα 0,7 m, θεωρήθηκε και η διαδρομή 1-1,5 και 1,5-2, προκειμένου να δηλωθεί αυτή η αλλαγή.

Πίνακας 4.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά του έργου

Τεχνικό χαρακτηριστικό	Τιμή	Μονάδα μέτρησης	Επεξήγηση
L_{1-2}	3500	m	μήκος αγωγού προσαγωγής της διαδρομής 1-2
L_{2-3}	3060	m	μήκος αγωγού προσαγωγής της διαδρομής 2-3
L_{3-2}	3100	m	μήκος αγωγού κατάθλιψης της διαδρομής 3-2
$D_{1-1,5}$	0,800	m	διάμετρος αγωγού προσαγωγής της διαδρομής 1-1,5
$D_{1,5-2}$	0,700	m	διάμετρος αγωγού προσαγωγής της διαδρομής 1,5-2
D_{2-3}	0,600	m	διάμετρος αγωγού προσαγωγής της διαδρομής 2-3
D_{3-2}	0,500	m	διάμετρος αγωγού κατάθλιψης της διαδρομής 3-2
H_1	721	m	ανώτατη στάθμη ύδατος στο φράγμα Πέζι
H_2	554	m	ανώτατη στάθμη ύδατος στη δεξαμενή Προεσπέρας
H_3	50	m	ανώτατη στάθμη ύδατος στη δεξαμενή Κάτω Προεσπέρας
f	0,012	-	συντελεστής τριβών Darcy
$n_{υδρ}$	0,90	-	συντελεστής βαθμού απόδοσης υδροστροβίλων
$n_{αντλ}$	0,69	-	συντελεστής βαθμού απόδοσης αντλιών
I_{1-2}	1,05	MW	ονομαστική ισχύς υδροστροβίλου στον ΥΗΣ Προεσπέρας
I_{2-3}	3,10	MW	ονομαστική ισχύς υδροστροβίλων στον ΥΗΣ Κάτω Προεσπέρας
I_{3-2}	2,00	MW	ονομαστική ισχύς αντλιών

Στη συνέχεια, σύμφωνα με τα παραπάνω και θεωρώντας παροχή σχεδιασμού $Q_{D(1-2)}=Q_{D(2-3)}=0,73 \text{ m}^3/\text{s}$, για τους αγωγούς προσαγωγής και $Q_{D(3-2)}=0,27 \text{ m}^3/\text{s}$, για τον αγωγό κατάθλιψης, προέκυψαν τα ακόλουθα αποτελέσματα του Πίνακα 4.2.

Τέλος, θεωρήθηκε ότι η ελάχιστη παροχή νερού με την οποία ο υδροστροβίλος Pelton μπορεί να παράγει υδροηλεκτρική ενέργεια είναι ίση με $Min=0,13*Q_D$. Αυτό σημαίνει ότι παροχές μικρότερες από την Min δεν παράγουν υδροηλεκτρική ενέργεια.

Πίνακας 4.2 Αποτελέσματα γραμμικών, τοπικών απωλειών και μανομετρικών υψών

Αποτέλεσμα	Τιμή	Επεξήγηση
$h_{f(1-2)}$	8,32	γραμμικές απώλειες στη διαδρομή 1-2
$h_{f(2-3)}$	20,79	γραμμικές απώλειες στη διαδρομή 2-3
$h_{f(3-2)}$	7,17	γραμμικές απώλειες στη διαδρομή 3-2
$h_{\tau(1-2)}$	0,83	τοπικές απώλειες στη διαδρομή 1-2
$h_{\tau(2-3)}$	2,08	τοπικές απώλειες στη διαδρομή 2-3
$h_{\tau(3-2)}$	0,72	τοπικές απώλειες στη διαδρομή 3-2
$H_{man(1-2)}$	157,84	μανομετρικό ύψος στη διαδρομή 1-2
$H_{man(2-3)}$	481,13	μανομετρικό ύψος στη διαδρομή 2-3
$H_{man(3-2)}$	511,89	μανομετρικό ύψος στη διαδρομή 2-3

4.3 Εσωτερική λειτουργία του ΥΒΕ

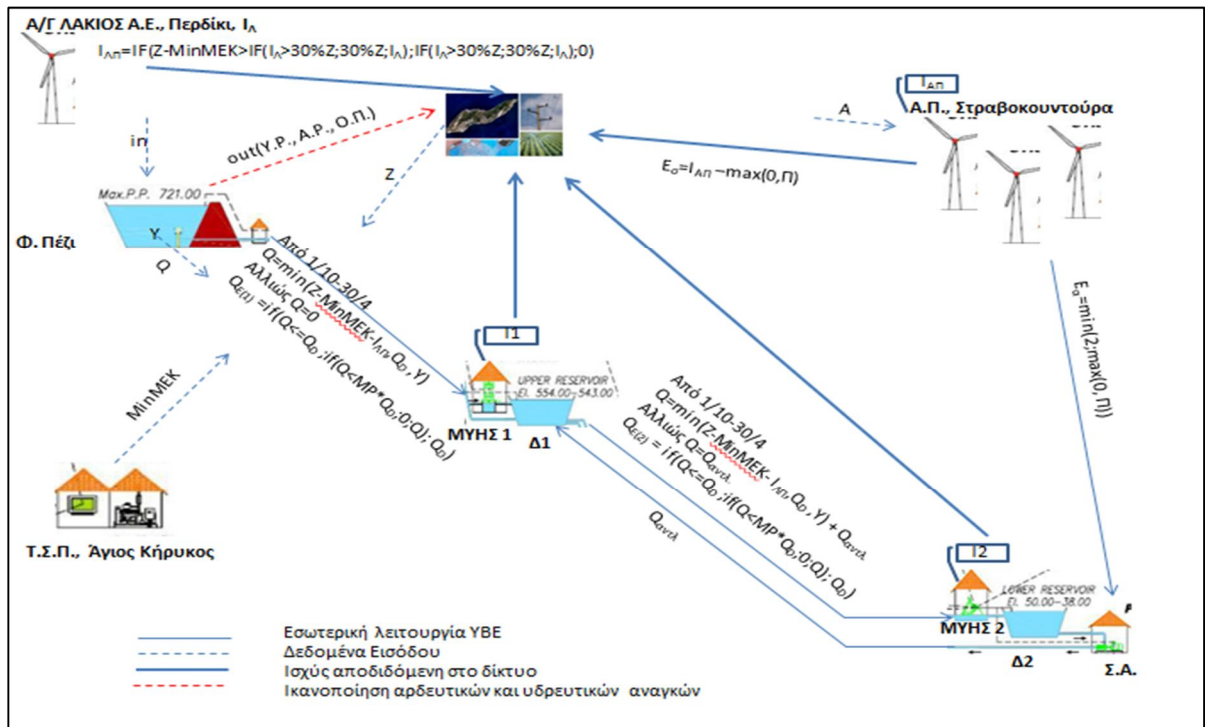
Η αναπαράσταση και η προσομοίωση του υβριδικού ενεργειακού συστήματος, όπως περιγράφεται αναλυτικά στο κεφάλαιο 6, επιχειρήθηκε να γίνει σύμφωνα με την προτεινόμενη εσωτερική λειτουργία αυτού κατά την μελέτη του έργου (Παπαευθυμίου κ.α., 2009), όπως φαίνεται και στο Σχήμα 4.2 (περιγραφή των συμβόλων στον Πίνακα 4.3), η οποία έχει ως εξής:

- **Θερινή περίοδος (Μαΐου-Οκτωβρίου)**

Την περίοδο αυτή, σύμφωνα με τις ΚΥΑ ΕΠΟ (Κοινές Υπουργικές Αποφάσεις Έγκρισης Περιβαλλοντικών Όρων) και με την τελική Περιβαλλοντική Μελέτη του έργου, λειτουργεί μόνο ο ΜΥΗΣ Κάτω Προεσπέρας, ώστε να επιτυγχάνεται η ασφαλή διάθεση των νερών του ταμειυτήρα για ύδρευση και άρδευση και η διατήρηση των υδατικών πόρων σε καλή κατάσταση. Ο Διαχειριστής του Υβριδικού Έργου πραγματοποιεί τον ωριαίο προγραμματισμό ένταξης των υδροστροβίλων του ΜΥΗΣ Κάτω Προεσπέρας, ενώ παράλληλα καθορίζονται και οι προτεραιότητες ως προς την αξιοποίηση της διαθέσιμης αιολικής παραγωγής, αν δηλαδή αυτή θα χρησιμοποιηθεί απ' ευθείας στο δίκτυο ή για άντληση, ανάλογα με την τιμολόγηση των ενεργειών των διαφόρων συνιστωσών του ΥΒΕ.

- **Χειμερινή περίοδος (Οκτωβρίου-Μαΐου)**

Την περίοδο αυτή λειτουργεί και ο ΜΥΗΣ Προεσπέρας, όταν υπάρχει περίσσεια νερών στον ταμιευτήρα Πεζίου. Τις ημέρες χωρίς περίσσεια ισχύουν τα ίδια ακριβώς με την θερινή περίοδο. Τις ημέρες με περίσσεια νερών, η λογική διαχείρισης προτεραιοτήτων των δύο ΜΥΗΣ που υιοθετείται αποσκοπεί στη διατήρηση της δεξαμενής της Προεσπέρας σε πληρότητα αρκετά υψηλή, ώστε να αξιοποιούνται τα διαθέσιμα νερά του ταμιευτήρα, χωρίς όμως να τίθεται ζήτημα απόρριψης αιολικής παραγωγής προς άντληση εντός του ημερησίου κύκλου λειτουργίας. Το ποσοστό αυτό εδώ λαμβάνεται 85%, γεγονός που πρακτικά σημαίνει ότι το 85% της χωρητικότητας της δεξαμενής Προεσπέρας διατίθεται για την αξιοποίηση των πλεοναζόντων υδάτων του ταμιευτήρα, ενώ το υπόλοιπο 15% (12.000 m³ νερού περίπου) για αποθήκευση της αντλούμενης αιολικής παραγωγής. Η διατήρηση της συγκεκριμένης στάθμης φόρτισης της δεξαμενής επιτυγχάνεται με την εναλλαγή της προτεραιότητας φόρτισης των υδροστροβίλων των ΜΥΗΣ Προεσπέρας και Κάτω Προεσπέρας. Στο μοντέλο αναπαράστασης του συστήματος που κατασκευάστηκε, ο παραπάνω κανόνας λειτουργίας, ικανοποιείται με την αφαίρεση της **στήλης U** από την **στήλη S** του Πίνακα 6.1, όπου από τον αποθηκευμένο όγκο νερού για άντληση στην δεξαμενή Προεσπέρας αφαιρείται ο πρόσθετος όγκος νερού που προέρχεται από άντληση, σε περίπτωση που αυτός ξεπερνάει το 15%.



Σχήμα 4.2 Εσωτερική λειτουργία ΥΒΕ

Πίνακας 4.3 Επεξήγηση των συμβόλων του Σχήματος 4.2

ΕΠΕΞΗΓΗΣΗ ΣΥΜΒΟΛΩΝ	
Τ.Σ.Π.	// Τοπικός Σταθμός Παραγωγής
Φ. Πέζι	// Φράγμα στο Πέζι
ΜΥΗΣ1, ΜΥΗΣ2	// Μικρός Υδροηλεκτρικός Σταθμός 1 και 2 αντίστοιχα
Σ.Α.	// Σταθμός Άντλησης
Α.Π.	// Αιολικό πάρκο
Δ1, Δ2	// δεξαμενή Προεσπέρας 1 και 2 αντίστοιχα
Z	// (MW) ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας του νησιού
In	// (m^3/s) εισροές στο φράγμα (βροχόπτωση, εισροές από την λεκάνη απορροής)
Out	// (m^3/s) εκροές (Υ.Ρ. //ύδρευση Ραχών, Α.Ρ. //άρδευση Ραχών, Ο.Π. //οικολογική παροχή)
MinMEK	// (MW) τεχνικό ελάχιστο των μηχανών εσωτερικής καύσεως (ΜΕΚ) στο εργοστάσιο της Δ.Ε.Η., ελάχιστη ισχύς που πρέπει να δίνουν οι μηχανές της Δ.Ε.Η.
Q	// (m^3/s) παροχή νερού που τελικά κατεβαίνει από το Πέζι
Q_δ	// (m^3/s) παροχή σχεδιασμού των αγωγών και υδροστροβίλων
MP=MinPelton=0,13	// θεωρώ ότι ο υδροστροβίλος μπορεί να παράγει ενέργεια από παροχή τουλάχιστον ίση με το 13% της παροχής σχεδιασμού του
Y	// (m^3/s) διατιθέμενη παροχή από το Φ. Πέζι, προς εκμετάλλευση από το υβριδικό έργο, τηρώντας τους περιορισμούς που έχουν τεθεί σχετικά με τον ελάχιστο επιτρεπτό όγκο που πρέπει να διασφαλίζεται στο φράγμα και δίνοντας προτεραιότητα στην ύδρευση και άρδευση των Ραχών Ικαρίας καθώς και στην εξασφάλιση οικολογικής παροχής
Q_{E(1)}, Q_{E(2)}	// (m^3/s) εκμεταλλεύσιμη παροχή από τους υδροστροβίλους τηρώντας το τεχνικό ελάχιστο των υδροστροβίλων (MP)
Q_{αντλ.}	// (m^3/s) παροχή που δέχεται η δεξαμενή Δ1 από την άντληση
I1, I2, I_{Α.Π.}, I_Λ	// (MW) παραγόμενη ισχύς από τον ΜΥΗΣ1, ΜΥΗΣ2 , το Α.Π. Στραβοκουντούρας και την Α/Γ ΛΑΚΙΟΣ ΑΕ.
I_{λη}	// (MW) ισχύς από Α/Γ ΛΑΚΙΟΣ ΑΕ που προσφέρεται στο δίκτυο
A	// (m/s) ταχύτητα ανέμου
E_α	// (MW) προσφερόμενη αιολική ενέργεια για άντληση
E_σ	// (MW) προσφερόμενη αιολική ενέργεια απευθείας στο σύστημα για κατανάλωση
Π	// (MW) περίσσεια ενέργειας από ΜΥΗΣ1, ΜΥΗΣ2 και Α.Π.

5. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ, ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

5.1 Μοντέλα προσομοίωσης του συστήματος

5.1.1 Εισαγωγή

Προκειμένου να ελεγχθεί η αξιοπιστία και η ενεργειακή απόδοση του υβριδικού υδροηλεκτρικού συστήματος που μελετάται, επιχειρήθηκε η στοχαστική προσομοίωση δεδομένων για 50 χρόνια. Όπως θα δούμε αναλυτικότερα και στο επόμενο κεφάλαιο, στον αλγόριθμο αναπαράστασης του ενεργειακού ισοζυγίου του υβριδικού συστήματος που έχει κατασκευαστεί αρχικά για ένα χρόνο, σημαντικοί παράμετροι εισόδου είναι η χρονοσειρά παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας των ανεμογεννητριών και η χρονοσειρά απορροών από τον ταμιευτήρα στο Πέζι, ώστε να προκύψει ο διαθέσιμος όγκος νερού προς εκμετάλλευση για την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας από τους υποκείμενους σταθμούς. Στα υποκεφάλαια 5.2 έως 5.6 περιγράφονται αναλυτικά τα διαθέσιμα ιστορικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν αρχικά για την κατασκευή του μοντέλου αναπαράστασης ενός έτους και στην συνέχεια για την προσομοίωση αυτού για 50 χρόνια.

Ειδικότερα, για να προσομοιωθούν η ταχύτητα ανέμου και άρα η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας των ανεμογεννητριών, καθώς και οι βροχές στην λεκάνη απορροής του ταμιευτήρα για την διάρκεια 50 χρόνων, χρησιμοποιήθηκε το ευρέως γνωστό στοχαστικό μοντέλο παραγωγής συνθετικών χρονοσειρών **Bartlett-Lewis (RBLRPM)**, το οποίο και προσαρμόστηκε στα στατιστικά χαρακτηριστικά των διαθέσιμων ιστορικών χρονοσειρών. Στη συνέχεια, από τις πρωτογενείς χρονοσειρές των απορροών του ταμιευτήρα, εκτιμώνται με τη χρήση του μοντέλου «**Ζυγός**», οι παράμετροι του υδρολογικού ισοζυγίου της λεκάνης απορροής. Έπειτα, με την εκ νέου εισαγωγή των συνθετικών χρονοσειρών βροχόπτωσης στο «**Ζυγό**» και με δεδομένες πλέον τις παραμέτρους που αναφέρθηκαν παραπάνω, υπολογίζονται και οι συνθετικές χρονοσειρές των απορροών για 50 χρόνια.

5.1.2 Στοχαστικό μοντέλο προσομοίωσης Bartlett-Lewis

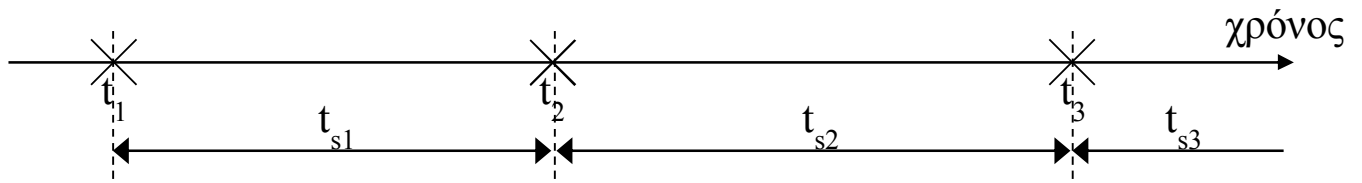
Προκειμένου να παραχθούν συνθετικές χρονοσειρές βροχόπτωσης, διατηρώντας την διαλείπουσα φύση της βροχής καθώς και την έντονη δομική εξάρτηση που παρουσιάζουν οι υδρολογικές μεταβλητές στις μικρές χρονικές κλίμακες (ημερήσια, ωριαία), χρησιμοποιήθηκε το στοχαστικό μοντέλο προσομοίωσης **Bartlett-Lewis**, το οποίο και δημιουργήθηκε για τον λόγο αυτό. Επιπλέον, το μοντέλο Bartlett-Lewis, αποτελεί μια βελτίωση του κλασικού μοντέλου ορθογωνικών παλμών **Bartlett – Lewis**, αφού κάλυψε την αδυναμία αυτού να προσομοιώνει ικανοποιητικά την πιθανότητα απουσίας βροχόπτωσης για μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Η περιγραφή του μοντέλου που ακολουθεί, αποτελείται από αποσπάσματα της διπλωματικής εργασίας «*Ανάπτυξη υπολογιστικού συστήματος για τον μονοδιάστατο στοχαστικό επιμερισμό ημερήσιων βροχοπτώσεων σε ωριαίες*» που αναπτύχθηκε στο ΕΜΠ (Κοσσιέρης, 2011).

Τα βασικά χαρακτηριστικά του μοντέλου ορθογωνικών παλμών Bartlett – Lewis (BLRPM) είναι τα εξής (Rodriguez-Iturbe et al., 1987, σελ. 279, Κοσσιέρης, 2011):

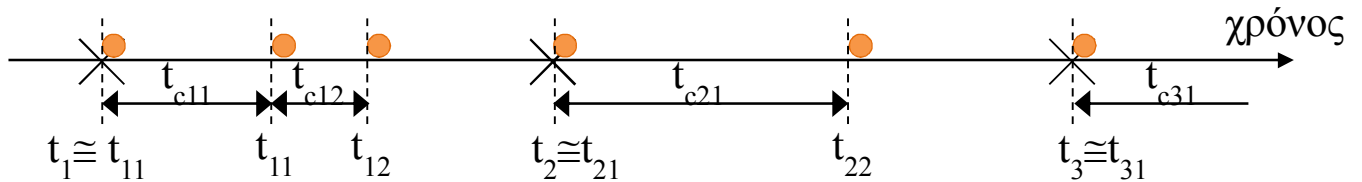
1. Μια αρχική ανέλιξη Poisson¹ με παράμετρο λ , η οποία καθορίζει τα χρονικά σημεία έναρξης των καταιγίδων, t_i . Εξ ορισμού τα χρονικά διαστήματα t_s είναι ανεξάρτητες τυχαίες μεταβλητές που ακολουθούν την εκθετική συνάρτηση κατανομής με παράμετρο λ .

¹ Η ανέλιξη Poisson με παράμετρο λ , αποτελεί μια ακολουθία τυχαίων σημείων t_n στο χρόνο, με την ιδιαιτερότητα ότι οι χρόνοι διαδοχής Δt_n είναι ανεξάρτητες τυχαίες μεταβλητές, που ακολουθούν την εκθετική συνάρτηση κατανομής με παράμετρο λ και συνεπώς ισχύει η σχέση $F(t) = P[\Delta t \leq t] = 1 - e^{-\lambda t}$, $\forall t \geq 0$. Αποδεικνύεται πως ο χρόνος άφιξης t_n μεταξύ n γεγονότων ακολουθεί τη (διπαραμετρική) γάμα κατανομή με συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας $f_{t_n}(t) = \lambda (\lambda t)^{n-1} \frac{e^{-\lambda t}}{(n-1)!}$, $t \geq 0$ και επιπλέον, ο αριθμός γεγονότων x σε

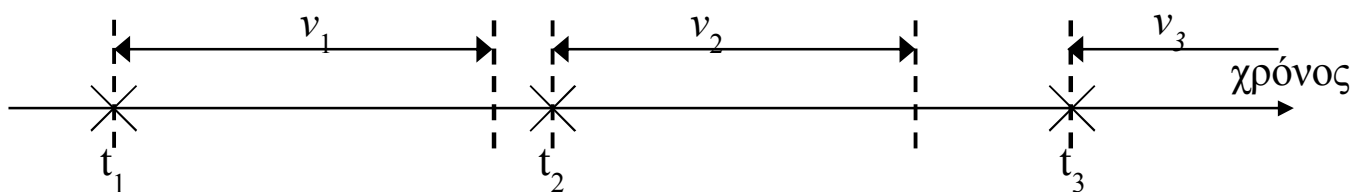
ξένα μεταξύ τους χρονικά διαστήματα είναι ανεξάρτητες τυχαίες μεταβλητές, που ακολουθούν την Poisson κατανομή με παράμετρο λt , όπου t το μήκος του χρονικού διαστήματος μελέτης με συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας $P(x) = \frac{e^{-\lambda t} (\lambda t)^x}{x!}$, $x = 0, 1, 2, \dots$. Ο κύριος λόγος που υιοθετείται η ανέλιξη Poisson για τη μαθηματική προσομοίωση της εμφάνισης βροχερών επεισοδίων, είναι η στοχαστική ανεξαρτησία των χρόνων διαδοχής Δt_n (Κουτσογιάννης 1988, Κοσσιέρης 2011).



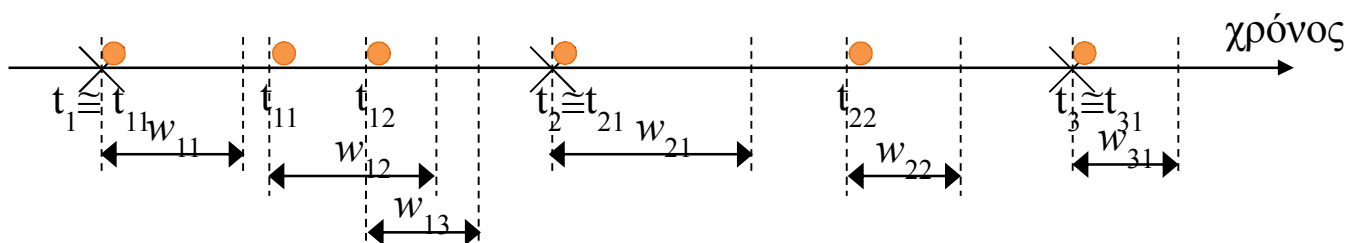
2. Μια δεύτερη ανέλιξη Poisson, ανεξάρτητη της πρώτης, με παράμετρο β , η οποία καθορίζει τα χρονικά σημεία έναρξης των ορθογωνικών παλμών, t_{ij} , κατά τη διάρκεια κάθε καταιγίδας, i . Όπως προκύπτει από τον ορισμό της Poisson ανέλιξης, στο BLRPM ως χρονικό σημείο αναφοράς για την έναρξη κάθε παλμού λαμβάνεται το σημείο έναρξης του αμέσως προηγούμενου του. Τα χρονικά διαστήματα, t_{cij} , που μεσολαβούν μεταξύ των αφίξεων των παλμών ακολουθούν την εκθετική κατανομή με παράμετρο β .



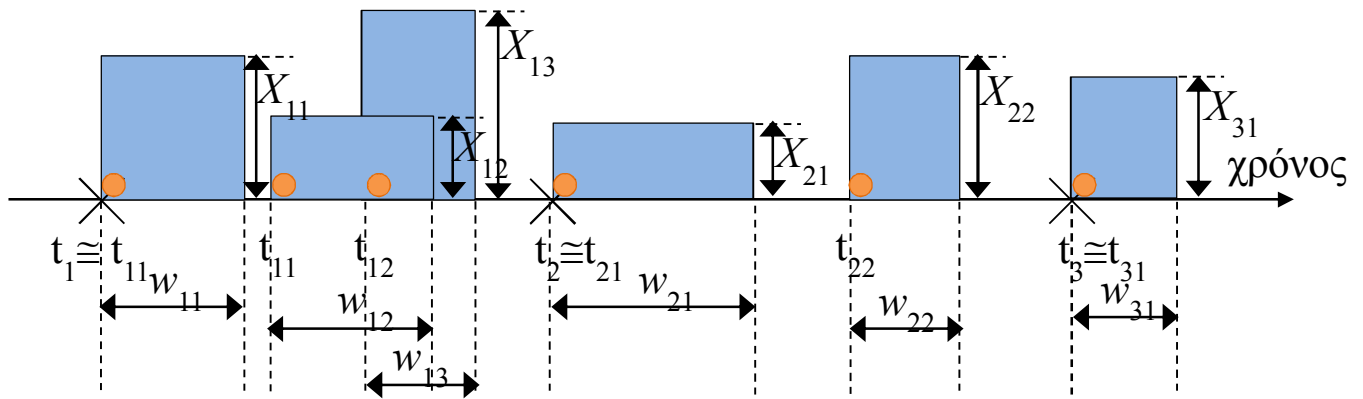
3. Ο συνολικός χρόνος παραγωγής ορθογωνικών παλμών σε κάθε καταιγίδα, v_i , δηλαδή το χρονικό «παράθυρο» μέσα στο οποίο βρίσκονται οι χρονικές αφετηρίες των παλμών κάθε καταιγίδας, i , αποτελεί ανεξάρτητη τυχαία μεταβλητή, που ακολουθεί την εκθετική κατανομή με παράμετρο γ .



4. Οι διάρκειες των παλμών, w_{ij} , είναι τυχαίες μεταβλητές, και ακολουθούν την εκθετική κατανομή με παράμετρο η .



5. Τέλος, για κάθε ορθογωνικό παλμό απαιτείται μια εκτίμηση του εντατικού μεγέθους (ένταση, ύψος), X_{ij} .



Προκειμένου ωστόσο, να γίνεται σωστή πρόγνωση των υγρών και ξηρών περιόδων αναπτύχθηκε, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω το τυχαίο μοντέλο RBLRPM, στο οποίο η τυχαία μεταβλητή, που αντιστοιχεί στη διάρκεια των ορθογωνικών παλμών, ακολουθεί εκθετική συνάρτηση κατανομής, αλλά με διαφορετική παράμετρο, $\eta^{(i)}$, για κάθε καταιγίδα, i .

Συνεπώς, η παράμετρος της εκθετικής κατανομής, $\eta^{(i)}$, αποκτά χαρακτήρα ανεξάρτητης τυχαίας μεταβλητής και η προτεινόμενη συνάρτηση κατανομής της είναι η διπαραμετρική κατανομή γάμα με παράμετρο σχήματος α και παράμετρο κλίμακας ν , έτσι ώστε (Rodriguez-Iturbe et al., 1988, σελ.284):

$$E[\eta] = \frac{\alpha}{\nu}, \quad Var[\eta] = \frac{\alpha}{\nu^2}, \quad \alpha > 1 \quad (5.1)$$

Η επιλογή της γάμα ως συνάρτησης κατανομής της παραμέτρου $\eta^{(i)}$, στηρίζεται στην ευελιξία που έχει να προσεγγίζει ικανοποιητικά ένα μεγάλο πλήθος άλλων κατανομών, ανάλογα με την τιμή που θα λάβει η παράμετρος σχήματός της, α . Ενώ ο περιορισμός, που υπαγορεύει παράμετρο σχήματος της γάμα κατανομής πάντα μεγαλύτερη της μονάδας, $\alpha > 1$, στην περίπτωση του RBLRPM, τίθεται για να εξασφαλίσει πεπερασμένες τιμές στο χρονικό εύρος των παλμών.

Έτσι οι παράμετροι σχήματος, α , και κλίμακας, ν , αποκτούν χαρακτήρα μεταβλητών επίλυσης στο μαθηματικό μοντέλο RBLRPM και οι τιμές τους προκύπτουν από την επίλυση του σχετικού μαθηματικού συστήματος, όπως αυτό ορίζεται παρακάτω.

Σύμφωνα με την αυστηρώς θεωρητική τεκμηρίωση του μοντέλου, ως ανεξάρτητες μεταβλητές επίλυσης θα έπρεπε να επιλεγούν και οι παράμετροι των εκθετικών κατανομών β και γ , όπως αυτές ορίστηκαν στο κλασικό μοντέλο Bartlett-Lewis. Σε αυτή τη περίπτωση, τα πηλίκα $1/\beta$ και $1/\gamma$, που αντιστοιχούν στη μέση διάρκεια της καταιγίδας και στη μέση χρονική απόσταση των σημείων άφιξης των ορθογωνικών παλμών αντίστοιχα, θα παρέμεναν ανεξάρτητα από τη μεταβαλλόμενη μέση χρονική διάρκεια των παλμών, $1/\eta_i$, ανά καταιγίδα. Όμως, η φυσική ερμηνεία μιας τέτοιας θεώρησης θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως μη ρεαλιστική, αφού μεγάλης διάρκειας καταιγίδες είναι λογικό να αποτελούνται από παλμούς, οι οποίοι έχουν μεγάλη διάρκεια και οι χρονικές τους αφετηρίες απέχουν περισσότερο (Rodriguez-Iturbe et al., 1988, σελ. 285). Προς αποκατάσταση της παραπάνω ανακολουθίας, οι Rodriguez-Iturbe et al. εισάγουν τις αδιαστατοποιημένες παραμέτρους:

$$\kappa = \frac{\beta_i}{\eta_i}, \quad \varphi = \frac{\gamma_i}{\eta_i} \quad (5.2)$$

σύμφωνα με τις οποίες, οι παράμετροι των δύο εκθετικών κατανομών β_i και γ_i , μεταβάλλονται σε κάθε καταιγίδα, i , εξαρτώμενες από την εκάστοτε τιμή της παραμέτρου η_i . Έτσι, στο RBLRPM οι παράμετροι κ και φ εισάγονται στη μαθηματική έκφραση του μοντέλου ως παράμετροι επίλυσης.

Όπως και στο κλασικό μοντέλο Bartlett-Lewis, έτσι και στο τυχαίο, υποθέτουμε πως η τυχαία μεταβλητή που περιγράφει το εντατικό μέγεθος (ύψος, ένταση), X , κάθε παλμού ακολουθεί την εκθετική συνάρτηση κατανομής, με μέση τιμή μ_X . Ενώ, για τη τυχαία μεταβλητή, C , που περιγράφει τον αριθμό παλμών ανά καταιγίδα υιοθετείται η γεωμετρική κατανομή με μέση τιμή :

$$\mu_C = 1 + \frac{\kappa}{\varphi} \quad (5.3)$$

Συνεπώς, η παράμετρος μ_C είναι εξαρτημένο μέγεθος και αποτελεί συνάρτηση των αδιάστατων μεγεθών κ και φ .

Με τις παραδοχές που προηγήθηκαν, όσον αφορά στις συναρτήσεις κατανομής που επιλέγονται για την περιγραφή των βασικών στατιστικών παραμέτρων του μοντέλου, καταφέρνουμε να περιορίσουμε το πλήθος των ανεξάρτητων μεταβλητών επίλυσης στο ελάχιστο δυνατό. Οι έξι μεταβλητές επίλυσης είναι οι εξής:

$$\lambda, \alpha, \nu, \kappa, \varphi, \mu_X$$

Για να λάβουμε μια διακριτή χρονοσειρά υψών βροχής, $Y_i^{(h)}$, απαιτείται η χρονική ολοκλήρωση των εντάσεων των παλμών σε διακριτά, σταθερά χρονικά διαστήματα, h :

$$Y_i^{(h)} = \int_{(i-1)h}^{ih} Y(s) ds, \quad i = 1, 2, \dots \quad (5.4)$$

Οι αναλυτικές μαθηματικές σχέσεις του μοντέλου BLRPM δίνουν τις ροπές 1^{ης} και 2^{ης} τάξης, καθώς και την πιθανότητα απουσίας βροχόπτωσης, $P(Y_i^{(h)} = 0)$, της διακριτής χρονοσειράς υψών βροχής, $Y_i^{(h)}$, για μια δεδομένη χρονική κλίμακα h , και μια δεδομένη υστέρηση k (Rodriguez-Iturbe et al., 1987, σελ. 285):

$$E[Y_i^{(h)}] = \lambda h \mu_X \nu \frac{1 + (\kappa / \varphi)}{\alpha - 1} \quad (5.5)$$

$$\begin{aligned} Var[Y_i^{(h)}] = & 2A_1 \left\{ (a-3)h\nu^{2-\alpha} - \nu^{3-\alpha} + (\nu+h)^{3-a} \right\} \\ & - 2A_2 \left\{ \varphi(\alpha-3)h\nu^{2-\alpha} - \nu^{3-\alpha} + (\nu+\varphi h)^{3-a} \right\} \end{aligned} \quad (5.6)$$

$$\begin{aligned} Cov[Y_i^{(h)}, Y_{i+k}^{(h)}] = & A_1 \left\{ [\nu + (k+1)h]^{3-\alpha} - 2(\nu+kh)^{3-a} + [\nu + (k-1)h]^{3-a} \right\} \\ & - A_2 \left\{ [\nu + (k+1)\varphi h]^{3-\alpha} - 2(\nu+hk\varphi)^{3-a} + [\nu + (k-1)h\varphi]^{3-a} \right\} \end{aligned} \quad (5.7)$$

όπου A_1 και A_2 οι ισότητες:

$$A_1 = \frac{\lambda \mu_c v^\alpha}{(\alpha-1)(\alpha-2)(\alpha-3)} \left[E(X^2) + \frac{\kappa \varphi \mu_x^2}{\varphi^2 - 1} \right] \quad (5.8)$$

$$A_2 = \frac{\lambda \mu_c \kappa \mu_x^2 v^\alpha}{\varphi^2 (\varphi^2 - 1) (\alpha-1) (\alpha-2) (\alpha-3)} \quad (5.9)$$

Η πιθανότητα απουσίας βροχόπτωσης για περίοδο h δίνεται από τη σχέση:

$$P(Y_i^{(h)} = 0) = \exp \left\{ -\lambda h - \lambda \mu_\tau + \lambda G_p^*(0,0) \left[\frac{\varphi + \kappa \left(\frac{v}{v + (\kappa + \varphi) h} \right)^{\alpha-1}}{\varphi + \kappa} \right] \right\} \quad (5.10)$$

όπου μ_τ και $G_p^*(0,0)$ οι εξισώσεις:

$$\mu_\tau \cong E \left[\frac{1}{\eta} \right] \frac{1}{\varphi} \left\{ 1 + \varphi(\kappa + \varphi) - \frac{1}{4} \varphi(\kappa + \varphi)(\kappa + 4\varphi) + \frac{1}{72} \varphi(\kappa + \varphi)(4\kappa^2 + 27\kappa\varphi + 72\varphi^2) \right\} \quad (5.11)$$

$$G_p^*(0,0) \cong E \left[\frac{1}{\eta} \right] \frac{1}{\varphi} \left\{ 1 - \kappa - \varphi + \frac{3}{2} \kappa\varphi + \varphi^2 + \frac{1}{2} \kappa^2 \right\} \quad (5.12)$$

Από τις παραδοχές που έγιναν νωρίτερα λαμβάνουμε τις εξής ισότητες:

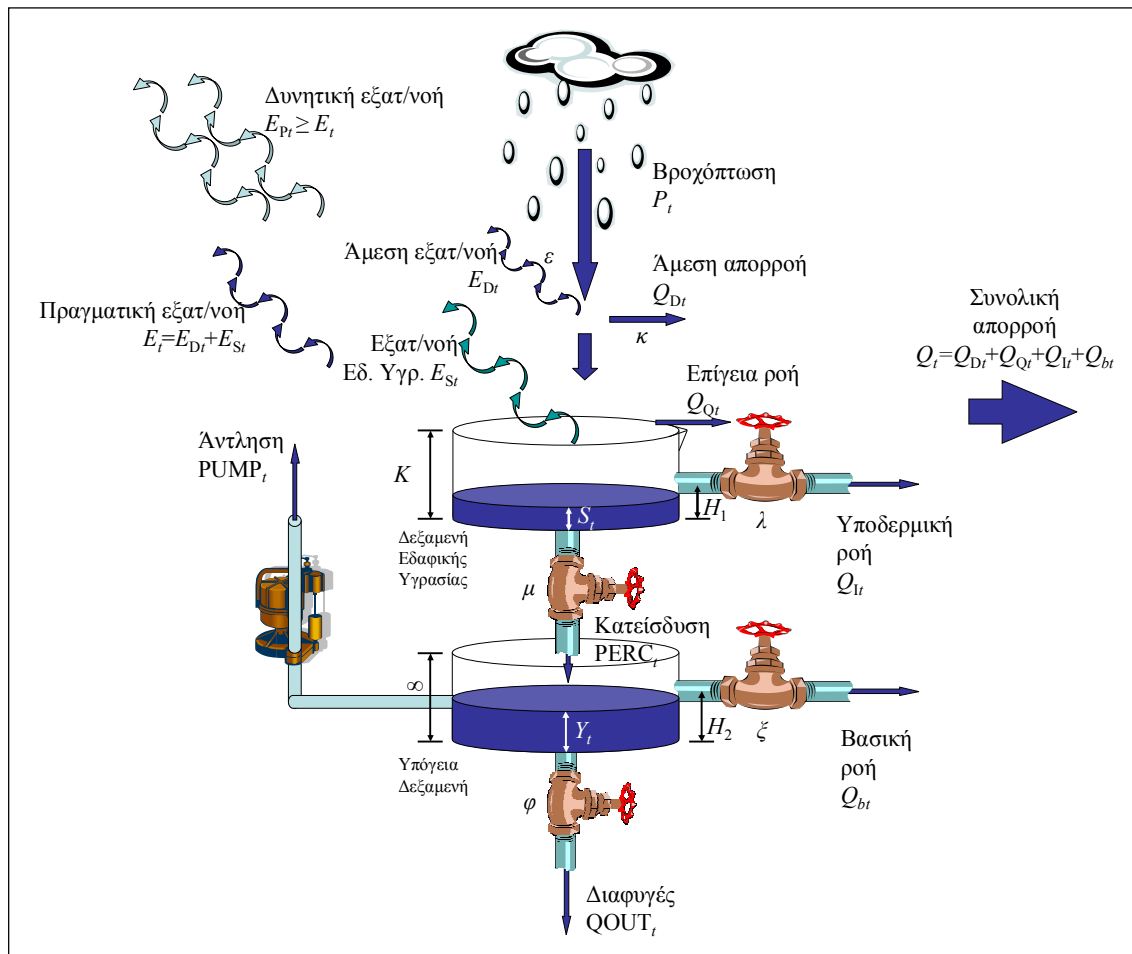
$$\kappa = \frac{\beta_i}{\eta_i}, \quad \varphi = \frac{\gamma_i}{\eta_i}, \quad \mu_c = E[C] = 1 + \frac{\kappa}{\varphi}, \quad E[X^2] = 2E[X] = 2\mu_x^2 \quad (5.13)$$

Η επιτυχία ενός θεωρητικού μοντέλου προσομοίωσης έγκειται στην διατήρηση των στατιστικών χαρακτηριστικών της ιστορικής χρονοσειράς και εξαρτάται φυσικά από τον βαθμό πολυπλοκότητάς του, δηλαδή τον αριθμό των παραμέτρων που το χαρακτηρίζουν.

