

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΡΕΥΣΤΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Μεγιστοποίηση εγγυημένης ισχύος υβριδικού σταθμού παραγωγής από αιολικό πάρκο και αντλησιοταμίευση, λαμβάνοντας υπόψη την πρόγνωση ανέμου

ΒΑΡΑΓΓΟΥΛΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΙΩΑΝΝΗΣ ΑΝΑΓΝΩΣΤΟΠΟΥΛΟΣ

Αθήνα, Οκτώβριος 2011

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής είναι η ανάλυση της λειτουργίας υβριδικού σταθμού παραγωγής από αιολικό πάρκο και αντλησιοταμίευση, στα πλαίσια του μη-διασυνδεδεμένου συστήματος της Λέσβου. Η λειτουργία του μπορεί να βασιστεί σε δύο διαφορετικά και εξαρχής ορισμένα σενάρια, εκ των οποίων το πρώτο διοχετεύει την ενέργεια του αιολικού πάρκου κατά προτεραιότητα απευθείας στο δίκτυο, ενώ το δεύτερο δίνει προτεραιότητα στο αντλιοστάσιο του σταθμού. Στόχος της διπλωματικής, είναι η μεγιστοποίηση της εγγυημένης ισχύος του ΥΒΣ μέσω της εισαγωγής τής πρόγνωσης ανέμου στους παράγοντες που καθορίζουν τη συμπεριφορά του. Διερευνάται κατά πόσο η πρόβλεψη μπορεί να βοηθήσει στην αντιμετώπιση των διαστημάτων στα οποία παρατηρείται αδυναμία κάλυψης του φορτίου, εξαιτίας του συνδυασμού υψηλής ζήτησης και χαμηλής αιολικής παραγωγής. Η ετήσια λειτουργία του σταθμού ακολουθεί ημερήσιο προγραμματισμό και προσομοιώνεται μέσω υπολογιστικού αλγόριθμου. Μέσω του αλγόριθμου, εξάγονται αποτελέσματα για την εσωτερική λειτουργία του και για τις επιπτώσεις του στο αυτόνομο ηλεκτρικό δίκτυο. Κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης επισημαίνονται και μελετώνται παράμετροι ιδιαίτερης σημασίας για την επίτευξη του στόχου, όπως είναι το διάστημα της πρόγνωσης και το μέγεθος του ταμιευτήρα.

Τα αποτελέσματα της εργασίας δείχνουν ότι η εισαγωγή τής πρόγνωσης ανέμου, υπό συγκεκριμένες προϋποθέσεις, συντελεί στην αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος και της αποδιδόμενης υβριδικής ενέργειας, επιτρέπει ακόμα μεγαλύτερη διείσδυση αιολικής ενέργειας στο δίκτυο, χωρίς να επηρεάζει αρνητικά τις υπόλοιπες ηλεκτροπαραγωγικές μονάδες του αυτόνομου συστήματος. Τέλος, μέσω υπολογισμού δεικτών οικονομικής βιωσιμότητας γίνεται φανερό ότι η συγκεκριμένη εγκατάσταση αποτελεί επένδυση υψηλής απόδοσης.

ABSTRACT

The current thesis deals with the operation analysis of a hybrid production station, using wind power production and pumped storage, in the non-interconnected electric system of the Greek island of Lesbos. Its operation is determined by two different scenarios, defined at the beginning of the simulation. According to the first scenario, the production of the wind park is basically driven directly to the electric grid, whereas in the second scenario priority is given to the pumping facility of the station. The objective of the thesis is the increase and maximization of guaranteed power provided by the station, through the use of wind prognosis. It is under research whether the facility, with the contribution of wind prediction, can surpass the inability to provide guaranteed energy during periods when high electric demand and low wind power production are combined. The annual operation is scheduled on a daily basis and it is simulated with the use of a calculating algorithm which provides results concerning the station's internal function and its effects in the autonomous electric system. As the simulation progresses, certain parameters, such as the prognosis period and the tank's size are studied, regarding their significance to the objective.

The results of the thesis show that the use of wind prognosis, under certain terms, contributes to the increase of the installed power and the hybrid energy provided to the grid. Furthermore, greater wind power penetration is achieved, while the rest of the system's production units remain unaffected. Finally, the calculation of economic sustainability indicators shows that the energy system under analysis manages to offer high investment return.

ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.1: Η κατασκευαστική διαμόρφωση ενός σταθμού αντλησιοταμίευσης	12
Εικόνα 1.2: Εγκατάσταση μονής σωλήνωσης.....	13
Εικόνα 1.3: Εγκατάσταση διπλής σωλήνωσης.....	13
Εικόνα 1.4: Ο αντλητικός σταθμός στη θέση Σφηκιά	15
Εικόνα 1.5: Ο αντλητικός σταθμός στη θέση Θησαυρός	15
Εικόνα 1.6: Απεικόνιση του ηλεκτρικού δικτύου της Ικαρίας μετά την ένταξη του Υ.Β.Σ	18
Εικόνα 1.7: Χάρτης αιολικού δυναμικού του ελλαδικού χώρου	19
Εικόνα 2.1: Υπολογισμός Απεικόνιση των ενεργειακών μετατροπών κατά τη λειτουργία μιας ανεμογεννήτριας	23
Εικόνα 2.2: Η δομή του συστήματος AWPPS	37
Εικόνα 3.1: Η γραμμή η οποία εξισώνει την ενέργεια που προσφέρει ο Υ.Β.Σ με την ενέργεια που μπορεί να αντληθεί από το δίκτυο	43

ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1.1: Συγκριτικός πίνακας των μεθόδων αποθήκευσης ενέργειας.....	10
Πίνακας 1.2: Οι μεγαλύτερες εγκαταστάσεις αντλησιοταμίευσης παγκοσμίως	14
Πίνακας 4.1: Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων σεναρίου 1.....	62
Πίνακας 4.2: Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων σταθμού 31,125MW.....	66
Πίνακας 4.3: Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων σεναρίου 2.....	72
Πίνακας 4.4: Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων σταθμού 34,125MW	77

ΛΙΣΤΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 1.1:Συσχετισμός του ενεργειακού περιεχομένου ενός αποθηκευτικού μέσου με το ρόλο του στην ηλεκτροπαραγωγική διαδικασία.....	9
Διάγραμμα 2.1: Η κατανομή της ταχύτητας του ανέμου.....	21
Διαγραμμα 2.2: Κατανομή διεύθυνσης – ταχύτητας του ανέμου	22
Διάγραμμα 2.3: Καμπύλη ισχύος ανεμογεννήτριας	25
Διάγραμμα 2.4: Μοντελοποίηση καμπύλης ισχύος Α/Π	27
Διάγραμμα 2.5: Οι μέθοδοι πρόβλεψης αιολικής παραγωγής.....	30
Διάγραμμα 2.6: Υπολογισμός αιολικής παραγωγής μέσω του συστήματος Ewind.....	32
Διάγραμμα 2.7: Υπολογισμός αιολικής παραγωγής μέσω του συστήματος Previento	33
Διάγραμμα 3.1: Προγραμματισμός κάλυψης της ζήτησης από διαχειριστή ΜΔΝ και παραγωγό Υ.Β.Σ	37
Διάγραμμα 3.2: Λογικό διάγραμμα υπολογιστικού κώδικα	41
Διάγραμμα 3.3: Ετήσια καμπύλη φορτίου ζήτησης της Λέσβου	42
Διάγραμμα 3.4: Διάγραμμα ετήσιας αιολικής παραγωγής Α/Π Υ.Β.Σ	44
Διάγραμμα 3.5: Το σύνολο της εγγυημένος ισχύος που πρέπει να προσφερθεί από τον Υ.Β.Σ.....	46
Διάγραμμα 3.6: Η διαδικασία ελέγχου των επομένων ημερών	55
Διάγραμμα 4.1: Λειτουργία του σταθμού στο διάστημα 5040 – 5140, πριν την τροποποίηση	57
Διάγραμμα 4.2:Λειτουργία του σταθμού στο διάστημα 5040 – 5140, μετά την τροποποίηση.....	58
Διάγραμμα 4.3:Η επίδραση της τροποποίησης στον αλγόριθμο στον αριθμό των “επεισοδίων”, σενάριο 1.....	59
Διάγραμμα 4.4:Γραφική απεικόνιση των σημαντικότερων ενεργειακών μεγεθών και δεικτών Υ.Β.Σ, συναρτήσε των ημερών συνυπολογισμού αιολικής παραγωγής, σενάριο 1.....	63
Διάγραμμα 4.5:Γραφική απεικόνιση των σημαντικότερων ενεργειακών – οικονομικών μεγεθών και δεικτών Υ.Β.Σ, συναρτήσε των ημερών συνυπολογισμού αιολικής παραγωγής.....	64
Διάγραμμα 4.6:Γραφικές παραστάσεις παραμετρικής μελέτης της επίδρασης του όγκου του ταμειυτήρα στα αποτελέσματα του σταθμού των 31,125MW.....	65
Διάγραμμα 4.7:Η κάλυψη της ζήτησης του δικτύου της Λέσβου από το σύνολο των ηλεκτροπαραγωγικών μονάδων (μονάδες βάσης, Υ.Β.Σ, εξωτερικά Α/Π) μετά την ένταξη του Υ.Β.Σ.....	67
Διάγραμμα 4.8:Η παραγωγή του Α/Π του σταθμού για το σύνολο των ωρών μέσα στο έτος.....	68
Διάγραμμα 4.9:Η εσωτερική λειτουργία του σταθμού μέσα στο έτος.....	69

Διάγραμμα 4.10: Η επίδραση της τροποποίησης στον αλγόριθμο στον αριθμό των "επεισοδίων", σενάριο 2.....	71
Διάγραμμα 4.11: Γραφική απεικόνιση των σημαντικότερων ενεργειακών μεγεθών και δεικτών Υ.Β.Σ, συναρτήσει των ημερών συνυπολογισμού αιολικής παραγωγής.....	74
Διάγραμμα 4.12: Γραφική απεικόνιση των σημαντικότερων ενεργειακών – οικονομικών μεγεθών και δεικτών Υ.Β.Σ, συναρτήσει των ημερών συνυπολογισμού αιολικής παραγωγής.....	75
Διάγραμμα 4.13: Γραφικές παραστάσεις παραμετρικής μελέτης της επίδρασης του όγκου του ταμιευτήρα στα αποτελέσματα του σταθμού των 34,125MW.....	65
Διάγραμμα 4.14: Η κάλυψη της ζήτησης του δικτύου της Λέσβου από το σύνολο των ηλεκτροπαραγωγικών μονάδων (μονάδες βάσης, Υ.Β.Σ, εξωτερικά Α/Π) μετά την ένταξη του Υ.Β.Σ.....	78
Διάγραμμα 4.15: Η παραγωγή του Α/Π του σταθμού για το σύνολο των ωρών μέσα στο έτος.....	79
Διάγραμμα 4.16: Η εσωτερική λειτουργία του σταθμού μέσα στο έτος.....	80

ΛΙΣΤΑ ΣΥΜΒΟΛΩΝ

- $P_{P,MIN}$: ελάχιστη ισχύς αντλιοστασίου
 $P_{P,INST}$: ονομαστική ισχύς αντλιοστασίου
 N_H : ονομαστική ισχύς υδροστροβίλου
 C_H : συντελεστής τεχνικού ελαχίστου υδροστροβίλων
 P_H : ισχύς υδροστροβίλου
 η_T : βαθμός απόδοσης παραγωγής
 η_P : βαθμός απόδοσης άντλησης
 A : παράμετρος ασφάλειας παραγωγής
 B : παράμετρος ασφάλειας άντλησης
 Γ : παράμετρος ασφάλειας αξιοποίησης ενέργειας από ΑΠΕ
 E_G : εγγυημένη ενέργεια ημέρας
 $P_{D,i}$: ισχύς άντλησης από το δίκτυο για την ώρα i από τις ώρες χαμηλής ζήτησης
 $P_{E,i}$: προγραμματισμένη ισχύς λειτουργίας υδροστροβίλων για την ώρα i
 $P_{HN,TOT}$: Συνολική εγκατεστημένη ισχύς των εν λειτουργία υδροστροβίλων
 $P_{P,x}$: τρέχουσα ισχύς αντλιοστασίου
 $P_{P1,x}$: τρέχουσα ισχύς κάθε αντλίας
 $\Sigma_{ΑΠΟΜ}$: συντελεστής απομείωσης
 $P_{W,x}$: ισχύς λειτουργίας Α/Π ανά 10λεπτο
 $E_{WP,x}$: ενέργεια Α/Π για άντληση το 10λεπτο
 $E_{WG,x}$: ενέργεια Α/Π στο δίκτυο ανά 10λεπτο
 $E_{WLOSS,x}$: απορριπτόμενη αιολική ενέργεια ανά 10λεπτο
 $P_{WP,x}$: ισχύς 10λέπτου Α/Π που δίνεται για άντληση
 $E_{W,TOT}$, η συνολική αιολική παραγωγή
 E_{W_P} , η αιολική παραγωγή που χρησιμοποιείται για άντληση
 E_{W_G} , η αιολική παραγωγή που διοχετεύεται απευθείας στο δίκτυο
 $E_{W_{LOSS}}$, η αιολική παραγωγή που απορρίπτεται
 $Q_{H,TOT}$, ο συνολικός όγκος νερού που καταναλώνεται από τους υδροστροβίλους
 $E_{H,TOT}$, η παραγωγή ενέργειας από τους υδροστροβίλους
 $E_{H,LOSS}$, οι ενεργειακές απώλειες των υδροστροβίλων
 $Q_{P,TOT}$, ο συνολικός όγκος νερού που αντλείται

$E_{P,TOT}$, η ενέργεια που χρησιμοποιείται για άντληση (Α/Π και δικτύου)

$E_{P,LOSS}$, οι ενεργειακές απώλειες των αντλιών

$\Delta.A.W$, ο δείκτης αξιοποίησης αιολικής παραγωγής

$B.A.H$, ο βαθμός απόδοσης της υδροστροβλικής παραγωγής

$B.A.P$, ο βαθμός απόδοσης της άντλησης

$B.A.TOT$, ο ολικός βαθμός του κύκλου παραγωγής-άντλησης

$D.INC_H$, τα ημερήσια έσοδα της υδροστροβλικής παραγωγής

$D.INC_W$, τα ημερήσια έσοδα της αιολικής παραγωγής

$D.OUT_P$, τα ημερήσια έξοδα για άντληση από το δίκτυο

$D.INC$, το ημερήσιο κέρδος του Υ.Β.Σ

E_{TANK} , η υδραυλική ενέργεια του άνω ταμιευτήρα

$D.INC_{TOT}$, τα ολικά έσοδα του σταθμού

$Y.INC_{TOT}$, τα ετήσια κέρδη του Υ.Β.Σ

$Y.E_{PURCH}$, η ενέργεια που αντλείται ετησίως από το δίκτυο

$Y.E_{H,TOT}$, η ετήσια υδροστροβλική παραγωγή

$Y.E_{W,G}$, η ετήσια αιολική παραγωγή που προωθείται στο δίκτυο

$Y.E_{W,P}$, η ετήσια αιολική παραγωγή που προωθείται στις αντλίες

$Y.E_{W,LOSS}$, η ετήσια απορριπτόμενη αιολική ενέργεια

$Y.BAL$, τα ετήσια έσοδα προς το κόστος της εγκατάστασης

$Y.E_{W,EXP}$, η συνολική εκμεταλλεύσιμη αιολική ενέργεια

E_{NET} , το ετήσιο ισοζύγιο ενέργειας του σταθμού

F_{NET} , ο ολικός βαθμός απόδοσης του σταθμού

CF_W , το Capacity Factor του Α/Π

CF_H , το Capacity Factor των υδροστροβίλων

CF_P , το Capacity Factor των αντλιών

E_{FUTURE_NEEDS} , η εγγυημένη ενέργεια που θα απαιτήσει το δίκτυο

$E_{PUMPING_FROM_GRID}$, η ενέργεια για άντληση που μπορεί να εξασφαλίσει ο σταθμός τις ώρες χαμηλού φορτίου

E_{FROM_WIND} , η αιολική ενέργεια που προβλέπεται να παραχθεί από το Α/Π

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα διπλωματική μελετά τη λειτουργία ενός υβριδικού σταθμού παραγωγής ενέργειας (ΥΒΣ) και τις επιπτώσεις της ένταξής του σε ένα αυτόνομο μη διασυνδεδεμένο νησιωτικό σύστημα. Ο συγκεκριμένος σταθμός αποτελεί μία από τις πιο αξιόπιστες λύσεις στο ζήτημα της βέλτιστης εκμετάλλευσης και της σωστής διαχείρισης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (Α.Π.Ε).

Σε παγκόσμια κλίμακα, η ανάγκη για επίλυση σημαντικών περιβαλλοντικών και ενεργειακών ζητημάτων, έχει δώσει μεγάλη ώθηση στον τομέα των Α.Π.Ε, σε επίπεδο έρευνας και πρακτικής εφαρμογής. Παραδείγματα όπως της Δανίας, όπου ανά διαστήματα παρατηρείται 100% διείσδυση αιολικής ενέργειας, δείχνουν ότι οι πηγές αυτές μπορούν να αναλάβουν όχι απλά υποστηρικτικό, αλλά βασικό ρόλο στην κάλυψη της ενεργειακής ζήτησης.

Η προσπάθεια ωστόσο για εκμετάλλευση του τεράστιου αυτού ενεργειακού δυναμικού, φέρνει σε σύγκρουση από τη μία τη στοχαστική και απρόβλεπτη φύση των Α.Π.Ε και από την άλλη την ανάγκη ενός ηλεκτρικού δικτύου για απρόσκοπτη και ποιοτική παροχή ισχύος. Οι ανανεώσιμες μονάδες μπορούν να αποδώσουν μεγάλα ποσά ενέργειας, αυτό όμως συμβαίνει ανά περιόδους και πάντα υπάρχει η πιθανότητα οποιαδήποτε αλλαγή φυσικών παραγόντων να επιφέρει μερική ή πλήρη πτώση της παραγωγής. Τα στοιχεία αυτά, έχουν εμποδίσει τη μαζική είσοδο τέτοιων μονάδων σε δίκτυα τα οποία έχουν κατασκευασθεί και προσαρμοστεί στα χαρακτηριστικά και τη λειτουργία συμβατικών εγκαταστάσεων. Οι συγκεκριμένες εγκαταστάσεις, παρά τα μειονεκτήματά τους, παρουσιάζουν μεγάλη ευελιξία φόρτισης και λειτουργίας, συνεισφέροντας με τον τρόπο αυτό στην ευστάθεια του συστήματος.

Θέμα προς επίλυση επομένως, αποτελεί η απαλοιφή τού ασυνεχούς χαρακτήρα των Α.Π.Ε, μέσω μεθόδων οι οποίες θα τις προσαρμόσουν στα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του αντίστοιχου δικτύου και θα βοηθήσουν στην άμεση ή μεταγενέστερη εκμετάλλευση της ανανεώσιμης ενέργειας. Η αποθήκευση ενέργειας αποτελεί μία από αυτές τις μεθόδους. Μέσα από ένα σύνολο πρακτικών και για ένα μεγάλο εύρος ισχύος, το ανανεώσιμο δυναμικό αποθηκεύεται και διοχετεύεται με τρόπο προγραμματισμένο για την κάλυψη της κατανάλωσης.

Σε μικρότερη κλίμακα, στην Ελλάδα, η χρήση ΑΠΕ έχει μελετηθεί και εφαρμόζεται από το 1982. Το αιολικό πάρκο τής Κύθνου αναφέρεται ως το πρώτο αιολικό πάρκο στον κόσμο. Μέχρι το 2012 θα έχει ολοκληρωθεί και ο ΥΒΣ της Ικαρίας, ο οποίος είναι από τους πρώτους σταθμούς που συνδυάζουν ανανεώσιμη παραγωγή και αποθήκευση. Έρεισμα για την ανάπτυξη, το σχεδιασμό και την εγκατάσταση τέτοιων ενεργειακών συστημάτων, έχει αποτελέσει η ύπαρξη σημαντικού αιολικού και φωτοβολταϊκού δυναμικού.

Ειδικά αυτή την περίοδο, μια σειρά οικονομικών, γεωπολιτικών και ενεργειακών παραγόντων, σε συνδυασμό με ειδικά χαρακτηριστικά του ελλαδικού χώρου όπως είναι η ύπαρξη πολλών αυτόνομων ηλεκτρικών δικτύων, καταδεικνύουν την ανάγκη για στήριξη του τομέα των Α.Π.Ε και για επενδύσεις σε εγκαταστάσεις που θα επιτρέψουν τη μεγαλύτερη διείσδυσή τους στα ηλεκτρικά δίκτυα.

Στη συγκεκριμένη εργασία μελετάται η επίδραση του συνυπολογισμού ανεμολογικής πρόβλεψης στα αποτελέσματα υβριδικού σταθμού, που περιλαμβάνει αιολική παραγωγή και αποθήκευση μέσω αντλησιοταμίευσης. Παρουσιάζεται επίσης η εικόνα του αυτόνομου ηλεκτρικού δικτύου μετά την ένταξη του σταθμού σε αυτό.

Αποτελείται από πέντε κεφάλαια:

- Στο κεφάλαιο 1 γίνεται αναφορά στις μεθόδους αποθήκευσης, αναλύεται εκτενέστερα η μέθοδος της αντλησιοταμίευσης και ορίζεται η έννοια του υβριδικού σταθμού.
- Στο κεφάλαιο 2 εξηγούνται τα χαρακτηριστικά του ανέμου και περιγράφεται η πορεία από την πρόβλεψη του ανέμου στην πρόβλεψη της αιολικής ισχύος.
- Στο κεφάλαιο 3 αναλύεται η πολιτική διαχείρισης του σταθμού και η προγραμματιστική έκφραση αυτής, μέσω της επεξήγησης των βασικών σημείων του υπολογιστικού αλγόριθμου.
- Στο κεφάλαιο 4 παρουσιάζονται και σχολιάζονται τα ενεργειακά και οικονομικά αποτελέσματα της προσομοίωσης του σταθμού μετά την εισαγωγή της πρόγνωσης του ανέμου.
- Στο κεφάλαιο 5 γίνεται ανακεφαλαίωση της εργασίας και κριτική των αποτελεσμάτων. Προτείνονται τέλος θέματα προς περαιτέρω ανάπτυξη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο

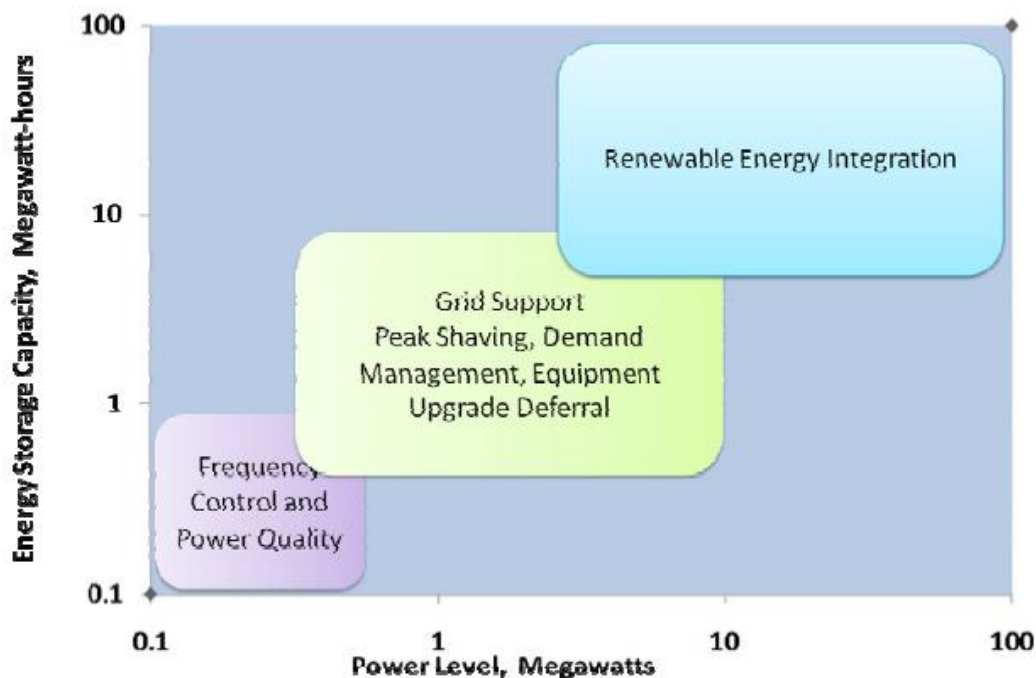
Η ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ – ΥΒΡΙΔΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ ΠΑΡΟΧΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

1.1. Εισαγωγή

Οι υβριδικοί σταθμοί παραγωγής ενέργειας αποτελούν εξέλιξη των αναστρέψιμων υδροηλεκτρικών έργων. Ένα αναστρέψιμο υδροηλεκτρικό λειτουργεί με βάση της διαδικασία της αντλησιοταμίευσης, διαδικασία που αποτελεί μια από τις πιο αξιόπιστες μεθόδους αποθήκευσης ενέργειας. Με τη μέθοδο αυτή, η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από συμβατικές μονάδες του δικτύου κατά τις ώρες χαμηλής ζήτησης, αποθηκεύεται υπό τη μορφή υδραυλικής, και σε περιόδους υψηλής ζήτησης μέσω υδροστροβλικής παραγωγής ξαναμετατρέπεται σε ηλεκτρική.

1.2. Αποθήκευση ενέργειας

Τα τελευταία χρόνια και με αφορμή προβλήματα όπως είναι οι υψηλές εκπομπές CO₂ στην ατμόσφαιρα, το συνεχώς αυξανόμενο κόστος παραγωγής ενέργειας από συμβατικές μονάδες, και η ανάγκη για εξυπηρέτηση όλο και μεγαλύτερων ηλεκτρικών δικτύων, το ενδιαφέρον του τομέα ενεργειακού σχεδιασμού και παραγωγής έχει στραφεί προς τη διαδικασία της αποθήκευσης ποσοτήτων ενέργειας. Η διαδικασία αυτή χρησιμοποιεί διάφορες ενεργειακές μορφές (χημική, κινητική, υδραυλική και άλλες) ώστε να αποδώσει στην πάροδο του χρόνου το ενεργειακό τους περιεχόμενο ως ηλεκτρική ενέργεια.



Διάγραμμα 1.1: Συσχετισμός του ενεργειακού περιεχομένου ενός αποθηκευτικού μέσου με το ρόλο του στην ηλεκτροπαραγωγική διαδικασία ([www.energy storage association.com](http://www.energy-storage.com))

Όπως φαίνεται στο παραπάνω διάγραμμα, οι εγκαταστάσεις αποθήκευσης ως συνιστώσες του δικτύου καλύπτουν αιχμές της ηλεκτρικής ζήτησης, μπορούν να ανταπεξέλθουν σε απότομες

αυξομειώσεις της ζήτησης σε διάστημα δευτερολέπτων και μειώνουν την ανάγκη για ένταξη στο δίκτυο συμβατικών μονάδων. Επίσης πραγματοποιούν έλεγχο της συχνότητας του δικτύου και της ποιότητας της παραγόμενης ισχύος. Τέλος διαθέτουν λειτουργικά χαρακτηριστικά τα οποία μπορούν να διευκολύνουν σε μεγάλο βαθμό την ένταξη σε μεγάλη κλίμακα ανανεώσιμων μονάδων ηλεκτροπαραγωγής. Η στοχαστικότητα και η αβεβαιότητα της αιολικής και της ηλιακής ενέργειας αντισταθμίζεται από τη δυνατότητα της αποθήκευσης, επιτρέποντας στην ανανεώσιμη παραγωγή να λειτουργήσει βάσει προγράμματος και με συγκεκριμένα ποσά. Μειώνεται επομένως το κόστος ενσωμάτωσης της ανανεώσιμης παραγωγής στο δίκτυο και αυξάνεται η διείσδυσή της στην τοπική και παγκόσμια αγορά ενέργειας.

Electrical Storage Technology	Power	Energy Storage Capacity	Duration of Discharge	Advantages	Challenges/Issues
Lead Acid	<1 MW/	0.1 KWh-1MWh	1-5 hours	low cost, mature technology	limited cycle life low energy density
Lithium-Ion	<2MW	0.1k Wh- 10 MWh	1-8 hours	high energy density, high power density	high cost, safety in large systems, life,
Sodium Sulfur	<40MW	<250MWh,	1-24 hours	high energy density, modest power density	high temperature operation, high cost, safety of large systems, life
Redox Flow	<5 MW	<15MWh,	1-24 hours	long life, safe, easily scalable, medium cost	low energy density, low power density
Compressed Air	25MW-3000MW	1GWh	1-24 hours	high capacity, low cost	special site requirements
Pumped Hydro	100MW-4000 MW	15 GWh	4-24 hours	mature, High capacity, low cost	special site requirements
Flywheels	<1MW	<10 MWh	<1 hour	high power density,	low energy density, high cost
Supercapacitors	<1MW	<100 KWh	<1 minute	high power density, long life, high efficiency	low energy density, high cost
Superconducting Magnetic Storage	<10 MW	<1MWh	< 30 minutes	high power density, high efficiency	high cost

Πίνακας 1.1: Συγκριτικός πίνακας των μεθόδων αποθήκευσης ενέργειας ([www.energy storage association.com](http://www.energy-storage-association.com))

Η αποθήκευση ενέργειας κατηγοριοποιείται ως τομέας, με βάση τη μέθοδο που ακολουθείται, τα ποσά ενέργειας προς διαχείριση, το χρόνο ανταπόκρισης στη ζήτηση και τη χρονική διάρκεια που καλύπτεται η ζήτηση.

Με βάση τα στοιχεία του πίνακα 1.1, παρατηρείται ότι τη συγκεκριμένη περίοδο, έχουν δυνατότητα αποθήκευσης υψηλών ποσών ενέργειας οι μέθοδοι της αντλησιοταμίευσης, του συμπιεσμένου αέρα και οι διατάξεις με μπαταρίες.

Μπαταρίες:

Είναι συσκευές οι οποίες μετατρέπουν τη χημική ενέργεια σε ηλεκτρική κατά την αποφόρτιση και το αντίστροφο κατά τη φόρτιση. Δομικό τους στοιχείο είναι ηλεκτροχημικές κυψέλες (electrochemical cells) οι οποίες συνδυάζονται για να αποδώσουν την απαιτούμενη κάθε φορά τάση, ενέργεια και ισχύ. Η αποθήκευση γίνεται με τη βοήθεια ηλεκτροχημικών αντιδράσεων, όπου η απελευθέρωση ή η δέσμευση ηλεκτρονίων οδηγεί στη δημιουργία ιόντων. Σε κάθε κελί πραγματοποιούνται δύο αντιδράσεις κατά τη διάρκεια των λειτουργιών της φόρτισης και της αποφόρτισης. Στην αποφόρτιση, μία αντίδραση αφορά την απελευθέρωση ηλεκτρονίων από την άνοδο και η δεύτερη τη δέσμευση του στην κάθοδο. Κατά τη φόρτιση συμβαίνει η αντίστροφη διαδικασία. Σημαντικό στοιχείο της όλης δομής είναι ο ηλεκτρολύτης, ο οποίος ελέγχει τη ροή των ηλεκτρονίων μεταξύ ανόδου και καθόδου και καθορίζει την ηλεκτροχημική ισορροπία της διάταξης.

Η συγκεκριμένη τεχνολογία έχει αναπτυχθεί ιδιαίτερα στην Ιαπωνία, η οποία με στόχο την εξομάλυνση των αιχμών της ζήτησης έχει εγκαταστήσει συνολικά ισχύ 270MW με δυνατότητα εξάωρης συνεχούς κάλυψης. Η μεγαλύτερη από τις μονάδες αυτές, είναι ισχύος 34 MW και λειτουργεί υποστηρικτικά στην παραγωγή αιολικών πάρκων.

Συμπιεσμένος αέρας (Compressed Air Energy Storage, CAES):

Με τη μέθοδο αυτή, ηλεκτρικό ρεύμα χρησιμοποιείται για τη αποθήκευση αέρα υπό υψηλή πίεση σε υπόγειους γεωλογικούς σχηματισμούς ή σε επίγειες εγκαταστάσεις μέσω συστήματος δεξαμενών και σωληνώσεων. Στη συνέχεια, ο αέρας αυτός αναμειγνύεται με φυσικό αέριο και διοχετεύεται στροβίλους. Με δεδομένο ότι στις μονάδες καύσης φυσικού αερίου το μεγαλύτερο ποσοστό της ενέργειας χρησιμοποιείται για τη συμπίεση του αέρα, η μέθοδος αυτή συντελεί σε μείωση της κατανάλωσης καυσίμου έως και 40%.

Η πρώτη εγκατάσταση συμπιεσμένου αέρα, ισχύος 290MW κατασκευάστηκε στο Hundolf της Γερμανίας το 1978, και ακολούθησε μια δεύτερη εγκατάσταση στην πολιτεία της Alabama το 1991, ισχύος 110MW.

Αντλησιοταμίευση (Pumped Storage):

Αποτελεί την μέθοδο αποθήκευσης στην οποία στηρίζεται η παρούσα διπλωματική εργασία και αναλύεται εκτενώς στο 1.3.

1.3. Η μέθοδος της αντλησιοταμίευσης

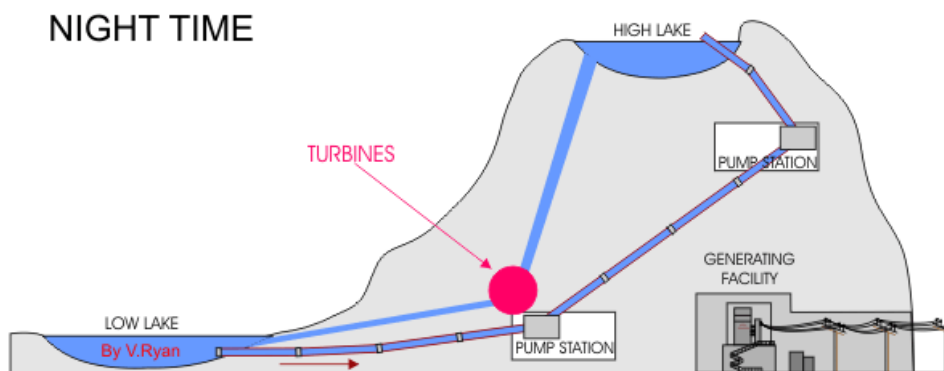
Η μέθοδος αυτή αποθηκεύει ενέργεια υπό τη μορφή υδραυλικής, μέσω της άντλησης ποσοτήτων νερού από ένα χαμηλό ταμιευτήρα σε μεγαλύτερο ύψος. Η ενέργεια για την άντληση του νερού προέρχεται από τις θερμικές μονάδες βάσης του δικτύου. Τα χαρακτηριστικά και η λειτουργία των μονάδων αυτών δεν τους επιτρέπουν να ακολουθούν την καμπύλη ζήτησης του δικτύου, κάτι το οποίο θα απαιτούσε από αυτές σημαντικές μεταβολές του φορτίου στη χρονική ή ενεργειακή κλίμακα. Υπάρχουν επομένως διαστήματα στα οποία παρατηρείται περίσσεια ενέργειας λόγω μειωμένης ζήτησης σε σχέση με την παραγωγή. Η περίσσεια αυτή διοχετεύεται στην άντληση των αναστρέψιμων εγκαταστάσεων, ώστε να διοχετευτεί στο δίκτυο σε περιόδους υψηλής ζήτησης, συμπληρωματικά με την παραγωγή των μονάδων βάσης.

Υπάρχουν δύο ειδών εγκαταστάσεις αντλησιοταμίευσης:

- Η καθαρή αντλησιοταμίευση (pure pumped storage), στην οποία η εγκατάσταση διακινεί το υγρό αποκλειστικά μεταξύ δύο ταμιευτήρων.
- Αντλησιοταμίευση σε συνδυασμό με συμβατικό υδροηλεκτρικό έργο (pump back approach), κατά την οποία η διαδικασία πραγματοποιείται κατά τη φυσική ροή ενός ποταμού.

Η λειτουργία ενός αναστρέψιμου περιλαμβάνει κατασκευαστικά τις εξής συνιστώσες:

- Αντλητικό συγκρότημα για την άντληση σε μεγαλύτερο ύψος
- Άνω και κάτω ταμιευτήρα
- Καταθλιπτικό αγωγό και αγωγό προσαγωγής
- Σταθμό με υδροστροβίλους
- Κεντρική μονάδα ελέγχου
- Υποσταθμό σύνδεσης με το ηλεκτρικό δίκτυο

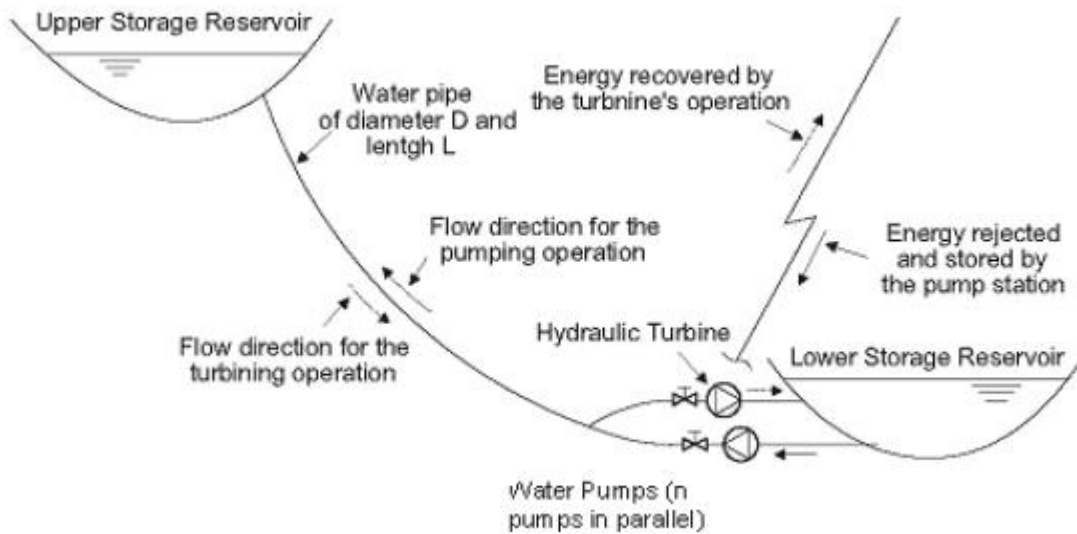


Εικόνα 1.1: Η κατασκευαστική διαμόρφωση ενός σταθμού αντλησιοταμίευσης

Κατασκευαστικά, οι εγκαταστάσεις αυτές διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

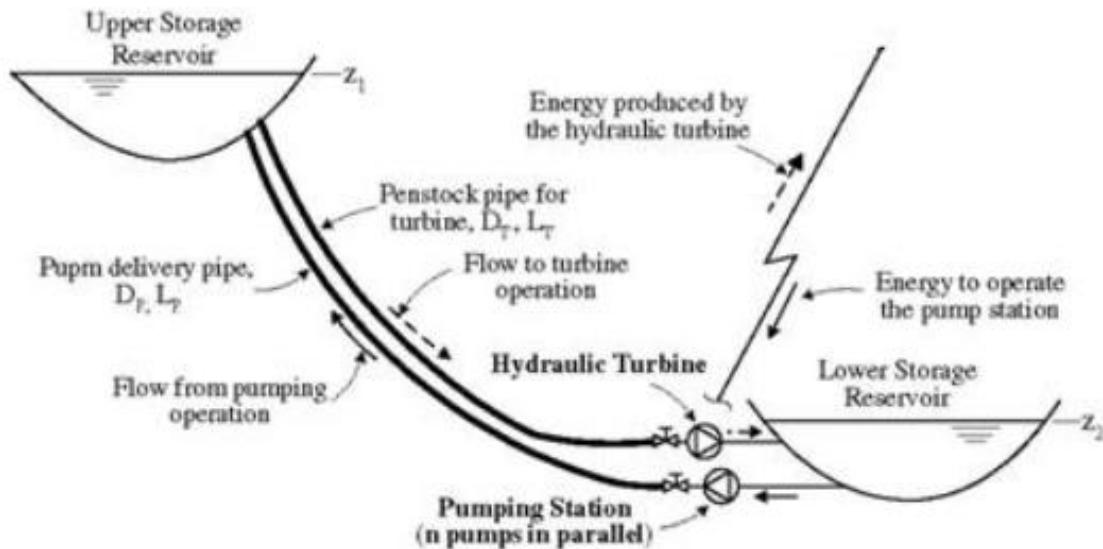
- Μονής σωλήνωσης με αναστρέψιμη υδροδυναμική μηχανή
- Διπλής σωλήνωσης με ξεχωριστό υδροστροβιλικό και αντλητικό τμήμα

Οι εγκαταστάσεις μονής σωλήνωσης χαρακτηρίζονται από χαμηλό κόστος αλλά και από απώλειες σημαντικών ποσών ενέργειας, καθώς η υδροδυναμική μηχανή μπορεί να επιτελέσει μόνο μία λειτουργία, άντληση ή παραγωγή. Σε περιπτώσεις υψηλής αιολικής παραγωγής, ο σταθμός υπάρχει περίπτωση να μην είναι σε θέση να την εκμεταλλευτεί αν έχει προγραμματιστεί να καλύψει ζήτηση από το δίκτυο. Μειονεκτήματα αποτελούν επίσης η λειτουργία της μηχανής σε στροφές διαφορετικές από τις ονομαστικές καθώς και η αδυναμία διαχείρισης υψηλής υδραυλικής πτώσης. Σε αυτή την περίπτωση είναι απαραίτητη η εγκατάσταση ξεχωριστού αντλητικού συγκροτήματος. (Παπαντώνης Δ.,2004 / Σπύρου Ι.,2009)



Εικόνα 1.2: Εγκατάσταση μονής σωλήνωσης

Η διπλή σωλήνωση από την άλλη, έχει σημαντικό κόστος ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού αλλά δίνει τη δυνατότητα στους υδροστρόβιλους να λειτουργούν σε ονομαστικό φορτίο και στην εγκατάσταση να παρέχει ενέργεια στο δίκτυο και παράλληλα να αντλεί, εκμεταλλευόμενη με αυτό τον τρόπο την αυξημένη παραγωγή ή την περίσσεια ενέργειας από ΑΠΕ.



