

2011

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΡΕΥΣΤΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:
ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ Ε. ΠΑΠΑΝΤΩΝΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ: ΒΑΡΒΑΡΑ ΚΡΟΥΣΚΑ



[ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΘΑΛΑΣΣΙΝΟΥ ΝΕΡΟΥ]

1. ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	- 2 -
2. ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	- 4 -
3. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	- 5 -
4. ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	- 9 -
4.1. ΟΡΙΣΜΟΣ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	- 9 -
4.2. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΥΒΡΙΔΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ	- 10 -
4.2.1. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ	- 10 -
4.2.2. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ- ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ.....	- 12 -
4.3. ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ	- 12 -
4.3.1. ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	- 12 -
4.3.2. ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ	- 15 -
4.3.3. ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	- 17 -
4.4. ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ- ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΕΡΓΑ	- 18 -
4.4.1. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ	- 18 -
4.4.2. ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ- ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΙ.....	- 19 -
4.4.3. ΑΝΤΛΗΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ- ΑΝΤΛΙΕΣ	- 21 -
4.5. ΑΝΑΣΤΡΕΨΙΜΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ	- 21 -
4.6. ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΑ ΤΟΝ ΚΟΣΜΟ	- 24 -
5. ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΘΑΛΑΣΣΙΝΟΥ ΝΕΡΟΥ	- 26 -
5.1. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	- 26 -
5.1.1. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ.....	- 26 -
5.1.2. ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ	- 27 -
5.2. ΙΔΙΑΙΤΕΡΟΤΗΤΕΣ ΛΟΓΩ ΧΡΗΣΗΣ ΘΑΛΑΣΣΙΝΟΥ ΝΕΡΟΥ	- 27 -
5.3. ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΘΑΛΑΣΣΙΝΟΥ ΝΕΡΟΥ ΑΝΑ ΤΟΝ ΚΟΣΜΟ ..	- 29 -
6. ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΤΗΣ ΟΚΙΝΑΩΑ	- 34 -
6.1. ΠΕΡΙΟΧΗ	- 34 -
6.1.1. ΘΕΣΗ	- 34 -
6.1.2. ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ	- 34 -
6.1.3. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ	- 34 -
6.1.4. ΑΝΑΓΚΕΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	- 35 -
6.1.5. ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	- 35 -
6.2. ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	- 36 -
6.2.1. ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	- 36 -
6.2.2. ΜΕΛΕΤΕΣ.....	- 36 -
6.2.3. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	- 37 -
6.2.4. ΑΝΑΣΤΡΕΨΙΜΗ ΜΗΧΑΝΗ ΘΑΛΑΣΣΙΝΟΥ ΝΕΡΟΥ- ΑΝΤΙΔΙΑΒΡΩΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ	- 46 -
6.3. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ, ΜΕΤΡΑ ΚΑΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ	- 53 -
6.3.1. ΠΡΟΫΠΑΡΧΟΥΣΕΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ	- 53 -
6.3.2. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ	- 54 -
6.3.3. ΚΥΡΙΕΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ	- 55 -

6.3.4.	ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ	- 58 -
6.3.5.	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΜΕΤΡΩΝ ΠΡΟΛΗΨΗΣ	- 63 -
7.	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ ...	68 -
7.1.	ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	- 68 -
7.1.1.	ΑΝΩ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑΣ.....	- 68 -
7.1.2.	ΑΓΩΓΟΣ ΠΡΟΣΑΓΩΓΗΣ- ΚΑΤΑΘΛΙΨΗΣ (Penstock)	- 68 -
7.1.3.	ΑΓΩΓΟΣ ΦΥΓΗΣ- ΑΝΑΡΡΟΦΗΣΗΣ (Tailrace)	- 68 -
7.1.4.	ΑΝΑΣΤΡΕΨΙΜΗ ΜΗΧΑΝΗ (λειτουργία στροβίλου)	- 69 -
7.1.5.	ΑΝΑΣΤΡΕΨΙΜΗ ΜΗΧΑΝΗ (λειτουργία αντλίας)	- 69 -
7.2.	ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ	- 69 -
7.2.1.	ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ	- 69 -
7.2.2.	ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΤΙΜΟΛΟΓΗΣΕΩΝ	- 70 -
8.	ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ.....	- 76 -
9.	ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	- 84 -
9.1.	1^η ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗ ΠΡΟΤΑΣΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ.....	- 84 -
9.1.1.	ΜΕ ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ	- 84 -
9.1.2.	ΧΩΡΙΣ ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ.....	- 97 -
9.1.3.	ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	- 110 -
9.2.	2^η ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗ ΠΡΟΤΑΣΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ.....	- 111 -
9.2.1.	ΜΕ ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	- 112 -
9.2.2.	ΧΩΡΙΣ ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	- 124 -
9.2.3.	ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	- 136 -
9.3.	3^η ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗ ΠΡΟΤΑΣΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ	- 138 -
9.3.1.	ΜΕ ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	- 139 -
9.3.2.	ΧΩΡΙΣ ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	- 151 -
9.3.3.	ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	- 163 -
9.4.	ΧΡΗΜΑΤΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	- 165 -
9.5.	ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΙΣΧΥΟΣ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ.....	- 168 -
10.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	- 170 -

2. ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Πρωτίστως, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή της διπλωματικής μου εργασίας, κ. Δ. Ε. Παπαντώνη, για την καθοδήγηση του, την κατανόηση του και για την καθ' όλα εξαιρετική μεταξύ μας συνεργασία. Στη συνέχεια, αλλά όχι δευτερευόντως, ευχαριστώ την κα Γ. Τσικνάκου για την επαγγελματική και πολύτιμη συμβολή της.

Επιπλέον, ευχαριστώ τους Ε. Λάζαρη, Μ. Κρούσκα και Δ. Κατάρα, χάρη στην αρωγή και την αμέριστη συμπαράσταση των οποίων, κατάφερα να διεκπεραιώσω την παρούσα διπλωματική εργασία. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την άνευ όρων υποστήριξη.

3. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Πολλά από τα περιβαλλοντικά προβλήματα που απασχολούν την ανθρωπότητα (όξινη βροχή, αστικά νέφη κ.ά.) είναι αποτέλεσμα της ενέργειας που παράγουμε και καταναλώνουμε. Ειδικότερα, το φαινόμενο του θερμοκηπίου, που οφείλεται στις ενεργειακές καύσεις και στην αύξηση της συγκέντρωσης του CO₂ και άλλων αερίων στην ατμόσφαιρα, συνιστά μια σοβαρή απειλή για μια γενικότερη κλιματική μεταβολή στον πλανήτη. Η προσπάθεια για τον περιορισμό των αερίων του θερμοκηπίου προϋποθέτει κυρίως επεμβάσεις στον ενεργειακό τομέα, καθώς τα αέρια αυτά προέρχονται στο μεγαλύτερο ποσοστό τους από την παραγωγή και χρήση ενέργειας.

Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Α.Π.Ε.) εκμεταλλεύονται τις δυνάμεις της φύσης και μπορούν να συμβάλλουν σημαντικά στην προσπάθεια μείωσης των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου, καθώς είναι οι μόνες πηγές ενέργειας που δεν επιβαρύνουν με εκπομπές CO₂. Πέρα όμως από τα στενά πλαίσια αντιμετώπισης του φαινομένου του θερμοκηπίου, τα χαρακτηριστικά των ΑΠΕ τις καθιστούν συστατικό στοιχείο μιας νέας αναπτυξιακής πολιτικής και μοναδική μακροπρόθεσμη απάντηση στην πορεία προς τη βιώσιμη ανάπτυξη. Τα οφέλη που προκύπτουν από την εκμετάλλευση των ΑΠΕ δεν είναι μόνο περιβαλλοντικής φύσης. Η αξιοποίηση αυτών των ενδογενών ενεργειακών πόρων της φύσης μπορεί να επιφέρει επίσης σημαντικές θετικές κοινωνικές και οικονομικές επιπτώσεις στην περιφερειακή και την τοπική ανάπτυξη. Παρά το γεγονός ότι απαιτείται ένα σημαντικό κεφάλαιο για την αρχική τους εγκατάσταση και τον εξοπλισμό, το λειτουργικό τους κόστος είναι σχετικά χαμηλό και τα αποτελέσματά τους ιδιαίτερα σημαντικά.

Τα κύρια πλεονεκτήματα των ΑΠΕ είναι τα εξής:

- Είναι πρακτικά ανεξάντλητες πηγές ενέργειας και συμβάλλουν στη μείωση της εξάρτησης από τους εξαντλήσιμους πόρους (κυρίως ορυκτά καύσιμα).
- Είναι εγχώριες πηγές ενέργειας και συνεισφέρουν στην ενίσχυση της ενεργειακής αυτάρκειας και της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού σε

τοπικό, περιφερειακό και εθνικό επίπεδο.

- Είναι διάσπαρτες γεωγραφικά και οδηγούν στην αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος, παρέχοντας τη δυνατότητα κάλυψης των ενεργειακών αναγκών σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο, ανακουφίζοντας τα συστήματα υποδομής και μειώνοντας τις απώλειες από τη μεταφορά ενέργειας.
- Προσφέρουν τη δυνατότητα ορθολογικής αξιοποίησης των ενεργειακών πόρων καλύπτοντας ένα ευρύ φάσμα των ενεργειακών αναγκών των χρηστών (π.χ. ηλιακή ενέργεια για θερμότητα χαμηλών θερμοκρασιών, αιολική ενέργεια για ηλεκτροπαραγωγή).
- Έχουν συνήθως χαμηλό λειτουργικό κόστος που δεν επηρεάζεται από τις διακυμάνσεις της διεθνούς οικονομίας και ειδικότερα των τιμών των συμβατικών καυσίμων.
- Οι επενδύσεις των ΑΠΕ χαρακτηρίζονται ως «εντάσεως εργασίας», συμβάλλουν δηλαδή στη δημιουργία πολλών θέσεων εργασίας, ιδιαίτερα σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο.
- Μπορούν να αποτελέσουν, σε πολλές περιπτώσεις, πυρήνα για την αναζωογόνηση οικονομικά και κοινωνικά υποβαθμισμένων περιοχών και πόλο ανάπτυξης, με την προώθηση ανάλογων ενεργειακών επενδύσεων.
- Είναι φιλικές προς το περιβάλλον και τον άνθρωπο και η αξιοποίησή τους είναι γενικά αποδεκτή από το κοινό.

Καθοριστική για το μέλλον των ΑΠΕ είναι η απόφαση του πέρυσι το Μάρτιο του 2007 οι αρχηγοί κρατών της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τη θέσπιση του στόχου «20-20-20». Η απόφαση αυτή πάρθηκε μετά από πρόταση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής που έγινε τον Ιανουάριο του 2007 και αποτελούσε μέρος ενός «ενεργειακού πακέτου» που παρουσίασε η επιτροπή για την αντιμετώπιση τόσο του φαινομένου του θερμοκηπίου όσο και της ενεργειακής εξάρτησης της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Η πρόταση περιλαμβάνει τρεις στόχους με ορίζοντα το 2020, οι οποίοι στη συνέχεια υιοθετήθηκαν από τους αρχηγούς κρατών στο συμβούλιο κορυφής του Μαρτίου

2007:

1. Μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου κατά 20% σε σχέση με τις εκπομπές του 1990.
2. Μείωση της κατανάλωσης ενέργειας κατά 20% σε σχέση με την προβλεπόμενη κατανάλωση το 2020.
3. Το 20% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας το 2020 να προέρχεται από ΑΠΕ.

Εκτός όμως από την τάση για στροφή στις ΑΠΕ, τα τελευταία χρόνια έχει αναπτυχθεί σε όλο τον κόσμο μια νέα ανάγκη για αποταμίευση της παραγόμενης ενέργειας και αξιοποίησή της στις ώρες υψηλής ζήτησης. Την πλέον διαδεδομένη λύση στο σύγχρονο πρόβλημα της αποταμίευσης ενέργειας αποτελούν τα Υβριδικά Συστήματα. Τα συστήματα αυτά κατασκευάζονται ως επί το πλείστον σε αυτόνομα δίκτυα και σκοπό έχουν την απορρόφηση της απορριπτόμενης (λόγω ορίου διείσδυσης στο δίκτυο) ενέργειας που παράγουν κυρίως τα αιολικά πάρκα. Στη συνέχεια, τροφοδοτούν το δίκτυο με την ενέργεια που έχουν αποθηκεύσει, παρέχοντας έτσι εγγυημένη ισχύ και συμβάλλοντας στην ευστάθεια του ηλεκτρικού συστήματος.

Τα Υβριδικά Συστήματα Αποθήκευσης Ενέργειας κατά κανόνα χρησιμοποιούν γλυκό νερό, είτε ποταμών είτε λιμνών. Πριν από περίπου δυο δεκαετίες, ξεκίνησε να διερευνάται η δυνατότητα κατασκευής παραθαλάσσιων Υβριδικών Συστημάτων, ώστε να αξιοποιείται το θαλασσινό νερό για την αποθήκευση. Οι έρευνες και η μελέτες που έγιναν, κατέληξαν στην κατασκευή του πρώτου συστήματος παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας με χρήση θαλασσινού νερού στο νησί Okinawa της Ιαπωνίας. Μέχρι και σήμερα, το έργο αυτό είναι το μόνο σύστημα αντλησιοταμίευσης στον κόσμο που χρησιμοποιεί θαλασσινό νερό, αν και πολλά συναφή έργα βρίσκονται σε φάση μελέτης.

Το αντικείμενο της εργασίας αυτής είναι η προσομοίωση ενός συστήματος με τα τεχνικά χαρακτηριστικά αυτού της Okinawa, προσαρμοσμένο όμως στα ελληνικά δεδομένα. Ένα αναστρέψιμο υδροηλεκτρικό έργο με δυνατότητα αποθήκευσης ενέργειας θα μπορούσε να ενσωματωθεί στο Ελληνικό Σύστημα Ηλεκτροδότησης

μόνο ως μέρος Υβριδικού Συστήματος, λόγω του ότι δεν έχει προβλεφθεί κάτι διαφορετικό από την υπάρχουσα νομοθεσία. Κατά συνέπεια, η προσομοίωση γίνεται για ένα Υβριδικό Σύστημα συνδυασμού αιολικού πάρκου και αναστρέψιμου υδροηλεκτρικού με τα χαρακτηριστικά του συστήματος της Okinawa. Ακόμη, γίνεται διερεύνηση εναλλακτικού σχεδιασμού του Υβριδικού Συστήματος (για διαφορετικό συνδυασμό μηχανών, με ή χωρίς εισαγωγή ενέργειας από το δίκτυο και για διαφορετικές ισχύεις αιολικού πάρκου) καθώς και τεχνικοοικονομική ανάλυση του έργου, με αναγωγή πάντα στα ελληνικά δεδομένα και με τους περιορισμούς που θέτει η Ελληνική Νομοθεσία.

4. ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

4.1. ΟΡΙΣΜΟΣ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Βάσει του Νόμου 3468/2006 (Κεφ. Α' Άρθρ. 2 Παρ. 25), «ως Υβριδικός Σταθμός ορίζεται κάθε σταθμός παραγωγής που

1. χρησιμοποιεί μία, τουλάχιστον, μορφή Α.Π.Ε.
2. Η συνολική ενέργεια που απορροφά από το Δίκτυο, σε ετήσια βάση, δεν υπερβαίνει το 30% της συνολικής ενέργειας που καταναλώνεται για την πλήρωση του συστήματος αποθήκευσης του σταθμού αυτού. Ως ενέργεια που απορροφά ο Υβριδικός Σταθμός από το Δίκτυο, ορίζεται η διαφορά μεταξύ της ενέργειας που μετράται κατά την είσοδο της στο σταθμό και της ενέργειας που αποδίδεται απευθείας στο Δίκτυο από τις μονάδες Α.Π.Ε. του Υβριδικού Σταθμού. Η διαφορά αυτή υπολογίζεται, για τα μη Διασυνδεδεμένα Νησιά, σε ωριαία βάση. Αν για την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας εφαρμόζεται τεχνολογία διαφορετική από αυτή των φωτοβολταϊκών, μπορεί να χρησιμοποιείται και συμβατική ενέργεια που δεν απορροφάται στο Δίκτυο, εφόσον η χρήση της ενέργειας αυτής κρίνεται αναγκαία για την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας. Η χρησιμοποιούμενη συμβατική ενέργεια δεν μπορεί να υπερβαίνει το 10% της συνολικής ενέργειας που παράγεται, σε ετήσια βάση, από τις μονάδες αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας.
3. Η μέγιστη ισχύς παραγωγής των μονάδων Α.Π.Ε. του σταθμού δεν μπορεί να υπερβαίνει την εγκατεστημένη ισχύ των μονάδων αποθήκευσης του σταθμού αυτού, προσαυξημένη κατά ποσοστό μέχρι 20%.»

Με πιο απλά λόγια, ένα υβριδικό σύστημα είναι ένα δυναμικό σύστημα ισχύος το οποίο χρησιμοποιεί πάνω από μία μεθόδους παραγωγής ενέργειας για να καλύπτει την απαιτούμενη ζήτηση. Γενικά τα υβριδικά συστήματα συνδυάζουν τις διάφορες μορφές ενέργειας, ανανεώσιμες και συμβατικές, για να τροφοδοτούν το σύστημα συνεχώς με σταθερή τάση, ελαχιστοποιώντας τους κινδύνους διακοπής της τροφοδοσίας. Χαρακτηρίζονται ως δυναμικά συστήματα, καθώς είναι σχεδιασμένα

έτσι ώστε να εναλλάσσονται ανάμεσα στις διαθέσιμες πηγές ενέργειας ή και να τις συνδυάζουν ταυτόχρονα, με αποτέλεσμα να εξαρτώνται κατά το ελάχιστο από τις μεταβολές των εξωγενών παραγόντων, όπως το τοπικό δίκτυο, η ηλιοφάνεια, η ένταση του ανέμου, η ροή του νερού κ.τ.λ.

Η παράλληλη χρήση αιολικών συστημάτων με μηχανές εσωτερικής καύσεως diesel είναι μια ευρύτατα εφαρμοσμένη τεχνολογία. Τα χαρακτηριστικά της παράλληλης λειτουργίας αιολικών και diesel ταιριάζουν στις απαιτήσεις πολλών ελληνικών νησιών και η χρήση τους μπορεί να αποφέρει μεγάλη εξοικονόμηση καυσίμου.

Επιπλέον, υπάρχουν διαφορετικοί τύποι υβριδικών συστημάτων που συνδυάζουν τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Παραδείγματα τέτοιων εφαρμογών είναι ο συνδυασμός αιολικών με φωτοβολταϊκά με ή χωρίς σύστημα αποθήκευσης, αιολικά ή/και φωτοβολταϊκά με αφαλάτωση και παράλληλη χρήση μικρών υδροηλεκτρικών κ.ά.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχει ο συνδυασμός δύο διαφορετικών μορφών Α.Π.Ε.:

- Της αιολικής ενέργειας (ως μονάδων Α.Π.Ε. του Υβριδικού Σταθμού) και
- Της υδροηλεκτρικής ενέργειας (ως μονάδων παραγωγής και αποθήκευσης του Υβριδικού Σταθμού).