5.1.3 Το μοντέλο «Ζυγός»

Στη συνέχεια, για την προσομοίωση του υδρολογικού ισοζυγίου της υπό μελέτη λεκάνης απορροής καθώς και για τον υπολογισμό των νέων απορροών που αντιστοιχούν στις συνθετικές χρονοσειρές βροχοπτώσεων χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο «**Ζυγός**», το οποίο έχει αναπτυχθεί στο ΕΜΠ (Ευστρατιάδης κ.ά., 2004, 2005, Ρόζος κ.α., 2004) και έχει τύχει ευρείας εφαρμογής διεθνώς. Η περιγραφή του μοντέλου που ακολουθεί αποτελεί απόσπασμα από την εργασία «ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΓΙΑ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΥΔΡΟΓΝΩΜΩΝ-ΕΚΔΟΣΗ 4», 2010, της ερευνητικής ομάδας «ΙΤΙΑ» του ΕΜΠ, της σχολής Πολιτικών Μηχανικών, στον τομέα Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος.

Στο Σχήμα 5.1 απεικονίζεται η λειτουργία του μοντέλου. Οι κρουνοί αναπαριστούν τις αδιάστατες παραμέτρους, όπου μία μηδενική τιμή αντιπροσωπεύει έναν κλειστό κρουνο που δεν επιτρέπει την ροή, ενώ μία τιμή κοντά στην μονάδα αντιπροσωπεύει την δυνατότητα πλήρους στράγγισης. Έτσι θέτοντας κάποιες αδιάστατες παραμέτρους σταθερά μηδενικές (κλείσιμο των κρουνών), έχουμε την δυνατότητα να απλοποιήσουμε το μοντέλο μειώνοντας τους βαθμούς ελευθερίας.



Σχήμα 5.1 Σχηματική παράσταση μοντέλου βροχόπτωσης – απορροής «Ζυγός» (πηγή: Ερευνητική ομάδα «ΙΤΙΑ», 2010)

Δεδομένα εισόδου του συγκεκριμένου μοντέλου είναι οι χρονοσειρές βροχόπτωσης, P_t , δυνητικής εξατμοδιαπνοής, E_{Pt} , καθώς και απόληξης υπόγειου νερού $PUMP_t$. Όλες οι χρονοσειρές θεωρούνται ολοκληρωμένες σε κλίμακα λεκάνης και δίνονται στη μορφή ισοδύναμου ύψους νερού. Η υπόγεια απόληξη θεωρείται ίση με την αντλούμενη ποσότητα από τις γεωτρήσεις στο σύνολο του υδροφορέα.

Στην πλήρη μορφή του, το μοντέλο εκτιμά:

- την απορροή στην έξοδο της λεκάνης, Q_t .
- την πραγματική εξατμοδιαπνοή, E_t .
- την κατείδυση νερού προς τον υπόγειο υδροφορέα, $PERC_t$.
- τις διαφυγές εκτός λεκάνης, Q_{OUT_t} .
- την αποθήκευση εδαφικής υγρασίας, S_t .

- την αποθήκευση υπόγειου νερού, Y_t

Τα παραπάνω μεγέθη εξάγονται από τον «Υδρογνώμων» σε μορφή χρονοσειρών ιδίου χρονικού βήματος με τις χρονοσειρές εισόδου. Ειδικότερα, η απορροή περιλαμβάνει τέσσερις συνιστώσες, ήτοι:

- την άμεση απορροή, Q_{Dt} , που οφείλεται στην ύπαρξη αδιαπέρατων σχηματισμών, μέσω των οποίων ποσοστό της βροχής μετατρέπεται άμεσα σε απορροή·
- την επίγεια ροή, Q_{Qt} , που είναι μια ταχεία απόκριση που οφείλεται στον κορεσμό του εδάφους·
- την υποδερμική ροή, Q_{It} , που είναι μια αργή απόκριση που οφείλεται στην πλευρική (οριζόντια) κίνηση του νερού που εισχωρεί στο έδαφος·
- τη βασική ροή, Q_{bt} , ήτοι την απόκριση των κατώτερων εδαφικών στρωμάτων (υδροφορέας), μέσω πηγών.

Η πραγματική εξατμοδιαπνοή, που είναι εξ ορισμού μικρότερη ή ίση με τη δυνητική και θεωρείται υδρολογική απώλεια, περιλαμβάνει δύο συνιστώσες:

- την άμεση εξατμοδιαπνοή, E_{Dt} , που αναφέρεται στον ταχύ μετασχηματισμό μέρους της βροχόπτωσης σε απώλειες λόγω εξάτμισης, και
- την εδαφική εξατμοδιαπνοή, E_{St} , που αναφέρεται στην ικανοποίηση του ελλείμματος της δυνητικής εξατμοδιαπνοής μέσω της διαθέσιμης εδαφικής υγρασίας.

Η κατείδυση ή βαθιά διήθηση, $PERC_t$, αναφέρεται στην κατακόρυφη μεταφορά νερού από τα ανώτερα (ακόρεστη ζώνη) προς τα κατώτερα (κορεσμένη ζώνη) στρώματα του εδάφους. Οι διαφυγές εκτός λεκάνης αναφέρονται στο σύνολο των λοιπών υδρολογικών απωλειών, που οφείλονται στην πλευρική τροφοδοσία γειτονικών υδροφορέων ή την εκροή νερού προς τη θάλασσα.

Η αποθήκευση εδαφικής υγρασίας και η αποθήκευση υπόγειου νερού είναι μεταβλητές κατάστασης του μοντέλου, που προϋποθέτουν γνώση των αρχικών συνθηκών S_0 και Y_0 , αντίστοιχα. Επισημαίνεται ότι εφόσον η προσομοίωση ξεκινά στην αρχή του υδρολογικού έτους, η αρχική τιμή της εδαφικής υγρασίας μπορεί να θεωρηθεί ίση με μηδέν (όχι όμως η Y_0).

Οι παράμετροι του μοντέλου δίνονται συνοπτικά στον ακόλουθο Πίνακα 5.1

Πίνακας 5.1: Παράμετροι του μοντέλου βροχόπτωσης – απορροής «Ζυγός»

Παράμετρος	Περιγραφή	Διαστάσεις
ε	Ποσοστό βροχόπτωσης που διατίθεται για ικανοποίηση της άμεσης εξατμοδιαπνοής	Αδιάστατο
κ	Ποσοστό της περίσσειας βροχόπτωσης που εμφανίζεται ως άμεση απορροή	Αδιάστατο
K	Χωρητικότητα Δεξαμενής Εδαφικής Υγρασίας	[L]
λ	Ρυθμός εκφόρτισης Δεξαμενής Εδαφικής Υγρασίας για παραγωγή υποδερμικής ροής	Αδιάστατο
H_1	Κατώφλι αποθέματος Δεξαμενής Εδαφικής Υγρασίας για παραγωγή υποδερμικής ροής	[L]
μ	Ρυθμός εκφόρτισης Δεξαμενής Εδαφικής Υγρασίας για παραγωγή κατείσδυσης	Αδιάστατο
ξ	Ρυθμός εκφόρτισης Δεξαμενής Υπόγειου Νερού για παραγωγή βασικής ροής	Αδιάστατο
H_2	Κατώφλι αποθέματος Δεξαμενής Υπόγειου Νερού για παραγωγή βασικής ροής	[L]
φ	Ρυθμός εκφόρτισης Δεξαμενής Υπόγειου Νερού για παραγωγή υπόγειας διαφυγής	Αδιάστατο
S_0	Αρχικό απόθεμα Δεξαμενής Εδαφικής Υγρασίας	[L]
Y_0	Αρχικό απόθεμα Δεξαμενής Υπόγειου Νερού	[L]

- **Περιγραφή υπολογιστικής διαδικασίας**

- **Διεργασίες επιφανειακής υδρολογίας**

Η υπολογιστική διαδικασία εφαρμογής του μοντέλου έχει ως εξής: Έστω ότι στην αρχή της περιόδου t είναι γνωστές οι εισοδοί του μοντέλου, ήτοι η βροχόπτωση, P_t , και η δυνητική εξατμοδιαπνοή, E_{Pt} . Αρχικά εκτιμάται η άμεση εξατμοδιαπνοή από τη σχέση:

$$E_{Dt} = \min (\varepsilon P_t, E_{Pt}) \quad (5.14)$$

όπου ε το ποσοστό της βροχόπτωσης που μπορεί να μετατραπεί σε άμεση εξατμοδιαπνοή.

Η περίσσεια της βροχόπτωσης πέραν της άμεσης εξατμοδιαπνοής μετατρέπεται κατά ένα ποσοστό κ σε άμεση απορροή Q_{Dt} ως εξής:

$$Q_{Dt} = \kappa (P_t - E_{Dt}) \quad (5.15)$$

Κατά συνέπεια, η διαθέσιμη εδαφική υγρασία, S_{init} , προκύπτει ως άθροισμα της αποθηκευμένης εδαφικής υγρασίας, S_{t-1} , και της περίσσειας βροχόπτωσης, ήτοι:

$$S_{init} = S_{t-1} + P_t - E_{Dt} - Q_{Dt} \quad (5.16)$$

Εφόσον η διαθέσιμη εδαφική υγρασία ξεπερνά τη χωρητικότητα της δεξαμενής εδαφικής υγρασίας K , η περίσσεια απορρέει ως επίγεια ροή Q_{Qt}

$$Q_{Qt} = \max(0, S_{init} - K) \quad (5.17)$$

Η διαθέσιμη εδαφική υγρασία μειώνεται ως εξής:

$$S_{init} = S_{init} - Q_{Qt} \quad (5.18)$$

Στη συνέχεια, θεωρείται η εξατμοδιαπνοή από την εδαφική υγρασία σύμφωνα με την κλασική προσέγγιση του μοντέλου Thornthwaite. Το έλλειμμα ικανοποίησης της ζήτησης για εξατμοδιαπνοή D είναι:

$$D = E_{Pt} - E_{Dt} \quad (5.19)$$

ενώ η εδαφική εξατμοδιαπνοή, που εξαρτάται από το ποσοστό πλήρωσης της δεξαμενής εδαφικής υγρασίας και το έλλειμμα D , υπολογίζεται μέσω της σχέσης:

$$E_{St} = S_{init} (1 - e^{-D/K}) \quad (5.20)$$

Αυτό μειώνει περαιτέρω την εδαφική υγρασία, ήτοι:

$$S_{init} = S_{init} - E_{St} \quad (5.21)$$

Ακολουθεί η πραγματοποίηση της υποδερμικής ροής:

$$Q_{It} = \max\{0, \lambda (S_{init} - H_1)\} \quad (5.22)$$

όπου H_1 είναι το κατώφλι άνω του οποίου πραγματοποιείται η διεργασία και λ παράμετρος.

Αυτό μειώνει περαιτέρω την εδαφική υγρασία, ήτοι:

$$S_{init} = S_{init} - Q_{It} \quad (5.23)$$

Ως τελευταία διεργασία για τη δεξαμενή εδαφικής υγρασίας είναι η κατείδυση στον υπόγειο υδροφορέα $PERC_t$:

$$PERC_t = \max(0, \mu S_{init}) \quad (5.24)$$

όπου μ παράμετρος. Αυτό μειώνει την εδαφική υγρασία ως εξής:

$$S_{init} = S_{init} - PERC_t \quad (5.25)$$

➤ Διεργασίες υπόγειας υδρολογίας

Η δεξαμενή του υπόγειου νερού με αρχικό απόθεμα Y_{t-1} δέχεται την κατείδυση $PERC_t$ από τη δεξαμενή εδαφικής υγρασίας καθώς και υφίσταται απόληψη νερού ίση με την αντλούμενη ποσότητα από τις θεωρούμενες γεωτρήσεις στο σύνολο του υδροφορέα $PUMP_t$. Το διαθέσιμο για περαιτέρω διεργασίες απόθεμα στη δεξαμενή Y_{init} είναι

$$Y_{init} = Y_{t-1} + PERC_t - PUMP_t \quad (5.26)$$

Εφόσον το διαθέσιμο απόθεμα υπόγειου νερού υπερβαίνει ένα κατώφλι H_2 παράγεται βασική ροή Q_{Bt} σύμφωνα με την σχέση:

$$Q_{Bt} = \max\{0, \xi (Y_{init} - H_2)\} \quad (5.27)$$

όπου H_2 είναι το κατώφλι άνω του οποίου πραγματοποιείται η διεργασία και ξ παράμετρος.

Αυτό μειώνει περαιτέρω το διαθέσιμο απόθεμα υπόγειου νερού ως εξής:

$$Y_{init} = Y_{init} - Q_{Bt} \quad (5.28)$$

Ως τελευταία διεργασία για τη δεξαμενή εδαφικής υγρασίας είναι η διαφυγή εκτός λεκάνης $QOUT_t$:

$$QOUT_t = \varphi Y_{init} \quad (5.29)$$

όπου φ παράμετρος. Το διαθέσιμο απόθεμα υπόγειου νερού μειώνεται ως εξής:

$$Y_{init} = Y_{init} - QOUT_t \quad (5.30)$$

Στη συνέχεια, προκειμένου να ελεγχθεί η προσαρμογή του μοντέλου στα ιστορικά δεδομένα, εξετάζεται η *αποτελεσματικότητα* του μοντέλου, η οποία εκφράζεται από τον δείκτη *Nash-Sutcliffe* (Nash and Sutcliffe, 1970) και δίνεται από την σχέση:

$$EFF = 1 - \frac{\sum_{t=1}^T (y_t - y'_t)^2}{\sum_{t=1}^T (y_t - \bar{y})^2} \quad (5.31)$$

όπου y_t η παρατηρημένη και y'_t η προσομοιωμένη τιμή της μεταβλητής y , ενώ \bar{y} η μέση τιμή της παρατηρημένης χρονοσειράς. Για την προσομοίωση της απορροής εξόδου μιας λεκάνης, ικανοποιητικές θεωρούνται οι τιμές της τάξης 0.80-0.90, ενώ τιμές της τάξης 0.30 θεωρούνται οριακές για την αποδοχή ενός μοντέλου ως αντιπροσωπευτικού του φυσικού συστήματος (Ευστρατιάδης κ.α., 2009).

Τα παραπάνω προγράμματα υλοποιήθηκαν και εκτελέστηκαν σε προγραμματιστικό περιβάλλον **R**, μια γλώσσα προγραμματισμού επεξεργασίας δεδομένων, υπολογισμών και γραφημάτων που περιλαμβάνει μοντέρνες και παλιές στατιστικές μεθοδολογίες (Kossieris et al, 2012).

Τέλος, ως μέθοδο αυτόματης βαθμονόμησης ο «Υδρογνώμων» υποστηρίζει τον εξελικτικό **αλγόριθμο ανόπτωσης-απλόκου** (evolutionary annealing-simplex method), που είναι μια ισχυρή μέθοδος μη γραμμικής βελτιστοποίησης, η οποία έχει αναπτυχθεί από ερευνητική ομάδα του ΕΜΠ (Ευστρατιάδης, 2001· Efstratiadis and Koutsoyiannis, 2002· Rozos et al, 2004). Πρόκειται για μια ευρετική τεχνική ολικής βελτιστοποίησης, που βασίζεται σε τρεις γνωστές τεχνικές βελτιστοποίησης, και συγκεκριμένα:

- μια στρατηγική εξελικτικής αναζήτησης (Duan et al., 1992), μέσω της οποίας παράγεται ένας αρχικός πληθυσμός τυχαίων εφικτών σημείων, η «μέση» καταλληλότητα του οποίου βελτιώνεται κατά τη διερεύνηση του εφικτού χώρου·
- ένα σύνολο κανόνων εξέλιξης του παραπάνω πληθυσμού, που χρησιμοποιούν ως βάση ένα γενικευμένο σχήμα κατερχόμενου απλόκου (Nelder and Mead, 1965)·
- μια τεχνική προσομοιωμένης ανόπτωσης (Kirkpatrick et al., 1983), βάσει της οποίας ρυθμίζεται ο βαθμός τυχειότητας στην αξιολόγηση των εναλλακτικών λύσεων κατά την διαδικασία αναζήτησης.

5.2 Βροχομετρικά δεδομένα

Εξαιτίας της έλλειψης ιστορικών ημερήσιων δεδομένων βροχόπτωσης στην Ικαρία, που είναι απαραίτητα για τη γένεση συνθετικών χρονοσειρών σε ημερήσια κλίμακα, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, επιχειρήθηκε η προσαρμογή των ημερήσιων βροχών της Σάμου κατά τη διάρκεια των ετών 1997, 1998 και 1999, όπως αυτές δίνονται από το Μηνιαίο Κλιματικό Δελτίο της ΕΜΥ, με τις μηνιαίες βροχές, δοσμένες από την ΔΕΗ-ΔΑΥΕ, της ίδιας περιόδου της Ικαρίας, ελέγχοντας παράλληλα και τις ημερήσιες εισροές στον ταμιευτήρα στο Πέζι πάλι για το ίδιο χρονικό διάστημα, όπως δόθηκαν από την ΔΕΗ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΑΕ. Στο Παράρτημα Α, στους Πίνακες Α.1 και Α.2, φαίνονται λεπτομερώς τα δεδομένα από την ΕΜΥ και την ΔΕΗ. Οι επεξεργασμένες βροχοπτώσεις, όπως χρησιμοποιήθηκαν από το μοντέλο για την γένεση των συνθετικών χρονοσειρών φαίνονται στον Πίνακα Α.3, ενώ στον Πίνακα Β.2 του Παραρτήματος Β δίνονται τα στατιστικά τους χαρακτηριστικά.

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε η προσομοίωση των ιστορικών επεξεργασμένων χρονοσειρών βροχόπτωσης και η παραγωγή τελικά συνθετικών για 50 χρόνια, με τη χρήση του τυχαίου μοντέλου Bartlett-Lewis. Κατά την βαθμονόμηση του μοντέλου, για την εκτίμηση των απαιτούμενων παραμέτρων, όπως αναφέρθηκαν αναλυτικά στο εδάφιο 5.1.2, προέκυψαν τα αποτελέσματα του Πίνακα Β.1, ενώ στον Πίνακα Β.2 φαίνονται τα στατιστικά χαρακτηριστικά των συνθετικών χρονοσειρών, όπως αυτά παράχθηκαν από το μοντέλο. Συγκρίνοντας τα στατιστικά χαρακτηριστικά των δύο χρονοσειρών του Πίνακα Β.2, κρίνεται επιτυχής η προσομοίωση των βροχομετρικών δεδομένων από το συγκεκριμένο μοντέλο, αφού όπως παρατηρείται διατηρούνται ικανοποιητικά τα στατιστικά χαρακτηριστικά των ιστορικών χρονοσειρών.

5.3 Εξατμοδιαπνοή

Στην προσπάθεια να εκτιμηθεί το υδατικό ισοζύγιο της λεκάνης απορροής από το μοντέλο «Ζυγός», βασική παράμετρος εισόδου ήταν η δυνητική εξατμοδιαπνοή, E_{pt} . Ο υπολογισμός της εξατμοδιαπνοής έγινε με την μέθοδο των Penman-Monteith σε μηνιαία κλίμακα, με τη βοήθεια του λογισμικού «Υδρογνώμονας», ενώ στη συνέχεια προκειμένου να αποτελέσει

παράμετρο εισόδου για το μοντέλο «Ζυγός» που πραγματοποιήθηκε σε ημερήσια κλίμακα, η μηνιαία εξατμοδιαπνοή κατανεμήθηκε εξίσου στις ημέρες κάθε μήνα και θεωρήθηκε ίδια για κάθε έτος προσομοίωσης. Για την εφαρμογή της παραπάνω μεθόδου απαιτούνται οι εξής χρονοσειρές:

- Μέση θερμοκρασία T_a , °C
- Σχετική υγρασία U , %
- Σχετική ηλιοφάνεια n/N , % (όπου n , η διάρκεια ηλιοφάνειας και N , η αστρονομική διάρκεια της ημέρας)
- Ταχύτητα ανέμου u , m/s.

ενώ, τελικά η δυνητική εξατμοδιαπνοή δίνεται από τη σχέση:

$$E' = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma'} \frac{R_n}{\lambda} + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma'} F(u) D \quad (5.32)$$

όπου Δ η κλίση καμπύλης πίεσης κορεσμού υδρατμών, γ' ο ανηγμένος ψυχομετρικός συντελεστής, R_n η ολική καθαρή ενέργεια ακτινοβολίας στην επιφάνεια της γης, λ η λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης, $F(u)$ η συνάρτηση ανέμου και D το έλλειμμα κορεσμού.

Η χρονοσειρά της μέσης θερμοκρασίας, σχετικής υγρασίας και σχετικής ηλιοφάνειας προήλθαν από δεδομένα που Μηνιαίου Κλιματικού Δελτίου της ΕΜΥ, για την περίοδο Μάιος 1997 έως Δεκέμβριο 1999, όπως φαίνονται στους Πίνακες Α.1 και Α.4 (περίοδο για την οποία υπάρχουν και δεδομένα εισροών) στο νησί της Σάμου, το πλησιέστερο με εγκατεστημένο μετεωρολογικό σταθμό, στην Ικαρία. Ταχύτητες ανέμου για την περίοδο αυτή προέκυψαν από την αναπαραγωγή των μέσων μηνιαίων ταχυτήτων ανέμου στο νησί της Ικαρίας, οι οποίες προήλθαν από κλιματολογικό δελτίο της ΕΜΥ, όπως φαίνονται στον Πίνακα Α.4.

Πιο συγκεκριμένα, η χρονοσειρά της μέσης θερμοκρασίας είναι μετρήσεις από τον μετεωρολογικό σταθμό που βρίσκεται εγκατεστημένος στο αεροδρόμιο της Σάμου και σε υψόμετρο πρακτικά μηδέν. Προκειμένου λοιπόν, η θερμοκρασία να είναι πιο αντιπροσωπευτική για την περιοχή της λεκάνης απορροής που βρίσκεται σε μέσο υψόμετρο 669,2 m, η δεδομένη χρονοσειρά θερμοκρασίας (δεύτερη στήλη από την αρχή του Πίνακα Α.4), μετασχηματίστηκε θεωρώντας εμπειρικά ότι αυξανόμενου του ύψους

κατά 1000 m, μειώνεται η θερμοκρασία κατά 6°C. Έτσι, προέκυψε η έβδομη στήλη από την αρχή του Πίνακα Α.4, η οποία και χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό της εξατμοδιαπνοής.

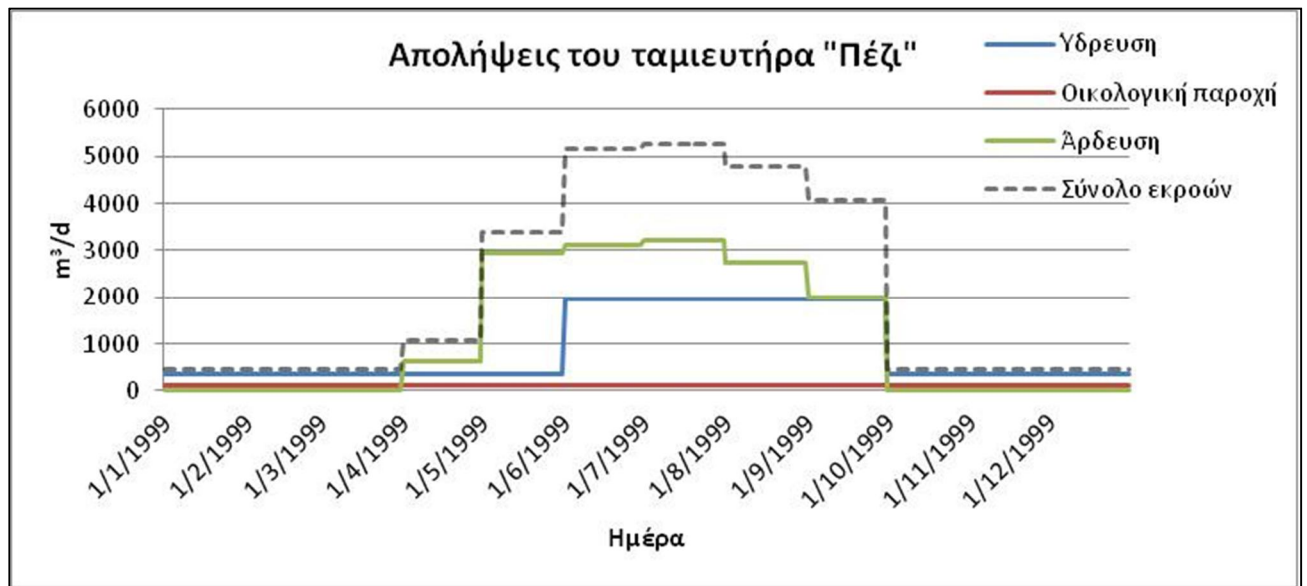
Τέλος, η σχετική ηλιοφάνεια επί της εκατό υπολογίστηκε με βάση τη χρονοσειρά νέφωσης σε όγδοα, την οποία είχαμε ως δεδομένη.

5.4 Υδρολογικά δεδομένα

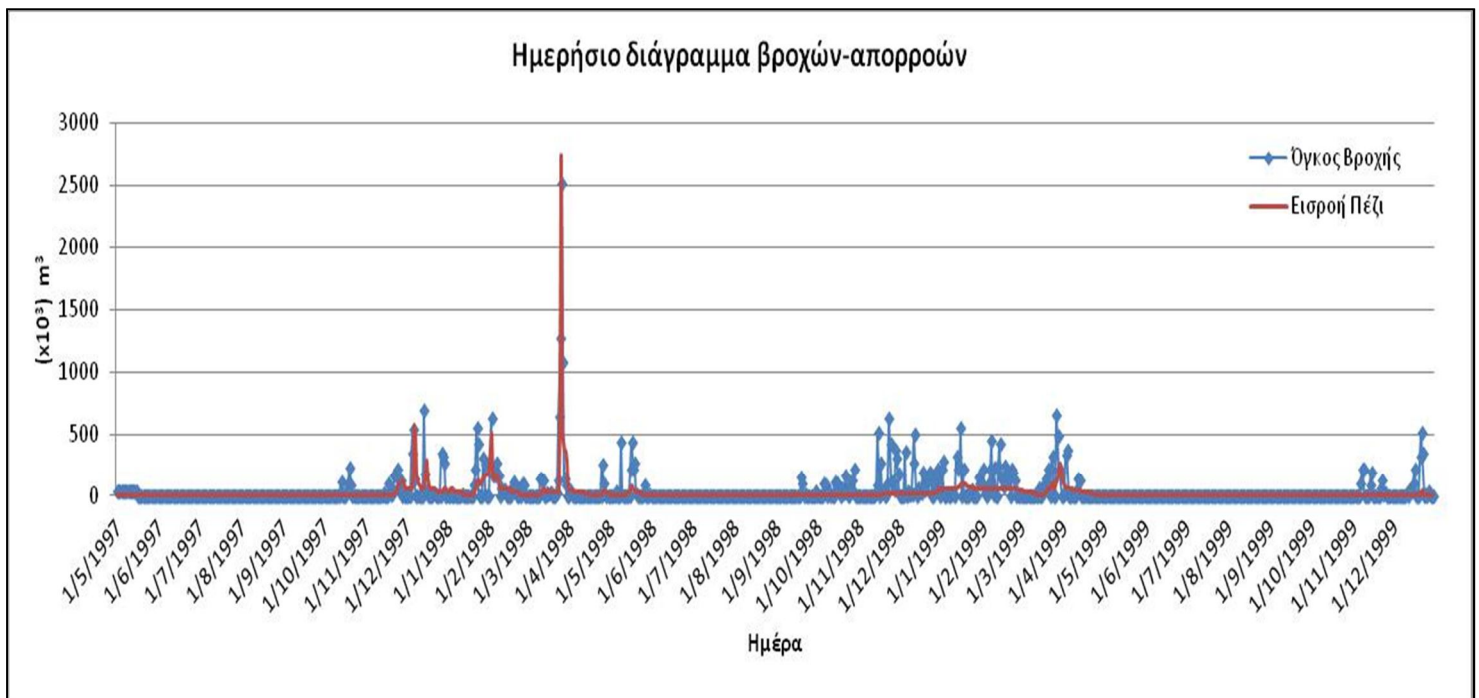
Απαραίτητα δεδομένα για την επιτυχή προσομοίωση του υδρολογικού ισοζυγίου του φράγματος στο Πέζι, ήταν οι απορροές του ταμιευτήρα οι οποίες θεωρήθηκαν ίσες με τις εισροές. Οι εισροές, όπως φαίνονται στον Πίνακα Α.1, διαθέσιμες από την ΔΕΗ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΑΕ., είναι εκείνες της περιόδου Μάιος 1997-Δεκέμβριος 1999, οι οποίες υπολογίστηκαν με βάση τις μετρήσεις στάθμης που λαμβάνονταν σε ημερήσιο βήμα από δύο υδατορεύματα, τα οποία συμβάλλουν λίγο πριν τη θέση του φράγματος. Ταυτόχρονα λαμβάνονταν μετρήσεις στάθμης και στον υπερχειλιστή του φράγματος στο ίδιο χρονικό βήμα.

Για την εύρεση ωστόσο του διαθέσιμου όγκου νερού προς εκμετάλλευση από το υβριδικό έργο, όπως σχολιάζεται αναλυτικότερα στο επόμενο κεφάλαιο, απαραίτητη είναι και η γνώση των απαιτούμενων απολήψεων του ταμιευτήρα για ύδρευση και άρδευση του δήμου Ραχών αλλά και για την ικανοποίηση της οικολογικής παροχής. Τα στοιχεία αυτά, εκτιμήθηκαν από τον καθηγητή Σταύρο Παπαθανασίου της σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του ΕΜΠ και την ομάδα του, οι οποίοι και έκαναν την ενεργειακή μελέτη του υβριδικού έργου της Ικαρίας. Στον Πίνακα Α.6 φαίνονται τα δεδομένα ύδρευσης, άρδευσης και οικολογικής παροχής κάθε μήνα, σε ημερήσια βάση για το έτος 1999. Σύμφωνα, με την εκτίμηση του κ. Παπαθανασίου τα στοιχεία αυτά παραμένουν ίδια και για τα έτη 1997 και 1998, για τα οποία υπάρχουν δεδομένα εισροών και με βάση τα οποία έγινε και η μελέτη. Στο Σχήμα 5.2, που ακολουθεί φαίνονται τα διαγράμματα της ύδρευσης, άρδευσης και της οικολογικής παροχής σε ημερήσια βάση για το έτος 1999, ενώ στο Σχήμα 5.3 απεικονίζονται οι χρονοσειρές των όγκων απορροής όπως δίνονται στους Πίνακες Α.1(α), (β) και (γ) και βροχής, μετά από επεξεργασία των υψών

βροχής και αναγωγής αυτών στην λεκάνη απορροής του ταμιευτήρα, σε ημερήσια κλίμακα για την διαθέσιμη χρονική περίοδο από την ΔΕΗ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΑΕ., 5/1997-12/1999.



Σχήμα 5.2 Ο όγκος των απαιτούμενων απολήψεων από τον ταμιευτήρα στο Πέζι σε ημερήσια βάση, όπως εκτιμήθηκε από τον καθηγητή Σ. Παπαθανασίου



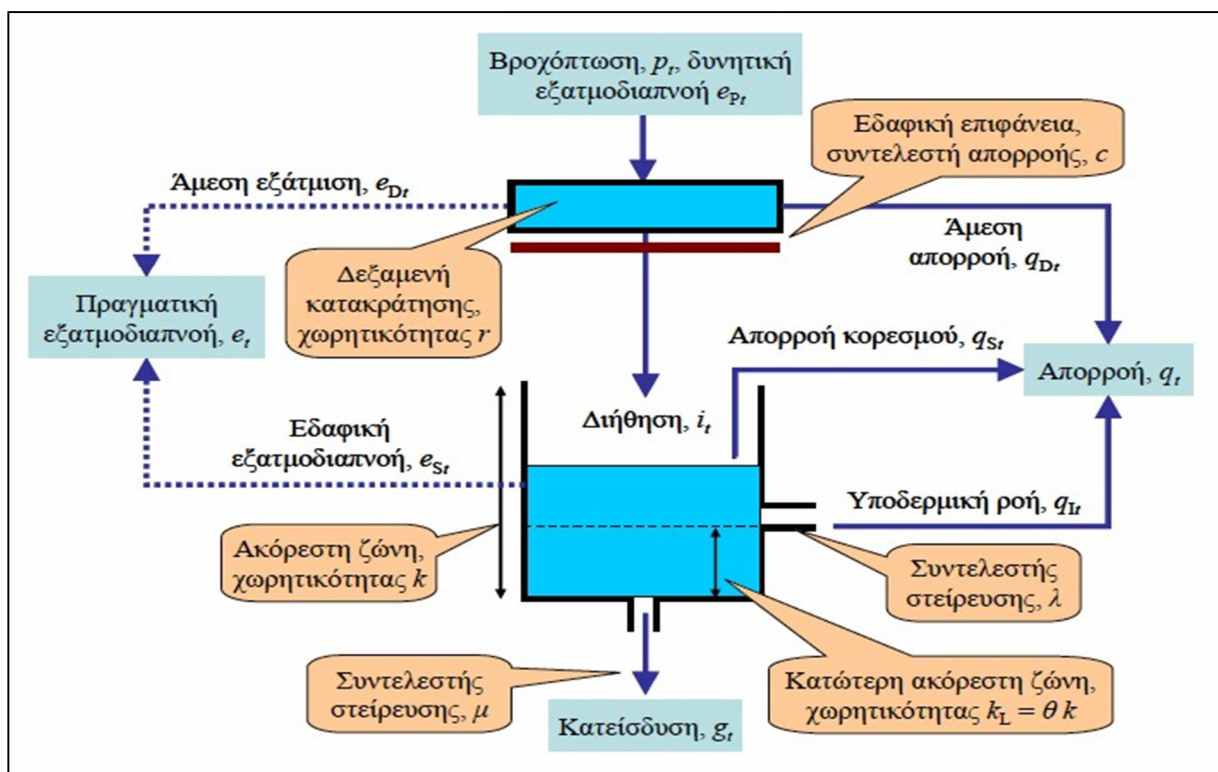
Σχήμα 5.3 Ο όγκος βροχής και απορροής (=εισροή) ($\times 10^3 \text{ m}^3$) στο σύνολο της λεκάνης απορροής του ταμιευτήρα στο Πέζι σε ημερήσια βάση για την περίοδο 5/1997-12/1999

Στη συνέχεια προκειμένου να παραχθούν συνθετικές χρονοσειρές απορροών για 50 χρόνια, χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο «Ζυγός», το οποίο αρχικά βαθμονομήθηκε με δεδομένα εισόδου την ιστορική χρονοσειρά απορροών 5/1997-12/1999 (σε mm, ανηγμένη ως προς την λεκάνη απορροής), την επεξεργασμένη χρονοσειρά βροχών (σε mm) 5/1997-12/1999 και την χρονοσειρά της δυνητικής εξατμοδιαπνοής (σε mm) σε ημερήσια κλίμακα για την ίδια περίοδο. Λαμβάνοντας υπόψη την καλή ποιότητα του πετρώματος στην περιοχή της λεκάνης απορροής (γνεύσιος και γρανίτης), την μικρή διαπερατότητά του και την απουσία αποσαθρώσεων, αποτελέσματα που έχουν προκύψει μετά από σχετικές μελέτες (Κ/Ξ Υδατοσυστημάτων Αιγαίου, 2005), η παράμετρος φ , σχετική με τις υπόγειες διαφυγές θεωρείται μηδενική. Επίσης, δεν λαμβάνονται υπόψη οι εγκατεστημένες αντλήσεις και οι υπάρχουσες φυσικές πηγές που υπάρχουν στην περιοχή λόγω έλλειψης επαρκών στοιχείων αλλά και εξαιτίας του μικρού σχετικά μεγέθους τους, σύμφωνα με πληροφορίες από την τοπική κοινωνία.

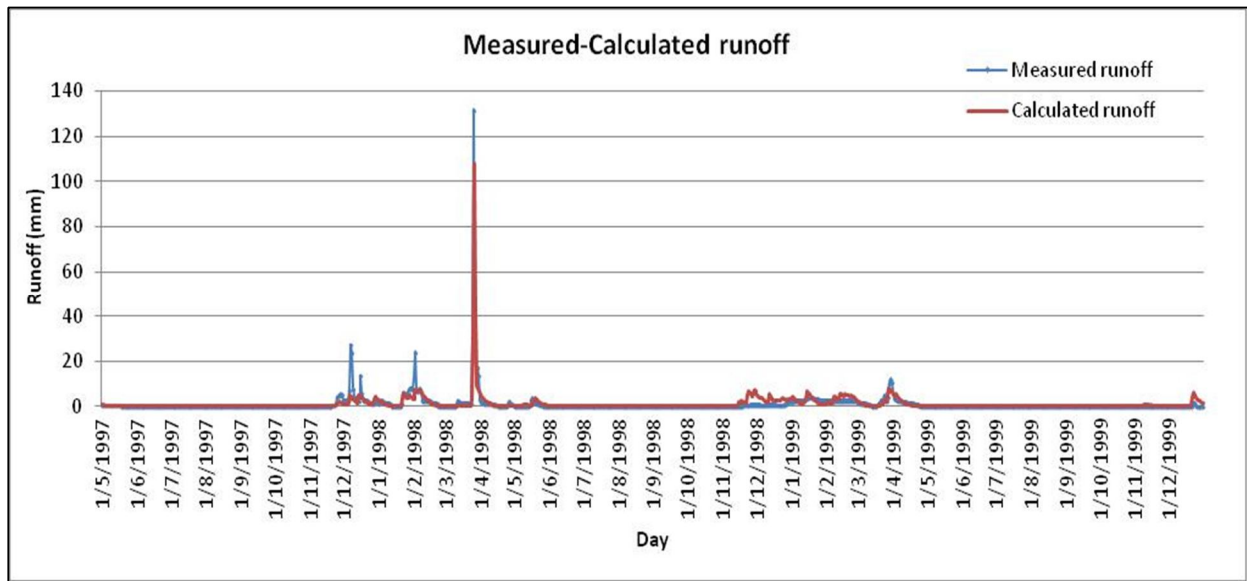
Τα αποτελέσματα των παραμέτρων μετά από την βαθμονόμηση και τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στην συνέχεια για την προσομοίωση των απορροών εξόδου της λεκάνης για 50 χρόνια, φαίνονται αναλυτικά στον Πίνακα Β.3, του Παραρτήματος Β. Στο Σχήμα 5.5 φαίνεται η καλή προσέγγιση των ιστορικών απορροών από τις θεωρητικές απορροές που προέκυψαν ύστερα από την βαθμονόμηση του μοντέλου. Οι παράμετροι c , λ , μ , ξ , H_2 , φ , SO , Y_0 και ο δείκτης *Nash-Sutcliffe* περιγράφονται αναλυτικά στο εδάφιο 5.1.3, ενώ η τιμή του δείκτη, 0,85, αποδεικνύει την καλή προσαρμογή του μοντέλου. Στο σημείο αυτό, προκειμένου να περιγράψουμε και τις υπόλοιπες παραμέτρους, πρέπει να τονιστεί ότι για την προσομοίωση των επιφανειακών υδρολογικών διεργασιών ακολουθήθηκε μια πιο σύνθετη διαδικασία από αυτή που περιγράφεται στο εδάφιο 5.1.3 για το μοντέλο «Ζυγός», η οποία είναι όμοια με εκείνη που εφαρμόζεται στο μοντέλο «Υδρόγειος» (Ευστρατιάδης κ.α.,2009).