Εικόνα 1.3: Εγκατάσταση διπλής σωλήνωσης

Από ενεργειακή άποψη και από τη σκοπιά της αποθήκευσης, η αντλησιοταμίευση αποτελεί την καταλληλότερη λύση για τη διαχείριση υψηλών ποσοτήτων ενέργειας, λαμβάνοντας υπόψη ότι συνοδεύεται και από υψηλό βαθμό απόδοσης του κύκλου άντλησης-παραγωγής, της τάξης του 65% με 80%. Ωστόσο η σχετικά χαμηλή ενεργειακή πυκνότητα του εργαζόμενου μέσου απαιτεί, μεγάλες ποσότητες υγρού, μεγάλη υψομετρική διαφορά ή συνδυασμό και των δύο.

Από οικονομική άποψη, είναι μια συμφέρουσα προς επένδυση επιλογή και αυτό γιατί ρεύμα το οποίο αγοράζεται σε χαμηλές τιμές κατά τις ώρες χαμηλής ζήτησης, προωθείται στο δίκτυο στις ώρες αιχμής όπου η τιμολόγηση είναι υψηλότερη. Ωστόσο πρέπει να ληφθεί υπόψη τόσο το υψηλό κόστος εγκατάστασης όσο και η ανάγκη εύρεσης κατάλληλης τοποθεσίας.

Η δυνατότητα μιας τέτοιας εγκατάστασης να λειτουργήσει ως μέσο αποθήκευσης και ως μονάδα παραγωγής, συμβάλλει θετικά και στις δύο συνιστώσες ενός ηλεκτροπαραγωγικού δικτύου. Ενεργειακά, εξομαλύνει τις αυξομειώσεις φορτίου και μπορεί να αποθηκεύσει ενέργεια, επιτρέποντας στις μονάδες βάσης να λειτουργούν κατά τρόπο βέλτιστο. Παράλληλα, αφαιρεί την ανάγκη για τη δημιουργία συμβατικών μονάδων αιχμής. Όσον αφορά την ευστάθεια του δικτύου, οι μονάδες αυτές μπορούν να λειτουργήσουν και σαν εφεδρεία καθώς αποτελούν μονάδες άμεσης απόκρισης. Μια τέτοια εγκατάσταση μπορεί να λειτουργήσει σε ονομαστικό φορτίο σε διαστημα 15 δευτερολέπτων, στοιχείο πολύ σημαντικό για την εξυπηρέτηση απότομα αυξημένης ζήτησης ή για την υποστήριξη του δικτύου σε περίπτωση εξόδου σημαντικής συμβατικής μονάδας.

Παγκοσμίως, η αντλησιοταμίευση καλύπτει ισχύ 104GW. Πρώτη σε ανάπτυξη τέτοιων εγκαταστάσεων είναι η Ευρωπαϊκή Ένωση με 38.3GW (36,8% της παγκόσμιας εγκατεστημένης), ακολουθεί η Ιαπωνία με 25,5GW (24,5%) και τέλος οι Η.Π.Α με 21,5GW (20,6%). Παρατηρώντας τον παρακάτω πίνακα, στον οποίο αναφέρονται οι εγκαταστάσεις αντλησιοταμίευσης με τη μεγαλύτερη εγκατεστημένη ισχύ διεθνώς, βλέπουμε ότι παρά το μεγάλο τους κόστος, τα έργα αυτά αποτελούν μια από τις βασικές επιλογές ηλεκτροπαραγωγής για χώρες με κορεσμένο ηλεκτρικό δίκτυο (Η.Π.Α) και για χώρες που βρίσκονται σε στάδιο ανάπτυξης και έχουν να αντιμετωπίσουν κατακόρυφη αύξηση της ζήτησης (Κίνα).

Τοποθεσία	Χώρα	Ισχύς(MW)
Bath County Pumped Storage Station	Η.Π.Α	2772
Guangdong Pumped Storage Power Station	Κίνα	2400
Okutataragi Hydroelectric Power Station	Ιαπωνία	1932
Ludington Pumpred Storage Power Plant	Κίνα	1872
Tianghuengping Pumped Storage Power Plant	Η.Π.Α	1836

Πίνακας 1.2: Οι μεγαλύτερες εγκαταστάσεις αντλησιοταμίευσης παγκοσμίως

Στην Ελλάδα έχουν κατασκευαστεί και λειτουργούν δύο αναστρέψιμα υδροηλεκτρικά έργα:

- Στη Σφηκιά, ο αντλητικός σταθμός ανήκει στο υδροηλεκτρικό συγκρότημα του Αλιάκμονα συνολικής ισχύος 880MW. Έχει υδραυλική πτώση 82m, ισχύ 315MW, ταμιευτήρα 18 εκατομμυρίων m^3 και αποδίδει ενέργεια 380GWh με τις 200GWh να εξασφαλίζονται μέσω άντλησης.



Εικόνα 1.4: Ο αντλητικός σταθμός στη θέση Σφηκιά (Αργυράκης Ι.,ΔΕΗ)

- Στην τοποθεσία Θησαυρός, ο σταθμός υπάγεται στο υδροηλεκτρικό συγκρότημα του Νέστου, ισχύος 500MW. Η υδραυλική του πτώση είναι 172m, η ισχύς του 381MW, ο ταμιευτήρας του 565 εκατομμύρια m^3 και αποδίδει στο δίκτυο ενέργεια 440GWh, 270 εκ των οποίων από άντληση.



Εικόνα 1.5: Ο αντλητικός σταθμός στη θέση Θησαυρός (Αργυράκης Ι.,ΔΕΗ)

Στο στάδιο της αδειοδότησης βρίσκονται δύο εγκαταστάσεις αντλησιοταμίευσης οι οποίες θα λειτουργούν υποστηρικτικά σε ΑΠΕ. Οι τοποθεσίες που έχουν επιλεγεί είναι στις τοποθεσίες Μπαμπαλιό και Σαργιάδα του νομού Αιτωλοακαρνανίας. Οι αντίστοιχοι σταθμοί θα είναι ισχύος 380MW και 382MW.

1.4. Υβριδικοί σταθμοί παραγωγής ενέργειας

Ένας υβριδικός σταθμός παραγωγής ενέργειας χρησιμοποιεί για να αντλήσει ενέργεια από ΑΠΕ. Σε περιόδους υψηλής παραγωγής, ο σταθμός μπορεί να διοχετεύσει ποσοστό αυτής στο δίκτυο και με το υπόλοιπο να αντληθεί νερό στον άνω ταμιευτήρα. Σε περίπτωση αύξησης της κατανάλωσης ή πτώσης της ανανεώσιμης παραγωγής ο σταθμός μπορεί να καλύψει σε ελάχιστο διάστημα όποιο ποσό ενέργειας του ζητηθεί, θέτοντας σε λειτουργία τους υδροστροβίλους.

Ο Ν.3468/2006 ορίζει ποιες εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας μπορούν να χαρακτηριστούν υβριδικοί σταθμοί και καθορίζει τους όρους λειτουργίας τους στα πλαίσια ενός ηλεκτρικού δικτύου. Ένας Υ.Β.Σ:

- Χρησιμοποιεί μία, τουλάχιστον, μορφή ΑΠΕ.
- 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.
- Η μέγιστη ισχύς παραγωγής των μονάδων του σταθμού ΑΠΕ δεν μπορεί να υπερβαίνει την εγκατεστημένη ισχύ των μονάδων αποθήκευσης του σταθμού αυτού, προσαυξημένη κατά ποσοστό μέχρι 20%.

Με τον τρόπο αυτό γίνεται δυνατή η εκμετάλλευση ενέργειας, η οποία λόγω μεταβλητότητας και μεγέθους δε θα μπορούσε να αξιοποιηθεί με άλλο τρόπο. Το είδος της ΑΠΕ που χρησιμοποιείται, καθορίζει τη σύνθεση του εξοπλισμού του συστήματος καθώς και τη διαμόρφωση του κύκλου λειτουργίας ώστε να μπορεί η διαδικασία της άντλησης να ακολουθεί τις ενεργειακές διακυμάνσεις και να είναι δυνατή παράλληλα η απόδοση ενέργειας στο δίκτυο.

Ο συνδυασμός ανανεώσιμων μορφών ενέργειας και αντλησιοταμίευσης παρουσιάζει αρκετά πλεονεκτήματα (Ρ.Α.Ε):

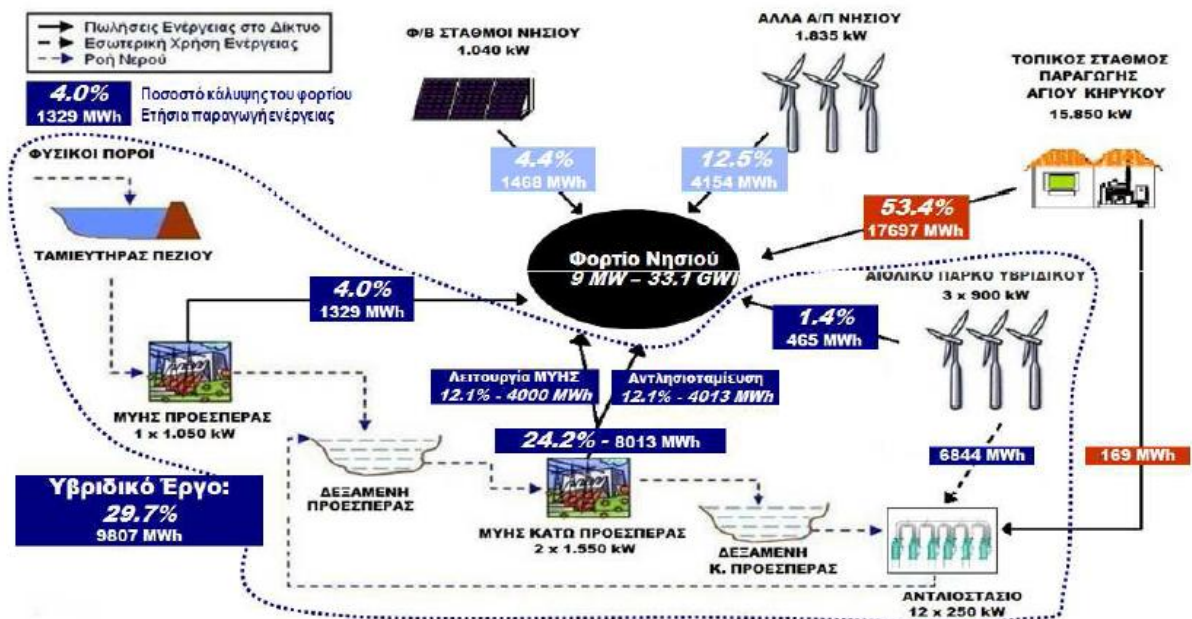
- Λύνεται το πρόβλημα που προκαλείται από τη διακύμανση των ανανεώσιμων πηγών και επομένως γίνεται δυνατή η αξιοποίηση τους και η αυξημένη διείσδυσή τους στο ηλεκτρικό σύστημα.
- Αυξάνεται η αξιοπιστία του δικτύου με την είσοδο ελεγχόμενης μονάδας παραγωγής άμεσης απόκρισης, όπως είναι ο υδροστροβίλος.
- Μειώνεται η λειτουργία συμβατικών πετρελαιοκίνητων μονάδων, με δύο οικονομικά οφέλη: (α) απεξάρτηση από ορυκτά καύσιμα των οποίων η τιμή ακολουθεί ανοδική πορεία, (β) μείωση εκπομπών CO₂ με ακόλουθη μείωση προστίμων για τη ΔΕΗ και επομένως οικονομικό όφελος για τον καταναλωτή.
- Κοινωνικά οφέλη μέσω της περιφερειακής ανάπτυξης και της δημιουργίας εργασιακών θέσεων.
- Δυνατότητα επίλυσης προβλημάτων όπως είναι η έλλειψη νερού, μέσω του συνδυασμού υβριδικού σταθμού και εγκατάστασης αφαλάτωσης.

Με βάση τον ορισμό του, ένα υβριδικό σύστημα παρουσιάζει πολλές παραλλαγές. Εκτός της συνεργασίας υδροηλεκτρικής μονάδας και μονάδας ΑΠΕ, είναι δυνατός ο συνδυασμός αιολικού πάρκου και μηχανών Diesel με την αιολική παραγωγή να στοχεύει στη μείωση της κατανάλωσης καυσίμου. Γίνονται επίσης μελέτες για την εγκατάσταση αιολικού και φωτοβολταϊκού πάρκου σε συνδυασμό με μονάδα αντλησιοταμίευσης. Σε κάθε περίπτωση γίνεται φανερό ότι ο βέλτιστος σχεδιασμός πρέπει να περιλαμβάνει σύστημα αποθήκευσης τόσο για την καλύτερη αξιοποίηση των επιμέρους ενεργειακών δυναμικών όσο και για την κάλυψη των αναγκών του δικτύου κάθε στιγμή.

Εγκατάσταση που συνδυάζει αντλησιοταμίευση σε συνδυασμό με αιολική παραγωγή κατασκευάζεται στο El Hierro που ανήκει στο σύμπλεγμα των Κανάριων Νήσων. Το νησί έχει δικό του ηλεκτρικό δίκτυο και είναι εντελώς απομονωμένο καθώς λόγω του μεγάλου βάθους της θάλασσας είναι δύσκολη οποιαδήποτε ηλεκτρική διασύνδεση του. Μέχρι πριν από λίγο καιρό η ζήτηση σε ηλεκτρισμό, η οποία καλύπτει το 65% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας στο νησί, καλυπτόταν κυρίως από συμβατικούς (θερμικούς) σταθμούς παραγωγής ισχύος 10MW. Η συνεισφορά των ΑΠΕ στο ηλεκτρικό σύστημα του νησιού ήταν μικρότερη από 5% και προέρχονταν από δύο ανεμογεννήτριες εγκατεστημένες ισχύος 100kW και 180kW. Το νησί παρουσιάζει ένα ενεργειακό δυναμικό για την ανάπτυξη συστημάτων ΑΠΕ και κυρίως αιολικών. Για το λόγο αυτό αποφασίστηκε η κατασκευή ενός σταθμού που θα είχε σαν αποτέλεσμα την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του νησιού από 100% ΑΠΕ. Αρχικά το πρόγραμμα στοχεύει σε κάλυψη 70-80% της ηλεκτρικής ζήτησης του νησιού με την εφαρμογή ενός υβριδικού συστήματος αντλησιοταμίευσης και 30% άμεση έγχυση της αιολικής παραγωγής στο δίκτυο. Ο σταθμός θα αποτελείται από ένα Α/Π ισχύος 11.5MW, εγκατάσταση υδροστροβίλων ισχύος 11.3MW, αντλιοστάσιο ισχύος 6MW, άνω ταμιευτήρα 556000m³, κάτω ταμιευτήρα 150000m³ και μονάδα αφαλάτωσης.

Στην Ελλάδα έχει ξεκινήσει η κατασκευή υβριδικού σταθμού στην Ικαρία ισχύος 4,15MW, ο οποίος πρόκειται να λειτουργήσει μετά το 2012. Ο συγκεκριμένος σταθμός συνδυάζει την υβριδική παραγωγή με την παραγωγή απλού υδροηλεκτρικού σταθμού. Η ύπαρξη ενός ταμιευτήρα και δύο μικρότερων δεξαμενών δίνει τη δυνατότητα για εγκατάσταση δύο σταθμών υδροστροβλικής παραγωγής. Ειδικότερα, ο Υ/Σ της Προεσπέρας, με εγκατεστημένο υδροστρόβιλο Pelton ισχύος 1,05MW, εκμεταλλεύεται τα υδάτινα αποθέματα του ταμιευτήρα Πεζίου, συνολικού όγκου 900000m³. Το νερό στη συνέχεια αποθηκεύεται στη δεξαμενή της Προεσπέρας, 80000m³, και διοχετεύεται στους υδροστροβίλους του Υ/Σ Κάτω Προεσπέρας, συνολικής ισχύος 3,1MW. Το συγκρότημα αυτό εκτός του σταθμού παραγωγής, περιλαμβάνει επίσης αντλιοστάσιο με 12 αντλίες σταθερών στροφών και συνολικής ισχύος 3,0MW και δεξαμενή όγκου 80000m³. Το αντλιοστάσιο, εκμεταλλευόμενο την ενέργεια του Α/Π Στραβοκουνδούρας ισχύος 2,7MW και ενέργεια από τον τοπικό σταθμό παραγωγής αντλεί το νερό και πάλι στη δεξαμενή της Προεσπέρας.

Η λειτουργία του Υ.Β.Σ θα καλύψει τη ζήτηση του νησιού της Ικαρίας σε ποσοστό 29,7%. Σε συνδυασμό τις υπόλοιπες εγκαταστάσεις ΑΠΕ (σταθμοί Φ/Β, Α/Π), θα επιτευχθεί διείσδυση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο υψηλό ποσοστό του 50% της κατανάλωσης, σε σχέση με το τρέχων 15 – 20%.



Εικόνα 1.6: Απεικόνιση του ηλεκτρικού δικτύου της Ικαρίας μετά την ένταξη του Υ.Β.Σ (Παπαθανασίου Σ., Αθήνα, 2011)

Στην Κρήτη, έχει δοθεί άδεια παραγωγής σε σταθμό στην περιοχή των Μαλίων. Ο σταθμός θα αποτελείται από συγκρότημα παραγωγής ισχύος 100MW και αντλιοστάσιο της ίδιας ισχύος. Στην εγκατάσταση θα διοχετεύεται ρεύμα από Α/Π σε τέσσερις τοποθεσίες στους νομούς Χανίων και Ρεθύμνου, συνολικής ισχύος 90,1MW. Έχει προκηρυχθεί επίσης διαγωνισμός για την κατασκευή Υ.Β.Σ ισχύος 50MW στην περιοχή Αμάρι του νομού Ρεθύμνου. Τέλος, στο στάδιο της προκαταρκτικής μελέτης βρίσκεται ο Υ.Β.Σ στο φράγμα της Ερεσού στη Λέσβο, ισχύος 15MW.

1.5. Αυτόνομο ηλεκτρικό σύστημα Μη Διασυνδεδεμένου Νησιού

Ένα αυτόνομο ηλεκτρικό σύστημα δεν είναι συνδεδεμένο με το κεντρικό σύστημα ή Διασυνδεδεμένο Δίκτυο, τροφοδοτεί τους καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας ενός ή περισσοτέρων νησιών διασυνδεδεμένων μεταξύ τους και περιλαμβάνει σταθμούς παραγωγής, δίκτυο χαμηλής, μέσης ή και υψηλής τάσης, υποσταθμούς υποβιβασμού τάσης και κάθε άλλο εξοπλισμό αναγκαίο για τη λειτουργία του.

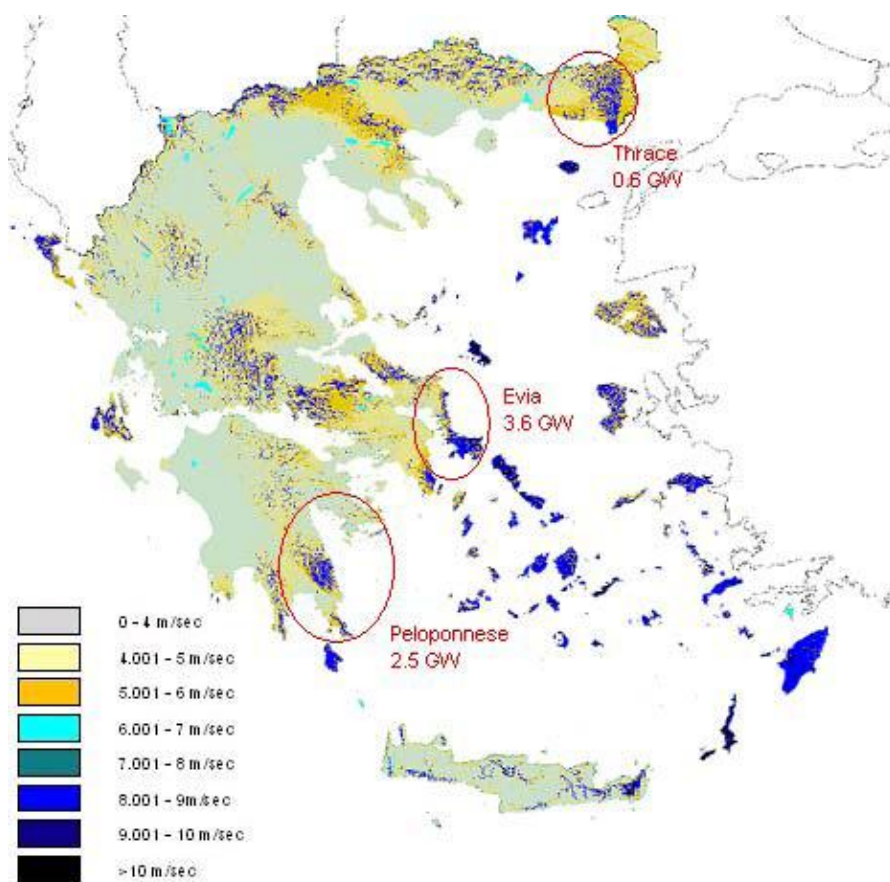
Αυτόνομα ηλεκτρικά δίκτυα υπάρχουν σε πολλά ελληνικά νησιά. Η εξασφάλιση της ευστάθειας και της ασφάλειας σε ένα απομονωμένο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας, αποτελεί έργο σημαντικά δυσκολότερο από ότι στα διασυνδεδεμένα συστήματα. Αυτό συμβαίνει για τους εξής λόγους:

- Παρουσία έντονων διακυμάνσεων της ζήτησης μέσα στο χρόνο λόγω της τουριστικής κίνησης που αυξάνει τις ανάγκες ρεύματος και νερού. Η διαφορά της μέγιστης αυτής ζήτησης και της ελάχιστης, προκαλεί αναγκαστικά "ψυχρή" εφεδρεία των μηχανών που είναι οικονομικά ασύμφορο.
- Κάλυψη από μικρούς αυτόνομους σταθμούς με μηχανές Diesel, χαμηλού βαθμού απόδοσης, υψηλής κατανάλωσης καυσίμου και με δυσκολία στην τροφοδοσία. Επιπλέον παράγοντες που προκαλούν προβλήματα στην ευστάθεια είναι τεχνικά στοιχεία όπως είναι τα τεχνικά ελάχιστα των μηχανών, ο ρυθμός ανάληψης φορτίου κ.α.

- Αδυναμία υποστήριξης τους από άλλα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας (Σ.Η.Ε.) μέσω έγχυσης ισχύος σε καταστάσεις ανάγκης.
- Διείσδυση μονάδων Α.Π.Ε. μη εγγυημένης παραγωγής ισχύος.

Ο συνδυασμός των παραπάνω παραγόντων, έχει ως αποτελέσματα υψηλό κόστος παραγωγής ενέργειας, ηλεκτροπαραγωγή ρυπογόνα για το περιβάλλον και προβλήματα ευστάθειας του δικτύου και ασφαλούς κάλυψης της ζήτησης.

Σημαντικό στοιχείο των μη διασυνδεδεμένων νησιών στην Ελλάδα, είναι το αιολικό τους δυναμικό. Όπως φαίνεται και στον παρακάτω χάρτη, στα περισσότερα νησιά του Αιγαίου παρατηρούνται ταχύτητες ανέμου, μεγαλύτερες των 8m/s.



Εικόνα 1.7: Χάρτης αιολικού δυναμικού του ελλαδικού χώρου (Κ.Α.Π.Ε)

Το δυναμικό όμως αυτό δεν γίνεται πλήρως εκμεταλλεύσιμο για δύο λόγους. Αρχικά γιατί η στοχαστικότητα του ανέμου και η ευαισθησία των ανεμογεννητριών στις διακυμάνσεις του ηλεκτρικού δικτύου προκαλούν αβεβαιότητα σε ότι αφορά την απρόσκοπτη παροχή ισχύος. Επιπλέον, τεχνικά στοιχεία του δικτύου, όπως είναι το υψηλό τεχνικό ελάχιστο των ενταγμένων συμβατικών μονάδων και τα ελλiptή δίκτυα μεταφοράς ηλεκτρικού ρεύματος εμποδίζουν μεγάλη διείσδυση της αιολικής παραγωγής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο

Ο ΑΝΕΜΟΣ - Η ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΤΗΣ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

2.1. Εισαγωγή

Το παγκόσμιο περιβαλλοντικό ζήτημα και τα μειούμενα αποθέματα ορυκτών καυσίμων σε συνδυασμό με τη συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση για ενέργεια στις αναπτυγμένες και κυρίως στις αναπτυσσόμενες χώρες, δημιουργούν μια επιτακτική ανάγκη για εκμετάλλευση μορφών ενέργειας οι οποίες θα είναι σε θέση να καλύψουν την τεράστια ζήτηση με τρόπο φιλικό προς το περιβάλλον. Στα πλαίσια αυτά, τις τελευταίες δεκαετίες, ο τομέας των ανανεώσιμων μορφών ενέργειας έχει σημειώσει μεγάλη ανάπτυξη, στο πεδίο της έρευνας αλλά και στο πεδίο της εφαρμογής.

Η ΑΠΕ που έχει καταφέρει να σημειώσει το μεγαλύτερο άλμα και να αποτελεί σημαντικό παράγοντα των ηλεκτροπαραγωγικών δικτύων είναι η αιολική και αυτό συμβαίνει γιατί η παραγωγή μέσω ανεμογεννητριών χαρακτηρίζεται από την εκμετάλλευση ενός ατέλειωτου ενεργειακού δυναμικού με πολύ ανταγωνιστικό κόστος. Το στοιχείο αυτό φαίνεται και από τα δεδομένα για την παγκόσμια εγκατεστημένη ισχύ των αιολικών πάρκων. Το 1995 η παγκόσμια εγκατεστημένη ισχύς ήταν 4800MW ενώ το 2010 πλησίαζε τα 150000MW.

Τα ποσά αυτά φανερώνουν υψηλή διείσδυση της αιολικής στην ηλεκτροπαραγωγή, η οποία σε κάποια δίκτυα φτάνει το 40% με 50%. Η σημαντική αυτή διείσδυση παρά το θετικό της πρόσημο από ενεργειακή και οικονομική σκοπιά, θέτει ένα σημαντικό πρόβλημα στους διαχειριστές των δικτύων, λόγω της στοχαστικότητας και της υψηλής μεταβλητότητας που χαρακτηρίζουν τον άνεμο. Ο διαχειριστής ενός δικτύου ενεργεί για τη διατήρηση της ισορροπίας στο δίκτυο και την κάλυψη της ζήτησης, επομένως η διαχείριση μιας ενεργειακής πηγής με ασυνεχή χαρακτήρα δυσκολεύει σημαντικά τον προγραμματισμό της κάλυψης. Επιπλέον, η ανάγκη για ευστάθεια του δικτύου και διατήρηση συγκεκριμένης συχνότητας ρεύματος έρχεται σε αντίθεση με τη μικρή και μεταβαλλόμενη συχνότητα του ρεύματος από ανεμογεννήτριες. Λύση μέχρι τώρα σε αυτά τα προβλήματα δίνει η κατανομή και ο προγραμματισμός εφεδρειών, εφεδρειών όμως που παρέχονται από συμβατικές μονάδες παραγωγής, υψηλού κόστους και κατανάλωσης. Η χρήση τέτοιων μονάδων αφαιρεί σε σημαντικό ποσοστό τα οφέλη από τη χρήση της αιολικής, αφού για την κάλυψη της όποιας πτώσης στην αιολική παραγωγή εκκινούνται μονάδες καύσης ορυκτών καυσίμων.

Τα χαρακτηριστικά του ανέμου, προκαλούν πρόβλημα και στους παραγωγούς ενέργειας από Α/Π. Ύστερα από την απελευθέρωση της αγοράς ενέργειας στην Ευρώπη, η αιολική ενέργεια θεωρείται ισάξια με τις υπόλοιπες, οπότε οποιαδήποτε αδυναμία κάλυψης συνοδεύεται από ρήτρες και επιφέρει κυρώσεις.

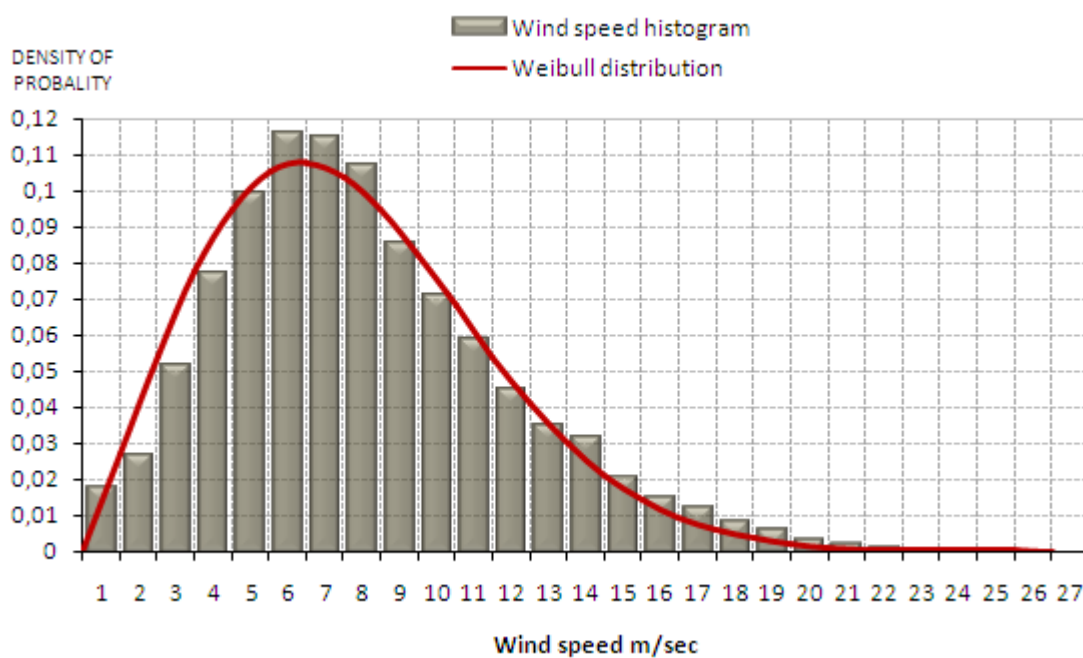
Στα πλαίσια επομένως της διείσδυσης και εμπορευματοποίησης της αιολικής ενέργειας, είναι απαραίτητη η ανάπτυξη και εφαρμογή συστημάτων πρόβλεψης του ανέμου και της αιολικής παραγωγής. Η διαδικασία αυτή μαζί με την ένταξη συστημάτων αποθήκευσης στα ηλεκτρικά δίκτυα θα μπορούσε να λύσει τα προβλήματα που προκαλεί ο ασυνεχής χαρακτήρας της και να οδηγήσει σε ακόμα μεγαλύτερη αιολική διείσδυση, με ταυτόχρονη έξοδο από το σύστημα συμβατικών μονάδων.

2.2. Ο άνεμος

2.2.1. Στατιστική περιγραφή του ανέμου

Ως άνεμος ορίζεται η κίνηση των εναέριων μαζών, η οποία οφείλεται στη διαφορά πίεσης και θερμοκρασίας των στρωμάτων της ατμόσφαιρας. Η συνεχής μεταβολή της φυσικής κατάστασης των στρωμάτων αυτών, έχει ως αποτέλεσμα τον ασυνεχή και εξαιρετικά μεταβαλλόμενο χαρακτήρα του ανέμου. Από μελέτες πάνω στα στατιστικά χαρακτηριστικά του ανέμου και μετρήσεις σε αρκετές τοποθεσίες παγκοσμίως, έχει προκύψει ότι η κατανομή της ταχύτητας του ανέμου μπορεί να περιγραφεί πολύ καλά από την στατιστική κατανομή Weibull.

Η κατανομή αυτή παρουσιάζει ασυμμετρία και έχει την παρακάτω μορφή:



Διάγραμμα 2.1: Η κατανομή της ταχύτητας του ανέμου

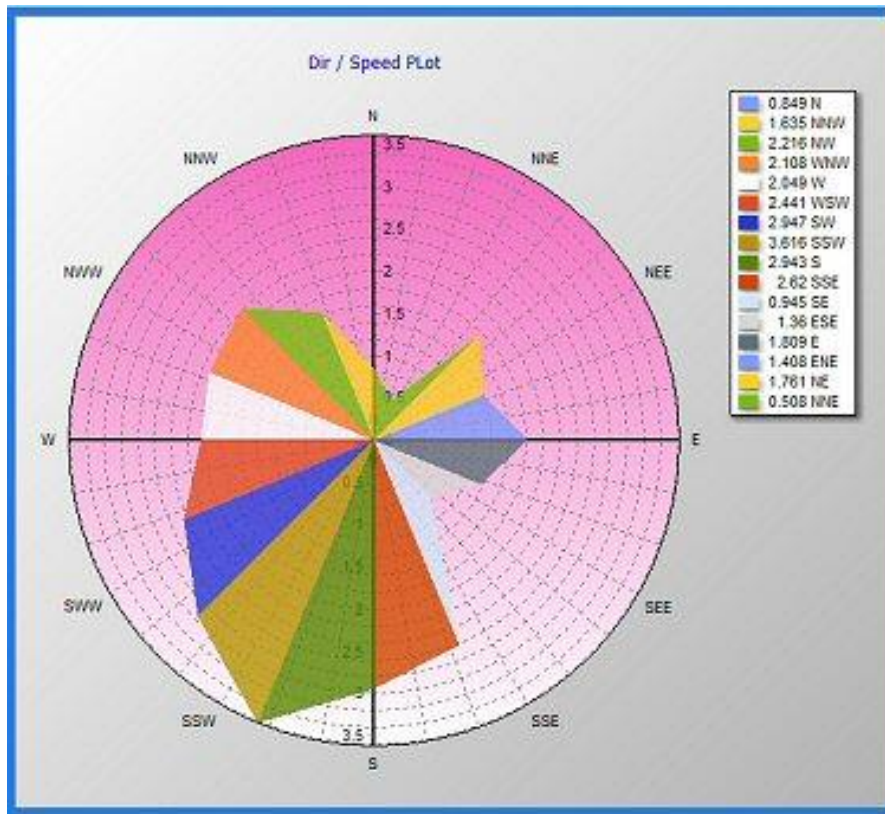
Η συνάρτηση της κατανομής είναι η:

$$f(u) = \left(\frac{k_w}{c_w}\right) \cdot \left(\frac{u}{c_w}\right)^{k_w-1} \cdot \exp\left(-\left(\frac{u}{c_w}\right)^{k_w}\right)$$

Παρατηρούμε ότι βασικό ρόλο παίζουν οι δύο παράμετροι c_w και k_w . Η c_w καθορίζει το σχήμα της κατανομής και ονομάζεται συντελεστής σχήματος ενώ η k_w καθορίζει το βαθμό της κατανομής και ονομάζεται συντελεστής κλίμακας. Ο υπολογισμός των δύο αυτών συντελεστών μπορεί να γίνει με διάφορες μεθόδους όπως είναι η μέθοδος των ορμών ή η μέθοδος της μέγιστης πιθανοφάνειας. Ωστόσο απαιτούνται δεδομένα ταχύτητας του ανέμου αρκετών χρόνων, κάτι που σημαίνει ότι οι τιμές τους μεταβάλλονται κάθε χρόνο. (Σιδεράτος Γ., Αθήνα, 2010)

Η κατανομή της διεύθυνσης του ανέμου εξαρτάται αποκλειστικά από τη μορφολογία της περιοχής που μελετάται. Για τη διαμόρφωσή της επομένως, είναι απαραίτητα και πάλι δεδομένα ανέμου αρκετών ετών, με τα οποία κατασκευάζεται το ροδόγραμμα ανέμου. Σε αυτό το διάγραμμα,

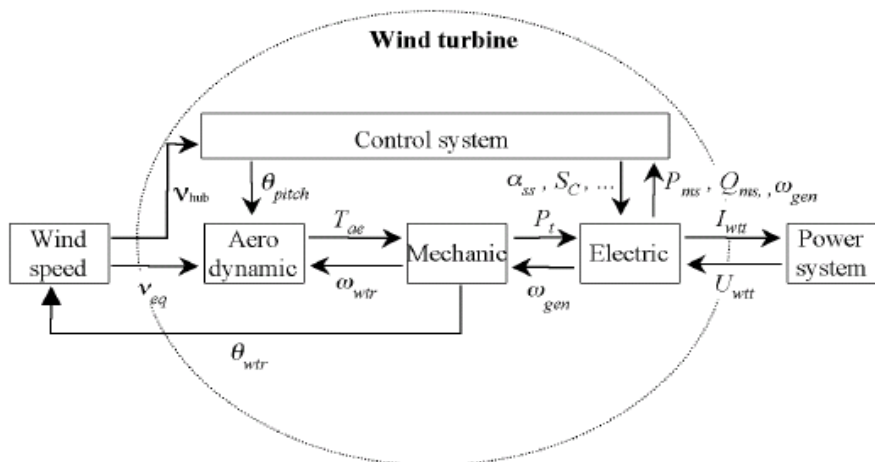
απεικονίζεται η πιθανότητα να υπάρξει άνεμος συγκεκριμένης έντασης και διεύθυνσης.



Διάγραμμα 2.2: Κατανομή διεύθυνσης - ταχύτητας ανέμου

2.2.2. Η μετατροπή του ανέμου σε ηλεκτρική ενέργεια

Κατά την αιολική παραγωγή έχουμε δύο ενεργειακές μετατροπές: η κινητική ενέργεια του ανέμου μετατρέπεται σε μηχανική ενέργεια της έλικας και στη συνέχεια η κίνηση της έλικας περιστρέφει το δρομέα της ανεμογεννήτριας παράγοντας ηλεκτρική ισχύ.



Εικόνα 2.1: Απεικόνιση των ενεργειακών μετατροπών κατά τη λειτουργία μιας ανεμογεννήτριας

Η ισχύ μιας ανεμογεννήτριας σχετίζεται με την ταχύτητα του ανέμου με την εξής σχέση:

$$u(z_1) = \ln \left(\frac{\left(\frac{z_1}{z_0} \right)}{\left(\frac{z_2}{z_0} \right)} \right) \bullet u(z_2)$$

Στη σχέση αυτή, u είναι η ταχύτητα του ανέμου, ρ η πυκνότητα του αέρα, A_r το εμβαδό που σαρώνει η έλικα και C_p ο αεροδυναμικός συντελεστής ισχύος. Ο συντελεστής αυτός είναι ίσος με το λόγο της ταχύτητας στην άκρη της έλικας και της ταχύτητας του ανέμου. Έχει ως άνω όριο το όριο του Betz ίσο με 16/27 που αντιπροσωπεύει την παραγωγή ενέργειας όταν ο άνεμος πέφτει κάθετα στο επίπεδο της ανεμογεννήτριας. Στην πραγματικότητα λόγω αεροδυναμικών και μηχανικών απωλειών μια τυπική τιμή C_p είναι το 0,35.

Η ταχύτητα του ανέμου u αναφέρεται στην ταχύτητα που μετρείται στο ύψος της πλήμνης της Α/Γ. Το συγκεκριμένο μέγεθος όμως, μεταβάλλεται ανάλογα με το ύψος που μετρείται. Αυτό οφείλεται στην τραχύτητα του εδάφους και στα εμπόδια που συναντάει ο άνεμος και γι' αυτό η συμπεριφορά αυτή εμφανίζεται στο οριακό ατμοσφαιρικό στρώμα, δηλαδή στο επίπεδο της ατμόσφαιρας κοντά στην επιφάνεια της γης. Τραχύτητα ορίζουμε το μέγεθος που περιγράφει την επίδραση της μορφολογίας του εδάφους στην ταχύτητα του αέρα. Γενικά η τραχύτητα προκαλεί επιβράδυνση του ανέμου στα χαμηλά στρώματα της ατμόσφαιρας και επηρεάζεται από στοιχεία όπως είναι η βλάστηση, η επικάλυψη του εδάφους από χιόνι και η κατάσταση της θάλασσας. Η εκτίμηση της τραχύτητας μιας περιοχής γίνεται με μια παράμετρο, που μετρείται σε μονάδες μήκους και ονομάζεται μήκος τραχύτητας z_0 . Το μήκος της τραχύτητας μπορεί να πάρει τιμές από 0.0002, που αντιστοιχεί σε θαλάσσια επιφάνεια μέχρι 1, που αντιστοιχεί σε περιοχή με έντονη ανομοιομορφία και μεγάλα εμπόδια.

Έτσι, η ταχύτητα του ανέμου μπορεί να μοντελοποιηθεί, σε συνάρτηση με το μήκος της τραχύτητας z_0 και με το ύψος z από την επιφάνεια της γης, με την παρακάτω σχέση:

$$u(z) = \frac{u_*}{\kappa} \bullet \ln \left(\frac{z}{z_0} \right)$$

Όπου κ είναι η σταθερά von Kármán, που ισούται με 0.41 και u_* είναι η ταχύτητα τριβής, που περιγράφει το μέγεθος του στροβιλισμού της ροής του αέρα.