Ο αποδοτικός αυτός συνδυασμός των δύο φυσικών πόρων, ο οποίος κερδίζει συνεχώς έδαφος σε παγκόσμιο αλλά και σε εθνικό επίπεδο, δίνει μια αξιόπιστη απάντηση στο πολύ σημαντικό ζήτημα της αποθήκευσης και ελεγχόμενης διανομής της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας.

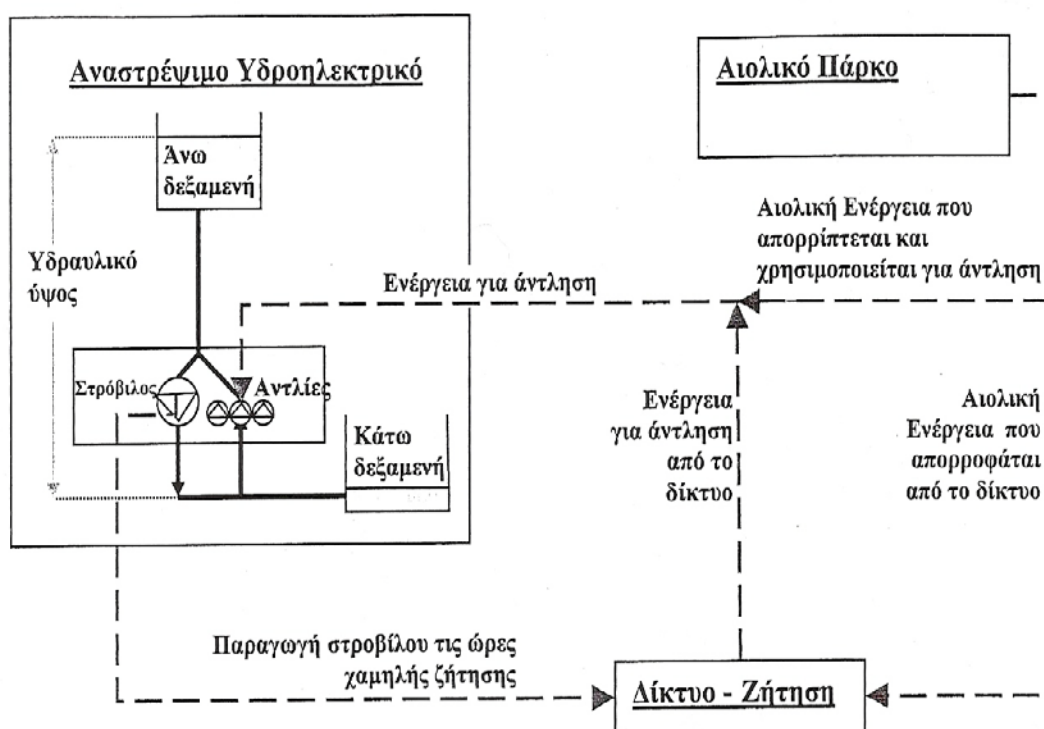
4.2. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΥΒΡΙΔΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

4.2.1. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ

Τα συστήματα αντλησιοταμίευσης των Υβριδικών Σταθμών αποτελούνται από δύο δεξαμενές, χωροθετημένες σε διαφορετικό υψόμετρο, ένα σύστημα αντλιών-στροβίλων ή αναστρέψιμων μηχανών και ένα δίκτυο σωληνώσεων (αγωγών, σηράγγων ή διωρύγων).

Τα συστήματα αυτά έχουν δυνατότητα λειτουργίας για παραγωγή ηλεκτρικής

ενέργειας (λειτουργία υδροστροβίλου) και δυνατότητα άντλησης (αποταμίευσης) νερού από τον κάτω στον άνω ταμιευτήρα. Η άντληση του νερού γίνεται κατά τη διάρκεια των ωρών ή ημερών χαμηλής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας από την περίσσεια ενέργειας του Αιολικού Πάρκου. Στη συνέχεια, η αποθηκευμένη υδραυλική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας κατά τις ώρες αιχμής ή όταν δε φυσάει άνεμος, μέσω του υδροστροβίλου.



Εικόνα 1: Διάγραμμα λειτουργίας Υβριδικού Συστήματος με Αναστρέψιμο Υδροηλεκτρικό και Αιολικό Πάρκο

Ένα χαρακτηριστικό των Υβριδικών Συστημάτων είναι ο ρυθμός εναλλαγής της λειτουργίας τους μεταξύ άντλησης και παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Η εναλλαγή αυτή μπορεί να συμβαίνει μια ή περισσότερες φορές την ημέρα, μια φορά την εβδομάδα ή μια φορά το χρόνο. Οι δύο τελευταίες περιπτώσεις εναλλαγής της λειτουργίας απαιτούν την ύπαρξη δεξαμενής αποθήκευσης (άνω ταμιευτήρα) πολύ μεγάλης χωρητικότητας.

4.2.2. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ- ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

Η κατασκευή συστημάτων αντλησιοταμίευσης πλεονεκτεί έναντι των συμβατικών μορφών ενέργειας λόγω του ότι:

1. Απορροφούν την περίσσεια ενέργειας κατά τις ώρες χαμηλής ζήτησης μετατρέποντας την σε υδραυλική και αποθηκεύοντας τη στον άνω ταμιευτήρα.
2. Αποδίδουν στο δίκτυο κατά τις ώρες αιχμής την ενέργεια που έχουν αποταμιεύσει ενώ, στις περισσότερες περιπτώσεις, παράγουν και πρωτογενή ενέργεια από την αξιοποίηση των φυσικών εισροών στον άνω ταμιευτήρα.

Φυσικά η διαδικασία αυτή μετατροπής της ηλεκτρικής ενέργειας σε υδραυλική και στη συνέχεια η εκ νέου μετατροπή της σε ηλεκτρική συνοδεύεται από απώλειες ενέργειας (οι συνολικές απώλειες σε ένα κύκλο άντλησης- παραγωγής ενέργειας φτάνει στο 23% για έργα μεγάλου μεγέθους).

Από την άλλη πλευρά, οι συμβατικές μονάδες και ιδιαίτερα οι αεριοστρόβιλοι αποτελούν δημοφιλέστερη επιλογή για την κάλυψη επειγουσών ενεργειακών αναγκών, λόγω του ότι:

1. Τα συστήματα αντλησιοταμίευσης δεν είναι δυνατόν να κατασκευασθούν παρά μόνο σε περιοχές που το επιτρέπει η φυσική και γεωλογική διαμόρφωση, δηλαδή σε θέσεις που κατά κανόνα βρίσκονται μακριά από την κατανάλωση.
2. Τα έργα αυτά έχουν μεγάλο χρόνο κατασκευής και υψηλό κόστος ανά εγκατεστημένη μονάδα ισχύος, κάτι που δεν ισχύει για τους αεριοστρόβιλους.

4.3. ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

4.3.1. ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Η Δανία υπήρξε η πρώτη ευρωπαϊκή χώρα που υιοθέτησε μια επιτυχημένη πολιτική ανάπτυξης της αιολικής ενέργειας και παρέμεινε η κυρίαρχη χώρα αναφορικά με

την παραγωγή ηλεκτρισμού από αιολική ενέργεια μέχρι σήμερα. Στις αρχές της δεκαετίας του 1990, η κλίμακα ανεμογεννητριών μεγέθους 300 με 500kW άρχισε να εισάγεται με επιτυχία στην υπόλοιπη Ευρώπη, σηματοδοτώντας την έκρηξη της αιολικής ενέργειας στη Γερμανία. Κατά τη διάρκεια της ραγδαίας αυτής ανάπτυξης, η Γερμανική βιομηχανία αιολικής ενέργειας έφτασε τα τεχνολογικά επίπεδα της Δανίας και τώρα διαδραματίζει πρωταγωνιστικό ρόλο στην παγκόσμια αγορά αιολικών συστημάτων. Παρόμοια πορεία



ακολούθησε και η Ισπανία από τα μέσα της δεκαετίας του '90. Αυτή η ανάπτυξη κατέστη δυνατή λόγω της ύπαρξης ισχυρών αγορών με ασφαλείς συνθήκες για τους παραγωγούς ηλεκτρικής ενέργειας από αιολικά.

Εικόνα 2: Αιολικό πάρκο με ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα

Η πορεία ανάπτυξης της αγοράς αιολικής ενέργειας τα τελευταία χρόνια υπήρξε συνεχής και εντυπωσιακή. Μέχρι το τέλος του 2006 περίπου 74.000MW ανεμογεννητριών είχαν εγκατασταθεί και λειτουργούσαν σε 55 χώρες. Από αυτά, 48.000MW περίπου ήταν εγκατεστημένα στην Ευρωπαϊκή Ένωση.

Οι πέντε σημαντικότερες αγορές αιολικής ενέργειας (Γερμανία, Ισπανία, ΗΠΑ, Ινδία και Δανία) κάλυπταν περίπου το 70% της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος το 2006. Οι τρεις κυρίαρχες στον τομέα χώρες της Ευρώπης (Γερμανία, Ισπανία και Δανία) κατέχουν πάνω από το 73% της συνολικής Ευρωπαϊκής εγκατεστημένης ισχύος από αιολικά. Η Γερμανική αγορά από μόνη της κατείχε το 2006 περίπου το 42% της ευρωπαϊκής αγοράς και το 27% της παγκόσμιας αγοράς.



Εικόνα 3: Όψη αιολικού πάρκου με τρίπτερες ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα

Τα τελευταία χρόνια όμως έχουν αρχίσει να αναπτύσσονται νέες αγορές τόσο στην Ευρώπη όσο και σε άλλες περιοχές του κόσμου. Στο τέλος του 2006 υπήρχαν 13 κράτη με εγκατεστημένη ισχύ πάνω από 1.000MW. Η Ινδία ξεπερνώντας τη Δανία με πάνω από 5.000MW πέρασε στην κορυφαία πεντάδα μεταξύ των παραδοσιακών μεγάλων αγορών της δεκαετίας του 1990 (Γερμανία, ΗΠΑ, Ισπανία και Δανία). Οι υπόλοιπες χώρες με εγκατεστημένη ισχύ άνω των 1.000MW είναι η Κίνα, η Ιταλία, η Μ. Βρετανία, η Πορτογαλία, η Γαλλία, η Ιαπωνία, η Ολλανδία και ο Καναδάς.

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή, στη Λευκή Βίβλο¹ για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας έθεσε ως στόχο για την αιολική ενέργεια τα 40 GW εγκατεστημένης ισχύος μέχρι το 2010. Ο στόχος αυτός επιτεύχθηκε στο τέλος του 2005. Για το λόγο αυτό, προτάθηκαν από την Ευρωπαϊκή Ένωση Αιολικής Ενέργειας νέοι στόχοι, πιο ρεαλιστικοί δεδομένης της παρούσας κατάστασης ανάπτυξης της αιολικής ενέργειας. Οι στόχοι αυτοί είναι 180GW για το 2020 και 300GW για το 2030. Η αιολική ενέργεια συνεισφέρει σήμερα πάνω από το 5% της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Εάν οι στόχοι αυτοί επιτευχθούν τότε η αιολική ενέργεια θα παράγει το 13% το 2020 και το 23% το 2030.

¹ Η Λευκή Βίβλος (Νοέμβριος 1997) αποτελεί ένα σχέδιο δράσης που στοχεύει στην ανάληψη πρωτοβουλιών κατά τρόπο συντονισμένο μέσα στην Ευρωπαϊκή Ένωση για την κινητοποίηση του δυναμικού των ΑΠΕ και την παροχή ισότιμων ευκαιριών για τις ΑΠΕ στην αγορά χωρίς υπέρμετρο δημοσιονομικό βάρος. Τα μέτρα που προτείνονται αφορούν τόσο στην εσωτερική αγορά όσο και στην ενίσχυση των Κοινοτικών πολιτικών.

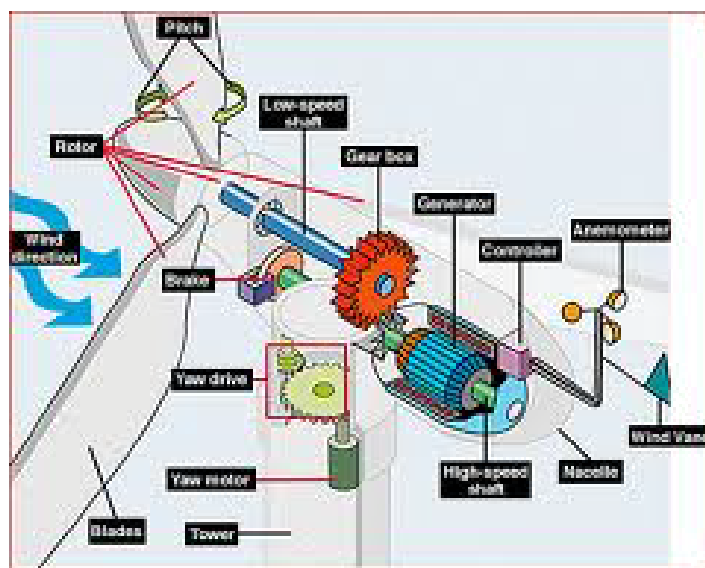
4.3.2. ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ

Οι σύγχρονοι «ανεμόμυλοι» (ή αλλιώς οι μηχανές με τις οποίες αξιοποιείται η αιολική ενέργεια στις μέρες μας) ονομάζονται ανεμογεννήτριες και διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες:

- Τις μηχανές οριζόντιου άξονα και
- Τις μηχανές κατακόρυφου άξονα.

Οι ανεμογεννήτριες έχουν μοντέρνα αεροδυναμική σχεδίαση, που οφείλεται στην πρόοδο που έχει επιτευχθεί τις τελευταίες δεκαετίες στο σχεδιασμό των αεροπορικών πτερυγίων και ελίκων. Μια τυπική ανεμογεννήτρια σήμερα είναι οριζόντιου άξονα, με ισχύ από 800 έως και 3000 kW. Στην Ευρώπη, τα συνήθη αιολικά πάρκα είναι της τάξεως των 20 έως 50 MW, ενώ στην Αμερική και την Κίνα υπάρχουν πάρκα με εγκατεστημένη ισχύ μεγαλύτερη από 300 MW. Η διαφορά αυτή στα μεγέθη οφείλεται στο ότι η Ευρώπη είναι αρκετά πυκνοκατοικημένη και συνεπώς υπάρχει περιορισμός χώρου. Αυτός είναι και ο λόγος που η Ευρώπη πρωτοπορεί στα επιθαλάσσια αιολικά πάρκα (off-shore).

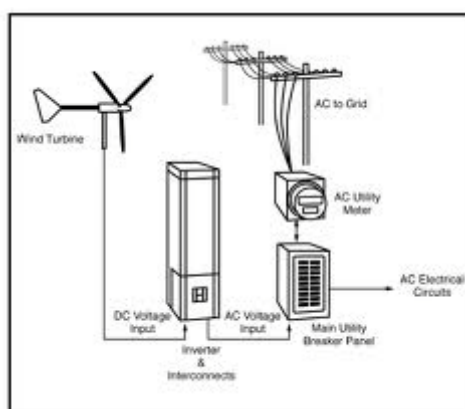
Η παραγωγή ισχύος μιας ανεμογεννήτριας μεταβάλλεται με την ταχύτητα του ανέμου. Κάθε μηχανή χαρακτηρίζεται από την καμπύλη ισχύος της που εξαρτάται από τα γεωμετρικά της χαρακτηριστικά και το σχεδιασμό της.



Εικόνα 4: Βασικά Ηλεκτρομηχανολογικά χαρακτηριστικά μιας ανεμογεννήτριας οριζοντίου άξονα

Οι ανεμογεννήτριες δεν μπορούν να παράγουν όση ενέργεια δηλώνει η ονομαστική ισχύς τους, διότι πολλές ώρες ετησίως λειτουργούν μακριά από αυτή. Η παραγόμενη ενέργεια μιας αιολικής μηχανής εξαρτάται τόσο από την καμπύλη ισχύος της μηχανής όσο και από το ρόδο του ανέμου² στην περιοχή. Για κάθε ταχύτητα ανέμου εντός των ορίων λειτουργίας της ανεμογεννήτριας, η παραγόμενη ενέργεια προκύπτει από το γινόμενο της ισχύος της ανεμογεννήτριας (που αντιστοιχεί στην εκάστοτε ταχύτητα ανέμου βάσει δεδομένης καμπύλης ισχύος) επί τον αριθμό των ωρών εμφάνισης της συγκεκριμένης ταχύτητας ετησίως. Με τον τρόπο αυτό, μπορεί κανείς να φτιάξει την καμπύλη της κατανομής παραγόμενης ενέργειας. Η συνολική ετήσια ενέργεια προκύπτει από το άθροισμα της παραγόμενης ενέργειας για όλες τις ταχύτητες ανέμου που έχουμε λειτουργία.

Η πυκνότητα της αιολικής ενέργειας είναι μικρή με αποτέλεσμα, για την παραγωγή μιας αξιόλογης ποσότητας ενέργειας, συγκρίσιμης με αυτή των συμβατικών σταθμών, απαιτούνται πολλές μηχανές. Λόγω προβλημάτων διαθεσιμότητας γης σε συνδυασμό με ύπαρξη καλού αιολικού δυναμικού σε συγκεκριμένες περιοχές, και ταυτόχρονα στοχεύοντας στην ελαχιστοποίηση του κόστους εγκατάστασης και λειτουργίας, η ηλεκτροπαραγωγή γίνεται σε συστοιχίες ανεμογεννητριών που ονομάζονται αιολικά πάρκα.



Εικόνα 5: Σύνδεση Αιολικού Πάρκου στο Δίκτυο μέσω μετατροπών ισχύος

Κάθε ανεμογεννήτρια, λόγω της διαδικασίας δέσμευσης ενέργειας από τον άνεμο,

² Το ροδόγραμμα ανέμου μιας περιοχής είναι ένα αρκετά εποπτικό διάγραμμα που δίνει αμέσως την κατεύθυνση του ανέμου που επικρατεί στην περιοχή και τη διάρκεια πνοής του ανέμου από κάθε κατεύθυνση. Στο κέντρο εμφανίζεται το ποσοστό της άπνοιας ετησίως.