Συγκεκριμένα, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 5.4, η επιφάνεια του εδάφους χωρίζεται στην ανώτερη επιφανειακή δεξαμενή, χωρητικότητας r , που αναπαριστά τις διεργασίες πάνω στην επιφάνεια του εδάφους και συγκεκριμένα την κατακράτηση της βροχής, την επιφανειακή εξάτμιση και τη διήθηση σε μηνιαία κλίμακα. Η διήθηση στην συνέχεια τροφοδοτεί την ακόρεστη ζώνη (υπέδαφος), οι διεργασίες της οποίας αναπαρίστανται από

μια δεξαμενή συγκέντρωσης υγρασίας, χωρητικότητας k . Η δεξαμενή αυτή χωρίζεται με την σειρά της σε δύο ζώνες, k_u και k_L , το όριο των οποίων βρίσκεται σε στάθμη $k_L = \theta * k$ ή αλλιώς, όπως περιγράφηκε και στο κεφάλαιο 5.1.3, $H1 = t * k_L$, όπου t ο συντελεστής για το κατώφλι υποδερμικής ροής. Η υπολογιστική διαδικασία που ακολουθείτε είναι όμοια με αυτήν που αναλύεται και στο εδάφιο 5.1.3, ενώ στην ημερήσια κλίμακα προστίθενται μια επιπλέον παράμετρος για την καλύτερη και λεπτομερέστερη αναπαράσταση των διεργασιών που πραγματοποιούνται. Ωστόσο, η περαιτέρω ανάλυση των υπολογισμών του μοντέλου ξεπερνάει τον σκοπό αυτής της διπλωματικής και για αυτό παραλείπεται.



Σχήμα 5.4 Αναπαράσταση της δομής του μοντέλου μηνιαίου υδατικού ισοζυγίου για την προσομοίωση των επιφανειακών υδρολογικών διεργασιών (πηγή: Ευστρατιάδης κ.α., 2009)



Σχήμα 5.5 Προσέγγιση των παρατηρημένων απορροών (Measured runoff) από τις θεωρητικές απορροές του μοντέλου (Calculated runoff)

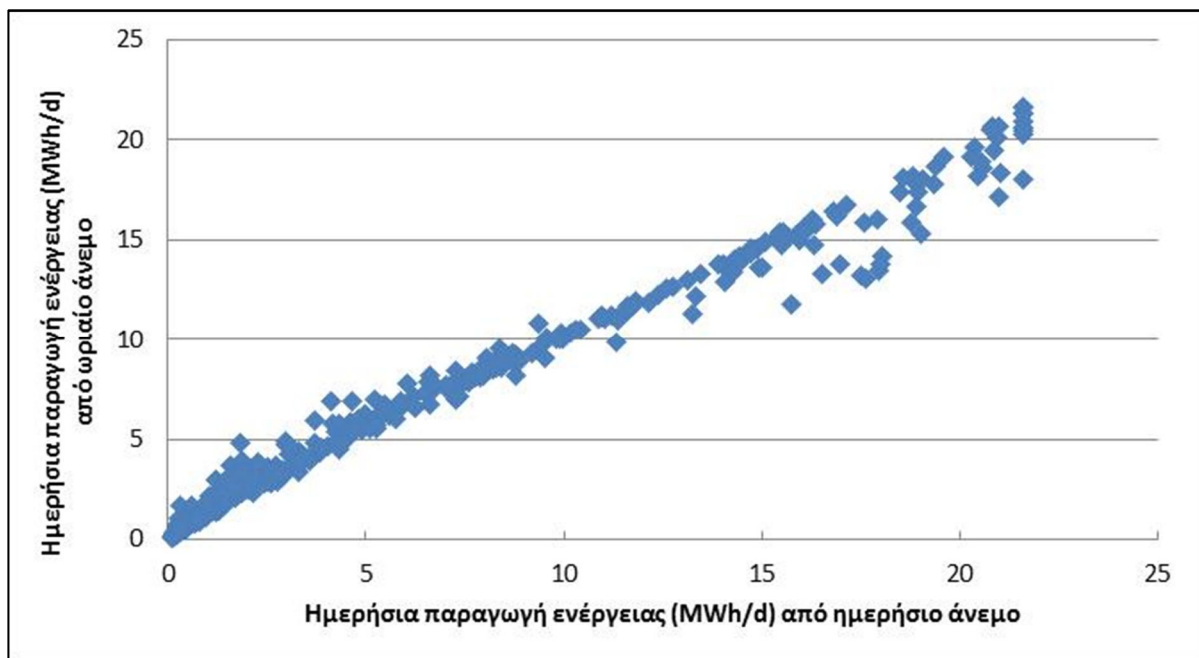
5.5 Ανεμολογικά δεδομένα

5.5.1 Γενικά

Το ενεργειακό ισοζύγιο του υβριδικού έργου, σε αυτήν την διπλωματική εξετάζεται σε ωριαία βάση, επομένως και η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από τις Α/Γ, σαν παράμετρος εισόδου του ισοζυγίου αυτού, υπολογίζεται σε ωριαία κλίμακα. Ωστόσο, για εκπαιδευτικούς σκοπούς μελετήθηκε η συσχέτιση της ημερήσιας παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από την μια Α/Γ που προκύπτει με βάση τον ωριαίο άνεμο με την ημερήσια που προκύπτει από ημερήσιο άνεμο, ο οποίος προέκυψε σαν την μέση τιμή του ωριαίου ανέμου κάθε ημέρας. Το αποτέλεσμα της συσχέτισης αυτής απεικονίζεται στο Σχήμα 5.6, από όπου συμπεραίνουμε την αρκετά καλή συσχέτισή τους. Επομένως, στην περίπτωση που γίνονταν η προσέγγιση του ενεργειακού ισοζυγίου του συστήματος σε ημερήσια κλίμακα, η χρήση του ημερήσιου ανέμου για τον υπολογισμό της ημερήσιας παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, θα έδινε ικανοποιητικά αποτελέσματα. Αντίθετα, ο επιμερισμός του ημερήσιου ανέμου σε ωριαία κλίμακα για τον υπολογισμό της ηλεκτρικής ενέργειας που

παράγεται σε ωριαία βάση θα ήταν χρονοβόρα διαδικασία και πολύ πιθανόν να μην έδινε τα επιθυμητά αποτελέσματα.

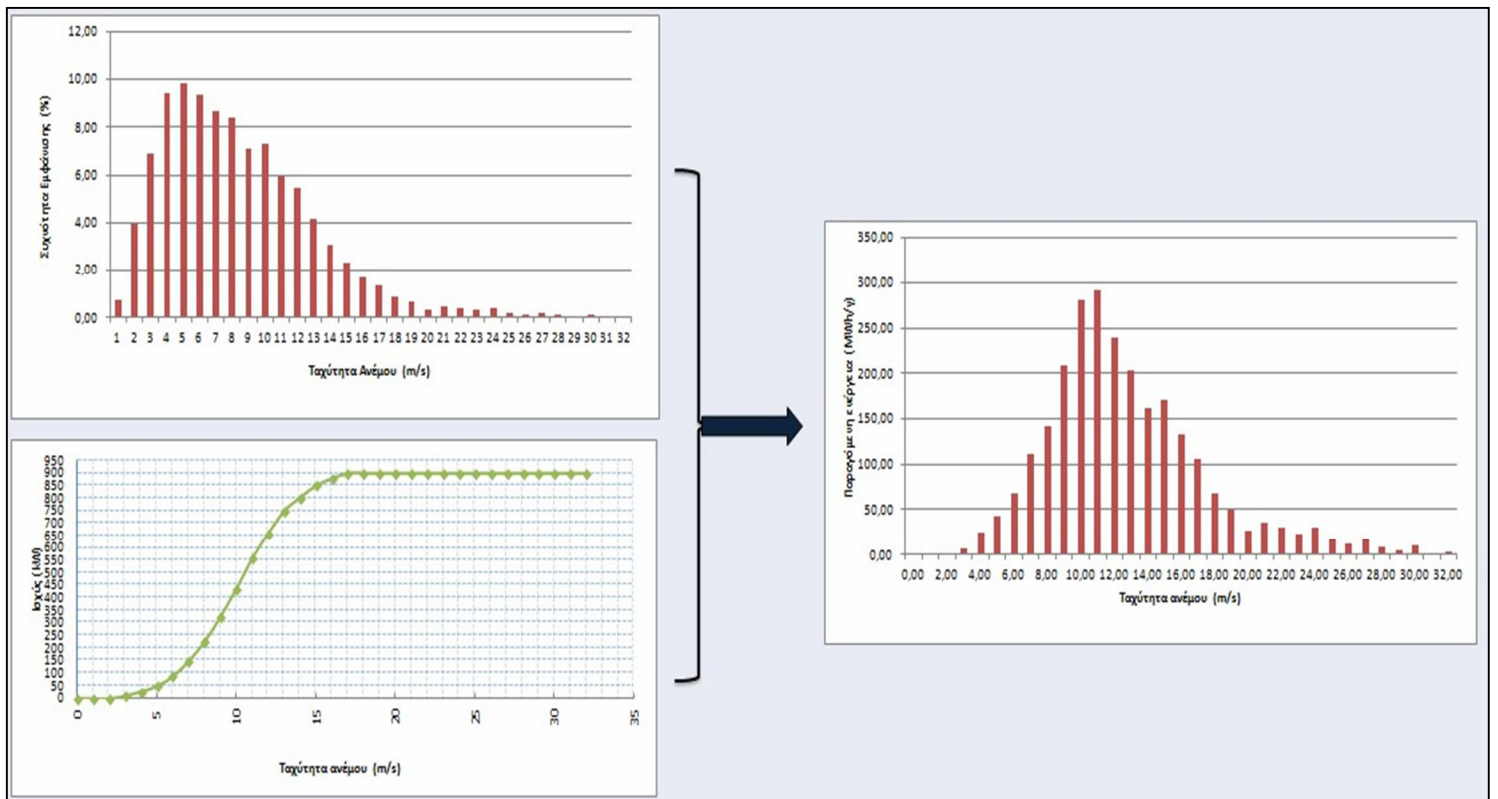
Στο σημείο αυτό θα πρέπει να αναφερθεί ότι προκειμένου να κατασκευαστεί το ενεργειακό ισοζύγιο του υβριδικού έργου με δεδομένα από ταχύτητες ανέμου του 2001 και βροχής της περιόδου 1997-1999, θεωρήθηκε ότι δεν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ βροχής και ανέμου (McGowan and Humphries, 2004).



Σχήμα 5.6 Συσχέτιση ημερήσιας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας της μιας Α/Γ από ωριαίο άνεμο με εκείνη από ημερήσιο άνεμο

Επιπλέον, χωρίζοντας τις ταχύτητες του ανέμου σε κλάσεις από το 1 m/s έως τα 32 m/s και υπολογίζοντας την συχνότητα των κλάσεων αυτών μέσα στο έτος 2001, εκτιμάται η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται ανά ανεμογεννήτρια, σύμφωνα με την καμπύλη ισχύος αυτής. Παρατηρώντας, λοιπόν, το Σχήμα 5.7, συμπεραίνουμε ότι ενώ οι ταχύτητες ανέμου που επικρατούν μέσα στο έτος είναι 3-6 m/s, εκείνες που παράγουν την περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια κυμαίνονται στα 9-13 m/s.

Τέλος, από διαγράμματα που έγιναν, τα οποία απεικονίζουν την ταχύτητα ανέμου κάθε ώρα μέσα στο έτος, φαίνεται ότι η ταχύτητα του ανέμου για όλες τις ώρες παίρνει υψηλές τιμές κυρίως την χειμερινή περίοδο.



Σχήμα 5.7 Συχνότητα ταχύτητας ανέμου και παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια (MWh/d) από Α/Γ ανά χρόνο

5.5.2 Προσομοίωση

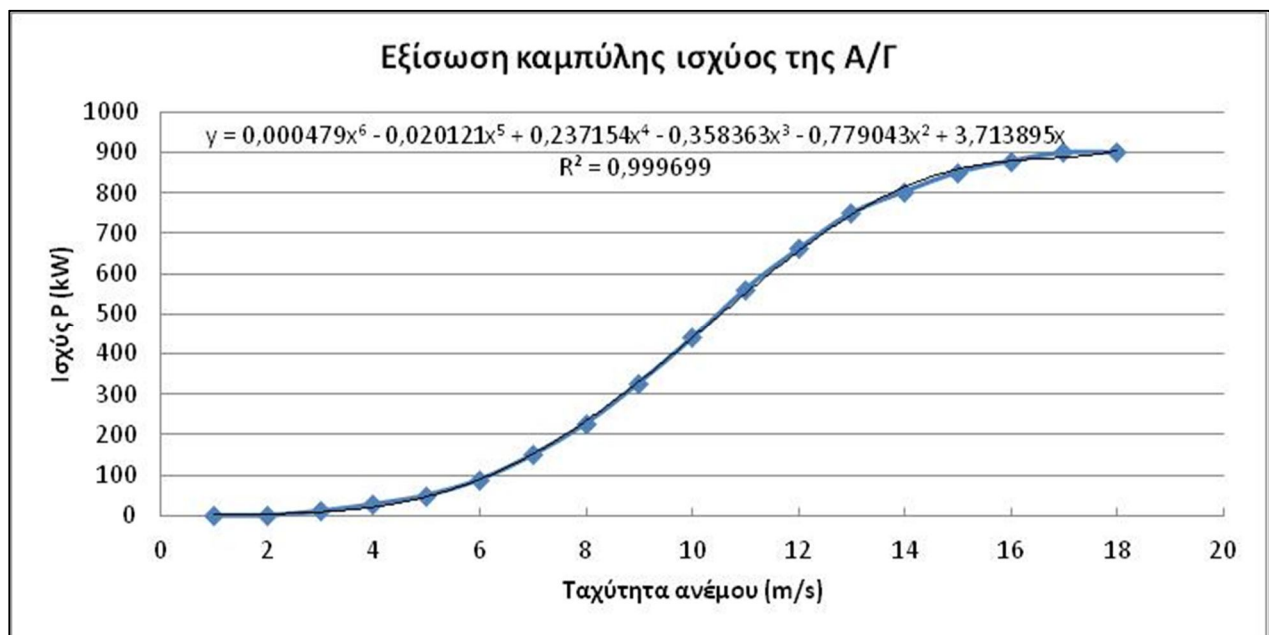
Οι ταχύτητες του ανέμου που χρησιμοποιήθηκαν για την προσομοίωση του ανέμου για 50 χρόνια αλλά και αρχικά για την κατασκευή του ενεργειακού ισοζυγίου του υβριδικού συστήματος για ένα έτος, προμηθεύτηκαν από την ΔΕΗ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΑΕ σε ωριαία βάση για το έτος 2001. Μετρήθηκαν σε ύψος 55 m από το έδαφος στην περιοχή κατασκευής των ανεμογεννητριών, όσο δηλαδή το ύψος πλήμνης αυτών και αναλυτικότερα φαίνονται στον Πίνακα Α.5, του Παραρτήματος Α.

Προκειμένου να υπολογιστεί η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τις ανεμογεννήτριες σε ωριαία κλίμακα, χρησιμοποιήθηκε η καμπύλη ισχύος αυτών, όπως δίνεται στο εδάφιο 2.3.1, Σχήμα 2.2. Συγκεκριμένα, στην προσπάθεια να εκτιμηθεί μια ικανοποιητική εξίσωση,

που να δίνει την τιμή της ισχύος σε συνάρτηση με την ταχύτητα του ανέμου, στο κυρτό τμήμα της καμπύλης ισχύος προσαρμόστηκε μια πολυωνυμική εξίσωση έκτου βαθμού, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.8. Τελικά, σύμφωνα με την καμπύλη ισχύος και με την εξίσωση του Σχήματος 5.8, η σχέση που δίνει την ισχύ P (σε kW) της Α/Γ του υβριδικού έργου είναι:

$$P = \begin{cases} 0, & v \leq 2 \\ 0,000479v^6 - 0,020121v^5 + 0,237154v^4 - 0,358363v^3 - 0,779043v^2 + 3,713895v, & 2 < v < 17, \\ 900, & v \geq 17 \end{cases} \quad (5.33)$$

όπου v η ταχύτητα του ανέμου σε m/s. Η ακρίβεια του βαθμού της εξίσωσης και των δεκαδικών ψηφίων των συντελεστών της για $2 < v < 17$, εκλέχθηκε ώστε να δίνει τα επιθυμητά αποτελέσματα σύμφωνα με την καμπύλη ισχύος της Α/Γ.



Σχήμα 5.8 Εξίσωση του μη σταθερού τμήματος της καμπύλης ισχύος της Α/Γ Enercon E44-900

Η προσομοίωση της ταχύτητας του ανέμου σε ωριαία βάση για 50 χρόνια, ώστε να εξαχθεί τελικά και η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια, έγινε με την βοήθεια του στοχαστικού μοντέλου Bartlett-Lewis, έξι παραμέτρων. Επειδή το μοντέλο αυτό κατασκευάστηκε έτσι

ώστε να αναπαριστά ικανοποιητικά την πιθανότητα ανομβρίας, σημαντικό χαρακτηριστικό της μεταβλητής εισόδου, στην συγκεκριμένη περίπτωση της ταχύτητας του ανέμου, είναι να παρουσιάζει κατά περιόδους μηδενικές τιμές, για την εξασφάλιση της σωστής και γρήγορης λειτουργίας του μοντέλου. Από την άλλη πλευρά, ο άνεμος δεν παρουσιάζει ποτέ μηδενικές ταχύτητες, απλά μειώνεται η έντασή του κατά περιπτώσεις. Για την κάλυψη αυτής της αδυναμίας, οι ταχύτητες του ανέμου, οι οποίες είναι μικρότερες της $V_{min}=3$ m/s και άρα σύμφωνα με την καμπύλη ισχύος της ανεμογεννήτριας Enercon δεν παράγουν σχεδόν καθόλου ηλεκτρική ενέργεια, θεωρήθηκαν μηδενικές. Έτσι, στην συνέχεια, αφαιρώντας από τις ταχύτητες ανέμου του 2001 την V_{min} και θεωρώντας μηδενικές τις αρνητικές τιμές, πραγματοποιήθηκε η προσομοίωση για 50 χρόνια. Τα στατιστικά χαρακτηριστικά της ιστορικής (αφού έχει αφαιρεθεί το V_{min}) και συνθετικής χρονοσειράς φαίνονται στον Πίνακα Β.4, του Παραρτήματος Β, από τα οποία συμπεραίνουμε την αρκετά καλή αναπαράσταση των ιστορικών δεδομένων. Τέλος, στον Πίνακα Β.5, φαίνονται αναλυτικά και οι παράμετροι του μοντέλου RBLRPM που χρησιμοποιήθηκαν για την προσομοίωση, όπως περιγράφονται στο εδάφιο 5.1.2. Τέλος, για τον υπολογισμό της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από τις Α/Γ για τα 50 αυτά χρόνια, χρησιμοποιήθηκε η σχέση 5.33, όπου v η προσομοιωμένες ταχύτητες ανέμου, αφού προστέθηκε σε αυτές το V_{min} .

Για τον υπολογισμό της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από την ιδιωτική ανεμογεννήτρια, ΛΑΚΙΟΣ ΑΕ, λόγω έλλειψης των απαραίτητων στοιχείων για τον αναλυτικό υπολογισμό, θεωρήθηκε σαν ένα ποσοστό ϵ , της ενέργειας που παράγεται από το αιολικό πάρκο του υβριδικού. Συγκεκριμένα, $\epsilon=I_{max(\Lambda\text{ΚΙΟΣ})}/I_{max(\text{ΥΒΕ})}=0,6/2,7$.

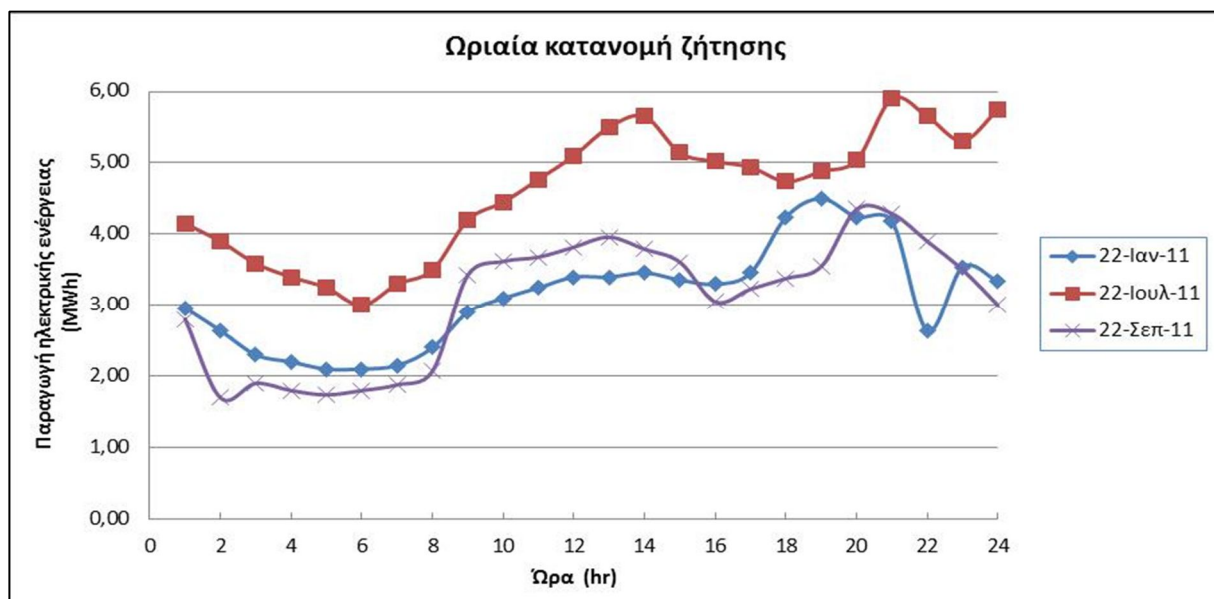
5.6 Ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας

5.6.1 Γενικά

Η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας του νησιού προέκυψε σαν μέγεθος ίσο με την τιμή της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από τον ΤΣΠ Αγίου Κηρύκου. Τα δεδομένα που χορηγήθηκαν από τον σταθμό, ήταν η παραγωγή της συνολικής ηλεκτρικής ενέργειας σε ημερήσια βάση για την περίοδο 2000-2011, ενώ για το έτος 2011 τα δεδομένα δόθηκαν και σε ωριαία κλίμακα με βάση τα οποία έγινε και η κατασκευή του ενεργειακού ισοζυγίου του

υβριδικού συστήματος για ένα έτος. Η συνολική παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια για την περίοδο αυτή προέκυψε σαν άθροισμα της παραγόμενης ενέργειας από τον τοπικό σταθμό νηζελογεννητριών, το εγκατεστημένο αιολικό πάρκο της ΔΕΗ για την περίοδο 2000-8/2006 και την ανεμογεννήτρια ιδιώτη (ΛΑΚΙΟΣ ΑΕ) για την περίοδο 4/2004-2011.

Κατά την επεξεργασία και την καλύτερη κατανόηση των παραπάνω δεδομένων δημιουργήθηκαν τα διαγράμματα που ακολουθούν, τα οποία απεικονίζουν κατά κύριο λόγο την κατανομή της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας μέσα στο χρόνο. Αρχικά στο Σχήμα 5.9, παρατηρείται η ωριαία κατανομή της ζήτησης για τις ημερομηνίες 22 Ιανουαρίου, 22 Ιουλίου και 22 Σεπτεμβρίου του έτους 2011. Οι δύο πρώτες ημερομηνίες επιλέχθηκαν ώστε να είναι ένα μήνα μετά από το χειμερινό και το θερινό ηλιοστάσιο αντίστοιχα, ενώ η τρίτη είναι η φθινοπωρινή ισημερία. Οι περίοδοι των ηλιοστασίων και των ισημεριών είναι σημαντικές καθώς κατά την διάρκεια αυτών καθορίζεται η κλίση της γης προς την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία. Συγκεκριμένα κατά το θερινό ηλιοστάσιο (22 Ιουνίου) το βόρειο ημισφαίριο δέχεται την μέγιστη ηλιακή ακτινοβολία άρα και ενέργεια, σε αντίθεση με το χειμερινό ηλιοστάσιο, ενώ κατά την διάρκεια των ισημεριών ο άξονας της γης βρίσκεται κάθετα στις ακτίνες του ηλίου και δέχεται περίπου 1,5 φορές λιγότερη ενέργεια και ακτινοβολία από ότι στο θερινό ηλιοστάσιο. Η ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας και ενέργειας καθώς και η διάρκεια αυτών μέσα στην ημέρα, που δέχεται μια περιοχή αποτελούν μερικές από τις συνιστώσες που καθορίζουν κατά κάποιον τρόπο την ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας (π.χ. η διάρκεια της ημέρας καθορίζει την διάρκεια που είναι αναμμένα τα φώτα στα κτίρια, η εισερχόμενη ηλιακή ενέργεια κάνει αναγκαία την χρήση κλιματιστικών ή άλλων θερμαντικών σωμάτων, κ.τ.λ.).



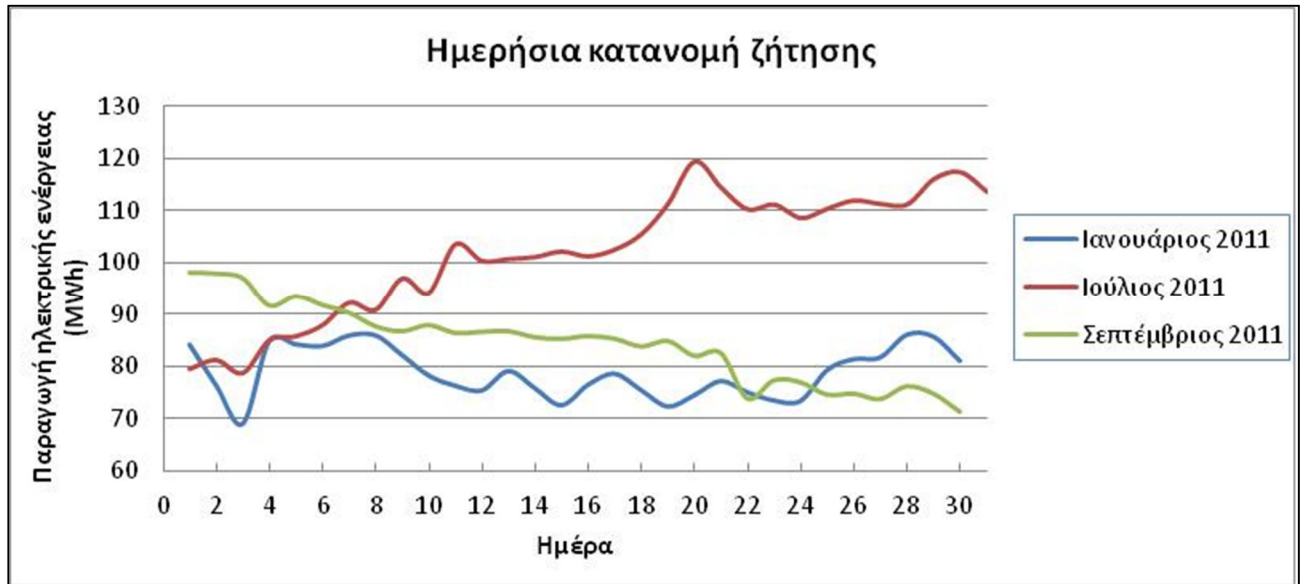
Σχήμα 5.9 Ωριαία κατανομή της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας (σε MW) για τις ημερομηνίες 22 Ιανουαρίου, 22 Ιουλίου και 22 Σεπτεμβρίου του 2011

Στο παραπάνω σχήμα παρατηρείται μια απότομη πτώση στις 22 Ιανουαρίου και ώρα 22:00. Αυτό φυσικά δεν οφείλεται στην ξαφνική πτώση της ζήτησης, αλλά σε διακοπή ρεύματος λόγω βλάβης σε κάποιες γραμμές του δικτύου. Το φαινόμενο αυτό ήταν πιο συχνό μερικά χρόνια πριν, το πρόβλημα όμως παραμένει ακόμα και σήμερα. Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να τονιστεί η αναμενόμενη συμβολή του υπό κατασκευή υβριδικού έργου στην εξάλειψη τέτοιων προβλημάτων. Τέλος, από το παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε ότι οι ώρες αιχμής εμφανίζονται κυρίως τις μεσημεριανές (12:00-14:00) και τις βραδινές (19:00-22:00) ώρες.

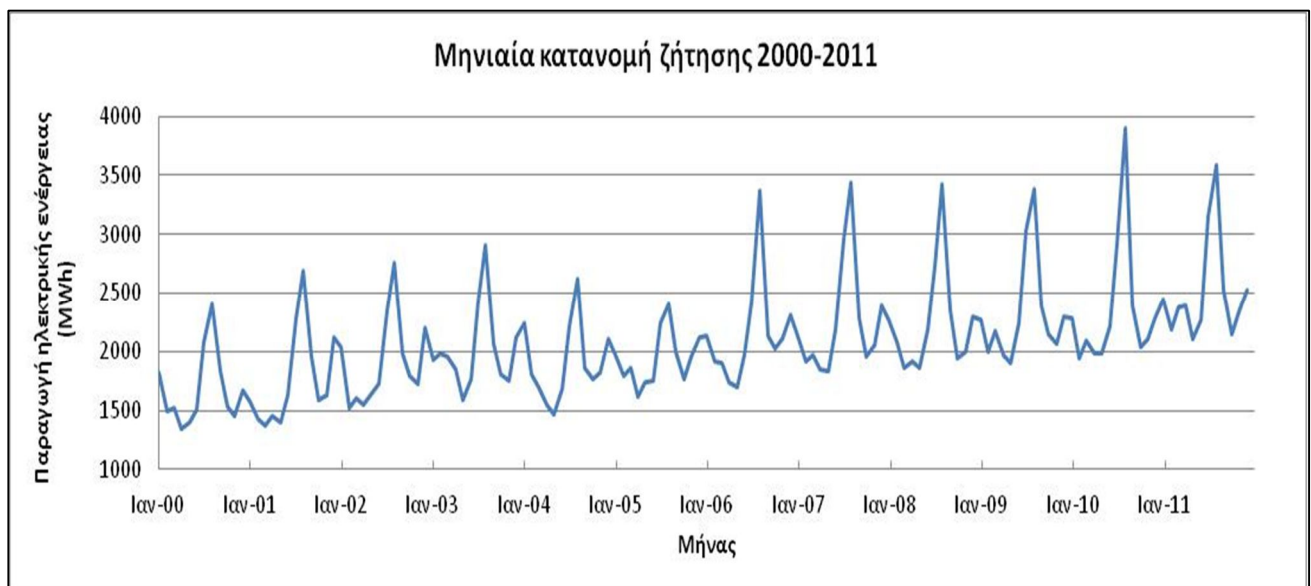
Στο Σχήμα 5.10 απεικονίζεται η ημερήσια κατανομή ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας για τους μήνες Ιανουάριο, Ιούλιο και Σεπτέμβριο. Παρατηρούμε την καθοδική πορεία της ζήτησης τον Σεπτέμβριο καθώς τελειώνει η τουριστική περίοδο και την ανοδική της πορεία, από την άλλη, τον Ιούλιο. Ιδιαίτερα στο τέλος Ιουλίου και στις αρχές Αυγούστου η ζήτηση εμφανίζει την αιχμή της, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 5.11, καθώς τότε μεγιστοποιείται και η άφιξη τουριστών.

Από το Σχήμα 5.12 παρατηρείται η ετήσια αύξηση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας με την πάροδο του χρόνου, η οποία όπως φαίνεται από το Σχήμα 5.11 οφείλεται κυρίως στην

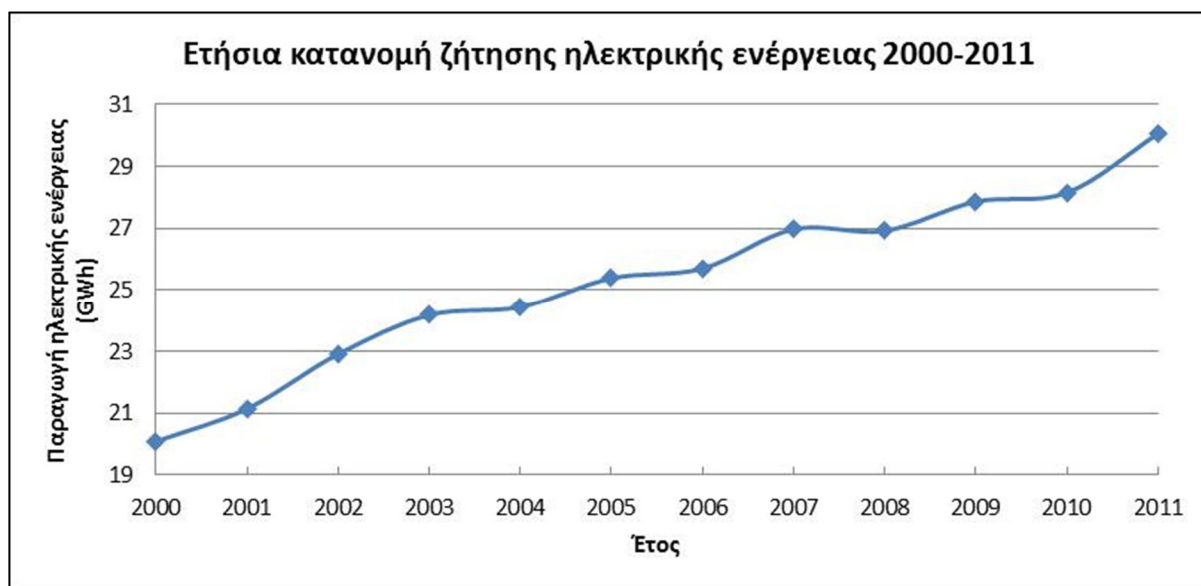
αύξηση της ζήτησης τους καλοκαιρινούς μήνες και ιδιαίτερα του Αυγούστου, πράγμα που πιθανώς δηλώνει και την αύξηση του τουρισμού στο νησί. Κατά την χειμερινή περίοδο η ζήτηση παραμένει σχετικά στα ίδια επίπεδα.



Σχήμα 5.10 Ημερήσια κατανομή ζήτησης (σε MWh) τους μήνες Ιανουάριο, Ιούλιο και Σεπτέμβριο του 2011



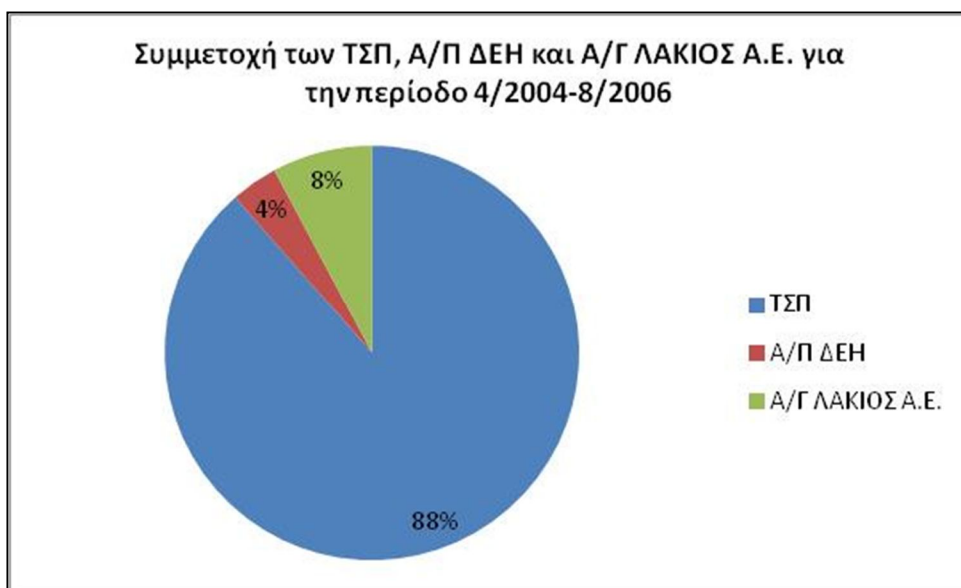
Σχήμα 5.11 Μηνιαία κατανομή ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας (σε MWh) για την περίοδο 2000-2011



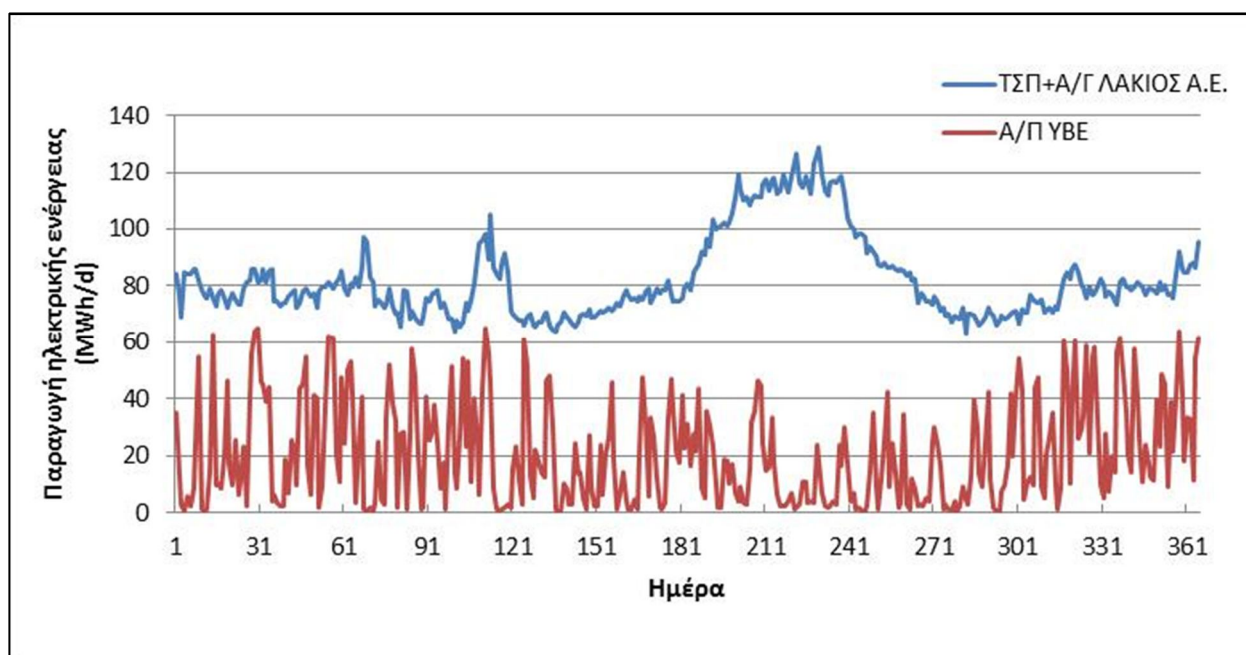
Σχήμα 5.12 Ετήσια ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας (σε GWh) την περίοδο 2000-2011

Επιπλέον, προκειμένου να συγκριθεί η συμβολή των προηγούμενων ΑΠΕ που είχαν εγκατασταθεί στο νησί στην κάλυψη της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, υπολογίστηκε η συμμετοχή τους, σε σχέση με την παραγωγή του σταθμού. Συγκεκριμένα, στο νησί υπήρχε εγκαταστημένο από το 2000 μέχρι τον Αύγουστο του 2006, μικρό αιολικό πάρκο της ΔΕΗ ισχύος 385 KW (7 ανεμογεννήτριες ισχύος 55 KW η κάθε μια), ενώ από τον Απρίλιο του 2004 μέχρι και σήμερα υπάρχει ανεμογεννήτρια ισχύος 600 KW, που ανήκει στην ιδιωτική εταιρεία ΛΑΚΙΟΣ ΑΕ. Στο Σχήμα 5.13 που ακολουθεί απεικονίζεται η επί της εκατό συμμετοχή του ΤΣΠ Αγίου Κηρύκου, του Α/Π της ΔΕΗ και της ιδιωτικής Α/Γ για την περίοδο 4/2004-8/2006. Η συμμετοχή αυτή έχει προκύψει ύστερα από το άθροισμα της μηνιαίας συμμετοχής των ΤΣΠ και ΑΠΕ για την παραπάνω περίοδο.