Από την παραπάνω σχέση, είναι δυνατόν να εκτιμηθεί η ταχύτητα του ανέμου στο ύψος z_1 της πλήμνης μίας Α/Γ, όταν είναι γνωστή η ταχύτητα σε κάποιο άλλο ύψος z_2 . Έτσι, η σχέση μετασχηματίζεται σε:

$$u(z_1) = \ln \left(\frac{\left(\frac{z_1}{z_0} \right)}{\left(\frac{z_2}{z_0} \right)} \right) \bullet u(z_2)$$

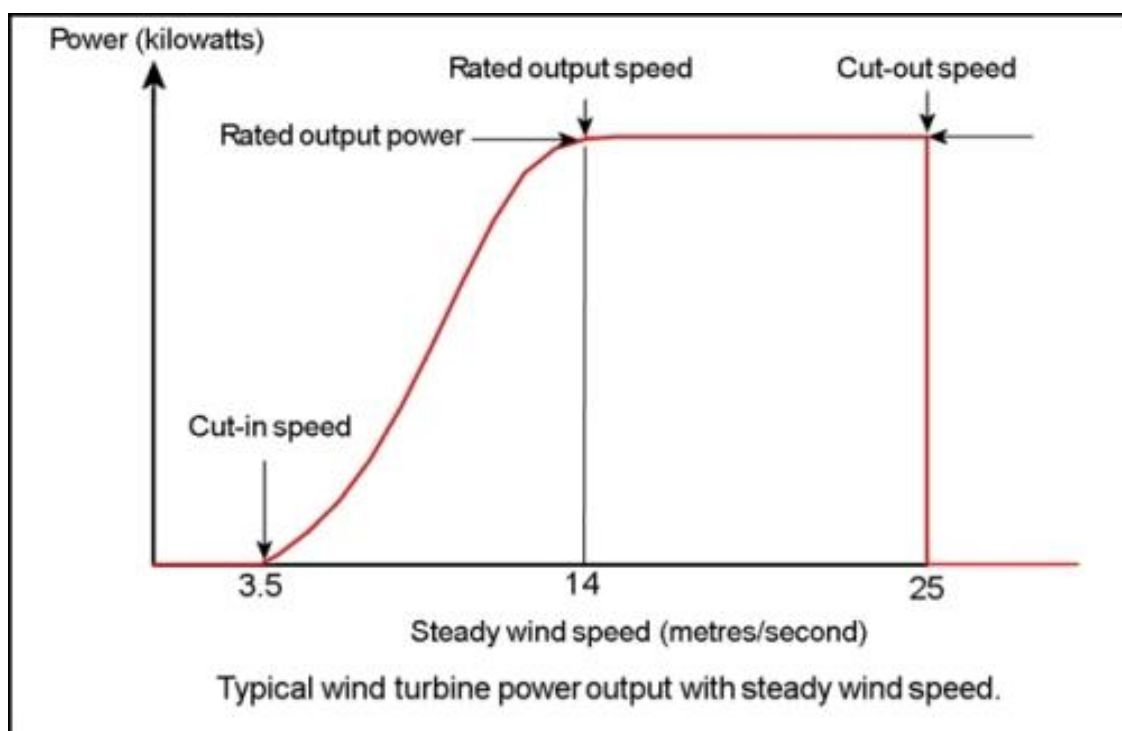
Αν και η παραπάνω σχέση χρησιμοποιείται ευρέως, παρουσιάζει σχετικά αξιόπιστα αποτελέσματα μόνο για επίπεδες περιοχές και σταθερούς ανέμους, χωρίς παρουσία έντονων στροβιλισμών. Σε

περιοχές που χαρακτηρίζονται από την πολυπλοκότητα του εδάφους τους, η παραπάνω λογαριθμική μοντελοποίηση του ανέμου αποκλίνει από τις πραγματικές τιμές της ταχύτητας του ανέμου. Γι' αυτές τις περιοχές, η μοντελοποίηση θα πρέπει να γίνεται με πιο προηγμένες μεθόδους, βασισμένες σε μοντέλα υπολογιστικής ρευστομηχανικής. Επίσης, στις θαλάσσιες περιοχές, η παραπάνω σχέση δεν ισχύει σε περιπτώσεις έντονης μεταβολής των ανέμων στις οποίες απαιτείται να ληφθούν υπόψη οι θερμικές επιδράσεις του ανέμου. (Σιδεράτος Γ., Αθήνα, 2010)

2.3. Καμπύλες ισχύος

2.3.1. Καμπύλη ισχύος Α/Γ

Ύστερα από τον προσδιορισμό της ταχύτητας στο ύψος της πλήμνης και γνωρίζοντας τον αεροδυναμικό συντελεστή, μπορεί να υπολογιστεί η παραγωγή μιας ανεμογεννήτριας. Ο κατασκευαστής παρέχει για κάθε Α/Γ την καμπύλη ισχύος με την οποία για κάθε τιμή της ταχύτητας του ανέμου υπολογίζεται η παραγόμενη ισχύς. Μια καμπύλη ισχύος έχει την ακόλουθη μορφή:



Διάγραμμα 2.3: Καμπύλη ισχύος ανεμογεννήτριας

Σε μια καμπύλη ισχύος ορίζονται οι ταχύτητες ανέμου μέσα στις οποίες μια Α/Γ μπορεί να παράγει ισχύ. Εκτός των ορίων αυτών η Α/Γ είτε δεν έχει μπει σε λειτουργία ή βγαίνει εκτός λειτουργίας. Το όριο που μία Α/Γ αρχίζει να παράγει ισχύ, ονομάζεται όριο διασύνδεσης (cut-in wind speed) της Α/Γ και αντιστοιχεί με την ταχύτητα του ανέμου που ξεπερνάει τις τριβές και τη μηχανική αντίδραση της Α/Γ (3-5 m/s περίπου). Η λειτουργία μίας Α/Γ διακόπτεται, όταν η ταχύτητα του ανέμου είναι τόσο ισχυρή, ώστε να υπάρχει ο κίνδυνος σοβαρών μηχανικών καταπονήσεων. Το όριο αυτό της ταχύτητας του ανέμου ονομάζεται όριο αποκοπής (cut-off wind speed) και κυμαίνεται από 25 με 30 m/s. Μια Α/Γ παράγει την ονομαστική της τιμή ισχύος, όταν η ταχύτητα του ανέμου υπερβαίνει μία ορισμένη τιμή, που και αυτή είναι χαρακτηριστική στην καμπύλη

ισχύος. Η ταχύτητα αυτή είναι η ονομαστική ταχύτητα του ανέμου και παίρνει τιμές από 12 μέχρι 16 m/s. Επομένως μεταξύ της ονομαστικής τιμής και του ορίου αποκοπής παράγεται ονομαστική ισχύς. Επίσης όταν η ταχύτητα του ανέμου κυμαίνεται μεταξύ του ορίου διασύνδεσης και της ονομαστικής της τιμής, η παραγωγή ισχύος μιας Α/Γ αυξάνεται απότομα και μη γραμμικά.

Συγκρίνοντας συγκεκριμένα διαστήματα στην κατανομή Weibull και την καμπύλη ισχύος προκύπτει ότι η υψηλή συχνότητα των ασθενών και μέτριων ανέμων αντιστοιχεί στα χαμηλότερα και πιο απότομα τμήματα της καμπύλης ισχύος. Άρα, οι μικρές μεταβολές της ταχύτητας των ασθενών ή των μέτριων ανέμων οδηγούν σε μεγάλες μεταβολές της αιολικής παραγωγής.

Οι τιμές ισχύος από την καμπύλη ισχύος αποτελούν σε πρακτικό επίπεδο μια θεωρητική προσέγγιση, καθώς οι τιμές της καμπύλης αναφέρονται στο ύψος της πλήμνης και προϋποθέτουν σταθερή ταχύτητα σε όλο το εμβαδό που σαρώνει η έλικα. Αυτό στην πραγματικότητα δε συμβαίνει λόγω της ανομοιομορφίας του προφίλ του ανέμου και της λειτουργίας των Α/Γ στα πλαίσια ενός Α/Π.

2.3.2. Καμπύλη ισχύος Α/Π

Ακόμα δυσκολότερος είναι ο υπολογισμός της καμπύλης ισχύος αιολικού πάρκου. Η ακριβής εκτίμηση της παραγωγής ενός πάρκου μέσω της καμπύλης ισχύος των εγκατεστημένων Α/Γ μπορεί να γίνει είτε υπολογίζοντας την ταχύτητα του ανέμου για κάθε Α/Γ του πάρκου είτε προσομοιώνοντας το προφίλ του ανέμου για την τοποθεσία του πάρκου.

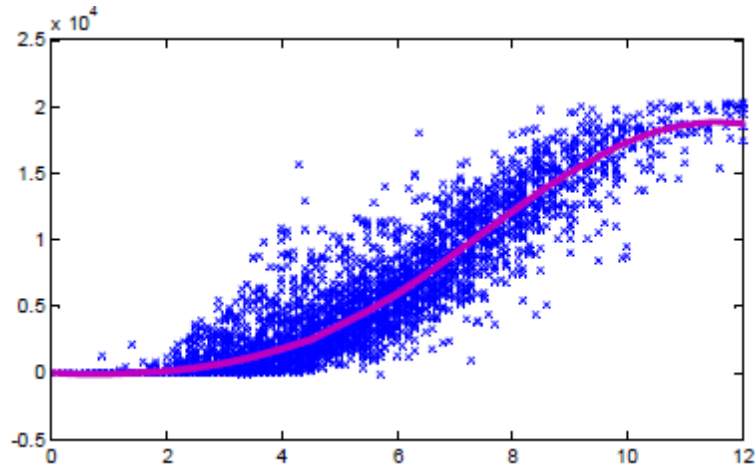
Υποθέτοντας ότι η ροή του ανέμου που εισέρχεται στην περιοχή ενός πάρκου είναι ομοιόμορφη, οι Α/Γ που θα συναντήσει πρώτα ο άνεμος, θα απορροφήσουν ένα μέρος της ενέργειας του αέρα. Ως αποτέλεσμα, ο άνεμος που προσβάλλει τις επόμενες Α/Γ, θα έχει μικρότερη ενέργεια, άρα και μικρότερη ταχύτητα. Γενικά, πίσω από κάθε Α/Γ υπάρχει μία ζώνη, όπου παρατηρούνται φαινόμενα στροβιλισμού με επακόλουθο τη μείωση της ταχύτητας του ανέμου. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται επίδραση του ομόρρου και έχει ως αποτέλεσμα η παραγωγή κάποιων Α/Γ ενός αιολικού πάρκου να μην συμφωνεί με την αντίστοιχη καμπύλη ισχύος του κατασκευαστή τους.

Αν και η σωστή σχεδίαση ενός Α/Π εξασφαλίζει ότι οι Α/Γ είναι εγκατεστημένες σε μία απόσταση μεταξύ τους, που κυμαίνεται από τρεις μέχρι εννιά φορές τη διάμετρο του ρότορα, η επίδρασή του ομόρρου επηρεάζει την απόδοσή τους και την καμπύλη ισχύος του πάρκου. Στην προσπάθεια για περαιτέρω επέκταση του Α/Π, τίθενται περιορισμοί από το κόστος σύνδεσης των Α/Γ αλλά και από στοιχεία της μορφολογίας της τοποθεσίας.

Σημαντική συνιστώσα του φαινομένου αυτού είναι και η διεύθυνση του ανέμου, καθώς με βάση αυτή προσβάλλονται και παράγουν διαφορετικά τμήματα του Α/Π. Καταλήγουμε ότι για τη διαμόρφωση της καμπύλης ενός αιολικού πάρκου πρέπει να ληφθούν υπόψη τα παρακάτω δεδομένα:

- **Ανεμολογικά δεδομένα.**
- **Καμπύλη ισχύος κάθε Α/Γ.**
- **Στοιχεία της μορφολογίας της τοποθεσίας.**
- **Οικονομικά δεδομένα.**
- **Επιμέρους χαρακτηριστικά του δικτύου όπως είναι οι ενέργειες του διαχειριστή, έξοδος Α/Γ λόγω συντήρησης ή λόγω κορεσμού.**

Ο πολυπαραγοντικός χαρακτήρας αυτού του προβλήματος απαιτεί τη χρήση μεθόδων παλινδρόμησης και βελτιστοποίησης, τη συνεχή ανατροφοδότηση των μοντέλων πρόβλεψης με ανεμολογικά δεδομένα και όλα αυτά συναρτήσει της περιόδου του έτους η οποία είναι υπό μελέτη.



Διάγραμμα 2.4: Μοντελοποίηση καμπύλης ισχύος Α/Π

Το παραπάνω διάγραμμα αποτελεί μοντελοποίηση της καμπύλης ισχύος αιολικού πάρκου με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων, με στοιχεία τις χρονοσειρές της αιολικής ισχύος και μετρήσεις της ταχύτητας του ανέμου. Η παραγόμενη ισχύς του πάρκου χαρακτηρίζεται από μεγάλη διασπορά για τις διαφορετικές ταχύτητες του ανέμου και η απόκλιση σε κάποιες περιπτώσεις ξεπερνάει το 50% της ονομαστικής ισχύος. (Σιδεράτος Γ., Αθήνα, 2010)

2.4. Η πρόβλεψη της αιολικής ισχύος

2.4.1. Χρονικά διαστήματα πρόβλεψης

Ο χρονικός ορίζοντας της πρόβλεψης της αιολικής παραγωγής εξαρτάται από την εφαρμογή στην οποία η πρόβλεψη αυτή είναι απαραίτητη. Με βάση την επιλογή αυτή, ο υπεύθυνος για την πρόβλεψη, πρέπει να λάβει υπόψη του τα διαφορετικά χαρακτηριστικά της μεταβλητότητας σε κάθε χρονική κλίμακα.

Πολύ βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη (very short term prognosis):

Αφορά πρόβλεψη στο επίπεδο του λεπτού και της ώρας, από κάποια δευτερόλεπτα έως 3 ώρες. Για το διάστημα αυτό, οι πιθανές μεταβολές της παραγωγής οφείλονται σε τύρβη του ανέμου ή παροδικά φαινόμενα και ανάλογα με το επίπεδο της χωρικής ανάλυσης έχουν και διαφορετικές επιδράσεις. Για μεμονωμένες ανεμογεννήτριες η μεταβολή της παραγωγής σε επίπεδο δευτερολέπτου είναι ελάχιστη, για αιολικό πάρκο η μεταβολή είναι και πάλι μικρή λόγω του εξισορροπητικού ρόλου των υπολοίπων ανεμογεννητριών και για ομάδα αιολικών πάρκων, διασκορπισμένων σε μεγάλη έκταση η οποιαδήποτε μεταβολή καλύπτεται από τη γεωγραφική διασπορά που παρουσιάζεται. Μια τέτοια πρόβλεψη είναι απαραίτητη για τον έλεγχο της λειτουργίας των ανεμογεννητριών.

Βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη (short term prognosis):

Η βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη αναφέρεται στο διάστημα των επομένων 24-72 ωρών. Για το διάστημα αυτό, στοιχεία για τη μεταβλητότητα του ανέμου μπορούν να δώσουν ανεπτυγμένα φυσικά μοντέλα μετεωρολογίας. Η πρόβλεψη αυτή, με ωριαία χρονική ανάλυση, καλύπτει το διαχειριστή του δικτύου και τους παραγωγούς ενέργειας. Ο διαχειριστής είναι σε θέση να προγραμματίσει για την πλήρη κάλυψη του προφίλ της ζήτησης από συμβατικές και ανανεώσιμες με στόχο την οικονομική και ενεργειακή βελτιστοποίηση του συστήματος. Οι παραγωγοί καλύπτονται με την πρόβλεψη τέτοιου χρονικού ορίζοντα, καθώς οι προσφορές ενέργειας γίνονται τα μεσάνυχτα της προηγούμενης μέρας και γενικά για την ένταξη της αιολικής απαιτείται εκτίμηση 24-72 ωρών.

Μακροπρόθεσμη πρόβλεψη (long term prognosis):

Η πρόβλεψη αυτή γίνεται σε χρονική κλίμακα 5-7 ημερών και με αυτή γίνεται δυνατός ο προγραμματισμός εργασιών συντήρησης, διαδικασία εξαιρετικά δαπανηρή για συγκεκριμένες εγκαταστάσεις όπως είναι τα παραθαλάσσια αιολικά πάρκα. Παράλληλα μπορεί και πάλι να κατανεμηθεί η παραγωγή συμβατικών μονάδων και εφεδρειών.

Στο σημείο αυτό, θα πρέπει να σημειωθεί ότι η ανάγκη για πρόβλεψη συγκεκριμένη χρονικά, καθορίζεται επίσης από άλλους τρεις παράγοντες: την χωρική ανάλυση, τα χαρακτηριστικά του ηλεκτρικού δικτύου καθώς και από τη λογική των χειριστών του. Με βάση τη διασπορά των αιολικών πάρκων γίνεται πρόβλεψη παραγωγής ισχύος για ευρείες ή πιο συγκεκριμένες περιοχές. Για παράδειγμα, στη Δανία, τη Γερμανία και την Ολλανδία υπάρχει μεγάλη διασπορά των Α/Π σε αντίθεση με Η.Π.Α και Ισπανία όπου είναι εγκατεστημένα μεμονωμένα Α/Π. Όσον αφορά το δίκτυο, δίκτυο στο οποίο είναι ενταγμένες αρκετές μονάδες γρήγορης εκκίνησης είναι λιγότερο ευαίσθητο σε μεταβολές της αιολικής παραγωγής σε σχέση με ένα το οποίο βασίζεται σε μονάδες αργής εκκίνησης. Επίσης, η γεωγραφική διασπορά βοηθάει σημαντικά στην διατήρηση της αιολικής παραγωγής καθώς τα επιμέρους σφάλματα ή ασυνέχειες της αλληλοαναιρούνται. Αυτό δε συμβαίνει σε αυτόνομα συστήματα όπως είναι τα νησιωτικά στα οποία υπάρχει υψηλή συσχέτιση της παραγωγής των επιμέρους αιολικών.

2.4.2. Πρόβλεψη της αιολικής παραγωγής

Η πρόβλεψη της αιολικής παραγωγής χωρίζεται σε δύο κομμάτια: στο μετεωρολογικό κομμάτι, στο οποίο υπολογίζεται η ταχύτητα του ανέμου σε καθορισμένα σημεία και στο κομμάτι της μετατροπής του ανέμου σε ενέργεια.

Αρχικά, το σύστημα παίρνει δεδομένα από αριθμητικά συστήματα πρόβλεψης του καιρού, τα NWP (Numerical Weather Prediction systems). Τα συγκεκριμένα συστήματα βασίζονται στην αριθμητική επίλυση των μη γραμμικών εξισώσεων που διέπουν την εξέλιξη της ατμόσφαιρας, με αρχική συνθήκη την τρέχουσα κατάσταση της.

Η επίλυση των παρακάτω εξισώσεων γίνεται με τη μέθοδο των πεπερασμένων διαφορών:

- Διατήρηση της ορμής

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -u \frac{\partial u}{\partial x} - v \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{\partial u}{\partial z} + fv - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + F_x$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} = -u \frac{\partial v}{\partial x} - v \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial z} - fu - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + F_y$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} = -u \frac{\partial w}{\partial x} - v \frac{\partial w}{\partial y} - \frac{\partial w}{\partial z} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} - \rho$$

- Εξίσωση της συνέχειας

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = -\rho \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) \longrightarrow \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$

- Καταστατική εξίσωση

$$p = \rho RT$$

- 1^{ος} θερμοδυναμικός νόμος

$$Q = C_p \frac{dT}{dt} - \frac{1}{\rho} \frac{dp}{dt}$$

- Διατήρηση της υγρασίας

$$\frac{\partial q}{\partial t} = -u \frac{\partial q}{\partial x} - v \frac{\partial q}{\partial y} - \frac{\partial q}{\partial z} + E - p$$

Στην παραπάνω εξίσωση q είναι η σχετική υγρασία, E η εξατμισοδιαπνοή και p η βροχή.

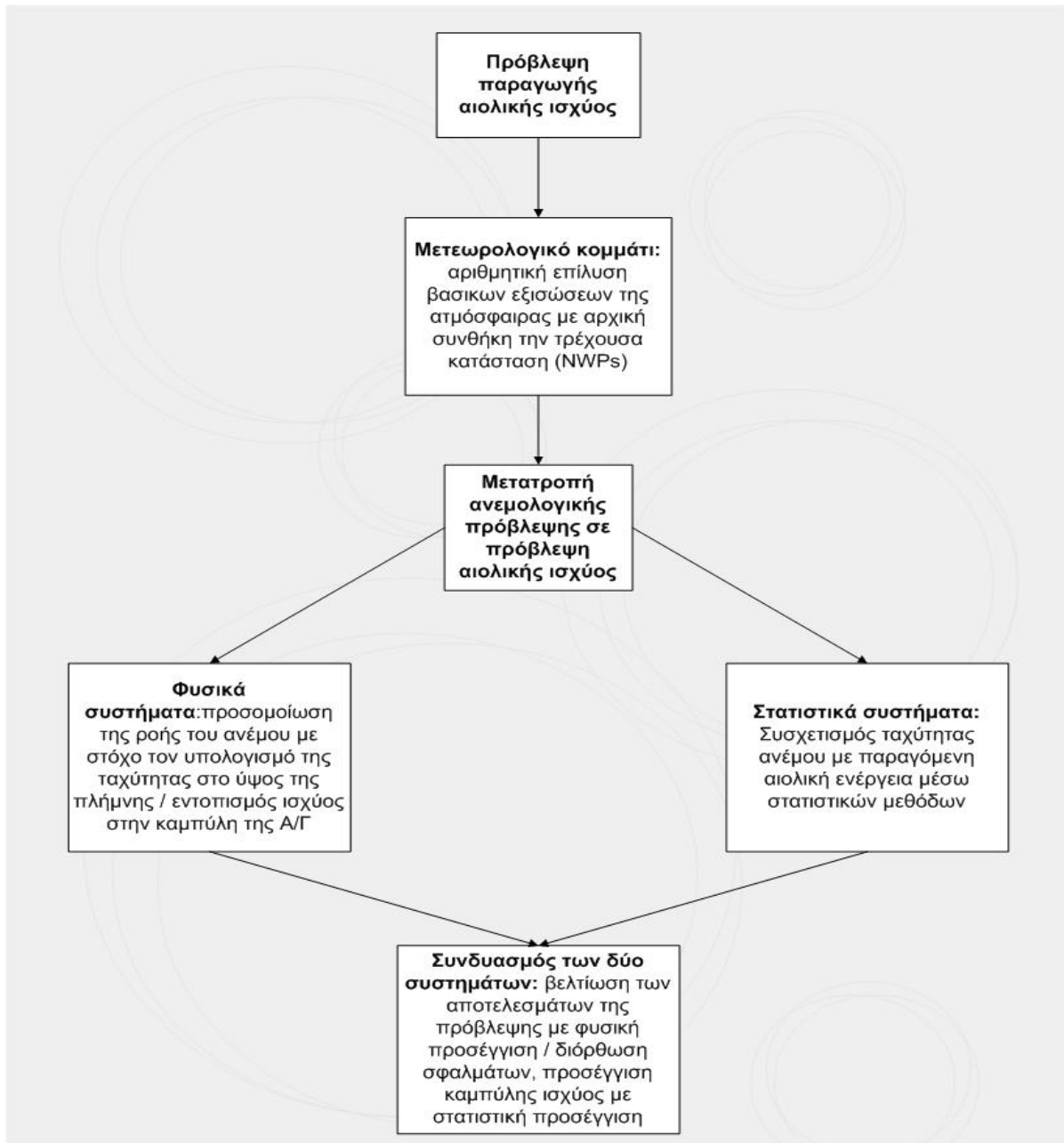
Στόχος της επίλυσης αυτής είναι να προσομοιωθούν οι συνθήκες της ατμόσφαιρας και σε ότι αφορά το κομμάτι της αιολικής παραγωγής, ουσιαστικά αποτυπώνεται το διάνυσμα του ανέμου (διεύθυνση και ταχύτητα) σε διάφορα σημεία και ύψη. Για μεγαλύτερη αξιοπιστία και έλεγχο των αποτελεσμάτων, χρησιμοποιούνται τεχνικές εισαγωγής-αφομοίωσης παρατηρήσεων και δεδομένων σε πραγματικό χρόνο (data assimilation).

Η μετατροπή της ανεμολογικής πρόβλεψης σε αιολική ισχύ μπορεί να γίνει με δύο τρόπους. Χρησιμοποιώντας φυσικά συστήματα (physical systems) ή στατιστικά συστήματα (statistical systems). Τα φυσικά συστήματα τροποποιούν κατάλληλα τον άνεμο που προέρχεται από NWP's,

χρησιμοποιώντας στοιχεία της φυσικής του κατώτερου ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος. Στη συνέχεια γίνεται παραμετροποίηση του προφίλ του ανέμου ή προσομοίωση της ροής και υπολογίζεται η ταχύτητα του ανέμου στο ύψος της πλήμνης των ανεμογεννητριών. Με την ταχύτητα αυτή, η παραγόμενη ισχύς εντοπίζεται στην καμπύλη ισχύος του κατασκευαστή.

Τα στατιστικά συστήματα συσχετίζουν με στατιστικές μεθόδους την ταχύτητα του ανέμου και τη μετρούμενη ισχύ χωρίς να λαμβάνουν υπόψη την προκαθορισμένη καμπύλη ισχύος. Ανάλογα με το σύστημα, χρησιμοποιούνται μοντέλα μαύρων κουτιών (black box models) ή μοντέλα γκρι κουτιών (grey box models). Ένα μοντέλο γκρι κουτιού λειτουργεί σαν κύκλωμα κλειστού βρόχου με ανάδραση, αναπροσαρμόζοντας στοιχεία και μεταβλητές εντός αυτού, με βάση την έξοδό του. Σε αντίθεση με τα φυσικά συστήματα, τα στατιστικά για να λειτουργήσουν σωστά χρειάζονται ένα σημαντικό αριθμό δεδομένων και συνεχή ανατροφοδότηση με ανανεωμένα στοιχεία.

Να σημειωθεί ότι κάθε σύστημα μετατροπής σε ισχύ περιέχει και στοιχεία του άλλου, δηλαδή φυσικά μοντέλα και εξισώσεις χρησιμοποιούνται σε στατιστικά μοντέλα και αντίστοιχα στατιστικές προσεγγίσεις χρησιμοποιούνται σε φυσικά μοντέλα. Τα τελευταία συστήματα που αναπτύχθηκαν αποτελούν συνδυασμό και των δύο, αφού κάθε μοντέλο είναι καταλληλότερο για διαφορετικά στάδια της πρόβλεψης. Με φυσικές μεθόδους βελτιώνεται η ανάλυση των αποτελεσμάτων των συστημάτων πρόγνωσης καιρού ενώ με χρήση στατιστικών μεθόδων διορθώνονται τα συστηματικά σφάλματα και προσεγγίζεται ακριβέστερα η καμπύλη ισχύος. (Παντέρη Ε., Αθήνα, 2007)



Διάγραμμα 2.5: Οι μέθοδοι πρόβλεψης αιολικής παραγωγής

2.4.2.1. Φυσικά συστήματα

Persistence:

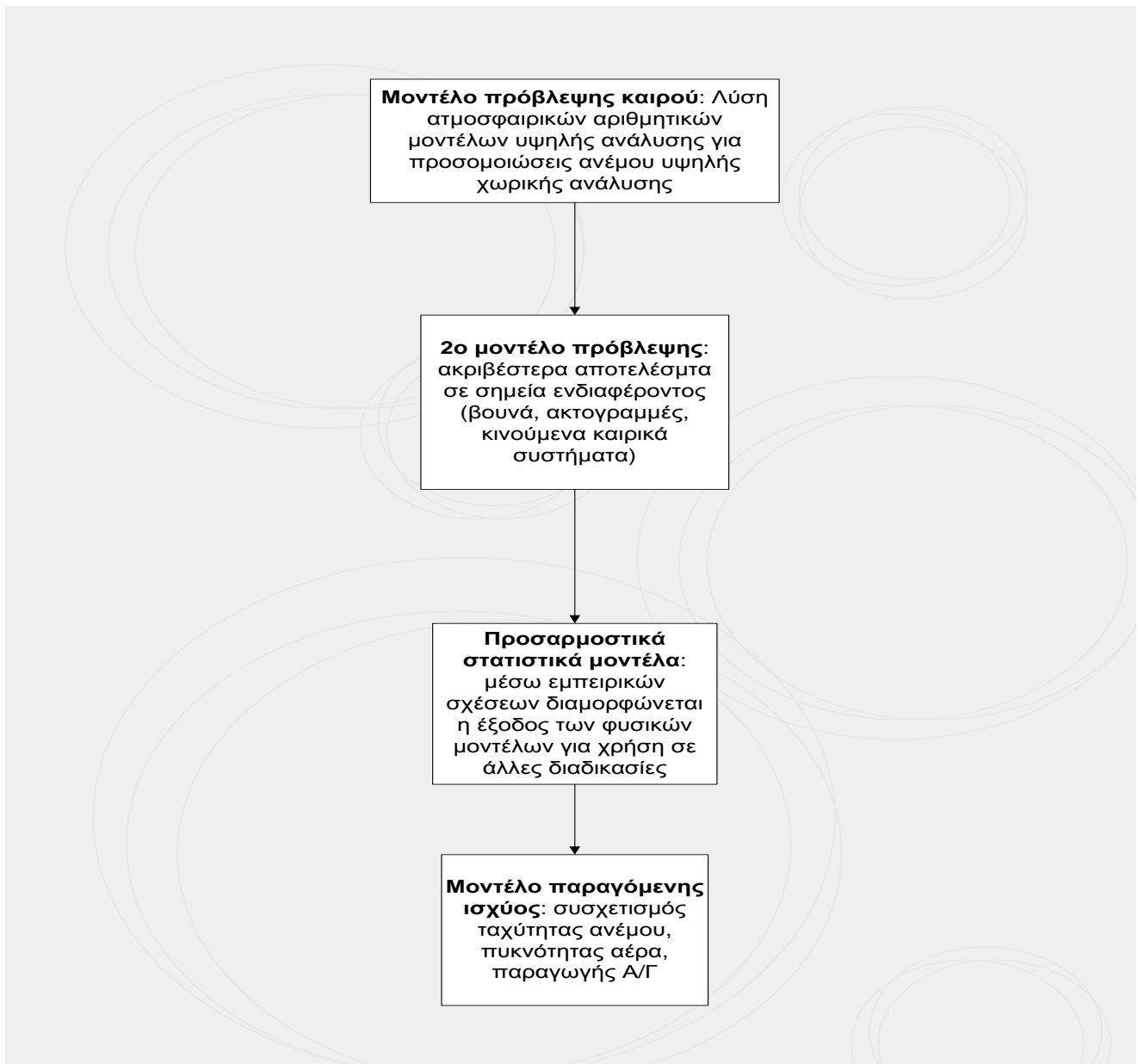
Το Persistence δεν χρησιμοποιεί NWP για την πρόγνωση ανέμου και αιολικής ισχύος αλλά ακολουθεί την πιο απλή λογική, σύμφωνα με την οποία οι καιρικές συνθήκες που επικρατούν κατά τη διάρκεια της πρόβλεψης θα διατηρηθούν και τις επόμενες ώρες. Η προσέγγιση αυτή είναι πολύ αξιόπιστη σε περιπτώσεις όπου οι καιρικές συνθήκες αλλάζουν με πολύ αργούς ρυθμούς και σε περιοχές και περιόδους που η συμπεριφορά του καιρού δεν μεταβάλλεται από μέρα σε μέρα. Καθίσταται αναξιόπιστο σε περιπτώσεις ραγδαίων και έντονων αλλαγών του καιρού.

Predictor:

Το Predictor αναπτύχθηκε στη Δανία. Στο συγκεκριμένο σύστημα γίνεται προσομοίωση των συνθηκών της ατμόσφαιρας με το λογισμικό HIRLAM, το οποίο υπολογίζει την ταχύτητα του ανέμου στα ανώτερα ατμοσφαιρικά στρώματα. Χρησιμοποιώντας το γεωστροφικό νόμο της τριβής και το λογαριθμικό προφίλ της ταχύτητας υπολογίζεται η ταχύτητα στο ύψος της πλήμνης. Για τη μετατροπή αυτή, είναι απαραίτητα και άλλα στοιχεία, όπως είναι η τραχύτητα του εδάφους και η επίδραση του ομόρρου. Τα δύο αυτά μεγέθη υπολογίζονται από δύο υποπρογράμματα, το Wasp και το Risö PARK. Το πρώτο με βάση στοιχεία της τοπικής μορφολογίας (εμπόδια, ύπαρξη βουνών κοιλάδων, αυξομείωση της τραχύτητας) υπολογίζει την τραχύτητα στο ύψος της πλήμνης. Με το δεύτερο υπολογίζεται η επίδραση του ομόρρου στην αιολική παραγωγή. Τέλος χρησιμοποιούνται στατιστικές μέθοδοι υπολογισμού του σφάλματος για την παροχή μιας αρκετά ακριβούς πρόβλεψης. Το Predictor τρέχει δύο φορές τη μέρα με χρονικό ορίζοντα πρόβλεψης 36 ωρών. Χρησιμοποιείται στη Δανία, την Ιρλανδία, τη Γερμανία, την Ισπανία και τις Η.Π.Α.

Ewind:

Αναπτύχθηκε στις Η.Π.Α. Χρησιμοποιεί εξελιγμένα αριθμητικά μοντέλα βασισμένα στις εξισώσεις φυσικής της ατμόσφαιρας, στατιστικές μεθόδους και χαρακτηρίζεται από τη συνεχή ανατροφοδότηση των συνθηκών της ατμόσφαιρας και τη δυνατότητα παγκόσμιας πρόβλεψης. Τα στάδια που ακολουθεί είναι τα εξής: στην αρχή εκτελείται το φυσικό μοντέλο, στη συνέχεια οι στατιστικές εξισώσεις αναπροσαρμόζονται ανάλογα με τα αποτελέσματα του φυσικού μοντέλου και τις τιμές των τελευταίων 30 ημερών. Για την πρόβλεψη επιλέγονται οι κατάλληλες για κάθε περίοδο στατιστικές εξισώσεις που δίνουν αποτελέσματα για κάθε ώρα.



Διάγραμμα 2.6: Υπολογισμός αιολικής παραγωγής μέσω του συστήματος Ewind

Previento:

Το Previento εξελίχτηκε και βρίσκει εφαρμογή στη Γερμανία. Χρησιμοποιεί καιρικά δεδομένα από όλες τις ευρωπαϊκές μετεωρολογικές υπηρεσίες και γνωρίζοντας το σύστημα που ακολουθεί κάθε μία από αυτές έχει τη δυνατότητα να τα αξιολογήσει και να τα επεξεργαστεί. Λαμβάνει στοιχεία για την τραχύτητα και την επίδραση του ομόρρου στην προς μελέτη περιοχή. Ξεκινώντας την ανάλυση από μεμονωμένη Α/Γ, είναι σε θέση να δώσει προβλέψεις για ολόκληρο Α/Π χρησιμοποιώντας αλγόριθμο αναβάθμισης (up-scaling algorithm). Διαχειριζόμενο μετρήσιμα δεδομένα από την περιοχή, πραγματοποιεί συστηματική στατιστική διόρθωση των σφαλμάτων και εκτός από την απαραίτητη πρόβλεψη παρέχει και εκτίμηση της αβεβαιότητας.



Διάγραμμα 2.7: Υπολογισμός αιολικής παραγωγής μέσω του συστήματος Previento

HIPRON:

Στο HIPRON, το κομμάτι της μετατροπής σε ενέργεια έχει ενσωματωθεί στο φυσικό μοντέλο της πρόβλεψης του ανέμου. Στη σύνθεση αυτή, οδήγησαν πειράματα που απέδειξαν ότι το μεγαλύτερο σφάλμα σε μια πρόβλεψη εισάγεται από τα αριθμητικά μοντέλα πρόβλεψης καιρού και ότι η περαιτέρω επεξεργασία και αύξηση της ανάλυσης των στοιχείων από τα NWP δεν μπορεί να παράξει αποτελέσματα μεγαλύτερης ακρίβειας.

2.4.2.2. Στατιστικά συστήματα

WPPT (Wind Power Prediction Tool):

Το WPPT αναπτύχθηκε από το τεχνικό πανεπιστήμιο της Δανίας DTU σε συνεργασία με τις εταιρίες διαχείρισης του ηλεκτρικού δικτύου της χώρας. Έχει τη δυνατότητα να εξάγει βραχυπρόθεσμες ανεμολογικές προβλέψεις για ευρύτερες περιοχές με χρονικό ορίζοντα τις 120 ώρες.

Σαν σύστημα ακολουθεί τα παρακάτω βήματα:

- Χωρίζει την περιοχή σε υποπεριοχές ορίζοντας ένα πάρκο αναφοράς για την καθεμία.
- Τροφοδοτεί με on line μετρήσεις της αιολικής ισχύος και αριθμητικές προβλέψεις καιρού έναν εξελιγμένο αλγόριθμο αναβάθμισης ώστε να βγάλει πρόβλεψη για όλη την υποπεριοχή.
- Χρησιμοποιώντας off line μετρήσεις και αριθμητικές προβλέψεις καιρού εξάγει μια δεύτερη πρόβλεψη για την υποπεριοχή.
- Για καλύτερο υπολογισμό η τελική πρόβλεψη της υποπεριοχής είναι ο σταθμισμένος μέσος των δύο παραπάνω προβλέψεων.
- Αθροίζει τις προβλέψεις όλων των υποπεριοχών για να φτάσει σε μία τελική πρόγνωση.

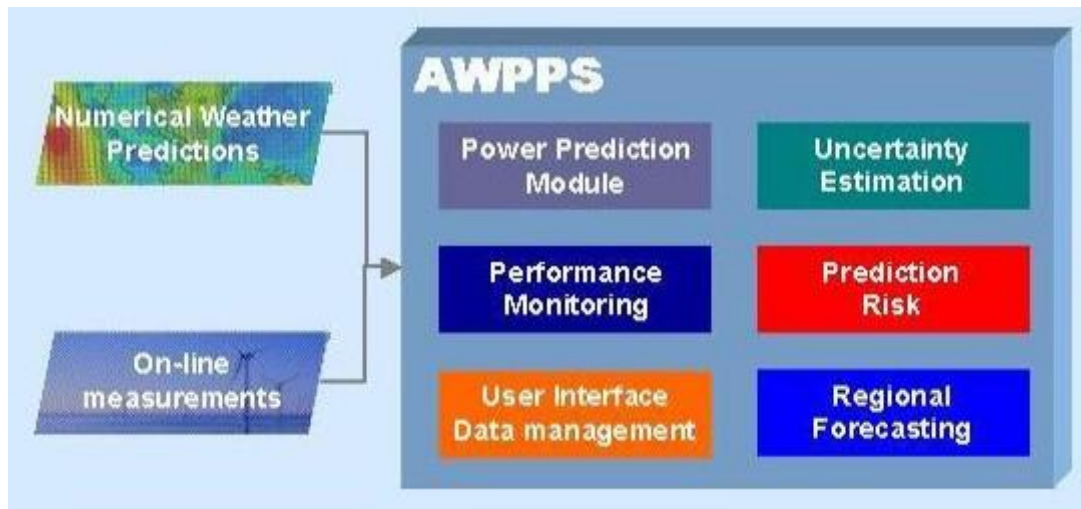
Sipreolico:

Αναπτύχθηκε στο πανεπιστήμιο Carlos III της Μαδρίτης σε συνεργασία με την REE, την διαχειρίστρια εταιρία του ισπανικού δικτύου. Παρέχει προβλέψεις ισχύος χρονικού ορίζοντα 36 ωρών με βήμα 1 ώρας. Χρησιμοποιεί αλγόριθμους ανάλυσης χρονοσειρών με είσοδο on line μετρήσεων ισχύος και μετεωρολογικές προβλέψεις. Για συγκεκριμένο Α/Π, το SIPREOLICO χρησιμοποιεί τα παρακάτω δεδομένα: τα χαρακτηριστικά του Α/Π, χαρακτηριστικά της μορφολογίας, προηγούμενες μετρήσεις ανέμου και παραγόμενης ισχύος με στόχο τον εντοπισμό της πραγματικής καμπύλης ισχύος, μετρήσεις της ισχύος σε πραγματικό χρόνο και μετεωρολογικές προβλέψεις από το σύστημα HIRLAM. Η πρόβλεψη ξεκινάει για μεμονωμένα Α/Π και συνθέτοντας συνεχίζει σε ζώνες και τελικά σε ολόκληρη την Ισπανία.

AWPPS (Armines Wind Power Prediction System):

Στα πλαίσια του προγράμματος CARE που αφορούσε την δημιουργία ενός συστήματος βραχυπρόθεσμης πρόβλεψης για Α/Π της Κρήτης, δημιουργήθηκε το AWPPS. Μπορεί να δεχτεί μετεωρολογικές προβλέψεις από διαφορετικά μοντέλα (Skiron, Hirlam) και παρέχει πρόβλεψη για onshore και offshore Α/Π.

Παρέχει προγνώσεις χρησιμοποιώντας βήμα 10 με 15 λεπτά. Για πρόβλεψη μέχρι 10 ώρες μπροστά χρησιμοποιεί μοντέλα στατιστικών χρονοσειρών, ενώ για προβλέψεις μεγαλύτερου διαστήματος, 24 – 72 ωρών τα μοντέλα που χρησιμοποιούνται βασίζονται σε ασαφή νευρωνικά δίκτυα. Και στις δύο περιπτώσεις, με την πρόβλεψη παρέχεται και η εκτίμηση του διαστήματος εμπιστοσύνης.