επιβραδύνει τη ροή και δημιουργεί έναν ομόρρου χαμηλής ταχύτητας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, μια μηχανή που βρίσκεται κατάντη να δέχεται άνεμο χαμηλότερης ταχύτητας και να παράγει λιγότερη ενέργεια από την πρώτη μηχανή. Κατά συνέπεια, η κατασκευή αιολικών πάρκων συνεπάγεται την κατάληψη μεγάλων, και συνήθως απομακρυσμένων από την κατανάλωση, εκτάσεων.

4.3.3. ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Η διακύμανση της παραγόμενης αιολικής ενέργειας των αιολικών μηχανών που οφείλεται στη στοχαστικότητα του ανέμου, αποτελεί ένα σημαντικό εμπόδιο στην εκτεταμένη εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας στα μη διασυνδεδεμένα νησιά.

Ένα ηλεκτρικό σύστημα χαρακτηρίζεται από την παραγωγή (προσφορά) και την κατανάλωση (ζήτηση) ενέργειας. Η ηλεκτρική ενέργεια έχει το χαρακτηριστικό να μη μπορεί να αποθηκεύεται σε μεγάλες ποσότητες και με αποδεκτό κόστος. Αυτό σημαίνει ότι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας πρέπει να βρίσκεται σε συνεχή ισορροπία με τη ζήτηση. Από την άλλη, δεν μπορούμε να έχουμε συνεχόμενη σταθερή παραγωγή ενέργειας από τις αιολικές μηχανές.

Το πρόβλημα είναι ακόμα πιο έντονο σε μικρά αυτόνομα συστήματα, όπως είναι αυτά πολλών νησιών, όπου η ζήτηση παρουσιάζει έντονες διακυμάνσεις. Η έλλειψη τοπικής βιομηχανίας που καταναλώνει σημαντική ενέργεια τη νύχτα, καθώς και η κατακόρυφη αύξηση της ζήτησης τους καλοκαιρινούς μήνες λόγω του τουρισμού και της εκτεταμένης χρήσης κλιματιστικών συσκευών προκαλούν έντονες ανομοιομορφίες στο προφίλ της ζήτησης.

Εξαιτίας των παραπάνω, η διείσδυση αιολικής ενέργειας συνεπάγεται εξοικονόμηση συμβατικών καυσίμων και όχι εξοικονόμηση συμβατικής εγκατεστημένης ισχύος, καθώς είναι απαραίτητη η ύπαρξη συμβατικών θερμικών μονάδων που θα καλύψουν τη ζήτηση σε περίπτωση απώλειας της αιολικής ισχύος, ή αιχμής που θα υπερβαίνει την παραγωγή των αιολικών.

Γενικά, το όριο της διείσδυσης των αιολικών σε ένα σύστημα καθορίζεται από διάφορες παραμέτρους όπως είναι:

- Το προφίλ της ζήτησης ενέργειας.

- Τα χαρακτηριστικά των συμβατικών μονάδων παραγωγής (τύπος μονάδων, καύσιμο, τεχνικά ελάχιστα σταθμών, ταχύτητα αυξομείωσης φορτίου)
- Η καμπύλη διάρκειας του ανέμου.
- Το μέγεθος του συστήματος και η γεωγραφική διασπορά των συμβατικών και αιολικών μονάδων παραγωγής και των καταναλωτών.

Η αύξηση της διείσδυσης των αιολικών μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση συστημάτων που χρησιμοποιούν συνδυασμό διαφορετικών τεχνολογιών (υβριδικά συστήματα) ή με τη χρήση συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας. Η χρήση κάποιου τέτοιου συστήματος επιτρέπει τη γρήγορη κάλυψη ενδεχόμενης απώλειας των αιολικών, πριν το σύστημα οδηγηθεί σε αδυναμία κάλυψης των φορτίων (black-out).

4.4. ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ- ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΕΡΓΑ

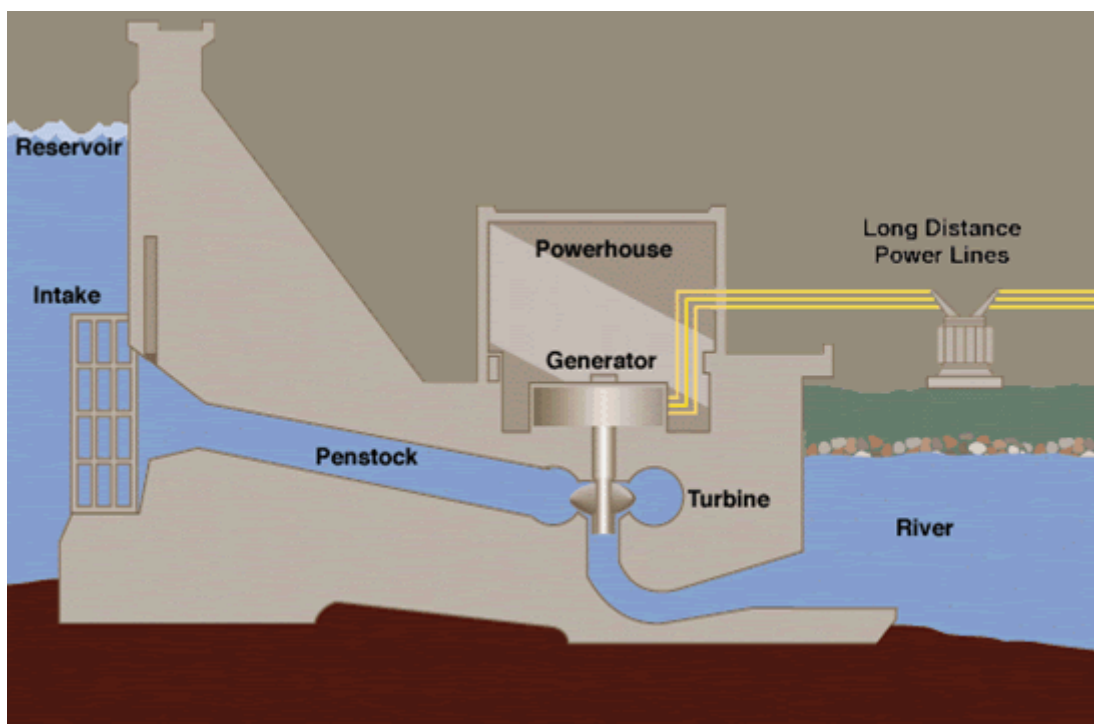
4.4.1. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Η αξιοποίηση της υδραυλικής ενέργειας μέσω μετατροπής της σε μηχανική ήταν γνωστή από τους αρχαίους χρόνους με τους γνωστούς νερόμυλους. Η τεχνολογία των νερόμυλων δεν εξελίχθηκε ουσιαστικά μέχρι την εμφάνιση, στις αρχές του 19^{ου} αιώνα, των πρώτων μηχανών που θα μπορούσαν να χαρακτηρισθούν ως υδροστρόβιλοι. Τα έργα αξιοποίησης της υδραυλικής ενέργειας που κατασκευάσθηκαν τις τελευταίες δεκαετίες του 19^{ου} αιώνα ήταν μικρής ισχύος γιατί αυτό επέτρεπαν τα τεχνικά μέσα της εποχής. Σταδιακά, η αύξηση των ενεργειακών αναγκών, που συμβάδισε με τις τεχνολογικές προόδους και τα διαθέσιμα μέσα, επέτρεψε την κατασκευή όλο και μεγαλύτερων έργων μετατροπής της υδραυλικής ενέργειας σε μηχανική. Σημαντικός σταθμός στην αξιοποίηση της υδραυλικής ενέργειας ήταν η ανάπτυξη των εφαρμογών του ηλεκτρισμού, μια μορφή ενέργειας της οποίας η μεταφορά από τη θέση παραγωγής στην θέση κατανάλωσης είναι σχετικά εύκολη. Έκτοτε, το έργο αξιοποίησης της υδραυλικής ενέργειας γίνεται Υδροηλεκτρικό (ΥΗΕ), δηλαδή η υδραυλική ενέργεια μετατρέπεται σε μηχανική από τον υδροστρόβιλο και στη συνέχεια σε ηλεκτρική από την ηλεκτρική γεννήτρια που είναι συζευγμένη με αυτόν.

Στην Ευρώπη τουλάχιστον, οι δυο-τρεις δεκαετίες μετά το Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν ως η «χρυσή εποχή» των μεγάλων Υδροηλεκτρικών Έργων, επειδή η έντονη αξιοποίηση του διαθέσιμου δυναμικού έγινε με μονάδες μεγάλης ισχύος, μερικών εκατοντάδων MW η καθεμία. Σε σύγκριση με τα μεγάλα ΥΗΕ, τα παλαιάς τεχνολογίας μικρά ΥΗΕ που ήδη υπήρχαν αποδείχθηκαν αντιοικονομικά (χαμηλός βαθμός απόδοσης και υψηλό κόστος παραγόμενης kWh) και σταδιακά εγκαταλείφθηκαν. Από τη δεκαετία του 1980 περίπου παρατηρείται διεθνώς ένα έντονο ενδιαφέρον για την ανάπτυξη των μικρών ΥΗΕ που εκδηλώνεται είτε με την αξιοποίηση νέων μικρών υδατοπτώσεων είτε με την επανασχεδίαση και επανεξοπλισμό των μικρών ΥΗΕ που είχαν απομείνει ή εγκαταλειφθεί. Το διεθνές ενδιαφέρον για τα μικρά ΥΗΕ αντικατοπτρίζεται από την ανάπτυξη σημαντικού αριθμού κατασκευαστριών εταιρειών, τις περισσότερες φορές θυγατρικές των εταιρειών που κατασκευάζουν εξοπλισμό για τα μεγάλα ΥΗΕ, που ειδικεύονται στην κατασκευή τυποποιημένου ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού για τα νέας γενιάς μικρά ΥΗΕ.

4.4.2. ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ- ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΙ

Οι υδροστρόβιλοι είναι οι μηχανές μέσω των οποίων μετατρέπεται η ενέργεια του υγρού σε μηχανική ενέργεια, δηλαδή σε κινητήρια ροπή στη στρεφόμενη άτρακτο του δρομέα. Στις περισσότερες περιπτώσεις, το διακινούμενο υγρό είναι το φυσικό νερό της επιφανειακής απορροής ενός υδατορεύματος και η ενέργεια την οποία διαθέτει είναι η δυναμική ενέργεια που εκφράζεται από τη στάθμη του ως προς τη στάθμη της θάλασσας. Η ενέργεια του υγρού, την οποία καλείται να μετατρέψει σε μηχανική ενέργεια ο υδροστρόβιλος, είναι ανανεώσιμη δεδομένου ότι η επιφανειακή απορροή είναι αποτέλεσμα του υδρολογικού κύκλου. Η επιφανειακή απορροή υδατορεύματος, χάρη στην βαρύτητα, ρέει συνεχώς προς χαμηλότερες στάθμες μέχρι τη στάθμη της θάλασσας. Κατά τη φυσική αυτή ροή, η δυναμική ενέργεια του νερού συνεχώς υποβαθμίζεται και μετατρέπεται σε θερμότητα και μηχανικό έργο μέσω μηχανισμών υδραυλικών απωλειών, τύρβης και μεταφοράς υλικών (φερτών).



Εικόνα 6: Τυπική διάταξη υδροηλεκτρικού έργου (ο ΥΗΣ είναι ενσωματωμένος στο φράγμα)

Εάν το νερό μιας φυσικής ροής συλλεγεί σε μια υψηλότερη στάθμη z_E και οδηγηθεί σε μια χαμηλότερη στάθμη z_A μέσω αγωγού προσαγωγής, γίνεται δυνατή η μετατροπή της ανά μονάδα μάζας ενέργειας $g(z_E - z_A)$ της διερχόμενης παροχής σε μηχανική ενέργεια, αφού αφαιρεθούν οι πάσης φύσεως απώλειες. Επειδή η παραγόμενη με τον τρόπο αυτό μηχανική ενέργεια, δηλαδή κινητήρια ροπή στη στρεφόμενη άτρακτο, δεν είναι δυνατόν να μεταφερθεί ικανοποιητικά στον τόπο κατανάλωσής της, μετατρέπεται επί τόπου σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω γεννήτριας κατευθείαν συζευγμένης με την άτρακτο του στροβίλου. Προφανώς, για να γίνεται αξιόλογη παραγωγή ενέργειας από ένα ΥΗΕ θα πρέπει να υπάρχει σημαντική ποσότητα υδάτων προς αξιοποίηση (μεγάλες παροχές) καθώς και σημαντικές υψομετρικές διαφορές, ώστε να είναι μεγάλη η ανά μονάδα μάζας ενέργεια του νερού.

Το σύνολο του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού ενός ΥΗΕ στεγάζεται στον υδροηλεκτρικό σταθμό (ΥΗΣ) ο οποίος μπορεί να είναι υπόγειος ή υπέργειος. Η επιλογή αυτή είναι αποτέλεσμα οικονομοτεχνικής μελέτης και σ' αυτή σημαντικό ρόλο παίζει ο τύπος του υδροστροβίλου και η μορφολογία του εδάφους.

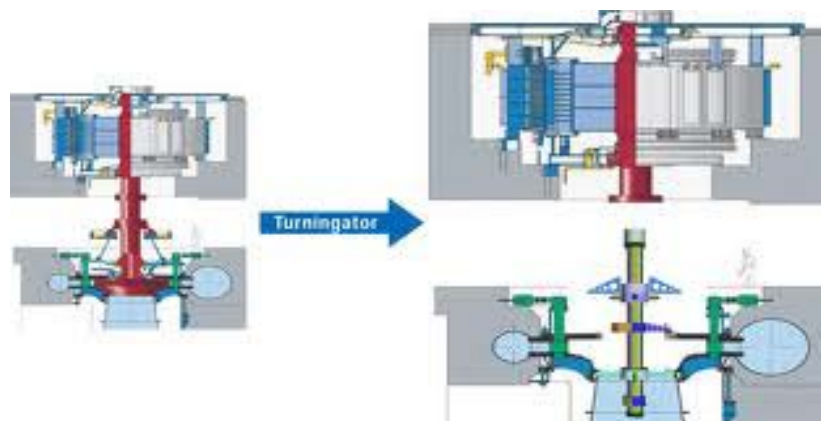
4.4.3. ΑΝΤΛΗΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ- ΑΝΤΛΙΕΣ

Σκοπός των αντλιών είναι η διακίνηση υγρών από μια δεξαμενή σε μια άλλη που βρίσκεται σε μεγαλύτερη συνήθως στάθμη από την πρώτη. Στη γενική περίπτωση, η διακίνηση του υγρού μεταξύ των δεξαμενών γίνεται μέσω σωλήνωσης στην οποία παρεμβάλλεται η αντλία: η διατομή εισόδου (αναρρόφησης) συνδέεται προς την πλευρά της δεξαμενής από την οποία γίνεται η αναρρόφηση και η διατομή εξόδου (κατάθλιψης) με τη δεξαμενή προς την οποία καταθλίβεται το υγρό. Η αντλία προσδίδει ενέργεια στο υγρό η οποία αντιστοιχεί στην ενεργειακή αναβάθμιση του υγρού μεταξύ δεξαμενής κατάθλιψης και δεξαμενής και αναρρόφησης (λόγω διαφοράς στάθμης και διαφοράς στατικής πίεσης) και στην ενέργεια που δαπανάται λόγω των υδραυλικών απωλειών που αναπτύσσονται στη σωλήνωση μέσω της οποίας γίνεται η διακίνηση του υγρού.

4.5. ΑΝΑΣΤΡΕΨΙΜΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ

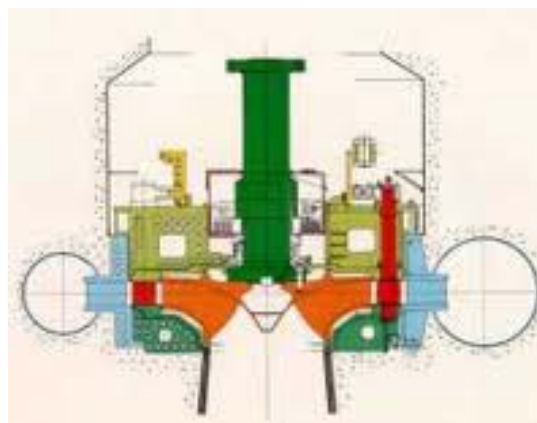
Με τον όρο «αναστρέψιμη» εννοούμε την υδροδυναμική μηχανή η οποία έχει τη δυνατότητα λειτουργίας ως αντλίας και ως στροβίλου με την αντιστροφή τη φοράς περιστροφής της πτερωτής της. Η αναστρέψιμη μηχανή συνδέεται με ηλεκτρική μηχανή που λειτουργεί αντίστοιχα ως κινητήρας και ως γεννήτρια.

Παλαιότερα, οι αναστρέψιμες μονάδες συνδέονταν με σύγχρονη ηλεκτρική μηχανή (γεννήτρια- κινητήρα) και η ταχύτητα περιστροφής τους ήταν η ίδια κατά τη λειτουργία παραγωγής και άντλησης. Ωστόσο, το 1990, αναπτύχθηκε μια νέα τεχνολογία λειτουργίας της σύγχρονης μηχανής σε μια αυθαίρετη ταχύτητα, εντός ενός εύρους ταχυτήτων γύρω από την ονομαστική ταχύτητα περιστροφής.



Εικόνα 7: Σύνδεση αναστρέψιμης μηχανής κατακόρυφου άξονα με ηλεκτρική μηχανή (κινητήρας-γεννήτρια)

Αυτό έγινε εφικτό μέσω της διέγερσης του ρότορα της μηχανής με εναλλασσόμενο ρεύμα χαμηλής τάσης έναντι του συνεχούς ρεύματος. Η τεχνολογία αυτή συνιστά τη λειτουργία υπό μεταβλητές στροφές και τα τελευταία χρόνια εφαρμόζεται όλο και περισσότερο στην περίπτωση των αναστρέψιμων υδροηλεκτρικών έργων. Με τον τρόπο αυτό, προσαρμόζεται το σημείο λειτουργίας των αναστρέψιμων μηχανών ανάλογα με την παραγωγή ή την άντληση (υψηλότερη ταχύτητα περιστροφής για τη λειτουργία ως αντλίας και χαμηλότερη για τη λειτουργία ως στροβίλου). Η λειτουργία σε μεταβλητές στροφές έχει τα εξής πλεονεκτήματα:



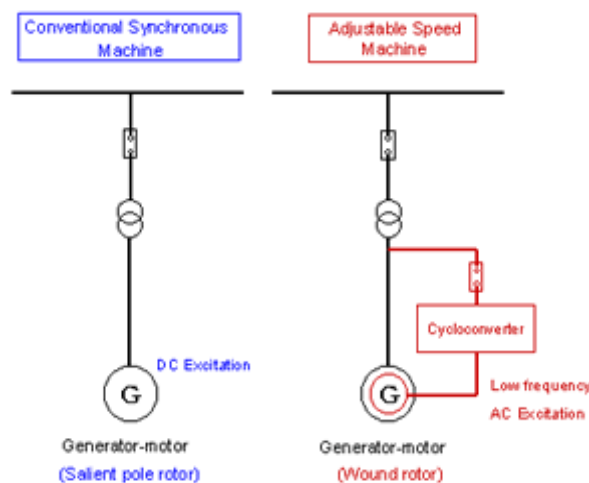
Εικόνα 8: Τομή αναστρέψιμης υδροηλεκτρικής μηχανής

- Η ισχύς άντλησης μπορεί να επιλεγθεί με τη ρύθμιση της ταχύτητας περιστροφής. Αυτό επιτρέπει τον έλεγχο κατά τη λειτουργία υπό σταθερή συχνότητα τόσο κατά την άντληση όσο και κατά την παραγωγή.
- Ο βαθμός απόδοσης των αναστρέψιμων μηχανών βελτιώνεται κατά 2-3%, ιδιαίτερα σε μερικό φορτίο, και το εύρος φορτίου κατά τη λειτουργία στροβίλου μπορεί να διευρυνθεί. Οι συμβατικές μονάδες σταθερών

στροφών μπορούν να λειτουργήσουν σε ένα εύρος από 50 έως 100% της ονομαστικής ισχύος τους, ενώ το τεχνικό ελάχιστο των μονάδων μεταβλητών στροφών μπορεί να φτάσει και το 25% της ισχύος τους.