Τέλος, στο Σχήμα 5.14 φαίνεται η ημερήσια κατανομή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (σε MWh) συνολικά από τον ΤΣΠ και την ιδιωτική Α/Γ για το έτος 2011, ενώ παράλληλα εκτιμάται η αναμενόμενη ημερήσια παραγωγή ενέργειας από τις ανεμογεννήτριες του ΥΒΕ, υπολογισμένη από τα ωριαία δεδομένα ταχύτητας ανέμου που είναι διαθέσιμα για το έτος 2001. Η συνολική παραγόμενη ενέργεια από το αιολικό πάρκο του υβριδικού έργου εκτιμάται ότι θα αποτελούσε περίπου το 20% της συνολικής ζήτησης του 2011.



Σχήμα 5.13 Συμμετοχή των ΤΣΠ, Α/Π ΔΕΗ και Α/Γ ΛΑΚΙΟΣ ΑΕ στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για την περίοδο 4/2004-8/2006



Σχήμα 5.14 Ημερήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (σε MWh/d) του ΤΣΠ μαζί με την Α/Γ ΛΑΚΙΟΣ ΑΕ του 2011 (με μπλε) και του Α/Π του ΥΒΕ από δεδομένα ταχύτητας ανέμου του 2001

5.6.2 Προσομοίωση

Για την γένεση συνθετικής χρονοσειράς ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιήθηκε το Microsoft Office Excel 2007 και αρχικά θεωρήθηκε ότι η ζήτηση δεν θα αυξηθεί ιδιαίτερα τα επόμενα 50 χρόνια. Επομένως, έγινε μια προσπάθεια να διατηρηθούν στην συνθετική αυτή χρονοσειρά, τα στατιστικά χαρακτηριστικά της ζήτησης, αρχικά σε ημερήσια κλίμακα, του πιο πρόσφατου έτους για το οποίο υπήρχαν πλήρη στοιχεία. Για τον λόγο αυτό, επιχειρήθηκε αρχικά μια κανονικοποίηση των στοιχείων της ζήτησης για την περίοδο 2000-2010, κατά την οποία αυτά διαιρέθηκαν με την μέση τιμή του κάθε μήνα στον οποίο ανήκουν. Η τυπική απόκλιση των ιστορικών στοιχείων είναι αρκετά μικρή, της τάξης του 0,05-0,1 και επομένως δεν υπήρχε λόγος να γίνει ανάλογη διαδικασία αφαίρεσης και αυτής, σαν στατιστικό χαρακτηριστικό της ιστορικής χρονοσειράς. Στη συνέχεια, από τα κανονικοποιημένα αυτά στοιχεία του κάθε μήνα από το 2000 έως το 2010, υπολογίστηκε η μέση τιμή E_k (η οποία για όλους τους μήνες είχε τιμή 1, λογικό αφού τα αρχικά στοιχεία διαιρέθηκαν με την μέση τιμή τους) και η τυπική απόκλιση S_k αυτών.

Τα νέα στοιχεία ζήτησης σε ημερήσια βάση για κάθε μήνα, για 50 χρόνια (δεν θεωρήθηκαν δίδεκα έτη), προέκυψαν από την γένεση τυχαίων αριθμών που ακολουθούν κανονική κατανομή με μέση τιμή 0 και τυπική απόκλιση 1 (εντολή `normsin(rand())` στο excel), τον πολλαπλασιασμό τους στη συνέχεια με την S_k και την πρόσθεση της E_k . Προκειμένου, ωστόσο, τα στοιχεία αυτά να ακολουθούν τα στατιστικά χαρακτηριστικά του πιο πρόσφατου έτους, στην συγκεκριμένη περίπτωση του 2011, η ημερήσια ζήτηση των 50 χρόνων κάθε μήνα, πολλαπλασιάστηκε με την μέση τιμή του αντίστοιχου μήνα του έτους 2011.

Στην προσπάθεια, όμως να πραγματοποιηθεί η αναπαράσταση του ενεργειακού ισοζυγίου του υβριδικού συστήματος σε ωριαία βάση για 50 χρόνια, απαραίτητο δεδομένο εισόδου ήταν η ωριαία ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας. Επομένως, από τα ωριαία δεδομένα ζήτησης του 2011, υπολογίστηκε το ποσοστό συμμετοχής ζήτησης κάθε ώρας μέσα στη μέρα. Στη συνέχεια, το ποσοστό κάθε ώρας μέσα στη μέρα πολλαπλασιάστηκε με την ζήτηση της αντίστοιχης μέρας που προέκυψε από την νέα χρονοσειρά, όπως εξηγήθηκε στην προηγούμενη παράγραφο κι έτσι προέκυψε η ζήτηση σε ωριαία κλίμακα.

6. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ ΤΟΥ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

6.1 Σενάρια προσομοίωσης

Με σκοπό τον έλεγχο της απόκρισης του υβριδικού υδροηλεκτρικού συστήματος και του βαθμού αξιοπιστίας αυτού ως προς την απαιτούμενη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας του νησιού σε ωριαία βάση, μελετήθηκαν διάφορα σενάρια λειτουργίας του συστήματος.

Αρχικά στο πρώτο σενάριο που εξετάστηκε (**Σενάριο 1**) αναπαραστάθηκε η εσωτερική λειτουργία του υβριδικού έργου, όπως αυτή περιγράφεται στο υποκεφάλαιο 4.3, με τους όρους λειτουργίας και την διαχείριση που αποφάσισαν οι μελετητές του έργου ΔΕΗ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΑΕ. Φυσικά, εξαιτίας της πολυπλοκότητας του συστήματος, στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής έγιναν κάποιες παραδοχές για την απλοποίησή του και την διευκόλυνση εξαγωγής κάποιων συμπερασμάτων.

Συνοπτικά, στο σενάριο αυτό η εκμετάλλευση των υδάτων από τον ταμιευτήρα στο Πέζι γίνεται μόνο την χειμερινή περίοδο (Οκτώβριος-Μάιος) και σύμφωνα με τους περιορισμούς ελάχιστου επιτρεπτού όγκου ύδατος που έχουν οριοθετηθεί, χωρίς όμως να λαμβάνεται υπόψη η λειτουργία του υβριδικού συστήματος. Ανάλογα με την απαιτούμενη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας καθορίζεται η ποσότητα νερού που θα χρησιμοποιηθεί από τον ταμιευτήρα, η εισαγόμενη απευθείας στο δίκτυο παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από τις ανεμογεννήτριες του υβριδικού έργου καθώς και από την ιδιωτική και τελικά η περίσσεια ενέργειας που είναι διαθέσιμη για άντληση από την κάτω προς την άνω δεξαμενή. Σε περίπτωση ελλείμματος ενέργειας, η ποσότητα νερού που έχει αντληθεί, ελευθερώνεται ώστε να παραχθεί υδροηλεκτρική ενέργεια, έτοιμη προς κατανάλωση. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η απαιτούμενη ζήτηση προέκυψε αφαιρώντας την ελάχιστη προσφερόμενη ενέργεια που παράγεται από τον τοπικό σταθμό, η οποία εξηγείται αναλυτικότερα στο υποκεφάλαιο 6.3, στις παραδοχές του συστήματος.

Κατά την εξέταση του Σεναρίου 1, μελετήθηκαν δύο περιπτώσεις. Εξαιτίας της κακής ποιότητας της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από τις ανεμογεννήτριες υπάρχει

κανονισμός, όσον αφορά τις ΑΠΕ, ότι η ενέργεια των ανεμογεννητριών που διεισδύει απευθείας στο δίκτυο προς κατανάλωση δεν θα πρέπει να ξεπερνάει το 30% της συνολικής ζήτησης. Έτσι, στην πρώτη περίπτωση (**Σενάριο 1α**) η απευθείας εισαγόμενη στο δίκτυο ενέργεια τόσο από τις ανεμογεννήτριες του ΥΒΕ όσο και από την ιδιωτική ανεμογεννήτρια δεν ξεπερνάει το 30% της ζήτησης. Ωστόσο, η συμμετοχή της παραγόμενης ενέργειας από τις ανεμογεννήτριες του υβριδικού έργου στο δίκτυο δεν εμπίπτει στον κανονισμό αυτό, λόγω της συνεργασίας τους με το σύστημα άντλησης-ταμίευσης, μετά από πληροφόρηση από τους υπεύθυνους του έργου. Επομένως, εξετάστηκε και η περίπτωση (**Σενάριο 1β**), κατά την οποία η είσοδος της αιολικής ενέργειας από τις Α/Γ του ΥΒΕ στο δίκτυο είναι ελεύθερη για την κάλυψη της ζήτησης και η περίσσεια χρησιμοποιείται για άντληση.

Το Σενάριο 1 και συγκεκριμένα η δεύτερη περίπτωση που εξετάστηκε, υπερίσχυσε και θεωρήθηκε ως το πλέον αποδεκτό και κατάλληλο για την περαιτέρω επεξεργασία των αποτελεσμάτων και την προσομοίωση του συστήματος για τα 50 χρόνια. Η διαδικασία μοντελοποίησης του συστήματος σύμφωνα με το σενάριο αυτό αναλύεται στο υποκεφάλαιο 6.2.

Το δεύτερο σενάριο που εξετάστηκε (**Σενάριο 2**) είναι παρόμοιο με το πρώτο, με την διαφορά ότι στην περίπτωση αυτή δίνεται προτεραιότητα στην προσφορά ενέργειας από την ιδιωτική ανεμογεννήτρια ΛΑΚΙΟΣ ΑΕ και το αιολικό πάρκο του ΥΒΕ, ενώ η υπολειπόμενη ενέργεια για την ικανοποίηση της ζήτησης καλύπτεται από το υδροηλεκτρικό έργο. Ωστόσο, στο σενάριο αυτό, η αιολική ενέργεια από όλες τις ανεμογεννήτριες που συμβάλλουν στο δίκτυο, εμπίπτει στον κανονισμό μη υπέρβασης του 30% της ζήτησης, για την κάθε μια ξεχωριστά. Έπειτα, η περίσσεια της αιολικής διατίθεται για άντληση. Αυτό έγινε πρώτον διότι η αιολική ενέργεια στην περίπτωση αυτή, αποτελεί τον κυρίαρχο παράγοντα για την κάλυψη της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας και άρα θα πρέπει να διασφαλιστεί κατά κάποιον τρόπο η ποιότητά της και δεύτερον για την εξέταση ενός εναλλακτικού τρόπου εκμετάλλευσης των υδάτων του ταμιευτήρα.

Στη συνέχεια, προκειμένου να ελεγχθεί ο βαθμός αποδοτικότητας μόνο του υδροηλεκτρικού έργου για την κάλυψη της ζήτησης, εξετάστηκε κι ένα τρίτο σενάριο (**Σενάριο 3**). Στο σενάριο αυτό, αποκλείστηκε το σύστημα άντλησης-ταμίευσης και το

αιολικό πάρκο του ΥΒΕ, με την προσφορά της ηλεκτρικής ενέργειας να προέρχεται, αυτή τη φορά, από το υδροηλεκτρικό σύστημα, αποτελούμενο από τον ταμιευτήρα Πεζίου και τους δύο υποκείμενους σταθμούς παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας, από την ιδιωτική ανεμογεννήτρια και φυσικά τον τοπικό σταθμό παραγωγής συμβατικής ενέργειας. Να σημειωθεί ότι η αιολική ενέργεια, στο σενάριο αυτό, υπακούει στον κανονισμό του 30%, ενώ ο όγκος νερού που ελευθερώνεται από το Πέζι για την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας καθορίζεται, στην πρώτη περίπτωση (**Σενάριο 3α**) που εξετάστηκε, όπως και στο Σενάριο 1β, δίνοντας δηλαδή προτεραιότητα στο υδροηλεκτρικό και στην δεύτερη (**Σενάριο 3β**) όπως το Σενάριο 2, δίνοντας προτεραιότητα στο αιολικό.

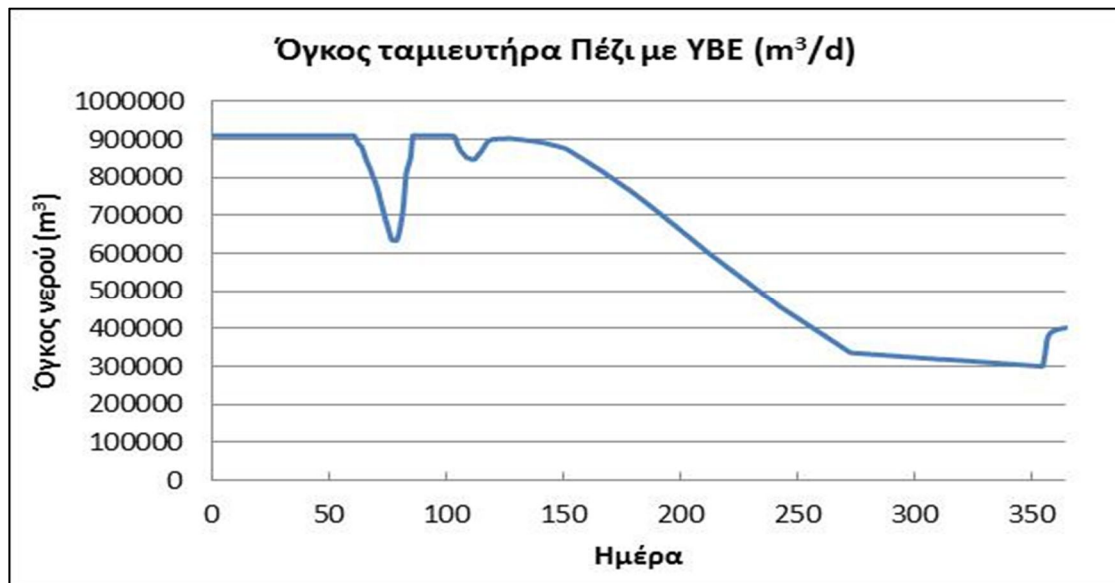
Τέλος, στο τέταρτο σενάριο που εξετάστηκε (**Σενάριο 4**) στην προσφορά ηλεκτρικής ενέργειας συμβάλλουν το υδροηλεκτρικό έργο, η ιδιωτική ανεμογεννήτρια, το αιολικό πάρκο του ΥΒΕ και τέλος ο τοπικός σταθμός. Το σύστημα άντλησης-ταμίευσης, όπως και στο Σενάριο 3, έχει αποκλειστεί. Στο σενάριο αυτό δίνεται προτεραιότητα στην προσφορά αιολικής ενέργειας για την κάλυψη της ζήτησης, αφού πρώτα αυτή (ιδιωτική Α/Γ+Α/Π) ελεγχθεί ότι υπολείπεται του 30% της συνολικής ζήτησης.

6.2 Αναπαράσταση υδρολογικού ισοζυγίου στον ταμιευτήρα «Πέζι»

Αρχικά, προκειμένου να προσδιοριστεί ο διαθέσιμος όγκος προς εκμετάλλευση από τον ταμιευτήρα για την λειτουργία των υδροηλεκτρικών σταθμών του υβριδικού έργου, επιχειρήθηκε η προσομοίωση του υδρολογικού ισοζυγίου του ταμιευτήρα σύμφωνα με τα δεδομένα εισροών και εκροών που δόθηκαν από την ΔΕΗ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΑΕ και περιγράφονται αναλυτικά στο υποκεφάλαιο 5.4. Λαμβάνοντας υπόψη και τους περιορισμούς που έχουν τεθεί σχετικά με τον ελάχιστο επιτρεπόμενο όγκο νερού στον ταμιευτήρα, υπολογίστηκε η περίσσεια ύδατος προς εκμετάλλευση από τους ΥΗΣ (Πίνακας 6.1, στήλη Ι), χωρίς όμως να ληφθεί υπόψη η λειτουργία τους.

Στη συνέχεια, αφού έγινε η προσομοίωση του ενεργειακού ισοζυγίου του ΥΒΕ, όπως περιγράφεται στο επόμενο υποκεφάλαιο, και προέκυψε ο τελικός εκμεταλλεύσιμος όγκος νερού από το έργο (Πίνακας 6.1, στήλη Ι), υπολογίστηκε ο όγκος νερού στον ταμιευτήρα σε

ημερήσια βάση για ένα έτος, συγκεκριμένα για το έτος 1999, λαμβάνοντας υπόψη αυτή τη φορά και την λειτουργία του υβριδικού έργου, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 6.1.



Σχήμα 6.1 Ο όγκος νερού στον ταμιευτήρα σε ημερήσια κλίμακα λαμβάνοντας υπόψη και την λειτουργία του ΥΒΕ

Τέλος, ύστερα από την γένεση συνθετικών χρονοσειρών εισροών-απορροών, προσομοιώθηκε και το υδρολογικό ισοζύγιο του ταμιευτήρα για 50 χρόνια. Στο Σχήμα 6.2 παρατηρείται η εξέλιξη του όγκου νερού του ταμιευτήρα σε βάθος χρόνου.



Σχήμα 6.2 Εξέλιξη του όγκου νερού του ταμιευτήρα από προσομοίωση υδρολογικού ισοζυγίου για 50 χρόνια

6.3 Αναπαράσταση ενεργειακού ισοζυγίου-Σενάριο 1β

Η αναπαράσταση του ενεργειακού ισοζυγίου του υβριδικού συστήματος έγινε με την βοήθεια του προγράμματος Microsoft Office Excel, σε ωριαία κλίμακα όπως θα γίνεται και από τον αυτοματισμό SCADA, με δεδομένα εισόδου που παρουσιάστηκαν αναλυτικά στο κεφάλαιο 5 και θα αναφερθούν και στη συνέχεια κατά την επεξήγηση του μοντέλου. Η αναπαράσταση πραγματοποιήθηκε για όλα τα παραπάνω σενάρια που περιγράφηκαν, τα αποτελέσματα των οποίων αναφέρονται στο κεφάλαιο 7. Ωστόσο στο κεφάλαιο αυτό, θα παρουσιαστεί μόνο εκείνη που αφορά το Σενάριο 1β, το οποίο είναι το πλέον αποδεκτό για την λειτουργία του συγκεκριμένου υβριδικού συστήματος.

Αρχικά επιχειρήθηκε η προσομοίωση του ενεργειακού ισοζυγίου για ένα έτος με δεδομένα εισόδου, την ωριαία ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας του έτους 2011, τις απορροές από τον ταμιευτήρα Πέζι το 1999 και την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από το αιολικό πάρκο του υβριδικού έργου με στοιχεία ωριαίας ταχύτητας ανέμου του έτους 2001. Μετά το στήσιμο του μοντέλου και την αναπαράσταση του ισοζυγίου για ένα έτος, πραγματοποιήθηκε και η προσομοίωση του συστήματος για 50 χρόνια. Στον Πίνακα 6.1 που ακολουθεί περιγράφονται αναλυτικά οι στήλες του excel που κατασκευάστηκαν για την απεικόνιση

του ενεργειακού ισοζυγίου του έργου. Στους τύπους που αναγράφονται στην στήλη «Επεξήγηση», προκειμένου να δηλωθεί η χρήση τιμής προηγούμενης ή επόμενης στήλης σε αυτόν, μπαίνει το γράμμα της στήλης και μπροστά από αυτό, το γράμμα *C* (*column=στήλη*). Η Εικόνα Β.1, του Παραρτήματος Β προέρχεται από το αρχείο του excel που κατασκευάστηκε για την προσομοίωση του συστήματος και απεικονίζει την τάξη μεγέθους των τιμών των στηλών, που περιγράφονται στον Πίνακα 6.1.

- **Παραδοχές**

Η μελέτη και η επιτυχής λειτουργία ενός πολύπλοκου υβριδικού έργου βασίζεται σε διάφορους παράγοντες τεχνικοοικονομικούς, περιβαλλοντικούς, νομοθετικούς, κοινωνικούς, κ.α. Στα πλαίσια ωστόσο μιας διπλωματικής, σκοπός της οποίας είναι αρχικά η κατανόηση ενός τέτοιου πολυκριτηριακού συστήματος, η εξοικείωση με τους βασικούς του μηχανισμούς και η εξαγωγή κάποιων πρωταρχικών συμπερασμάτων, επιχειρήθηκε η απλοποίησή του. Προκειμένου, λοιπόν, να κατασκευαστεί το μοντέλο αναπαράστασης του ενεργειακού ισοζυγίου χρειάστηκαν να γίνουν κάποιες παραδοχές.

Καταρχήν, με σκοπό την καλύτερη εκμετάλλευση και αξιοποίηση των νερών του ταμιευτήρα στο Πέζι, κατά την αναπαράσταση του υδρολογικού ισοζυγίου του ταμιευτήρα έγινε η παραδοχή, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, ότι ο διαθέσιμος όγκος προς εκμετάλλευση από το υβριδικό έργο προκύπτει τηρώντας τον περιορισμό σχετικά με τον ελάχιστο επιτρεπτό όγκο, χωρίς να ληφθεί υπόψη η λειτουργία του υβριδικού συστήματος.

Πίνακας 6.1 Επεξήγηση των στηλών του excel που κατασκευάστηκαν για την αναπαράσταση του ενεργειακού ισοζυγίου

Γράμμα Στήλης	Περιεχόμενο	Επεξήγηση
A	Ημερομηνία & Ώρα	Η αναπαράσταση του ενεργειακού ισοζυγίου πραγματοποιήθηκε σε ωριαία κλίμακα ξεκινώντας από 1/1 και ώρα 01:00
B	Ελάχιστο μηχανών εσωτερικής καύσεως της ΔΕΗ(Min MEK) (MWh)	Για την ενεργειακή ευστάθεια του σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από καύσιμο diesel και την αποφυγή βλαβών στις μηχανές εσωτερικής καύσεως, θεωρήθηκε ότι η ελάχιστη απαιτούμενη παραγωγή ενέργειας από τις μηχανές ανέρχεται στα 0,6 MWh την χειμερινή περίοδο (1/10-30/4) και στο 1 MWh την θερινή περίοδο (1/5-30/9)
C	A/Γ ΛΑΚΙΟΣ ΑΕ. (I _{max} =0,6 MW)	Εξαιτίας της έλλειψης δεδομένων σχετικά με τα τεχνικά χαρακτηριστικά της ιδιωτικής ανεμογεννήτριας, η ωριαία παραγωγή ενέργειας αυτής θεωρήθηκε ως ένα ποσοστό του αιολικού πάρκου του ΥΒΕ (στήλη G). Το ποσοστό αυτό εκτιμήθηκε σύμφωνα με την ονομαστική ισχύ των δύο αιολικών και θεωρήθηκε ίσο με $I_{max(A/Γ ΛΑΚΙΟΣ Α.Ε.)/I_{max(A/Π ΥΒΕ)}}=0,6/2,7=0,22$
D	Ζήτηση (MWh)	Η συνολική ωριαία ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας του νησιού σε MWh (από ΤΣΠ και A/Γ ΛΑΚΙΟΣ ΑΕ)
E	30%Ζήτηση (MWh)	Το 30% της συνολικής ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας (στήλη D)
F	Ζήτηση-MinMEK-A/Γ ΛΑΚΙΟΣ Α.Ε. (MWh)	Η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας (σε MWh) αφού έχει αφαιρεθεί η ελάχιστη προσφορά ενέργειας από τις μηχανές εσωτερικής καύσεως του σταθμού (στήλη B) και η ενέργεια από την ιδιωτική A/Γ. Η τελευταία δίνεται από τη σχέση $IF(CD-CB>IF(CC>CE;CE;CC);IF(CC>CE;CE;CC);0)$, όπου φαίνεται ότι η αιολική ενέργεια από την ιδιωτική A/Γ υπόκεινται στον κανονισμό του 30% και προσφέρεται στο δίκτυο μόνο όταν η ελάχιστη προσφερόμενη ενέργεια από τον ΤΣΠ δεν καλύπτει την ζήτηση.
G	Παραγωγή A/Π ΥΒΕ (MWh)	Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από το αιολικό πάρκο του ΥΒΕ (σε MWh) υπολογισμένη σύμφωνα με την σχέση 5.33
H	Ζήτηση-MinMEK-A/Γ Λακίου (m ³)	Ο απαιτούμενος όγκος νερού (σε m ³) που πρέπει να ελευθερωθεί από τον ταμιευτήρα προκειμένου να παραχθεί ενέργεια ίση με αυτήν της στήλης F. Επομένως σύμφωνα με τον Πίνακα 4.1 των τεχνικών χαρακτηριστικών του έργου, εφαρμόζοντας την σχέση 2.1 με άγνωστο το Q και πολλαπλασιάζοντας στην συνέχεια με 3600 προκειμένου να προκύψει όγκος νερού ανά ώρα έχουμε: $1000*CF*3600/(9,81*n_{υδρ}*(H_{man(1)}+H_{man(2)}))$
I	Όγκος από το Πέζι προς εκμετάλλευση για το ΥΒΕ (m ³ /h)	Ο διαθέσιμος όγκος νερού από τον ταμιευτήρα στο Πέζι ανά ώρα (σε m ³ /h) προς εκμετάλλευση για παραγωγή ενέργειας από το υδροηλεκτρικό έργο, σύμφωνα με τους περιορισμούς που έχουν τεθεί σχετικά με τον ελάχιστο επιτρεπτό όγκο, όπως περιγράφεται και στο υποκεφάλαιο 4.2. Να σημειωθεί ότι για την εύρεση της εξέλιξης του όγκου νερού στον ταμιευτήρα, ο ταμιευτήρας θεωρήθηκε αρχικά γεμάτος.
J	Τελική εκμεταλλεύσιμη παροχή (m ³ /s)	Η τελική εκμεταλλεύσιμη παροχή των νερών που ελευθερώνονται από το Πέζι είναι η ελάχιστη τιμή από τις στήλες H και I, διαιρεμένες με 3600 ώστε να προκύψει m ³ /s και από την παροχή σχεδιασμού των αγωγών Q _d =0,73 m ³ /s, δηλ. $MIN(CH/3600;CI/3600;Q_d)$
K	Εκμεταλλεύσιμη παροχή σύμφωνα με την δυνατότητα του υδρ/λου (m ³ /s)	Η ελάχιστη παροχή νερού με την οποία ο υδροστρόβιλος Pelton μπορεί να παράγει υδροηλεκτρική ενέργεια θεωρήθηκε ίση με $Min=0,13*Q_d$. Επομένως, η εκμεταλλεύσιμη παροχή σύμφωνα με την δυνατότητα του υδρ/λου, είναι εκείνη της στήλης J, με την προϋπόθεση ότι αυτή δεν είναι μικρότερη από την Min, αλλιώς η εκμεταλλεύσιμη είναι η μηδενική και παράλληλα ότι αυτή δεν είναι μεγαλύτερη από την Q _d , αλλιώς η εκμεταλλεύσιμη είναι η Q _d , δηλ. $IF(CJ<=Q_d;IF(CJ<Min;0;CJ);Q_d)$
L	Παραγωγή άνω ΥΗΣ1 (MWh)	Παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας από τον υδροηλεκτρικό σταθμό της πάνω Προεσπέρας (σε MWh). Σύμφωνα με τη σχέση 2.1 έχουμε: $CK*9,81*n_{υδρ}*H_{man(1)}/1000$
M	Παραγωγή κάτω ΥΗΣ2 (MWh)	Παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας από τον υδροηλεκτρικό σταθμό της κάτω Προεσπέρας (σε MWh). Σύμφωνα με τη σχέση 2.1 έχουμε: $CK*9,81*n_{υδρ}*H_{man(2)}/1000$
N	ΥΗΣ1+ΥΗΣ2 (MWh)	Η συνολική παραγόμενη υδροηλεκτρική ενέργεια προκύπτει από το άθροισμα των στηλών L και M (σε MWh)

O	Περίσσεια από υδρ/λο και Α/Γ (MWh)	Από την εξίσωση CN+CG-CF προκύπτει η περίσσεια ή το έλλειμμα (αν η παράσταση έχει αρνητικό αποτέλεσμα) ενέργειας από την υδροηλεκτρική+αιολική-ζήτηση. Να σημειωθεί ότι έτσι όπως έχει σχεδιαστεί το σύστημα δεν γίνεται να υπάρχει περίσσεια υδροηλεκτρικής ενέργειας, αφού αυτή παράγεται από όγκο νερού, τόσο ώστε να προκύπτει ενέργεια όσο αυτή της στήλης F . Επομένως, υπάρχει περίσσεια μόνο αιολικής ενέργειας.
P	Εκμεταλλεύσιμη ενέργεια για άντληση σύμφωνα με την δυνατότητα των αντλιών (MWh)	Σε περίπτωση που καλυφθεί η ζήτηση και υπάρχει περίσσεια ενέργειας, αυτή χρησιμοποιείται για άντληση. Βασική προϋπόθεση όμως είναι, η περίσσεια να μην ξεπερνάει την μέγιστη ισχύ των αντλιών που είναι 2MW. Άρα έχουμε: MIN(2;MAX(0;CO))
Q	Εκμεταλλεύσιμη παροχή για άντληση (m ³ /s)	Προκειμένου να μετατρέψουμε την εκμεταλλεύσιμη ενέργεια για άντληση σε παροχή (σε m ³ /s), εφαρμόζουμε την σχέση 2.2 και λύνουμε ως προς Q. Έτσι έχουμε: Q(m³/s)=CP*n_{αντλ}/(H_{man(αντληση)}*9,81/1000)
R	Όγκος νερού προς την άνω δεξαμενή Δ1 από άντληση (m ³)	Ο όγκος νερού που κατευθύνεται προς την δεξαμενή (Δ1) της πάνω Προεσπέρας ανά ώρα δεν είναι άλλος από αυτόν που αντλείται. Άρα η στήλη αυτή παίρνει την τιμή CQ*3600 (σε m ³ /h)
S	Αθροιστικός όγκος νερού από άντληση στην Δ1 (m ³)	Προκειμένου να υπολογιστεί ο αθροιστικός όγκος νερού που συλλέγεται στην δεξαμενή Δ1 της πάνω Προεσπέρας, προστίθεται ο όγκος νερού της στήλης R και αφαιρείται η ποσότητα νερού που καταναλώνεται για προσφορά ενέργειας από άντληση της στήλης V και η περίσσεια νερού αν θεωρήσουμε ότι μόνο το 15% της δεξαμενής είναι διαθέσιμο για τα νερά από άντληση, της προηγούμενης ώρας. Άρα έχουμε: CS_t=CS_{t-1}+CR_t-CV_{t-1}-1000*CV_{t-1}*3600/(9,81*n_{υδρ}*H_{man(2)}) , όπου t ο χρόνος σε ώρες
T	Αποθηκευμένη ενέργεια από αθροιστική άντληση στην Δ1 (MWh)	Στη στήλη αυτή μετατρέπεται ο αθροιστικός όγκος νερού από άντληση της στήλης S σε ενέργεια σύμφωνα με τη σχέση 2.1, αφού πρώτα ελεγχθεί ότι αυτή είναι μεγαλύτερη ή τουλάχιστον ίση με την ελάχιστη προσφερόμενη του υδρ/λου. Σε αντίθετη περίπτωση η αποθηκευμένη ενέργεια από τον αθροιστικό όγκο άντλησης θεωρείται μηδενική. Άρα προκύπτει: IF(CS/3600>=Min*Q_d;(CS/3600)*n_{υδρ}*H_{man(2)})*9,81/1000;0)
U	Θεωρώντας μόνο το 15% διαθέσιμο ποσοστό για τα νερά από άντληση	Όπως περιγράφεται και στο κεφάλαιο 4, το διαθέσιμο ποσοστό της δεξαμενής Δ1 για τα νερά από άντληση θεωρείται το 15% του όγκου της. Άρα, αν η δεξαμενή έχει όγκο 80.000 m ³ , το 15% είναι 12.000 m ³ . Στη στήλη αυτή, υπολογίζεται ο πρόσθετος όγκος νερού που προέρχεται από άντληση, σε περίπτωση που αυτός ξεπερνάει το 15%. Επομένως έχουμε: MAX(0;CS-12000)
V	Προσφορά ενέργειας από αθροιστική άντληση στην Δ1 (MWh)	Ενέργεια από την αθροιστική άντληση προσφέρεται τις ώρες που υπάρχει έλλειμμα στη ζήτηση. Η ποσότητα ενέργειας που προσφέρεται πρέπει να είναι ίση με την ποσότητα ελλείμματος. Σε περίπτωση που η διαθέσιμη προσφερόμενη ενέργεια είναι μεγαλύτερη από το έλλειμμα, τότε δίνεται όσο είναι το έλλειμμα, αφού πρώτα ελεγχθεί ότι αυτό, μαζί με την ήδη προσφερόμενη ενέργεια από τον ΥΗΣ Κάτω Προεσπέρας, είναι μεγαλύτερα από την ελάχιστη δυνατή ενέργεια που μπορεί να προσφέρει ο υδρ/λος. Σε αντίθετη περίπτωση, δίνεται η διαθέσιμη ενέργεια από την δεξαμενή, αφού και σε αυτήν την περίπτωση ελεγχθεί ότι υπερβαίνεται η ελάχιστη δυνατή. Σε περίπτωση που η διαθέσιμη προσφερόμενη ενέργεια ή το έλλειμμα είναι μικρότερες από την ελάχιστη, τότε η προσφερόμενη ενέργεια από άντληση θεωρείται μηδενική. Η αναλυτική εξίσωση που χρησιμοποιήθηκε στο excel είναι: IF(CO>=0;0;IF(CT>ABS(CO);IF(ABS(CO)+CM>=Min*Q_d*H_{man(2)}*n_{υδρ}*9,81/1000;ABS(CO);0);IF(CT+CM>=Min*Q_d*H_{man(2)}*n_{υδρ}*9,81/1000;CT;0))) , όπου ABS() η συνάρτηση που δίνει την απόλυτη τιμή του αριθμού
W	Συνολική προσφερόμενη ενέργεια από ΥΒΕ στο δίκτυο (MWh)	Η συνολική προσφερόμενη ενέργεια από το ΥΒΕ είναι το άθροισμα των στηλών V, G και N . Στην περίπτωση όμως που υπάρχει περίσσεια, επειδή κάποιο ποσοστό της αιολικής ενέργειας χρησιμοποιείται για άντληση, αφαιρείται από αυτήν η περίσσεια. Άρα έχουμε την εξίσωση: IF(CO>0;CG-CO+CV+CN;CG+CV+CN)
X	Κάλυψη Ζήτησης-MinMEK-A/Γ Λακίου μόνο από ΥΒΕ	Προκειμένου να υπολογιστεί το ποσοστό κάλυψης της ζήτησης, αφαιρούμενων της προσφερόμενης αιολικής ενέργειας από την ιδιωτική ανεμογεννήτρια και της ελάχιστης σταθερής ενέργειας από τον σταθμό, κατασκευάστηκε η εξίσωση IF(CW-CF>=0;1;0) . Επομένως σε περίπτωση κάλυψης της ανωτέρω ζήτησης από την προσφερόμενη ενέργεια του ΥΒΕ, η στήλη αυτή παίρνει την τιμή της μονάδας, αλλιώς παίρνει μηδενική τιμή. Έτσι αθροίζοντας τις περιπτώσεις που η στήλη έχει την τιμή "1" και διαιρώντας με το σύνολο των ωρών που έχουν αναπαρασταθεί, εκτιμάται το ποσοστό κάλυψης.

Έπειτα, για την διασφάλιση της ευστάθειας της λειτουργίας του τοπικού σταθμού παραγωγής, ο οποίος αποτελεί και την μονάδα βάσης για την προσφορά ηλεκτρικής ενέργειας, θεωρήθηκε μια ελάχιστη σταθερή ποσότητα προσφερόμενης ενέργειας ανά ώρα από τον σταθμό. Η ποσότητα αυτή θεωρήθηκε ίση με την ελάχιστη ωριαία παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια που παρατηρήθηκε στο σταθμό, το έτος 2011. Φυσικά, ελήφθησαν υπόψη και τα τεχνικά ελάχιστα των μηχανών εσωτερικής καύσεως του σταθμού (Πίνακας 3.1), κάτω από τα οποία δεν θα πρέπει να πέσει η αποδιδόμενη ισχύς της μηχανής για την αποφυγή βλαβών σε αυτήν. Η ελάχιστη, λοιπόν, εγγυημένη παραγόμενη ισχύς από τον σταθμό καθορίστηκε 0,60 MW για την χειμερινή περίοδο (1/10-30/4) και 1,00 MW για την θερινή περίοδο (1/5-30/9).

Δεύτερη, μετά την παραγόμενη ενέργεια από τη μονάδα βάσης, σε προτεραιότητα για την κάλυψη της ζήτησης, έρχεται η προσφερόμενη αιολική ενέργεια από την ιδιωτική ανεμογεννήτρια ΛΑΚΙΟΣ ΑΕ. Εξαιτίας της έλλειψης δεδομένων σχετικά με τα τεχνικά χαρακτηριστικά της ιδιωτικής ανεμογεννήτριας για τον ακριβή υπολογισμό της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, αυτή θεωρήθηκε ως ένα ποσοστό της παραγόμενης ενέργειας του αιολικού πάρκου του ΥΒΕ, όπως περιγράφεται και στην **στήλη C**, του Πίνακα 6.1.

Επιπλέον για τον υπολογισμό της **στήλης F**, θεωρήθηκε ότι ενέργεια από την ανεμογεννήτρια ΛΑΚΙΟΣ ΑΕ διατίθεται στο δίκτυο μόνο στην περίπτωση που αυτή δεν ξεπερνάει την ζητούμενη, από την οποία πρώτα έχει αφαιρεθεί η ελάχιστη προσφερόμενη ενέργεια από τον σταθμό (η οποία και επιβάλλεται να διατεθεί για την ομαλή λειτουργία των μηχανών). Με τον τρόπο αυτό αποφεύγονται οι αρνητικές τιμές της ζήτησης (στην **στήλη F**).

Τέλος, στην **στήλη V** του Πίνακα 6.1, παρουσιάζεται αναλυτικά ο υπολογισμός της προσφερόμενης ενέργειας από την αθροιστική άντληση. Όπως αναφέρεται, λοιπόν και στη στήλη αυτή, προκειμένου να καλυφθεί η υπολειπόμενη ενέργεια για την ικανοποίηση της ζήτησης, έγινε η παραδοχή ότι από την διαθέσιμη ποσότητα ενέργειας που έχει αποθηκευθεί από την άντληση, προσφέρεται τόση όσο είναι το έλλειμμα.

Τονίζεται ότι στην περίπτωση που το αντλιοστάσιο του ΥΒΕ περιλαμβάνει οχτώ αντλίες συνολικής εγκατεστημένης ισχύος $8 \times 0,25 = 2 \text{ MW}$, το Α/Π Στραβοκουνδούρας των $3 \times 0,9 = 2,7 \text{ MW}$ θεωρείται ότι λειτουργεί με περιορισμό της μέγιστης ισχύος του στα $2,4 \text{ MW}$, καθώς βάσει του νόμου 3468 (Άρθρο 2, Παράγραφος 25), η μέγιστη ισχύς των αιολικών του ΥΒΣ δεν μπορεί να υπερβαίνει την εγκατεστημένη ισχύ των μονάδων αποθήκευσης του σταθμού, προσαυξημένη κατά ποσοστό μέχρι 20%. Αντίθετα, στην περίπτωση που το αντλιοστάσιο του ΥΒΣ περιλαμβάνει 12 αντλίες δεν τίθεται θέμα περιορισμού της μέγιστης ισχύος του Α/Π του ΥΒΣ. Στην συγκεκριμένη διπλωματική, ωστόσο, έχει ληφθεί υπόψη απλά ότι, η περίσσεια ενέργειας δεν μπορεί να ξεπερνάει την μέγιστη ισχύ των οχτώ αντλιών που είναι 2 MW (στήλη Ρ).