Εικόνα 2.2: Η δομή του συστήματος AWPPS

Όπως φαίνεται και στην εικόνα 2.2, το AWPPS χρησιμοποιεί σαν δεδομένα εισόδου αποτελέσματα από NWP's και παράλληλα on-line μετρήσεις. Με βάση τα στοιχεία αυτά πραγματοποιείται η μετατροπή σε αιολική ισχύ (Power Prediction Module) και ακολουθεί ο υπολογισμός του διαστήματος εμπιστοσύνης της πρόβλεψης (Uncertainty Estimation, Prediction Risk).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΠΟΛΙΤΙΚΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ Υ.Β.Σ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ

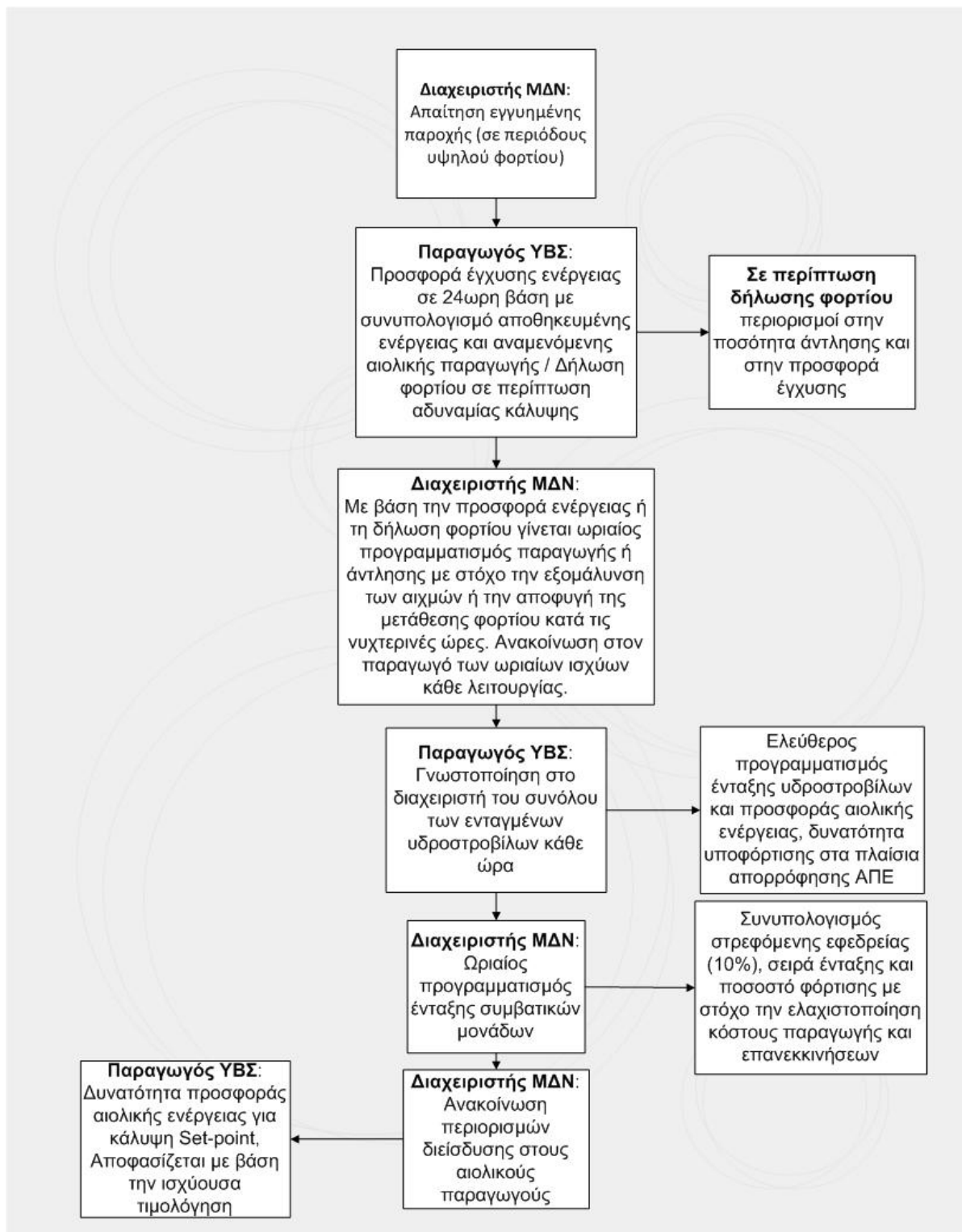
3.1. Πολιτική διαχείρισης Υ.Β.Σ

Η διαμόρφωση ή επιλογή μιας σωστής πολιτικής διαχείρισης του Υ.Β.Σ είναι πολύ σημαντικό στοιχείο και αυτό γιατί πρώτον ο Υ.Β.Σ αποτελεί επένδυση από την οποία αναμένεται ένας βέλτιστος συνδυασμός ενεργειακής και οικονομικής απόδοσης. Επιπλέον ως κομμάτι ενός δικτύου, απαιτείται από τον σταθμό να λειτουργεί σε ισορροπία με τις υπόλοιπες μονάδες του, χωρίς να προκαλεί δυσλειτουργίες στην παραγωγή και διανομή της ηλεκτρικής ισχύος.

Οι αρχικές στρατηγικές διαχείρισης προκαλούσαν σημαντικά προβλήματα στη λειτουργία των εξωτερικών Α/Π. Η ένταξη του Υ.Β.Σ, προσέθετα στο δίκτυο μονάδα που λειτουργεί σε σταθερό φορτίο, σε αντίθεση με τις συμβατικές μονάδες που αντικαθιστούσε, οι οποίες χαρακτηρίζονται από ευελιξία φόρτισης και λειτουργίας. Το στοιχείο αυτό δυσχέραινε σημαντικά την διεύθυνση αιολικής ενέργειας στο δίκτυο. Μεταγενέστερη έκθεση, με την οποία προσδίδονταν στους υδροστροβίλους του σταθμού χαρακτηριστικά φόρτισης αντίστοιχα συμβατικών μονάδων έλυσε το πρόβλημα της αιολικής διεύθυνσης. Ωστόσο η έγχυση στο δίκτυο μεγάλων ποσών ενέργειας έθετε ζητήματα στον προγραμματισμό των συμβατικών μονάδων (συχνές εκκινήσεις – στάσεις), και οδηγούσε σε παραμόρφωση της καμπύλης φορτίου και αύξηση του κόστους παραγωγής ενέργειας. Για τους λόγους αυτούς, η τελευταία πολιτική διαχείρισης, η οποία αποτελεί και συνδυασμό των προηγούμενων πολιτικών, προσαρμόζει τόσο την παραγωγή όσο και την άντληση από το δίκτυο στις αντίστοιχες καμπύλες του νησιού, και αντιμετωπίζει τους υδροστροβίλους όπως και τις υπόλοιπες συμβατικές μονάδες.

Πιο συγκεκριμένα, και οι δύο λειτουργίες προγραμματίζονται με βάση ημερήσιες προσφορές ενέργειας από τις οποίες καθορίζονται τα διαστήματα παραγωγής και άντλησης από το δίκτυο. Η εγγυημένη ενέργεια που απαιτείται από τον σταθμό δεν είναι πια μια σταθερή ποσότητα, αλλά προσαρμόζεται στις ημερήσιες ανάγκες του δικτύου. Όσον αφορά τους υδροστροβίλους, εντάσσονται στο δίκτυο ως "κατανεμόμενες" μονάδες υποκαθιστώντας συμβατικές μονάδες αιχμής, και τους δίνεται προτεραιότητα ένταξης και φόρτισης έναντι των υπόλοιπων συμβατικών μονάδων. Στα πλαίσια όμως της απορρόφησης της αιολικής παραγωγής, οι υδροστροβίλοι μπορεί να χρειαστεί να μειώσουν την ισχύ τους μέχρι ένα κάτω όριο φόρτισης. (Δ. Παπαντώνης, Ι. Αναγνωστόπουλος, Αθήνα, Μάρτιος 2008 / Σ. Παπαθανασίου, Αθήνα, Σεπτέμβριος 2011)

Με βάση την πολιτική αυτή, στο τέλος κάθε 24ώρου, ο διαχειριστής του ΜΔΝ (Μη Διασυνδεδεμένο Νησί) και ο διαχειριστής του Υ.Β.Σ θα εκτελούν τις παρακάτω ενέργειες:



Διάγραμμα 3.1: Προγραμματισμός κάλυψης της ζήτησης από διαχειριστή ΜΔΝ και παραγωγό Υ.Β.Σ

Διαχειριστής ΜΔΝ:

- Ο διαχειριστής του ΜΔΝ απαιτεί από τον Υ.Β.Σ ένα ποσό εγγυημένης ισχύος, το οποίο σε συνδυασμό με τις συμβατικές μονάδες θα μπορέσει να καλύψει το φορτίο ζήτησης για το επόμενο 24ωρο.
- Ο διαχειριστής του Υ.Β.Σ κάνει προσφορά ενέργειας με βάση το άθροισμα των νερών στον ταμιευτήρα καθώς και την προβλεπόμενη αιολική παραγωγή του 24ώρου. Σε περίπτωση που το άθροισμα υπολείπεται της εγγυημένης ενέργειας που του ζητάται, ο διαχειριστής κάνει δήλωση φορτίου για απορρόφηση από το δίκτυο, ενέργεια όμως που τον αναγκάζει να κάνει πρόσφορά ενέργειας όχι μεγαλύτερη από την εγγυημένη. Παράλληλα, μπορεί να αντλήσει από το δίκτυο ποσότητα ίση με την εγγυημένη προς ένα τυπικό συντελεστή κύκλου άντλησης-παραγωγής.
- Με βάση την προσφορά ενέργειας και τη δήλωση φορτίου του Υ.Β.Σ, ο διαχειριστής του ΜΔΝ καταρτίζει τα προγράμματα παραγωγής και άντλησης, έχοντας υπόψη τα τεχνικά στοιχεία των υδροστροβίλων και των αντλιών του Υ.Β.Σ. Στόχος είναι η αποκοπή-εξομάλυνση των αιχμών κατά την παραγωγή και η αποφυγή της μετάθεσης φορτίου κατά την άντληση ώστε να μειώνεται το κόστος της συμβατικής παραγωγής. Ύστερα από αυτά, ανακοινώνονται στον διαχειριστή του Υ.Β.Σ, οι ωριαίες ισχύεις για κάθε λειτουργία και ο ίδιος γνωστοποιεί το σύνολο των υδροστροβίλων που θα εντάξει κάθε ώρα του 24ώρου.
- Γνωρίζοντας το πρόγραμμα του Υ.Β.Σ, ο διαχειριστής του ΜΔΝ, κάνει προγραμματισμό ένταξης των συμβατικών μονάδων για κάθε ώρα του 24ώρου, ώστε να καλύψει τη ζήτηση αυξημένη κατά το ποσοστό της στρεφόμενης εφεδρείας(10%). Η σειρά ένταξης και το ποσοστό φόρτισης αποσκοπούν στην ελαχιστοποίηση του κόστους παραγωγής και του αριθμού των επανεκκινήσεων.
- Τέλος, υπολογίζονται οι περιορισμοί διείσδυσης της αιολικής ενέργειας για κάθε ώρα και ανακοινώνονται στους αιολικούς παραγωγούς. Ο τελικός περιορισμός απορρόφησης είναι ο αυστηρότερος μεταξύ των συντελεστών τεχνικού ελαχίστου συμβατικών μονάδων και υδροστροβίλων και του δυναμικού συντελεστή τον οποίο καθορίζουν κυρίως τα επιμέρους χαρακτηριστικά του ηλεκτρικού δικτύου(τεχνικά στοιχεία συμβατικών μονάδων, θέση αιολικών πάρκων, ιδιαίτερες συνθήκες λειτουργίας ,μέσα ελέγχου και παρακολούθησης).

Παραγωγός Υ.Β.Σ:

- Ο παραγωγός του Υ.Β.Σ κάνει προσφορά ενέργειας, αθροίζοντας την ενέργεια στον ταμιευτήρα με την προβλεπόμενη αιολική παραγωγή. Με βάση τη μορφολογία του σταθμού (μονού ή διπλού αγωγού) και το στόχο της μεγιστοποίησης των εσόδων, η αιολική συνιστώσα υπολογίζεται συναρτήσει συντελεστών, οι οποίοι σχετίζονται με την αβεβαιότητα της προβλεπόμενης αιολικής παραγωγής αλλά και με τις ώρες που θα ζητηθεί να παραχθεί η εγγυημένη ισχύς. Για παράδειγμα, τις πρώτες ώρες του 24ώρου όπου ο Υ.Β.Σ δεν παράγει, έχουμε χαμηλό συντελεστή ασφαλείας ώστε να λαμβάνεται υπόψη η αβεβαιότητα. Τις επόμενες ώρες οι συντελεστές αυξάνονται, γιατί για τις ώρες αυτές δεν είναι γνωστό ακόμα το πρόγραμμα παραγωγής που κοινοποιείται από το διαχειριστή του ΜΔΝ. Στους σταθμούς μονού αγωγού, η ενέργεια αυτή δεν υπολογίζεται καθόλου αφού αν κληθεί να παράγει, δεν έχει τη δυνατότητα ταυτόχρονης άντλησης.
- Στην περίπτωση που το άθροισμα της ενέργειας δεν αρκεί για να καλύψει την ζητούμενη

εγγυημένη ισχύ, ο παραγωγός του Υ.Β.Σ κάνει δήλωση φορτίου. Μπορεί να απορροφήσει ενέργεια από το δίκτυο για την άντληση της απαραίτητης ποσότητας νερού, με περιορισμούς ωστόσο στην προσφορά ενέργειας αλλά και στο ποσό της άντλησης. Η προσφορά ενέργειας δεν πρέπει να υπερβαίνει την εγγυημένη ισχύ, και το ίδιο ισχύει και για το ποσό της άντλησης, το οποίο όμως πολλαπλασιάζεται και με το συντελεστή απόδοσης του κύκλου.

- Όπως έχει αναφερθεί, στον παραγωγό του Υ.Β.Σ ανακοινώνονται εγκαίρως οι ώρες και οι ισχείς παραγωγής και άντλησης. Ο ίδιος προγραμματίζει ελεύθερα την ένταξη και την ισχύ των ενταγμένων υδροστροβίλων με στόχους την κάλυψη της ζήτησης και την βέλτιστη απόδοση του Υ.Β.Σ. Κατά την παραγωγή και στα πλαίσια της απορρόφησης αιολικής ενέργειας είναι πιθανό να υπάρξει υποφόρτιση των στροβίλων μέχρι το θεωρητικό τεχνικό τους ελάχιστο. Σε ότι αφορά την αιολική παραγωγή του σταθμού, η χρήση της αποφασίζεται ελεύθερα από το διαχειριστή συνυπολογίζοντας παράγοντες όπως η ύπαρξη μονού ή διπλού αγωγού, το τεχνικό ελάχιστο των υδροστροβίλων, η προβλεπόμενη αιολική παραγωγή τις επόμενες ώρες, η τιμολόγηση των διαφόρων ενεργειών. Σε κάθε περίπτωση, θα πρέπει να διατηρείται μια εφεδρεία υδροστροβίλων η οποία θα μπορεί ανά πάσα στιγμή να καλύψει την οποιαδήποτε πτώση στην αιολική παραγωγή.
- Πολύ σημαντικό στοιχείο για τη λειτουργία του Υ.Β.Σ και την εκμετάλλευση μεγαλύτερου ποσοστού αιολικής ενέργειας, αποτελεί η επιλογή του αντλιοστασίου. Η χρήση αντλιών μεταβλητών στροφών, δίνει τη δυνατότητα στη διαδικασία της άντλησης να παρακολουθεί την αιολική παραγωγή σε πραγματικό χρόνο. Αντίθετα, αντλίες σταθερών στροφών λειτουργούν σε συγκεκριμένες στροφές και μπορούν να πραγματοποιήσουν μόνο βηματική απορρόφηση της αιολικής παραγωγής.

3.2. ΑΝΑΛΥΣΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ HYPPOS

Για την προσομοίωση της λειτουργίας του Υ.Β.Σ της Λέσβου χρησιμοποιήθηκε ο υπολογιστικός κώδικας HYPPOS (Hybrid Power Systems Operation Simulator), ο οποίος αναπτύχθηκε από το Εργαστήριο Υδροδυναμικών Μηχανών του Ε.Μ.Π.. Ο κώδικας αυτός προσομοιώνει τη λειτουργία υβριδικού σταθμού σε συνεργασία με αιολικό πάρκο, και τροποποιήθηκε στα πλαίσια της παρούσας εργασίας ώστε με διαδικασίες έκτακτης άντλησης να μπορεί να αντιμετωπίζει ενδεχόμενα νηνεμίας ή πιθανής έλλειψης ενέργειας. Επίσης, με βάση προηγούμενες εργασίες έχει δοθεί η δυνατότητα στον κώδικα να αναλύει οικονομικά δεδομένα άμεσα συνδεδεμένα με την οικονομική βιωσιμότητα του έργου.

Βασικές λειτουργίες αλγόριθμου:

Εισαγωγή ενεργειακών και οικονομικών στοιχείων-Πραγματοποίηση βασικών ενεργειακών υπολογισμών

- Δεδομένα δικτύου ΜΔΝ
- Καθορισμός εγγυημένης ισχύος
- Τιμολόγηση εγγυημένης ισχύος-προσφοράς ενέργειας Υ.Β.Σ
- Δεδομένα μονάδων βάσης

- Μετεωρολογικά δεδομένα-Τεχνικά στοιχεία Α/Π-Υπολογισμός αιολικής παραγωγής.
- Τεχνικά στοιχεία εγκατάστασης
- Υπολογισμός ορίου παροχής εγγυημένης ισχύος
- Συντελεστές απόδοσης-Παράμετροι ασφαλείας
- Υπολογισμός κόστους

Βασικός ημερήσιος προγραμματισμός λειτουργίας Υ.Β.Σ

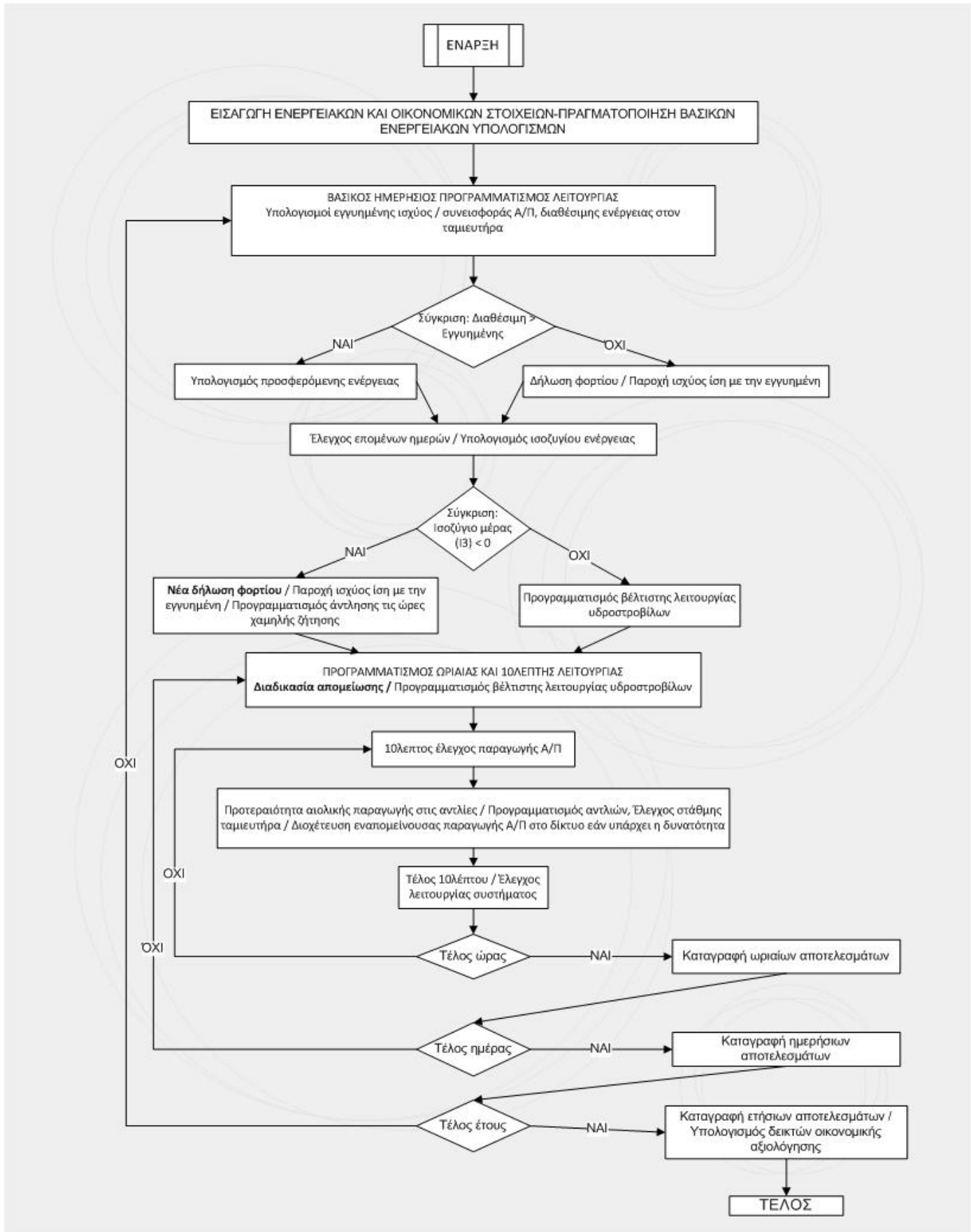
- Υπολογισμός εγγυημένης ισχύος και ενέργειας
- Εκτίμηση ενεργειακής συνεισφοράς Α/Π
- Προσφορά ενέργειας Υ.Β.Σ
- Δήλωση φορτίου
- Έλεγχος ενεργειακού ισοζυγίου επομένων ημερών – Νέα δήλωση φορτίου
- Αρχικός προγραμματισμός ωρών άντλησης και παραγωγής

Προγραμματισμός ωριαίας και 10λεπτης λειτουργίας

- Εκτέλεση υπορουτίνων παραγωγής και άντλησης
- Διαδικασία απομείωσης
- Εκτέλεση 10λεπτων επαναλήψεων
- Προγραμματισμός διαστημάτων άντλησης από δίκτυο και μηδενικής παραγωγής
- Προγραμματισμός υπολοίπων ωρών, προτεραιότητα ενέργειας Α/Π στις αντλίες
- Κατάσταση λειτουργίας στο τέλος του 10λεπτου ελέγχου

Εξαγωγή και καταγραφή ενεργειακών και οικονομικών αποτελεσμάτων

- Υπολογισμός μεγεθών στο επίπεδο 10λέπτου και ώρας
- Υπολογισμός μεγεθών στο επίπεδο της μέρας
- Υπολογισμός δεικτών αξιολόγησης
- Υπολογισμός ετήσιων αποτελεσμάτων
- Χρήση δεικτών οικονομικής βιωσιμότητας



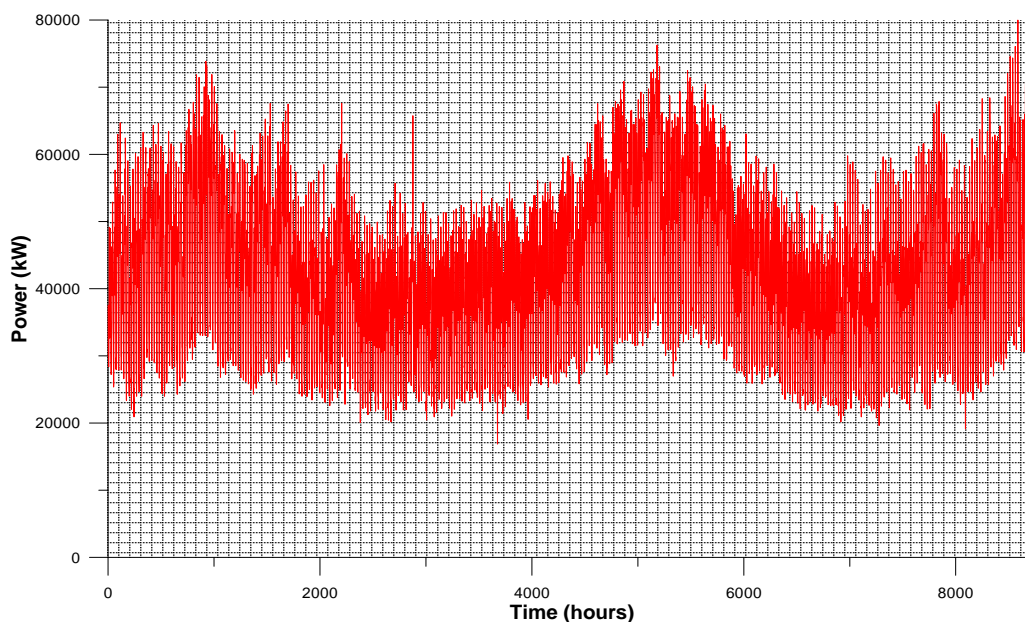
Διάγραμμα 3.2: Λογικό διάγραμμα υπολογιστικού κώδικα

Πιο αναλυτικά έχουμε:

3.2.1. Εισαγωγή ενεργειακών και οικονομικών στοιχείων-Πραγματοποίηση βασικών ενεργειακών υπολογισμών

Δεδομένα δικτύου ΜΔΝ:

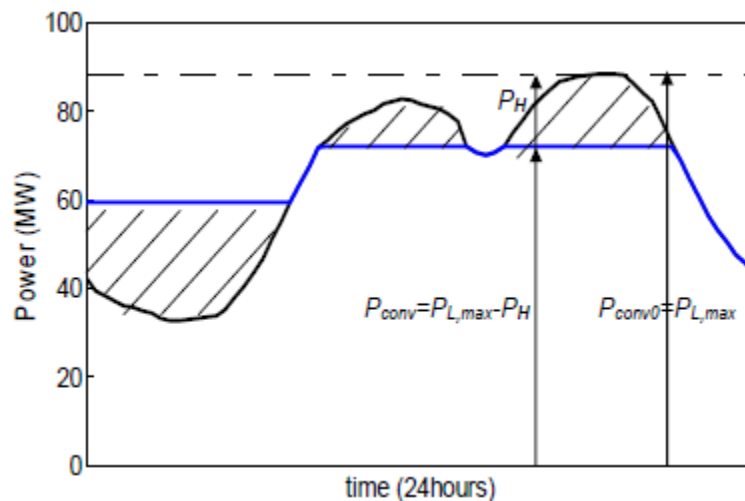
Στον κώδικα εισάγεται η ετήσια καμπύλη φορτίου (καμπύλη ωριαίας ζήτησης), και υπολογίζεται από αυτή η μέγιστη τιμή ζήτησης του έτους (80MW, 356ή μέρα). Εισάγονται δεδομένα για το δίκτυο πριν την ένταξη του Υ.Β.Σ όπως το ποσοστό κάλυψης από συμβατικές μονάδες και από τα προυπάρχοντα Α/Π. Τέλος υπολογίζεται το συνολικό φορτίο του νησιού και η κάλυψή του από τις επιμέρους μονάδες.



Διάγραμμα 3.3: Ετήσια καμπύλη φορτίου ζήτησης της Λέσβου

Καθορισμός εγγυημένης ισχύος:

Η μέγιστη ισχύς που συνίσταται να αποζημιώνεται (Capacity Credit) υπολογίζεται με την παρακάτω διαδικασία: Για κάθε ημέρα υπολογίζεται η ελάχιστη απαιτούμενη συμβατική ισχύς με βάση την ευθεία γραμμή που εξισώνει το εμβαδόν (ενέργεια) που περικλείεται από την ημερήσια καμπύλη φορτίου και την ευθεία αυτή (ενεργειακή προσφορά Υ.Β.Σ), με το αντίστοιχο εμβαδό κάτωθεν από την ευθεία αυτή πολλαπλασιασμένο με ένα τυπικό συντελεστή απόδοσης κύκλου άντλησης-παραγωγής, π.χ. 70% (ενέργεια που θα μπορεί να αντληθεί από το δίκτυο σε περίπτωση πτώσης της παραγωγής του Α/Π). Η μέγιστη τιμή που θα υπολογιστεί μέσα στο έτος αποτελεί την ελάχιστη απαιτούμενη εγκατεστημένη συμβατική ισχύ επομένως η μέγιστη ισχύς Υ.Β.Σ που μπορεί να αποζημιώνεται είναι ίση με τη διαφορά της ετήσιας αιχμής και της ελάχιστης απαιτούμενης εγκατεστημένης συμβατικής ισχύος.



Εικόνα 3.1: Η γραμμή η οποία εξισώνει την ενέργεια που προσφέρει ο Υ.Β.Σ με την ενέργεια που μπορεί να αντληθεί από το δίκτυο (Μωραΐτης Γ., Αθήνα, 2011)

Τιμολόγηση εγγυημένης ισχύος-προσφοράς ενέργειας Υ.Β.Σ:

Το υφιστάμενο θεσμικό πλαίσιο παρέχει τον τρόπο τιμολόγησης της διαθεσιμότητας ισχύος καθώς και τον τρόπο τιμολόγησης κάθε ενέργειας παραγόμενης ή απορροφούμενης από τον σταθμό. Με βάση το πλαίσιο αυτό, την απόφαση της ΡΑΕ αριθμ.1333/2010 και μια σειρά μελετών πάνω σε θέματα όπως οι ειδικές καταναλώσεις των ενεργειακών μονάδων της Λέσβου, οι τιμές των καυσίμων, οι εκπομπές CO₂ και το κόστος αυτών εισάγονται στον κώδικα οι παρακάτω τιμές και τιμολογήσεις:

το Capacity Credit, η μέγιστη ισχύς προς αποζημίωση η οποία στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής έχει οριστεί στα 65MW

- η τιμή διαθεσιμότητας ισχύος, 165,00k€/MW/έτος
- η τιμή παραγωγής υδροστροβίλων, 125,00k€/MWh
- η τιμή πώλησης από το Α/Π κατευθείαν στο δίκτυο, 99,45k€/MWh
- η τιμή αγοράς από το δίκτυο σε περίπτωση άντλησης, 100€/MWh

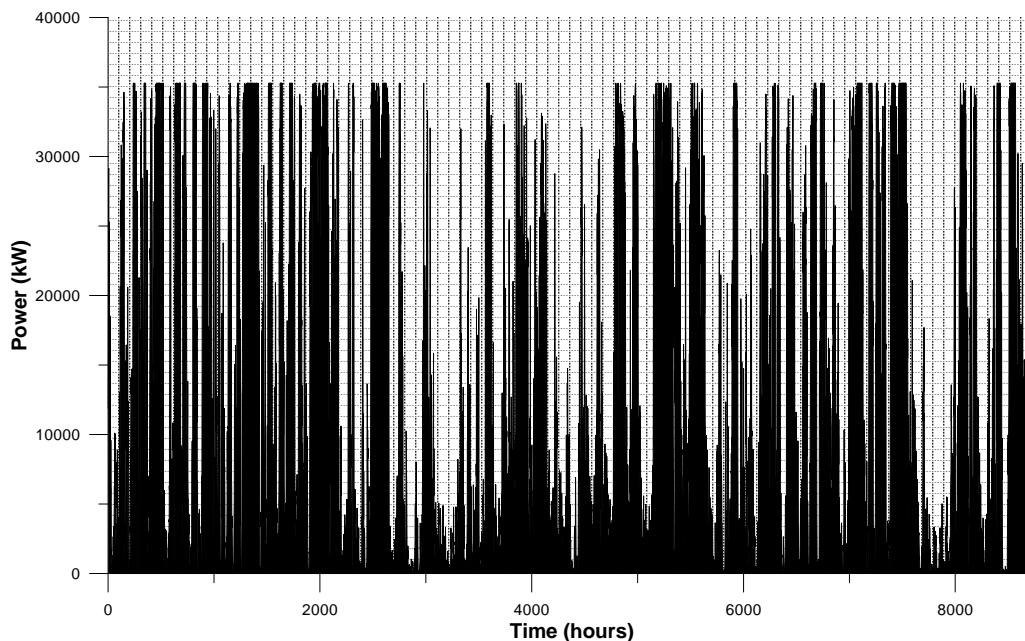
Δεδομένα μονάδων βάσης:

Εισάγονται στον κώδικα δεδομένα των μονάδων βάσης του νησιού όπως είναι η εγκατεστημένη ισχύς, το τεχνικό ελάχιστο και η σειρά ένταξης στο δίκτυο.

Μετεωρολογικά δεδομένα-Τεχνικά στοιχεία Α/Π-Υπολογισμός αιολικής παραγωγής:

Εισάγεται στον κώδικα η ετήσια χρονοσειρά ανέμου, 10λεπτου βήματος. Η συγκεκριμένη χρονοσειρά αποτελεί την αδιάστατη παραγωγή μιας πρότυπης ανεμογεννήτριας με συγκεκριμένη καμπύλη ισχύος, για την αντίστοιχη ένταση του ανέμου. Για το αιολικό πάρκο δίνεται η ονομαστική ισχύς μιας ανεμογεννήτριας (N_w), ο βαθμός απόδοσης του πάρκου (n_w) καθώς και ο αριθμός των ανεμογεννητριών, το οποίο είναι μέγεθος προς βελτιστοποίηση. Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς

είναι ίση με το γινόμενο του αριθμού των ανεμογεννητριών και της ισχύος της καθεμίας.



Διάγραμμα 3.4: Διάγραμμα ετήσιας αιολικής παραγωγής Α/Π Υ.Β.Σ

Τεχνικά στοιχεία εγκατάστασης:

Ο κώδικας διαβάζει από αρχείο τις αδιάστατες χαρακτηριστικές καμπύλες και τους μέγιστους βαθμούς απόδοσης για μια σειρά υδροστροβίλων και γεννητριών. Με γραμμική παρεμβολή υπολογίζεται ο κανονικός βαθμός απόδοσης για κάθε ένα από αυτά .

Για το αντλιοστάσιο υπολογίζονται τα εξής μεγέθη: η ελάχιστη ισχύς αντλιοστασίου ($P_{P,MIN}$), ως η ονομαστική ισχύς της μίας αντλίας επί το συντελεστή του τεχνικού ελαχίστου (60%) και η συνολική ισχύς αντλιοστασίου ($P_{P,INST}$) ,σαν το άθροισμα της ονομαστικής ισχύος όλων των αντλιών. Σε περίπτωση που χρησιμοποιούνται αντλίες σταθερών στροφών εντοπίζονται οι περιοχές ισχύος οι οποίες δεν καλύπτονται λόγω της βηματικής αλλαγής.

Αντίστοιχα για τους υδροστροβίλους έχουμε: δυνατότητα επιλογής του τύπου του υδροστροβίλου (Pelton, Francis αναστρέψιμος ή μη), το ονομαστικό ύψος, η ονομαστική ισχύς (N_H) και ο συντελεστής τεχνικού ελαχίστου (C_H). Υπολογίζονται για αυτούς η ελάχιστη ισχύς υδροστροβίλου P_H , C_H , και η συνολική εγκατεστημένη ισχύς Υ.Β.Σ, ίση με το άθροισμα των υδροστροβίλων.

Για τους ταμιευτήρες δίνονται η ελάχιστη και η μέση διαφορά στάθμης άνω και κάτω ταμιευτήρα, η διαφορά των δύο αυτών σταθμών και ο ελάχιστος επιτρεπόμενος όγκος νερού. Με βάση αυτά και εσωτερικές διαδικασίες του κώδικα, υπολογίζονται η ωφέλιμη χωρητικότητα του άνω ταμιευτήρα, το ποσοστό πλήρωσής του και μεταβολή της τρέχουσας στάθμης νερού ως προς τη μέση στάθμη.

Ο Υ.Β.Σ έχει δύο αγωγούς επομένως και τη δυνατότητα ταυτόχρονης παραγωγής και άντλησης. Για την επιλογή διαμέτρου λαμβάνονται υπόψη οι εξής παράγοντες: η μέση ταχύτητα της ροής με άνω όριο το οποίο εξαρτάται από το υλικό του αγωγού, την επένδυση του και το διακινούμενο υγρό. Επίσης μια σειρά οικονομοτεχνικών κριτηρίων που σχετίζονται με τις υδραυλικές απώλειες και το κόστος κατασκευής.

Οι υδραυλικές απώλειες παίζουν σημαντικό ρόλο γιατί στα πλαίσια του έργου αυτού αποτελούν απώλεια εσόδων και επομένως μπορούν να λογιστούν ως λειτουργικό κόστος. Το κόστος της σωλήνωσης περιέχεται στο κόστος κατασκευής της εγκατάστασης και ως τέτοιο χαρακτηρίζεται από συγκεκριμένο κόστος απόσβεσης κατά τη διάρκεια ζωής του σταθμού. (Παπαντώνης Δ., 2007)

Στη συνέχεια εισάγονται ή υπολογίζονται και κάποια τελευταία στοιχεία σχετικά με τους αγωγούς όπως είναι το πάχος της σωλήνωσης (υπολογισμός με χρήση εμπειρικού τύπου), το βάρος του κάθε αγωγού και οι συντελεστές αντίστασης.

Συντελεστές απόδοσης-Παράμετροι ασφαλείας:

Εισάγονται οι βαθμοί απόδοσης των δύο λειτουργιών του σταθμού, στον υπολογισμό των οποίων έχουν συμπεριληφθεί οι υδραυλικές, οι μηχανικές και οι ηλεκτρικές απώλειες:

- Παραγωγής υδροστροβίλων: $\eta_T=0.83$
- Άντλησης: $\eta_P=0.735$

Εισάγονται επίσης οι εξής παράμετροι ασφαλείας:

- Παραγωγής: $A=1.08$
- Άντλησης: $B=1.1$
- Πιθανότητας αξιοποίησης ενέργειας από ΑΠΕ: $\Gamma=0.8$

Υπολογισμός κόστους:

Στη συνέχεια, υπολογίζονται τα κόστη των επιμέρους συστημάτων του σταθμού. Αρχικά υπολογίζεται το κόστος επένδυσης του σταθμού, δηλαδή το κόστος για την αγορά και την εγκατάσταση του εξοπλισμού. Στη συνέχεια υπολογίζεται το κόστος λειτουργίας, το οποίο αφορά το κόστος λειτουργίας κάθε έτους και υπολογίζεται σαν ποσοστό επί του ολικού κόστους επένδυσης.

Για τους υπολογισμούς αυτούς, χρησιμοποιούνται εμπειρικές προσεγγιστικές σχέσεις (Παπαντώνης Δ., 2007) καθώς και πραγματικά οικονομικά στοιχεία από άλλα αντίστοιχα έργα και μελέτες που έχουν γίνει από τον αντίστοιχο τομέα της σχολής. Υπολογίζονται τα ακόλουθα κόστη:

- Κόστος ΑΠΕ
- Κόστος συστήματος αντλησιοταμίευσης
- Κόστος υδροστροβίλου, (για μια σειρά διαφορετικών υδροστροβίλων)
- Κόστος αντλίας, (επιλογή για αντλία σταθερών ή μεταβλητών στροφών)
- Κόστος σωληνώσεων
- Υπόλοιπα κόστη: υποσταθμού, σύνδεσης στο δίκτυο, κόστος κτηρίων και διαμορφώσεων
- Κόστη μελετών
- Άλλα κόστη: κατασκευή δρόμων, αγορά γης

Το συνολικό κόστος K_{TOTAL} είναι ίσο με το παρακάτω άθροισμα:

$$K_{TOTAL} = K_{Y.B.S} (K_{ΑΠΕ} + K_{ΑΝΤΛΗΣ} + K_{REST}) + K_{ΜΕΛΕΤΩΝ} + K_{OTHER}$$

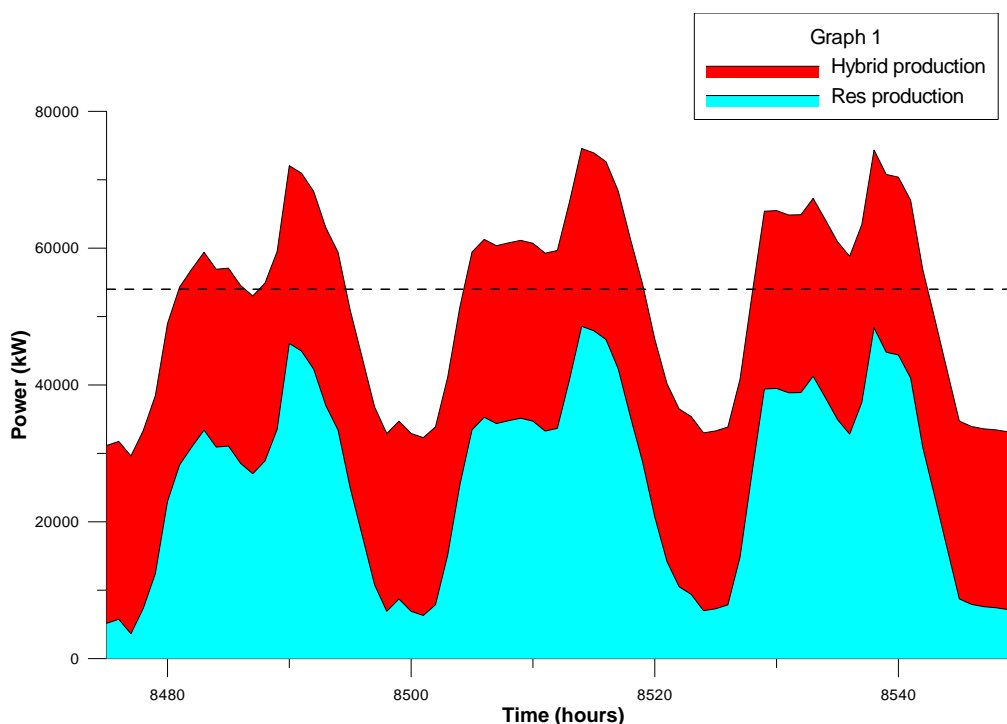
Το κόστος λειτουργίας (προσωπικό, συντήρηση, λογαριασμοί, ασφαλίσεις, κλπ) ελήφθη ίσο με:

$$K_{ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ} = 0.02 \bullet K_{TOTAL}$$

3.2.2. Βασικός ημερήσιος προγραμματισμός λειτουργίας Υ.Β.Σ

Υπολογισμός εγγυημένης ισχύος και ενέργειας:

Η εγγυημένη ενέργεια που πρέπει να προσφερθεί την επόμενη μέρα είναι ίση με το άθροισμα των τιμών του φορτίου ζήτησης που ξεπερνούν τη γραμμή εγγυημένης ισχύος για κάθε ώρα του επόμενου 24ώρου (E_G). Οι τιμές αυτές πρέπει να είναι τουλάχιστον ίσες με το τεχνικό ελάχιστο των προγραμματισμένων για ένταξη υδροστροβίλων, σε αντίθετη περίπτωση η εγγυημένη ισχύς των ωρών αυτών αυξάνεται μέχρι το όριο αυτό.



Διάγραμμα 3.5: Το σύνολο της εγγυημένης ισχύος που πρέπει να προσφερθεί από τον Υ.Β.Σ

Εκτίμηση ενεργειακής συνεισφοράς Α/Π:

Η συνεισφορά του Α/Π υπολογίζεται ως εξής: υπολογίζεται το άθροισμα της παραγωγής του πάρκου για τις πρώτες 12 ώρες της ημέρας, με την προϋπόθεση η ισχύς για κάθε ώρα να είναι μεγαλύτερη από την ελάχιστη ισχύ του αντλιοστασίου. Αν είναι μικρότερη δεν λαμβάνεται υπόψη αφού δε θα μπορεί να τεθεί σε λειτουργία το αντλιοστάσιο. Το άθροισμα αυτό πολλαπλασιάζεται με το βαθμό απόδοσης της άντλησης και με το συντελεστή πιθανότητας αξιοποίησης της ανανεώσιμης ενέργειας. Η λογική αυτή, όπως έχει αναλυθεί παραπάνω σχετίζεται με την αβεβαιότητα της αιολικής παραγωγής και το μη καθορισμένο ακόμα πρόγραμμα παραγωγής του σταθμού.