- Σε περιπτώσεις πολύ έντονης διακύμανσης φορτίου στο Δίκτυο, οι μονάδες μεταβλητών στροφών μπορούν να ανταποκριθούν αρκετά γρήγορα. Όταν προκύπτει αστάθεια στο Σύστημα, μεταβάλλουν την ταχύτητά τους γρήγορα και αποφορτίζουν την ενέργεια του Συστήματος εκμεταλλευόμενες την αδράνεια του στροβίλου (σαν ελεύθερη γεννήτρια). Η ισχύς εξόδου μπορεί να αλλάξει γρήγορα, κάτι που είναι πολύ αποτελεσματικό στη ρύθμιση της συχνότητας του Δικτύου και τη σταθεροποίηση διακυμάνσεων του φορτίου.

Η τεχνική της λειτουργίας υπό μεταβλητές στροφές εφαρμόζεται με επιτυχία στην περίπτωση Υβριδικού συστήματος με αναστρέψιμο υδροηλεκτρικό και αιολικό πάρκο λόγω της έντονης διακύμανσης της ταχύτητας του ανέμου, και κατά συνέπεια της διακύμανσης της ισχύος του αιολικού.



Εικόνα 9: Σύγκριση συνδεσμολογίας για μηχανές σταθερών και μεταβλητών στροφών

Οι ηλεκτρικές μηχανές μεταβλητών στροφών έχουν ιδιαίτερα αυξημένο κόστος, λόγω των ακριβών ηλεκτρονικών ισχύος για τη διέγερση με εναλλασσόμενο ρεύμα χαμηλής συχνότητας που περιλαμβάνουν. Αυτό περιορίζει την ευρεία χρήση των μηχανών μεταβλητών στροφών παρά τις εξαιρετικές επιδόσεις τους και εκφράζεται η ελπίδα περαιτέρω ανάπτυξής τους στο μέλλον, μέσω της κατασκευής νέων εξελιγμένων ηλεκτρονικών ισχύος.

Ο ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός ενός Υβριδικού Συστήματος όμως δεν αποτελείται απαραίτητα από αναστρέψιμες μηχανές. Υπάρχει η δυνατότητα εγκατάστασης συστήματος ξεχωριστών υδροστροβίλων-αντλιών καθώς και η δυνατότητα συστήματος υδροστροβίλου- αντλίας και ηλεκτρικής μηχανής σε κοινή άτρακτο. Στην τελευταία περίπτωση, ανάλογα με την υδραυλική πτώση, ο υδροστρόβιλος είναι δράσεως (Pelton) ή αντιδράσεως (Francis), ενώ η αντλία είναι πολυβάθμια, μονοβάθμια, μονής ή διπλής αναρρόφησης ανάλογα με την υψομετρική διαφορά και την παροχή. Στις μονάδες αυτού του τύπου η φορά περιστροφής είναι η ίδια και για τις δυο λειτουργίες. Με σκοπό τη μείωση των φθορών τοποθετείται συμπλέκτης (συνήθως υδροδυναμικός) στα δυο άκρα της ατράκτου της ηλεκτρικής μηχανής έτσι ώστε όταν λειτουργεί ο υδροστρόβιλος, η αντλία να μην περιστρέφεται και αντιστρόφως.

4.6. ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΑ ΤΟΝ ΚΟΣΜΟ

Η χρήση των συστημάτων αντλησιοταμίευσης εκτιμάται ότι ξεκίνησε το 1890 σε Ιταλία και Ελβετία. Κάποια χρόνια αργότερα (1930) έκαναν την εμφάνισή τους για πρώτη φορά οι αναστρέψιμες μηχανές και μετέπειτα οι μηχανές μεταβλητών στροφών, με αποτέλεσμα τη βελτιστοποίηση των υβριδικών συστημάτων ως προς το κόστος και το βαθμό απόδοσης αντίστοιχα.

Το 2008, η συνολική εγκατεστημένη ισχύς συστημάτων αντλησιοταμίευσης παγκοσμίως ήταν 104 GW. Το 36,8% αυτής (περίπου 38,3 GW³) ήταν εγκατεστημένο στην Ευρωπαϊκή Ένωση, αντιπροσωπεύοντας μόλις το 5% της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος στην Ευρώπη. Τη δεύτερη θέση στην κατάταξη κατείχε η Ιαπωνία με 25,5 GW εγκατεστημένης ισχύος συστημάτων αντλησιοταμίευσης (24,5% της παγκόσμιας εγκατεστημένης), ενώ στην τρίτη θέση ήταν οι Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής με 21,5 GW συστημάτων αντλησιοταμίευσης (περίπου το 20,6% της παγκόσμιας εγκατεστημένης).

Στον παρακάτω πίνακα γίνεται αναφορά στα πέντε μεγαλύτερα έργα αντλησιοταμίευσης στον κόσμο, τα οποία έχουν τεθεί σε λειτουργία:

³ Σε σύνολο υδροηλεκτρικής εγκατεστημένης ισχύος 140 GW στην Ε.Ε. (Eurostat, Αύγουστος 2009).

**Πίνακας 1: Τα μεγαλύτερα αντλιοσταμειυτικά συστήματα στον κόσμο
(βάσει εγκατεστημένης ισχύος)**

<i>ΕΡΓΟ</i>	<i>ΧΩΡΑ</i>	<i>ΙΣΧΥΣ (MW)</i>
Bath County Pumped Storage	Η.Π.Α.	2.772
Guangdong Pumped Storage Power Station	Κίνα	2.400
Okutataragi Hydroelectric Power Station	Ιαπωνία	1.932
Ludington Pumped Storage Power Plant	Η.Π.Α.	1.872
Tianhuangping Pumped Storage Power Plant	Κίνα	1.836

5. ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΘΑΛΑΣΣΙΝΟΥ ΝΕΡΟΥ

5.1. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

Τα Υβριδικά Συστήματα Αποθήκευσης Ενέργειας κατά κανόνα χρησιμοποιούν γλυκό νερό, είτε ποταμών είτε λιμνών. Υπάρχει όμως η δυνατότητα κατασκευής παραθαλάσσιων Υβριδικών Συστημάτων, ώστε να αξιοποιείται το θαλασσινό νερό για την αποθήκευση. Τα συστήματα αυτά, λόγω των ιδιοτεροτήτων της χρήσης θαλασσινού νερού, δεν έχουν τύχει ακόμη ιδιαίτερης ανάπτυξης.

5.1.1. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Το βασικότερο πλεονέκτημα των συστημάτων παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας με χρήση θαλασσινού νερού είναι το χαμηλότερο κόστος Έργων Πολιτικού Μηχανικού σε σχέση με αυτά που χρησιμοποιούν γλυκό νερό για την πλήρωσή τους, κυρίως επειδή δεν απαιτείται η κατασκευή κάτω ταμιευτήρα. Αν μάλιστα ληφθεί υπόψη ότι το κόστος των έργων Πολιτικού Μηχανικού σε ένα μεγάλο ΥΗΕ μπορεί να αντιστοιχούν στο 60-70% της συνολικής επένδυσης, πρόκειται για σημαντική διαφορά στη συνολική δαπάνη.
- Από ενεργειακής άποψης, τα υδροηλεκτρικά έργα άντλησης θαλασσινού νερού είναι πιο ευέλικτα καθώς δεν υπάρχει διακύμανση στον «κάτω» ταμιευτήρα. Το εύρος της διακύμανσης του κάτω ταμιευτήρα δημιουργεί προβληματισμούς όσον αφορά το υψόμετρο τοποθέτησης της υδροληψίας, τη βύθιση των μηχανών (λόγω σπηλαίωσης) και τον τρόπο απόρριψης του νερού. Εφόσον, στα συγκεκριμένα συστήματα, ως κάτω ταμιευτήρας χρησιμοποιείται η θάλασσα, δεν υπάρχουν τέτοιοι προβληματισμοί και η ενεργειακή μελέτη του έργου γίνεται πιο απλή.
- Επιπλέον, δίνεται η δυνατότητα κατασκευής μονάδων μεγάλης κλίμακας (μεγάλης ισχύος και σημαντικού όγκου αποθήκευσης), καθώς δεν υπάρχουν περιορισμοί στον όγκο που περιλαμβάνει ο κάτω ταμιευτήρας. Συνεπώς, όσο μεγαλύτερη είναι άνω δεξαμενή, τόσο μεγαλύτερης κλίμακας είναι το έργο.
- Υπάρχει σημαντικό πλεονέκτημα στο σχεδιασμό των υδροδυναμικών μηχανών

που χρησιμοποιούνται, καθώς δεν υπάρχει διακύμανση στη στάθμη του νερού στον κάτω ταμιευτήρα (θάλασσα), παρά μόνο σε περιπτώσεις παλίρροιας.

- Έχουν μικρότερες απώλειες, άρα και χαμηλότερο κόστος, μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς συνήθως βρίσκονται κοντά σε μονάδες παραγωγής μεγάλης κλίμακας, όπως θερμοηλεκτρικές μονάδες ή εργοστάσια πυρηνικής ενέργειας.
- Τέλος, μπορούν να εγκατασταθούν κοντά σε κατοικημένες περιοχές και αστικά κέντρα, όπου κατεξοχήν υπάρχει μεγάλη ζήτηση ενέργειας, και κατά συνέπεια μειώνεται πολύ το κόστος διασύνδεσης.

5.1.2. ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Οι αναστρέψιμες μηχανές, οι οποίες χρησιμοποιούνται σε τέτοιες εγκαταστάσεις, λειτουργούν υπό συνθήκες έντονης διάβρωσης, και συνεπώς δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν συμβατικές μηχανές γλυκού νερού. Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται υφίσταται ειδική επεξεργασία για να προστατεύεται από τη διάβρωση, γεγονός που καθιστά το κόστος του αρκετά υψηλότερο σε σχέση με αυτό των συμβατικών αναστρέψιμων συστημάτων.
- Γενικότερα στις αναστρέψιμες στροβιλομηχανές, υπάρχουν πολύ στενά διαστήματα μεταξύ των εξαρτημάτων και τα μεγαλύτερα τμήματα είναι ενσωματωμένα στο κυρίως σώμα της μηχανής, με αποτέλεσμα να καθίσταται δύσκολη η εφαρμογή κατάλληλων αντιδιαβρωτικών μέτρων. Αυτό σημαίνει ότι, για να εφαρμοστούν αποτελεσματικά μέτρα αντιδιαβρωτικής προστασίας απαιτείται μεγάλο χρονικό διάστημα μελετών, ερευνών και δοκιμών, με αποτέλεσμα να αυξάνεται ακόμη περισσότερο το συνολικό κόστος του έργου.

5.2. ΙΔΙΑΙΤΕΡΟΤΗΤΕΣ ΛΟΓΩ ΧΡΗΣΗΣ ΘΑΛΑΣΣΙΝΟΥ ΝΕΡΟΥ

Κάποια από τα προβλήματα που μπορεί να προκύψουν σε ένα σύστημα παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας με χρήση θαλασσινού νερού είναι τα εξής:

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΦΥΣΕΩΣ

- Η αξιολόγηση των μέτρων που πρέπει να ληφθούν για την πρόληψη της

διήθησης και της ρύπανσης από θαλασσινό νερό από τον ταμιευτήρα στο έδαφος ή/ και σε υπόγεια ύδατα. Ανάλογα με της τοπογραφικές, γεωλογικές και μετεωρολογικές συνθήκες της περιοχής, η διήθηση του νερού στο υπέδαφος μπορεί να προκαλέσει βλάβες λόγω του άλατος στην περιβάλλουσα χλωρίδα. Οι επιπτώσεις αυτού του φαινομένου πρέπει να εκτιμηθούν και να αξιολογηθούν, προκειμένου να υιοθετηθούν τα κατάλληλα μέτρα πρόληψης ή αντιμετώπισης.

- Οι επιπτώσεις στα φυτά, τα ζώα και σε άλλα βιολογικά συστήματα γύρω από την περιοχή λόγω εξάτμισης του θαλασσινού νερού από τον άνω ταμιευτήρα. Το νερό στον άνω ταμιευτήρα μπορεί να διασκορπίζεται στο γειτονικό περιβάλλον κατά τη διάρκεια δυνατών ανέμων και συνεπώς επιβάλλεται να παρθούν τα κατάλληλα μέτρα.
- Οι επιπτώσεις σε κοράλλια και άλλους θαλάσσιους οργανισμούς που ζουν κοντά στην έξοδο του νερού στη θάλασσα. Η απόρριψη και η αναρρόφηση νερού από τη θάλασσα κατά τη λειτουργία του έργου μπορεί να ταράζει τα τοπικά ρεύματα και να επηρεάζει τις παράκτιες συνθήκες, με αποτέλεσμα την όχληση των θαλάσσιων οργανισμών.

ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΦΥΣΕΩΣ

- Η μείωση της απόδοσης στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και την άντληση, ως αποτέλεσμα της πρόσφυσης θαλάσσιων οργανισμών στους αγωγούς και το στρόβιλο. Στην εκτιθέμενη στο νερό επιφάνεια της υδροληψίας, του αγωγού προσαγωγής, του κελύφους της μηχανής και του αγωγού φυγής προσκολλώνται θαλάσσιοι οργανισμοί όπως φύκια και οστρακοειδή. Το φαινόμενο αυτό προκαλεί μείωση της διατομής των διόδων του νερού και αύξηση της τραχύτητας των επιφανειών, και κατά συνέπεια οδηγεί σε αύξηση των υδραυλικών απωλειών, μείωση του καθαρού ύψους πτώσης και ελάττωση της λειτουργικής αποδοτικότητας της αναστρέψιμης μηχανής.
- Η διάβρωση των μεταλλικών υλικών που έρχονται σε επαφή με το

θαλασσινό νερό υπό την υψηλή πίεση και υψηλή ταχύτητα ροής που δημιουργείται από την αναστρέψιμη μηχανή. Για τον εξοπλισμό που έρχεται σε επαφή με το νερό (αναστρέψιμη μηχανή και αγωγοί), απαιτείται προσεκτική επιλογή υλικών με αντιδιαβρωτικές ιδιότητες. Η αποτελεσματικότητα των αντιδιαβρωτικών ιδιοτήτων πρέπει να εξασφαλίζεται, όχι μόνο όσον αφορά στην αντίσταση σε διάβρωση αλλά επιπλέον στην αντοχή, την εύκολη συντήρηση καθώς και την οικονομική απόδοση.

- Η εξασφάλιση σταθερής ισχύος μέσω σταθερής αναρρόφησης και απόρριψης του θαλασσινού νερού.

5.3. ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΘΑΛΑΣΣΙΝΟΥ ΝΕΡΟΥ ΑΝΑ ΤΟΝ ΚΟΣΜΟ

Το πρώτο σύστημα παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας με άντληση θαλασσινού νερού που σχεδιάστηκε, κατασκευάστηκε και τέθηκε σε λειτουργία είναι το έργο Yanbaru Seawater Power Plant, στην Okinawa της Ιαπωνίας. Το πιλοτικό αυτό έργο, εγγυημένης ισχύος 30 MW, είναι αυτή τη στιγμή το μοναδικό στον κόσμο που χρησιμοποιεί τη συγκεκριμένη τεχνολογία. Λόγω των ιδιαιτεροτήτων της χρήσης του θαλασσινού νερού, απαιτήθηκε αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα ερευνών και μελετών, προτού υλοποιηθεί το εν λόγω έργο, αλλά και μεγάλη περίοδος δοκιμών πριν την έναρξη της εμπορικής λειτουργίας του.

Εκτός από το έργο του Yanbaru, υπάρχουν προτάσεις διαφόρων χωρών για την κατασκευή παρόμοιων συστημάτων, οι οποίες δεν έχουν ακόμη υλοποιηθεί.

Για παράδειγμα, η εταιρεία Gridflex Energy LLC έχει μελετήσει και προτείνει την κατασκευή ενός συστήματος παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας με χρήση θαλασσινού νερού, στο νησί Lanai στο Maui της Χαβάης. Το έργο προτείνεται να αντλεί νερό από τον Ειρηνικό ωκεανό με απορρόφηση αιολικής ενέργειας και να το αποθηκεύει σε τεχνητό άνω ταμιευτήρα. Η εγγυημένη ισχύς παραγωγής του έργου είναι 300 MW και η δυνατότητα αποθήκευσης ανέρχεται στις 9.250 MWh.

Μια άλλη, αρκετά φιλόδοξη, πρόταση είναι το εθνικό σχέδιο της Ιρλανδίας για

μείωση της ενεργειακής εξάρτησής της από τα ορυκτά καύσιμα και την εισαγόμενη ενέργεια. Το βασικό πρόβλημα της χώρας είναι το μεγάλο ποσοστό εισαγόμενης ενέργειας από την υπόλοιπη Ευρώπη, καθώς η Ιρλανδία έρχεται στην τέταρτη θέση της λίστας των Ευρωπαϊκών Χωρών με το μεγαλύτερο ποσοστό εισαγωγής ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα, βάσει έρευνας που δημοσιοποίησε πρόσφατα η Ευρωπαϊκή Ένωση για την ενεργειακή κατανάλωση και παραγωγή στην Ευρώπη των 27, η Ιρλανδία βρίσκεται στην πρώτη πεντάδα στην εισαγωγή ενέργειας, μετά την Κύπρο, την Μάλτα και το Λουξεμβούργο (χώρες πολύ μικρότερες σε έκταση και με λίγους ή μηδαμινούς φυσικούς ενεργειακούς πόρους), με ποσοστό που ξεπερνά το 90% των συνολικών ενεργειακών αναγκών της χώρας.