6.4 Αποτελέσματα προσομοίωσης

6.4.1 Προσομοίωση ενός έτους για τα διάφορα σενάρια

Αρχικά στον Πίνακα 6.2 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την προσομοίωση του ενεργειακού ισοζυγίου για ένα έτος, για τα σενάρια που περιγράφηκαν στο υποκεφάλαιο 6.1, σύμφωνα με τους περιορισμούς για τον ελάχιστο επιτρεπτό όγκο νερού στο Πέζι. Τα αποτελέσματα που παρουσίασαν ενδιαφέρον σε ετήσια βάση είναι:

- 1) το ποσοστό της κάλυψης της ζήτησης, που επιτυγχάνεται από το ΥΒΕ ή από τους ΥΗΣ, ανάλογα με το εξεταζόμενο κάθε φορά σενάριο,
- 2) ομοίως το ποσοστό κάλυψης της ζήτησης την χειμερινή και
- 3) την θερινή περίοδο αντίστοιχα,
- 4) το ποσοστό λειτουργίας της άντλησης και
- 5) η συμμετοχή της στην κάλυψη της συνολικής ζήτησης,
- 6) το ποσοστό της υδροηλεκτρικής ενέργειας (ΥΗΕ) που προσφέρεται στο δίκτυο,
- 7) το ποσοστό της αιολικής ενέργειας (ΑΕ) που προσφέρεται στο δίκτυο,
- 8) το παραπάνω ποσοστό χωρίζεται σε αυτό που προσφέρεται από το Α/Π του ΥΒΕ και
- 9) από την ιδιωτική Α/Γ ΛΑΚΙΟΣ ΑΕ, και τέλος
- 10) η επί της εκατό συμμετοχή της ελάχιστης απαιτούμενης ενέργειας από τον ΤΣΠ.

Να σημειωθεί ότι, τα ποσοστά στα αποτελέσματα 1), 2) και 3) αναφέρονται στην κάλυψη της ζήτησης, αφού έχει όμως αφαιρεθεί από αυτήν, η συμμετοχή της ελάχιστης προσφερόμενης ενέργειας από τον σταθμό και της ενέργειας από την ιδιωτική ανεμογεννήτρια, ενώ στα αποτελέσματα 5) έως 10) τα ποσοστά συμμετοχής αναφέρονται στην κάλυψη της συνολικής ζήτησης.

Επίσης, παρατηρείται ότι στο Σενάριο 4, δεν αναγράφεται το ποσοστό συμμετοχής ξεχωριστά του αιολικού πάρκου του ΥΒΕ και της ιδιωτικής ανεμογεννήτριας, διότι όλες οι ανεμογεννήτριες μαζί θεωρήθηκαν σαν ένα ενιαίο αιολικό πάρκο που συμβάλλει στο δίκτυο.

Πίνακας 6.2 Αποτελέσματα προσομοίωσης διαφόρων σεναρίων για ένα έτος

Αποτέλεσμα/Σενάριο	Σενάριο 1		Σενάριο 2	Σενάριο 3		Σενάριο 4
	α	β		α	β	
Ποσοτό ετήσιας κάλυψης	34,97	42,69	33,21	30,18	1,68	30,58
Ποσοστό κάλυψης την χειμερινή περίοδο	56,97	65,46	53,92	51,98	2,89	52,66
Ποσοστό κάλυψης την θερινή περίοδο	4,52	11,16	4,52	0,00	0,00	0,00
Ποσοστό ωρών λειτουργίας άντλησης ετησίως	4,82	4,61	4,49	-	-	-
Ποσοστό συμμετοχής ενέργειας από άντληση στη ζήτηση	2,00	1,00	2,00	-	-	-
Ποσοστό ΥΗΕ που προσφέρεται στο δίκτυο	22,27	22,27	16,98	22,27	16,98	18,99
Ποσοστό ΑΕ που προσφέρεται στο δίκτυο	15,80	19,30	20,93	5,56	5,56	16,43
Ποσοστό συμμετοχής Α/Π ΥΒΕ στο δίκτυο	10,23	13,74	15,37	-	-	-
Ποσοστό συμμετοχής Α/Γ ΛΑΚΙΟΣ Α.Ε. στο δίκτυο	5,56	5,56	5,56	5,56	5,56	-
Ποσοστό συμμετοχής MinMEK στο δίκτυο	23,36	23,36	23,36	23,36	23,36	23,36

Τέλος, στο Παράρτημα Γ, στα Σχήματα Γ.1 και Γ.2 παρουσιάζεται η ωριαία εξέλιξη των όγκων των δεξαμενών άνω και κάτω Προεσπέρας αντίστοιχα για ένα έτος, στο Σχήμα Γ.3, ο εκμεταλλεύσιμος όγκος από τον ταμιευτήρα στο Πέζι σε ωριαία κλίμακα και στο Σχήμα Γ.4, η περίσσεια ενέργειας, όπως αυτά περιγράφονται στις στήλες J (με την διαφορά ότι στο σχήμα είναι m^3/h) και O του Πίνακα 6.1, αντίστοιχα, για το Σενάριο 1β.

6.4.2 Προσομοίωση για 50 έτη

Ένα περίπλοκο υβριδικό έργο, που επιτρέπει την συνεργασία ενός τεχνητού υδροσυστήματος με άλλες ανανεώσιμες και μη μορφές ενέργειας, απαιτείται να λειτουργεί με αρκετά καλή αξιοπιστία, δεδομένου ότι τυχόν αστοχία στην ικανοποίηση της προβλεπόμενης ζήτησης, αναμένεται να έχει αρνητικές κοινωνικές και οικονομικές επιπτώσεις. Η ασφαλής εκτίμηση της αξιοπιστίας του, προϋποθέτει την ύπαρξη προσομοιωμένων χρονοσειρών των συνιστωσών του, για χρονικό ορίζοντα που υπερβαίνει κατά πολύ το σύνηθες μήκος των ιστορικών δειγμάτων, όπως είναι για παράδειγμα τα 50 χρόνια που θεωρούνται και ως ο εκτιμώμενος χρόνος ζωής του έργου.

Με την χρήση, λοιπόν, στοχαστικών μοντέλων πραγματοποιείται η γένεση συνθετικών χρονοσειρών που είναι συνεπείς με τις ιστορικές, δηλαδή αναπαράγουν την στατιστική δομή και τα στατιστικά χαρακτηριστικά των παρατηρημένων διεργασιών. Ωστόσο, δεν θα πρέπει να γίνεται η παρανόηση ότι οι συνθετικές χρονοσειρές αποτελούν πρόγνωση.

Η μαθηματική προσομοίωση του ενεργειακού ισοζυγίου έγινε σε ωριαία κλίμακα, για το Σενάριο 1β και τηρώντας τους περιορισμούς σχετικά με τον ελάχιστο απαιτούμενο όγκο στον ταμιευτήρα, αφού αυτό είναι και το πιο αποδεκτό σενάριο για την λειτουργία του υβριδικού έργου. Τα αποτελέσματα αυτής σε ποσοστά (%) φαίνονται στον Πίνακα 6.3 και προέκυψαν σαν μέσες τιμές των 50 ετών.

Πίνακας 6.3 Αποτελέσματα προσομοίωσης 50 ετών

Ποσοτό ετήσιας κάλυψης	Ποσοστό κάλυψης την χειμερινή περίοδο	Ποσοστό κάλυψης την θερινή περίοδο	Ποσοστό ωρών λειτουργίας άντλησης ετησίως	Ποσοστό συμμετοχής ενέργειας από άντληση στη ζήτηση	Ποσοστό ΥΗΕ που προσφέρεται στο δίκτυο	Ποσοστό ΑΕ που προσφέρεται στο δίκτυο	Ποσοστό συμμετοχής Α/Π ΥΒΕ στο δίκτυο	Ποσοστό συμμετοχής Α/Γ ΛΑΚΙΟΣ Α.Ε. στο δίκτυο	Ποσοστό συμμετοχής MinMEK στο δίκτυο
45,95	71,72	10,5	5,53	0,91	28,8	15,7	10,35	5,35	23,36

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την ανάλυση των σεναρίων και την εξαγωγή των αντίστοιχων αποτελεσμάτων στο κεφάλαιο 6, προέκυψαν κάποια γενικά συμπεράσματα σχετικά με την αποδοτικότητα του υβριδικού έργου, την συμμετοχή των διάφορων στοιχείων του (ΥΗΣ, Α/Π, αντλησιοταμίευση, κ.τ.λ.) στην κάλυψη της ζήτησης, ενώ γίνονται και σχόλια όσον αφορά τους κανόνες και τον τρόπο λειτουργίας του έργου που καθορίστηκαν από τους κυρίους του έργου. Τέλος, γίνεται αναφορά στις παραδοχές που ακολουθήθηκαν για την προσομοίωση του υβριδικού συστήματος της Ικαρίας στην συγκεκριμένη διπλωματική, προτείνοντας την αλλαγή και την βελτίωσή τους για την καλύτερη ίσως διαχείριση και λειτουργία του έργου.

Από την προσομοίωση του συστήματος για ένα έτος σύμφωνα με τους περιορισμούς για τον ελάχιστο επιτρεπτό όγκο στον ταμιευτήρα Πέζι, προέκυψε, όπως φαίνεται στον Πίνακα 6.2, ότι τα μεγαλύτερα ποσοστά σε ετήσια, χειμερινή και θερινή κάλυψη της ζήτησης σε φθίνουσα σειρά παρουσίασαν τα Σενάρια 1β, 1α, 2, 4, 3α και 3β.

Η υδροηλεκτρική ενέργεια που προσφέρεται στο δίκτυο αποτελεί περίπου το 20% της συνολικής ζήτησης σε ηλεκτρική ενέργεια σε όλα τα σενάρια, που θεωρείται ένα αρκετά αξιόλογο ποσοστό. Η διείσδυση της υδροηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο είναι μεγαλύτερη (22,27%) στα Σενάρια 1α, 1β και 3α, στα οποία δίνεται και προτεραιότητα στο υδροηλεκτρικό έργο.

Σημαντικό είναι και το ποσοστό αιολικής ενέργειας που εισάγεται στο δίκτυο στα Σενάρια 2 και 1β, με 20,93% και 19,30% αντίστοιχα, ενώ ακολουθούν τα σενάρια 4 και 1α με 16,43% και 15,80%. Το Σενάριο 2 παρουσιάζει το μεγαλύτερο ποσοστό λόγω της προτεραιότητας που δίνεται στο αιολικό πάρκο του ΥΒΕ και στην Α/Γ ΛΑΚΙΟΣ ΑΕ για την κάλυψη της ζήτησης, ενώ το Σενάριο 1β εμφανίζει εξίσου μεγάλο ποσοστό διείσδυσης της αιολικής ενέργειας, αφού χάρης του συστήματος της αντλησιοταμίευσης η εισαγόμενη στο δίκτυο ενέργεια από το Α/Π του ΥΒΕ δεν εμπίπτει στον κανονισμό του 30% (βλ. κεφάλαιο 6.1, παρ.4). Παρατηρείται, φυσικά, ότι το μεγαλύτερο μέρος της αιολικής ενέργειας προς κατανάλωση, προσφέρεται από το Α/Π του ΥΒΕ.

Το σύστημα της αντλησιοταμίευσης συμμετέχει στην κάλυψη της ζήτησης περισσότερο στα Σενάρια 1α και 2, με ποσοστό 2%. Στα σενάρια αυτά εξαιτίας του γεγονότος ότι η αιολική ενέργεια που προσφέρεται και από τις δύο εγκαταστάσεις εμπίπτει στον κανονισμό του 30%, το περίσσειμά της προς αξιοποίηση για άντληση είναι περισσότερο αλλά και το έλλειμμα για την ικανοποίηση της ζήτησης είναι συχνότερο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα και την τακτικότερη λειτουργία της άντλησης (4,82% και 4,49% το ποσοστό των ωρών λειτουργίας της άντλησης ετησίως, αντίστοιχα για τα δύο σενάρια).

Το σύστημα της αντλησιοταμίευσης δεν φαίνεται να συμμετέχει δραστικά στην κάλυψη της ζήτησης και στην βοήθεια της διείσδυσης περαιτέρω αιολικής ενέργειας στο δίκτυο, καθώς η λειτουργία του παρουσιάζεται να είναι αρκετά περιορισμένη όλο τον χρόνο. Συγκεκριμένα, από την προσομοίωση του συστήματος για 50 χρόνια του Σεναρίου 1β, όπως φαίνεται και στον Πίνακα 6.3, κατά μέσο όρο το ποσοστό ωρών λειτουργίας της άντλησης ετησίως είναι 5,53%, ενώ το ποσοστό συμμετοχής της στην κάλυψη της συνολικής ζήτησης (αφαιρουμένων των MinMEK και Α/Γ ΛΑΚΙΟΣ ΑΕ) είναι 0,91%. Επιπλέον, στο Σχήμα Γ.5, του Παραρτήματος Γ, φαίνεται η προσφορά ενέργειας από άντληση (σε MWh) για κάθε έτος από τα 50 της προσομοίωσης. Η μέγιστη τιμή της ενέργειας αυτής φτάνει περίπου τα 462 MWh/έτος, ενώ η μέση τιμή της είναι 274 MWh/έτος, ποσά αρκετά μικρά σε σχέση με την συνολική ετήσια ζήτηση (μέσος όρος ετήσιας ζήτησης 30 GWh).

Να σημειωθεί ότι, η συμμετοχή της αντλησιοταμίευσης είναι πιθανό να αυξηθεί εάν, προκειμένου να αντλήσει επιπλέον όγκο νερού προς απόδοση υδροηλεκτρικής ενέργειας, απορροφήσει ενέργεια και από το δίκτυο, εκτός από το Α/Π του ΥΒΕ όπως προβλέπεται. Βασική προϋπόθεση ωστόσο, όπως αναφέρεται και στον ορισμό του υβριδικού συστήματος σύμφωνα με τον νόμο 3468/2006, είναι η συνολική ενέργεια που απορροφά από το δίκτυο, σε ετήσια βάση, να μην υπερβαίνει το 30% της συνολικής ενέργειας που καταναλώνεται για την πλήρωση του συστήματος αποθήκευσης του σταθμού.

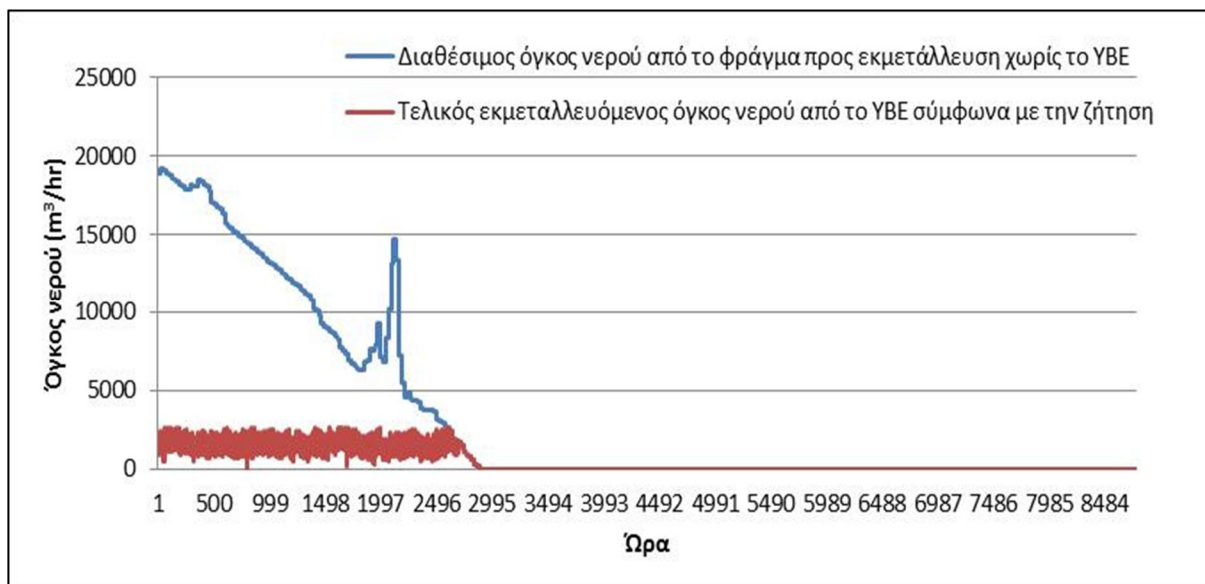
Τέλος, σύμφωνα με τις παραδοχές που έγιναν σχετικά με την ελάχιστη απαιτούμενη προσφορά ηλεκτρικής ενέργειας από τον ΤΣΠ του Αγίου Κηρύκου, για την ομαλή λειτουργία των μηχανών, αυτή καλύπτει το 23,36% της συνολικής ζήτησης.

Από τα αποτελέσματα που προέκυψαν κατά την αναπαράσταση των διάφορων σεναρίων του Πίνακα 6.2, προτεινόμενο σενάριο λειτουργίας του υβριδικού έργου θεωρείται το 1β, με βάση το οποίο έγινε αργότερα και η προσομοίωση του συστήματος για 50 χρόνια, τα αποτελέσματα της οποίας φαίνονται στον Πίνακα 6.3. Συγκεκριμένα επιτυγχάνεται ποσοστό ετήσιας κάλυψης 45,95%, κάλυψη την χειμερινή περίοδο 71,72% και την θερινή 10,50%, που θεωρούνται αρκετά αξιόλογα.

Στη συνέχεια, από την αναπαράσταση του συστήματος με το Σενάριο 1β για ένα έτος (εισροές του 1999) προκύπτει το Σχήμα Γ.1, του Παραρτήματος Γ, στο οποίο φαίνεται η καλή διαχείριση και εκμετάλλευση του όγκου νερού της δεξαμενής Προεσπέρας, καθώς αυτή δεν παραμένει μεγάλο χρονικό διάστημα γεμάτη, πράγμα που συμβάλει στην αξιοποίηση των νερών του Πεζίου, αλλά ούτε άδεια καθιστώντας έτσι τον υποκείμενο υδροηλεκτρικό σταθμό σημαντικό στην προσφορά ηλεκτρικής ενέργειας και αξιοποιήσιμα τα νερά της άντλησης. Ωστόσο, στο Σχήμα Γ.2, παρατηρείται ότι η δεξαμενή της Κάτω Προεσπέρας υπερχειλίζει σχεδόν όλο τον χρόνο, κάτι αναμενόμενο σύμφωνα με τον σχεδιασμό του έργου.

Επιπλέον, η περίσσεια ενέργειας, στο Σχήμα Γ.4, φαίνεται να είναι αρκετά μεγάλη την περίοδο Ιανουαρίου-Απριλίου, ενώ από την έναρξη της θερινής περιόδου τίθεται πλέον θέμα ελλείμματος και όχι περίσσειας. Να σημειωθεί ότι στο σχήμα αυτό, το έλλειμμα φαίνεται να συνεχίζεται και τους χειμερινούς μήνες Οκτωβρίου-Δεκεμβρίου, εξαιτίας της χρονοσειράς εισροών που χρησιμοποιήθηκε του έτους 1999, το οποίο θεωρείται ξηρό έτος. Στις περισσότερες περιπτώσεις ωστόσο, οι μήνες αυτοί είναι αρκετά υγροί ώστε να δώσουν ικανοποιητικές εισροές και να αποφευχθούν ελλείμματα τέτοιας τάξης.

Ακόμη, από το Σχήμα 7.1, παρατηρείται ο όγκος νερού από τον ταμιευτήρα που μένει αναξιοποίητος από το υβριδικό έργο, κυρίως τους χειμερινούς μήνες όπου υπάρχει και η αφθονία νερού. Από την άλλη, οι ανάγκες σε νερό για ύδρευση και άρδευση, ιδίως την χειμερινή περίοδο είναι αρκετά μικρότερες από τις εισροές που πραγματοποιούνται στο φράγμα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 7.2 για το έτος 1999.



Σχήμα 7.1 Ο διαθέσιμος όγκος νερού προς εκμετάλλευση από το φράγμα, χωρίς να ληφθεί υπόψη η λειτουργία του ΥΒΕ, σε σύγκριση με τον τελικά εκμεταλλεούμενο όγκο από το ΥΒΕ



Σχήμα 7.2 Ημερήσιο διάγραμμα εισροών-εκροών (άρδευση, ύδρευση, οικολογική παροχή) για το έτος 1999

Στο σημείο αυτό, θα πρέπει να τονιστεί, ότι τηρώντας απόλυτα τους κανόνες σχετικά με τον ελάχιστο επιτρεπτό όγκο στον ταμιευτήρα, αφού ληφθεί υπόψη δηλαδή και η λειτουργία του ΥΒΕ, σύμφωνα με το μοντέλο αναπαράστασης που κατασκευάστηκε τα ποσοστά

κάλυψης της ζήτησης από το έργο είναι αρκετά χαμηλά. Συγκεκριμένα, με το Σενάριο 1β επιτυγχάνεται κάλυψη 20,35% ετησίως και 27% την χειμερινή περίοδο. Εάν, λοιπόν, η λειτουργία του ΥΒΕ πραγματοποιηθεί τελικά σύμφωνα με το μοντέλο αυτό, είναι αναμενόμενη η μη τήρηση των κανόνων περί ελάχιστης στάθμης του ταμιευτήρα, προκειμένου να αξιοποιείται επαρκώς ο διαθέσιμος όγκος νερού στο Πέζι. Επιπλέον, όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.2, χωρίς να τηρούνται αυστηρά οι κανόνες αυτοί παρατηρείται ότι ο όγκος νερού του ταμιευτήρα δε πέφτει κάτω από τα 150.000 m³ περίπου, για βάθος χρόνου 50 ετών. Πράγμα που σημαίνει ότι αξιοποιείται κατά περιόδους, τουλάχιστον το 80% του διαθέσιμου όγκου νερού, ποσοστό αρκετά ικανοποιητικό.

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω θα μπορούσε να επιχειρηθεί μια καλύτερη διαχείριση της φόρτισης των δύο δεξαμενών και του φράγματος ως προς την απελευθέρωση ύδατος για παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας αλλά και του συστήματος άντλησης-ταμείωσης, ώστε να πραγματοποιείται μια βέλτιστη αξιοποίηση του ωφέλιμου όγκου του ταμιευτήρα. Ενδεχομένως, η κατασκευή υδροηλεκτρικών σταθμών με περισσότερους υδροστροβίλους ή υδροστροβίλους μεγαλύτερης ισχύος να επαρκούσε για την υψηλή αποδοτικότητα του έργου και να εκμεταλλευόταν καλύτερα τον συνδυασμό της αφθονίας νερού τον χειμώνα με την σημαντική υψομετρική διαφορά που υπάρχει μεταξύ των δεξαμενών. Επίσης, ο καθορισμός νέων κανονισμών σχετικά με τον ελάχιστο επιτρεπτό όγκο νερού στον ταμιευτήρα για τους διάφορους μήνες, λιγότερο αυστηρών, ίσως βοηθούσε στην αρτιότερη διαχείριση της διαθέσιμης ποσότητας νερού. Φυσικά δεν θα πρέπει να παραβλεφθούν οι περιβαλλοντικοί κανονισμοί και οι περιορισμοί σχετικά με την ελάχιστη στάθμη του ταμιευτήρα προκειμένου να μην υπάρχουν σοβαρές οικολογικές επιπτώσεις.

Φυσικά, δεν μπορεί να αμεληθεί το γεγονός της τεράστιας ανισοκατανομής προσφοράς και ζήτησης ύδατος και ηλεκτρικής ενέργειας που υπάρχει τον χειμώνα σε σχέση με το καλοκαίρι. Κάτι τέτοιο, είναι λογικό να δυσχεραίνει αρκετά τις διαδικασίες διαχείρισης των υδατικών πόρων της περιοχής, ώστε να επιτευχθεί η σωστή προσαρμογή τους σε σχέση με την αντίστοιχη ζήτηση που υπάρχει.

Δεν είναι όμως το μόνο που εμποδίζει την ακριβέστερη και λεπτομερέστερη μελέτη ενός τέτοιου πολύπλοκου έργου. Η έλλειψη αρκετών υδρολογικών, ανεμολογικών και άλλων

απαραίτητων δεδομένων για την μελέτη του έργου σε βάθος χρόνου αλλά και η κακή ποιότητα των όσων υπάρχουν καθιστούν την εξέταση του έργου αυτού σε οποιαδήποτε σενάρια λειτουργίας, αβέβαιη και μη προβλέψιμη. Ακόμη και το ειδικό λογισμικό SCADA & PLC, πάνω στο οποίο θα βασιστεί εξολοκλήρου η λειτουργία του υβριδικού έργου, στηρίζεται σε ένα πιλοτικό σενάριο λειτουργίας, το οποίο παράλληλα θα έχει την δυνατότητα προβλέψεων κάποιων μετεωρολογικών και υδρολογικών στοιχείων για την διαχείριση των επιμέρους παραμέτρων του υβριδικού και καθορισμού της σειράς προτεραιότητας φόρτισης των δεξαμενών, αν θα δίνεται προτεραιότητα στην άντληση κτλ. Κάτι τέτοιο θέτει την κατασκευή και την λειτουργία του έργου σε πειραματικό στάδιο, το οποίο ωστόσο θα είναι άξιο παρακολούθησης και μελέτης για την περαιτέρω βελτίωσή του αλλά και για την εφαρμογή παρόμοιας τεχνολογίας και τεχνογνωσίας σε παραπλήσιες περιπτώσεις, όπου η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας θα μπορεί να καλύψει σε επαρκή βαθμό την ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας.

Επομένως, στην συγκεκριμένη διπλωματική κατασκευάστηκαν και εξετάστηκαν δοκιμαστικά σενάρια αναπαράστασης του υβριδικού αυτού συστήματος, προκειμένου να γίνει κατανοητή η πολύπλοκη και πολυκριτηριακή λειτουργία αυτού αλλά και η συνεργασία των διάφορων τεχνολογιών που χρησιμοποιήθηκαν ώστε να εκμεταλλευτούν οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας του νησιού. Για τον λόγο αυτό κατά την προσπάθεια προσομοίωσης του έργου έγιναν διάφορες παραδοχές, όπως περιγράφονται στο υποκεφάλαιο 6.3, των οποίων η αλλαγή και η καλύτερη προσαρμογή σύμφωνα με τις ανάγκες του έργου, θα οδηγούσε στην εξαγωγή περισσότερο ρεαλιστικών αποτελεσμάτων σε σχέση με την αποδοτικότητα του υβριδικού ενεργειακού συστήματος.

Συγκεκριμένα, οι παραδοχές που έγιναν σχετικά με την ελάχιστη απαιτούμενη προσφορά ηλεκτρικής ενέργειας από τον θερμικό σταθμό (MinMEK) θα μπορούσαν να διαφοροποιηθούν και να γίνει μια καλύτερη κατανομή αυτής της ενέργειας στο χρόνο. Η γνώση των τεχνικών χαρακτηριστικών (ισχύς, τεχνικό ελάχιστο, κτλ) των συμβατικών μονάδων παραγωγής, με τις οποίες είναι εξοπλισμένος ο σταθμός, τον τρόπο της βέλτιστης λειτουργίας τους (ώρες ελάχιστης κράτησης και λειτουργίας) αλλά και ο σωστός συντονισμός αυτών από έμπειρο προσωπικό, ώστε να παράγεται η επιθυμητή κάθε φορά ποσότητα ενέργειας, μπορεί να οδηγήσει στην καλύτερη διαχείριση της διείσδυσης της

ελάχιστης απαιτούμενης συμβατικής ενέργειας στο σύστημα, ώστε να επιτευχθεί η ομαλή λειτουργία αυτού και η αύξηση της αποδοτικότητάς του.

Επίσης, η παραδοχή που έχει γίνει στην **στήλη V**, του Πίνακα 6.1, για την προσφορά ενέργειας από την αθροιστική άντληση, όπου δεν παράγεται ενέργεια στην περίπτωση που το έλλειμμα της ζήτησης, μαζί με την ενέργεια που προσφέρεται από τους υδρ/λους Κάτω Προεσπέρας, είναι μικρότερο από την ελάχιστη δυνατή που μπορεί να προσφέρει ο υδροστρόβιλος, θα μπορούσε με κατάλληλη προσαρμογή να αυξήσει την αποδοτικότητα του συστήματος και τις ώρες λειτουργίας της αντλησιοταμίευσης. Θα μπορούσε, για παράδειγμα, να γίνει η παραδοχή ότι στην περίπτωση που το έλλειμμα προκύπτει μικρότερο από την ενέργεια που είναι διαθέσιμη προς αξιοποίηση και παράλληλα δεν προσφέρεται ούτε το κατώτατο όριο ενέργειας που δύναται να προσφέρει ο υδροστρόβιλος, να ελευθερωνόταν όση από την υπάρχουσα ποσότητα νερού προς εκμετάλλευση ώστε να είναι δυνατή η παραγωγή ενέργειας. Κάτι τέτοιο, με τις παραδοχές που έχουν γίνει στην συγκεκριμένη περίπτωση δεν πραγματοποιείται, αλλά και η εφαρμογή της αλλαγής αυτής έχει ως αποτέλεσμα την υπερκάλυψη της ζήτησης, δηλαδή δίνεται στο δίκτυο παραπάνω ενέργεια από αυτήν που απαιτείται. Επομένως, με έναν καλύτερο συνδυασμό λειτουργίας των κυρίων μονάδων που αποτελούν το έργο, το ποσοστό κάλυψης της ζήτησης θα μπορούσε να είναι μεγαλύτερο.

Θα πρέπει να αναφερθεί, ακόμη, ότι κατά την προσομοίωση του ενεργειακού ισοζυγίου του έργου για 50 χρόνια δεν λήφθηκαν υπόψη οι πιθανές φθορές των τεχνικών στοιχείων που απαρτίζουν το έργο, όπως είναι οι σωληνώσεις του υδροηλεκτρικού έργου, το ενδεχόμενο μπάζωμα του ταμιευτήρα με το χρόνο κ.α., θέματα που η ενσωμάτωσή τους στις παραδοχές προσομοίωσης θα άλλαζε τις αρχικές συνθήκες αυτής.

Όσον αφορά την προσομοίωση των διαφόρων δεδομένων, οι παραδοχές που έγιναν σχετικά με την διατήρηση σταθερής ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας και ομοιόμορφης κατανομής των ημερήσιων απορροών του ταμιευτήρα σε ωριαίες και της μηνιαίας εξατμοδιαπνοής σε ημερήσια, δέχονται αλλαγές. Με την χρήση κατάλληλων μεθόδων και μοντέλων θα μπορούσε προφανώς να προσομοιωθεί ορθότερα η πιθανή αυξομείωση της

ζήτησης σε βάθος χρόνου αλλά και η κατανομή των απορροών και της εξατμοδιαπνοής σε μικρότερη χρονική κλίμακα.

Ένας άλλος περιοριστικός παράγοντας που καθορίζει τα όρια μελέτης και κατασκευής ενός έργου πολιτικού μηχανικού είναι η νομοθεσία και η οικονομία. Τα νομοθετικά πλαίσια και οι υπουργικές αποφάσεις που περιστοιχίζουν διάφορα στάδια του έργου αυτού θέτουν κανονισμούς σχετικά με την εξέλιξη των εργασιών και την λειτουργία του. Μια διεξοδικότερη, λοιπόν, ανασκόπηση της αντίστοιχης νομοθεσίας για τα υβριδικά έργα και γενικότερα για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ίσως να άλλαζε κατά πολύ τις αρχές σχεδιασμού του ενεργειακού συστήματος στην παρούσα εργασία, όπως είναι ο κανονισμός σχετικά με τον περιορισμό στο 30% της κάλυψης της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας από αιολική, πράγμα που όμως ξεπερνάει τον σκοπό της διπλωματικής αυτής. Από την άλλη, η τιμολόγηση των ενεργειών των διαφόρων συνιστωσών του ΥΒΕ καθορίζει τις προτεραιότητες ως προς την αξιοποίηση αυτών, όπως είναι στην συγκεκριμένη περίπτωση η διαθέσιμη αιολική και υδροηλεκτρική παραγωγή.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Αρχοντική, Μ., *Μελέτη δομής και λειτουργίας ενός υβριδικού ηλεκτρομηχανικού συστήματος μετατροπής της ενέργειας από ανανεώσιμες σε ηλεκτρική, Διπλωματική εργασία, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα, 2010.*

Βρεττός, Ε., *Ενεργειακή Προσομοίωση και Βέλτιστη Διαστασιολόγηση Υβριδικού Συστήματος ΑΠΕ – Συσσωρευτών – Υδρογόνου, Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2010.*

Γεωργαντέας, Ν., *Σχεδιασμός, Περιβαλλοντική και Οικονομική Ανάλυση Υβριδικού Συστήματος Αιολικής, Ηλιακής Ενέργειας και Diesel για την Ενεργειακή Αυτονομία των Νησιών. Η Περίπτωση της Αστυπάλαιας, Μεταπτυχιακή Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2011.*

ΔΑΥΕ-ΔΕΗ ΑΕ, *Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί, Αθήνα, 2006.*

ΔΕΗ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΑΕ, *Υβριδικό Ενεργειακό Έργο Ικαρίας, Αθήνα, 2012.*

ΔΕΗ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΑΕ, *Υβριδικό Ενεργειακό Έργο Ικαρίας: Διημερίδα «Εναλλακτικές μορφές ενέργειας στην Ικαρία και προστασία του περιβάλλοντος», Αθήνα, 2011.*

ΔΕΗ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΑΕ, Παπαθανασίου Σ., *Υβριδικό Ενεργειακό Έργο Ικαρίας: Ο πρώτος αιολικός-υδροηλεκτρικός-αντλησιοταμιευτικός σταθμός στην Ελλάδα, Αθήνα, 2009.*

Ερευνητική ομάδα «ΙΤΙΑ», *ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΓΙΑ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΥΔΡΟΓΝΩΜΩΝ-ΕΚΔΟΣΗ 4, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο-Σχολή Πολιτικών Μηχανικών-Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Έκδοση κειμένου 1.02, Αθήνα, 2010.*

Ευστρατιάδης, Α., Ε. Ρόζος και Α. Κουκουβίνος, *ΥΔΡΟΓΕΙΟΣ – Μοντέλο υδρολογικής και υδρογεωλογικής προσομοίωσης-Θεωρητική τεκμηρίωση*, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2009.

Ευστρατιάδης, Α., *Διερεύνηση μεθόδων αναζήτησης ολικού βελτίστου σε προβλήματα υδατικών πόρων*, MSc thesis, 139 σελίδες, Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων - Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2001.

Κ/Ξ Υδατοσυστημάτων Αιγαίου (ΤΕΜ ΑΕ, ΛΔΚ ΕΠΕ, ΥΔΡΟΕΞΥΓΙΑΝΤΙΚΗ ΕΕ, TERRAMENTOR ΕΟΟΣ), *ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΕΡΓΑΛΕΙΩΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑΤΟΣ ΝΗΣΩΝ ΑΙΓΑΙΟΥ-Α΄ ΦΑΣΗ: Συλλογή, Επεξεργασία και διαχείριση δεδομένων*, ΤΕΥΧΟΣ **42** – ΝΗΣΟΣ ΙΚΑΡΙΑ, ΝΟΜΟΣ ΣΑΜΟΥ, ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΒΟΡΕΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ, ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ-ΓΕΝΙΚΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΦΥΣΙΚΟΥ ΠΛΟΥΤΟΥ-Δ/ΝΣΗ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ, 2005.

Κοσσιέρης, Π., *Ανάπτυξη υπολογιστικού συστήματος για τον μονοδιάστατο στοχαστικό επιμερισμό ημερήσιων βροχοπτώσεων σε ωριαίες*, Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2011.

Κουτσογιάννης, Δ., *Μοντέλο Επιμερισμού Σημειακής Βροχόπτωσης*, Διδακτορική διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 1988.

Κρητικού, Ζ. Α., *Τα αίτια της λειψυδρίας και της πλημμυρογένεσης στα νησιά του βορειοανατολικού Αιγαίου (Ν. Λέσβου, Ν. Χίου, Ν. Σάμου)*, Διδακτορική διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη, 2005.

Μαμάσης, Ν. και Στεφανάκος Ι., *Σημειώσεις στην Εισαγωγή στην Ενεργειακή Τεχνολογία*, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο-Σχολή Πολιτικών Μηχανικών-Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Αθήνα, 2012.

Μπαλάρας, Κ., Α. Αργυρίου και Φ. Καραγιάννης, *Συμβατικές & ήπιες μορφές ενέργειας*, Εκδόσεις ΤεΕΚΔΟΤΙΚΗ, Αθήνα, 2006.

Παπαευθυμίου, Σ., *Συμβολή στην Ανάλυση Υβριδικών Αιολικών-Αντλησιοταμιευτικών Σταθμών Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας*, Διδακτορική διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2012.

Παπαευθυμίου, Σ., Ε. Καραμάνου, Σ. Παπαθανασίου, Μ. Παπαδόπουλος, Σ. Ροντήρης και Ι. Δρυμωνίτης, *Αρχές Διαχείρισης Υβριδικών Σταθμών: Εφαρμογή στο Σύστημα της Ικαρίας*, Αθήνα, 2009.

Παπαντώνης, Δ., *Νέες προοπτικές για την Ανάπτυξη της αντλησιοταμίευσης στην Ελλάδα*
Τεχνολογία και Τεχνολογικοί Περιορισμοί,
http://library.tee.gr/digital/m2380/m2380_papantonis.pdf, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2009.

Πατσιίδης, Γ., *Εργαστηριακή διερεύνηση της εξόρυξης ορθογενέσιου Ικαρίας με μηχανικά μέσα*, Μεταπτυχιακή Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2012.

Σαραφιανός, Δ. και Μ. Σειραγάκης, *Τεχνοοικονομική μελέτη και σύγκριση υβριδικών συστημάτων. Εφαρμογή σε αυτόνομη κατοικία.*, Διπλωματική εργασία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη, 2009.

Σπυρόπουλος, Γ., *Ολοκληρωμένη Διαχείριση Απομονωμένων Περιοχών. Η περίπτωση της ενέργειας στην Ικαρία*, Διατριβή, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Μυτιλήνη, 2007.

Στάμου, Α., *ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ-Ροή υπό πίεση*, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα 2009.

Τσιπουρίδης, Ι., Η. Λιγνός και Γ. Κατσουρός, *Το υβριδικό ενεργειακό έργο Ικαρίας-Ένα πρωτοποριακό έργο που θα συμβάλλει σημαντικά στην ανάπτυξη της Ικαρίας*,

ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΙΚΑΡΙΑΚΩΝ ΜΕΛΕΤΩΝ-ΑΣΤΙΚΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΜΗ ΚΕΡΔΟΣΚΟΠΙΚΟΥ ΧΑΡΑΚΤΗΡΑ
(Τριμηνιαία έκδοση Ιούλιος-Σεπτέμβριος, αρ. φύλλου 13), 23 σελίδες, 2010.

Duan, Q., S. Sorooshian, and V. Gupta, Effective and efficient global optimization for conceptual rainfall-runoff models, *Water Resources Research*, 28(4), 1015-1031, 1992.

Efstratiadis, A., and D. Koutsoyiannis, An evolutionary annealing-simplex algorithm for global optimisation of water resource systems, *Proceedings of the Fifth International Conference on Hydroinformatics*, Cardiff, UK, 1423-1428, International Water Association, 2002.

Kirkpatrick, S., C. D. Gelatt, and M. P. Vecchi, Optimization by simulated annealing, *Science*, 220, 671-680, 1983.

Kossieris, P., D. Koutsoyiannis, C. Onof, H. Tyrallis, and A. Efstratiadis, *HyetosR: An R package for temporal stochastic simulation of rainfall at fine time scales*, Geophysical Research Abstracts, Vol. 14, European Geosciences Union General Assembly, Vienna, 2012.

McGowan, A. and R. Humphries, *Wind-Rain Relationships in Southwestern British Columbia*, <http://bricks-and-brome.net/35c11.pdf>, Canada, 2004.

Nash, J. E., and J. V. Sutcliffe, River flow forecasting through conceptual models: (I) A discussion of principles, *Journal of Hydrology*, 10(3), 282-290, 1970.

Nelder, J. A., and R. Mead, A simplex method for function minimization, *Computer Journal*, 7(4), 308-313, 1965.

Rodríguez - Iturbe I., D. R. Cox, F.R.S. and V. Isham, Some models for rainfall based on stochastic point processes, *Proc. R. Soc. Lond. A* 417, 269 – 288, 1987.

Rodríguez - Iturbe I., D. R. Cox, F.R.S. and V. Isham, A point process model for rainfall: further developments, *Proc. R. Soc. Lond. A* 417, 283 – 298, 1988.

Rozos, E., A. Efstratiadis, I. Nalbantis, and D. Koutsoyiannis, Calibration of a semi-distributed model for conjunctive simulation of surface and groundwater flows, *Hydrological Sciences Journal*, 49(5), 819-842, 2004.