Προσφορά ενέργειας Υ.Β.Σ:

Αρχικά υπολογίζεται η διαθέσιμη ενέργεια του άνω ταμιευτήρα σαν συνάρτηση της διαφοράς του τρέχοντος όγκου και του ελάχιστου επιτρεπόμενου. Η ενέργεια αυτή συγκρίνεται με το ποσό της εγγυημένης ενέργειας που πρέπει να προσφέρει ο σταθμός. Το ποσό αυτό είναι μεγαλύτερο από την εγγυημένη ενέργεια που έχει υπολογιστεί παραπάνω γιατί έχουν προστεθεί οι απώλειες της όλης διαδικασίας μέσω του ολικού βαθμού απόδοσης και ένα επιπλέον ποσοστό ασφάλειας της άντλησης. Αν η απαιτούμενη ενέργεια είναι μεγαλύτερη της διαθέσιμης, ακολουθεί δήλωση φορτίου. Αν όχι, υπολογίζεται η προβλεπόμενη διαθέσιμη ενέργεια για το επόμενο 24ωρο, ως άθροισμα της ενέργειας ταμιευτήρα και της αιολικής ενέργειας, με κάθε συνιστώσα πολλαπλασιασμένη με τους κατάλληλους συντελεστές.

Για να γίνει η βέλτιστη προσφορά, υπολογίζεται ένα ακόμα μέγεθος, η μέγιστη προσφορά ενέργειας, μέγεθος που αναφέρεται σε πλήρη άνω ταμιευτήρα. Η τελική προσφορά καθορίζεται από τους δύο περιορισμούς: την επιλογή του μεγίστου μεταξύ της εγγυημένης και της διαθέσιμης ενέργειας, και την ύπαρξη του άνω ορίου που ορίζει η μέγιστη προσφορά ενέργειας. Οι περιορισμοί αυτοί καλύπτουν σε κάθε περίπτωση το δίκτυο ως προς την εγγυημένη ισχύ, αλλά και απέναντι σε ενδεχόμενες προσφορές ενέργειας στις οποίες η συνεισφορά των ΑΠΕ δεν ακολούθησε τις προβλέψεις.

Δήλωση φορτίου:

Σε περίπτωση μη επάρκειας ενέργειας στον άνω ταμιευτήρα, γίνεται δήλωση φορτίου για άντληση με περιορισμούς στην προσφορά ενέργειας του Υ.Β.Σ και στο ποσό της άντλησης από το δίκτυο. Πιο συγκεκριμένα, ύστερα από δήλωση ο Υ.Β.Σ δεν επιτρέπεται να κάνει προσφορά μεγαλύτερη της εγγυημένης και επίσης η δήλωση φορτίου δεν μπορεί να είναι μεγαλύτερη από την εγγυημένη ενέργεια προς το συντελεστή κύκλου άντλησης-παραγωγής.

Έλεγχος ενεργειακού ισοζυγίου επομένων ημερών – Νέα δήλωση φορτίου:

Αναλύεται εκτενέστερα στο 3.3.

Αρχικός προγραμματισμός ωρών άντλησης και παραγωγής:

Στη φάση αυτή ο αλγόριθμος καταρτίζει ένα αρχικό πρόγραμμα παραγωγής-άντλησης. Για τον προγραμματισμό της άντλησης είναι απαραίτητη η ύπαρξη δήλωσης φορτίου. Με τη δήλωση αυτή, ο αλγόριθμος ξεκινάει μια διαδικασία βελτιστοποίησης κατά τη διάρκεια των ωρών χαμηλής ζήτησης (01.00-09.00, το πρωί). Με δεδομένα τη δήλωση, τη ζήτηση φορτίου στο δίκτυο για τις ώρες αυτές, την ελάχιστη από αυτές, τα όρια ισχύος του αντλιοστασίου και τις περιοχές που δεν καλύπτονται λόγω βηματικής αλλαγής, υπολογίζει την τελική ισχύ των αντλιών για κάθε τέτοια ώρα (P_{Di}).

Μια αντίστοιχη διαδικασία πραγματοποιείται για την υδροστροβλική παραγωγή με δεδομένα αυτή τη φορά τη ζήτηση του νησιού για όλη τη μέρα, τη μέγιστη ζήτηση, τα τεχνικά ελάχιστα των μονάδων βάσης καθώς και τα τεχνικά ελάχιστα και την ονομαστική ισχύ των υδροστροβίλων. Υπολογίζεται τελικά η τελική ισχύς λειτουργίας των στροβίλων (P_{Ei}).

3.2.3. Προγραμματισμός ωριαίας και 10λεπτης λειτουργίας:**Εκτέλεση υπορουτινών παραγωγής και άντλησης:**

Σε αυτό το σημείο, ο αλγόριθμος κινείται με στόχο τη διαμόρφωση ενός βέλτιστου συνδυασμού παραγωγής, δηλαδή ενός συνδυασμού με το συνολικά μικρότερο τεχνικό ελάχιστο, έχοντας ως δεδομένα την ωριαία προσφορά ισχύος και τα τεχνικά στοιχεία των υδροστροβίλων. Αποτέλεσμα της διαδικασίας αυτής είναι ο καθορισμός του αριθμού των υδροστροβίλων που θα ενταχθούν, και οι τιμές της συνολικής ισχύος ($P_{HN,TOT}$) και του τεχνικού τους ελαχίστου.

Αντίστοιχα, με δεδομένα την ισχύ άντλησης και τα όρια ισχύος του αντλιοστασίου, υπολογίζεται ο αριθμός των εν λειτουργία αντλιών, η συνολική ισχύς λειτουργίας τους, το τεχνικό ελάχιστο του αντλιοστασίου ($P_{P,x}$) και κάθε αντλίας ξεχωριστά ($P_{P1,x}$).

Απομείωση:

Απομείωση είναι μια διαδικασία μείωσης της προγραμματισμένης προς απόδοση ισχύος, με στόχο τη διατήρηση της αιολικής ενέργειας στο δίκτυο από τα υπόλοιπα Α/Π στα ίδια επίπεδα που βρίσκονταν πριν την ένταξη του Υ.Β.Σ. Η διαδικασία αυτή είναι απαραίτητη ώστε να μην επηρεάζεται η λειτουργία σημαντικών ανανεώσιμων μονάδων ενταγμένων στο δίκτυο, και είναι δυνατή μέσω της απόδοσης στους υδροστροβίλους χαρακτηριστικών συμβατικών μονάδων (κάτω όριο φόρτισης 50% της ονομαστικής ισχύος).

Ο συντελεστής απομείωσης ($\Sigma_{ΑΠΟΜ}$) είναι ίσος με 0 σε περίπτωση που οι μονάδες βάσης λειτουργούν στο τεχνικό τους ελάχιστο. Σε οποιαδήποτε άλλη περίπτωση ο συντελεστής απομείωσης υπολογίζεται συναρτήσει της ισχύος λειτουργίας των μονάδων βάσης, της ονομαστικής ισχύος των ενταγμένων υδροστροβίλων και της ισχύος των εξωτερικών Α/Π.

Εκτέλεση 10λεπτων επαναλήψεων:

Στο κομμάτι αυτό ο κώδικας λειτουργεί με επαναλήψεις 10λεπτου βήματος, με στόχο τη διοχέτευση της αιολικής παραγωγής στο δυναμικό του Υ.Β.Σ. Κατά τις επαναλήψεις αυτές γίνεται έλεγχος σε τέσσερα σημεία:

- Στις τιμές της ισχύος του Α/Π ($P_{w,x}$).
- Στην κατάσταση των αντλιών, οι οποίες χωρίζονται σε διαθέσιμες και εν λειτουργία.
- Στην πληρότητα του άνω ταμιευτήρα.
- Γίνεται έλεγχος του προγράμματος του Υ.Β.Σ, ώστε να εντοπιστεί εάν βρίσκεται σε διάστημα άντλησης, μηδενικής παραγωγής ή σε διπλή λειτουργία.

Ο κώδικας ανάλογα με την κατάσταση λειτουργίας και την παραγωγή αιολικής ενέργειας καθορίζει τι ποσοστό αυτής θα προωθηθεί στις αντλίες, τι ποσοστό στο δίκτυο και πόση θα απορριφθεί.

Υπολογίζονται τα μεγέθη:

- Ενέργεια Α/Π για άντληση ($E_{WP,x}$)
- Ενέργεια Α/-Π στο δίκτυο ($E_{WG,x}$)
- Ενέργεια Α/Π απορριπτόμενη ($E_{Wloss,x}$)

Προγραμματισμός διαστημάτων άντλησης από δίκτυο και μηδενικής παραγωγής:

Σε περίπτωση που το 10λεπτο ελέγχου ανήκει σε ώρα άντλησης ή ώρα μηδενικής παραγωγής, η παραγωγή του αιολικού πάρκου δίνεται όλη για άντληση και προστίθεται στη ήδη προγραμματισμένη ισχύ άντλησης από το δίκτυο, αφού πρώτα ελεγχθεί η στάθμη του άνω ταμιευτήρα.

Ο αλγόριθμος καθορίζει την τελική ισχύ για άντληση από το Α/Π ($P_{WP,x}$), η οποία είναι ίση με τη διαφορά της τελικής ισχύος άντλησης ($P_{P,x}$) και της ισχύος για άντληση από το δίκτυο ($P_{D,i}$). Αφού στην κατάσταση αυτή λειτουργίας δεν έχουμε προσφορά στο δίκτυο, η εναπομείνουσα αιολική παραγωγή απορρίπτεται.

Προγραμματισμός υπολοίπων ωρών, προτεραιότητα ενέργειας Α/Π στις αντλίες:

Κατά τον έλεγχο των ωρών παραγωγής, ο αλγόριθμος έχει δύο επιλογές σε ότι αφορά την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας, προώθηση στις αντλίες ή απευθείας στο δίκτυο. Ελέγχεται η στάθμη του ταμιευτήρα και αν ο όγκος του νερού δεν αρκεί για την κάλυψη της προσυμφωνημένης ζήτησης έχουμε την εμφάνιση "επεισοδίου".

Αν ο ταμιευτήρας δεν είναι γεμάτος και υπάρχουν διαθέσιμες αντλίες, η ισχύς του αντλιοστασίου εξισώνεται αυτόματα με την ισχύ του Α/Π. Σε περίπτωση γεμάτου ταμιευτήρα, το αντλιοστάσιο λειτουργεί με ισχύ την μικρότερη μεταξύ της αιολικής παραγωγής και του κάτω ορίου του υδροστροβίλου, πολλαπλασιασμένη με τον τυπικό συντελεστή του κύκλου. Με τον τρόπο αυτό όσο νερό καταναλώνεται από τους υδροστροβίλους αντλείται παράλληλα στον ταμιευτήρα.

Καλείται η υπορουτίνα της άντλησης και υπολογίζεται η εναπομείνουσα παραγωγή, η οποία και προωθείται στο δίκτυο. Για να γίνει αυτό, η παραγωγή του Υ.Β.Σ μειώνεται περαιτέρω της απομείωσης με την προϋπόθεση ότι το αποτέλεσμα είναι μεγαλύτερο του τεχνικού ελαχίστου. Αν όχι η παραγωγή εξισώνεται με το τεχνικό ελάχιστο και μειώνεται η αντίστοιχη αιολική συνεισφορά. Με τον έλεγχο αυτό καθορίζεται και το ποσοστό της αιολικής που απορρίπτεται.

Κατάσταση λειτουργίας στο τέλος του 10λεπτου ελέγχου:

Στο τέλος κάθε 10λέπτου, υπολογίζεται και καταγράφεται η κατάσταση λειτουργίας κάθε μονάδας του σταθμού:

- Υδροστρόβιλοι: Υπολογίζονται συνολικά η κατανομή ισχύος, η συνολική ισχύς, η ισχύς στο τεχνικό ελάχιστο και για κάθε στρόβιλο ξεχωριστά η τελική ισχύς λειτουργίας, το ποσοστό φόρτισης, το τελικό σημείο λειτουργίας, ο βαθμός απόδοσης, οι απώλειες και η κατανάλωση νερού.
- Γεννήτριες: Υπολογίζεται ο ακριβής βαθμός απόδοσης και οι ενεργειακές απώλειες.
- Αντλίες: Υπολογίζεται η ακριβής παροχή κάθε αντλίας, οι ενεργειακές τους απώλειες καθώς και τα όρια επανεκκίνησης. Έχει οριστεί ότι μια αντλία είναι διαθέσιμη για άντληση μία ώρα μετά το τελευταίο σταμάτημά της. Εντός της ώρας αυτής θεωρείται ότι βρίσκεται σε αναμονή.
- Ταμιευτήρας: Υπολογίζεται ο τρέχων όγκος νερού με βάση την προηγούμενη τιμή του και τις παροχές αντλιών και υδροστροβίλων, το ποσοστό πλήρωσης και η μεταβολή της στάθμης ως προς τη μέση.

3.2.4. Εξαγωγή και καταγραφή ενεργειακών και οικονομικών αποτελεσμάτων**Υπολογισμός μεγεθών στο επίπεδο 10λέπτου, ώρας, ημέρας:**

Γίνεται καταγραφή των αποτελεσμάτων για κάθε 10λεπτο και κάθε ώρα αντίστοιχα. Σε επίπεδο 10λέπτου, καταγράφονται το φορτίο του νησιού, η παραγωγή του Υ.Β.Σ και ειδικότερα η παραγωγή από υδροστροβίλους, από το Α/Π και η ισχύς άντλησης. Στο επίπεδο της ώρας, καταγράφονται τα ίδια τα μεγέθη με τη διαφορά ότι υπολογίζονται συναρτήσει των μεγεθών του Υ.Β.Σ οι ανάγκες που πρέπει να καλυφθούν από μονάδες βάσης και τα υπόλοιπα αιολικά Α/Π.

Για κάθε ημέρα αθροίζονται τα αποτελέσματα κάθε 10λέπτου, δίνοντας τη συνολική εικόνα της παραγωγής του σταθμού. Αθροίζονται τα ποσά της παραγωγής, υδροστροβιλικής και αιολικής, η ενέργεια που αντλείται από το δίκτυο, η παροχή νερού στους υδροστροβίλους και οι απώλειες των επιμέρους τμημάτων.

Ημερήσια μεγέθη για τον άνεμο:

- $E_{w,TOT}$, η συνολική αιολική παραγωγή
- E_{w_p} , η αιολική παραγωγή που χρησιμοποιείται για άντληση
- E_{w_G} , η αιολική παραγωγή που διοχετεύεται απευθείας στο δίκτυο
- $E_{w_{Loss}}$, η αιολική παραγωγή που απορρίπτεται

Ημερήσια μεγέθη για τους υδροστροβίλους:

- $Q_{H,TOT}$, ο συνολικός όγκος νερού που καταναλώνεται από τους υδροστροβίλους
- $E_{H,TOT}$, η παραγωγή ενέργειας από τους υδροστροβίλους

- $E_{H,LOSS}$, οι ενεργειακές απώλειες των υδροστροβίλων

Ημερήσια μεγέθη για την άντληση:

- $Q_{P,TOT}$, ο συνολικός όγκος νερού που αντλείται
- $E_{P,TOT}$, η ενέργεια που χρησιμοποιείται για άντληση (Α/Π και δικτύου)
- $E_{P,LOSS}$, οι ενεργειακές απώλειες των αντλιών

Υπολογισμός δεικτών αξιολόγησης:

Στο σημείο αυτό υπολογίζονται ημερήσιοι δείκτες αξιολόγησης της λειτουργίας των μονάδων του Υ.Β.Σ:

- $\Delta.A.W$, ο δείκτης αξιοποίησης αιολικής παραγωγής
- $B.A.H$, ο βαθμός απόδοσης της υδροστροβλικής παραγωγής
- $B.A.P$, ο βαθμός απόδοσης της άντλησης
- $B.A.TOT$, ο ολικός βαθμός του κύκλου παραγωγής-άντλησης, σαν το γινόμενο των $B.A.H$, $B.A.P$

Υπολογίζεται η ημερήσια προσφορά ενέργειας ως το άθροισμα της παραγωγής των υδροστροβίλων και της αιολικής ενέργειας απευθείας στο δίκτυο. Στη συνέχεια υπολογίζονται τα ημερήσια έσοδα του σταθμού από την παραγωγή και τα ημερήσια έξοδα λόγω άντλησης. Τα έσοδα αυτά υπολογίζονται με βάση τις τιμολογήσεις για κάθε είδος παραγόμενης ισχύος και το υφιστάμενο νομικό πλαίσιο το οποίο ορίζει ειδικά για την αιολική παραγωγή ότι θα αγοράζεται από το δίκτυο κοστολογούμενη κατά το ήμισυ με την τιμολόγηση της αιολικής παραγωγής και κατά το ήμισυ με την τιμολόγηση της υδροστροβλικής παραγωγής. Έχουμε επομένως:

- $D.INC_H$, τα ημερήσια έσοδα της υδροστροβλικής παραγωγής
- $D.INC_{W,1}$, $D.INC_{W,2}$ και τελικά $D.INC_W$, τα ημερήσια έσοδα της αιολικής παραγωγής
- $D.OUT_P$, τα ημερήσια έξοδα για άντληση από το δίκτυο
- $D.INC = D.INC_H + D.INC_W - D.OUT_P$, το ημερήσιο κέρδος του Υ.Β.Σ

Υπολογίζεται επίσης η υδραυλική ενέργεια του άνω ταμιευτήρα, η οποία ως εν δυνάμει ηλεκτρική μπορεί να αποφέρει ημερήσια κέρδη $E_{TANK} \bullet TRF_H$. Το τελικό ημερήσιο κέρδος είναι ίσο με:

$$D.INC_{TOT} = D.INC + E_{TANK} \bullet TRF_H$$

Υπολογισμός ετήσιων αποτελεσμάτων:

Στο τέλος του κώδικα και έχοντας ολοκληρωθεί το σύνολο των ημερήσιων επαναλήψεων, έχουν υπολογιστεί σημαντικά ετήσια μεγέθη ως αθροίσματα των αντίστοιχων ημερήσιων, σε 10^6 € και σε GWh:

- $Y.INC_{TOT}$, τα ετήσια κέρδη του Υ.Β.Σ
- $Y.E_{PURCH}$, η ενέργεια που αντλείται ετησίως από το δίκτυο
- $Y.E_{H,TOT}$, η ετήσια υδροστροβλική παραγωγή
- $Y.E_{W,G}$, η ετήσια αιολική παραγωγή που προωθείται στο δίκτυο
- $Y.E_{W,P}$, η ετήσια αιολική παραγωγή που προωθείται στις αντλίες
- $Y.E_{W,LOSS}$, η ετήσια απορριπτόμενη αιολική ενέργεια

Στη συνέχεια υπολογίζονται αντιπροσωπευτικά οικονομικά και ενεργειακά μεγέθη του Υ.Β.Σ:

- $Y.INC'_{TOT} = Y.INC_{TOT} + CC \cdot TRFCC$, συνυπολογίζεται πια στα έσοδα η αποζημίωση της διαθεσιμότητας ισχύος

- $Y.BAL = \frac{Y.INC'_{TOT} \cdot 10^6}{K_{TOTAL}}$, τα ετήσια έσοδα προς το κόστος της εγκατάστασης

- $Y.E_{W,EXP} = Y.E_{W,P,TOT} + Y.E_{W,G,TOT}$, η συνολική εκμεταλλεύσιμη αιολική ενέργεια

- $E_{NET} = Y.E_{H,TOT} + Y.E_{W,G,TOT} - Y.E_{PURCH,TOT}$, το ετήσιο ισοζύγιο ενέργειας του σταθμού

- $F_{NET} = \frac{E_{NET}}{Y_{W,TOT}}$, ο ολικός βαθμός απόδοσης του σταθμού

- $CF_W = \frac{Y.E_{W,EXP} \cdot 10^6}{N_{W,TOT} \cdot 365 \cdot 24}$, το Capacity Factor του Α/Π

- $CF_H = \frac{Y.E_{H,TOT} \cdot 10^6}{P_{H,TOT} \cdot 365 \cdot 24}$, το Capacity Factor των υδροστροβίλων

- $CF_P = \frac{(Y.E_{PURCH} + Y.E_{W,P}) \cdot 10^6}{P_{P,INST} \cdot 365 \cdot 24}$, το Capacity Factor των αντλιών

Εισαγωγή δεικτών οικονομικής βιωσιμότητας;

Στο τέλος του κώδικα εισάγονται συγκεκριμένες οικονομικοί παράμετροι, με στόχο τον υπολογισμό δεικτών οικονομικής αξιολόγησης για το σύστημα. Υπολογίζονται οι παρακάτω δείκτες:

- Καθαρή Παρούσα Αξία (NPV)
- Εσωτερικός Συντελεστής Απόδοσης (IRR)
- Χρόνος Αποπληρωμής
- Κόστος Παραγόμενης Ενέργειας
- Κόστος Αγοράς Ενέργειας

Τα παραπάνω αποτελέσματα καταγράφονται μαζί με τα ετήσια αποτελέσματα του Υ.Β.Σ σε αρχεία εξόδου.

3.3. Έλεγχος ενεργειακού ισοζυγίου επομένων ημερών – Νέα δήλωση φορτίου

Μετά τον υπολογισμό των βασικών ημερήσιων μεγεθών του σταθμού (εγγυημένη ενέργεια, προσφορά ενέργειας, δήλωση φορτίου), ο αλγόριθμος στα πλαίσια του συνυπολογισμού μελλοντικής αιολικής παραγωγής, πραγματοποιεί έλεγχο του ενεργειακού ισοζυγίου των επομένων ημερών. Για έναν αριθμό ημερών, συσχετίζονται για κάθε μία ξεχωριστά η εγγυημένη ζήτηση από το δίκτυο, τα ενεργειακά περιθώρια του δικτύου για άντληση τις ώρες χαμηλής ζήτησης και η αναμενόμενη παραγωγή του Α/Π του σταθμού.

Ειδικότερα, αθροίζεται η ενέργεια για τις ώρες κατά τις οποίες η ζήτηση ξεπερνά τη γραμμή εγγυημένης ισχύος. Εντοπίζεται επίσης για τις ώρες χαμηλής ζήτησης η ενέργεια που μπορούν να παρέχουν οι μονάδες βάσης στον Υ.Β.Σ μέσω αύξησης του φορτίου τους. Τέλος, με βάση την πρόγνωση ανέμου υπολογίζεται η αναμενόμενη παραγωγή του Α/Π, η οποία πολλαπλασιάζεται με τους αντίστοιχους συντελεστές ασφαλείας και βαθμούς απόδοσης.

- E_{FUTURE_NEEDS} , η εγγυημένη ενέργεια που θα απαιτήσει το δίκτυο (kWh)
- $E_{PUMPING_FROM_GRID}$, η ενέργεια για άντληση που μπορεί να εξασφαλίσει ο σταθμός τις ώρες χαμηλού φορτίου (kWh)
- E_{FROM_WIND} , η αιολική ενέργεια που προβλέπεται να παραχθεί από το Α/Π (kWh)

Τα μεγέθη αυτά αθροίζονται για τον υπολογισμό του ημερήσιου ενεργειακού ισοζυγίου:

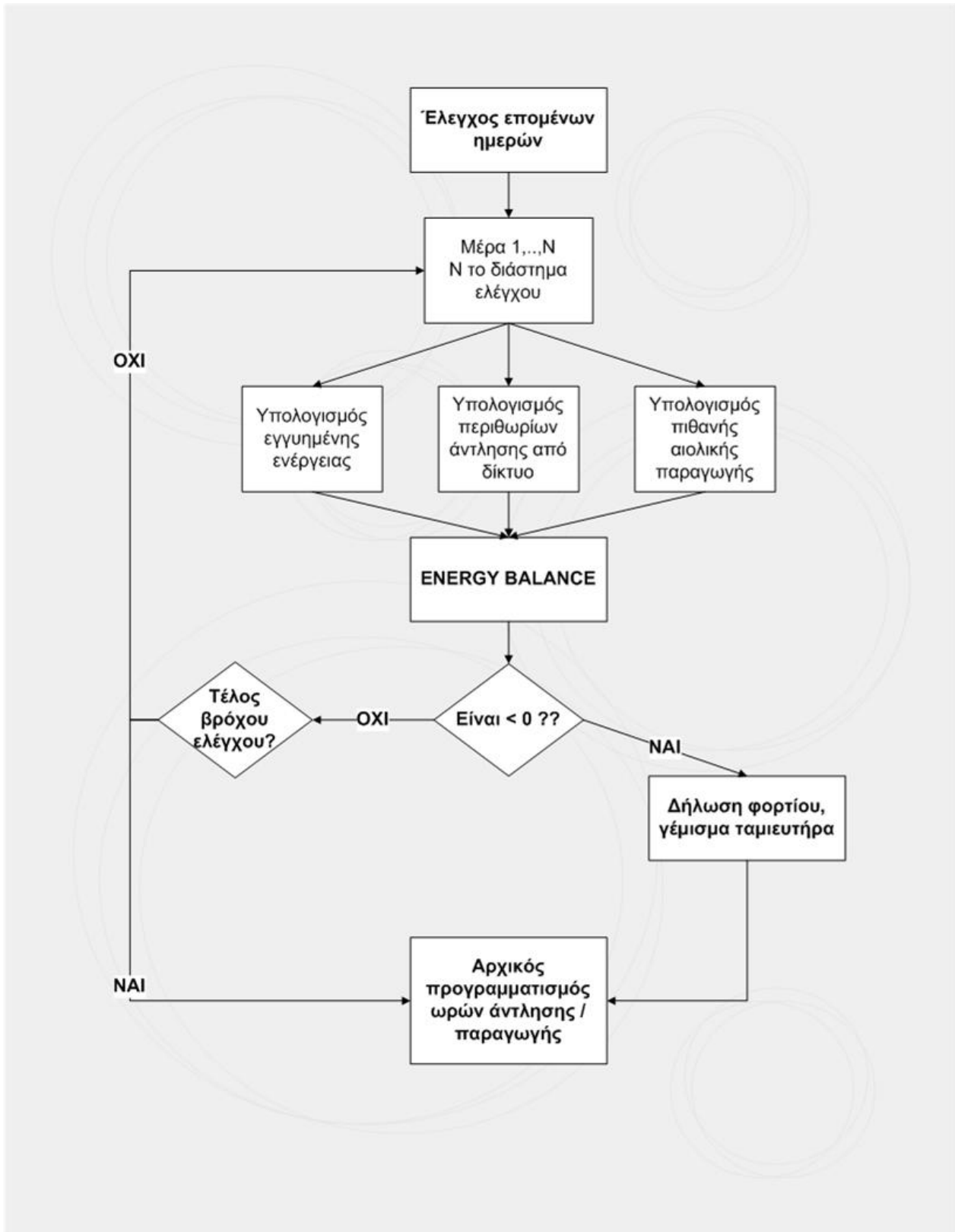
$$\bullet \quad ENERGY_BALANCE = E_{PUMPING_FROM_GRID} + E_{FROM_WIND} - E_{FUTURE_NEEDS}$$

Στην περίπτωση που το ισοζύγιο υπολογίζεται για την ακριβώς επόμενη μέρα από την τρέχουσα, προστίθεται σε αυτό και ένας ακόμα όρος ο οποίος αφορά στην αποθηκευμένη ενέργεια στον ταμιευτήρα μετά την πραγματοποίηση της προσφοράς ενέργειας.

- E_{TANK} , η εναπομείνουσα ενέργεια στον ταμιευτήρα (kWh)

$$ENERGY_BALANCE_{(CURRENT_DAY+1)} = E_{PUMPING_FROM_GRID} + E_{FROM_WIND} + E_{TANK} - E_{FUTURE_NEEDS}$$

Αν το ισοζύγιο είναι θετικό, ο αλγόριθμος προχωρά σε έλεγχο επόμενης μέρας (ανάλογα με τον αριθμό των ημερών που έχει οριστεί να ελέγχονται) ή κάνει έξοδο από το βρόχο και συνεχίζει στο στάδιο του αρχικού προγραμματισμού ωρών άντλησης και παραγωγής. Αν είναι αρνητικό, κάνει έξοδο από το βρόχο και πραγματοποιεί δήλωση φορτίου. Υπολογίζονται τα περιθώρια άντλησης από το δίκτυο την τρέχουσα μέρα και αντλείται νερό με στόχο το γέμισμα του ταμιευτήρα. Επίσης, η προσφορά ενέργειας περιλαμβάνει πια μόνο την αιολική παραγωγή με τους αντίστοιχους περιορισμούς ώστε να καλυφθεί πλήρως το δίκτυο.



Διάγραμμα 3.6: Η διαδικασία ελέγχου των επομένων ημερών

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ Υ.Β.Σ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

4.1. Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται παράθεση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης του συστήματος, ύστερα από την εισαγωγή σε αυτό της δυνατότητας συνυπολογισμού της πρόγνωσης του ανέμου και της τροποποίησης του προγράμματος παραγωγής του.

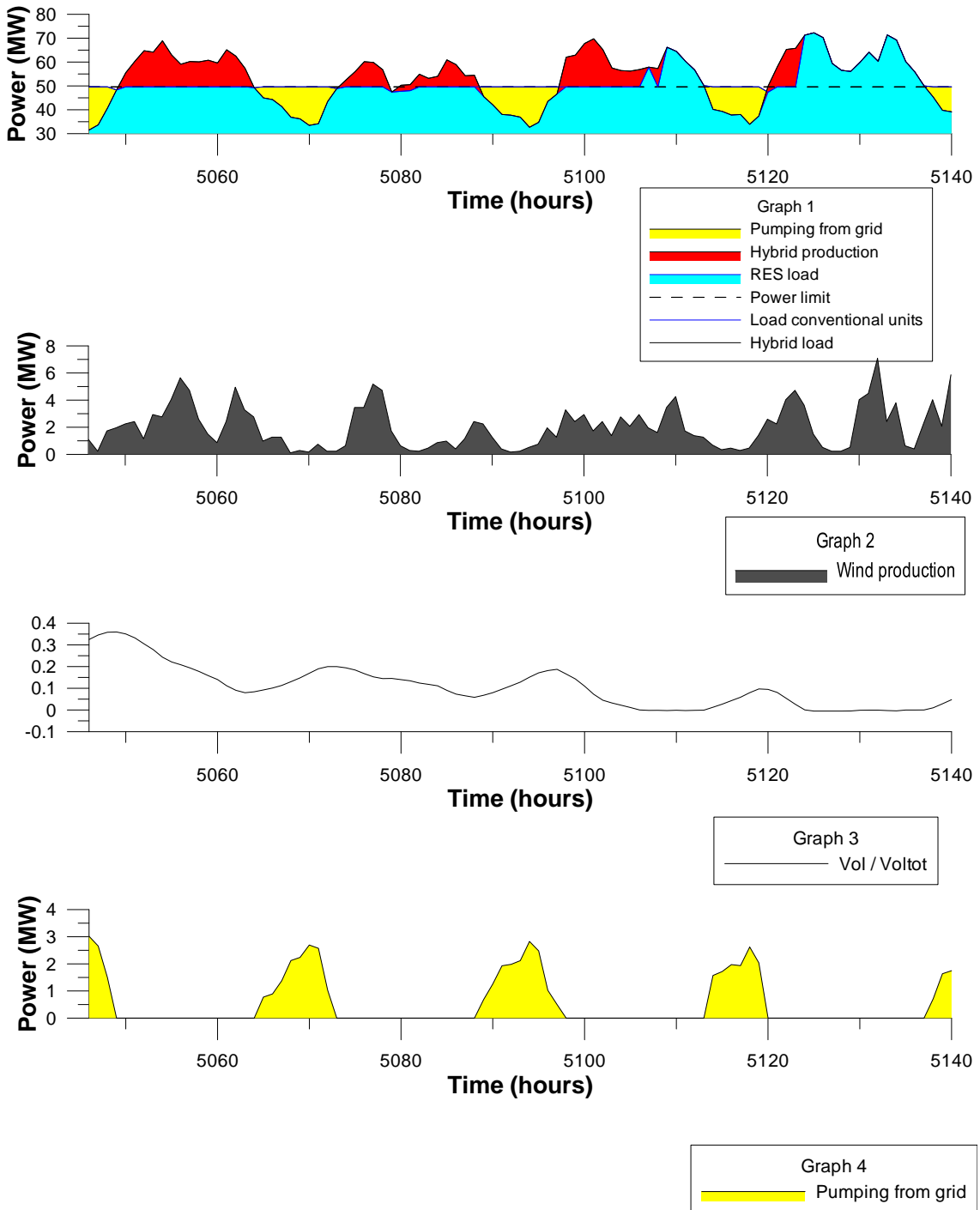
Αρχικά, απεικονίζοντας μια περίοδο λειτουργίας του σταθμού με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο λειτουργεί πλέον ο αλγόριθμος για την κάλυψη της ενεργειακής ζήτησης κατά τη διάρκεια των "επεισοδίων". Στη συνέχεια, γίνεται μελέτη της επίδρασης των ημερών συνυπολογισμού της πρόγνωσης και του μεγέθους του ταμιευτήρα στα αποτελέσματα του σταθμού και για τα δύο σενάρια λειτουργίας. Τέλος, παρουσιάζονται προσομοιώσεις δύο σταθμών, οι οποίοι αποτελούν τις βέλτιστες οικονομικά και ενεργειακά λύσεις για κάθε ένα από τα σενάρια, μετά την παρέμβαση.

4.2. Λειτουργία του σταθμού κατά τη διάρκεια χαρακτηριστικής περιόδου – Κάλυψη "επεισοδίων"

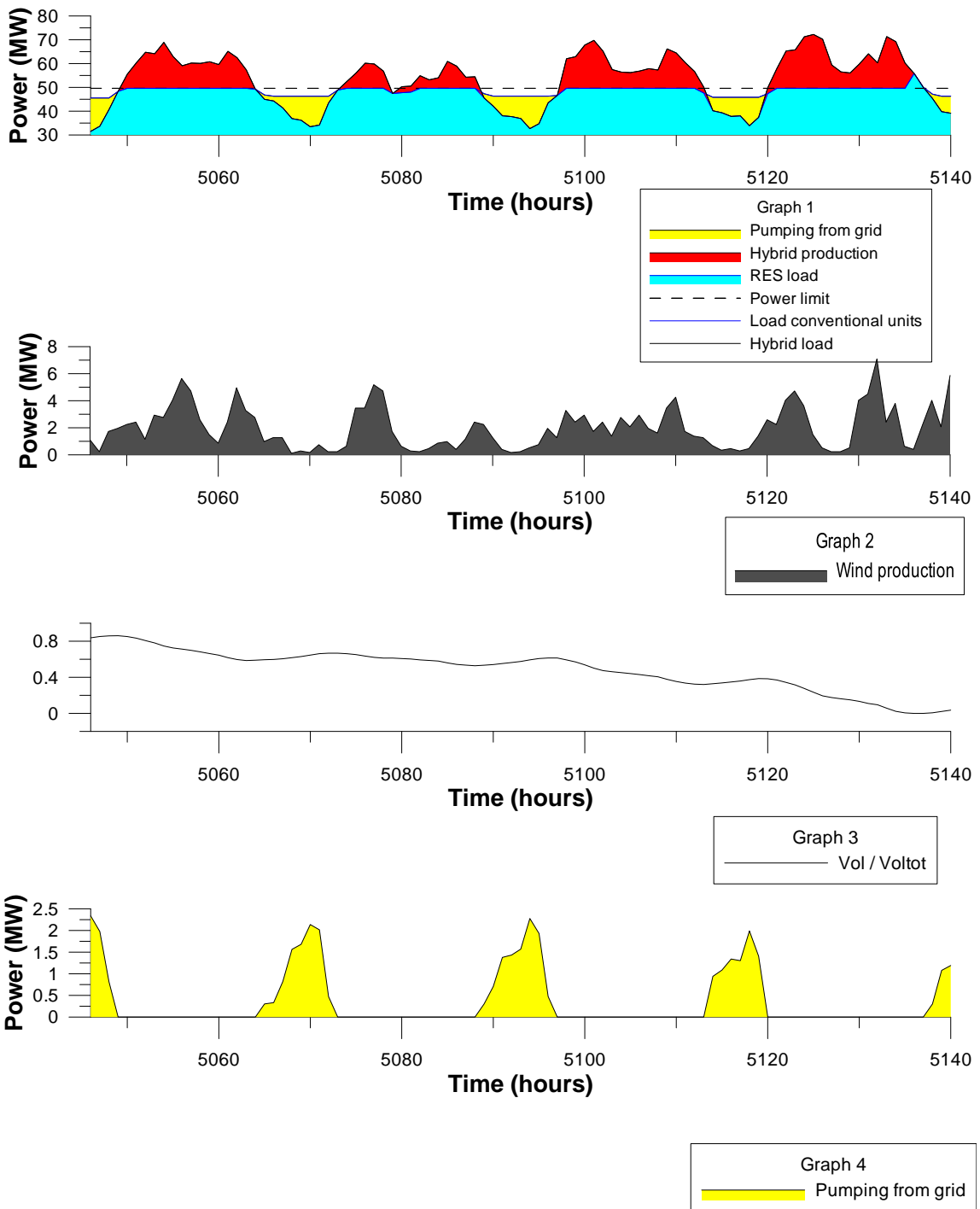
Για το συγκεκριμένο υποκεφάλαιο, επιλέχτηκε να παρουσιαστεί η λειτουργία σταθμού 31,125MW (σενάριο 1^ο), κατά τη διάρκεια των ωρών 5040 – 5140, πριν και μετά την τροποποίηση του κώδικα.

Η περίοδος αυτή, όπως φαίνεται στο διάγραμμα 4.1, χαρακτηρίζεται από υψηλή ζήτηση, μεγαλύτερη των 70MW για τα διαστήματα 5095 – 5115 και 5125 – 5135. Η αιολική παραγωγή είναι κυμαινόμενη και σε συνάρτηση με την ζήτηση δεν είναι σε θέση μέσω της άντλησης, να συντηρεί τον όγκο του ταμιευτήρα στο απαραίτητο επίπεδο. Ο σταθμός μέχρι ένα σημείο, ώρες 5040 – 5108, κάνοντας δήλωση φορτίου και αντλώντας τις ώρες χαμηλής ζήτησης μπορεί να καλύψει την εγγυημένη ισχύ. Στη συνέχεια όμως το ελάχιστο νερό στον ταμιευτήρα, 0% με 10% του συνολικού όγκου, και η υψηλή ζήτηση έχουν ως αποτέλεσμα την αδυναμία κάλυψης και την αναπλήρωση από την αύξηση φορτίου των συμβατικών μονάδων του δικτύου.

Στο διάγραμμα 4.2, απεικονίζεται η συμπεριφορά του σταθμού τη συγκεκριμένη περίοδο μετά την τροποποίηση του αλγόριθμου. Αυξάνοντας την άντληση από το δίκτυο τις ώρες χαμηλής ζήτησης, διαστήματα 5064 – 5073, 5078 – 5087, 5111 – 5120, τις μέρες πριν την παρουσία "επεισοδίων", παρατηρείται τελικά ότι ο Υ.Β.Σ τις ώρες 5105 – 5113 είναι σε θέση να καλύψει την εγγυημένη ισχύ που απαιτείται. Η αυξημένη άντληση σε συνδυασμό και με την αιολική παραγωγή που διοχετεύεται στις αντλίες δημιουργεί απόθεμα νερού στον ταμιευτήρα στο διπλάσιο επίπεδο σε σχέση με πριν την τροποποίηση, από 40% έως 80% του συνολικού όγκου.



Διάγραμμα 4.1: Λειτουργία του σταθμού στο διάστημα 5040 – 5140, πριν την τροποποίηση

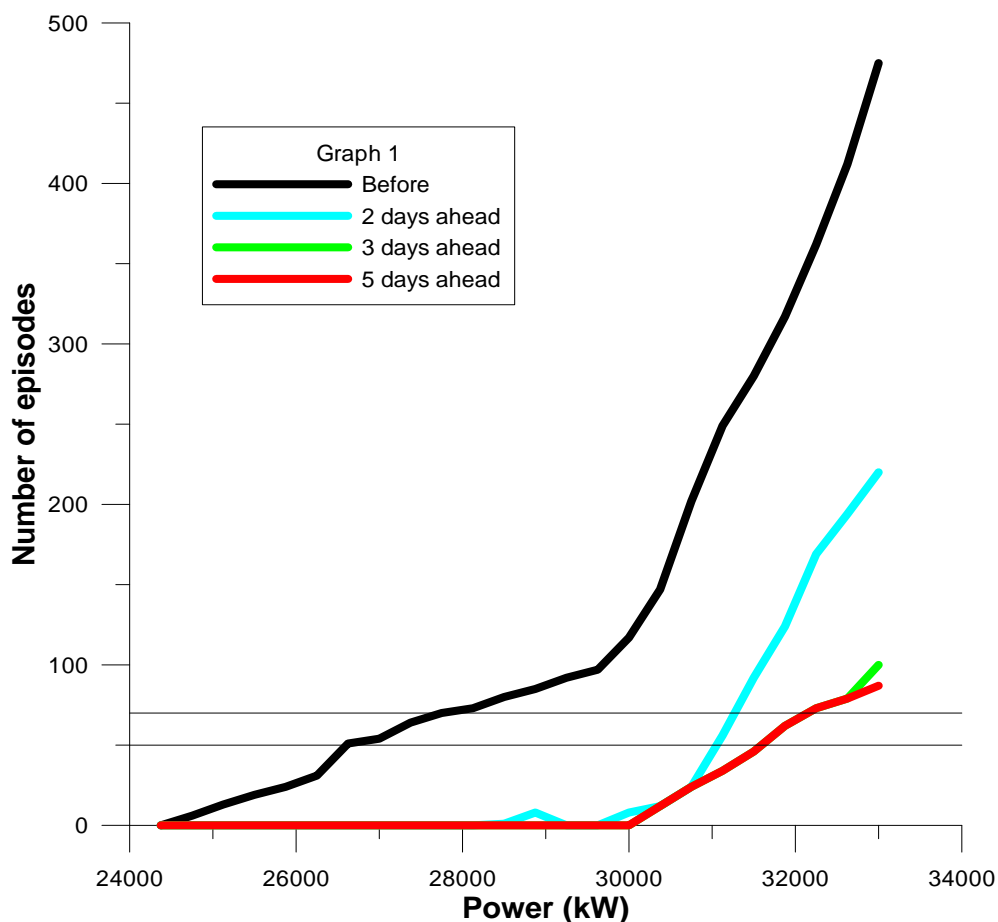


Διάγραμμα 4.2: Λειτουργία του σταθμού στο διάστημα 5040 – 5140, μετά την τροποποίηση

4.3. Η επίδραση των ημερών της πρόγνωσης στην αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος και στα αποτελέσματα του σταθμού

4.3.1. Σενάριο 1^ο: Προώθηση της αιολικής παραγωγής κατά προτεραιότητα στις αντλίες

Έχοντας αποδεκτό όριο επεισοδίων το διάστημα μεταξύ 50 με 70, τα οποία αντιπροσωπεύουν 9 με 12 ώρες λειτουργίας, εντοπίζονται στο διάγραμμα 4.3, οι σταθμοί που πληρούν το κριτήριο αυτό. Έχουν σχεδιαστεί 4 καμπύλες οι οποίες απεικονίζουν τον αριθμό των "επεισοδίων" συναρτήσει της εγκατεστημένης ισχύος του σταθμού, για τις περιπτώσεις λειτουργίας χωρίς παρέμβαση και λειτουργίας με συνυπολογισμό πρόγνωσης 2, 3 και 5 ημερών.