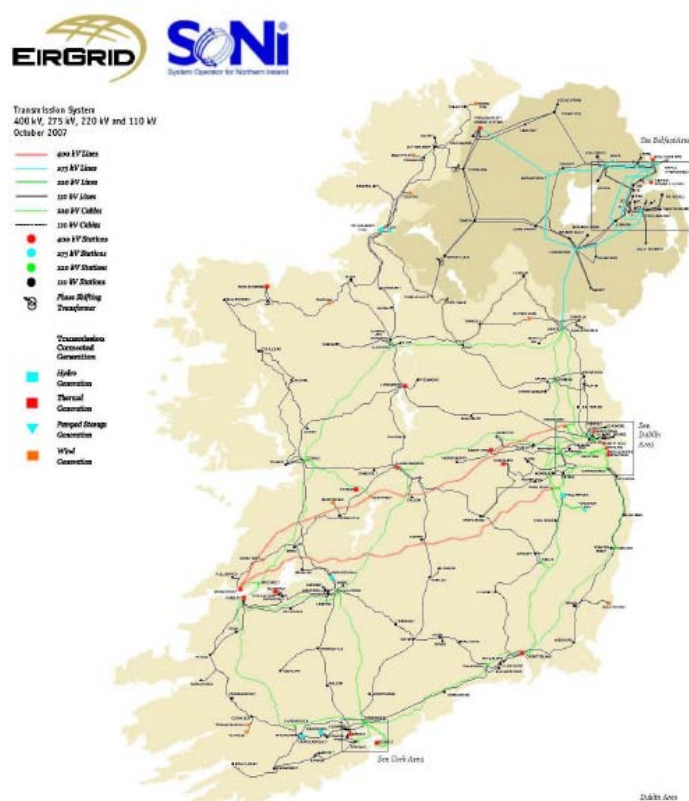
Εικόνα 10: Ηλεκτρική διασύνδεση του έργου “Spirit of Ireland” με την Ευρώπη μέσω του Ηνωμένου Βασιλείου

Ο πληθυσμός της Ιρλανδίας είναι περίπου 4,5 εκατομμύρια κάτοικοι⁴. Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς της χώρας είναι 7.300 MW ενώ η ετήσια ενεργειακή ζήτηση

⁴ Σύμφωνα με τις εκτιμήσεις του 2008, ο πληθυσμός της Δημοκρατίας της Ιρλανδίας ήταν 4.422.100 και αυτός της Βόρειας Ιρλανδίας 1.775.000 κάτοικοι. Η εκτίμηση του 2009, για τη Δημοκρατία της Ιρλανδίας ήταν 4.459.300 κάτοικοι ενώ επίσημη εκτίμηση για τη Βόρεια Ιρλανδία δεν έχει ακόμη ανακοινωθεί. Τα παραπάνω στοιχεία ανήκουν στη δικαιοδοσία των επίσημων κυβερνητικών στατιστικών υπηρεσιών.

φτάνει τις 28.000 GWh. Το δίκτυο διασύνδεσης της χώρας αποτελείται κυρίως από τη γραμμή μεταφοράς των 400 kV μεταξύ Δουβλίνου και Limerick, ενώ η διασύνδεση στα δυτικά παράλια, όπου υπάρχει το μεγαλύτερο αιολικό δυναμικό, είναι ιδιαίτερα αδύναμη.

Στην ενεργειακή παραγωγή της χώρας, τη μερίδα του λέοντος καταλαμβάνει το πετρέλαιο (56,4% της συνολικής παραγωγής) και ακολουθούν το φυσικό αέριο (25,3%) και ο άνθρακας (10,3%), ενώ οι ανανεώσιμες πηγές καλύπτουν μέχρι στιγμής μόνο το 2,7% των ενεργειακών αναγκών.



Εικόνα 11: Υφιστάμενο ηλεκτρικό δίκτυο της Ιρλανδίας

Το εθνικό σχέδιο ενεργειακής ανεξαρτητοποίησης της χώρας, υπό τον τίτλο «Spirit of Ireland Project», περιλαμβάνει την κατασκευή ταμιευτήρων σε κοιλάδες των δυτικών ακτών της Ιρλανδίας σε συνδυασμό με μεγάλης κλίμακας αιολικά πάρκα. Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς των σταθμών παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας υπολογίζεται σε 1.000 MW και η συνολική ισχύς των αιολικών πάρκων 1800 MW. Η προκαταρκτική μελέτη αναφέρει παράκτιες κοιλάδες από την κομητεία Donegal έως το Cork, οι οποίες θα κατακλυστούν με θαλασσινό νερό μέσω της

κατασκευή παράκτιων φραγμάτων.

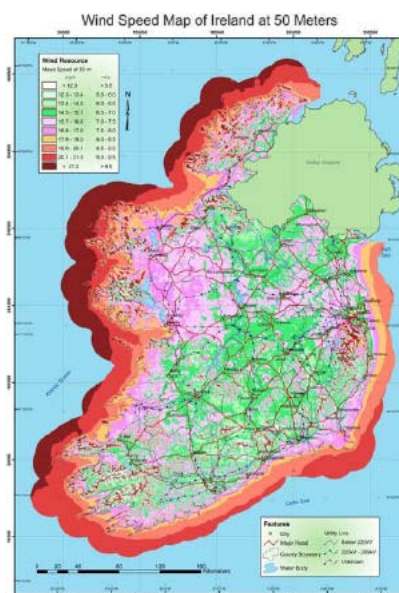
Συνήθως, η διείσδυση της αιολικής παραγωγής φτάνει μόνο το 25 έως 35 τοις εκατό της μέγιστης δυνατής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, βάσει μακροχρόνιων μετρήσεων. Για το λόγο αυτό, η απορριπτόμενη υπό άλλες συνθήκες αιολική ενέργεια θα αποθηκεύεται και οι προτεινόμενοι υδροηλεκτρικοί σταθμοί θα μπαίνουν σε λειτουργία όταν οι ταχύτητες ανέμου είναι είτε πολύ χαμηλές είτε πολύ υψηλές για να είναι αξιοποιήσιμες.

Σύμφωνα με την πρόταση του «Spirit of Ireland

Project», μια τυπική φυσική δεξαμενή- κοιλάδα θα καλύπτει, όταν είναι γεμάτη, μια έκταση τεσσάρων

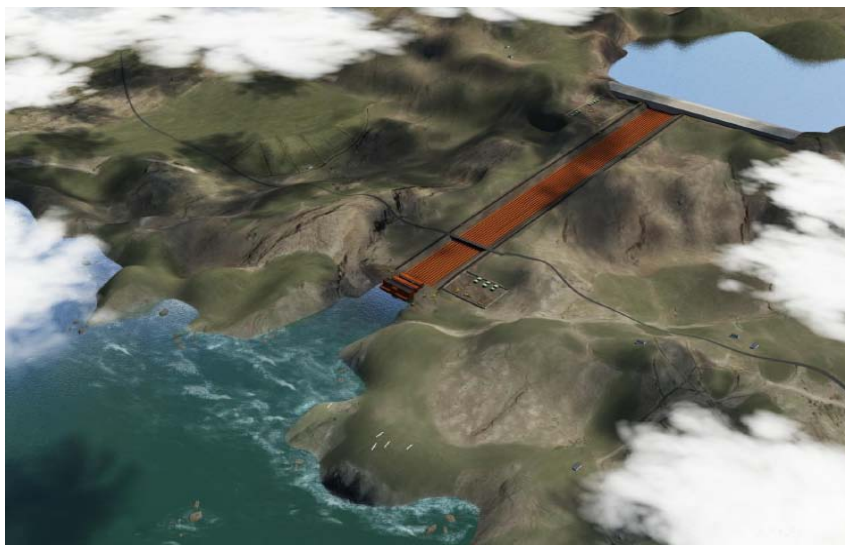
τετραγωνικών χιλιομέτρων - κατά μέσο όρο 2 x 2 χιλιόμετρα. Με βάση μελέτες για το σχήμα, το βάθος, το ύψος από τη θάλασσα κλπ., δύο τέτοιες δεξαμενές θα αποθήκευαν περίπου 200 GWh ηλεκτρικής ενέργειας. Μια τρίτη δεξαμενή θα αύξανε αυτό το μέγεθος σε 300 GWh. Αυτή είναι μια σημαντική αποθήκη ενέργειας και στην πραγματικότητα έχουν μελετηθεί πολλές κοιλάδες οι οποίες θα εξασφάλιζαν αισθητά μεγαλύτερη αποθήκευση.

Η μακροπρόθεσμη στρατηγική του προγράμματος είναι να αναπτυχθεί η ικανότητα ηλεκτρικής διασύνδεσης με την ηπειρωτική Ευρώπη μέσω του Ηνωμένου Βασιλείου, η οποία θα επιτρέπει την εξαγωγή του πλεονάζοντος παραγόμενου δυναμικού ενώ παράλληλα θα επιτρέπει την εισαγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην περίπτωση της συνεχούς νηνεμίας. Το σενάριο αυτό αναμένεται να είναι πολύ σπάνιο και κατά τη διάρκεια τέτοιων συνθηκών, οι δεξαμενές θα γεμίζουν με εισαγόμενη ηλεκτρική ενέργεια σε ώρες εκτός αιχμής που θα αντιστοιχούν σε πολύ χαμηλότερες τιμές. Τοποθεσίες για τις δεξαμενές αντλησιοταμίευσης, δεν έχουν ακόμα αποφασιστεί, αλλά αναμένεται να βρίσκονται σε περιοχές που είναι οικονομικώς σε δυσμενέστερη θέση, γεγονός που θα βοηθήσει να εκπληρωθεί ο



Εικόνα 12: Χάρτης κατανομής ταχυτήτων ανέμου στην Ιρλανδία

ιρλανδικός στόχος για ισορροπημένη περιφερειακή ανάπτυξη.



Εικόνα 13: Διάταξη συστήματος αντλιοσταμείωσης στα πλαίσια του έργου “Spirit of Ireland”. Απεικονίζεται η υδροληψία, η διάταξη των αγωγών διακίνησης του νερού και ο ταμιευτήρας αποθήκευσης.



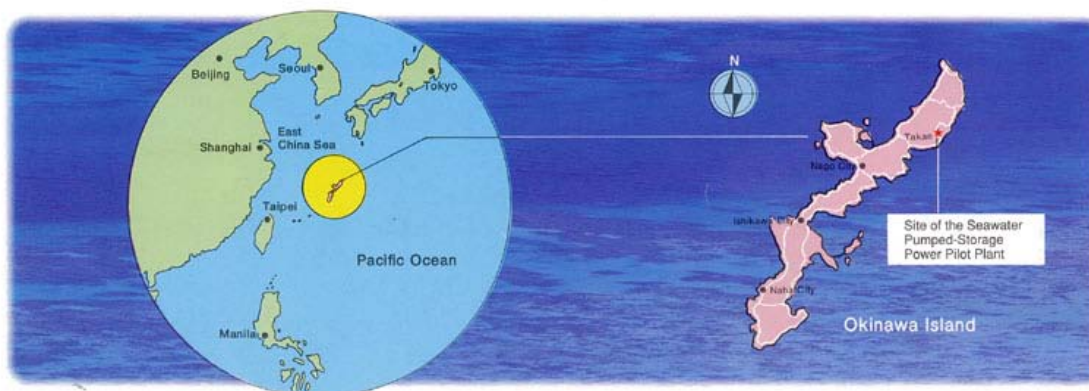
Εικόνα 14: Υδροληψία και σταθμός παραγωγής του “Spirit of Ireland”

6. ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΤΗΣ ΟΚΙΝΑΒΑ

6.1. ΠΕΡΙΟΧΗ

6.1.1. ΘΕΣΗ

Η περιοχή Kunigami βρίσκεται στο νησί της Οκίναβα, περίπου 640 χιλιόμετρα νότια της Ιαπωνίας. Το νησί είναι το μεγαλύτερο του νησιωτικού συμπλέγματος Ρυγκυ, με έκταση 1.201,03 km². Πρωτεύουσα της περιφέρειας της Οκίναβα είναι η πόλη Ναχα και ο συνολικός πληθυσμός του νησιού είναι 1.384.762.⁵



Εικόνα 15: Θέση του έργου Yanbaru της Οκίναβα

6.1.2. ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Το κλίμα της Ιαπωνίας είναι κοντά στο τροπικό, καθώς είναι θερμό καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, με μέση θερμοκρασία 23 °C. Ο μέσος όρος βροχοπτώσεων στην περιοχή της Οκίναβα είναι 2.400 mm, περίπου 40% μεγαλύτερος από τον εθνικό μέσο όρο, με συχνό φαινόμενο τις έντονες και μικρής διάρκειας βροχοπτώσεις. Τέλος, αρκετοί τυφώνες πλήττουν τα νησιά Ρυγκυ τους μήνες από Ιούλιο μέχρι και Σεπτέμβρη.

6.1.3. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Λέγεται ότι το νησιωτικό σύμπλεγμα Ρυγκυ, στο οποίο ανήκει η Οκίναβα, ήταν συνδεδεμένο δια ξηράς με την Κίνα στην Ασιατική Ήπειρο πριν από περίπου 1,5 εκατομμύριο χρόνια, αλλά λόγω αναταραχών στο φλοιό της γης και ταυτόχρονα την

⁵ Βάσει στοιχείων της ιαπωνικής κυβέρνησης τον Σεπτέμβριο του 2009.

ανύψωση της στάθμης της θάλασσας, μια αρκετά μεγάλη περιοχή βυθίστηκε, με αποτέλεσμα τη δημιουργία των νησιών Ryukyu. Κατά συνέπεια, η χλωρίδα και η πανίδα που υπήρχαν στην περιοχή έζησαν σε ένα καθεστώς απομόνωσης από τότε, και έτσι τα αρχικά είδη διατηρήθηκαν. Αξίζει να σημειωθεί ότι πολλά είδη και υποκατηγορίες ειδών χλωρίδας και πανίδας είναι γηγενή των νησιών Ryukyu και δεν συναντώνται πουθενά αλλού στον κόσμο.

6.1.4. ΑΝΑΓΚΕΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Στην περιοχή της Okinawa, οι διακυμάνσεις φορτίου στο δίκτυο είναι καθημερινό φαινόμενο, λόγω της ρυθμιζόμενης λειτουργίας θερμικών και ατμοηλεκτρικών μονάδων. Συνεπώς η αποθήκευση ενέργειας κρίνεται αναγκαία για την κάλυψη της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας. Επιπλέον, οι υδάτινοι πόροι είναι πολύτιμοι στο νησί, γεγονός που καθιστά την κατασκευή ενός τυπικού συστήματος αποθήκευσης ενέργειας (με χρήση γλυκού νερού) πλέον ακατάλληλη.

Όσον αφορά τη γεωμορφολογία του νησιού, ειδικά το βόρειο τμήμα του είναι κυρίως ορεινό και υπάρχουν αρκετές περιοχές, οι οποίες θα ήταν κατάλληλες για την εγκατάσταση ενός συστήματος αποθήκευσης ενέργειας με θαλασσινό νερό.

Με αυτά τα δεδομένα, επιλέχθηκαν περιοχές από όλο το νησί που ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις και συντάχθηκαν συγκριτικές μελέτες των επιπτώσεων στο φυσικό και κοινωνικό περιβάλλον της κάθε περιοχής, για να επιλεγεί η τελική τοποθεσία.

6.1.5. ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ

Η εγκατεστημένη ισχύς στην περιφέρεια της Okinawa το 1900 ήταν περίπου 1200 MW. Το ηλεκτρικό σύστημα του νησιού είναι Μη Διασυνδεδεμένο με το κεντρικό Δίκτυο της χώρας και πρέπει να εξασφαλίζει κάλυψη για τα φαινόμενα υψηλής ζήτησης που εντοπίζονται το καλοκαίρι. Εκτός από λίγες μονάδες αεριοστρόβιλων, όλη η ενέργεια προερχόταν από συμβατικές μονάδες καύσης πετρελαίου και άνθρακα. Κατά συνέπεια, μια μονάδα αντλησιοταμίευσης θα μπορούσε να συμβάλει στην αποδοτική και ευσταθή λειτουργία του Ηλεκτρικού Δικτύου. Βάσει των παραπάνω, το Υπουργείο Διεθνούς Εμπορίου και Βιομηχανίας της Ιαπωνίας- το οποίο είχε ξεκινήσει έρευνες για την επιλογή της κατάλληλης τοποθεσίας για ένα

έργο αντλησιοταμίευσης με θαλασσινό νερό από το 1960- επέλεξε την Okinawa ως την καταλληλότερη θέση για να εφαρμόσει δοκιμές και ελέγχους προκειμένου να αναπτυχθεί στην περιοχή η νέα αυτή τεχνολογία αξιοποίησης του θαλασσινού νερού.

6.2. ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

6.2.1. ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Το εν λόγω σύστημα κατασκευάστηκε στο χωριό Kunigami, στην περιφέρεια της Okinawa της Ιαπωνίας, και αποτελεί παγκόσμια καινοτομία, καθώς είναι το πρώτο σύστημα παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας με χρήση θαλασσινού νερού.

Η κατασκευή του πιλοτικού αυτού έργου ξεκίνησε το 1991 και ολοκληρώθηκε το 1999. Στη συνέχεια, διενεργήθηκε ένα πενταετές πρόγραμμα δοκιμών και ελέγχων, προκειμένου να διαπιστωθεί εάν η συγκεκριμένη τεχνολογία είναι αξιόπιστη και λειτουργική.

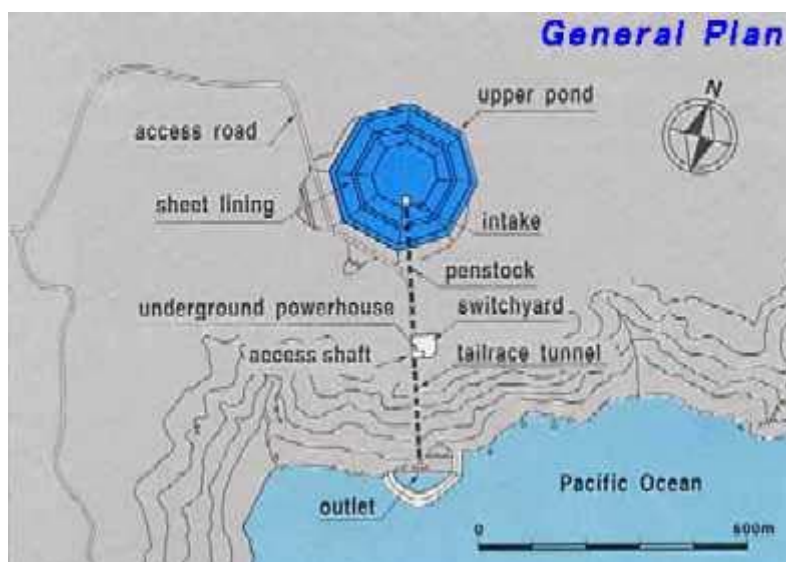


Εικόνα 16: Αεροφωτογραφία του έργου. Διακρίνεται η υδροληψία, ο άνω ταμιευτήρας και οι οδοί προσπέλασης.