Παράρτημα Α

Πίνακες ιστορικών δεδομένων εισροών, βροχόπτωσης (και τα επεξεργασμένα), ταχύτητας ανέμου, ύδρευσης, άρδευσης και οικολογικής παροχής

Πίνακες Α.1(α), (β), (γ) Ιστορικές χρονοσειρές εισροών και βροχόπτωσης για τα έτη (α) 1997, (β) 1998 και (γ) 1999

1997																								
	Ιανουάριος		Φεβρουάριος		Μάρτιος		Απρίλιος		Μάιος		Ιούνιος		Ιούλιος		Αύγουστος		Σεπτέμβριος		Οκτώβριος		Νοέμβριος		Δεκέμβριος	
Μέση θερμοκρασία αέρα (°C) [3]	11,6		9,9		11,3		12,6		21,6		26,3		28,7		26,5		23,3		18,2		15,8		12,5	
Μέση σχετική υγρασία (%) [1]	68		69		58		65		57		47		42		48		45		67		73		72	
Ολικό ύψος νετού (mm)	38,9		53		74,5		115,5		17,2		0,2		0		0		0		19,6		34,4		171,3	
Νέφωση (σε όγδοα) [1]	2,9		3,5		3,0		4,6		1,2		1,2		0,5		1,0		0,8		3,3		4,2		4,6	
Ημέρα	Εισροές (m ³ /d)	Βροχοπτώσεις (mm)*,[2]	Εισροές (m ³ /d)	Βροχοπτώσεις (mm)*,[2]	Εισροές (m ³ /d)	Βροχοπτώσεις (mm)*,[2]	Εισροές (m ³ /d)	Βροχοπτώσεις (mm)*,[2]	Εισροές (m ³ /d)	Βροχοπτώσεις (mm)*,[2]	Εισροές (m ³ /d)	Βροχοπτώσεις (mm)*,[2]	Εισροές (m ³ /d)	Βροχοπτώσεις (mm)*,[2]	Εισροές (m ³ /d)	Βροχοπτώσεις (mm)*,[2]	Εισροές (m ³ /d)	Βροχοπτώσεις (mm)*,[2]	Εισροές (m ³ /d)	Βροχοπτώσεις (mm)*,[2]	Εισροές (m ³ /d)	Βροχοπτώσεις (mm)*,[2]	Εισροές (m ³ /d)	Βροχοπτώσεις (mm)*,[2]
1	-	-	20,5	19,2	-	-	12441,6	17,2	4401,32	-	1284,21	-	0	-	291,67	-	225,72	-	1863,28	-	58938,84	12,4		
2	-	-	4,7	-	-	27,9	12441,6	-	3929,99	-	1228,74	-	0	-	281,99	-	145,26	-	1849,57	-	58938,84	15		
3	-	-	-	-	-	8,6	12441,6	-	3886,02	0	1175,67	-	0	-	272,46	-	139,03	-	1800,83	-	58938,84	0,5		
4	-	-	-	-	-	15,4	12441,6	-	3875,22	-	1124,88	-	0	-	263,12	-	123,08	0	1647,23	-	58938,84	16,7		
5	-	-	-	-	-	13	12441,6	-	3864,48	-	1076,29	-	0	-	253,96	-	79,42	-	1637,77	-	58938,84	-		
6	-	-	0	-	-	-	12441,6	-	3853,8	0,2	1029,8	-	0	-	245	-	76,21	-	1639,4	-	157086,4	-		
7	8,9	-	14,1	-	-	4,8	12441,6	-	3843,17	-	985,32	-	0	-	236,22	-	75,87	-	1641,07	-	571838,27	25,5		
8	24,6	-	0,4	-	-	3,6	12441,6	-	3832,6	-	942,76	-	0	-	227,63	-	92,14	-	1642,79	-	500911,07	6,7		
9	-	-	-	-	-	-	12441,6	-	3766,9	-	902,04	-	0	-	219,23	-	154,02	-	1644,57	-	170906,61	-		
10	-	-	-	-	-	-	12441,6	-	3581,67	-	863,08	-	0	-	203,41	-	175,89	-	1646,39	-	95153,33	-		
11	-	-	-	1,5	-	-	12441,6	-	3558,02	-	825,8	-	0	-	175,66	-	235,5	-	1648,26	-	83737,16	-		
12	0,4	-	-	-	-	10	12441,6	-	3428,97	-	790,13	-	0	-	157,22	-	247,51	-	1650,18	-	60627,32	-		
13	5	-	-	-	-	2,4	12441,6	-	3059,74	-	756	-	0	-	108,59	-	297,67	-	1652,15	-	58938,84	10		
14	-	-	1,7	-	-	9,1	12441,6	-	2878,92	-	723,34	-	0	-	93,84	-	402,08	-	1654,17	1	58938,84	53,4		
15	-	-	0,8	-	-	-	12441,6	-	2420,78	-	692,1	-	0	-	62,66	-	498,92	0,1	1656,24	-	116169,77	8,4		
16	-	-	5	-	-	-	12404,18	-	2381,74	-	662,2	-	0	-	66,24	-	449,13	3,2	1658,36	4,6	287579,04	1,8		
17	-	-	-	-	-	15,1	12365,23	-	2375,5	-	633,6	-	0	-	88,13	-	287,79	-	1660,53	0,4	130924,32	-		
18	-	-	1,5	4,8	-	1,2	11863,73	-	2369,31	-	606,23	-	0	-	99,27	-	289,06	-	1713,03	-	85687,34	-		
19	-	-	-	-	-	0,3	10369,51	-	2334,87	-	580,05	-	0	-	164,26	-	398,06	1,3	1894,08	0,2	60627,32	-		
20	-	-	-	-	-	0,1	9865,14	-	2211,65	-	554,99	-	0	-	322,2	-	673,14	0	3190,46	1,7	58938,84	-		
21	-	-	-	34,9	-	-	8701,62	-	2087,57	-	531,02	-	0	-	337,62	-	1500,59	-	12446,13	7,7	58938,84	0,9		
22	-	-	-	-	-	-	8264,94	-	1969,55	-	508,08	-	0	-	326,02	-	1911,81	-	13612,83	12,5	55691,35	0,7		
23	-	-	-	-	-	-	6889,44	-	1857,33	-	486,14	-	0	-	292,77	-	2047,6	-	13667,65	-	45456,69	-		
24	-	-	-	0,2	-	-	5723,17	-	1750,67	-	465,14	-	0	-	289,75	-	2455,43	-	27291,34	-	41751,14	-		
25	-	-	-	-	-	-	5621,09	-	1649,32	-	445,05	-	0	-	288,97	-	2327,09	15	92207,95	-	32537,93	-		
26	-	-	-	-	-	-	5597,69	-	1553,06	-	425,82	-	0	-	288,21	-	2317,85	-	100282,16	-	31856,7	-		
27	-	-	-	-	-	-	5574,37	-	1461,65	-	407,43	-	0	-	287,46	-	2321,9	-	107245,81	0,7	31856,7	-		
28	-	-	4,3	-	-	-	5551,15	-	1374,89	-	389,83	-	0	-	286,74	-	2274,87	-	120277,33	3,9	37527,42	6,4		
29	-	-	-	-	-	-	5528,01	-	1292,56	-	372,99	-	0	-	286,04	-	2117,96	-	113388,96	1,7	57315,86	12,9		
30	-	-	-	4,6	4	5266,33	-	1214,47	-	356,88	-	0	-	277,69	-	2110,55	-	62614,33	-	58938,84	-			
31	-	-	-	9,3	-	4605,9	-	-	-	341,47	-	0	-	-	-	2057,08	-	-	-	-	52729,85	-		
Σύνολο	0	38,9	0	53	0	74,5	0	115,5	310815,5	17,2	82065,74	0,2	22167,08	0	0	0	6794,03	0	28508,23	19,6	698424,85	34,4	3297359,99	171,3

1998																								
	Ιανουάριος		Φεβρουάριος		Μάρτιος		Απρίλιος		Μάιος		Ιούνιος		Ιούλιος		Αύγουστος		Σεπτέμβριος		Οκτώβριος		Νοέμβριος		Δεκέμβριος	
Θερμοκρασία αέρα	10,3		11,7		10,5		16,9		20,1		26,6		29,2		30,1		24,4		20,4		16,4		12	
σχετική υγρασία	70		63		65		66		65		47		45		44		53		62		71		73	
ολικός υετός	108,3		46,3		136,4		20,6		127,3		0		0		0		19		18		309,2		189,4	
νέφωση	3,6		2,5		4,4		3,7		3,8		0,4		0,3		0,0		2,0		2,3		4,4		5,2	
Ημέρα	Εισροές	Βροχές	Εισροές	Βροχές	Εισροές	Βροχές	Εισροές	Βροχές	Εισροές	Βροχές	Εισροές	Βροχές	Εισροές	Βροχές	Εισροές	Βροχές	Εισροές	Βροχές	Εισροές	Βροχές	Εισροές	Βροχές	Εισροές	Βροχές
1	33256,69	-	267486,78	1,1	11128,02	-	45322,19	2,3	11524,57	-	7813,42	-	1811,19	-	442,13	-	82,09	-	74,35	-	3380,1	-	20580,77	-
2	37527,42	-	504814,93	25,1	11128,02	-	44694,28	0,9	11128,02	-	7718,54	-	1810,12	-	415,4	-	79,23	-	74,18	-	3893,83	-	20189,52	-
3	57315,86	-	151900,5	-	11128,02	-	41751,14	-	11128,02	-	7712,74	-	1809,06	-	343,87	-	79,06	-	74,02	-	3974,19	-	19094,23	-
4	58938,84	-	136774,11	-	11128,02	-	32537,93	-	11128,02	0,1	7424,06	-	1807,99	-	290,24	-	78,89	-	73,86	-	4121,33	-	18498,6	-
5	52577,42	0,8	166379,95	1,7	11128,02	-	31856,7	-	9365,46	1,6	6539,72	-	1806,93	-	254,09	-	78,72	-	73,69	-	4130,57	-	16862,33	17,3
6	33238,47	-	168726,98	13	11128,02	-	31856,7	-	4233,57	-	6470,16	-	1753,22	-	230,62	-	78,55	-	82,24	-	4127,13	-	16599,38	-
7	31856,7	-	142002,39	-	11128,02	-	31856,7	-	3887,18	-	6220,02	-	1594,45	-	216,06	-	78,37	-	141,25	-	4123,69	-	16192,81	1,6
8	31856,7	-	64190,84	-	11128,02	-	31856,7	-	3887,18	-	5396,98	-	1582,48	-	207,48	-	78,2	-	254,48	-	4352,77	-	16154,74	0,7
9	31856,7	-	58938,84	-	11128,02	-	31856,7	-	3887,18	21	4804,15	-	1581,67	-	202,74	-	78,03	-	264,63	-	5151,98	-	16261,14	0,6
10	31856,7	-	58938,84	-	11128,02	3,6	31856,7	-	3887,18	-	4299,11	-	1580,86	-	200,27	-	77,86	-	316,64	-	5211,71	-	17149,35	0,7
11	26810,93	0,5	58938,84	-	20164,23	26,4	29250,63	-	3887,18	-	4262,26	-	1580,05	-	199,03	-	77,69	-	521,41	-	5206,37	-	18809,11	12,5
12	12119,63	-	58938,84	-	55761,29	-	21178,02	-	3887,18	-	4259,65	-	1579,24	-	198,37	-	77,52	-	541,2	-	5473,39	-	18927,58	83,9
13	11128,02	-	58938,84	-	52577,42	-	20588,22	-	5339,45	-	4025,18	-	1578,43	-	197,95	-	77,35	-	547,13	-	6392,66	0,4	18917,12	1
14	11128,02	-	58938,84	-	33238,47	-	20588,22	-	12654,05	-	3320,05	-	1513,69	-	197,58	-	77,18	-	546,96	5,6	6460,79	64,1	18906,67	-
15	11128,02	-	58938,84	-	31856,7	1,1	18366,08	-	27713,15	-	3267,62	-	1322,01	-	197,22	-	77,01	-	546,18	0,2	6454,71	14,2	18896,21	12,7
16	11128,02	-	52577,42	-	31856,7	0,4	11610,69	-	63403,94	1	3265,48	-	1267,24	-	196,86	-	76,84	-	638,77	0,2	6813,33	-	18885,75	1,9
17	11128,02	-	33238,47	-	31856,7	-	11128,02	-	81843,96	85,2	3263,34	-	1145,73	-	196,5	-	76,68	-	1001,71	-	8394,8	9,5	18875,31	1
18	9365,46	-	31856,7	5,4	31856,7	-	11128,02	-	57379,82	-	3156,8	-	1136,62	-	196,15	-	76,51	-	1099,67	-	10434,95	-	18864,85	9,2
19	4233,57	-	31856,7	-	31856,7	-	11128,02	-	42513,54	13	2837,87	-	1086,97	-	195,79	-	76,34	7	1520,91	-	13295,98	0,5	18344,15	4,2
20	5339,45	4,2	31856,7	-	31856,7	-	11128,02	-	32537,93	0,7	2813,42	-	909,93	-	195,44	-	76,17	10,1	2260,16	-	13762,27	-	16716,18	2,1
21	31287,49	22	31856,7	-	31856,7	1	11128,02	-	31856,7	-	2811,71	-	807,81	-	195,08	-	76,01	-	2338,09	-	13774,43	0,7	16453,8	15,8
22	119743,66	44,2	26810,93	-	31856,7	18,9	11128,02	-	29250,63	-	2725,65	-	800,97	-	194,73	-	75,84	0,5	2418,64	-	13765,37	120,1	16046,98	6,3
23	127948,41	20,2	12119,63	-	31856,7	5,4	11128,02	-	21178,02	-	2469	-	800,51	-	194,37	-	75,67	-	2504,81	-	13756,3	-	15903,96	9,2
24	119522,93	-	11128,02	-	31856,7	-	11128,02	-	20588,22	-	2449,42	-	777,03	-	177,9	-	75,51	-	2509,51	-	14677,24	10	15577,98	8,7
25	93147,84	-	11128,02	-	644193,7	5,9	20164,23	12,3	18366,08	-	2366,02	-	671,98	-	130,61	-	75,34	-	2507,12	4	18044,4	3,6	15545,8	-
26	99104,02	-	11128,02	-	2745854,93	15,6	49399,87	4,6	11610,69	4,3	2118,58	-	557,9	-	127,14	-	75,17	-	2504,73	3,2	19174,41	4,2	21212,92	-
27	134642,7	14,4	11128,02	-	509098,39	51,5	33238,47	0,4	10886,27	-	2099,81	-	549,99	-	126,89	-	75,01	-	2533,9	4,8	19733,47	1,3	30554,61	-
28	166379,95	1,9	11128,02	-	366283,89	6,6	29250,63	-	9265,78	-	2031,26	-	549,65	-	126,63	-	74,84	-	2644,97	-	19942,46	17,6	31856,7	-
29	168726,98	-			366283,89	-	21178,02	0,1	9140,76	-	1827,71	-	549,32	-	126,38	-	74,68	-	2775,79	-	20550,84	14,5	37527,42	-
30	168726,98	0,1			287307,04	-	18259,95	-	9134,18	0,4	1812,26	-	548,98	-	126,13	-	74,51	1,4	3201,57	-	20591,19	48,5	57315,86	-
31	168726,98	-			68602,53	-			8838,11	-			523,9	-	115,6	-			3233,76	-			55532,43	-
Σύνολο	1911748,58	108,3	2322661,71	46,3	5579212,98	136,4	737542,93	20,6	585332,02	127,3	121582	0	37395,92	0	6415,25	0	2310,87	19	39826,33	18	299166,66	309,2	677254,26	189,4

1999																								
	Ιανουάριος		Φεβρουάριος		Μάρτιος		Απρίλιος		Μάιος		Ιούνιος		Ιούλιος		Αύγουστος		Σεπτέμβριος		Οκτώβριος		Νοέμβριος		Δεκέμβριος	
Θερμοκρασία αέρα	12,1		10,9		13,3		17		22,3		27,1		29,6		29,5		24,9		20,9		16		14,1	
σχετική υγρασία	68		71		64		61		52		47		46		44		51		59		63		71	
ολικός υετός	126,7		203,2		74,5		50,6		0		0		0		0		0		1,9		30,2		83,1	
νέφωση	4,6		4,9		3,5		3,1		2,1		0,8		0,1		0,3		1,1		2,2		3,6		4,8	
Ημέρα	Εισροές	Βροχές	Εισροές	Βροχές	Εισροές	Βροχές	Εισροές	Βροχές	Εισροές	Βροχές	Εισροές	Βροχές	Εισροές	Βροχές	Εισροές	Βροχές	Εισροές	Βροχές	Εισροές	Βροχές	Εισροές	Βροχές	Εισροές	Βροχές
1	48405,13	-	58938,84	62	44694,28	-	126219,36	-	3887,18	-	1786,78	-	642,39	-	174,31	-	40,24	-	0,01	-	0	-	5,86	-
2	58118,99	-	58938,84	1,2	41751,14	-	85687,34	1,1	3833,68	-	1693,54	-	640,45	-	127,43	-	40,02	-	0,01	-	0	-	5,81	-
3	58938,84	10	58938,84	-	32537,93	-	64002,81	15,9	3796,03	-	1404,08	-	597,38	-	123,73	-	35,37	-	0,01	-	0	-	5,76	-
4	58938,84	-	58938,84	1	31856,7	-	70054,43	18	3494,84	-	1334,63	-	473,12	-	123,18	-	22,84	-	0	-	0	-	5,72	-
5	58938,84	0,4	58938,84	0,5	31856,7	-	59775,06	-	3634,82	-	1328,12	-	463,02	-	122,63	-	21,89	-	0	-	0	-	5,67	-
6	58938,84	-	58938,84	10,1	31856,7	-	58938,84	-	3618,47	-	1324,8	-	461,54	-	122,09	-	19,06	-	0	-	0	-	5,62	-
7	58938,84	-	58938,84	21,2	31856,7	-	58938,84	-	3556,8	-	1310,29	-	460,07	-	121,56	-	11,57	-	0	-	0	-	5,58	-
8	58938,84	-	58938,84	0,6	31856,7	-	55691,35	-	3246,35	-	1274,94	-	455,68	-	121,03	-	11,02	-	0	-	10,17	-	5,53	-
9	58938,84	1,1	58938,84	10,9	29250,63	-	45456,69	-	2802,66	-	1269,49	-	446,26	-	120,51	-	10,94	-	0	-	379,8	-	5,49	-
10	58938,84	0,4	58938,84	-	21178,02	-	44694,28	-	2766,61	-	1266,19	-	413,39	-	119,98	-	9,34	-	0	-	175,71	-	5,44	-
11	58938,84	-	58938,84	-	20588,22	-	44694,28	2,6	2761,28	-	1262,91	-	320,62	-	119,46	-	5,22	-	0	-	75,38	-	5,4	1
12	62314,34	-	58938,84	11,5	18366,08	-	44694,28	6,8	2755,97	-	1259,63	-	313,14	-	118,93	-	4,93	-	0	-	48,51	-	5,36	13,5
13	73581,71	-	58938,84	20,1	11610,69	-	44694,28	6,2	2708,78	-	1256,36	-	310,39	-	118,41	-	4,89	-	0	-	46,79	-	5,31	2,2
14	74470,91	11,3	58938,84	3,3	11128,02	-	41751,14	-	2579,55	-	1253,09	-	304,86	-	117,89	-	4,06	-	0	-	46,55	4,1	5,27	2,4
15	78117	26,1	58938,84	5,7	11128,02	-	32537,93	-	2565,63	-	1249,84	-	303,5	-	117,38	-	2,02	-	0	-	41,29	9,2	5,23	1,6
16	90243,82	-	58938,84	3,6	11128,02	-	31856,7	-	2560,36	-	1177,18	-	302,42	-	116,86	-	1,88	-	0	-	27,04	-	6,3	4,5
17	91197,65	-	58938,84	11,4	11128,02	3	31856,7	-	2555,09	-	965,22	-	301,34	-	116,35	-	1,51	-	0	-	25,96	-	10,7	-
18	91197,65	-	58938,84	4,1	15285,51	1,1	31856,7	-	2549,84	-	947,79	-	300,26	-	115,84	-	0,63	-	0	-	22,7	-	11,03	-
19	91197,65	-	58938,84	5,6	30554,61	6,8	31856,7	-	2513,38	-	945,22	-	298,31	-	115,33	-	0,58	-	0	1,5	14,3	-	12,94	-
20	87409,93	-	58938,84	-	37527,42	3	29250,63	-	2416,4	-	935,19	-	294,99	-	114,82	-	0,57	-	0	-	13,39	-	20,55	-
21	75375,31	-	58938,84	-	57315,86	0,5	21178,02	-	2404,83	-	911,51	-	293,78	-	103,84	-	0,56	-	0	-	13,3	-	889,05	4,2
22	74470,91	8,3	58938,84	18,2	58938,84	-	20588,22	-	2287,64	-	907,56	-	292,72	-	73,28	-	0,43	-	0	0	13,21	-	31822,12	34,6
23	74470,91	-	58938,84	5,9	73162,76	-	20588,22	-	1942,75	-	905,02	-	291,25	-	70,9	-	0,14	-	0	0,4	11,34	15,7	41240,15	16,7
24	74470,91	-	58938,84	6	107308,57	33,5	18366,08	-	1914,1	-	902,49	-	266,94	-	70,56	-	0,12	-	0	-	6,49	0,4	12865,14	-
25	70943,63	-	58938,84	-	59131,23	-	11610,69	-	1887,1	-	899,96	-	200,64	-	70,21	-	0,12	-	0	-	6,14	0,8	6261,81	0,4
26	59775,06	0,1	58938,84	0,3	55100,5	-	11128,02	-	1816,46	-	897,44	-	195,35	-	69,87	-	0,08	-	0	-	6,09	-	3473,33	-
27	58938,84	-	55691,35	-	96286,17	0	11128,02	-	1807,7	-	841,35	-	194,58	-	69,53	-	0,01	-	0	-	6,05	-	2646,95	1,6
28	58938,84	7,4	45456,69	-	143850,51	13,3	9365,46	-	1803,5	-	673,8	-	193,65	-	69,19	-	0,01	-	0	-	6	-	2259,81	0,4
29	58938,84	29,5			218582,35	5,4	4233,57	-	1799,3	-	647,16	-	192,51	-	68,86	-	0,01	-	0	-	5,95	-	1897,6	-
30	58938,84	17,4			258345,18	7,9	3887,18	-	1795,12	-	644,34	-	191,72	-	61,62	-	0,01	-	0	-	5,9	-	1498,97	-
31	58938,84	14,7			229544,53	-			1790,94	-			190,96	-	41,76	-			0	-			1470	-
Σύνολο	2100905,27	126,7	1633557,88	203,2	1864706,61	74,5	1166581,82	50,6	81853,16	0	33475,92	0	10607,23	0	3217,34	0	250,07	0	0,03	1,9	1008,06	30,2	106469,5	83,1

Πίνακας Α.4 Δεδομένα υπολογισμού εξατμοδιαπνοής σε μηνιαία βάση

	Θερμοκρασία (°C)	Σχετική Υγρασία (%)	Νέφωση (σε όγδοα)	Ταχύτητα ανέμου-Ικαρία, Αγιος Κήρυκος (m/s)	Νέφωση (%)	Ηλιοφάνεια (%)	Θερμοκρασία (°C) στα 600 m	Εξατμισοδιαπνοή (mm, Penman-Monteith)
Μαϊ-97	21,60	57,00	1,20	4,73	0,15	0,85	18,00	167,99
Ιουν-97	26,30	47,00	1,17	4,73	0,15	0,85	22,70	215,94
Ιουλ-97	28,70	42,00	0,47	6,79	0,06	0,94	25,10	282,23
Αυγ-97	26,50	48,00	1,00	5,97	0,13	0,88	22,90	223,50
Σεπ-97	23,30	45,00	0,83	5,66	0,10	0,90	19,70	180,73
Οκτ-97	18,20	67,00	3,30	6,22	0,41	0,59	14,60	94,88
Νοε-97	15,80	73,00	4,23	8,13	0,53	0,47	12,20	68,20
Δεκ-97	12,50	72,00	4,63	8,69	0,58	0,42	8,90	60,12
Ιαν-98	10,30	70,00	3,63	9,26	0,45	0,55	6,70	59,64
Φεβ-98	11,70	63,00	2,53	9,47	0,32	0,68	8,10	75,50
Μαρ-98	10,50	65,00	4,37	7,77	0,55	0,45	6,90	77,32
Απρ-98	16,90	66,00	3,67	5,81	0,46	0,54	13,30	105,22
Μαϊ-98	20,10	65,00	3,80	4,73	0,48	0,53	16,50	129,71
Ιουν-98	26,60	47,00	0,40	4,73	0,05	0,95	23,00	223,95
Ιουλ-98	29,20	45,00	0,33	6,79	0,04	0,96	25,60	279,35
Αυγ-98	30,10	44,00	0,00	5,97	0,00	1,00	26,50	267,63
Σεπ-98	24,40	53,00	1,97	5,66	0,25	0,75	20,80	166,06
Οκτ-98	20,40	62,00	2,33	6,22	0,29	0,71	16,80	116,46
Νοε-98	16,40	71,00	4,40	8,13	0,55	0,45	12,80	74,28
Δεκ-98	12,00	73,00	5,23	8,69	0,65	0,35	8,40	56,83
Ιαν-99	12,10	68,00	4,60	9,26	0,58	0,43	8,50	69,19
Φεβ-99	10,90	71,00	4,90	9,47	0,61	0,39	7,30	58,13
Μαρ-99	13,30	64,00	3,47	7,77	0,43	0,57	9,70	92,31
Απρ-99	17,00	61,00	3,10	5,81	0,39	0,61	13,40	116,64
Μαϊ-99	22,30	52,00	2,07	4,73	0,26	0,74	18,70	175,73
Ιουν-99	27,10	47,00	0,80	4,73	0,10	0,90	23,50	224,37
Ιουλ-99	29,60	46,00	0,13	6,79	0,02	0,98	26,00	281,22
Αυγ-99	29,50	44,00	0,27	5,97	0,03	0,97	25,90	261,21
Σεπ-99	24,90	51,00	1,07	5,66	0,13	0,87	21,30	177,18
Οκτ-99	20,90	59,00	2,20	6,22	0,28	0,73	17,30	125,63
Νοε-99	16,00	63,00	3,63	8,13	0,45	0,55	12,40	89,71
Δεκ-99	14,10	71,00	4,83	8,69	0,60	0,40	10,50	67,12

Πίνακας Α.5 Ωριαία δεδομένα ταχύτητας ανέμου σε ύψος 55 m για το έτος 2001

	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	0:00	MONTHLY AVERAGE
1/1/2001	30.00	27.30	29.21	23.01	13.67	13.78	14.53	13.78	14.57	12.88	11.50	10.82	11.56	10.71	9.81	7.90	5.51	3.13	1.96	1.91	2.60	4.93	5.19	8.32	
2/1/2001	6.25	3.34	4.29	1.91	5.78	7.85	7.90	7.32	8.65	7.42	8.27	9.06	13.31	10.71	7.74	7.53	8.80	7.32	5.88	6.15	5.88	4.29	4.40	2.81	
3/1/2001	3.65	2.38	4.25	2.96	2.86	2.28	1.65	1.27	1.48	1.38	2.49	3.02	3.65	4.55	5.67	6.74	6.05	7.21	6.25	7.64	5.19	4.14	3.93	3.76	
4/1/2001	3.65	3.87	3.50	2.55	2.75	2.96	3.07	2.28	1.38	1.11	0.69	0.75	2.44	2.02	2.55	2.17	3.24	1.48	1.65	2.02	1.22	1.48	1.80	2.92	
5/1/2001	3.82	2.70	2.17	1.65	2.28	3.76	4.40	4.29	5.99	6.42	6.52	6.84	7.96	8.11	7.58	7.10	5.35	6.84	5.09	3.61	5.19	5.30	3.61	6.84	
6/1/2001	5.67	5.09	6.84	6.89	6.57	7.32	4.03	2.34	3.97	3.34	3.93	2.66	2.96	3.24	3.34	3.45	2.02	1.85	1.01	1.96	1.33	1.91	1.76	2.34	
7/1/2001	5.09	5.62	5.83	6.05	5.83	3.39	6.78	5.30	5.62	5.25	6.52	5.99	6.52	7.32	7.00	6.89	7.64	7.06	6.68	6.84	8.16	7.85	7.53	6.57	
8/1/2001	6.68	5.94	5.73	6.05	5.41	6.10	6.89	7.58	9.06	9.85	9.49	10.66	9.81	9.44	10.23	10.97	10.17	10.97	9.81	10.55	8.91	9.76	10.17	10.45	
9/1/2001	11.40	13.67	13.99	16.65	15.58	19.29	17.12	16.01	16.38	13.99	14.36	18.82	18.87	17.55	17.97	18.61	18.82	18.71	14.89	15.43	10.55	9.23	7.21	4.19	
10/1/2001	4.93	4.19	3.50	3.50	3.93	4.19	2.70	2.34	2.81	3.93	4.29	4.55	3.65	3.34	2.70	2.86	1.91	1.96	3.24	3.07	2.28	2.44	3.76	3.07	
11/1/2001	4.29	4.46	3.07	3.87	4.40	4.40	3.97	3.50	3.18	4.03	3.24	3.07	3.50	3.13	2.49	2.06	2.02	2.23	2.55	1.65	2.38	2.75	2.70	1.91	
12/1/2001	1.48	1.11	1.22	2.17	0.85	2.55	1.59	2.06	2.55	2.02	1.91	2.38	2.96	3.34	2.81	2.96	3.13	3.82	4.25	4.83	5.51	5.51	5.35	4.61	
13/1/2001	3.76	4.19	3.82	3.34	4.14	5.19	5.25	5.56	5.09	5.73	7.64	7.36	7.36	7.74	7.10	7.42	9.33	9.49	7.96	8.91	9.55	11.29	10.86	10.66	
14/1/2001	11.46	13.04	12.36	18.13	17.66	17.86	18.39	19.57	22.69	24.33	23.91	26.93	25.86	24.65	25.07	25.60	24.44	22.37	29.27	26.14	23.48	18.45	21.10	22.64	
15/1/2001	21.31	14.27	6.36	6.52	6.84	4.93	3.24	2.34	3.24	4.14	2.81	2.44	5.35	7.85	6.68	5.99	5.25	5.41	5.99	6.57	5.67	4.03	4.72	5.25	
16/1/2001	5.78	6.42	6.42	5.83	5.88	6.68	6.15	6.95	7.36	7.21	7.06	6.78	7.58	6.63	7.36	7.10	5.94	6.84	7.32	6.63	6.52	7.06	7.32	7.58	
17/1/2001	8.16	7.15	6.57	6.36	7.32	6.95	7.42	6.84	6.95	6.78	6.52	6.31	6.20	6.42	6.52	6.31	6.42	6.95	6.05	6.31	5.25	4.98	4.61	5.19	
18/1/2001	5.83	6.10	6.63	6.84	7.64	7.36	6.42	6.25	6.57	6.15	5.78	5.35	5.67	7.21	9.23	9.12	10.55	10.45	10.92	9.49	11.18	11.82	11.03	11.18	
19/1/2001	11.87	11.56	12.77	12.88	12.83	12.67	12.77	11.66	11.56	11.87	12.51	12.40	11.61	11.61	11.29	10.76	10.82	11.56	11.93	11.50	11.61	11.18	11.98	12.40	
20/1/2001	11.98	12.51	11.76	11.98	10.60	9.44	8.11	7.58	8.05	7.06	6.95	5.78	5.46	7.68	5.88	5.46	6.31	5.73	6.10	6.63	6.25	6.20	5.62	5.67	
21/1/2001	4.93	4.40	5.56	5.94	5.62	4.98	5.62	4.98	5.41	5.62	5.25	5.78	5.51	4.77	5.88	7.42	7.96	8.00	8.32	8.05	7.96	7.58	8.69	9.33	
22/1/2001	9.59	9.96	10.45	11.08	10.60	10.28	9.96	9.81	8.43	7.47	7.21	6.68	8.16	8.95	8.75	8.54	9.59	9.38	9.65	10.45	10.07	9.81	7.74	7.74	
23/1/2001	7.26	7.10	6.25	7.06	6.52	5.46	6.57	5.99	5.35	6.46	6.05	6.57	6.78	6.42	4.40	4.14	5.04	5.88	6.42	5.35	4.25	3.39	1.54	1.96	
24/1/2001	2.12	1.48	1.38	0.69	2.17	2.81	3.50	4.14	4.40	3.82	4.83	6.25	7.42	7.96	7.90	8.69	9.55	10.49	9.85	9.33	8.54	6.52	7.26		
25/1/2001	6.42	7.53	8.22	7.85	7.74	9.55	9.44	8.59	10.39	10.55	12.46	11.87	11.61	11.66	10.45	8.22	7.32	8.59	8.86	8.22	6.46	5.25	5.46	6.15	
26/1/2001	5.56	6.63	5.94	5.35	5.78	5.25	4.46	3.18	1.91	2.12	2.12	2.12	2.12	2.12	1.48	1.91	3.39	3.87	1.96	1.76	3.34	5.04	7.06		
27/1/2001	8.48	9.23	7.90	6.36	7.10	9.70	8.37	7.47	8.05	9.81	13.95	11.61	11.18	12.25	11.98	12.62	12.77	14.10	14.95	14.36	14.85	15.53	15.16	15.37	
28/1/2001	12.83	12.67	13.09	12.19	10.49	12.08	12.72	13.57	13.95	15.48	18.07	17.66	14.89	13.67	12.67	12.40	12.62	14.21	15.32	14.89	14.68	15.80	14.36	14.27	
29/1/2001	14.42	15.37	16.65	17.23	16.27	14.16	16.01	19.83	21.26	20.84	21.46	23.01	23.27	23.01	21.68	22.79	22.53	23.27	23.43	26.40	24.81	25.24	26.67	25.28	
30/1/2001	26.46	25.02	26.03	26.50	26.18	26.50	27.30	26.93	28.57	30.80	29.31	28.15	28.41	29.21	28.63	27.94	29.10	27.09	26.46	23.80	23.75	21.78	22.85	24.49	
31/1/2001	24.07	24.70	22.85	20.99	11.18	10.86	9.55	9.49	11.03	9.49	8.80	8.86	9.59	9.23	10.23	11.61	11.18	13.78	14.27	14.53	15.48	16.65	16.12	14.10	
MAX	30.00	27.30	29.21	26.50	26.18	26.50	27.30	26.93	28.57	30.80	29.31	28.15	28.41	29.21	28.63	27.94	29.10	27.09	26.46	24.81	25.24	26.67	25.28		
MIN	1.48	1.11	1.22	0.69	0.85	2.28	1.59	1.27	1.38	1.11	0.69	0.75	2.06	2.02	2.12	1.48	1.91	1.48	1.01	1.65	1.22	1.48	1.54	1.91	
MEAN	9.33	9.00	8.86	8.72	8.14	8.41	8.25	8.02	8.58	8.66	8.89	9.05	9.39	9.44	9.15	9.10	9.11	9.31	9.38	9.22	8.78	8.63	8.54	8.75	8.88

	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	0:00	MONTHLY AVERAGE
1/2/2001	13.99	14.68	13.73	12.36	13.73	11.56	11.61	11.87	11.56	10.82	10.45	10.66	10.76	11.18	11.87	12.62	10.86	11.72	11.29	11.87	10.92	10.76	11.82	11.98	
2/2/2001	13.20	14.05	11.46	12.99	13.20	14.05	9.81	12.14	12.56	12.25	11.87	13.31	12.67	11.93	11.98	10.71	9.23	9.70	7.74	7.21	6.78	5.73	9.76	8.91	
3/2/2001	8.80	9.33	8.95	6.95	3.61	9.01	11.93	14.68	16.01	15.48	16.33	16.06	15.26	15.32	16.96	15.37	14.47	14.42	14.05	12.25	11.72	9.91	9.01	8.54	
4/2/2001	7.32	5.88	4.46	4.55	3.45	2.81	2.49	2.28	2.34	5.62	5.78	7.10	7.74	7.68	6.15	5.62	4.46	3.39	3.76	3.87	2.86	3.24	3.93	3.76	
5/2/2001	3.34	3.50	3.61	4.72	4.29	2.44	3.13	3.65	4.55	3.56	3.76	3.87	3.87	3.97	4.46	6.89	8.54	7.74	7.90	8.00	7.53	7.36	7.32	7.32	
6/2/2001	7.15	7.36	6.52	7.21	6.78	4.93	3.82	3.45	2.81	2.34	3.61	3.18	3.87	5.15	4.83	3.45	3.93	3.18	1.85	2.55	1.54	2.96	2.96	3.76	
7/2/2001	2.86	1.96	1.96	2.28	2.34	2.55	3.13	3.76	3.76	3.65	3.93	3.82	3.87	4.08	5.09	4.66	3.24	4.19	4.35	5.46	6.42	6.36	5.25	5.19	
8/2/2001	5.09	3.45	3.02	2.55	2.44	1.54	1.01	1.22	1.54	2.23	2.28	2.55	2.60	2.70	1.91	1.65	0.43	1.96	3.39	4.87	6.25	6.89	7.21	6.74	
9/2/2001	6.78	6.89	7.06	7.90	8.54	8.16	6.42	6.95	8.37	8.95	9.23	10.39	11.87	11.08	11.56	9.96	7.47	7.36	8.11	5.88	6.68	6.36	5.04	4.72	
10/2/2001	5.88	4.83	4.03	4.93	3.18	3.34	2.96	2.96	2.49	3.34	3.71	4.14	5.30	5.15	4.66	5.30	7.64	8.80	6.63	6.74	6.42	7.47	8.86	9.70	
11/2/2001	10.13	10.76	10.49	11.87	10.76	14.36	16.59	16.33	10.28	8.69	9.55	8.11	9.17	10.66	5.94	4.66	6.42	6.25	6.84	5.99	5.35	6.46	6.46	6.52	
12/2/2001	4.72	5.19	5.67	5.78	7.64	8.69	10.17	10.45	10.76	10.49	10.76	9.91	9.55	10.39	10.92	9.70	9.91	9.12	8.54	8.27	6.68	6.68	3.50	4.98	
13/2/2001	6.68	5.09	5.30	4.25	5.46	5.46	4.61	6.05	5.62	5.73	5.67	5.04	5.30	5.19	4.98	5.09	7.36	9.70	8.80	8.11	8.65	9.65	9.06		
14/2/2001	10.76	9.76	9.96	12.08	9.96	10.76	11.87	11.72	11.29	11.82	12.40	12.62	13.04	12.94	12.99	11.61									