Διάγραμμα 4.3: Η επίδραση της τροποποίησης στον αλγόριθμο στον αριθμό των "επεισοδίων"

Στο διάστημα 50 – 70, επιλέγεται να εξεταστεί ο σταθμός 27,750MW για λειτουργία χωρίς πρόγνωση, ο σταθμός 31,125MW για λειτουργία με πρόγνωση 2 ημερών και ο σταθμός 31,875MW για λειτουργία με πρόγνωση 3 και 5 ημερών.

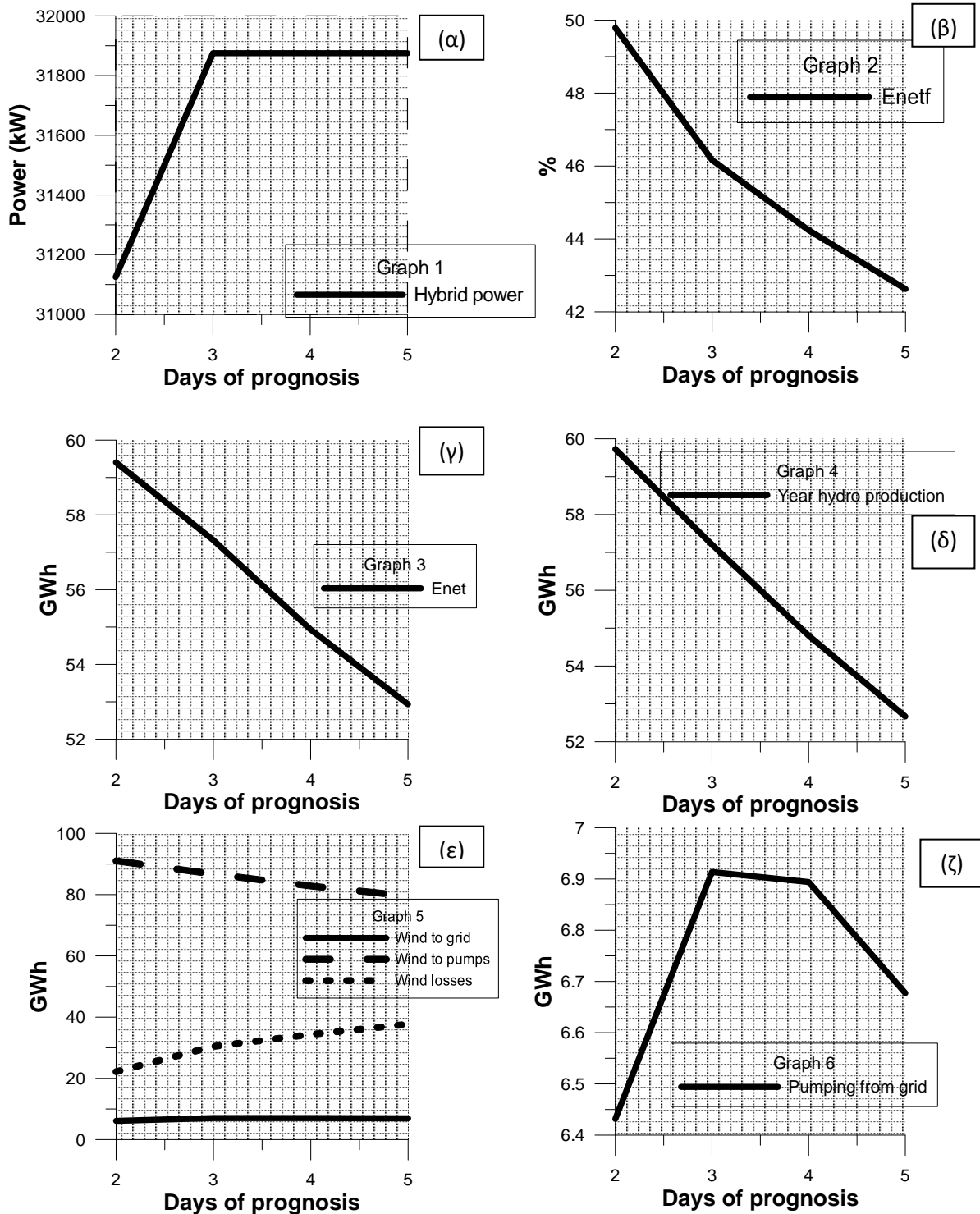
Στη συνέχεια ακολουθεί απεικόνιση σε διαγράμματα και συγκριτικός πίνακας αποτελεσμάτων για τα σημαντικότερα μεγέθη των 4 αυτών σταθμών. Με βάση τα στοιχεία αυτά μπορούν να γίνουν οι εξής παρατηρήσεις:

- Παρά την αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος και στις 3 περιπτώσεις με χρήση πρόγνωσης, αύξηση της αποδιδόμενης ενέργειας στο δίκτυο έχουμε μόνο στο σταθμό των 31,125MW και στο σταθμό των 31,875MW με πρόβλεψη 3 ημερών. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας των περιορισμών στην προσφορά ισχύος που θέτει η δήλωση φορτίου. Με την τροποποίηση γίνεται δυνατή η άντληση εκ των προτέρων για την κάλυψη των "επεισοδίων" των επομένων ημερών, περιορίζεται όμως η ενέργεια που μπορεί να αποδοθεί στο δίκτυο την ίδια μέρα, χάνεται δηλαδή η δυνατότητα να εκμεταλλευτούμε σημαντική αιολική παραγωγή είτε μέσω άντλησης είτε με απευθείας απόδοση στο δίκτυο.
- Η ετήσια παραγωγή των μονάδων βάσης εξαρτάται αποκλειστικά από το μερίδιο της ζήτησης που καλύπτει ο Υ.Β.Σ. Το στοιχείο αυτό είναι και σύμφωνα και με την προτεραιότητα ένταξης και φόρτισης που δίνεται στο σταθμό. Αντίθετα η παραγωγή των εξωτερικών Α/Π παραμένει ανεπηρέαστη, που είναι και ένα από τα ζητούμενα της νέας πολιτικής διαχείρισης.
- Η αύξηση του μεγέθους του σταθμού, αυξάνει και την αιολική ενέργεια που διοχετεύεται απευθείας στο δίκτυο κατά 40% (wind to grid) (4.4.ε). Η αύξηση του ποσοστού αυτού εξηγεί και την αυξημένη παροχή ενέργειας του σταθμού στο δίκτυο, στις περιπτώσεις που συμβαίνει αυτό. Από τον πίνακα φαίνεται η πτώση της υδροστροβλικής παραγωγής (year hydro production) (4.4.δ), η οποία όμως υπερκαλύπτεται από την ενέργεια του Α/Π απευθείας στο δίκτυο.
- Το ποσό ενέργειας που διοχετεύεται από το Α/Π απευθείας στις αντλίες (wind to pumps) παραμένει υψηλό, λόγω του σεναρίου λειτουργίας. Μετά την παρέμβαση ωστόσο οι απώλειες αυξάνονται κατά 11% με σημαντική ανοδική τάση για μεγαλύτερα μεγέθη σταθμού (4.4.ε). Το στοιχείο αυτό οφείλεται στην αλλαγή της λογικής με την οποία λειτουργεί και αποθηκεύει ενέργεια το σύστημα. Πριν την τροποποίηση, με βάση την ενέργεια του ταμιευτήρα, ο Υ.Β.Σ έκανε τη μέγιστη δυνατή προσφορά ενέργειας με στόχο την μεγαλύτερη δυνατή εκμετάλλευση των αποθεμάτων του την τρέχουσα μέρα. Στη λογική αυτή, η άντληση στις ώρες χαμηλής ζήτησης λύνει το πρόβλημα της έλλειψης ισχύος μέσω της αποθήκευσης, ωστόσο το γέμισμα του ταμιευτήρα είχε ως αποτέλεσμα μεγάλα ποσά αιολικής ενέργειας να απορρίπτονται λόγω έλλειψης μεγαλύτερης αποθηκευτικής ικανότητας. Μετά την τροποποίηση, ο σταθμός πρέπει να λάβει υπόψη του την ανάγκη αποθήκευσης για την κάλυψη της ζήτησης επομένων ημερών. Άρα είναι απαραίτητη η αλλαγή της αναλογίας μεταξύ της εγκατεστημένης ισχύος και του μεγέθους του ταμιευτήρα.
- Η άντληση από το δίκτυο (pumping from the grid) (4.4.ζ) αυξάνεται κατά 55 με 60%. Η αύξηση αυτή παρότι είναι προγραμματισμένη και αναμενόμενη, επηρεάζει αρνητικά το ενεργειακό ισοζύγιο του σταθμού και τον τελικό ολικό βαθμό απόδοσης (4.4.β). Ειδικά ο τελευταίος μειώνεται σε ποσοστό 6% στην καλύτερη περίπτωση (σταθμός με πρόγνωση 2 ημερών). Αιτία της πτώσης αυτή είναι ο ίδιος ο ορισμός του βαθμού απόδοσης, ο οποίος ορίζεται σαν το πηλίκο του ενεργειακού ισοζυγίου προς την συνολική ενέργεια του Α/Π. Μετά την παρέμβαση, η αύξηση της ισχύος του σταθμού οδηγεί σε ανάλογη αύξηση του μεγέθους του Α/Π και επομένως και της προσφερόμενης από ΑΠΕ ενέργειας. Το στοιχείο αυτό σε συνδυασμό με την πτώση του ενεργειακού ισοζυγίου οδηγεί σε μη ικανοποιητικούς βαθμούς απόδοσης της εγκατάστασης.

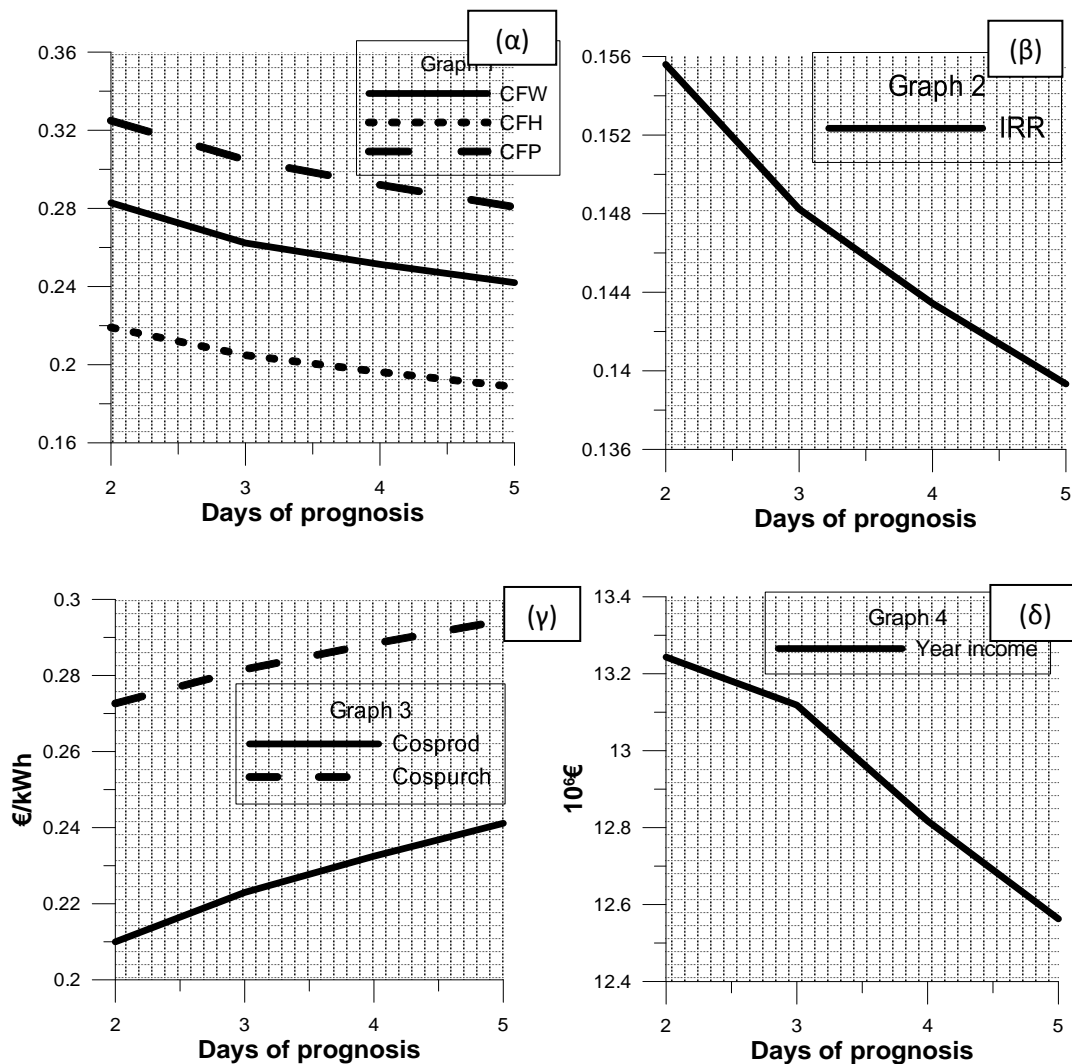
- Οι βαθμοί αξιοποίησης του Α/Π, των υδροστροβίλων και των αντλιών έχουν μειωθεί μετά την τροποποίηση (4.5.α). Ο CF του Α/Π πέφτει, αφού έχει μειωθεί η συνολική αιολική ενέργεια που εκμεταλλεύεται ο σταθμός. Ομοίως μείωση της υδροστροβλικής παραγωγής σημαίνει και αντίστοιχη μείωση του CF των υδροστροβίλων. Τέλος, η αύξηση της ενέργειας άντλησης από το δίκτυο δεν μπορεί να ισοσκελίσει τη μεγάλη μείωση της ενέργειας άντλησης από το Α/Π και επομένως παρατηρείται και μείωση του CF του αντλιοστασίου.
- Τα οικονομικά αποτελέσματα του κώδικα συμφωνούν σε μεγάλο βαθμό με μελέτες και παρατηρήσεις που έχουν γίνει σε αντίστοιχες εγκαταστάσεις (4.5.β,γ,δ). Οι Υ.Β.Σ αποτελούν σταθμούς υψηλού κόστους εγκατάστασης, τάξης εκατοντάδων εκατομμυρίων €, το οποίο αυξάνεται ανάλογα με το μέγεθος. Σαν επένδυση όμως, αποδίδουν σημαντικά ετήσια κέρδη (Year income) και παρουσιάζουν χρόνο αποπληρωμής κάτω από 10 χρόνια. Έχοντας σαν κριτήριο οικονομικής απόδοσης, τον εσωτερικό συντελεστή IRR, παρατηρείται ότι από τους 4 σταθμούς μεγαλύτερο συντελεστή έχει ο σταθμός που λειτουργεί χωρίς πρόβλεψη και ακολουθεί ο σταθμός με την πρόγνωση των 2 ημερών. Τα αποτελέσματα αυτά βρίσκονται σε πλήρη συμφωνία με τα αποτελέσματα παραμετρικών μελετών που έχουν γίνει και αφορούν στην επίδραση της εγκατεστημένης ισχύος του σταθμού στα οικονομικά του αποτελέσματα. (Μωραΐτης Γ., Αθήνα, 2011). Οι συγκεκριμένες παραμετροποιήσεις έχουν δείξει ότι βέλτιστη οικονομική απόδοση παρουσιάζουν σταθμοί μικρού μεγέθους, καθώς με αύξηση της ισχύος αυξάνεται το κόστος εγκατάστασης του υδροστροβλικού τμήματος ανεβάζοντας και το συνολικό κόστος.

ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΕΝΑΡΙΟΥ 1 (ΑΠΟΔΕΚΤΑ ΕΠΕΙΣΟΔΙΑ 50 - 70)						
Α/Α	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ				ΜΟΝΑΔΕΣ
		ΧΩΡΙΣ ΠΡΟΒΛΕΨΗ	2 ΗΜΕΡΩΝ	3 ΗΜΕΡΩΝ	5 ΗΜΕΡΩΝ	
1	Ισχύς σταθμού	27,750	31,125	31,875	31,875	MW
2	Ετήσιο φορτίο νησιού	369,243	369,243	369,243	369,243	GWh
3	Ετήσια παραγωγή μονάδων βάσης	269,109	267,002	268,573	273,200	GWh
4	Ετήσια παραγωγή ΥΒΣ	63,835	65,942	64,371	59,744	GWh
5	Ετήσια παραγωγή εξωτερικών Α/Π	36,298	36,298	36,298	36,298	GWh
6	Ετήσια παραγωγή υδροστροβίλων	59,778	59,72	57,206	52,667	GWh
7	Ετήσια παραγωγή Α/Π ΥΒΣ	107,134	119,309	124,178	124,179	GWh
8	Αιολική ενέργεια στο δίκτυο	3,952	6,110	7,032	6,945	GWh
9	Αιολική ενέργεια για άντληση	93,814	91,020	86,714	79,548	GWh
10	Απώλειες αιολικής ενέργειας	9,366	22,180	30,431	37,686	GWh
11	Ετήσια άντληση από το δίκτυο	3,627	6,432	6,913	6,677	GWh
12	Ενεργειακό ισοζύγιο ΥΒΣ	60,105	59,405	57,325	52,935	GWh
13	Αριθμός επεισοδίων	70	56	62	62	
14	10λεπτα γεμάτου ταμιευτήρα	2570	6543	8635	11140	
15	10λεπτα άδειου ταμιευτήρα	72	58	63	63	
16	Ποσοστό αιολικής ενέργειας στο δίκτυο	4%	5%	5,6%	5,6%	
17	Ποσοστό αιολικής ενέργειας για άντληση	88%	76%	69,8%	64%	
18	Ποσοστό απορριπτόμενης αιολικής ενέργειας	8%	19%	24,5%	30,3%	
19	Capacity factor του Α/Π	0,323	0,282	0,262	0,242	
20	Capacity factor των υδροστροβίλων	0,256	0,219	0,204	0,189	
21	Capacity factor των αντλιών	0,361	0,325	0,304	0,280	
22	Ολικός βαθμός απόδοσης σταθμού	56%	50%	46%	42%	
23	Ποσοστό κάλυψης από μονάδες βάσης	73%	72%	73%	74%	
24	Ποσοστό κάλυψης από ΥΒΣ	17%	18%	17%	16%	
25	Ποσοστό κάλυψης από εξωτερικά Α/Π	10%	10%	10%	10%	
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ						
1	Κόστος επένδυσης	90,588	96,662	98,982	98,982	Mil. Euros
2	Κόστος λειτουργίας	2,402	2,628	2,699	2,683	Mil. Euros
3	Ετήσια κέρδη	12,682	13,243	13,118	12,563	Mil. Euros
4	Κόστος παραγόμενης ενέργειας	0,193	0,209	0,222	0,241	€/kWh
5	Κόστος αγοράς ενέργειας	0,257	0,272	0,281	0,294	€/kWh
6	Ετήσια έσοδα προς το κόστος εγκατάστασης	0,140	0,137	0,132	0,127	
7	Καθαρή παρούσα αξία NPV	0,425	0,391	0,349	0,300	
8	Εσωτερικός συντελεστής απόδοσης	0,162	0,155	0,148	0,139	
9	Χρόνος αποπληρωμής	8,602	8,991	9,525	10,255	Έτη

Πίνακας 4.1: Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων σεναρίου 1



Διάγραμμα 4.4: Γραφική απεικόνιση των σημαντικότερων ενεργειακών μεγεθών και δεικτών Υ.Β.Σ, συναρτήσει των ημερών συνυπολογισμού αιολικής παραγωγής.

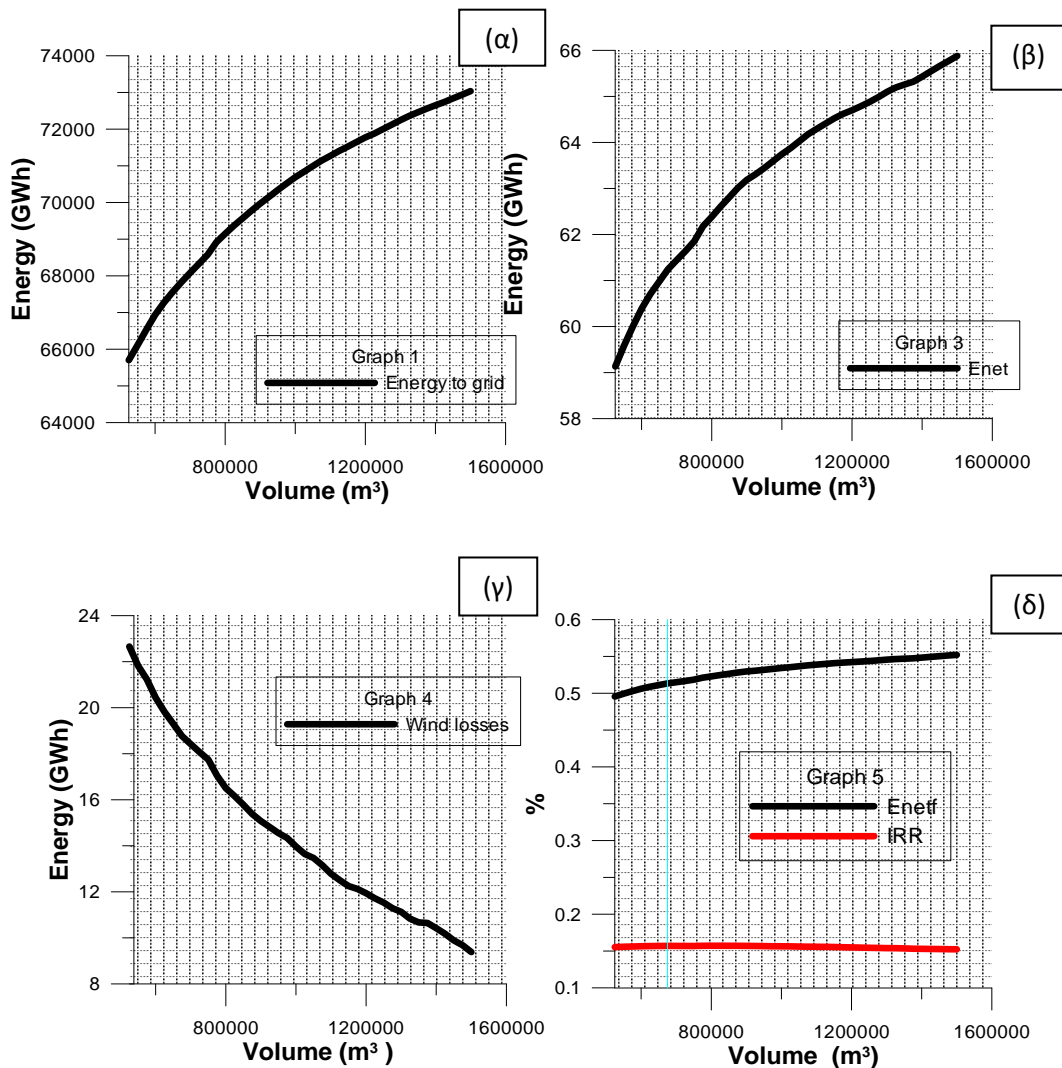


Διάγραμμα 4.5: Γραφική απεικόνιση των σημαντικότερων ενεργειακών - οικονομικών μεγεθών και δεικτών Υ.Β.Σ, συναρτήσεσι των ημερών συνυπολογισμού αιολικής παραγωγής.

Με βάση τα αποτελέσματα του παραπάνω πίνακα, και ειδικότερα την αύξηση των απωλειών της αιολικής ενέργειας, πραγματοποιήθηκε παραμετρική μελέτη της επίδρασης του μεγέθους του ταμιευτήρα στη λειτουργία του σταθμού. Μέχρι τώρα, η χρήση συγκεκριμένης αναλογίας μεταξύ εγκατεστημένου ισχύος και όγκου ταμιευτήρα μαζί με τους περιορισμούς που έθετε στις προσφορές ενέργειας ή άντληση από το δίκτυο, είχαν ως αποτέλεσμα την απόρριψη σημαντικών ποσών ενέργειας.

Στο σταθμό των 31,125MW, μελετήθηκαν τα αποτελέσματα για ένα εύρος ταμιευτήρα από 525000m³ έως 1500000m³. Όπως φαίνεται και στα παρακάτω διαγράμματα όλα τα ενεργειακά μεγέθη και δείκτες βελτιώθηκαν αισθητά. Το μερίδιο του Υ.Β.Σ στο ηλεκτρικό δίκτυο αυξάνεται και έχει και περιθώρια για ακόμα μεγαλύτερες τιμές (energy to grid) (4.6.α). Ο σταθμός, έχοντας μεγαλύτερο ταμιευτήρα, είναι σε θέση να εκμεταλλευτεί ποσά ενέργειας από το Α/Π τα οποία μέχρι τώρα δεν μπορούσαν να αξιοποιηθούν και να κάνει μεγαλύτερες προσφορές ενέργειας. Η αξιοποίηση αυτής της ενέργειας σημαίνει και μείωση των αιολικών απωλειών (wind losses) (4.6.γ) και αύξηση του ενεργειακού ισοζυγίου του σταθμού (E_{net}) (4.6.β). Η άντληση από το δίκτυο παραμένει σταθερά στις ίδιες τιμές, οπότε μεγαλύτερη αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας έχει θετική επίδραση στο ισοζύγιο. Στο τελευταίο διάγραμμα, έχουν σχεδιαστεί μαζί οι δείκτες

ενεργειακής και οικονομικής απόδοσης (4.6.δ). Ο ολικός βαθμός απόδοσης του σταθμού αυξάνεται ανάλογα με τον ταμιευτήρα και προσεγγίζει ικανοποιητικές τιμές (55%) με αυξητική στάση (Eneft). Ο δείκτης IRR μεγιστοποιείται για όγκο ταμιευτήρα 675000m³.

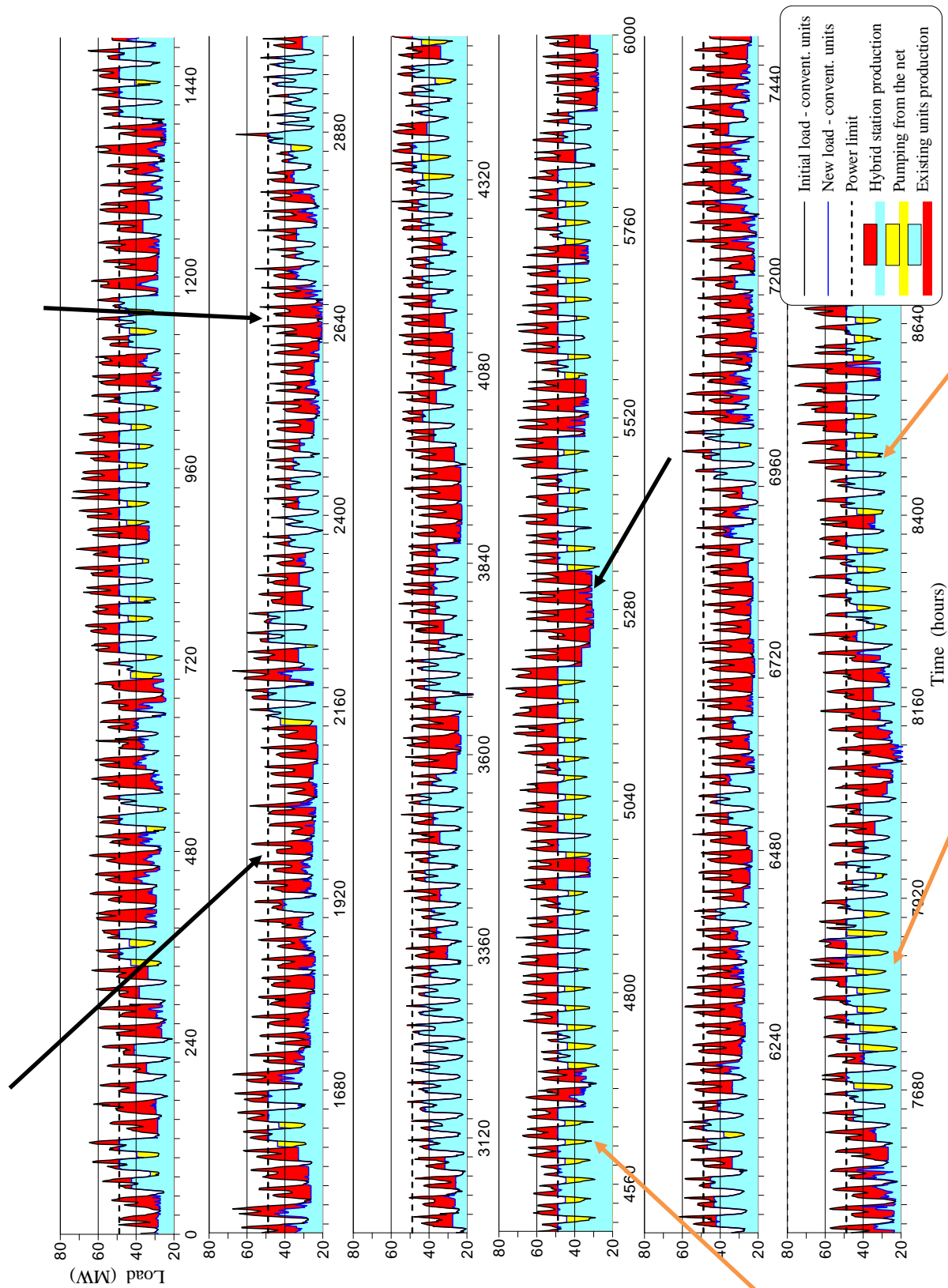


Διάγραμμα 4.6: Γραφικές παραστάσεις παραμετρικής μελέτης της επίδρασης του όγκου του ταμιευτήρα στα αποτελέσματα του σταθμού των 31,125MW

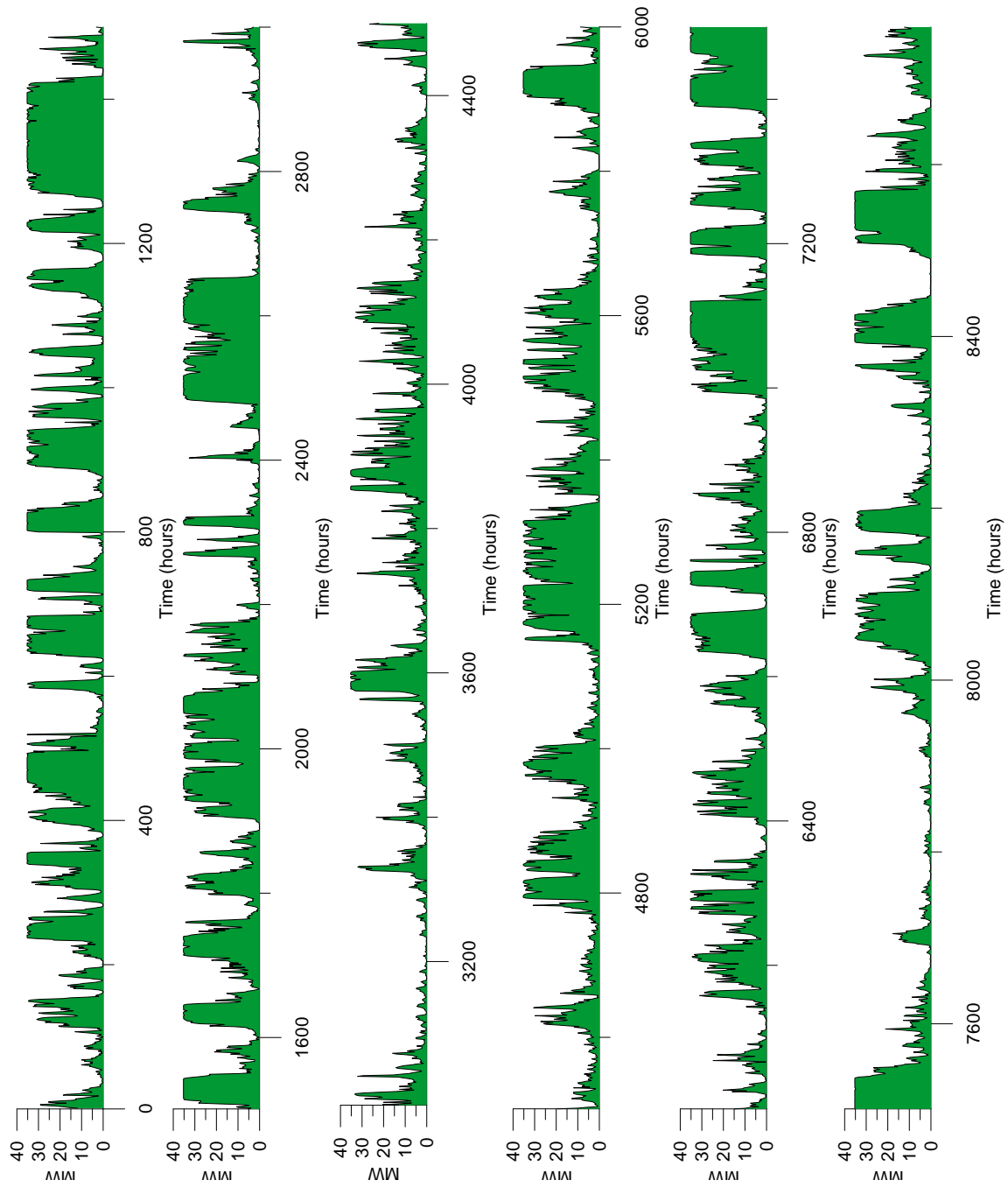
Ο σταθμός με χαρακτηριστικά, ισχύ 31,125MW και ταμιευτήρα 675000m³, αποτελεί την καλύτερη λύση, ενεργειακά και οικονομικά. Ο παρακάτω πίνακας και τα διαγράμματα που ακολουθούν δίνουν μια λεπτομερή εικόνα της λειτουργίας του και της λειτουργίας του δικτύου μετά την ένταξή του σε αυτό.

ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΣΤΑΘΜΟΥ 31,125MW			
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ			
A/A	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΤΙΜΗ	ΜΟΝΑΔΕΣ
1	Ισχύς σταθμού	31,125	MW
2	Ετήσιο φορτίο νησιού	369,243	GWh
3	Ετήσια παραγωγή μονάδων βάσης	265,117	GWh
4	Ετήσια παραγωγή ΥΒΣ	67,827	GWh
5	Ετήσια παραγωγή εξωτερικών Α/Π	36,298	GWh
6	Ετήσια παραγωγή υδροστροβίλων	62,581	GWh
7	Ετήσια παραγωγή Α/Π ΥΒΣ	119,309	GWh
8	Αιολική ενέργεια στο δίκτυο	5,217	GWh
9	Αιολική ενέργεια για άντληση	95,322	GWh
10	Απώλειες αιολικής ενέργειας	18,77	GWh
11	Ετήσια άντληση από το δίκτυο	6,555	GWh
12	Ενεργειακό ισοζύγιο ΥΒΣ	61,243	GWh
13	Αριθμός επεισοδίων	21	
14	10λεπτα γεμάτου ταμιευτήρα	5522	
15	10λεπτα άδειου ταμιευτήρα	23	
16	Ποσοστό αιολικής ενέργειας στο δίκτυο	4%	
17	Ποσοστό αιολικής ενέργειας για άντληση	80%	
18	Ποσοστό απορριπτόμενης αιολικής ενέργειας	16%	
19	Capacity factor του Α/Π	0,293	
20	Capacity factor των υδροστροβίλων	0,223	
21	Capacity factor των αντλιών	0,340	
22	Ολικός βαθμός απόδοσης σταθμού	51,33%	
23	Ποσοστό κάλυψης από μονάδες βάσης	72%	
24	Ποσοστό κάλυψης από ΥΒΣ	18%	
25	Ποσοστό κάλυψης από εξωτερικά Α/Π	10%	
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ			
1	Κόστος επένδυσης	98,085	MIL.€
2	Κόστος λειτουργίας	2,641	MIL.€
3	Ετήσια κέρδη	13,495	MIL.€
4	Κόστος παραγόμενης ενέργειας	0,206	€/kWh
5	Κόστος αγοράς ενέργειας	0,269	€/kWh
6	Ετήσια έσοδα προς το κόστος εγκατάστασης	0,138	
7	Καθαρή παρούσα αξία NPV	0,399	
8	Εσωτερικός συντελεστής απόδοσης	0,157	
9	Χρόνος αποπληρωμής	8,900	ΕΤΗ

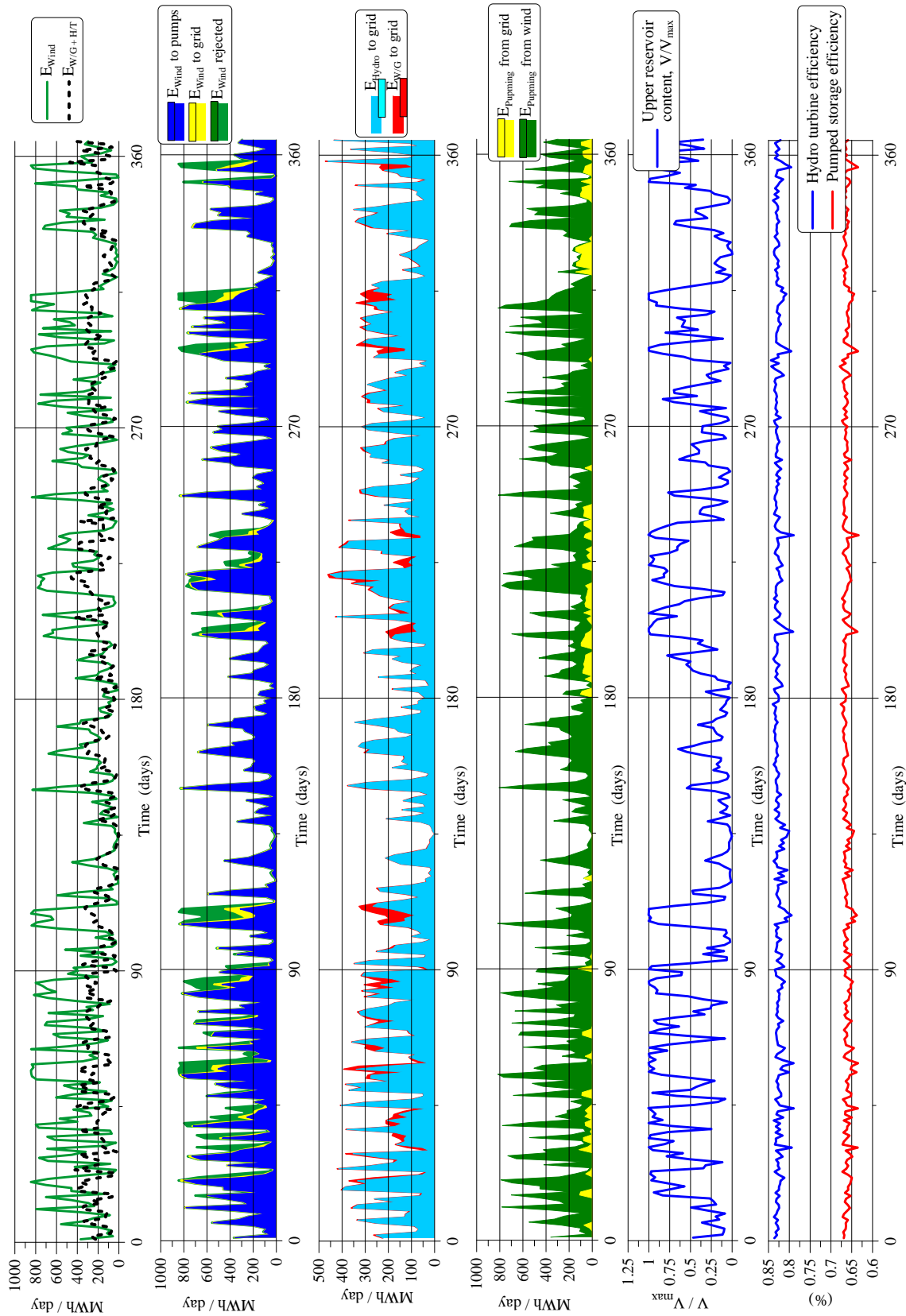
Πίνακας 4.2: Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων σταθμού 31,125MW



Διάγραμμα 4.7: Η κάλυψη της ζήτησης του δικτύου της Λέσβου από το σύνολο των ηλεκτροπαραγωγικών μονάδων (μονάδες βάσης, Υ.Β.Σ, εξωτερικά Α/Π) μετά την ένταξη του Υ.Β.Σ



Διάγραμμα 4.8: Η παραγωγή του Α/Π του σταθμού για το σύνολο των ωρών μέσα στο έτος



Εικόνα 4.9: Η εσωτερική λειτουργία του σταθμού μέσα στο έτος

Στο διάγραμμα 4.7, φαίνεται η επίδραση της ένταξης ενός Υ.Β.Σ σημαντικής ισχύος στο αυτόνομο ηλεκτρικό σύστημα της Λέσβου. Ο σταθμός όποτε του έχει ζητηθεί, μπορεί να καλύψει την εγγυημένη ενέργεια με τη γραμμή εγγυημένης ισχύος να ορίζεται στα 48,875MW. Εκτός της εγγυημένης ισχύος, σε περιόδους στις οποίες μπορεί να εκμεταλλευτεί υψηλή αιολική παραγωγή, κάνει προσφορές ενέργειας οι οποίες καλύπτουν το μεγαλύτερο ποσοστό του φορτίου της μέρας, αποτρέποντας την ένταξη και φόρτιση μονάδων βάσης. Τέτοιες περιοδοί είναι οι ώρες 1920 – 2135, 2525 – 2690, 3865 – 3965, 7010 – 7020.