6.2.2. ΜΕΛΕΤΕΣ

Η έρευνα σχετικά με τεχνικά και περιβαλλοντικά ζητήματα, λόγω της καινοτομίας

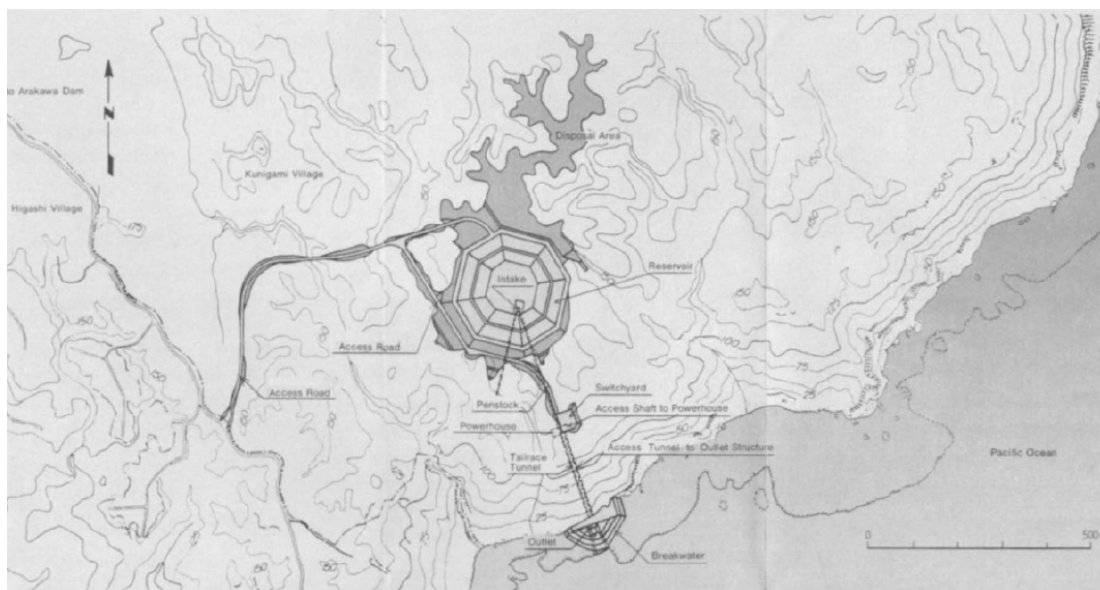
της χρήσης του θαλασσινού νερού, ξεκίνησε το 1981 και διήρκεσε έξι χρόνια. Για την ακρίβεια, συστηματικές δοκιμές διενεργήθηκαν από το 1984, με σκοπό να διερευνηθούν τα χαρακτηριστικά διάβρωσης των μεταλλικών υλικών του συστήματος, το αποτέλεσμα της αντιδιαβρωτικής βαφής, η καθοδική προστασία, η πρόσφυση των θαλάσσιων οργανισμών και άλλα προβλήματα που παρατηρήθηκαν κατά τις προσομοιωμένες συνθήκες λειτουργίας της πραγματικής μηχανής. Στις δοκιμές που εκτελέστηκαν στο εργαστήριο, χρησιμοποιήθηκαν τρία μοντέλα αναστρέψιμων μηχανών που κατασκευάστηκαν από τα ίδια υλικά και είναι γεωμετρικά όμοια με την πραγματική μηχανή.



Εικόνα 17: Κάτοψη της διάταξης του έργου.

6.2.3. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Τα βασικά τμήματα από τα οποία αποτελείται το έργο Yanbaru της Okinawa είναι ο άνω ταμιευτήρας, το σύστημα των αγωγών διακίνησης του νερού, ο Σταθμός Παραγωγής και η υδροληψία στο επίπεδο της θάλασσας, καθώς και η γραμμή διασύνδεσης του έργου με το Δίκτυο.



Εικόνα 18: Κάτοψη του έργου με τοπογραφικό υπόβαθρο.

Άνω ταμιευτήρας

Ο άνω ταμιευτήρας είναι κατασκευασμένος στην πλευρά του Ειρηνικού Ωκεανού, περίπου 600 μέτρα από την ακτή, σε ένα οροπέδιο με υψόμετρο περίπου 150 μέτρα. Έχει οκταγωνικό σχήμα, μέγιστη διάμετρο 252 μέτρα και μέγιστο βάθος 22,8 μέτρα. Το σχήμα και η θέση της τεχνητής αυτής λιμνοδεξαμενής αποφασίστηκαν με βάση, i) την ανάγκη για ένα απλό σχήμα, για διευκόλυνση της μόνωσης και ii) την ανάγκη για ελάχιστο όγκο χωματουργικών εργασιών, με σκοπό τη βέλτιστη διαχείριση μεταξύ των όγκων εκσκαφών και αναχωμάτων.

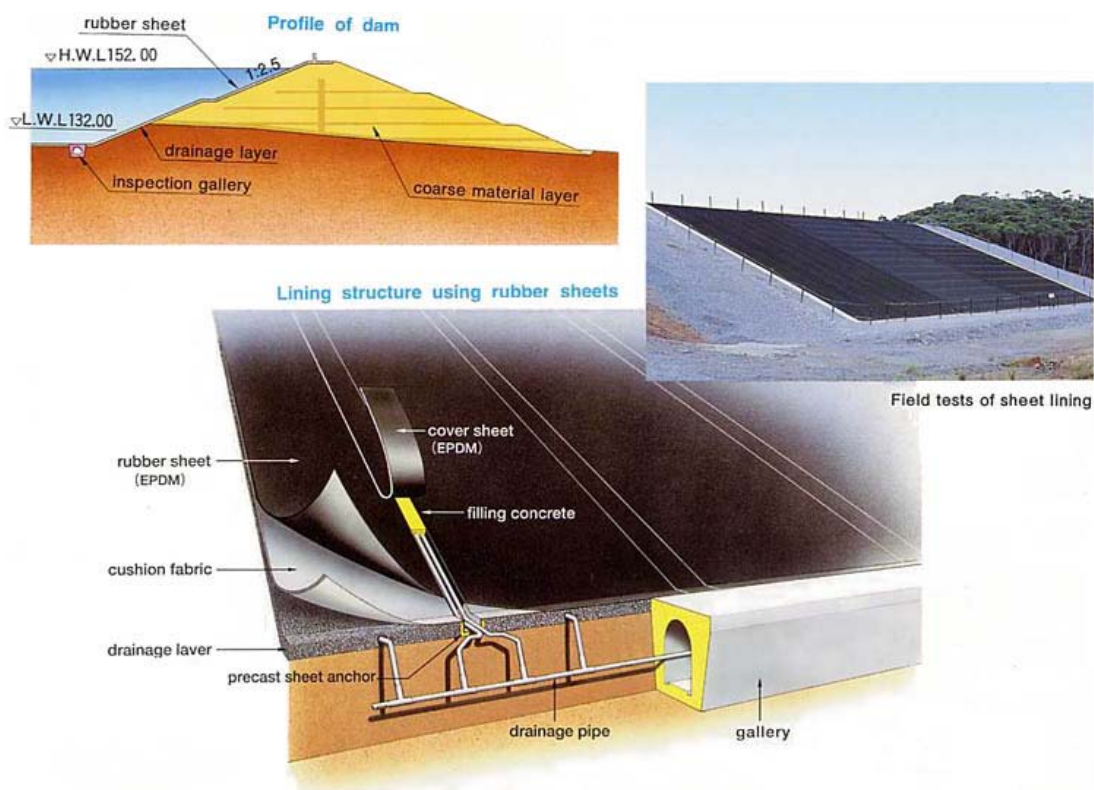


Εικόνα 19: Φωτογραφία του άνω ταμιευτήρα.

Η διακύμανση του νερού στον ταμιευτήρα είναι της τάξεως των 20 μέτρων (από +132 έως +152), η μέγιστη χωρητικότητά του είναι 590.000 m³ ενώ ο ωφέλιμος όγκος του είναι 564.000 m³. Ο περιμετρικός τοίχος του είναι 2 μέτρα ψηλότερος από την ανώτατη στάθμη του νερού, για προστασία λόγω δημιουργίας κυμάτων από θύελλες. Ένα επιπλέον στηθαίο, ύψους ενός μέτρου περίπου, έχει τοποθετηθεί από την πλευρά της θάλασσας προκειμένου να αποφεύγεται ο ψεκασμός των σταγονιδίων του νερού.



Εικόνα 20: Κατασκευή του άνω ταμιευτήρα.



Εικόνα 21: Μέτρα πρόληψης διαρροών στον άνω ταμιευτήρα (διαστρωμάτωση του πυθμένα και σύστημα αγωγών αποχέτευσης).

Η κατασκευή της τεχνητής λιμνοδεξαμενής έγινε με εκσκαφή και επίστρωση του πυθμένα. Η διαστρωμάτωση περιλαμβάνει ένα στρώμα χαλικοιού, πάχους 50 εκατοστών, πάνω στο οποίο έχει τοποθετηθεί ένα προστατευτικό κάλυμμα πολυεστέρα, και το τελικό στρώμα στεγανοποίησης του πυθμένα, πάχους 2 χιλιοστών.

Για τη στεγανοποίηση της άνω δεξαμενής, αρχικά μελετήθηκε η κατασκευή του πυθμένα από άσφαλτο ή σκυρόδεμα. Τελικά, ως αξιόπιστη και βέλτιστη οικονομοτεχνικά λύση για την κατασκευή της άνω δεξαμενής, αποφασίστηκε η επίστρωση με μια στεγανωτική μεμβράνη



Εικόνα 22: Φωτογραφία του άνω ταμιευτήρα κατά την ολοκλήρωση της κατασκευής του.

από καουτσούκ. Το στεγανωτικό υλικό της μεμβράνης ήταν μονομερές αιθυλοπροπυλοδιένιο (EPDM) και επιλέχθηκε λόγω της άριστης στεγανότητάς του, της ευκαμψίας και της αντοχής του στις καιρικές συνθήκες. Για τις περιπτώσεις διαρροής, έχουν τοποθετηθεί κάτω από το υδατοστεγές υλικό ανιχνευτές αλμυρού νερού καθώς και συστήματα αποχέτευσης των υδάτων, τα οποία συνδέονται με το σύστημα ελέγχου του έργου.



Εικόνα 23: Φωτογραφία του άνω ταμιευτήρα με μηδενική πλήρωση. Διακρίνεται το είδος της υδροληψίας.

Αγωγοί

Το σύστημα περιλαμβάνει δύο ειδών αγωγούς: τον αγωγό προσαγωγής-κατάθλιψης και τον αγωγό φυγής-αναρρόφησης. Ο αγωγός προσαγωγής-κατάθλιψης (penstock) έχει μήκος 314 μέτρα και εσωτερική διάμετρο 2,4 μέτρα.

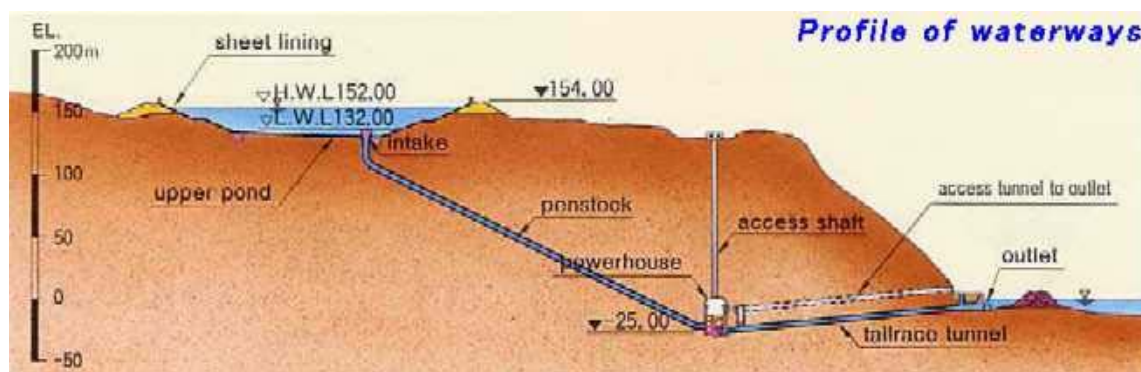
Είναι κατασκευασμένος από FRP (fiberglass reinforced plastic pipe-σωλήνας εξελάσεως από ενισχυμένο πλαστικό) για να ελαχιστοποιούνται οι διαρροές, ενώ στις γωνίες ή στις

ενώσεις έχουν τοποθετηθεί στοιχεία χαλυβδοσωλήνα με αντιδιαβρωτική επεξεργασία.

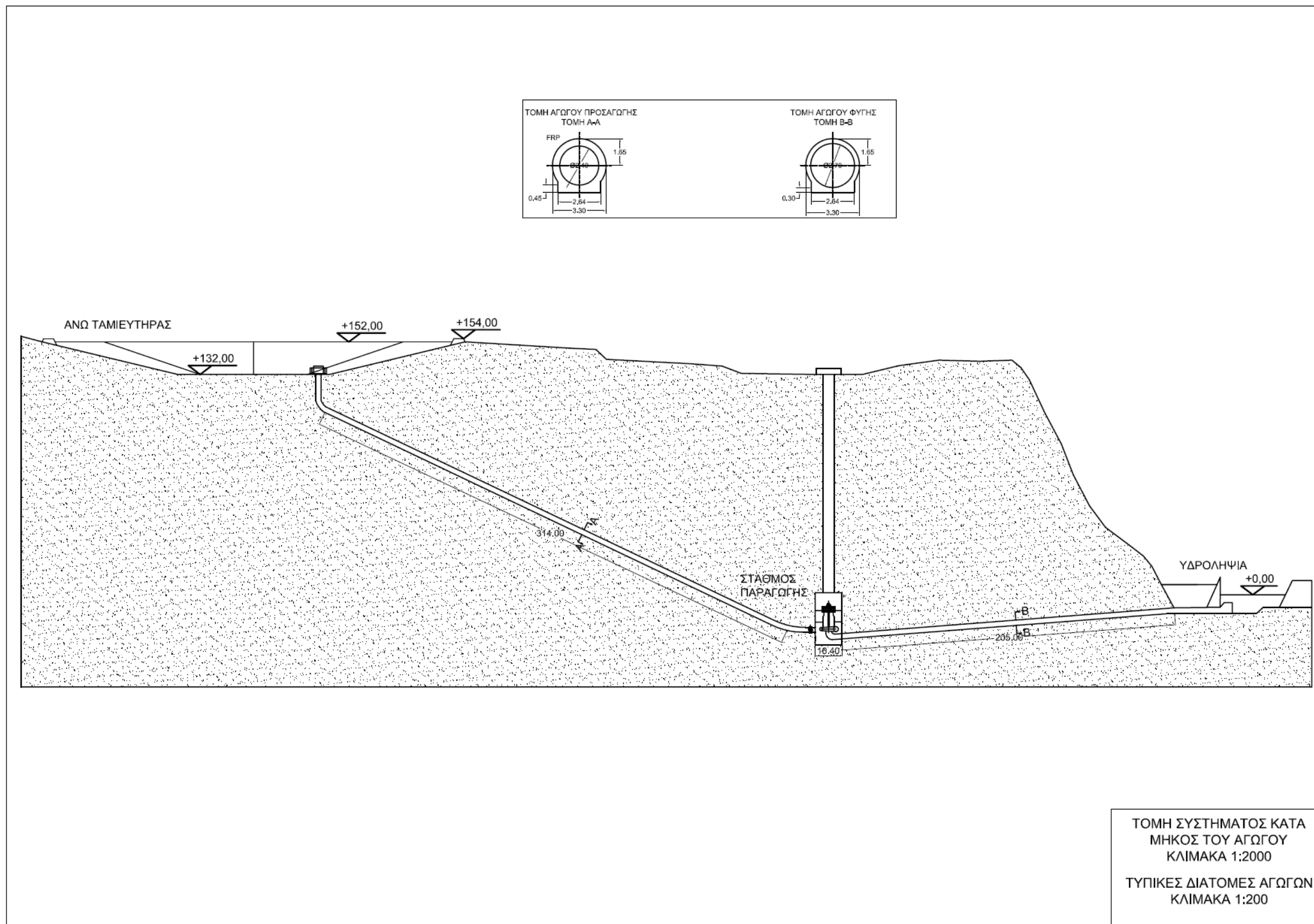


Εικόνα 24: Διάμετρος αγωγού προσαγωγής (2,4 m) σε σύγκριση με το ανθρώπινο ύψος.

Ο αγωγός φυγής-αναρρόφησης (tailrace) έχει μήκος 205 μέτρα, εσωτερική διάμετρο 2,7 μέτρα και είναι κατασκευασμένος από οπλισμένο σκυρόδεμα (concrete lining structure). Παρόλο που η ταχύτητα της ροής του νερού σε υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις γενικότερα καθιστά δύσκολη την ανάπτυξη θαλάσσιων οργανισμών, έχει τοποθετηθεί ειδική επικάλυψη στην εσωτερική επιφάνεια των σωληνώσεων, έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθεί η ανάπτυξη των οργανισμών και να διευκολύνεται η αφαίρεσή τους.