	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	0:00	MONTHLY AVERAGE	
1/3/2001	10.39	9.17	10.49	12.40	13.46	14.05	16.06	17.86	14.36	11.93	9.59	11.72	13.67	15.06	16.76	18.18	17.70	13.20	12.08	11.40	10.13	9.76	9.59	9.59		
2/3/2001	8.54	9.49	7.90	7.96	6.89	9.49	7.68	7.42	6.74	7.00	7.79	8.32	8.37	7.85	9.23	8.69	9.23	9.44	10.13	10.55	11.08	12.56	12.36	10.76		
3/3/2001	11.87	13.67	12.04	12.51	13.20	12.36	12.08	12.40	13.41	12.94	13.63	12.88	14.85	15.06	14.79	13.67	13.04	12.04	10.86	10.92	10.39	9.55	13.04	12.08		
4/3/2001	10.39	10.13	10.49	10.55	11.61	12.36	11.72	11.24	11.40	13.46	13.95	14.47	15.21	14.27	15.90	15.06	14.74	15.48	15.06	17.60	16.22	15.58	15.48	14.10		
5/3/2001	14.16	12.46	12.72	13.15	12.40	13.41	13.73	13.31	13.15	12.25	12.25	12.51	12.51	11.93	12.77	11.46	10.55	9.06	9.12	8.59	8.00	8.05	7.15	6.84		
6/3/2001	6.57	4.40	3.07	3.07	3.97	3.28	2.17	0.43	0.15	0.32	1.01	0.95	2.60	2.55	5.35	6.31	8.16	7.58	4.66	7.64	3.76	4.29	2.12	3.24		
7/3/2001	3.02	5.09	5.35	5.99	4.87	5.35	4.03	6.05	7.06	8.16	7.74	7.26	7.64	7.68	8.27	6.44	9.49	10.13	13.04	14.27	15.11	15.21	15.06	14.68		
8/3/2001	14.27	13.46	14.53	14.36	13.26	13.73	13.04	13.04	14.10	11.35	14.10	11.35	12.56	11.98	10.49	10.45	10.39	9.27	8.95	8.91	8.37	8.05	6.42	5.73		
9/3/2001	4.72	3.87	4.51	3.65	3.76	3.82	4.29	4.29	4.72	4.40	5.19	4.14	3.02	2.23	2.38	2.28	1.16	0.75	1.11	1.22	0.75	0.43	1.11	2.55		
10/3/2001	0.95	1.16	1.59	2.66	4.03	2.66	1.54	2.92	2.49	2.02	1.91	2.92	1.22	1.65	1.65	1.01	1.65	3.87	4.14	6.31	2.55	1.70	2.02	3.50		
11/3/2001	5.78	5.25	5.83	5.30	5.25	5.99	5.25	3.18	3.13	2.17	2.70	3.65	2.81	2.23	1.16	1.65	1.38	1.11	1.01	0.58	1.01	1.54	1.65	2.12		
12/3/2001	2.92	3.24	2.70	2.28	1.01	2.02	3.65	3.34	3.76	4.29	3.93	3.71	3.50	2.75	2.49	1.85	1.76	1.91	2.44	1.76	1.65	1.01	1.48	2.06		
13/3/2001	1.48	1.80	1.70	1.54	1.38	0.90	1.54	1.59	1.85	2.17	1.80	2.12	1.70	1.80	3.39	3.18	2.75	3.50	4.72	5.67	6.63	8.05	8.05	8.69		
14/3/2001	8.16	9.81	9.76	12.25	11.61	9.55	10.55	10.66	10.28	9.70	9.81	12.72	11.14	10.07	10.02	8.32	6.63	5.46	5.25	5.88	2.44	3.56	5.51			
15/3/2001	6.15	7.21	6.68	8.11	6.68	5.73	4.51	5.09	5.04	3.93	4.46	4.72	5.35	5.25	5.09	4.03	4.08	4.77	3.93	3.13	4.08	5.09	5.25	4.61		
16/3/2001	4.03	4.14	4.08	2.81	1.96	0.79	0.69	1.06	2.55	2.86	3.93	4.46	5.04	5.35	4.72	3.50	4.77	5.19	5.56	6.25	7.74	6.05	3.93	3.82		
17/3/2001	4.14	5.99	7.36	8.11	8.75	9.59	7.96	9.33	10.66	10.82	10.76	11.35	10.39	10.66	11.46	13.15	13.78	12.83	12.72	11.82	11.66	11.56	9.49	9.55		
18/3/2001	9.49	10.76	11.87	13.67	12.99	15.06	13.84	16.12	13.84	12.04	14.63	16.70	16.16	16.27	15.53	14.79	12.94	12.30	14.31	13.26	12.51	10.55	10.34	10.28		
19/3/2001	10.02	10.28	9.85	9.17	8.69	8.91	10.02	12.36	13.67	13.31	12.36	8.91	7.85	7.42	8.80	7.36	11.46	15.32	14.53	17.28	18.50	10.13	12.04	13.67		
20/3/2001	11.24	12.94	13.31	10.34	11.40	13.95	13.36	13.09	12.94	16.33	15.32	15.58	13.20	10.23	8.16	6.25	5.73	7.36	5.78	4.87	3.50	2.17	1.38	0.95		
21/3/2001	1.11	0.85	1.96	1.65	3.24	3.13	2.02	3.07	4.14	4.29	6.63	5.51	6.25	5.88	4.72	4.87	4.25	3.07	4.14	3.34	3.18	2.81	1.91	2.70		
22/3/2001	3.87	6.52	6.15	8.00	8.43	6.57	7.58	4.19	5.46	8.80	9.27	11.61	8.80	8.00	9.38	10.76	11.50	10.49	10.66	13.15	13.67	15.32	12.94	11.82		
23/3/2001	11.08	10.55	13.67	11.24	9.59	9.38	10.71	11.18	10.76	11.35	11.35	10.66	9.85	11.29	10.82	8.80	10.34	8.65	7.85	5.51	3.87	2.49	4.19	4.93		
24/3/2001	2.55	4.66	3.87	3.24	2.60	2.17	2.23	2.86	2.34	4.14	5.51	5.78	5.51	4.77	3.87	2.96	2.34	3.18	3.87	3.34	1.54	1.54	1.76	2.49		
25/3/2001	3.76	5.41	4.40	4.29	7.64	6.84	8.22	8.43	6.25	11.24	9.70	9.49	11.08	10.34	10.55	10.49	10.02	11.40	11.82	10.39	9.65	12.51	13.63	13.20		
26/3/2001	13.09	14.74	14.95	15.86	16.22	14.89	13.95	14.74	14.47	13.63	12.99	12.08	11.56	11.87	12.51	13.78	13.78	14.05	15.32	14.36	14.74	14.42	15.11	15.16		
27/3/2001	16.27	15.53	14.53	13.26	12.67	13.15	13.73	15.75	14.21	11.98	11.56	10.82	9.70	9.76	8.69	8.91	9.49	10.07	11.29	11.24	14.89	16.86	18.45	19.77		
28/3/2001	21.84	19.29	17.92	16.65	17.02	15.21	10.45	5.78	5.51	6.63	4.98	5.99	6.42	6.95	4.83	4.25	3.65	5.46	5.51	6.15	4.83	4.98	5.41	3.82		
29/3/2001	4.29	3.56	3.34	1.76	2.28	2.34	4.08	3.56	3.13	3.93	4.14	3.93	3.07	2.34	1.54	1.11	1.91	2.34	1.54	1.01	1.38	1.06	1.38	1.11		
30/3/2001	1.59	1.27	1.91	1.76	0.69	3.18	2.06	2.75	3.07	3.13	2.86	2.66	2.44	2.86	2.66	2.81	4.03	4.83	4.87	4.03	4.87	6.42	6.10	6.42		
31/3/2001	5.94	5.78	7.47	7.10	5.51	7.32	10.92	10.92	11.56	14.47	16.76	16.76	16.76	16.76	16.76	16.76	16.76	16.76	16.76	16.76	16.76	16.76	16.76	16.76	16.76	
MAX	21.84	19.29	17.92	16.65	17.02	15.21	10.45	5.78	5.51	6.63	4.98	5.99	6.42	6.95	4.83	4.25	3.65	5.46	5.51	6.15	4.83	4.98	5.41	3.82		
MIN	0.95	0.85	1.59	1.54	0.69	0.79	0.69	0.43	0.15	0.32	1.01	0.95	1.22	1.65	1.16	1.01	1.16	0.75	1.01	0.58	0.75	0.43	1.11	0.95		
MEAN	7.538	7.822	7.936	7.893	7.840	7.973	7.860	8.000	7.941	8.226	8.471	8.491	8.327	8.031	8.007	7.713	7.997	8.044	8.000	8.136	7.931	7.651	7.758	7.880	7.98	

	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	0:00	MONTHLY AVERAGE
1/4/2001	20.09	17.12	16.33	11.87	11.35	14.79	14.53	14.47	13.15	10.55	7.15	5.25	4.55	4.61	4.98	4.19	4.46	5.46	5.78	5.88	6.15	5.15	5.15	5.41	
2/4/2001	5.35	6.78	8.05	8.11	8.65	10.07	11.61	11.08	10.28	10.23	9.23	9.23	7.53	9.33	10.76	11.46	9.70	10.45	10.49	9.91	10.23	10.39	10.13	10.82	
3/4/2001	10.49	11.72	12.51	13.46	12.51	11.50	10.55	10.23	8.75	8.43	10.13	9.44	9.44	9.76	10.45	9.17	11.46	12.08	11.72	12.25	10.71	12.25	11.72	9.17	
4/4/2001	8.80	10.76	12.30	10.60	9.65	9.70	9.96	9.38	9.06	9.59	9.49	10.49	9.76	9.85	9.76	7.64	7.85	6.25	6.31	6.25	8.22	8.86	8.27	7.15	
5/4/2001	7.21	6.57	6.95	6.74	7.00	5.88	5.99	6.78	6.25	4.51	4.93	5.15	4.03	4.66	4.19	6.10	7.74	7.47	6.78	6.31	6.57	5.94	7.21	9.59	
6/4/2001	10.02	11.93	11.35	10.23	7.85	6.57	6.46	6.57	6.46	5.35	6.25	7.06	9.23	10.92	11.29	10.55	9.33	6.68	5.88	3.76	3.18	3.61	2.17	2.02	
7/4/2001	2.60	1.85	3.28	3.02	3.34	4.46	3.76	2.96	3.50	3.82	4.08	4.55	4.03	3.24	2.81	2.60	1.22	1.65	2.28	2.34	2.75	3.93	5.25	4.51	
8/4/2001	5.46	6.25	7.58	6.78	6.84	6.68	4.93	9.33	11.18	9.49	10.45	10.45	11.82	10.82	11.03	10.07	10.55	10.97	11.03	10.82	10.49	12.46	14.36	17.02	
9/4/2001	17.38	17.28	16.65	17.06	18.56	18.82	20.36	21.63	22.32	23.91	25.86	26.18	22.64	17.38	10.49	16.01	13.73	12.67	11.14	10.23	8.80	7.15	5.94	6.52	
10/4/2001	7.47	6.52	5.25	6.68	7.74	7.26	6.95	7.21	6.42	4.77	5.09	6.52	7.68	8.54	8.48	7.85	7.36	9.33	8.32	7.53	8.80	8.69	7.85	8.32	
11/4/2001	7.74	7.47	7.06	8.59	7.64	8.91	6.52	4.98	5.62	5.62	3.87	5.73	7.74	6.31	5.56	5.19	3.97	4.51	4.51	6.42	6.46	6.57	6.05	5.99	
12/4/2001	5.88	4.98	6.42	7.64	8.59	7.90	7.96	7.90	8.86	8.48	6.89	7.32	7.79	7.42	8.37	8.75	9.96	10.76	11.14	12.77	15.32	16.91	15.80	16.76	
13/4/2001	18.03	23.22	24.81	23.48	22.06	21.42	20.84	18.87	18.18	18.50	21.10	20.84	22.58	21.52	22.58	22.47	27.41	18.50	12.25	11.03	7.15	5.56	6.10	8.16	
14/4/2001	12.14	13.31	12.62	12.83	12.62	11.72	10.82	9.70																	

	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	0:00	MONTHLY AVERAGE
1/5/2001	4.66	7.68	5.09	5.73	7.64	7.90	7.74	8.22	7.47	10.02	8.80	5.94	8.11	6.95	5.41	4.19	6.68	8.05	10.13	9.17	9.38	8.48	8.22	7.85	
2/5/2001	7.15	5.46	7.15	7.85	8.16	7.64	7.00	9.27	10.28	10.02	8.37	7.36	5.09	10.23	10.66	12.08	13.73	14.10	9.49	8.80	8.00	8.65	7.90		
3/5/2001	7.47	8.11	7.79	8.86	9.96	7.85	6.78	6.15	7.90	7.36	6.31	6.95	8.69	7.32	7.47	6.84	5.09	5.15	4.61	3.13	3.97	4.14	6.78	5.78	
4/5/2001	2.86	2.96	5.30	6.25	3.87	3.76	4.14	4.93	5.46	5.19	4.55	5.30	5.62	5.04	5.25	2.70	1.76	1.70	2.06	2.60	2.34	1.16	5.15	8.27	
5/5/2001	10.60	11.24	12.36	14.16	13.99	15.75	15.86	17.28	20.67	21.95	24.01	26.14	29.63	31.27	32.02	33.77	31.86	29.90	28.41	25.86	23.75	24.23	23.48	27.19	
6/5/2001	23.91	17.12	13.52	16.65	15.06	14.10	13.57	12.67	13.46	13.73	12.94	12.94	13.89	13.99	16.65	15.00	11.76	9.33	9.59	11.18	11.98	11.72	11.56	10.76	
7/5/2001	8.05	10.92	7.74	8.69	4.93	6.46	5.67	6.78	5.67	6.78	8.16	8.65	8.11	7.79	7.10	5.83	4.72	4.29	6.52	6.68	7.21	6.95	7.10	9.49	
8/5/2001	10.92	7.32	6.52	6.25	2.02	4.55	6.10	7.10	5.25	6.15	5.83	4.77	4.93	3.13	3.71	3.24	2.70	3.71	3.56	3.07	3.61	4.72	3.45	2.44	
9/5/2001	3.39	6.05	6.95	6.31	8.11	6.84	5.51	5.78	6.78	9.06	8.80	8.00	9.06	9.38	9.76	10.49	10.66	11.40	11.61	11.46	10.39	8.95	8.91	9.91	
10/5/2001	7.96	7.32	8.69	9.33	7.85	8.37	8.95	8.80	7.47	6.68	5.99	5.73	6.68	8.43	7.74	8.65	7.42	6.84	7.68	10.28	10.76	9.49	8.37	8.27	
11/5/2001	7.79	7.90	7.96	9.96	8.69	9.59	11.72	11.35	9.76	9.01	7.26	7.36	7.96	6.42	6.52	5.83	4.72	3.18	3.13	2.38	2.86	2.70	1.65	2.17	
12/5/2001	3.02	4.19	2.70	4.29	4.29	4.55	3.56	6.31	5.30	9.33	8.11	5.94	5.09	5.62	9.85	7.32	5.67	8.80	8.91	8.80	8.59	9.01	10.86	9.23	
13/5/2001	10.45	10.86	11.82	11.61	11.82	11.93	11.87	12.19	13.36	12.62	11.66	12.25	11.14	11.46	11.98	11.72	13.63	12.46	13.41	12.51	11.82	9.76	12.62	11.35	
14/5/2001	11.72	9.85	10.23	11.35	11.56	11.40	11.24	13.04	13.99	12.36	12.36	13.26	12.36	12.88	13.78	12.94	13.84	14.36	13.63	12.99	11.14	11.82	11.29	11.29	
15/5/2001	12.25	11.18	11.24	11.40	12.14	12.25	12.88	13.63	13.57	12.83	10.86	9.59	10.39	9.17	8.91	8.22	7.85	7.21	7.06	6.78	5.88	6.31	4.93	4.55	
16/5/2001	4.08	3.61	3.93	3.39	3.24	3.34	4.40	4.83	4.72	4.08	4.83	4.77	4.61	4.40	3.87	3.45	3.56	2.34	1.22	3.13	1.91	2.06	1.01	0.90	
17/5/2001	1.01	0.75	0.85	1.22	0.85	0.95	0.75	0.64	2.28	2.34	2.38	2.96	2.96	3.65	3.39	2.96	3.34	2.96	1.96	2.23	1.65	2.06	2.17	1.80	
18/5/2001	2.60	2.44	1.48	1.54	2.38	1.54	1.85	2.12	3.07	2.44	3.13	2.96	2.60	2.06	1.48	1.01	1.65	0.47	1.76	1.85	2.34	2.81	3.76	4.93	
19/5/2001	4.66	5.35	5.46	6.74	6.57	6.68	6.86	3.39	3.18	4.46	5.46	5.99	4.93	6.25	8.00	7.68	7.00	6.84	6.15	7.06	8.37	9.06	10.28	8.69	
20/5/2001	9.49	11.56	9.76	5.88	1.91	3.39	3.61	4.55	6.05	6.78	5.19	4.40	6.15	6.84	5.19	5.62	6.42	4.98	5.04	5.88	4.77	5.09	4.40	4.35	
21/5/2001	3.97	5.46	6.20	5.15	5.62	7.64	7.21	6.46	3.87	3.93	4.98	4.40	3.76	3.87	4.14	3.07	2.81	2.28	2.17	1.59	2.70	1.38	1.59	1.27	
22/5/2001	1.76	2.75	2.81	3.24	3.07	2.12	2.38	2.86	2.66	3.65	3.87	4.03	3.87	3.56	3.39	3.61	3.18	3.28	3.71	5.25	4.61	7.42	7.47	8.37	
23/5/2001	9.49	10.55	9.85	11.66	12.19	11.66	14.16	14.47	13.67	14.42	12.14	9.44	6.68	4.46	3.97	3.87	4.03	4.83	4.66	5.46	4.66	3.87	5.35	7.10	
24/5/2001	5.99	7.96	8.00	7.74	8.00	9.85	9.96	9.70	7.06	7.74	6.95	8.11	8.05	7.79	8.11	8.11	7.74	6.95	5.73	4.40	3.02	3.13	5.51	4.19	
25/5/2001	3.87	3.13	3.34	2.60	2.81	2.81	2.12	3.97	3.76	5.30	4.19	2.70	2.28	2.02	0.75	3.07	9.33	12.46	12.83	14.63	14.10	11.29	10.76		
26/5/2001	11.08	10.86	8.91	6.68	3.97	2.34	1.80	1.38	2.06	2.28	1.76	2.23	2.96	3.76	2.86	2.06	2.55	1.48	2.02	2.38	1.48	1.11	2.34	2.44	
27/5/2001	1.85	1.48	1.22	1.65	1.48	2.06	2.96	3.76	3.87	3.87	3.50	3.61	5.09	4.29	4.51	5.04	5.19	4.72	5.09	5.19	3.65	2.28	3.02	2.28	
28/5/2001	4.03	4.46	4.55	4.25	4.35	6.83	7.32	8.69	8.16	8.91	8.91	9.96	10.76	12.14	12.77	12.72	11.98	12.77	13.46	9.85	9.23	10.02	11.29	9.55	
29/5/2001	8.75	8.37	8.65	7.47	5.56	4.83	5.51	6.31	6.15	5.19	3.97	4.61	5.73	7.21	8.00	8.16	8.54	7.36	6.31	4.93	4.14	3.39	4.08	3.07	
30/5/2001	4.87	3.50	2.70	3.24	3.50	3.34	3.13	3.82	4.72	4.61	5.25	5.51	5.83	5.51	4.66	4.40	3.87	4.14	4.83	5.94	5.19	4.40	4.19	3.39	
31/5/2001	2.96	2.55	1.76	1.65	0.85	0.32	1.22	1.65	2.66	1.65	1.85	3.18	2.60	2.96	3.71	3.65	4.40	3.87	4.14	4.40	6.42	6.74	6.84	8.11	
MAX	23.91	17.12	13.52	16.65	15.06	15.75	15.86	17.28	20.67	21.95	24.01	26.14	29.63	31.27	32.02	33.77	31.86	29.90	28.41	25.86	23.75	24.23	23.48	27.19	
MIN	1.01	0.75	0.85	1.22	0.85	0.32	0.75	0.64	2.06	1.65	1.76	2.23	2.60	2.06	1.48	0.75	1.65	0.47	1.22	1.59	1.48	1.11	1.01	0.90	
MEAN	6.860	6.869	6.598	6.863	6.338	6.504	6.715	6.973	7.180	7.584	7.262	7.118	7.394	7.240	7.599	7.239	7.060	7.039	7.285	7.077	6.874	6.635	7.037	7.021	7.02

	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	0:00	MONTHLY AVERAGE
1/6/2001	8.11	7.58	6.89	7.68	7.47	7.00	6.31	6.84	8.91	10.66	11.56	11.35	10.07	8.95	8.75	9.49	8.69	9.33	9.12	9.65	9.76	7.47	9.85	11.18	
2/6/2001	10.76	9.01	7.36	7.21	6.95	5.46	5.67	7.06	4.72	4.19	6.25	6.31	4.72	4.55	5.35	3.97	3.39	2.86	3.07	2.86	2.06	1.33	1.43	0.64	
3/6/2001	1.27	2.92	3.18	3.13	3.07	5.19	3.13	3.50	5.67	6.10	7.00	8.11	8.54	8.48	9.44	10.49	9.96	11.29	13.15	11.76	11.82	12.40	12.62	8.69	
4/6/2001	7.32	8.22	7.85	8.91	9.23	9.12	7.90	8.37	8.16	7.90	8.95	11.18	9.85	9.06	15.16	11.93	11.72	11.56	7.90	7.21	7.32	8.80	9.91	10.66	
5/6/2001	11.56	11.56	11.87	13.52	13.67	16.80	14.47	11.72	13.46	13.26	13.15	11.98	12.14	11.72	11.66	12.40	13.15	13.99	11.56	10.45	9.23	8.16	8.37	10.17	
6/6/2001	9.33	8.95	9.23	6.31	6.89	8.91	10.49	10.86	9.96	9.59	9.17	9.23	9.70	9.06	8.54	8.00	7.85	7.74	6.84	6.15	5.25	3.39	3.24	4.29	
7/6/2001	4.51	2.02	2.70	2.02	2.23	2.96	2.70	2.55	2.44	3.18	3.93	3.61	2.49	3.87	4.98	4.14	3.07	2.70	2.70	3.34	3.50	2.02	3.65	4.35	
8/6/2001	6.63	9.44	9.23	6.15	4.46	4.77	4.25	5.19	6.10	5.51	5.35	5.73	4.35	4.87	5.88	6.05	5.88	7.36	7.36	4.72	3.28	4.51	4.77	6.42	
9/6/2001	7.00	6.57	5.30	5.73	5.46	6.95	8.37	8.27	8.16	8.69	8.80	9.23	9.12	8.95	8.91	9.70	8.75	8.11	5.56	5.35	4.66	4.19	5.78	5.30	
10/6/2001	4.83	4.61	4.40	4.72	4.55	4.29	5.73	6.74	7.00	6.52	6.46	6.25	6.25	5.88	5.35	4.19	3.24	3.34	3.28	3.61	3.24	3.65	2.86	3.76	
11/6/2001	4.72	5.35	3.34	2.44	2.81	2.70	3.39	4.61	4.40	3.50	4.14	3.50	4.14	4.40	3.76	2.49	0.79	1.43	2.17	1.22	1.16	1.06	0.75	1.65	
12/6/2001	2.49	2.55	2.44	2.70	2.17	0.85	2.60	2.38	2.75	3.87	4.46	4.83	5.09	5.51	4.08	2.44	2.60	0.69	2.49	3.13	3.13	4.72	4.29	5.78	
13/6/2001	6.25	6.25	5.62	4.29	5.51	6.31	7.64	4.51	4.46	5.09	5.26	4.25	4.40	4.98	5.94	6.20	5.19	4.98	4.93	5.30	4.72	4.14	3.65	4.29	
14/6/2001	2.81	3.07	2.44	1.91	2.17	0.69	0.21	1.70	0.64	0.85	0.90	3.50	3.39	3.71	2.66	3.02	3.24	3.13	3.02	3.93	3.65	4.35	5.46	7.26	
15/6/2001	4.72	4.98	4.77	4.83	4.29																				

	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	0:00	MONTHLY AVERAGE	
1/7/2001	9.23	8.05	9.85	8.37	7.06	6.68	9.23	10.55	9.70	9.38	8.54	8.27	7.36	6.78	5.78	4.19	6.78	9.65	11.29	12.51	12.51	9.49	7.36	8.91		
2/7/2001	10.82	9.70	10.76	11.72	10.97	11.08	10.92	10.92	10.23	9.38	9.12	9.01	9.65	10.13	9.76	8.86	9.23	11.50	10.39	9.76	9.23	7.85	7.96	10.02		
3/7/2001	6.31	2.96	5.56	7.36	10.76	9.85	9.70	8.95	9.44	8.05	8.11	8.37	7.90	8.00	7.85	7.47	8.00	7.32	8.00	5.99	7.64	5.73	7.42	7.21		
4/7/2001	8.43	9.44	8.11	7.64	9.17	10.02	11.08	12.40	7.79	9.27	8.69	8.95	8.05	8.95	9.49	13.15	14.27	11.29	8.65	9.76	7.15	10.49	7.90	7.74		
5/7/2001	8.32	8.95	9.70	9.70	9.49	8.32	8.80	8.69	7.79	7.47	8.27	6.95	8.59	10.02	8.05	8.00	8.37	8.00	9.33	8.95	9.27	7.58	9.96	9.59		
6/7/2001	9.23	8.69	10.82	9.55	10.45	12.51	13.36	12.51	13.84	14.10	13.09	11.76	12.14	12.14	11.46	12.88	12.83	11.98	13.20	13.73	14.21	11.08	6.05	8.27		
7/7/2001	10.02	8.80	10.13	9.85	8.37	8.22	7.47	6.31	4.19	3.13	5.15	5.46	5.09	5.73	4.19	4.61	3.76	3.50	2.81	0.64	0.37	1.91	3.24	1.27		
8/7/2001	0.95	1.48	1.54	1.22	1.33	1.85	1.22	3.39	4.29	3.13	2.66	1.85	3.45	4.29	4.03	5.73	5.51	5.73	6.42	8.27	5.51	6.68	9.12	9.59		
9/7/2001	8.95	7.90	8.43	8.69	7.21	8.43	7.90	7.90	9.23	9.49	9.44	9.96	11.29	13.41	11.56	12.94	11.03	13.31	15.58	14.57	11.76	11.08	11.93	12.30		
10/7/2001	11.03	10.60	10.34	11.08	10.82	10.23	11.03	11.72	12.08	11.61	9.55	11.61	10.17	9.65	8.80	9.23	8.91	7.90	9.27	10.76	7.58	5.51	8.69	6.31		
11/7/2001	6.57	6.57	6.78	7.90	6.42	6.95	9.70	11.93	9.59	9.96	10.92	10.45	8.16	9.23	8.91	9.17	11.72	12.14	11.46	9.33	4.87	7.06	3.87	7.06		
12/7/2001	6.78	7.15	7.47	7.10	5.67	6.57	8.16	7.15	8.65	8.43	8.86	7.74	7.15	6.25	4.98	4.98	5.25	6.31	5.78	6.25	6.15	4.72	4.40	5.35		
13/7/2001	5.56	4.03	2.86	2.81	3.56	3.97	4.51	4.98	4.40	4.66	5.09	5.19	5.51	5.09	3.87	3.28	3.07	2.60	1.80	2.38	3.39	4.83	3.65	3.61		
14/7/2001	3.71	3.34	3.13	2.75	2.70	3.34	2.55	2.60	3.24	4.08	4.35	4.40	4.40	4.46	4.46	4.14	4.61	3.39	2.70	4.46	4.40	4.87	4.72	4.03		
15/7/2001	4.46	3.87	3.13	3.87	3.76	3.93	6.15	7.21	8.65	9.59	8.00	6.15	8.69	10.55	10.34	10.07	8.32	9.81	9.91	9.01	8.48	9.27	10.34	11.35		
16/7/2001	12.83	12.40	11.08	10.49	9.81	8.32	8.32	8.11	8.16	8.32	8.43	9.06	8.80	7.42	5.56	5.19	4.35	4.83	4.61	3.87	3.61	3.93	7.15	8.16		
17/7/2001	8.69	6.84	6.63	7.10	4.55	2.44	4.19	2.60	2.55	3.13	4.40	3.93	3.93	5.25	7.64	8.95	7.32	10.23	9.38	9.06	8.75	6.57	5.56	6.52		
18/7/2001	6.15	6.89	7.74	8.75	7.85	8.69	9.01	8.54	8.00	8.32	6.78	7.74	9.23	9.96	10.02	9.70	10.13	9.27	6.78	6.78	5.09	3.13	5.25	6.05		
19/7/2001	6.15	6.20	6.52	6.15	5.78	6.84	7.85	7.58	6.95	7.58	6.68	7.36	7.21	5.62	5.78	4.14	4.14	5.62	5.04	4.14	3.76	2.86	3.61	2.60		
20/7/2001	2.38	2.17	2.34	1.91	2.92	2.06	2.55	5.25	6.25	4.61	4.46	3.28	3.61	4.29	5.15	4.46	5.30	5.99	5.67	5.88	5.94	7.64	7.32	7.00		
21/7/2001	5.73	6.10	6.52	5.09	4.25	3.61	5.88	6.68	8.32	8.11	8.00	7.36	7.32	7.58	6.31	6.20	6.52	6.52	4.66	5.99	7.10	5.78	7.58	6.57		
22/7/2001	6.05	6.68	6.57	6.46	5.19	5.30	4.87	5.88	6.25	5.78	5.67	5.09	5.19	4.29	3.61	3.34	3.13	2.66	2.96	2.70	2.12	2.55	2.60	2.38		
23/7/2001	1.38	2.86	3.02	3.24	3.07	2.92	4.83	5.78	5.73	5.19	3.76	4.14	5.09	5.25	5.62	5.09	5.62	4.66	4.98	5.35	4.55	4.14	3.87	4.87		
24/7/2001	6.05	6.84	6.15	6.10	5.35	5.99	6.57	6.36	4.83	6.68	7.58	8.80	10.45	10.66	11.40	10.49	9.70	8.05	7.58	6.95	6.42	6.74	7.00	5.94		
25/7/2001	6.05	6.89	7.36	8.05	9.17	9.17	9.44	12.72	11.46	7.85	7.68	9.38	10.86	10.71	10.23	12.08	12.08	12.14	11.98	11.24	11.14	10.02	10.02	10.17		
26/7/2001	11.08	11.29	11.56	12.56	11.72	11.56	13.20	12.14	11.72	11.18	11.14	9.81	10.39	10.82	10.76	12.72	12.72	13.04	10.13	8.05	7.15	6.42	5.99	8.37	8.54	
27/7/2001	8.59	9.96	9.85	10.76	12.88	12.14	11.72	11.98	14.27	14.63	12.04	12.08	11.50	12.56	14.27	14.27	16.16	15.16	13.46	12.04	10.76	10.86	10.86	8.95		
28/7/2001	11.56	13.04	12.46	10.76	11.56	11.98	11.46	12.30	11.14	11.03	12.04	10.71	10.82	13.15	13.41	10.92	11.93	13.41	13.46	12.99	12.99	9.85	9.81	8.95		
29/7/2001	10.13	9.17	8.65	9.44	8.43	9.91	10.49	10.45	10.34	9.33	10.45	10.28	10.17	9.70	9.33	8.69	9.06	9.85	8.48	5.25	6.57	6.46	7.47	6.42		
30/7/2001	7.42	7.21	8.05	8.05	7.68	9.44	9.17	9.81	10.23	9.59	9.06	8.95	8.27	6.84	5.88	5.78	6.05	6.68	6.10	5.46	6.57	3.97	4.83	4.66		
31/7/2001	4.93	5.62	5.73	4.55	4.29	5.30	7.74	7.74	7.26	7.53	7.85	7.58	6.52	6.95	6.36	7.10	11.03	9.70	9.49	9.17	9.85	9.17	10.39	9.49		
MAX	12.83	13.04	12.46	12.56	12.88	12.51	13.36	12.72	14.27	14.63	13.09	12.08	12.14	13.41	14.27	14.27	16.16	15.16	15.58	14.57	14.21	11.08	11.93	12.30		
MIN	0.95	1.48	1.54	1.22	1.33	1.85	1.22	2.60	2.55	3.13	2.66	1.85	3.45	4.29	3.61	3.28	3.07	2.60	1.80	0.64	0.37	1.91	2.60	1.27		
MEAN	7.275	7.152	7.383	7.389	7.168	7.343	8.034	8.423	8.276	8.085	7.930	7.797	7.966	8.250	7.897	7.995	8.298	8.365	8.041	7.754	7.231	6.703	7.041	7.093	7.70	

	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	0:00	MONTHLY AVERAGE
1/8/2001	9.27	11.82	11.24	10.92	10.13	9.44	9.59	10.02	9.17	10.39	9.49	10.60	11.46	10.86	11.03	12.14	11.98	9.96	10.02	10.34	9.96	9.06	8.95	8.11	
2/8/2001	7.00	7.85	8.54	7.00	8.48	10.13	10.13	10.17	10.02	9.85	10.28	9.76	8.54	7.85	7.21	6.57	7.32	6.84	7.42	6.31	6.46	4.83	4.66	4.55	
3/8/2001	4.93	4.83	5.25	4.19	3.56	4.87	4.61	3.50	4.46	6.52	7.74	6.42	6.74	7.47	7.32	6.95	4.87	5.99	6.05	6.57	6.57	4.51	3.82	3.82	
4/8/2001	3.87	4.40	4.55	3.87	3.76	4.46	6.74	7.10	6.15	4.98	5.56	5.25	4.03	2.86	2.81	2.96	3.65	3.02	3.39	2.02	1.33	2.66	3.28	3.34	
5/8/2001	3.56	3.82	3.24	3.76	4.03	3.82	3.71	4.40	4.46	4.55	4.98	4.66	6.05	5.73	5.46	5.09	4.29	3.65	4.98	5.15	5.88	4.72	3.02	3.02	
6/8/2001	2.86	2.70	4.19	4.87	3.97	3.07	2.86	3.18	3.93	5.78	5.94	4.72	4.19	4.55	6.25	4.93	6.05	5.62	4.03	3.34	3.18	3.56	4.29	5.19	
7/8/2001	3.65	2.44	3.61	4.03	4.29	4.40	5.19	4.46	4.83	6.20	5.19	6.78	6.05	4.14	4.40	6.42	6.25	5.73	4.46	3.76	4.51	5.04	7.10	5.73	
8/8/2001	4.87	3.93	6.95	4.93	5.35	6.78	5.83	5.73	5.62	5.04	5.25	5.56	5.56	6.52	6.57	6.78	7.36	6.74	7.64	7.26	6.20	6.20	5.99	5.25	
9/8/2001	3.97	4.93	5.46	4.46	4.46	4.55	2.49	2.44	3.50	3.34	3.34	3.65	4.55	4.14	2.96	2.86	3.02	3.28	2.75	0.75	2.34	3.65	4.03	3.24	
10/8/2001	3.13	1.80	2.38	3.18	3.76	2.70	3.13	3.65	5.62	6.25	5.78	4.77	3.82	3.24	3.24	2.81	2.44	1.54	2.92	3.61	2.81	4.87	5.35	5.62	
11/8/2001	5.62	4.66	6.31	5.94	4.98	4.72	4.87	4.29	4.51	4.98	4.40	4.98	5.15	5.19	4.08	1.91	1.54	1.65	3.13	4.40	5.09	4.93	5.62	5.62	
12/8/2001	4.19	3.97	3.07	3.13	3.45	6.42	5.94	4.35	4.83	6.31	5.41	5.88	8.00	8.27	6.63	7.15	8.95	9.70	8.00	8.86	7.96	8.05	7.36	7.74	
13/8/2001	7.10	5.67	4.83	5.94	7.36	6.78	7.42	9.17	8.65	8.11	8.05	7.36	7.15	6.25	7.10	8.27	8.54	7.32	5.73	5.09	3.45	3.76	4.93	4.35	
14/8/2001	4.29	5.25	5.19	3.65	3.45	3.39	5.04	4.40	4.29	4.72	5.51	5.88	6.05	4.93	4.19	4.29	3.93	4.46	5.99	6.78	6.15	5.25	3.13	4.25	
15/8/2001	4.87	3.93	4.35																						

	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	0:00	MONTHLY AVERAGE
1/9/2001	3.65	2.86	3.50	3.71	4.03	3.34	3.65	3.24	2.81	2.96	2.55	2.81	3.18	2.70	3.87	4.40	5.35	3.13	4.29	4.87	5.09	5.62	4.83	4.40	
2/9/2001	3.39	3.50	3.28	3.93	3.50	3.18	3.39	4.14	4.93	3.02	3.18	3.61	3.56	3.39	3.61	2.38	3.13	2.81	2.02	1.54	1.06	1.54	1.48	1.91	
3/9/2001	1.65	1.38	2.12	1.76	3.39	2.34	2.49	3.18	3.50	4.14	4.55	4.72	4.72	3.93	3.71	3.34	2.86	1.22	2.12	2.60	1.96	1.91	1.01	2.12	
4/9/2001	2.28	1.01	2.17	1.27	2.17	1.65	1.11	2.12	2.17	3.71	5.99	3.71	5.99	6.74	6.20	4.98	3.93	3.97	3.87	3.56	4.19	3.76	4.19	5.83	
5/9/2001	5.88	5.25	3.97	3.65	3.56	4.46	4.19	3.61	4.19	4.61	4.51	3.34	5.30	3.24	4.03	4.93	6.78	9.76	11.56	10.76	10.39	12.51	12.40	14.79	
6/9/2001	14.05	11.35	12.25	13.57	14.68	15.48	15.00	13.46	12.30	10.76	10.82	9.70	7.58	8.69	9.33	11.82	10.49	10.55	9.33	8.54	5.35	5.09	5.51	5.46	
7/9/2001	6.68	8.65	8.27	7.47	7.10	6.95	7.00	8.27	7.06	6.74	4.98	4.35	6.20	7.53	7.68	7.21	7.06	4.46	4.98	4.25	3.07	4.29	3.61	3.82	
8/9/2001	2.75	3.13	1.54	1.54	2.06	2.28	2.70	2.81	1.91	4.35	5.62	5.51	4.03	2.60	3.61	3.28	2.70	3.07	2.60	1.96	3.07	1.76	4.46	3.97	
9/9/2001	4.03	4.35	5.04	4.40	3.13	1.85	0.79	0.75	1.65	1.76	3.24	3.93	5.41	5.78	7.10	7.53	8.27	10.02	9.96	10.39	10.55	10.39	10.02	10.02	
10/9/2001	9.49	7.90	6.52	7.26	7.47	5.35	7.68	7.06	7.00	9.70	10.02	11.03	12.88	10.76	9.17	9.33	8.48	8.54	10.49	9.96	10.49	10.55	10.39	10.02	
11/9/2001	10.34	9.76	10.28	11.08	11.24	10.76	9.55	12.08	12.56	12.77	14.10	14.63	13.99	11.18	13.36	12.94	12.08	11.87	10.92	10.49	9.65	11.18	10.60	8.37	
12/9/2001	5.88	4.66	2.70	4.93	5.62	4.66	4.98	5.99	6.05	6.68	6.63	6.78	7.85	8.11	7.96	7.96	7.21	6.42	6.31	5.73	5.99	6.20	8.43	7.96	
13/9/2001	8.43	7.58	9.17	9.59	7.58	5.15	7.21	7.58	7.58	7.74	7.68	8.32	8.69	8.95	10.92	11.35	11.40	11.03	10.76	9.23	9.44	9.59	9.81	9.44	
14/9/2001	9.49	10.45	10.23	8.54	8.37	8.27	7.79	7.32	6.68	6.84	6.42	7.06	6.68	6.84	6.84	9.06	8.16	7.21	7.00	5.46	4.72	4.40	3.97	3.28	
15/9/2001	2.92	3.93	3.87	3.13	2.81	2.44	2.86	3.82	3.24	3.39	5.04	5.35	5.78	5.46	5.78	4.19	4.35	4.14	4.14	3.93	4.55	4.14	4.46	3.82	
16/9/2001	3.56	3.34	3.93	3.65	4.93	3.28	2.17	2.55	2.60	3.02	3.28	3.39	4.19	4.72	5.51	4.55	4.61	4.66	5.35	5.35	5.99	6.57	7.53	7.47	
17/9/2001	8.80	7.64	7.96	6.84	6.57	6.95	9.06	11.24	12.83	14.63	15.86	13.67	10.97	12.36	13.89	13.63	10.92	10.92	8.37	11.72	11.93	9.59	8.00	5.46	
18/9/2001	3.24	1.91	5.46	6.15	5.73	4.72	4.55	6.68	7.10	7.32	5.78	2.75	1.11	2.44	1.76	1.16	0.75	1.59	1.43	2.44	2.81	3.87	4.40	3.93	
19/9/2001	4.29	3.34	2.49	2.28	2.02	0.53	0.43	1.11	1.54	2.96	3.13	3.97	3.82	3.71	3.76	3.76	3.50	4.40	4.55	4.98	4.35	1.91	4.40	5.46	
20/9/2001	5.94	5.99	5.35	4.93	4.83	4.51	5.41	6.52	7.26	7.85	8.80	8.65	7.47	7.26	7.90	7.96	8.65	8.54	6.95	6.42	7.64	7.36	8.11	6.68	
21/9/2001	6.84	5.51	6.78	4.03	3.65	5.46	5.51	6.42	7.10	5.35	6.05	5.83	6.46	7.15	8.48	8.48	5.99	6.36	6.15	8.11	7.21	6.89	5.46	3.93	
22/9/2001	6.74	7.47	5.35	3.93	2.17	3.24	2.81	2.86	3.39	4.25	3.71	4.03	3.87	4.83	5.46	4.61	4.66	3.76	3.65	2.38	1.80	2.60	4.61	3.56	
23/9/2001	4.03	3.56	3.87	4.03	3.76	5.25	5.73	5.46	5.09	4.08	4.83	5.62	5.62	4.72	4.55	3.82	3.18	4.40	3.82	4.14	4.61	4.83	4.93	4.83	
24/9/2001	5.35	5.15	4.93	4.83	3.93	3.82	2.96	4.40	5.88	6.52	6.05	5.46	4.93	3.87	3.39	3.07	2.70	2.17	1.91	1.80	1.22	1.85	2.81	2.60	
25/9/2001	3.56	3.39	4.93	4.77	5.41	6.42	7.10	6.63	5.09	5.46	4.29	4.61	5.88	6.63	6.05	4.98	5.99	5.88	6.46	7.68	5.25	4.46	3.65	3.13	
26/9/2001	3.07	5.04	6.31	6.25	6.05	4.14	4.83	5.35	6.46	5.35	5.04	4.98	5.94	6.10	5.67	4.25	4.46	4.77	4.66	4.72	6.42	4.72	3.65	3.65	
27/9/2001	3.87	4.83	5.99	5.73	6.31	8.54	10.07	10.92	9.81	8.95	9.33	8.75	9.55	8.75	9.55	9.96	10.49	9.85	8.69	8.43	10.02	10.82	12.25	12.08	
28/9/2001	13.31	10.02	11.35	11.18	11.98	10.13	9.91	10.82	11.29	11.29	9.76	9.33	8.65	9.01	10.60	10.28	9.12	6.95	6.68	6.57	8.54	8.32	9.44	9.65	
29/9/2001	7.53	6.57	7.36	8.54	8.32	7.47	8.27	8.95	9.44	9.23	8.69	8.69	9.44	9.96	11.08	11.98	11.76	11.03	10.13	7.64	7.10	9.49	9.06	8.48	
30/9/2001	9.01	7.53	6.57	7.64	8.37	7.00	9.12	8.37	9.59	9.65	9.59	9.85	9.59	8.16	8.48	7.74	7.32	7.06	6.84	4.55	6.05	6.78	6.20	5.30	
MAX	14.05	11.35	12.25	13.57	14.68	15.48	15.00	13.46	12.83	14.63	15.86	14.63	13.99	12.36	13.89	13.63	12.08	11.87	11.56	11.72	11.93	12.51	12.40	14.79	
MIN	1.65	1.01	1.54	1.27	2.02	0.53	0.43	0.75	1.54	1.76	2.55	2.75	1.11	2.44	1.76	1.16	0.75	1.22	1.43	1.54	1.06	1.54	1.01	1.91	
MEAN	6.001	5.568	5.785	5.687	5.691	5.319	5.611	6.123	6.269	6.503	6.650	6.482	6.644	6.518	6.976	6.831	6.545	6.351	6.200	6.006	6.017	6.052	6.314	6.027	6.17