Σε ότι αφορά την τροποποίηση του αλγόριθμου, οι επιπτώσεις της είναι φανερές σε αρκετά σημεία του διαγράμματος. Κατά τις ώρες 885 – 1030, 4510 – 4800, 7680 – 7895, ο Υ.Β.Σ προβαίνει σε εκτεταμένη άντληση κατά τις ώρες χαμηλής ζήτησης με στόχο να καλύψει επόμενες μέρες με προβληματικό ενεργειακό ισοζύγιο. Συνήθως, κατά τις μέρες αυτές παρατηρείται ο συνδυασμός σχετικά υψηλής ή υψηλής ζήτησης και μειωμένης αιολικής παραγωγής. Ο συνδυασμός αυτός μειώνει τα αποθέματα του ταμιευτήρα και διακόπτει τη λειτουργία της βασικής συνιστώσας του σταθμού, των υδροστροβίλων. Το αρνητικό της συγκεκριμένης παρέμβασης είναι η εμφάνιση υψηλών φορτίων τις βραδινές ώρες.

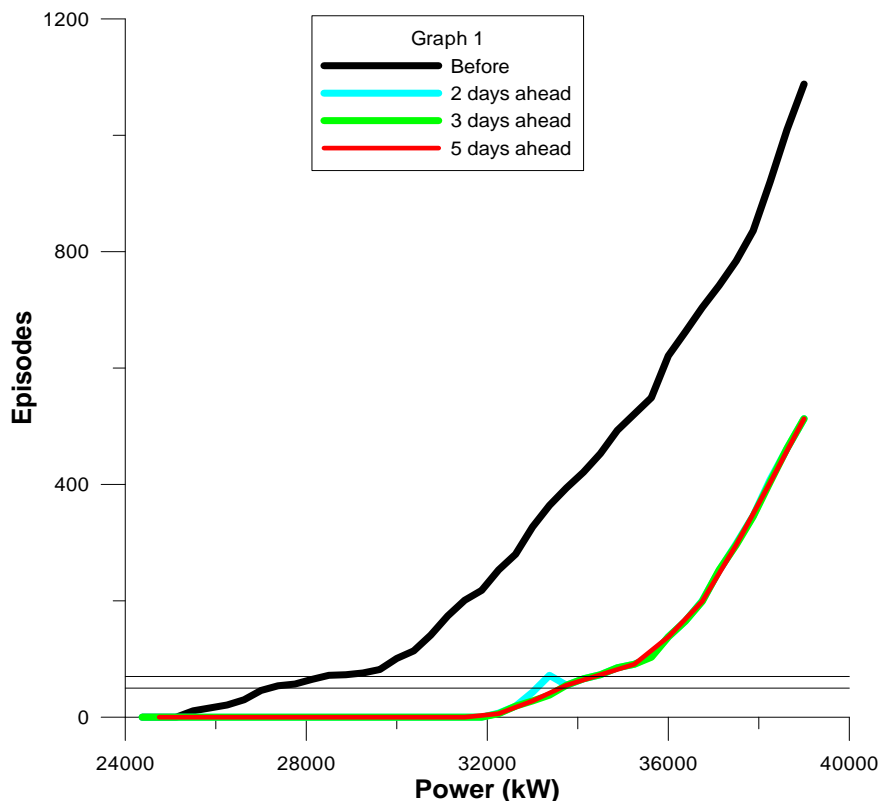
Το διάγραμμα 4.8, αποτυπώνει στοιχεία της εσωτερικής λειτουργίας του σταθμού και την εξάρτηση που παρατηρείται μεταξύ βασικών μεγεθών.

- Η ενέργεια που αποδίδει ο Υ.Β.Σ ακολουθεί τις μεταβολές της παραγωγής του Α/Π. Αυτό οφείλεται στην άμεση σχέση των μεγεθών της αιολικής παραγωγής, της ενέργειας άντλησης και της προσφοράς ενέργειας. Βασική πηγή για την άντληση αποτελεί το Α/Π, επομένως είναι λογικό σε περιόδους μεγάλης αιολικής παραγωγής, να αυξάνονται τα αποθέματα του ταμιευτήρα και να δίνεται η δυνατότητα στον παραγωγό για μεγάλες προσφορές ενέργειας. Σε συγκεκριμένες περιόδους η παραγωγή του ανέμου μπορεί να αξιοποιηθεί σε μεγάλο βαθμό.
- Η κατανομή της αιολικής παραγωγής επαληθεύει πλήρως το σενάριο λειτουργίας. Το μεγαλύτερο ποσοστό διοχετεύεται στις αντλίες (80%), ένα μικρό ποσοστό στο δίκτυο (4%) και το υπόλοιπο 16% δεν μπορεί να αξιοποιηθεί.
- Το μεγαλύτερο ποσοστό της ενέργειας που αποδίδεται στο δίκτυο προέρχεται από τους υδροστροβίλους και ένα πολύ μικρό κομμάτι διοχετεύεται απευθείας από το Α/Π. Αυτό συμβαίνει πρώτον γιατί οι υδροστροβίλοι σαν βασική μονάδα παραγωγής του σταθμού είναι και υπεύθυνοι για την κάλυψη του μεγαλύτερου μέρους της ζήτησης και δεύτερον γιατί η αιολική ενέργεια έχει να αντιμετωπίσει και τους περιορισμούς διείσδυσης.
- Στο διάγραμμα που αφορά την άντληση φαίνεται η κατανομή της ενέργειας άντλησης. Το ποσοστό της άντλησης από το δίκτυο είναι σημαντικό, περίπου 6,5GWh, πάραυτα ουσιαστικά η άντληση πραγματοποιείται με την ενέργεια του Α/Π.
- Η στάθμη του ταμιευτήρα ακολουθεί τις διακυμάνσεις της αιολικής παραγωγής. Μέσα στο χρόνο η στάθμη παραμένει σε υψηλά επίπεδα λόγω της αυξημένης άντλησης, η οποία οφείλεται στις ανάγκες που δημιουργεί το μεγάλο μέγεθος του σταθμού και στη διαδικασία της έκτακτης άντλησης. Σε διαστήματα χαμηλών ταχυτήτων ανέμου παρατηρείται σημαντική πτώση της στάθμης.

- Ο βαθμός απόδοσης της υδροστροβλικής παραγωγής παραμένει στο επίπεδο του 78 με 82% σε όλη τη διάρκεια του έτους και αντίστοιχα σταθερός στο 62 με 65% παραμένει και ο ολικός βαθμός απόδοσης της αντλησιοταμίευσης.

4.3.2. Σενάριο 2^ο: Προώθηση της αιολικής παραγωγής κατά προτεραιότητα στο δίκτυο

Για το σενάριο 2, ακολουθήθηκε μια αντίστοιχη διαδικασία. Ειδικότερα εντοπίζονται και πάλι οι σταθμοί οι οποίοι κατά τη λειτουργία τους, χωρίς και με πρόγνωση, παρουσιάζουν 50 με 70 “επεισόδια”.



Διάγραμμα 4.10 : Η επίδραση της τροποποίησης στον αλγόριθμο στον αριθμό των “επεισοδίων”

Στο όριο των 50 – 70 “επεισοδίων”, επιλέγονται ο σταθμός των 27,750MW χωρίς πρόγνωση και ο σταθμός των 34,125MW για 2, 3, 5 ημέρες πρόγνωσης. Αν και η ισχύς του παραμένει η ίδια, η αλλαγή των ημερών συνυπολογισμού επηρεάζει σημαντικά τα αποτελέσματα της προσομοίωσης του σταθμού.

Ακολουθεί συγκεντρωτικός πίνακας και γραφική απεικόνιση των βασικών ενεργειακών και οικονομικών μεγεθών και των τεσσάρων σταθμών.

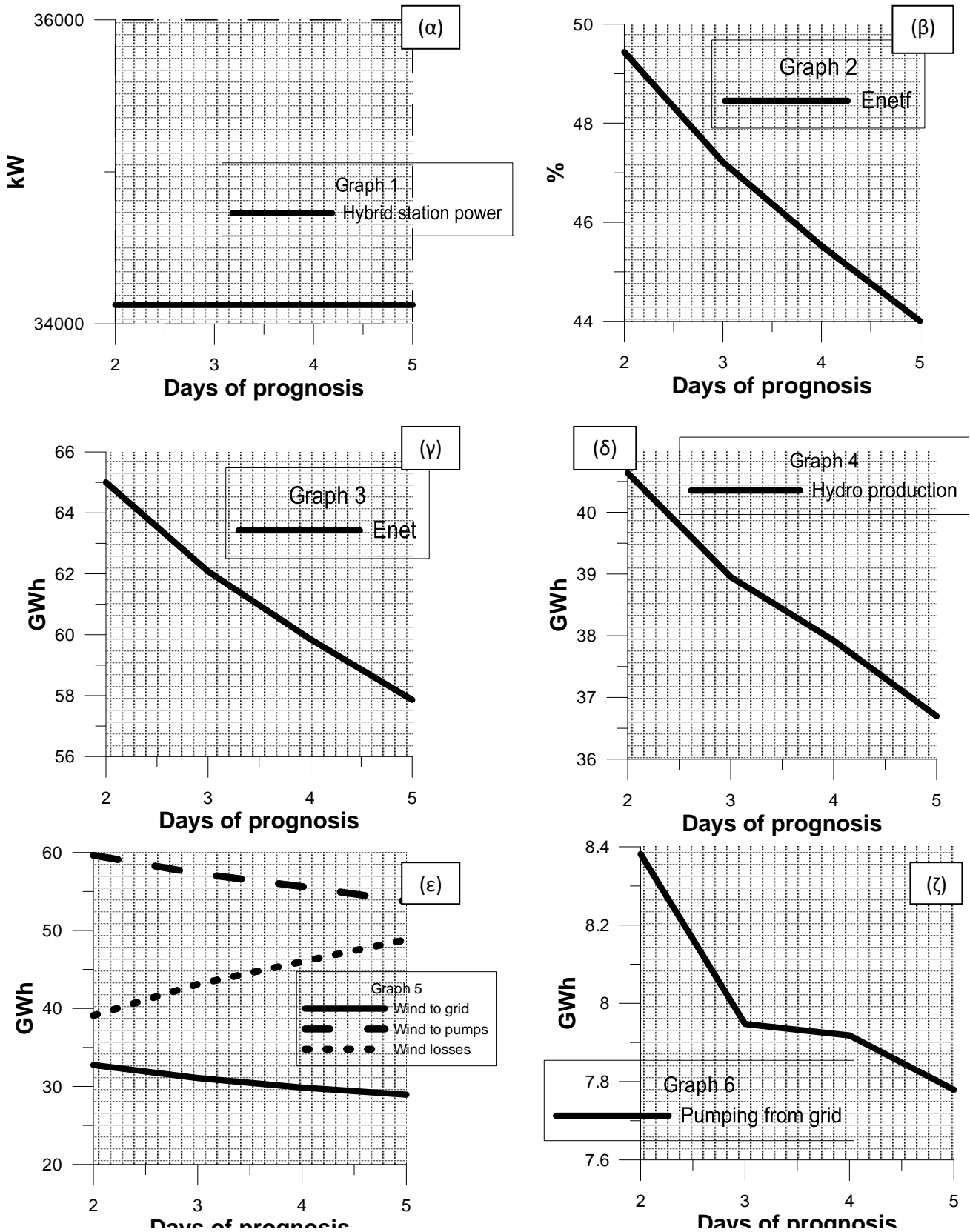
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΣΕΝΑΡΙΟΥ 2 (ΑΠΟΔΕΚΤΑ ΕΠΕΙΣΟΔΙΑ 50 - 70)						
Α/Α	ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ					
	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΧΩΡΙΣ ΠΡΟΒΛΕΨΗ	2 ΗΜΕΡΩΝ	3 ΗΜΕΡΩΝ	5 ΗΜΕΡΩΝ	ΜΟΝΑΔΕΣ
1	Ισχύς σταθμού	27,750	34,125	34,125	34,125	MW
2	Ετήσιο φορτίο νησιού	369,243	369,243	369,243	369,243	GWh
3	Ετήσια παραγωγή μονάδων βάσης	262,151	259,398	262,750	267,139	GWh
4	Ετήσια παραγωγή ΥΒΣ	70,794	73,546	70,193	65,085	GWh
5	Ετήσια παραγωγή εξωτερικών Α/Π	36,298	36,298	36,298	36,298	GWh
6	Ετήσια παραγωγή υδροστροβίλων	37,809	40,636	38,954	36,695	GWh
7	Ετήσια παραγωγή Α/Π ΥΒΣ	107,134	131,483	131,483	131,483	GWh
8	Αιολική ενέργεια στο δίκτυο	32,896	32,745	31,075	28,945	GWh
9	Αιολική ενέργεια για άντληση	59,882	59,652	57,332	53,745	GWh
10	Απώλειες αιολικής ενέργειας	14,355	39,086	43,077	48,790	GWh
11	Ετήσια άντληση από το δίκτυο	3,03	8,367	7,921	7,753	GWh
12	Ενεργειακό ισοζύγιο ΥΒΣ	67,676	65,015	62,108	57,888	GWh
13	Αριθμός επεισοδίων	57	66	66	66	
14	10λεπτα γεμάτου ταμιευτήρα	4953	12121	13565	15607	
15	10λεπτα άδειου ταμιευτήρα	59	66	67	67	
16	Ποσοστό αιολικής ενέργειας στο δίκτυο	30%	25%	24%	22%	
17	Ποσοστό αιολικής ενέργειας για άντληση	55%	45%	44%	40%	
18	Ποσοστό απορριπτόμενης αιολικής ενέργειας	15%	30%	32%	38%	
19	Capacity factor του Α/Π	0,301	0,244	0,233	0,219	
20	Capacity factor των υδροστροβίλων	0,155	0,136	0,130	0,123	
21	Capacity factor των αντλιών	0,235	0,207	0,198	0,187	
22	Ολικός βαθμός απόδοσης σταθμού	63%	50%	47%	44%	
23	Ποσοστό κάλυψης από μονάδες βάσης	73%	70%	71%	72%	
24	Ποσοστό κάλυψης από ΥΒΣ	17%	20%	19%	18%	
25	Ποσοστό κάλυψης από εξωτερικά Α/Π	10%	10%	10%	10%	
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ						
1	Κόστος επένδυσης	90,588	102,668	102,668	102,668	Mil. €
2	Κόστος λειτουργίας	2,409	2,852	2,842	2,827	Mil. €
3	Ετήσια κέρδη	12,902	13,911	13,576	13,096	Mil. €
4	Κόστος παραγόμενης ενέργειας	0,172	0,205	0,214	0,230	€/kWh
5	Κόστος αγοράς ενέργειας	0,232	0,262	0,269	0,280	€/kWh
6	Ετήσια έσοδα προς το κόστος εγκατάστασης	0,142	0,135	0,132	0,128	
7	Καθαρή παρούσα αξία NPV	0,425	0,371	0,343	0,301	
8	Εσωτερικός συντελεστής απόδοσης	0,162	0,152	0,147	0,140	
9	Χρόνος αποπληρωμής	8,602	9,234	9,62	10,230	Έτη

Πίνακας 4.3: Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων σεναρίου 2

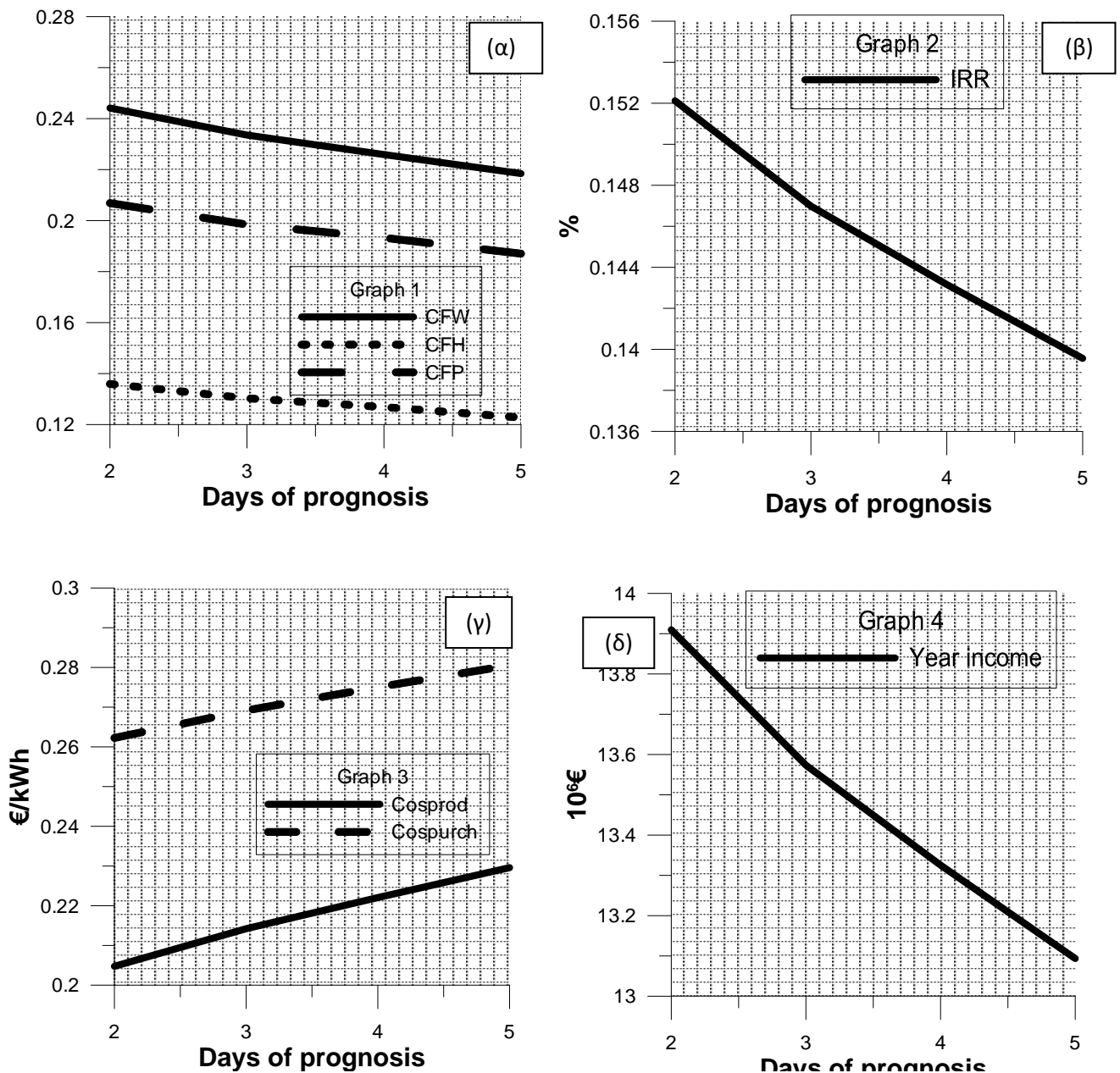
Μπορούν να σχολιαστούν τα παρακάτω:

- Η μεγάλη αύξηση της ισχύος (+6,375MW), δε συνοδεύτηκε από αύξηση της αποδιδόμενης στο δίκτυο ενέργειας παρά μόνο στην περίπτωση του σταθμού που χρησιμοποιεί πρόγνωση 2 ημερών. Και στη συγκεκριμένη περίπτωση, η ενέργεια που προστέθηκε είναι μικρή σε σχέση με την αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος. Στις άλλες δύο περιπτώσεις, όχι μόνο δεν αυξήθηκε αλλά μειώθηκε. Το φαινόμενο αυτό όπως και στο σενάριο 1, οφείλεται κυρίως στους περιορισμούς που ακολουθούν μια δήλωση φορτίου. Ο σχεδιασμός και τα μέσα που χρησιμοποιούνται για την κάλυψη μελλοντικής ζήτησης, μειώνουν την προσφορά ενέργειας που μπορεί να γίνει την τρέχουσα στιγμή.
- Η παραγωγή των μονάδων βάσης του νησιού εξαρτάται απόλυτα από την παραγωγή του Υ.Β.Σ, ενώ τα εξωτερικά Α/Π μένουν ανεπηρέαστα.

- Η αποδιδόμενη ενέργεια του σταθμού στο δίκτυο προέρχεται κατά 53% από τους υδροστροβίλους και το υπόλοιπο 47% από το Α/Π. Τα ποσοστά αυτά διατηρούνται και μετά την τροποποίηση με μικρές αποκλίσεις. Η αλλαγή σεναρίου είχε σαν αποτέλεσμα την αύξηση κατά 500%, σε σχέση με το σενάριο 1, της αιολικής ενέργειας απευθείας στο δίκτυο. Ωστόσο και με αυτή την επιλογή λειτουργίας, το μεγαλύτερο κομμάτι της ενέργειας του Α/Π αξιοποιείται από τις αντλίες. Τα τελικά ποσοστά είναι 30% αιολική στο δίκτυο, 55% στις αντλίες και απορρίπτεται το 15%. Τα ποσοστά αυτά αλλάζουν μετά την τροποποίηση εξαιτίας του διπλασιασμού των απωλειών (30%) στην καλύτερη περίπτωση (πρόγνωση 2 ημερών).
- Το κομμάτι της απορριπτόμενης αιολικής παραγωγής, παρά την αλλαγή σεναρίου, σχετίζεται και πάλι με τον όγκο του ταμιευτήρα και τη λογική με την οποία αποδίδει ενέργεια ο Υ.Β.Σ (4.11.ε). Το γέμισμα του ταμιευτήρα με ενέργεια από το δίκτυο για την κάλυψη μελλοντικής ζήτησης, δεν αφήνει περιθώρια για την εκμετάλλευση της μέγιστης δυνατής αιολικής παραγωγής. Ο σταθμός γεμίζοντας τις νυχτερινές ώρες τη δεξαμενή, είναι σε θέση να αντιμετωπίσει τα επεισόδια, αλλά με κόστος την απόρριψη σημαντικών ποσών αιολικού δυναμικού. Είναι απαραίτητη η διερεύνηση της σωστής αναλογίας εγκατεστημένης ισχύος- όγκου ταμιευτήρα.
- Η ετήσια άντληση από το δίκτυο ήταν ήδη σε υψηλά επίπεδα λόγω του μεγάλου μεγέθους του σταθμού (4.11.ζ). Η τροποποίηση έκανε ακόμα μεγαλύτερες τις ανάγκες για άντληση με επακόλουθο τη μείωση του ενεργειακού ισοζυγίου και του ολικού βαθμού απόδοσης του σταθμού.
- Οι δείκτες αξιοποίησης μειώνονται και για τα τρία κομμάτια του Υ.Β.Σ (4.12.α). Ο CF του Α/Π μειώνεται σε ποσοστό σχεδόν 6% που αποτελεί μεγάλη πτώση για αυτή την τάξη μεγέθους. Για το φαινόμενο αυτό δεν ευθύνεται μόνο η αυξημένη ενέργεια προς απόρριψη αλλά και η αύξηση του μεγέθους του Α/Π, το οποίο ακολουθεί και αυτό, όπως και ο ταμιευτήρας, την πορεία της εγκατεστημένης ισχύος. Η ενέργεια που αποδίδουν οι υδροστροβίλοι προφανώς αυξάνεται με τη νέα εγκατεστημένη ισχύ, όμως όπως έχει αναφερθεί και για το συνολικό ποσό που διοχετεύεται στο δίκτυο, το ποσοστό της αύξησης δε συνάδει με μεγάλη αύξηση ισχύος που έχει επιτευχθεί. Το στοιχείο αυτό δικαιολογεί και την πτώση του δείκτη αξιοποίησης των υδροστροβίλων κατά 1,9%. Τέλος, για το αντλιοστάσιο, η αύξηση της άντλησης από το δίκτυο δεν μπορεί να ισοσταθμίσει τη μειωμένη ενέργεια άντλησης από το Α/Π και τελικά μειώνεται και ο δείκτης αξιοποίησης και αυτής της συνιστώσας.
- Όπως έχει αναφερθεί και στην ανάλυση του πρώτου σεναρίου, τα οικονομικά αποτελέσματα συμφωνούν πλήρως με τα δεδομένα μελετών και αντίστοιχων έργων (4.12.β,γ,δ). Ο δείκτης οικονομικής αξιολόγησης λαμβάνει τη μέγιστη τιμή του για το σταθμό χωρίς πρόγνωση. Ακολουθεί ο σταθμός με πρόγνωση 2 ημερών ο οποίος διατηρεί τον IRR σε ικανοποιητικό επίπεδο.



Διάγραμμα 4.11: Γραφική απεικόνιση των σημαντικότερων ενεργειακών μεγεθών και δεικτών Υ.Β.Σ, συναρτήσει των ημερών συνυπολογισμού αιολικής παραγωγής.

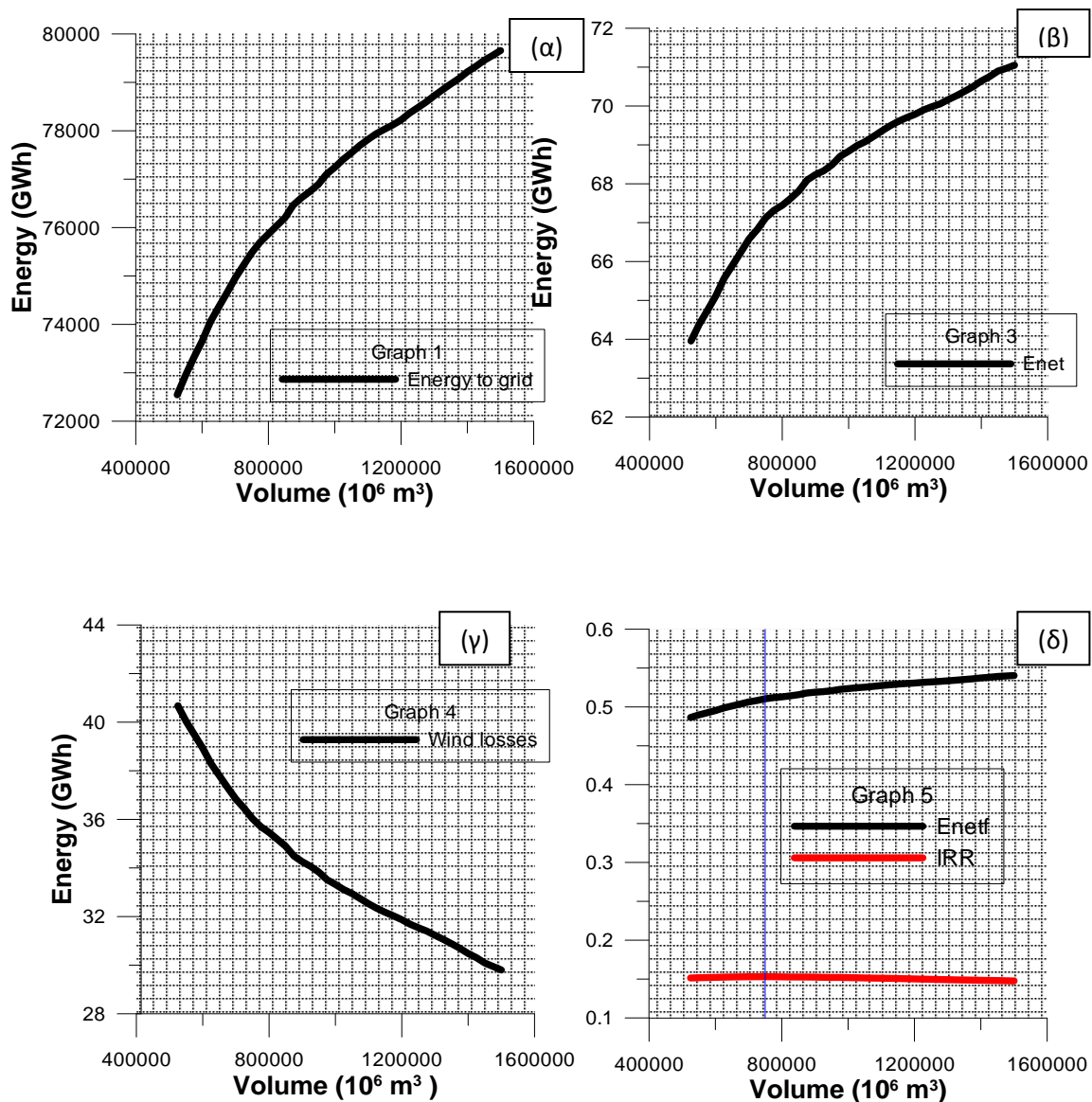


Διάγραμμα 4.12: Γραφική απεικόνιση των σημαντικότερων ενεργειακών - οικονομικών μεγεθών και δεικτών Υ.Β.Σ, συναρτήσει των ημερών συνυπολογισμού αιολικής παραγωγής.

Γίνεται και πάλι παραμετρική μελέτη, με στόχο τον εντοπισμό του μεγέθους του ταμιευτήρα ο οποίος θα συνδυάζει βέλτιστη οικονομική απόδοση με ικανοποιητικούς δείκτες ενεργειακής απόδοσης. Ουσιαστικά, ζητάται η σύνθεση του σταθμού, ο οποίος θα παρουσιάζει το μέγιστο IRR και παράλληλα θα είναι σε θέση να αξιοποιήσει μεγάλο κομμάτι της αιολικής παραγωγής που απορρίπτεται.

Για τη μελέτη αυτή επιλέγεται ο σταθμός των 34,125MW που βασίζεται σε διήμερη πρόγνωση, καθώς εμφάνισε τα καλύτερα αποτελέσματα από τους τροποποιημένους σταθμούς και διαφαίνεται να έχει τη δυνατότητα να βελτιώσει αισθητά τους ενεργειακούς δείκτες του.

Όπως φαίνεται από τα παρακάτω διαγράμματα, ένας μεγαλύτερος ταμιευτήρας βοηθάει σημαντικά την ενεργειακή απόδοση του Υ.Β.Σ. Είναι πια δυνατή η εκμετάλλευση μεγαλύτερου ποσοστού της αιολικής παραγωγής επομένως παρατηρείται μείωση της απορριπτόμενης ενέργειας (4.13.γ) και αύξηση του ενεργειακού ισοζυγίου του σταθμού (4.13.β). Στο τελευταίο διάγραμμα (4.13.δ), όπου σχεδιάζονται μαζί ο ολικός βαθμός απόδοσης και ο εσωτερικός συντελεστής απόδοσης, φαίνεται η αυξητική τάση του ενεργειακού δείκτη σε αντίθεση με τον IRR, ο οποίος παρουσιάζει τη μέγιστη τιμή του (0,155) για όγκο ταμιευτήρα ίσο με 750000m^3 .

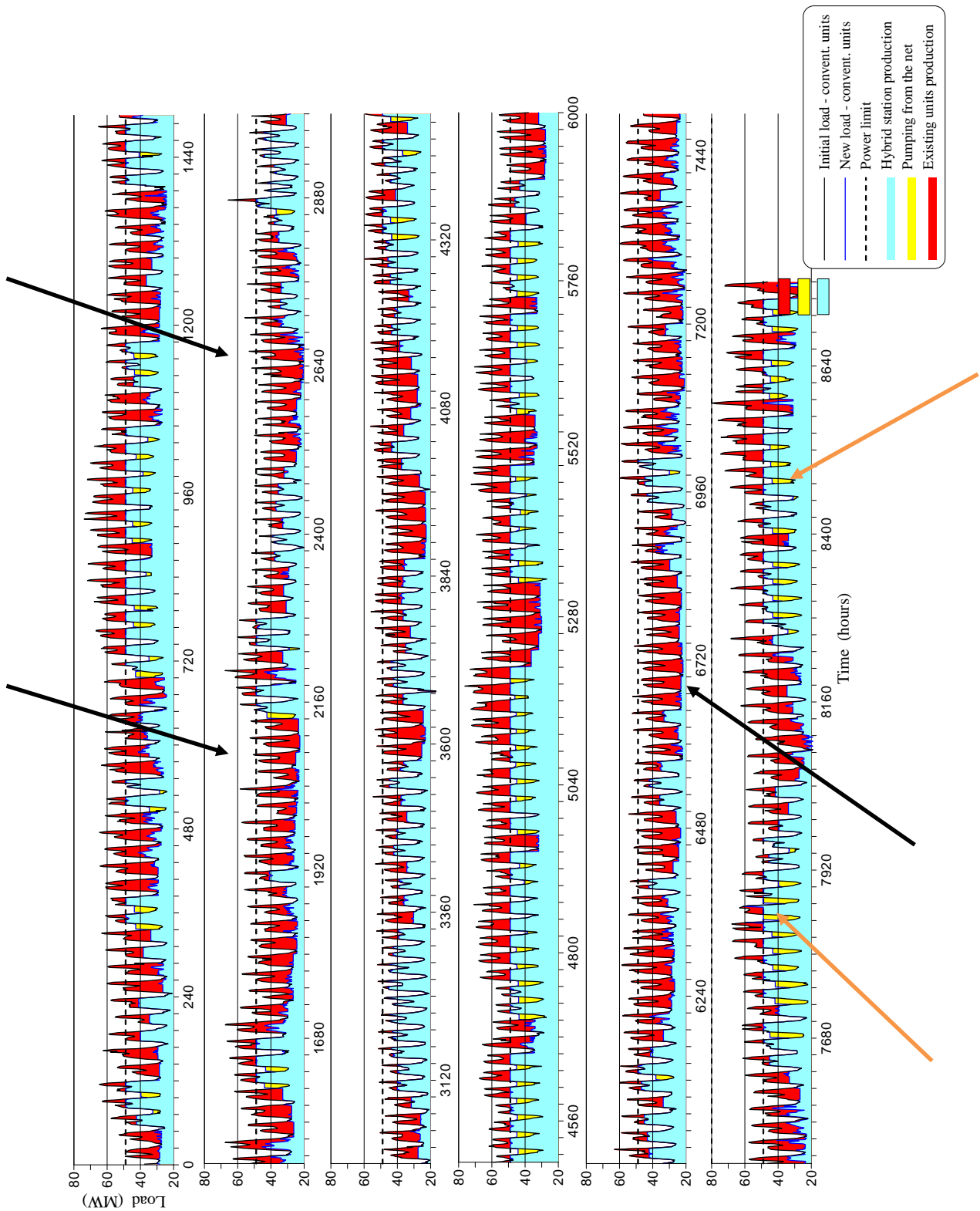


Διάγραμμα 4.13: Γραφικές παραστάσεις παραμετρικής μελέτης της επίδρασης του όγκου του ταμιευτήρα στα αποτελέσματα του σταθμού των 34,125MW

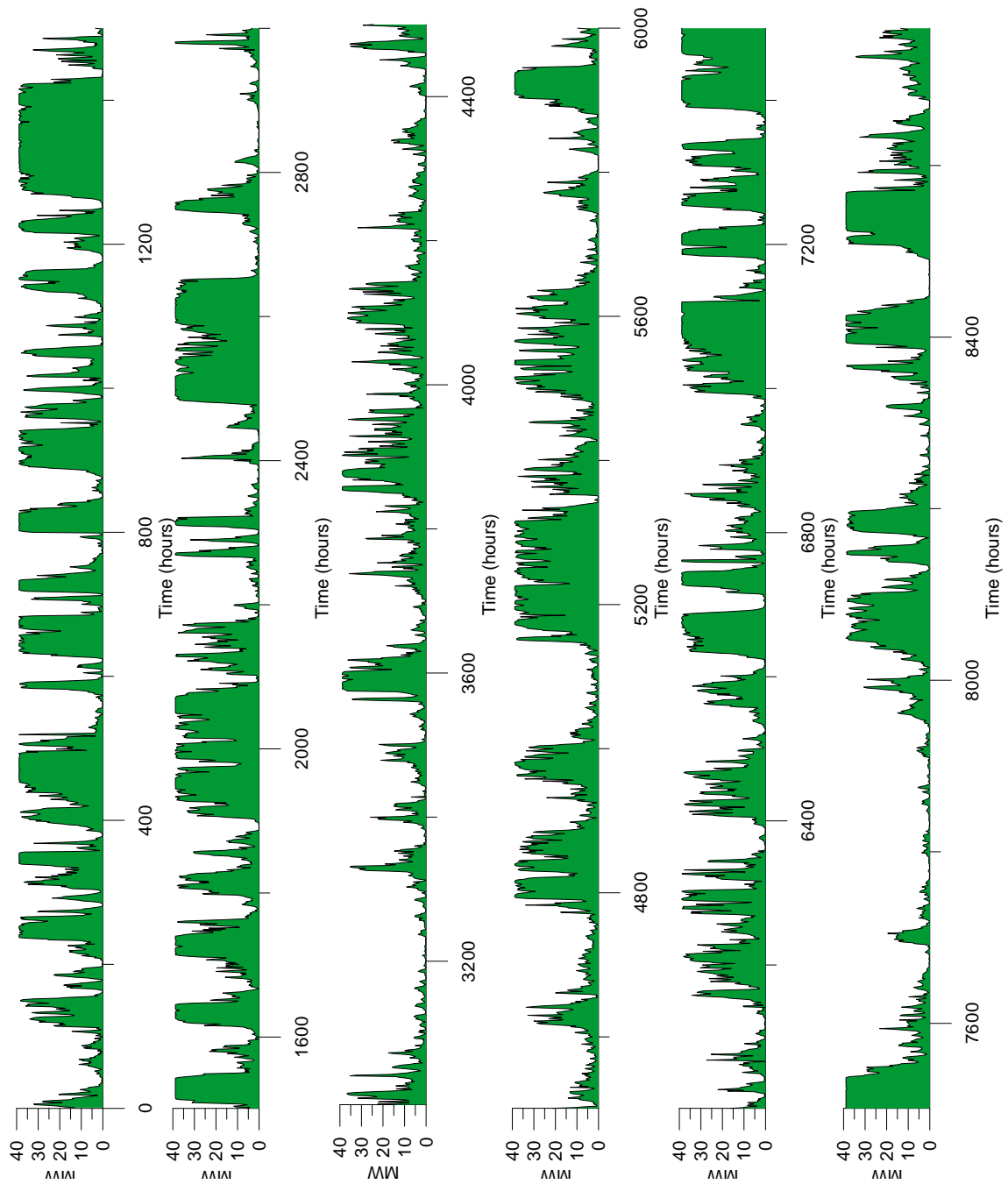
Με βάση και τη μελέτη αυτή, παρουσιάζεται σε πίνακα και σε διαγράμματα η λειτουργία του σταθμού των 34,125MW με ταμιευτήρα 750000m^3 και η επίδραση του στο ηλεκτρικό δίκτυο της Λέσβου.

ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΣΤΑΘΜΟΥ 34,125MW			
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ			
A/A	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΤΙΜΗ	ΜΟΝΑΔΕΣ
1	Ισχύς σταθμού	34,125	MW
2	Ετήσιο φορτίο νησιού	369,243	GWh
3	Ετήσια παραγωγή μονάδων βάσης	257,797	GWh
4	Ετήσια παραγωγή ΥΒΣ	75,147	GWh
5	Ετήσια παραγωγή εξωτερικών Α/Π	36,298	GWh
6	Ετήσια παραγωγή υδροστροβίλων	41,625	GWh
7	Ετήσια παραγωγή Α/Π ΥΒΣ	131,483	GWh
8	Αιολική ενέργεια στο δίκτυο	33,320	GWh
9	Αιολική ενέργεια για άντληση	63,174	GWh
10	Απώλειες αιολικής ενέργειας	34,990	GWh
11	Ετήσια άντληση από το δίκτυο	6,492	GWh
12	Ενεργειακό ισοζύγιο ΥΒΣ	68,453	GWh
13	Αριθμός επεισοδίων	15	
14	10λεπτα γεμάτου ταμιευτήρα	10824	
15	10λεπτα άδειου ταμιευτήρα	103	
16	Ποσοστό αιολικής ενέργειας στο δίκτυο	25%	
17	Ποσοστό αιολικής ενέργειας για άντληση	48%	
18	Ποσοστό απορριπτόμενης αιολικής ενέργειας	27%	
19	Capacity factor του Α/Π	0,255	
20	Capacity factor των υδροστροβίλων	0,139	
21	Capacity factor των αντλιών	0,212	
22	Ολικός βαθμός απόδοσης σταθμού	53%	
23	Ποσοστό κάλυψης από μονάδες βάσης	70%	
24	Ποσοστό κάλυψης από ΥΒΣ	20%	
25	Ποσοστό κάλυψης από εξωτερικά Α/Π	10%	
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ			
1	Κόστος επένδυσης	104,333	MIL.€
2	Κόστος λειτουργίας	2,869	MIL.€
3	Ετήσια κέρδη	14,285	MIL.€
4	Κόστος παραγόμενης ενέργειας	0,197	€/kWh
5	Κόστος αγοράς ενέργειας	0,208	€/kWh
6	Ετήσια έσοδα προς το κόστος εγκατάστασης	0,136	
7	Καθαρή παρούσα αξία NPV	0,387	
8	Εσωτερικός συντελεστής απόδοσης	0,155	
9	Χρόνος αποπληρωμής	9,04	ΕΤΗ

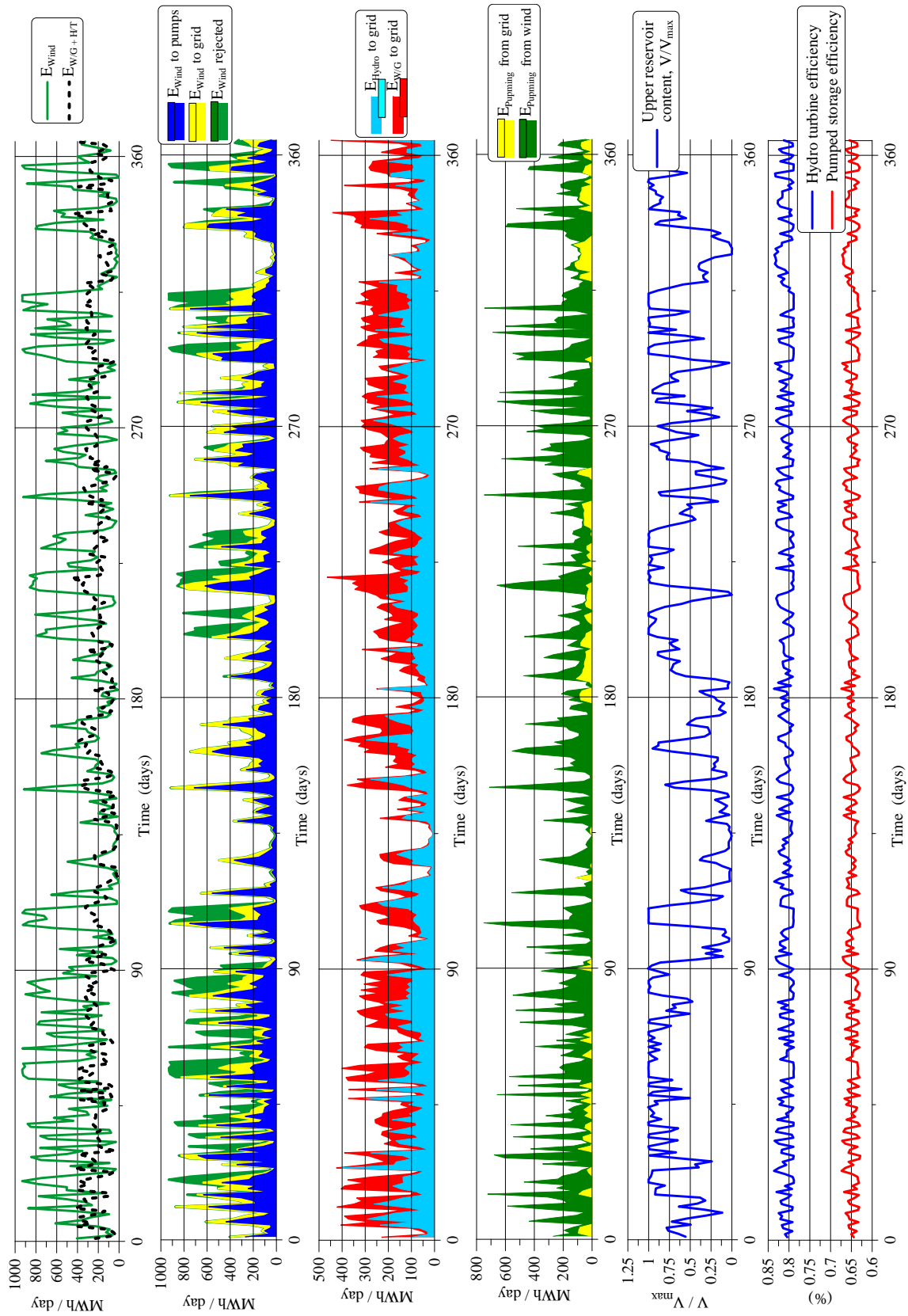
Πίνακας 4.4: Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων σταθμού 34,125MW



Διάγραμμα 4.14: Η κάλυψη της ζήτησης του δικτύου της Λέσβου από το σύνολο των ηλεκτροπαραγωγικών μονάδων (μονάδες βάσης, Υ.Β.Σ, εξωτερικά Α/Π) μετά την ένταξη του Υ.Β.Σ



Διάγραμμα 4.15: Η παραγωγή του Α/Π του σταθμού για το σύνολο των ωρών μέσα στο έτος



Διάγραμμα 4.16: Η εσωτερική λειτουργία του σταθμού μέσα στο έτος

Η λειτουργία του σταθμού εντός του δικτύου παρουσιάζει μεγάλες ομοιότητες και για τα δύο σενάρια. Ο σταθμός καλύπτει σχεδόν πάντα την εγγυημένη ζήτηση, εμφανίζει 15 "επεισόδια", με τη γραμμή εγγυημένης ισχύος να ορίζεται στα 45,875MW. Επίσης, σε αρκετά διαστήματα μέσα στο έτος καλύπτει το μεγαλύτερο ποσοστό της κατανάλωσης, μειώνοντας στο ελάχιστο τη συνεισφορά των συμβατικών μονάδων. Κατά τις ώρες 1920 – 2135, 2525 – 2640, 6680 – 6820, η αιολική παραγωγή βρίσκεται σε πολύ υψηλά επίπεδα. Το στοιχείο αυτό σε συνδυασμό με τη χαμηλή ζήτηση από το δίκτυο, δίνει τη δυνατότητα στο σταθμό να κάνει μεγάλες προσφορές έγχυσης ενέργειας.