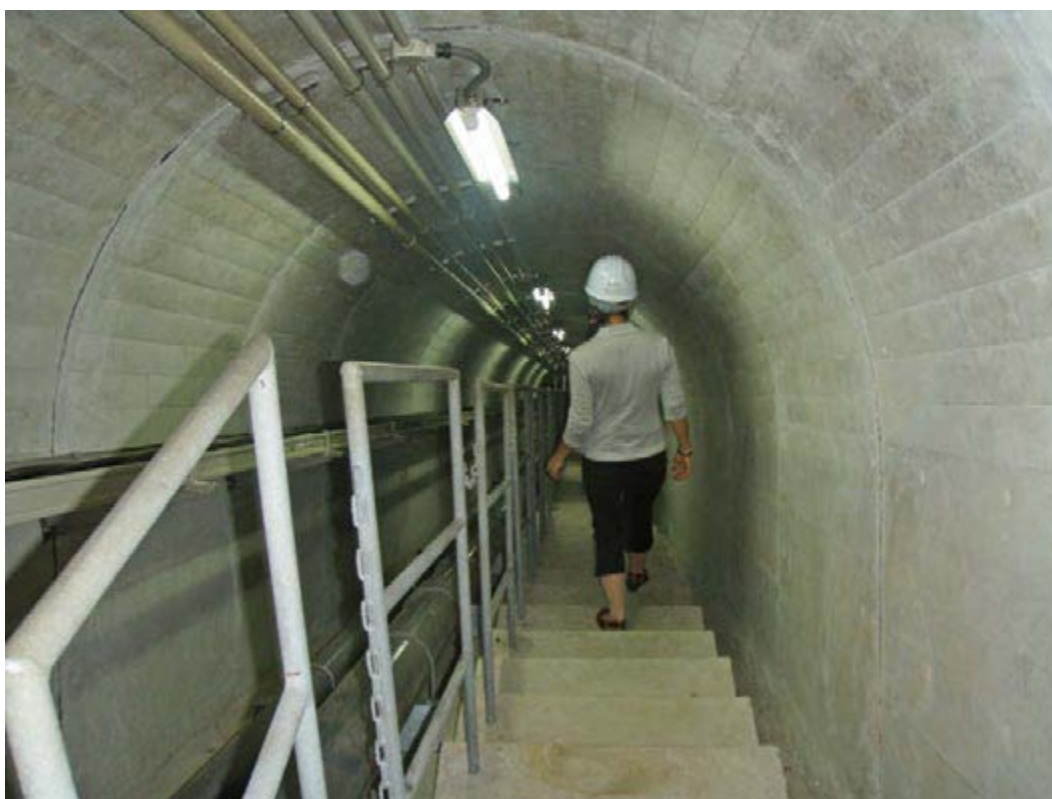


Εικόνα 25: Διάταξη των αγωγών προσαγωγής- κατάθλιψης και φυγής- αναρρόφησης.



Σταθμός Παραγωγής

Ο σταθμός παραγωγής είναι υπόγειου τύπου, κατασκευασμένος περίπου 150 μέτρα κάτω από την επιφάνεια. Οι διαστάσεις του σταθμού είναι 17 μέτρα πλάτος, 32 μέτρα ύψος και 41 μέτρα μήκος. Εκεί στεγάζεται μια αναστρέψιμη μονάδα ισχύος 30 MW, μεταβλητών στροφών, η αντίστοιχη ηλεκτρική μηχανή (γεννήτρια-κινητήρας), καθώς και όλος ο υπόλοιπος ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός. Για την κατασκευή του σταθμού, την εγκατάσταση του εξοπλισμού και την μετέπειτα προσπέλαση, κατασκευάσθηκε ένα κάθετο φρεάτιο ύψους 153 μέτρων από την επιφάνεια του εδάφους έως το σταθμό. Εντός αυτού του φρεατίου, ορθογωνικής διατομής 7x 7,6 μέτρων, τοποθετήθηκε ο ανελκυστήρας και το κλιμακοστάσιο.



Εικόνα 26: Προσπέλαση σταθμού προσαγωγής (κλιμακοστάσιο).

Υδροληψία

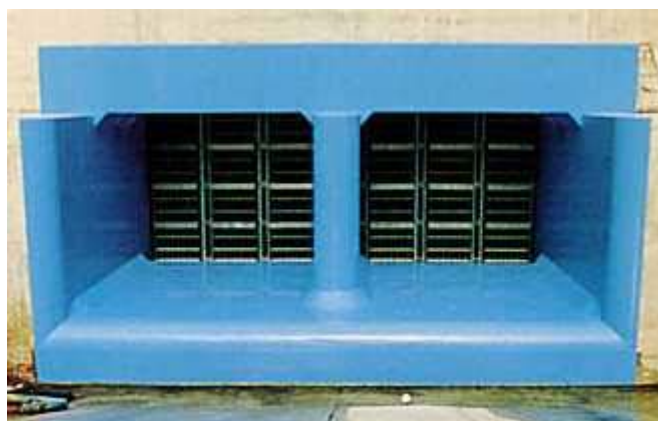
Ένα σημείο της ακτής όπου οι κοραλλιογενείς ύφαλοι είναι λιγότερο ανεπτυγμένοι έχει επιλεγεί ως το σημείο εξόδου (και κατά την άντληση εισόδου) του νερού στη θάλασσα. Προκειμένου να εξασφαλίζεται σταθερή παροχή στην υδροληψία κατά την άντληση και την παραγωγή, αλλά και να εκτονώνεται η



Εικόνα 27: Αεροφωτογραφία της θαλάσσιας υδροληψίας.

ενέργεια των κυμάτων του ωκεανού, κατασκευάσθηκε ένας κυματοθραύστης από προκατασκευασμένους τσιμεντόλιθους. Η άντληση και η φυγή του νερού στη θάλασσα γίνεται διαμέσου των κενών του κυματοθραύστη, με αποτέλεσμα η ταχύτητα ροής να μειώνεται στο 1m/sec.

Η διάταξη της υδροληψίας κατασκευάσθηκε έτσι ώστε να ελαχιστοποιούνται οι επιπτώσεις στο γειτονικό περιβάλλον. Πιο συγκεκριμένα, διεξήχθησαν μελέτες οι οποίες διερευνούσαν τις πιθανές αρνητικές επιπτώσεις στη θερμοκρασία και την ποιότητα του αποθηκευμένου θαλασσινού νερού κατά την έξοδό του στη θάλασσα, μετά από κάποιο διάστημα λειτουργίας. Οι προκαταρκτικές αυτές μελέτες έδειξαν ότι οι επιπτώσεις μπορούν να θεωρηθούν αμελητέες.



Εικόνα 28: Στόμιο υδροληψίας. Έχουν τοποθετηθεί ειδικές αντιδιαβρωτικές εσχάρες για την αποφυγή της πρόσφυσης θαλάσσιων οργανισμών.

Διασύνδεση

Η παραγόμενη ενέργεια του Υβριδικού Σταθμού διοχετεύεται στο Ηλεκτρικό Δίκτυο του νησιού με μια Γραμμή Μεταφοράς 66kV, συνολικού μήκους περί τα 17 χιλιόμετρα, η οποία συνδέει το έργο με τον Υποσταθμό Ταιχο της εταιρείας Okinawa Electric Power Co., Inc.



Εικόνα 29: Φωτογραφία του έργου όπου διακρίνεται η γραμμή διασύνδεσης.

6.2.4. ΑΝΑΣΤΡΕΨΙΜΗ ΜΗΧΑΝΗ ΘΑΛΑΣΣΙΝΟΥ ΝΕΡΟΥ- ΑΝΤΙΔΙΑΒΡΩΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Όπως προαναφέρθηκε στην παράγραφο 5.2, οι συμβατικές υδροδυναμικές μηχανές έχουν, κατά κανόνα, πολλούς στενούς χώρους μεταξύ των τμημάτων του εξοπλισμού, ενώ πολλά επιμέρους τμήματα είναι ενσωματωμένα στο κύριο σώμα της μηχανής, πράγμα που καθιστά δύσκολη την εφαρμογή κατάλληλων αντιδιαβρωτικών μέτρων. Αυτού του είδους τα προβλήματα δε μπορούν να επιλυθούν μόνο με συμβατικές μεθόδους πρόληψης της διάβρωσης.

Για την άντληση θαλασσινού νερού, ο Οργανισμός Φυσικών Πόρων και Ενέργειας του Υπουργείου Διεθνούς Εμπορίου και Βιομηχανίας είχε αναθέσει στην εταιρεία Electric Power Development Co, Ltd την έρευνα και την ανάπτυξη του προγράμματος «Δοκιμές και Έρευνες για τεχνικές άντλησης θαλασσινού νερού» και από το 1981 διεξήχθη ερευνητικό έργο για να καταστεί η άντληση και η

αποθήκευση θαλασσινού νερού πρακτική.

Επιπλέον, από το 1984 διεξήχθησαν συστηματικές δοκιμές, για τη διερεύνηση των χαρακτηριστικών διάβρωσης των μεταλλικών υλικών, την επίδραση της αντιδιαβρωτικής βαφής, την καθοδική προστασία⁶, τα χαρακτηριστικά πρόσφυσης θαλάσσιων οργανισμών, και άλλα προβλήματα κάτω από προσομοιωμένες συνθήκες λειτουργίας της πραγματικής μηχανής. Οι δοκιμές εκτελέστηκαν με τη χρήση τριών μοντέλων στροβιλοαντλιών τα οποία ήταν γεωμετρικά όμοια με την πραγματική μηχανή και κατασκευασμένα από τα ίδια υλικά. Η μηχανή που τελικά χρησιμοποιήθηκε στην πιλοτική μονάδα του Yanbaru της Okinawa σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε με βάση τα αποτελέσματα των ανωτέρω δοκιμών.

Στη συνέχεια, αναλύονται τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν, οι προδιαγραφές βαφής, οι αντιδιαβρωτικές μέθοδοι, και τα μέτρα πρόληψης της πρόσφυσης θαλάσσιων οργανισμών.



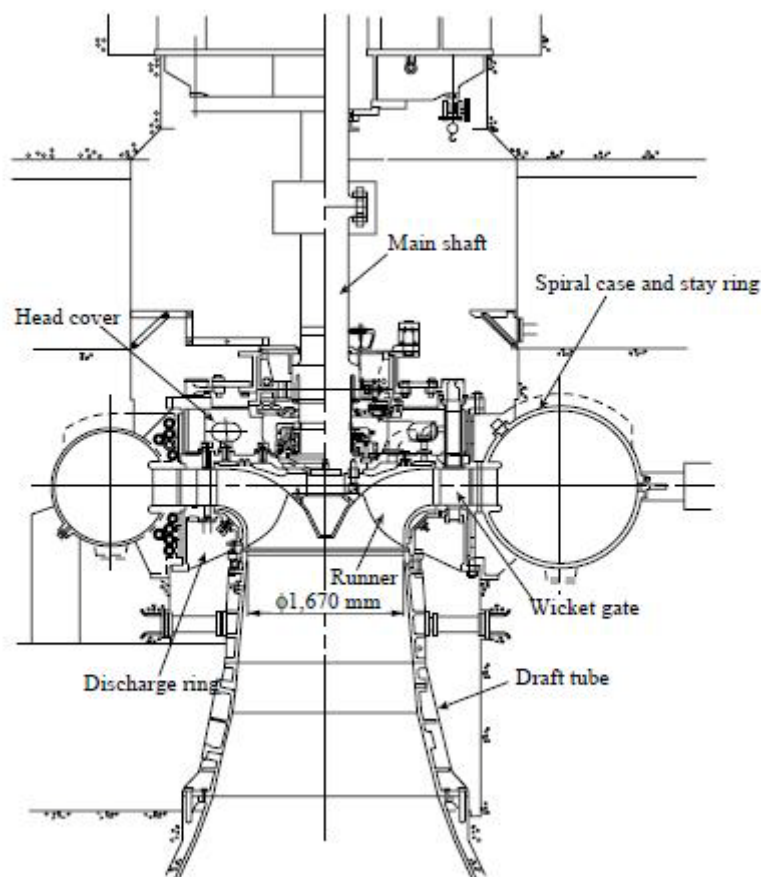
Εικόνα 30: Τοποθέτηση της αναστρέψιμης μηχανής στο έργο.

ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ

Το βασικότερο χαρακτηριστικό της στροβιλοαντλίας που χρησιμοποιήθηκε στην Okinawa, είναι ότι κατασκευάστηκε έτσι ώστε ο δρομέας να μπορεί να απομονωθεί για εύκολη συναρμολόγηση και αποσυναρμολόγηση. Ο δρομέας μπορεί να βγει από

⁶Πρόκειται για μία μέθοδο προστασίας για την διάβρωση των μετάλλων τα οποία έρχονται σε επαφή με διαβρωτικά υλικά (νερό). Αυτό επιτυγχάνεται με την προσθήκη κατάλληλου υλικού ανοδίου το οποίο διαβρώνεται αντί των προστατευομένων μετάλλων.

το κάτω μέρος, χωρίς να επηρεαστούν τα κύρια τμήματα της μηχανής και του κινητήρα- γεννήτριας, καθιστώντας ευκολότερη τη συντήρηση. Οι επιφάνειες διόδου του νερού είναι απλουστευμένες, έτσι ώστε να προφυλάσσονται έναντι ρωγμών λόγω της διάβρωσης όσο το δυνατόν περισσότερο. Η αντιδιαβρωτική μέθοδος κατασκευής των επιμέρους τμημάτων περιγράφεται στη συνέχεια.



Εικόνα 31: Τομή της αναστρέψιμης μηχανής που χρησιμοποιήθηκε στην Okinawa.

Κύριο κουτί στεγανοποίησης άξονα: Κεραμικά υλικά έχουν εφαρμοστεί ως στοιχεία στεγανοποίησης. Έχουν τοποθετηθεί σωλήνες αποστράγγισης νερού, οι οποίοι φτάνουν μέχρι την τάφρο αποστράγγισης, έτσι ώστε να αποτρέπεται η διαρροή του νερού στο κάλυμμα της κεφαλής.

Συνδεσμολογία των εδράνων των στελεχών των ρυθμιστικών πτερυγίων: Το κάλυμμα των ρυθμιστικών πτερυγίων διπλασιάστηκε προκειμένου να εμποδίζει το θαλασσινό νερό να μπει στο έδρανο, ακόμα και αν το θαλασσινό νερό διαρρεύσει από ανάντη. Τα έδρανα των ρυθμιστικών πτερυγίων μπορούν να αντικατασταθούν

χωρίς αποσυναρμολόγηση του καλύμματος της κεφαλής και του δακτυλίου φυγής.

Στεγανοποίηση της στεφάνης των ρυθμιστικών πτερυγίων: Τα ρυθμιστικά πτερύγια γενικά επικαλύπτονται με μονωτικά υλικά στις πάνω και κάτω επιφάνειες, έτσι να προστατεύουν το θάλαμο του δρομέα από διαρροές νερού από το σπειροειδές κέλυφος. Η μόνωση συνήθως εξασφαλίζεται από ένα ξεχωριστό μηχανικό στυπιοθλίπτη⁷. Το κάλυμμα από καουτσούκ της στροβιλοαντλίας συνενώθηκε με μια ανοξειδωτή χαλύβδινη βάση, με μια διαδικασία χύτευσης καουτσούκ, για την αποφυγή των ρωγμών.

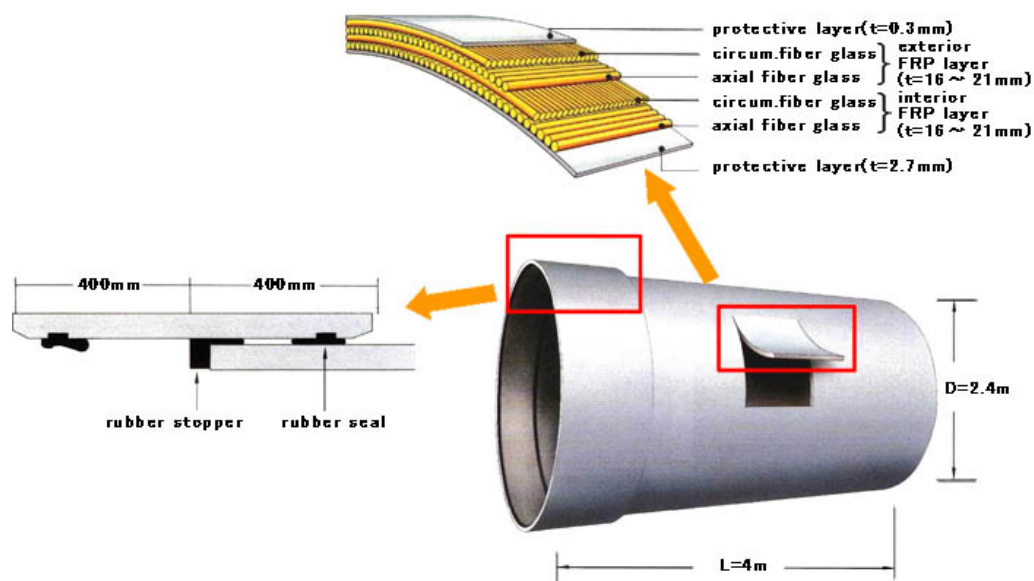
Επιπλέον, οι άνω και κάτω επιφάνειες, ενώ στην περίπτωση της συμβατικής στροβιλοαντλίας είναι συνδεδεμένες με κοχλίες, είναι ενσωματωμένες στο κάλυμμα της κεφαλής και του δακτυλίου φυγής, για αποφυγή της διάβρωσης και των ρωγμών.

Κύριος άξονας και δρομέας: Η συναρμογή μεταξύ κύριου άξονα και δρομέα είναι πλήρως μονωμένη με παρεμβύσματα από ελαστικό, έτσι ώστε να απομονώνεται το θαλασσινό νερό από τους κοχλίες σύζευξης.

ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΑΝΤΙΔΙΑΒΡΩΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

Τα υλικά και οι αντιδιαβρωτικές μέθοδοι για τα τμήματα των στροβιλοαντλιών επιλέχθηκαν αφενός βάσει της αντοχής του υλικού στη διάβρωση και αφετέρου λαμβάνοντας υπόψη οικονομοτεχνικά κριτήρια. Ήπιος ανθρακούχος χάλυβας, επικαλυμμένος με βαφή, χρησιμοποιείται για σχετικά χαμηλές ταχύτητες ροής, ενώ ανοξειδωτος χάλυβας χρησιμοποιείται για υψηλές ταχύτητες.

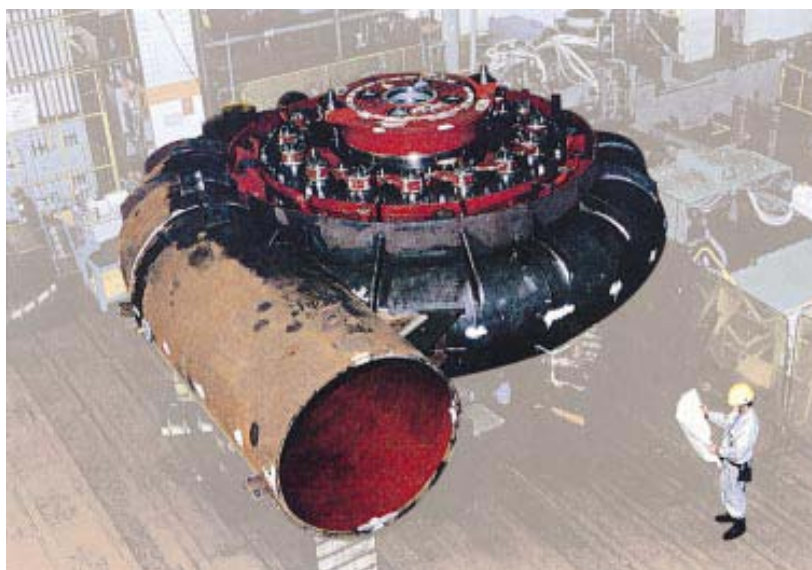
⁷ Ο μηχανικός στυπιοθλίπτης είναι το εξάρτημα της αντλίας που διαχωρίζει το υγρό από την ατμόσφαιρα.