	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	0:00	MONTHLY AVERAGE
1/10/2001	4.83	3.82	3.87	4.66	4.66	3.13	2.55	3.65	3.18	2.02	2.81	3.56	3.61	4.19	3.56	4.46	3.24	2.55	2.17	1.70	3.24	3.82	3.76	3.13	
2/10/2001	3.07	3.76	4.55	4.19	3.87	4.51	6.15	5.51	4.55	4.87	5.25	7.64	6.68	5.19	4.83	2.81	2.44	1.91	2.60	3.07	2.96	4.40	5.51	4.87	
3/10/2001	4.14	5.67	4.51	5.09	4.40	4.03	3.39	3.50	4.66	4.93	3.93	3.56	4.08	3.13	1.48	1.65	1.59	0.75	1.11	0.64	1.38	1.54	1.80	1.54	
4/10/2001	2.06	1.11	1.48	1.33	2.06	1.38	0.75	1.38	2.66	3.82	3.24	3.39	3.39	3.34	4.14	4.35	3.56	1.59	1.76	2.12	2.49	2.81	2.28	3.07	
5/10/2001	3.28	3.24	4.87	5.78	4.93	4.66	4.55	4.66	4.19	4.93	5.73	6.10	6.78	5.51	5.99	3.97	3.93	6.10	6.68	6.31	5.56	5.35	5.25	4.40	
6/10/2001	4.55	2.60	1.80	1.59	1.91	2.02	1.38	1.48	1.91	2.60	2.55	2.86	2.70	2.28	2.75	3.50	1.33	0.69	0.32	1.33	1.59	1.91	1.76	1.38	
7/10/2001	1.43	1.96	2.96	3.65	3.71	3.28	3.24	4.19	4.46	3.87	4.19	4.66	4.83	5.09	4.98	3.24	3.39	4.77	6.25	5.46	4.83	5.73	5.25	4.66	
8/10/2001	5.51	6.63	7.32	7.53	7.74	8.75	7.96	5.51	6.25	8.00	8.00	7.21	7.47	7.21	6.42	5.15	4.93	3.87	3.71	4.03	6.20	6.31	5.83	5.35	
9/10/2001	5.41	6.31	5.19	6.57	6.25	5.83	7.10	6.31	6.15	4.46	6.46	6.10	5.04	4.55	4.83	4.83	5.62	5.99	3.97	2.92	2.86	2.96	2.55	1.54	
10/10/2001	3.02	2.23	3.45	5.09	3.07	4.72	4.72	5.15	5.78	5.51	4.66	4.14	4.40	5.35	6.05	6.15	5.67	6.31	6.31	3.93	2.96	3.39	2.12	2.44	
11/10/2001	3.02	3.76	5.09	3.61	5.09	6.25	5.51	6.42	7.74	5.99	6.31	5.88	6.78	7.42	7.21	7.47	6.42	7.21	6.78	6.52	8.48	11.87	12.51	9.70	
12/10/2001	7.79	9.44	10.02	9.06	10.28	10.02	10.76	12.56	11.18	10.55	9.85	12.51	11.29	10.76	11.35	11.98	12.67	13.15	13.99	12.40	12.25	12.08	11.18	9.17	
13/10/2001	8.48	11.03	11.61	10.34	10.92	9.85	11.35	9.44	11.24	11.66	11.72	10.82	8.69	10.28	10.39	9.85	9.59	10.60	9.44	8.16	7.74	6.74	5.99	7.36	
14/10/2001	6.52	6.25	6.78	8.00	7.64	8.32	10.17	9.27	8.43	7.64	7.32	8.37	6.52	7.32	7.00	7.10	6.52	6.42	7.10	6.57	6.57	6.78	6.84	7.32	
15/10/2001	7.32	7.64	5.25	4.83	7.10	8.11	8.00	7.68	7.58	7.36	6.31	6.78	6.95	6.78	5.99	5.56	5.83	5.88	5.51	6.15	6.31	6.31	5.46	6.05	
16/10/2001	5.94	5.25	6.68	7.79	7.32	8.75	8.00	9.01	8.91	9.															

	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	0:00	MONTHLY AVERAGE
1/11/2001	5.25	6.36	5.46	3.71	4.35	5.09	4.25	6.20	6.31	7.42	7.68	8.91	11.87	10.55	11.18	10.07	6.89	7.10	6.15	5.83	5.41	5.88	4.77	4.29	
2/11/2001	5.30	3.28	2.70	4.25	2.92	4.35	4.40	4.55	4.08	3.13	3.13	1.76	2.96	5.04	5.35	5.99	7.10	5.88	7.64	8.22	8.54	10.34	11.08	13.36	
3/11/2001	13.78	13.57	16.06	15.26	12.88	12.72	10.76	11.98	11.56	9.38	9.98	9.70	9.81	10.92	9.96	10.49	8.59	10.92	13.31	12.36	11.29	12.08	12.25	16.48	
4/11/2001	16.65	17.66	17.17	14.42	14.27	9.17	6.78	9.17	9.76	6.95	7.90	9.33	10.82	12.40	14.89	21.89	18.35	20.09	18.61	14.79	13.31	12.88	12.51	14.53	
5/11/2001	13.36	7.47	8.00	10.45	11.46	8.37	5.25	3.39	3.56	4.98	5.09	5.30	5.19	3.87	3.61	4.03	3.39	3.87	2.06	1.11	1.48	2.70	2.02	2.44	
6/11/2001	3.07	3.39	4.25	6.20	6.95	7.53	7.36	6.68	6.15	5.78	6.31	6.31	5.73	5.67	5.94	6.31	6.15	4.77	2.75	1.54	1.80	2.44	0.90	1.70	
7/11/2001	2.44	3.24	4.19	6.74	6.57	5.56	7.47	9.06	7.96	8.27	11.46	11.35	9.96	8.75	8.86	7.74	8.16	9.01	10.02	11.61	11.08	8.32	8.16	8.86	
8/11/2001	9.85	10.76	11.56	11.50	11.24	9.70	8.43	7.64	7.32	8.11	8.11	8.65	8.59	7.21	7.32	7.58	8.37	7.74	8.48	9.65	11.03	11.93	12.77	9.76	
9/11/2001	11.14	11.61	10.66	12.14	10.45	11.03	11.03	9.65	11.76	10.13	9.81	10.23	9.59	12.08	12.62	12.04	12.67	12.25	9.81	7.53	9.12	7.64	6.95	7.68	
10/11/2001	8.91	8.27	7.90	7.68	8.65	7.21	5.99	6.84	8.54	8.37	6.84	6.42	6.57	5.62	4.55	4.66	5.46	5.46	3.45	3.61	3.71	4.46	3.28	2.55	
11/11/2001	1.76	1.48	1.65	1.91	1.59	2.34	2.17	2.55	3.39	4.35	3.87	4.66	4.55	3.87	4.51	4.66	5.51	4.40	4.93	4.72	3.93	2.70	3.24	3.34	
12/11/2001	3.61	3.07	2.70	2.28	2.70	2.17	2.17	1.43	2.34	1.80	3.07	2.96	3.87	5.19	5.35	7.47	8.05	7.90	7.58	7.79	9.33	9.33	9.33	11.08	
13/11/2001	10.92	12.88	11.76	11.72	12.40	14.47	17.97	19.14	19.66	20.99	19.40	16.22	18.13	17.60	19.57	20.04	22.79	24.70	23.91	24.12	22.58	21.63	20.25	21.52	
14/11/2001	21.78	20.88	15.69	15.58	15.32	16.48	17.06	16.38	16.33	14.21	11.50	12.72	10.92	10.66	10.82	10.49	11.50	12.51	10.66	9.23	11.98	11.61	9.81	12.04	
15/11/2001	8.91	10.28	10.86	8.43	7.64	6.10	4.66	3.07	2.55	2.86	3.07	2.70	2.12	3.24	3.76	4.51	5.09	5.19	4.40	6.52	7.90	7.58	8.37	9.17	
16/11/2001	8.48	9.33	7.47	9.38	10.86	11.40	9.85	11.29	11.46	9.49	9.44	9.81	9.81	12.62	12.77	11.61	12.04	11.87	12.67	11.08	11.29	11.66	10.76	12.14	
17/11/2001	11.87	11.46	11.76	12.62	12.62	14.27	15.32	15.64	15.96	15.53	15.43	16.86	16.06	16.76	17.38	17.23	17.44	18.18	18.71	17.97	17.38	20.15	19.29	18.87	
18/11/2001	17.55	15.96	17.44	12.25	11.98	12.56	11.98	9.91	8.22	8.80	8.37	8.22	8.48	8.80	8.91	7.74	7.32	7.90	6.57	4.55	4.03	3.07	2.02	3.61	
19/11/2001	4.29	4.03	6.31	5.73	2.34	2.70	5.04	4.72	4.29	8.43	8.59	8.43	8.59	9.38	9.01	11.66	14.05	17.28	16.86	18.56	20.09	22.85	17.17	16.59	
20/11/2001	17.23	18.71	19.88	19.03	17.34	14.63	17.76	17.44	12.08	6.68	5.46	5.19	5.73	5.30	4.46	3.93	4.55	7.58	7.90	11.08	10.23	9.76	11.08	11.56	
21/11/2001	13.99	13.31	14.27	14.63	15.86	15.69	15.37	15.21	15.80	16.65	16.65	16.70	17.70	16.65	17.38	16.38	14.21	13.84	13.36	12.19	12.94	12.72	12.40	12.40	
22/11/2001	12.94	12.62	13.20	12.04	11.46	10.02	9.59	9.76	9.55	9.76	9.49	8.69	7.15	5.73	5.51	5.25	4.66	3.93	3.61	2.44	2.38	4.29	6.15	7.32	
23/11/2001	7.47	7.15	6.68	10.45	11.82	13.26	15.16	13.89	16.59	17.66	20.67	22.32	23.69	21.78	20.84	17.66	17.76	23.07	22.37	18.61	16.16	17.38	18.87	16.80	
24/11/2001	15.64	14.27	15.32	14.79	14.57	16.76	19.40	20.04	18.76	21.42	20.47	22.21	11.40	8.95	11.46	11.98	14.36	14.57	15.43	15.06	14.74	15.06	13.36		
25/11/2001	12.88	12.94	13.20	12.88	12.67	12.36	11.18	11.18	10.23	10.39	8.27	7.58	8.43	10.71	11.03	10.55	9.17	5.25	6.36	8.54	9.70	8.27	9.44	10.49	
26/11/2001	6.57	4.72	4.72	7.58	7.79	5.73	5.73	8.91	8.54	7.47	8.54	8.00	9.23	7.10	5.94	5.67	5.51	4.46	5.46	5.88	5.88	6.78	5.30		
27/11/2001	7.06	8.95	5.46	5.78	5.88	4.03	2.96	2.02	2.60	2.70	1.76	2.06	1.96	2.17	4.46	5.30	4.66	5.46	5.78	5.35	5.73	7.00	7.64	7.58	
28/11/2001	7.96	5.83	6.25	7.10	7.90	8.11	8.65	9.44	9.65	9.70	9.81	11.29	10.76	11.72	11.61	12.46	13.99	12.14	16.33	9.59	8.65	4.46	5.88	4.51	
29/11/2001	2.81	7.68	6.57	4.98	1.91	3.24	2.81	4.40	5.35	2.66	3.45	4.08	6.20	7.74	6.78	6.57	7.58	7.68	6.95	7.21	7.47	7.68	6.89	6.68	
30/11/2001	5.88	7.42	7.64	9.17	9.76	9.91	10.02	9.01	9.44	8.95	8.37	8.69	8.43	8.91	9.44	8.95	9.70	9.06	9.33	8.43	5.15	5.83	5.35	5.78	
MAX	21.78	20.88	19.88	19.03	17.34	16.76	19.40	20.04	19.66	20.99	21.42	22.32	23.69	21.78	20.84	21.89	22.79	24.70	23.91	24.12	22.58	22.85	20.25	21.52	
MIN	1.76	1.48	1.65	1.91	1.59	2.17	2.17	1.43	2.34	1.80	1.76	1.76	1.96	2.17	3.61	3.93	3.39	3.87	2.06	1.11	1.48	2.44	0.90	1.70	
MEAN	9.645	9.619	9.559	9.689	9.471	9.232	9.219	9.353	9.339	9.012	9.096	9.187	9.504	9.315	9.425	9.680	9.757	10.119	9.986	9.504	9.487	9.576	9.349	9.726	9.49

	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	0:00	MONTHLY AVERAGE
1/12/2001	5.73	6.25	5.35	5.78	5.09	3.45	2.55	2.96	3.87	3.87	4.19	3.39	4.98	6.25	6.95	8.69	10.23	12.56	13.36	11.87	10.60	6.31	6.42	8.27	
2/12/2001	9.06	8.69	7.47	13.20	12.08	14.89	15.69	16.06	15.80	16.01	16.06	15.80	16.06	16.48	16.59	17.97	16.16	17.38	18.03	17.66	16.48	16.33	15.80	16.76	
3/12/2001	15.86	13.04	15.26	16.06	15.96	16.86	13.99	13.95	14.36	13.99	14.31	17.28	18.18	17.92	17.70	17.28	15.64	16.38	15.64	14.63	14.21	15.32	14.47	14.27	
4/12/2001	13.46	12.08	13.04	12.99	15.86	13.15	13.99	13.63	12.77	12.94	12.99	13.28	13.57	13.99	11.93	12.08	12.51	12.14	11.61	10.02	9.85	10.17	11.14	10.60	
5/12/2001	9.91	9.76	9.44	10.17	10.34	10.55	11.29	10.49	10.76	10.39	9.59	11.56	11.24	11.18	12.25	11.56	10.17	10.55	10.45	9.91	9.70	10.66	9.55	9.38	
6/12/2001	9.38	7.96	8.48	8.80	8.65	9.27	9.12	9.65	9.06	8.43	8.80	8.65	8.27	8.95	9.44	9.33	8.69	8.37	8.65	8.00	7.64	7.68	6.42	6.52	7.74
7/12/2001	7.90	7.21	7.53	8.37	8.00	8.54	9.17	8.32	6.78	7.96	7.06	5.15	5.88	7.74	5.19	4.98	4.98	6.10	8.22	8.59	8.32	8.27	8.54	9.01	
8/12/2001	9.06	10.02	12.14	12.36	14.10	13.15	15.37	14.21	12.67	13.89	15.69	16.65	17.02	16.48	17.55	17.12	16.44	17.28	16.33	15.75	15.58	15.53	14.53	14.85	
9/12/2001	14.89	16.80	15.06	14.63	14.89	14.27	13.15	11.82	11.08	10.92	10.76	10.13	11.46	11.56	9.59	8.95	7.53	7.32	8.65	8.91	8.95	10.39	10.82	11.35	
10/12/2001	10.66	10.17	10.60	9.91	9.85	8.69	8.69	9.59	9.44	8.91	9.59	8.59	8.54	9.01	9.17	8.65	8.54	9.17	9.33	9.70	9.33	9.23	9.01	10.13	
11/12/2001	9.06	9.01	7.85	8.65	8.91	10.28	10.07	7.64	7.32	6.05	6.05	5.67	5.88	6.20	6.25	3.87	3.50	2.86	3.71	3.24	4.55	5.09	4.83	3.76	
12/12/2001	3.61	3.65	2.96	4.29	3.02	4.40	7.10	6.95	9.23	10.49	11.29	11.29	12.36	11.87	10.92	10.82	9.27	9.76	10.02	10.02	9.12	9.06	8.27	8.00	
13/12/2001	6.57	6.05	5.78	4.55	3.71	3.02	3.24	3.65	4.29	6.42	7.21	8.65	9.76	10.13	10.97	11.08	9.96	8.91	7.68	11.35	10.28	8.54	7.42	6.05	
14/12/2001	7.21	6.95	7.21	6.15	7.47	5.19	4.98	4.19	4.19	3.50	3.87	5.35	6.42	7.85	8.22	8.43	8.43	8.91	8.91	9.23	7.21	8.11	9.27		
15/12/2001																									

Παράρτημα Β

Πίνακες με τις παραμέτρους των μοντέλων προσομοίωσης «Ζυγός» και Barlett-Lewis και με τα στατιστικά χαρακτηριστικά των ιστορικών και συνθετικών χρονοσειρών βροχόπτωσης και ταχύτητας ανέμου

Πίνακας Β.1 Παράμετροι του μοντέλου RBLRPM για την προσομοίωση της βροχόπτωσης

Μήνας/Παράμετροι	α (-)	λ (1/d)	ν (d)	κ (-)	ϕ (-)	μ_x (mm/d)	Τιμή αντικειμενικής συνάρτησης*	Αριθμός επαναλήψεων της συνάρτησης για την βαθμονόμηση	Απόκλιση συνάρτησης
Ιανουάριος	7,364	0,241	0,226	0,335	0,025	27,616	3,37943E-10	9403	8,31182E-08
Φεβρουάριος	3,268	0,893	0,015	4,983	0,022	3,313	0,1295203	10000	0,004184375
Μάρτιος	1,389	0,392	0,066	0,774	0,330	31,551	7,32148E-12	17052	9,90123E-08
Απρίλιος	2,666	0,154	0,008	6,304	0,011	2,960	4,38185E-10	13316	9,95745E-08
Μαΐος	1,872	0,490	0,005	0,588	0,104	60,612	6,22957E-11	13344	7,0023E-08
Ιούνιος	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ιούλιος	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Αύγουστος	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Σεπτέμβριος	4,902	0,032	0,548	4,556	0,457	3,020	1,83043E-12	15367	9,74788E-08
Οκτώβριος	2,172	0,400	0,006	2,265	0,035	7,144	2,31573E-08	14263	9,97951E-08
Νοέμβριος	2,295	0,402	0,015	0,211	0,021	55,402	2,08709E-08	11499	9,90068E-08
Δεκέμβριος	2,400	0,662	0,014	2,451	0,054	12,184	3,41722E-10	12797	8,09959E-08

*Η αντικειμενική συνάρτηση περιλαμβάνει τις εξισώσεις 5.5, 5.6, 5.7 και 5.10

Πίνακας Β.2 Στατιστικά χαρακτηριστικά ιστορικής και συνθετικής χρονοσειράς της ημερήσιας βροχόπτωσης

Στατιστικά χαρακτηριστικά συνθετικής χρονοσειράς βροχόπτωσης		Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Μάρτιος	Απρίλιος	Μαϊος	Ιούνιος	Ιούλιος	Αύγουστος	Σεπτέμβριος	Οκτώβριος	Νοέμβριος	Δεκέμβριος	
	Μέση τιμή		3,357	4,073	5,520	1,064	1,109	0,000	0,000	0,000	0,143	0,951	2,810	4,007
Διασπορά		38,643	30,407	495,284	10,670	14,058	0,000	0,000	0,000	1,155	6,234	35,669	64,500	
Συνδιασπορά		17,826	9,844	52,942	4,493	2,549	0,000	0,000	0,000	0,249	2,018	10,664	22,572	
πιθανότητα απουσίας βροχής		0,572	0,326	0,586	0,800	0,596	1,000	1,000	1,000	0,953	0,633	0,541	0,451	
Στατιστικά χαρακτηριστικά ιστορικής χρονοσειράς βροχόπτωσης	Μέση τιμή		3,429	5,216	6,989	1,187	1,149	0,000	0,000	0,000	0,151	1,006	2,770	3,845
	Διασπορά		40,641	37,643	348,367	12,944	18,515	0,000	0,000	0,000	1,153	6,844	39,720	52,467
	Συνδιασπορά		17,412	12,918	234,009	5,778	5,165	0,000	0,000	0,000	0,346	2,281	13,352	16,870
	πιθανότητα απουσίας βροχής (από δεδομένα)		0,565	0,304	0,565	0,800	0,597	1,000	1,000	1,000	0,933	0,629	0,550	0,452

Πίνακας Β.3 Παράμετροι του μοντέλου «Ζυγός» κατά την βαθμονόμηση

r (mm)	c (-)	k_u (mm)	k_i (mm)	λ (-)	t (-)	μ (-)	ξ (-)	H2 (mm)	ϕ (-)	S0 (mm)	Y0 (mm)	Nash-Sutcliffe	Αριθμός επαναλήψεων
41,603	0,01	5	51,652	0,129	0,241	0,345	0,172	264,402	0	0,343	262,048	0,85	12000

Πίνακας Β.4 Στατιστικά χαρακτηριστικά ιστορικής και συνθετικής χρονοσειράς της ταχύτητας του ανέμου

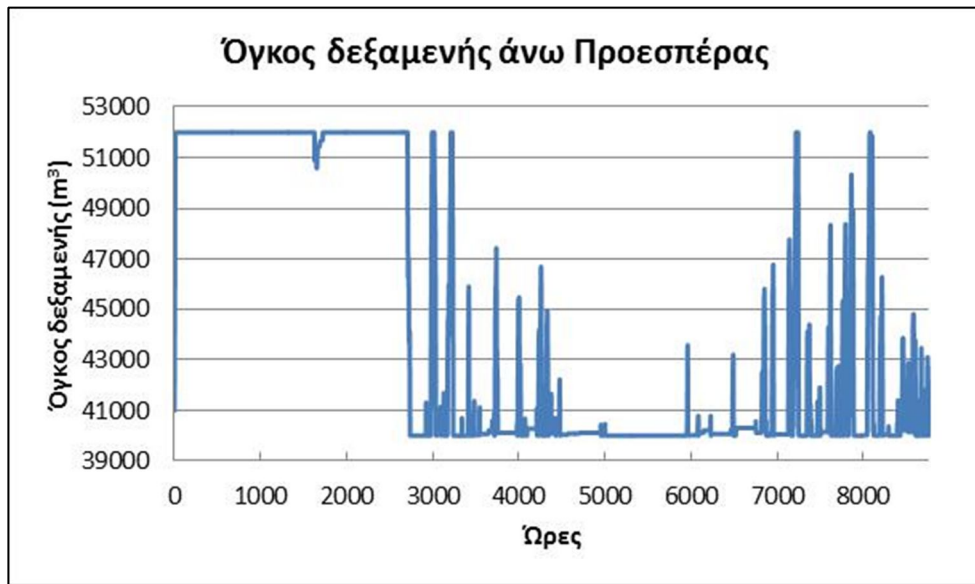
		Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Μάρτιος	Απρίλιος	Μάιος	Ιούνιος	Ιούλιος	Αύγουστος	Σεπτέμβριος	Οκτώβριος	Νοέμβριος	Δεκέμβριος
Στατιστικά χαρακτηριστικά συνθετικής χρονοσειράς ανέμου	Μέση τιμή	5,915	6,018	4,871	5,865	4,524	4,292	4,656	2,789	3,237	3,733	6,086	7,635
	Τυπική απόκλιση	6,224	5,115	4,247	5,819	4,605	3,324	2,929	2,328	2,958	3,164	4,807	4,697
	Διακύμανση	1,052	0,850	0,872	0,992	1,018	0,774	0,629	0,835	0,914	0,848	0,790	0,615
	Ασυμμετρία	1,294	1,132	1,299	1,391	1,383	0,924	0,780	0,988	1,397	1,042	0,909	0,661
Στατιστικά χαρακτηριστικά ιστορικής χρονοσειράς ανέμου	Μέση τιμή	5,992	6,162	5,206	6,118	4,185	4,386	4,753	2,790	3,302	3,798	6,554	7,625
	Τυπική απόκλιση	6,270	4,948	4,468	5,983	4,559	3,399	2,929	2,296	2,926	3,282	4,942	4,591
	Διακύμανση	1,046	0,803	0,858	0,978	1,089	0,775	0,616	0,823	0,886	0,864	0,754	0,602
	Ασυμμετρία	1,515	0,773	0,356	1,331	2,201	0,325	0,135	0,843	0,783	0,705	0,704	0,503

Πίνακας Β.5 Παράμετροι του μοντέλου RBLRPM για την προσομοίωση της ταχύτητας ανέμου

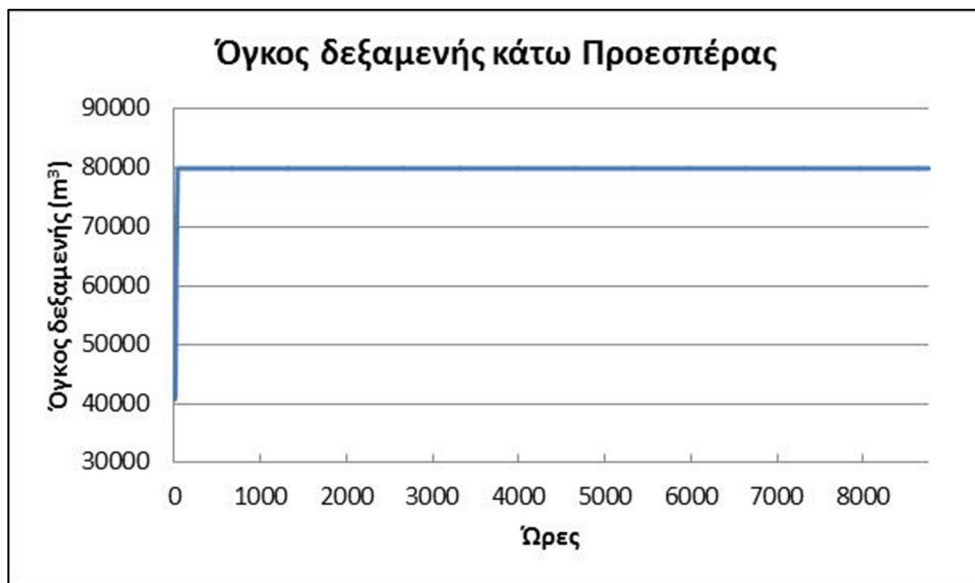
Μήνας/Παράμετροι	α (-)	λ (1/d)	ν (d)	κ (-)	ϕ (-)	μ_x (mm/d)	Τιμή αντικειμενικής συνάρτησης*	Αριθμός επαναλήψεων της συνάρτησης για την βαθμονόμηση	Απόκλιση συνάρτησης
Ιανουάριος	3,616	1,444	0,443	8,451	0,277	18,660	7,36E-03	1,00E+04	2,90E-05
Φεβρουάριος	2,374	1,541	0,833	0,794	0,240	36,758	2,39E-05	1,00E+04	1,86E-05
Μάρτιος	1,899	2,075	0,417	1,037	0,367	33,896	5,65E-03	1,00E+04	1,39E-04
Απρίλιος	1,870	2,387	0,282	3,737	0,862	35,761	9,66E-03	1,00E+04	1,12E-06
Μάιος	1,355	1,342	0,157	4,494	0,873	27,551	9,21E-03	1,00E+04	4,75E-06
Ιούνιος	10,459	2,086	0,814	6,849	0,094	7,934	1,91E-09	1,00E+04	4,16E-07
Ιούλιος	7,443	2,059	0,349	5,887	0,035	5,966	3,34E-08	1,00E+04	3,96E-02
Αύγουστος	18,880	1,069	0,618	7,765	0,022	5,054	1,73E-09	9,45E+03	9,96E-08
Σεπτέμβριος	2,364	2,400	0,741	1,581	0,929	22,493	2,47E-02	1,00E+04	2,40E-06
Οκτώβριος	8,072	2,389	0,661	6,519	0,149	9,162	3,53E-02	1,00E+04	8,36E-03
Νοέμβριος	5,264	1,117	0,298	9,497	0,039	8,285	2,64E-03	1,00E+04	8,12E-04
Δεκέμβριος	9,632	1,750	0,539	7,460	0,034	7,488	8,46E-03	1,00E+04	8,87E-03

Παράρτημα Γ

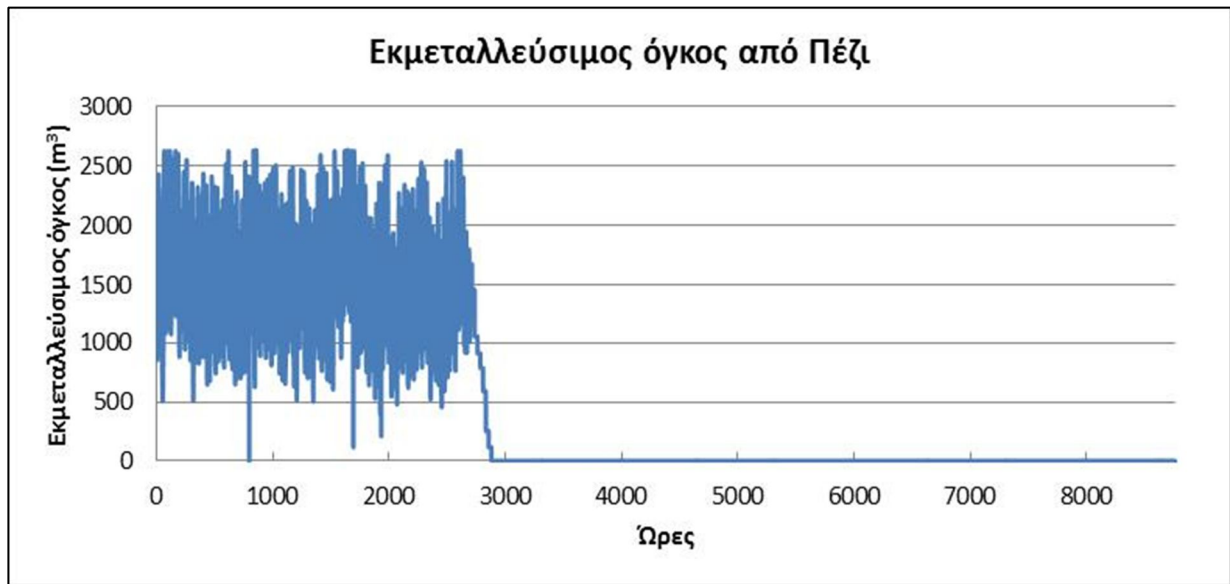
Σχήματα από αποτελέσματα προσομοίωσης του ενεργειακού ισοζυγίου του έργου



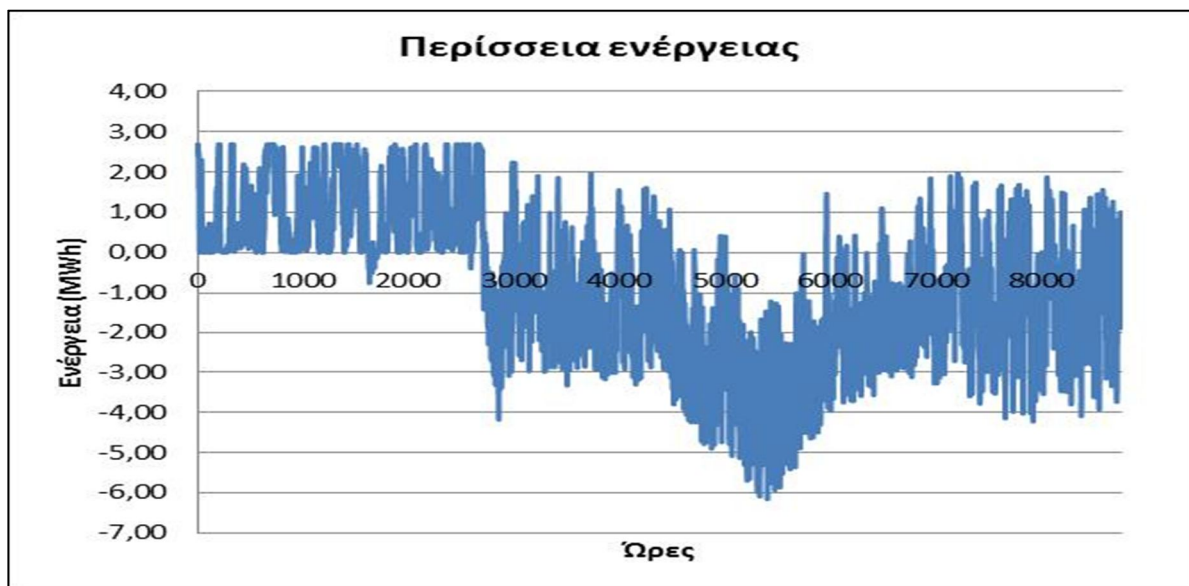
Σχήμα Γ.1 Όγκος δεξαμενής άνω Προεσπέρας σε ωριαία βάση για ένα έτος



Σχήμα Γ.2 Όγκος δεξαμενής κάτω Προεσπέρας σε ωριαία βάση για ένα έτος



Σχήμα Γ.3 Τελικός εκμεταλλεύσιμος όγκος νερού (m^3/h) από τον ταμιευτήρα στο Πέζι σε ωριαία βάση για ένα έτος



Σχήμα Γ.4 Περίσσεια ενέργειας (σε MW) προς εκμετάλλευση για άντληση σε ωριαία βάση για ένα έτος



Σχήμα Γ.5 Προσφορά ενέργειας από άντληση σε MW για κάθε έτος προσομοίωσης

Εικόνα Γ.1 Εικόνα από το αρχείο excel που κατασκευάστηκε για την προσομίωση του ενεργειακού ισοζυγίου

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X
Ημερομηνία & Ώρα	Ελάχιστο μηχανών εσωτερικής καύσεως της ΔΕΗ (Min MEK) (MW)	A/Γ Λακίου (Imax=600 kW)	Ζήτηση (MW)	30%Ζήτηση (MW)	Ζήτηση- MinMEK-A/Γ Λακίου (MW)	Παραγωγή A/Π YBE (MW)	Ζήτηση- MinMEK-A/Γ Λακίου (m ³)	Όγκος από το Πέζι προς εκμετάλλευση για το YBE (m ³ /h)	Τελική εκμετάλλευση παραγωγή (m ³ /s)	Εκμεταλλεύσιμη παραγή σύμφωνα με την δυνατότητα του υδρ/λου (m ³ /s)	Παραγωγή άνω YHΣ1 (MW)	Παραγωγή κάτω YHΣ2 (MW)	YHΣ1+YHΣ2 (MW)	Περίσσεια από υδρ/λο και A/Γ (MW)	Εκμεταλλεύσιμη ενέργεια για άντληση σύμφωνα με την δυνατότητα των αντλιών (MW)	Εκμεταλλεύσιμη παροχή για άντληση (m ³ /s)	Όγκος νερού προς την άνω δεξαμενή Δ1 από άντληση (m ³)	Αθροιστικός όγκος νερού από άντληση στην Δ1 (m ³)	Αποθικευμένη ενέργεια από αθροιστική άντληση στην Δ1 (MW)	Θεωρώντας μόνο το 15% διαθέσιμο ποσοστό για τα νερά από άντληση	Προσφορά ενέργειας από αθροιστική άντληση στην Δ1 (MW)	Συνολική προσφερόμενη ενέργεια από YBE στο δίκτυο (MW)	Κάλυψη Ζήτησης- MinMEK-A/Γ Λακίου μόνο από YBE
1/1/11 1:00	0,60	0,60	3,80	1,14	2,60	2,70	1659,14	18933,58	0,46	0,46	0,64	1,96	2,60	2,70	2,00	0,27	989,32	989,32	1,17	0,00	0,00	2,60	1
1/1/11 2:00	0,60	0,60	3,30	0,99	2,10	2,70	1340,07	18933,58	0,37	0,37	0,52	1,58	2,10	2,70	2,00	0,27	989,32	1978,65	2,33	0,00	0,00	2,10	1
1/1/11 3:00	0,60	0,60	3,10	0,93	1,90	2,70	1212,45	18933,58	0,34	0,34	0,47	1,43	1,90	2,70	2,00	0,27	989,32	2967,97	3,50	0,00	0,00	1,90	1
1/1/11 4:00	0,60	0,60	2,60	0,78	1,40	2,70	893,38	18933,58	0,25	0,25	0,35	1,05	1,40	2,70	2,00	0,27	989,32	3957,29	4,67	0,00	0,00	1,40	1
1/1/11 5:00	0,60	0,53	2,70	0,81	1,57	2,38	1003,15	18933,58	0,28	0,28	0,39	1,18	1,57	2,38	2,00	0,27	989,32	4946,62	5,84	0,00	0,00	1,57	1
1/1/11 6:00	0,60	0,53	2,50	0,75	1,37	2,40	872,62	18933,58	0,24	0,24	0,34	1,03	1,37	2,40	2,00	0,27	989,32	5935,94	7,00	0,00	0,00	1,37	1
1/1/11 7:00	0,60	0,56	2,50	0,75	1,34	2,51	856,35	18933,58	0,24	0,24	0,33	1,01	1,34	2,51	2,00	0,27	989,32	6925,26	8,17	0,00	0,00	1,34	1
1/1/11 8:00	0,60	0,53	2,60	0,78	1,47	2,40	936,43	18933,58	0,26	0,26	0,36	1,10	1,47	2,40	2,00	0,27	989,32	7914,58	9,34	0,00	0,00	1,47	1
1/1/11 9:00	0,60	0,56	2,80	0,84	1,64	2,52	1047,09	18933,58	0,29	0,29	0,41	1,24	1,64	2,52	2,00	0,27	989,32	8903,91	10,51	0,00	0,00	1,64	1
1/1/11 10:00	0,60	0,49	3,40	1,02	2,31	2,20	1474,42	18933,58	0,41	0,41	0,57	1,74	2,31	2,20	2,00	0,27	989,32	9893,23	11,67	0,00	0,00	2,31	1