Σε άλλες περιόδους, οι δύο αυτοί παράγοντες αντιστρέφονται, δηλαδή υπάρχουν διαστήματα κατά τα οποία υψηλά επίπεδα ζήτησης συνδυάζονται με μικρή ή ελάχιστη αιολική παραγωγή. Στις περιόδους αυτές, ώρες 8475 – 8525, 7680 – 7895, ο σταθμός αντλεί τις ώρες χαμηλής ζήτησης για διάστημα αρκετών ημερών ώστε γεμίζοντας πλήρως τον ταμιευτήρα να μπορέσει να εξυπηρετήσει πλήρως τη ζήτηση.

Η εσωτερική λειτουργία του σταθμού παρουσιάζει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- Λόγω του σεναρίου λειτουργίας έχει αυξηθεί κατά πολύ το ποσοστό της αιολικής παραγωγής απευθείας στο δίκτυο. Στο 2^ο διάγραμμα αποτυπώνονται επίσης τα μεγαλύτερα ποσοστά ενέργειας για άντλησης και απορριπτόμενης, η οποία παραμένει σημαντική.
- Στο 3^ο διάγραμμα παρατηρείται η αλλαγή της σύστασης της προσφερόμενης στο δίκτυο ενέργειας. Όπως έχει αναφερθεί, οι υδροστρόβιλοι και το Α/Π συνεργάζονται στον ίδιο βαθμό για να αποδώσουν ενέργεια απευθείας στο δίκτυο.
- Η άντληση από το δίκτυο είναι 25% μεγαλύτερη για το 2^ο σενάριο λειτουργίας. Το μεγαλύτερο κομμάτι της διαδικασίας αυτής όμως, πραγματοποιείται βασιζόμενο στην αιολική παραγωγή.
- Η στάθμη του ταμιευτήρα βρίσκεται σε πολύ υψηλά επίπεδα στο μεγαλύτερο διάστημα του χρόνου λόγω της αυξημένης άντλησης από το δίκτυο και από το Α/Π. Όπως έχει υπολογιστεί ο ταμιευτήρας είναι γεμάτος 20% του χρόνου (10824 10λεπτα). Περίοδοι μειωμένης αιολικής παραγωγής έχουν σαν αποτέλεσμα μείωση της στάθμης, μέρες 130 - 140, 329 – 332.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ

Στα προηγούμενα κεφάλαια αναλύθηκαν οι επιπτώσεις της εισαγωγής της πρόβλεψης ανέμου στη λειτουργία και τα αποτελέσματα υβριδικού σταθμού παραγωγής ενέργειας, ενταγμένου σε αυτόνομο ηλεκτρικό σύστημα.

Αρχικά, και σε ότι αφορά την εικόνα του δικτύου μετά την ένταξη του Υ.Β.Σ σε αυτό, παρατηρείται ότι η χρήση της πρόγνωσης του ανέμου επιτρέπει την εγκατάσταση ακόμα μεγαλύτερης ισχύος. Η αύξηση αυτή μειώνει τη γραμμή εγγυημένης ισχύος και αλλάζει το μερίδιο του φορτίου που καλύπτεται από τον Υ.Β.Σ, το οποίο αυξάνεται και για τα δύο σενάρια. Λειτουργία με βάση το πρώτο σενάριο προσφέρει τη δυνατότητα εγκατάστασης υψηλότερης ισχύος σε σχέση με το δεύτερο, με αντίστοιχα μεγαλύτερη προσφορά ενέργειας. Ο σταθμός, με εξαίρεση τα διαστήματα που παρατηρούνται "επεισόδια", καλύπτει την εγγυημένη ενέργεια, εξομαλύνει τις αιχμές και σε περιπτώσεις ευνοϊκών καιρικών συνθηκών υποκαθιστά σε μεγάλο ποσοστό τη συμβατική παραγωγή, αποτρέποντας τη φόρτιση και ένταξη μονάδων βάσης. Παράλληλα, δε θέτει εμπόδια στη διείσδυση αιολικής ενέργειας από εξωτερικά Α/Π, ενώ όποτε χρειαστεί συμμετέχει στη διαμόρφωση του set-point. Ωστόσο, η εκτεταμένη άντληση για την κάλυψη μελλοντικών αναγκών έχει ως αποτέλεσμα να παρατηρούνται σε συγκεκριμένες περιόδους υψηλά φορτία κατά τις ώρες χαμηλής ζήτησης.

Η τροποποίηση του υπολογιστικού κώδικα επιδρά προφανώς και στην εσωτερική λειτουργία του σταθμού. Αυξάνεται η άντληση από το δίκτυο επομένως και τα διαστήματα που ο ταμιευτήρας είναι γεμάτος. Το στοιχείο αυτό είναι ζητούμενο της μελέτης, επιδρά όμως σε πρώτη φάση αρνητικά στα ενεργειακά μεγέθη του Υ.Β.Σ. Η αυξημένη άντληση μειώνει το ενεργειακό ισοζύγιο και συνεπακόλουθα το βαθμό απόδοσης. Οδηγεί επίσης σε σημαντική απόρριψη αιολικής παραγωγής λόγω της αδυναμίας του υπάρχοντος ταμιευτήρα να αποθηκεύσει μεγαλύτερες ποσότητες νερού. Το μειονέκτημα αυτό αντιμετωπίζεται με την εγκατάσταση μεγαλύτερου ταμιευτήρα. Εφόσον ο σταθμός απαιτείται πλέον να λειτουργεί και με γνώμονα τις ανάγκες που μπορεί να προκύψουν μελλοντικά, γίνεται απαραίτητη η εύρεση μιας αναλογίας εγκατεστημένης ισχύος – μεγέθους ταμιευτήρα η οποία θα δίνει τη δυνατότητα στο σταθμό να καλύπτει την ημερήσια ζήτηση και παράλληλα να αντιμετωπίσει διαστήματα στα οποία παρατηρείται αρνητικός συσχετισμός αιολικής παραγωγής – ζήτησης. Όπως έδειξαν και οι δοκιμές, νέος ταμιευτήρας βελτιώνει το δείκτη αξιοποίησης της αιολικής ενέργειας, το ενεργειακό ισοζύγιο και το βαθμό απόδοσης. Αυξανόμενου του μεγέθους καλυτερεύουν συνεχώς οι συγκεκριμένοι δείκτες.

Στο σημείο αυτό και ύστερα από τη χρήση οικονομικών δεικτών, παρατηρείται ότι η ενεργειακή και η οικονομική βελτιστοποίηση αποτελούν αντικρουόμενους στόχους, συμπέρασμα στο οποίο έχουν φτάσει και άλλες μελέτες σχετικά με το σταθμό. Η αύξηση του μεγέθους βασικών συνιστωσών του σταθμού, όπως είναι ο ταμιευτήρας, το Α/Π και οι υδροστρόβιλοι, μέχρι ένα σημείο βελτιώνει τα ενεργειακά αποτελέσματα του σταθμού προκαλεί όμως σημαντική πτώση δεικτών που αξιολογούν την οικονομική βιωσιμότητα του έργου. Στην προσπάθεια για επίτευξη ικανοποιητικών οικονομικών αποτελεσμάτων ο σχεδιασμός κατευθύνεται σε λύσεις μικρού και μεσαίου μεγέθους σταθμών. Στα πλαίσια της μελέτης, αποδείχτηκε η ευεργετική επίδραση ενός μεγαλύτερου ταμιευτήρα στην ενεργειακή απόδοση του σταθμού, το τελικό μέγεθος του ωστόσο περιορίστηκε από την ανάγκη για διατήρηση υψηλού δείκτη εσωτερικής απόδοσης.

Τέλος προτείνονται προς ανάπτυξη τα παρακάτω θέματα:

- Διερεύνηση των συντελεστών ασφαλείας της αιολικής παραγωγής για διαστήματα εντός της τρέχουσας μέρας και για τις επόμενες μέρες
- Μελέτη του συσχετισμού της εγκατεστημένης ισχύος, του ταμιευτήρα και του Α/Π στα πλαίσια αυτόνομου και ηπειρωτικού δικτύου
- Μελέτη σύνθεσης σταθμού με Α/Π, αντλησιοταμίευση και μηχανή Diesel για την κάλυψη των "επεισοδίων"
- Μελέτη της συνεργασίας Υ.Β.Σ με σταθμό αφαλάτωσης

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Παπαντώνης Δ., 2007. «Μικρά υδροηλεκτρικά έργα»
- Ζερβός Α., 2008. «Σημειώσεις αιολικής ενέργειας»
- Μαθιουλάκης Δ.Σ., Αναγνωστόπουλος Ι.Σ., Τουζόπουλος Δ.Γ., 2005. «Σημειώσεις βιομηχανικής ρευστομηχανικής »
- Παπαευθυμίου Σ., Παπαθανασίου Σ., Καραμάνου Ε., Παπαδόπουλος Μ., Ροντήρης Σ., Δρυμωνίτης Ι., 2009. «Αρχές διαχείρισης υβριδικών σταθμών: Εφαρμογή στο σύστημα της Ικαρίας»
- Παπαντώνης Δ., Αναγνωστόπουλος Ι., Παπαδόπουλος Μ., Παπαθανασίου Σ., Καραμάνου Ε., Παπαευθυμίου Σ., 2008. «Διερεύνηση τεχνικών και οικονομικών ζητημάτων ένταξης υβριδικών σταθμών στα μη διασυνδεδεμένα νησιά»
- Papaefthimiou S., Karamanou E., Papathanassiou S., Papadopoulos M., 2009. “Operating Policies for Wind-Pumped Storage Hybrid Power Stations in Island Grids”
- Anagnostopoulos J., Papantonis D., 2007. «Pumping station design for a pumped-storage wind-hydro power plant»
- Anagnostopoulos J., Papantonis D., 2007. «Simulation and size optimization of a pumped-storage power plant for the recovery of wind-farms rejected energy»
- Kapsali M., Anagnostopoulos J., Kaldellis J., 2010. «Size optimization of wind-based pumped hydro storage systems based on economic criteria»
- Anagnostopoulos J., Papantonis D., 2008. « Pumped storage wind/hydro plants in non-interconnected grids»
- Buenoa C., Cartab J.A., 2004. “Wind powered pumped hydro storage systems, a means of increasing the penetration of renewable energy in the Canary Islands”
- Παπαντώνης Δ., 2009. «Νέες προοπτικές για την ανάπτυξη της αντλησιοταμίευσης στην Ελλάδα. Τεχνολογία και Τεχνολογικοί Περιορισμοί»
- Κάραλης Γ., 2009. «Ένα ενεργειακό σενάριο για τη Λέσβο» (Ημερίδα για τη χωροθέτηση των ΑΠΕ, τους υδάτινους πόρους και την αφαλάτωση στο Αιγαίο, Μυτιλήνη, 12 Ιουνίου 2009) »
- Καψάλη Μ.Σ., 2010. «Ανάλυση βιωσιμότητας συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από αιολικά πάρκα και υδροστροβίλους με αντλησιοταμίευση στο νησί της Λέσβου»
- Μπαρούνη Ι., 2011. «Ανάλυση και βελτιστοποίηση σχεδιασμού υβριδικού υδροηλεκτρικού-αιολικού σταθμού, με δυο παράλληλα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας: αντλησιοταμίευση και παραγωγή υδρογόνου με ηλεκτρόλυση»
- Κλειάσου Η., 2008. «Διερεύνηση της φιλοσοφίας της λειτουργίας υβριδικού συστήματος αιολικής ενέργειας με αντλησιοταμίευση στο σύστημα της Παρο-Ναξίας»
- Μαντάς Ζ.Δ., Μπέτζιος Γ., Θεοδωρόπουλος Π., Ζερβός Α. «Υβριδικό σύστημα με χρήση αντλησιοταμίευσης για μέγιστη διείσδυση της αιολικής ενέργειας στη νήσο Σέριφο»
- Παντέρη Ε., 2007. «Μοντέλα πρόβλεψης αιολικής παραγωγής»
- Μπαξεβάνου Κ. «Κατάλληλο και εκμεταλλεύσιμο αιολικό δυναμικό»

Σιδεράτος Γ., 2010. «Ανάπτυξη μοντέλων πρόβλεψης παραγωγής αιολικής ισχύος με χρήση νευρωνικών δικτύων και τεχνικών ασαφούς λογικής»

Παπαθανασίου Στ., Καραμάνου Ε., Παπαευθυμίου Στ., Παπασταμούλος Κ., 2010. «Παραμετρική διερεύνηση της τιμολόγησης υβριδικών σταθμών σε μη διασυνδεδεμένα νησιά»

Αργυράκης Ι. «Εκμετάλλευση των υδροηλεκτρικών σταθμών ως έργων πολλαπλού σκοπού»

Μωραΐτης Γ., 2011. «Μοντελοποίηση ένταξης και λειτουργίας υβριδικού υδροηλεκτρικού σταθμού με αντλησιοταμίευση αιολικής και φωτοβολταϊκής παραγωγής σε μη – διασυνδεδεμένο δίκτυο»

Ιστοσελίδες

1.Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (Ρ.Α.Ε): www.rae.gr

2.www.wikipedia.com

3.Electricity Storage Association (E.S.A): www.esa.gr

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Λίστα Μεταβλητών του Κώδικα HYPSSOS

AAAA: βοηθητική μεταβλητή

AAM1: μονάδα χρόνου, ως ποσοστό του έτους, σε ώρες

ADPP: χρόνος απόσβεσης της επένδυσης

AIRR: εσωτερικός βαθμός απόδοσης της επένδυσης

ALAMD: βοηθητική μεταβλητή για την αποδοτική κατανομή ισχύος μεταξύ των υδροτροβίλων

ALFA: συντελεστής ασφαλείας για την παραγωγή

AQH, AQP, AQV: βοηθητικές μεταβλητές (γινόμενα σταθερών όρων)

ASUM: ημερήσιο άθροισμα των δεκάλεπτων τιμών ισχύος λειτουργίας του αιολικού πάρκου

BAKSW: ημερήσιος δείκτης απωλειών του αιολικού πάρκου

BANTM: ημερήσιος ολικός βαθμός απόδοσης άντλησης – παραγωγής υδροτροβίλων

BAPOH: ημερήσιος βαθμός απόδοσης συστήματος προσαγωγής και υδροτροβίλων

BAPOP: ημερήσιος βαθμός απόδοσης άντλησης

BARAG: βάρος σωλήνα

BETA: συντελεστής ασφαλείας για μέγιστη προγραμματισμένη παραγωγή

BLO(I0,I1): ωριαία παραγωγή μονάδων βάσεως

BMON(M): ονομαστική ισχύς των μονάδων βάσεως

BMTEL(M): τεχνικό ελάχιστο μονάδων βάσεως

CAPCRED, CAPCRP: ετήσια εγγυημένη ισχύς ΥΒΣ

CAPCRT: ετήσια αποζημίωση της διαθεσιμότητας ισχύος του ΥΒΣ

CMVSP: ποσοστό δυνατής υπέρβασης των κανονικών στροφών των αντλιών μεταβλητών στροφών

COEP: κόστος επιφανειακής προστασίας σωλήνων

COFORM: κόστος έργων πολιτικού μηχανικού

COH2: κόστος διάταξης ηλεκτρόλυσης

COHME: κόστος υποσταθμού και διασύνδεσης στο δίκτυο

COINST: κόστος μεταφοράς και εκσκαφών για τους σωλήνες

COLEIT: ετήσιο λειτουργικό κόστος του ΥΒΣ
COMAIN: κόστος των κυρίων συνιστωσών του ΥΒΣ
COMELET: κόστος μελετών και επίβλεψης
COPIPE: συνολικό κόστος σωλήνων
COPUMP: κόστος αντλιών και μεταστροφών
CORAF: κόστος συγκολλήσεων των σωλήνων
CORESERV: κόστος άνω ταμιευτήρα
COSTAT: κόστος του ΥΒΣ
COSTMWh: κόστος αγοράς MWh από τον ΥΒΣ
COSTPROD: κόστος παραγόμενης MWh από τον ΥΒΣ
COTHERS: λοιπά κόστη (δρόμοι, αγορά γης κτλ.)
COTOTAL: συνολικό κόστος της επένδυσης
COTURGEN: κόστος υδροστροβίλων και γεννητριών
COWIND: κόστος του αιολικού πάρκου
COYL: κόστος υλικού των σωλήνων
CT(N): συντελεστής τεχνικού ελαχίστου των υδροστροβίλων
CTVSP: συντελεστής τεχνικού ελαχίστου των αντλιών μεταβλητών στροφών
DELTA: συντελεστής ασφαλείας για την άντληση
DEN: πυκνότητα του νερού
DEPRES: περίοδος απόσβεσης του ΥΒΣ
DHF: διόρθωση συντελεστή απωλειών σωλήνωσης ανάλογα με τη διακινούμενη παροχή
DHFX: βοηθητική μεταβλητή
DINP: εσωτερική διάμετρος σωλήνα άντλησης
DINT: εσωτερική διάμετρος σωλήνα παραγωγής
DPP: ωριαία ισχύς άντλησης με χρήση ενέργειας από το δίκτυο
DT: χρονικό βήμα προσομοίωσης της λειτουργίας του ΥΒΣ (10 λεπτά)
DTT: ωριαία ισχύς παραγωγής υδροστροβίλων
DZHN: ονομαστικό ύψος υδροστροβίλων
DZMEAN: μέση διαφορά στάθμης άνω και κάτω ταμιευτήρα
DZMIN: ελάχιστη διαφορά στάθμης άνω και κάτω ταμιευτήρα
DZPN: ονομαστικό ύψος αντλιών
DZVOLR: διαφορά μέγιστης – ελάχιστης στάθμης ταμιευτήρα

E24H: ημερήσια έσοδα ΥΒΣ από την πώληση της ενέργειας των υδροστροβίλων
E24H2: ημερήσια έσοδα ΥΒΣ από την πώληση υδρογόνου
E24P: ημερήσια έξοδα ΥΒΣ από την αγορά ενέργειας από το δίκτυο για άντληση
E24T: συνολικά ημερήσια έσοδα ΥΒΣ
E24TOT: συνολικά ημερήσια έσοδα ΥΒΣ λαμβάνοντας υπόψη και την αποθηκευμένη ενέργεια στον άνω ταμιευτήρα
E24W: ημερήσια έσοδα ΥΒΣ από την πώληση αιολικής ενέργειας απευθείας στο δίκτυο
EADD: ημερήσια ποσότητα ενέργειας που ζητείται από το δίκτυο για άντληση
EAVAIL: διαθέσιμη ποσότητα ενέργειας στον άνω ταμιευτήρα στην αρχή της ημέρας
EESTIM: συνολική ποσότητα ενέργειας που προβλέπεται ότι μπορεί να παραχθεί από τον ΥΒΣ την επόμενη ημέρα
EGLOS: ημερήσιες ενεργειακές απώλειες λόγω των γεννητριών
EGN(N): βαθμός απόδοσης γεννήτριας (προκύπτει με γραμμική παρεμβολή)
EGXN: βαθμός απόδοσης σύγχρονης γεννήτριας
EH2N: βαθμός απόδοσης της μιας συστοιχίας κελιών ηλεκτρόλυσης
EHGROS: εκτιμώμενος μέσος βαθμός απόδοσης της παραγωγής των υδροστροβίλων
EHLOS: ημερήσιες ενεργειακές απώλειες λόγω των υδροστροβίλων
EHN(N): βαθμός απόδοσης υδροστροβίλου (προκύπτει με γραμμική παρεμβολή)
EHPRO: ημερήσια ποσότητα ενέργειας που παράγεται από τους υδροστροβίλους
EHXN(N): βαθμός απόδοσης υδροστροβίλου
EHYBR: ημερήσια ποσότητα ενέργειας που ο ΥΒΣ διοχετεύει στο δίκτυο (υδροστροβίλοι και αιολικά απευθείας στο δίκτυο)
EKN(N): βαθμός απόδοσης γεννήτριας (προκύπτει με γραμμική παρεμβολή)
ENEEDS: ημερήσια εγγυημένη ενέργεια που πρέπει να παράγει ο ΥΒΣ
ENET: ετήσια καθαρή ποσότητα ενέργειας που παράγει ο ΥΒΣ
ENETF: η ετήσια καθαρή ποσότητα ενέργειας που παράγει ο ΥΒΣ ως ποσοστό της ετήσιας αιολικής παραγωγής του ΥΒΣ
EPABS: ημερήσια ποσότητα ενέργειας που καταναλώνεται από τις αντλίες
EPEIS: ετήσια ποσότητα ενέργειας που ο ΥΒΣ δεν κατάφερε, παρά τη δέσμευσή του, να προσφέρει
EPGROS: εκτιμώμενος μέσος βαθμός απόδοσης της άντλησης
EPLOS: ημερήσιες ενεργειακές απώλειες λόγω των αντλιών

EPN(N): βαθμός απόδοσης αντλίας (προκύπτει με γραμμική παρεμβολή)

EPROTOT: ημερήσια ποσότητα ενέργειας που ο ΥΒΣ διοχετεύει στο δίκτυο (υδροστροβίλοι και αιολικά απευθείας στο δίκτυο)

EPROVI: ημερήσια προσφερόμενη ενέργεια από τον ΥΒΣ

EPROVMX: μέγιστη δυνατή ημερήσια προσφορά ενέργειας (ταμιευτήρας γεμάτος μέχρι τη μέγιστη επιτρεπόμενη στάθμη του)

EPURCH: ημερήσια ποσότητα ενέργειας που ο ΥΒΣ αγοράζει από το δίκτυο για άντληση

EPXNV: βαθμός απόδοσης αντλίας μεταβλητών στροφών

EQCONS: ημερήσια ποσότητα υδραυλικής ενέργειας που αξιοποιείται από τους υδροστροβίλους

EQHX: βαθμός απόδοσης υδροστροβίλου για παροχή QHX

EQSTOR: ημερήσια ποσότητα υδραυλικής ενέργειας που αποταμιεύεται μέσω της άντλησης στον άνω ταμιευτήρα

ERESER: ημερήσιος συσχετισμός αποθηκευμένης ενέργειας στον άνω ταμιευτήρα και πιθανών εσόδων από αυτή

ESCHED: ημερήσια ποσότητα ενέργειας που πρέπει να υπολογίσει ότι χρειάζεται να παράγει ο ΥΒΣ, ώστε να προκύψει το αν χρειάζεται ή όχι να κάνει δήλωση φορτίου

ESUM: βοηθητική μεταβλητή

EWDROP, EWLOS: ημερήσια ποσότητα αιολικής ενέργειας που απορρίπτεται

EWPRO1: ημερήσια ποσότητα αιολικής ενέργειας που διοχετεύεται στο αντλιοστάσιο

EWPRO2: ημερήσια ποσότητα αιολικής ενέργειας που διοχετεύεται απευθείας στο δίκτυο

FACTOR: συντελεστής διόρθωσης παροχής των αντλιών

FLOAD: ποσοστό φόρτισης υδροστροβίλου

FPPX, FPPZ: συντελεστής πλήρωσης άνω ταμιευτήρα

GAMA: ποσοστό της πραγματικής επί της προβλεπόμενης αιολικής παραγωγής

GREAT: ένας πολύ μεγάλος αριθμός

II: ώρα του χρόνου

IIX: τρέχουσα ώρα του χρόνου

IPIPES: πλήθος σωλήνων

IPOPE(N): δείκτης για το αν μια αντλία λειτουργεί ή όχι το τρέχον δεκάλεπτο

ITOPE(N): δείκτης για το αν ένας υδροστροβίλος λειτουργεί ή όχι το τρέχον δεκάλεπτο

IVOL: δείκτης για τον βαθμό πληρότητας του άνω ταμιευτήρα

IVSP(N): δείκτης για το αν μια αντλία είναι μεταβλητών στροφών ή όχι

IWEEK1, IWEEK2: βοηθητικές μεταβλητές

LDAYS: αριθμός ημερών για τις οποίες προσομοιώνεται η λειτουργία του ΥΒΣ

LENP: μήκος σωλήνα

LPSTAR: πρώτη ώρα χαμηλής ζήτησης που επιτρέπεται η άντληση με χρήση ενέργειας από το δίκτυο

LPSTOP: τελευταία ώρα χαμηλής ζήτησης που επιτρέπεται η άντληση με χρήση ενέργειας από το δίκτυο

M: τρέχον δεκάλεπτο ημέρας

MBASE: πλήθος μονάδων βάσεως

MBSF(M): σειρά ένταξης μονάδων βάσεως

NEPEIS: ετήσιο πλήθος φορών που ο ΥΒΣ δεν κατάφερε, παρά τη δέσμευσή του, να προσφέρει ποσά ενέργειας

NFSTOP: πλήθος αντλιών που βρίσκονται σε φάση αναμονής για επανεκκίνηση

NLGE: πλήθος σημείων στο διάγραμμα αδιάστατου φορτίου – βαθμού απόδοσης σύγχρονης γεννήτριας

NPARAM: δείκτης για το αν θα γίνει ή όχι παραμετρική μελέτη ως προς κάποιο μέγεθος

NPGE: πλήθος δεδομένων για μέγιστους βαθμούς απόδοσης σύγχρονων γεννητριών στο αρχείο MECHDAT

NPLT(NT) πλήθος σημείων στο διάγραμμα αδιάστατης παροχής – βαθμού απόδοσης υδροστροβίλου

NPOPE: πλήθος εν λειτουργία αντλιών το τρέχον δεκάλεπτο

NPPP: πλήθος δεδομένων για βαθμό απόδοσης αντλιών στο αρχείο MECHDAT

NRPT(L): πλήθος δεδομένων για βαθμό απόδοσης υδροστροβίλων στο αρχείο MECHDAT

NPREAD: παράμετρος επιλογής απλών ή αναστρέψιμων αντλιών

NPUMPS: πλήθος αντλιών

NPUREM: πλήθος αντλιών που παραμένουν σε λειτουργία το τρέχον δεκάλεπτο

NPYP(N): δείκτης είδους αντλιών (απλές - αναστρέψιμες)

NRSTA, NREND: αρχή και τέλος των επαναλήψεων κατά την παραμετρική εκτέλεση του κώδικα

NTOPER: πλήθος των εν λειτουργία υδροστροβίλων το τρέχον δεκάλεπτο

NTREAD: παράμετρος επιλογής του τύπου των υδροστροβίλων

NTURBS: πλήθος υδροστροβίλων

NTUREM: πλήθος υδροστροβίλων που παραμένουν διαθέσιμοι το τρέχον δεκάλεπτο (π.χ. σε περίπτωση αναστρέψιμων μηχανών)

NTYP(N): δείκτης για τον τύπο του υδροστροβίλου

NVSP: παράμετρος επιλογής του τύπου των αντλιών

NWGEN: πλήθος ανεμογεννητριών

PAPOM: ωριαία ισχύς προσφοράς του ΥΒΣ μετά τον περιορισμό φόρτισης

PAPOMT: μέγεθος που συσχετίζει την μεταβλητή PAPOM με τη στάθμη του άνω ταμιευτήρα

PAPOMX: βοηθητική μεταβλητή

PAXPH, PAXPV, PAXTH, PAXTV: πάχη σωλήνα

PBOT(I0,I1): τεχνικό ελάχιστο μονάδων βάσεως

PDI, PDIMN(L): ωριαία ισχύς άντλησης με χρήση ενέργειας από το δίκτυο κατά τις ώρες χαμηλής ζήτησης

PEI, PEIMN(L): ωριαία ισχύς προσφοράς του ΥΒΣ πριν τον περιορισμό φόρτισης

PELEC: ισχύς λειτουργίας δεκαλέπτου της διάταξης ηλεκτρόλυσης

PGAP1, PGAP2: άκρα της περιοχής ισχύος που δεν μπορεί να απορροφηθεί από το αντλιοστάσιο λόγω των τεχνικών ελαχίστων των αντλιών

PGLOSX: δεκάλεπτες απώλειες ισχύος λόγω των γεννητριών

PHCT: τεχνικό ελάχιστο υδροστροβίλου

PHCT50: τεχνικό ελάχιστο υδροστροβίλου με συντελεστή τεχνικού ελαχίστου 50%

PHCTMIN: τελικό: τεχνικό ελάχιστο υδροστροβίλου

PHIGH: μέγιστο ωριαίο φορτίο ζήτησης της τρέχουσας ημέρας

PHLOSX: δεκάλεπτες απώλειες ισχύος λόγω των υδροστροβίλων

PHLP: ημερήσιο άθροισμα των ωριαίων ισχύων ζήτησης φορτίου που είναι μεγαλύτερες από την ισχύ από την οποία άγεται η γραμμή εγγυημένης ισχύος

PHN: ονομαστική ισχύς υδροστροβίλου

PHNAL: συνολική ονομαστική ισχύς των ενταγμένων υδροστροβίλων το τρέχον δεκάλεπτο

PHX: συνολική ισχύς λειτουργίας των ενταγμένων υδροστροβίλων το τρέχον δεκάλεπτο

PHXN(N): ισχύς λειτουργίας του ενός υδροστροβίλου το τρέχον δεκάλεπτο

PI: π

PLIM1, PLIM2: βοηθητικές μεταβλητές

PLIMIT: ισχύς από την οποία άγεται η γραμμή εγγυημένης ισχύος

PLOAD(I0,I1): ωριαίο φορτίο ζήτησης για κάθε ημέρα του έτους

PLOW: το μικρότερο ωριαίο φορτίο ζήτησης της τρέχουσας ημέρας, μεταξύ των ωρών κατά τις οποίες επιτρέπεται άντληση με χρήση ενέργειας από το δίκτυο

PPBAS: ωριαία ισχύς λειτουργίας των μονάδων βάσεων πριν την ένταξη του ΥΒΣ

PPBAS: ωριαία ισχύς λειτουργίας των μονάδων βάσεων μετά την ένταξη του ΥΒΣ

PPINST: συνολική εγκατεστημένη ισχύς αντλιοστασίου

PPLOSX: δεκάλεπτες απώλειες ισχύος λόγω των αντλιών

PPMAX: μέγιστη ισχύς αντλιοστασίου

PPMIN: ελάχιστη ισχύς αντλιοστασίου

PPN(N): ονομαστική ισχύς της μιας αντλίας

PPX: συνολική ισχύς λειτουργίας των εν λειτουργία αντλιών το τρέχον δεκάλεπτο

PPXNV: ισχύς λειτουργίας της μιας αντλίας το τρέχον δεκάλεπτο

PSTAR, PSTOP: βοηθητικές μεταβλητές

PTOP: μέγιστο ωριαίο φορτίο ζήτησης του έτους

PTREF: εγκατεστημένη ισχύς ΥΒΣ

PWNXT (J,I): μέση ωριαία αιολική ισχύς του αιολικού πάρκου του ΥΒΣ (προκύπτει από το μέσο όρο των δεκάλεπτων ισχύων της εκάστοτε ώρας)

PWREST(I1): διαθέσιμη αιολική ισχύς δεκαλέπτου μετά την πρώτη επιλογή διάθεσής της

PWX: αιολική ισχύς δεκαλέπτου που διοχετεύεται στο αντλιοστάσιο

PWXO: αιολική ισχύς δεκαλέπτου

PWXP: αιολική ισχύς δεκαλέπτου που διοχετεύεται απευθείας στο δίκτυο

QCONS: ημερήσια παροχή νερού που διέρχεται από τους υδροστροβίλους

QH(N): κανονική παροχή υδροστροβίλου

QHX: συνολική παροχή υδροστροβίλων το τρέχον δεκάλεπτο

QHXN(N): παροχή ενός υδροστροβίλου το τρέχον δεκάλεπτο

QPN(N): κανονική παροχή αντλίας

QPVS(N), QPXNV: παροχή μιας αντλίας το τρέχον δεκάλεπτο

QPX: συνολική παροχή αντλιών το τρέχον δεκάλεπτο

QSTOR: ημερήσια παροχή νερού που διέρχεται από τις αντλίες

QVDIOR: συντελεστής διόρθωσης της παροχής δεκαλέπτου των αντλιών

RELGE(I): βαθμός απόδοσης σύγχρονης γεννήτριας συναρτήσει του αδιάστατου φορτίου

REPGGE(I): μέγιστος βαθμός απόδοσης σύγχρονης γεννήτριας συναρτήσει της ονομαστικής της ισχύος

REPP(I): μέγιστος βαθμός απόδοσης αντλίας συναρτήσει της ονομαστικής της ισχύος

RETL: βαθμός απόδοσης υδροστροβίλου συναρτήσει της αδιάστατης παροχής

RETP: μέγιστος βαθμός απόδοσης υδροστροβίλου συναρτήσει της ονομαστικής του ισχύος

RLGE: αδιάστατο φορτίο σύγχρονης γεννήτριας

RPGE(I): ισχύς σύγχρονης γεννήτριας

RPP(I): ισχύς αντλίας

RPT(L,I): ισχύς υδροστροβίλου

RQT(NT,I): αδιάστατη παροχή υδροστροβίλου

RRR: προεξοφλητικό επιτόκιο

RTMT(L): τεχνικό ελάχιστο παροχής υδροστροβίλου

SMALL: ένας πολύ μικρός αριθμός

SUM01, SUM1: ετήσιο φορτίο ζήτησης

SUM02: ετήσια κάλυψη της ζήτησης από τις συμβατικές μονάδες πριν την ένταξη του ΥΒΣ

SUM03: ετήσια κάλυψη της ζήτησης από τα αιολικά πάρκα πριν την ένταξη του ΥΒΣ

SUM2: ετήσια κάλυψη της ζήτησης από τις συμβατικές μονάδες μετά την ένταξη του ΥΒΣ

SUM3: ετήσια κάλυψη της ζήτησης από τον ΥΒΣ

SUM4: ετήσια κάλυψη της ζήτησης από τα αιολικά πάρκα εκτός ΥΒΣ μετά την ένταξη του ΥΒΣ

SUMPEI: ημερήσια ποσότητα ενέργειας που παράγεται από τον ΥΒΣ μετά τον περιορισμό φόρτισης

SYN30A: ποσοστό επί της 100 της ετήσιας υδροστροβιλικής παραγωγής ως προς την ετήσια ποσότητα αιολικής ενέργειας που χρησιμοποιήθηκε για άντληση

TAFSTOP(N): άθροισμα των δεκαλέπτων κατά τα οποία μια αντλία παραμένει σε φάση αναμονής για επανεκκίνηση

TERM: βοηθητική μεταβλητή

TINY: ένας πάρα πολύ μικρός αριθμός

TRFH: τιμή πώλησης της KWh του υδροστροβίλου

TRFH2: τιμή πώλησης του kg του υδρογόνου

TRFP: τιμή αγοράς της KWh από το δίκτυο για άντληση

TRFW: τιμή πώλησης της KWh του αιολικού πάρκου

VOLFR: ποσοστό πλήρωσης του άνω ταμιευτήρα

VOLR: όγκος διαθέσιμου νερού στον άνω ταμιευτήρα στην αρχή κάθε δεκαλέπτου

VOLRO: όγκος διαθέσιμου νερού στον άνω ταμιευτήρα στην αρχή του έτους

VOLRMN: ελάχιστος επιτρεπόμενος όγκος νερού στον άνω ταμιευτήρα

VOLRMX: μέγιστος επιτρεπόμενος όγκος νερού στον άνω ταμιευτήρα

VOLTOT: ωφέλιμη χωρητικότητα άνω ταμιευτήρα

VONEG: ετήσιο άθροισμα των δεκαλέπτων όγκων νερού οι οποίοι είναι μικρότεροι από τον ελάχιστο επιτρεπόμενο που ενδεχομένως προκύπτουν κατά την προσομοίωση

WFIRST, WSECOND: προβλεπόμενη αιολική παραγωγή του πρώτου και του δεύτερου δωδεκάωρου της τρέχουσας ημέρας

WINDP(I,J,M2) προβλεπόμενη αιολική παραγωγή κάθε δεκαλέπτου του έτους

WINGEN (M) προβλεπόμενη αιολική παραγωγή κάθε δεκαλέπτου του έτους ανά εγκατεστημένο KW ανεμογεννητριών

WLO(I0,I1): ωριαία παραγωγή αιολικής ενέργειας από τα αιολικά πάρκα εκτός ΥΒΣ

WLOS24: απορριπτόμενη αιολική ισχύς του ΥΒΣ στη μονάδα χρόνου AAM1

WSUM(I): μέση ημερήσια αιολική ισχύς του αιολικού πάρκου του ΥΒΣ

WSUME: ημερήσια ποσότητα αιολικής ενέργειας που παράγεται από τον ΥΒΣ

WSUMTOT: ετήσια ποσότητα αιολικής ενέργειας που παράγεται από τον ΥΒΣ

WTLOSS: βαθμός απόδοσης ανεμογεννήτριας

WTREF: εγκατεστημένη ισχύς του αιολικού πάρκου του ΥΒΣ

WTSIZE: ονομαστική ισχύς της κάθε ανεμογεννήτριας

X, X1: βοηθητικές μεταβλητές

XWLO(I0,I1): ωριαία ισχύς των αιολικών πάρκων εκτός ΥΒΣ

YEARBCO: λόγος των ετήσιων εσόδων προς το συνολικό κόστος κατασκευής του ΥΒΣ

YEARDEP: περίοδος απόσβεσης
YHPROD: ετήσια ποσότητα ενέργειας που παράγεται από τους υδροτροβίλους
YINCOM: ετήσια έσοδα του ΥΒΣ
YNEEDS: ετήσια ποσότητα εγγυημένης ενέργειας
YPURCH: ετήσια ποσότητα ενέργειας που αγοράστηκε από το δίκτυο για άντληση
YQUANH2: ετήσια ποσότητα παραγόμενου υδρογόνου από τον ΥΒΣ
YWH2: ετήσια ποσότητα αιολικής ενέργειας που διοχετεύτηκε στη διάταξη ηλεκτρόλυσης
YWH2INCOME: ετήσια έσοδα του ΥΒΣ από την πώληση υδρογόνου
YWLOS: ετήσια ποσότητα αιολικής ενέργειας που απορρίφθηκε
YWPROD: ετήσια ποσότητα αιολικής ενέργειας που διοχετεύτηκε απευθείας στο δίκτυο
YWPUMP: ετήσια ποσότητα αιολικής ενέργειας που διοχετεύτηκε στο αντλιοστάσιο
YWTOT: ετήσια ποσότητα αιολικής ενέργειας που αξιοποιήθηκε
ZADD: συντελεστής που δείχνει τη μεταβολή της στάθμης του άνω ταμιευτήρα σε μέτρα ως προς τη μέση για συγκεκριμένο όγκο νερού που προστίθεται ή αφαιρείται
ZPIPEP, ZPIPET: συντελεστές αντίστασης σωλήνων