Εικόνα 32: Διαστρωμάτωση αγωγού προσαγωγής, για αποφυγή της διάβρωσης.

Για να αποφευχθεί η διάβρωση λόγω βλαβών της βαφής και κατά των ρωγμών της διάβρωσης, χρησιμοποιείται καθοδική προστασία. Δεδομένου ότι η διάβρωση επιταχύνεται, καθώς η ταχύτητα ροής γίνεται μεγαλύτερη, η καθοδική προστασία έχει σχεδιαστεί για να πραγματοποιείται από εξωτερική πηγή τροφοδοσίας του συστήματος, προκειμένου να μπορεί να ρυθμίζεται η παροχή του βοηθητικού ρεύματος.

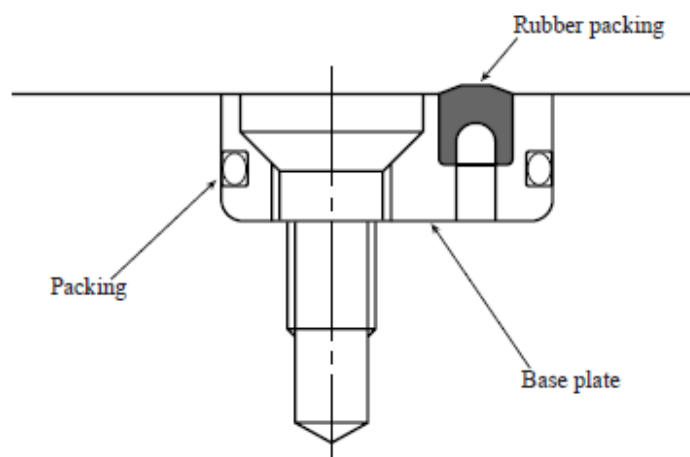
Σπειροειδές κέλυφος και δακτύλιος διανομής: Αυτά τα εξαρτήματα είναι κατασκευασμένα από ελατό χάλυβα για συγκολλητές κατασκευές, και οι επιφάνειες που έρχονται σε επαφή με το νερό είναι επικαλυμμένες με ένα εξαιρετικά παχύ στρώμα βαφής, τύπου vinyl-ester, με μικρά φύλλα υάλου.



Εικόνα 33: Φωτογραφία του σπειροειδούς κελύφους κατά τη συναρμολόγηση της μηχανής στο εργοστάσιο.

Κάλυμμα κεφαλής και δακτύλιος φυγής: Οι επιφάνειες διόδου του νερού κατασκευάστηκαν από ωστενιτικό ανοξείδωτο χάλυβα με χαμηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα. Οι μη βρεχόμενες επιφάνειες κατασκευάστηκαν από ελατό χάλυβα συγκολλητών κατασκευών, προκειμένου να διατηρηθεί το κόστος χαμηλά.

Ρυθμιστικά πτερύγια, δρομέας και κύριος άξονας: Τα ρυθμιστικά πτερύγια και ο δρομέας είναι κατασκευασμένα από ωστενιτικό ανοξείδωτο χυτό χάλυβα με χαμηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα καθώς και άζωτο που προστίθεται για να βελτιωθεί η αντοχή στη διάβρωση. Ο κύριος άξονας είναι εφοδιασμένος με ένα δακτύλιο ολίσθησης, ο οποίος παρέχει το ρεύμα για την καθοδική προστασία. Ο κύριος άξονας κατασκευάστηκε από ανοξείδωτο σφυρήλατο χάλυβα, με μικρή περιεκτικότητα σε άζωτο για τις οπές εξισορρόπησης.



Εικόνα 34: Στεγανοποίηση ρυθμιστικών πτερυγίων.

Αγωγός εξόδου (Draft Tube): Το πάνω μέρος του αγωγού εξόδου κατασκευάστηκε από ωστενιτικό ανοξείδωτο χάλυβα με χαμηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα, ενώ τα άλλα τμήματα είναι κατασκευασμένα από ελατό χάλυβα, επικαλυμμένο με ένα εξαιρετικά παχύ στρώμα βαφής, τύπου vinyl-ester, με μικρά φύλλα υάλου.

Κύριο κουτί στεγανοποίησης άξονα: Η μόνωση αποτελείται από κεραμικό υλικό. Τα υπόλοιπα μέρη αποτελούνται από ωστενιτικό ανοξείδωτο χάλυβα με χαμηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα. Δεδομένου ότι το διάστημα μεταξύ του άξονα και του κουτιού είναι ιδιαίτερα στενό, υιοθετήθηκε ως αντιδιαβρωτικό μέτρο ένα σύστημα ηλεκτροδίων για την καθοδική προστασία.

ΠΡΟΛΗΨΗ ΤΗΣ ΠΡΟΣΦΥΣΗΣ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΟΡΓΑΝΙΣΜΩΝ

Τα στρείδια είναι ένα τυπικό παράδειγμα των θαλάσσιων οργανισμών που προσκολλώνται στη στροβιλοαντλία, τις σωληνώσεις, τις βαλβίδες και το βοηθητικό εξοπλισμό. Τα στρείδια προσκολλώνται σε σημεία όπου η ταχύτητα ροής είναι μικρότερη από περίπου 5 m/s, και ακόμη πιο εύκολα όταν η ταχύτητα ροής είναι 1 ή 2 m/s. Δεδομένου ότι, λόγω της πρόσφυσης των στρειδιών, μειώνεται η αποδοτικότητα των στροβιλοαντλιών και προκαλείται φραγή των σωληνώσεων και άλλες αστοχίες, αυτό το πρόβλημα έπρεπε να εξεταστεί προσεκτικά ιδιαίτερα στα στοιχεία όπου η ροή έχει την τάση να είναι στάσιμη, όπως για παράδειγμα τον αγωγό εξόδου, το σπειροειδές κέλυφος, κλπ. Τα στρείδια εκκρίνουν μια κολλώδη ουσία κατά την πρόσφυσή τους στην επιφάνεια ενός αντικειμένου. Είναι γενικά γνωστό ότι είναι δύσκολο για αυτήν την ουσία να αποκολληθεί και να καθαριστεί

από επιφάνειες. Ως εκ τούτου, τα τμήματα της μηχανής όπου η ροή έχει την τάση να είναι στάσιμη, έπρεπε να είναι καλυμμένα με ειδική αντιρρυπαντική βαφή, ώστε να αποφεύγεται η πρόσφυση κάθε θαλάσσιου οργανισμού.

6.3. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ, ΜΕΤΡΑ ΚΑΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ

6.3.1. ΠΡΟΪΠΑΡΧΟΥΣΕΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Το έργο έχει κατασκευασθεί σε μια περιοχή όπου πολλά αυτόχθονα είδη χλωρίδας και πανίδας των νήσων αυτών έχουν διατηρηθεί μέχρι σήμερα. Από την αρχή της κατασκευαστικής δραστηριότητας, πάρθηκαν διάφορα μέτρα πρόληψης προκειμένου να μειωθούν στο μέγιστο δυνατό οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Τα μέτρα αυτά περιελάμβαναν προστασία του ενδιαιτήματος, παρεμπόδιση της εκροής νερού και λάσπης, μείωση της ακουστικής όχλησης λόγω των δονήσεων των βαρέων εξαρτημάτων του εξοπλισμού, κατασκευή τοίχων αντιστήριξης, αποκατάσταση και αναφύτευση της περιοχής και τη δημιουργία ενός βιοτόπου. Αυτά τα μέτρα πρόληψης αποφασίστηκαν βάσει μελέτης που διεξήχθη από ειδική επιτροπή που περιελάμβανε γνωστούς τοπικούς ειδικούς και την τοπική κοινότητα.

Το μεγαλύτερο τμήμα της νήσου Okinawa καλύπτεται από έναν ειδικό τύπο κόκκινου χώματος, που ονομάζεται Kunigami maaji. Το Kunigami maaji αποτελείται από διαβρωμένες ιζηματογενείς πέτρες, οι οποίες προέρχονται από διάφορα είδη πετρωμάτων όπως φυλλίτες, ανδεδσίτες και αμμόλιθους. Οι μοριακοί δεσμοί είναι αδύναμοι, καθώς ο συντελεστής διαπερατότητας είναι ιδιαίτερα χαμηλός (της τάξεως των 10^{-5} έως 10^{-6} cm/s) με αποτέλεσμα, κατά τη διάρκεια βροχοπτώσεων οι επιφανειακές απορροές να παρασέρνουν μεγάλο μέρος του χώματος αυτού. Άλλα χαρακτηριστικά του Kunigami maaji, εκτός του ότι είναι ιδιαίτερα διαβρωμένο, είναι ότι περιλαμβάνει καολινίτη, ένα είδος ορυκτού πυλού. Το υλικό αυτό, κάνει το Kunigami maaji τόσο βαρύ (το ειδικό βάρος του είναι έως και πλέον του 2,8) ώστε, όταν παρασέρνεται από τις επιφανειακές απορροές, να τείνει να μη φεύγει στον ωκεανό και να καθιζάνει στους κοραλλιογενείς υφάλους της ακτής, προκαλώντας σοβαρές βλάβες στο θαλάσσιο περιβάλλον και δημιουργώντας έντονο πρόβλημα στην τοπική κοινότητα.

Όσον αφορά τη χλωρίδα της περιοχής, το έργο περιβάλλεται από δημόσια δασική έκταση. Η περιοχή δεν είναι χαρακτηρισμένη ως φυσικό πάρκο, ενώ δεν υπάρχουν πολιτιστικά ενδιαφέροντα ή ψυχαγωγικές εγκαταστάσεις.

6.3.2. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ

Η J-Power⁸, υπό την πίεση του Υπουργείου να πραγματοποιήσει Μελέτες Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων Ηλεκτροπαραγωγής και Αποθήκευσης Ενέργειας με χρήση θαλασσινού νερού, ξεκίνησε έρευνες το 1982 και συνέταξε έκθεση εκτίμησης περιβαλλοντικών επιπτώσεων το 1989.

Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζονται οι περιβαλλοντικές παράμετροι που μελετήθηκαν:

Πίνακας 2: Παράμετροι εκτίμησης περιβαλλοντικών επιπτώσεων

<i>Παράμετροι εκτίμησης περιβαλλοντικών επιπτώσεων</i>		
Μετεωρολογία, καιρός ποιότητα αέρα, ποιότητα νερού, θόρυβος, δονήσεις, δυσσομία, μόλυνση του εδάφους, τοπογραφία, γεωλογία, θαλάσσια ρεύματα, θαλάσσια φαινόμενα		
Εξάτμιση και ψεκασμός αλατιού, διήθηση θαλασσινού νερού		
Χλωρίδα	Βλάστηση, σπάνια φυτά, προφίλ εδάφους κ.ά.	
Πανίδα	Χερσαία πανίδα	Θηλαστικά, Πτηνά, Ερπετά, Αμφίβια, Έντομα, Πανίδα του εδάφους
	Υδροβία πανίδα	Ψάρια ποταμών και ρεμάτων
	Θαλάσσιοι οργανισμοί	Κοράλλια, Ψάρια, πλαγκτόν, αυγά και γόνιοι, φύκια

Όσον αφορά στην πανίδα, καταμετρήθηκαν 16 είδη σπάνιων ζώων στην περιοχή, τα οποία απειλούνται με εξαφάνιση. Επιπλέον, συναντώνται πολλά αυτόχθονα είδη

⁸ Η εταιρεία Electric Power Development Co. Ltd. (J-Power) μελέτησε και κατασκεύασε το εν λόγω έργο, σε συνεργασία με το Υπουργείο Διεθνούς Εμπορίου και Βιομηχανίας της Ιαπωνίας.

χλωρίδας στο νησί, ενώ στη θάλασσα υπάρχουν κοραλλιογενείς ύφαλοι.

Υπό αυτές τις συνθήκες, η Επιτροπή Μελέτης που συστάθηκε από ειδικούς το 1989 βασίστηκε στις εξής θεμελιώδεις αρχές προστασίας του περιβάλλοντος:

- Πρέπει να δοθεί προσοχή και προτεραιότητα στους ιθαγενείς οργανισμούς που κατοικούν στην περιοχή του έργου.
- Η περιοχή που καταλαμβάνεται κατά την κατασκευή του έργου πρέπει να είναι το δυνατό μικρότερη, ώστε να διαταραχθεί το οικοσύστημα στο ελάχιστο δυνατό.
- Το πεδίο εφαρμογής των μέτρων πρόληψης και προστασίας δεν περιορίζεται στην περιοχή κατασκευής του έργου αλλά και στον περιβάλλοντα χώρο.
- Τυχόν βλάβες που μπορεί να προκληθούν αποκαθίστανται χωρίς καθυστερήσεις, με τη βοήθεια της δυνατότητας αυτό-ίασης της φύσης.

6.3.3. ΚΥΡΙΕΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ

Βάσει αυτών των αρχών, προέκυψαν οι βασικοί παράγοντες περιβαλλοντικών επιπτώσεων στην περιοχή του έργου:

Βιολογικές επιπτώσεις

- Ο ψεκασμός του αλατιού στον περιβάλλοντα χώρο της άνω δεξαμενής

Το μεγαλύτερο περιβαλλοντικό ζήτημα λόγω της χρήσης θαλασσινού νερού είναι οι επιπτώσεις που προκαλεί ο ψεκασμός του αλατιού στον περιβάλλοντα χώρο της άνω δεξαμενής. Οι επιπτώσεις του εν λόγω φαινομένου στο συγκεκριμένο έργο ήταν απρόβλεπτες καθώς επρόκειτο για το πρώτο σύστημα άντλησης θαλασσινού νερού που κατασκευάστηκε παγκοσμίως, και συνεπώς δεν είχε αντιμετωπιστεί προηγουμένως παρόμοιο περιβαλλοντικό ζήτημα. Ο ψεκασμός του αλατιού θεωρήθηκε σημαντικός παράγοντας διαταραχής του οικοσυστήματος της περιοχής και μελετήθηκε μεμονωμένα ως περιβαλλοντική επίπτωση του έργου. Για τη μελέτη του φαινομένου και την εξαγωγή έγκυρων συμπερασμάτων, πραγματοποιήθηκαν προσομοιώσεις του συστήματος με τη χρήση αριθμητικών μοντέλων, μέσω των οποίων διαπιστώθηκε ότι υπάρχει

μικρή διαφορά στις επιπτώσεις από τον ψεκασμό αλατιού που προέρχεται απευθείας από τη θάλασσα.

- Η μείωση του ενδιαιτήματος λόγω της ανθρώπινης επέμβασης

Όσον αφορά τη μείωση του ενδιαιτήματος, το έργο περιβάλλεται από δημόσια δασική έκταση, η οποία δεν είναι χαρακτηρισμένη ως φυσικό πάρκο. Παρόλα αυτά, η κατασκευή του απαιτούσε εκτενείς παρεμβάσεις στην περιοχή, και ιδιαίτερα στο χώρο όπου κατασκευάσθηκε ο άνω ταμιευτήρας.

- Οι βλάβες που προκαλούνται σε μικρά κυρίως ζώα από τη μετακίνηση των μηχανημάτων στο χώρο του εργοταξίου ή τις πτώσεις υλικών κατά την κατασκευή.

Ιδιαίτερα στη συγκεκριμένη περιοχή, όπου υπάρχει ιθαγενής πανίδα, η προστασία της είναι καίριας σημασίας. Για το λόγο αυτό, ένα τέτοιο έργο δύσκολα θα μπορούσε να υλοποιηθεί λόγω αντιδράσεων περιβαλλοντικών οργανώσεων εάν δεν είχαν ληφθεί τα κατάλληλα μέτρα προστασίας.

Εδαφολογικές επιπτώσεις

- Η εκροή νερού και λάσπης μέσω ρεμάτων στη θάλασσα, λόγω της κατασκευαστικής δραστηριότητας

Η άνω δεξαμενή κατασκευάσθηκε σε ένα φυσικό οροπέδιο, σε υψόμετρο 150 μέτρα. Από εκεί, ξεκινά μια πλαγιά ήπιας κλίσης προς τη θάλασσα, η οποία καταλήγει σε έναν απότομο βράχο 130 μέτρων. Η πλαγιά αυτή είναι γεμάτη με ρεματιές βάθους 20 έως 30 μέτρων και ήπιων κλίσεων. Οι ρεματιές αυτές σταδιακά διακλαδώνονται καθώς προσεγγίζουν τη θάλασσα και πλησιάζουν το βράχο σαν μια σειρά καταρρακτών. Η παραλία ακριβώς κάτω από τον γκρεμό αποτελείται είτε από μεγάλες πέτρες είτε από αμμώδεις παραλίες.

Η εκροή νερού και λάσπης στη θάλασσα μέσω αυτών των ρεμάτων έχει σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις αφενός λόγω των αποβλήτων από την κατασκευή του έργου, αφετέρου λόγω του τοπικού Κοκκινοχώματος (Kunigami maaji) που αναφέρθηκε παραπάνω. Λόγω της έντονης καθίζησης του χώματος

αυτού, προκύπτουν προβλήματα στο εγγύς θαλάσσιο περιβάλλον και στους προστατευόμενους κοραλλιογενείς υφάλους.

- Η διήθηση του θαλασσινού νερού στο υπέδαφος

Η διήθηση θαλασσινού νερού στο υπέδαφος, και κατά συνέπεια στον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα, αποτελεί ακόμη και σήμερα ζήτημα περιβαλλοντικού προβληματισμού. Εάν όμως ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα στεγανοποίησης, όπως αυτά που ελήφθησαν στο έργο της Okinawa, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις στον υδροφόρο ορίζοντα μπορούν να είναι ιδιαίτερα μικρές, ή ακόμη και αμελητέες.

Επιπτώσεις στο κοινωνικό περιβάλλον

- Η οπτική επέμβαση στο φυσικό τοπίο

Το έργο κατασκευάστηκε σε μια ορεινή περιοχή φυσικού κάλλους. Η οπτική όχληση θα μπορούσε να προκληθεί κυρίως από τους αγωγούς διακίνησης του νερού και το σταθμό παραγωγής, εάν θεωρήσουμε ότι ο άνω ταμιευτήρας μπορεί να ενσωματωθεί στο φυσικό τοπίο ως τεχνητή λίμνη. Για το λόγο αυτό, επιλέχθηκε το σύστημα των αγωγών και το κτίριο του σταθμού, να γίνουν υπόγεια προκειμένου να αποφευχθεί οποιαδήποτε οπτική όχληση.

- Η ακουστική όχληση λόγω του μηχανολογικού εξοπλισμού

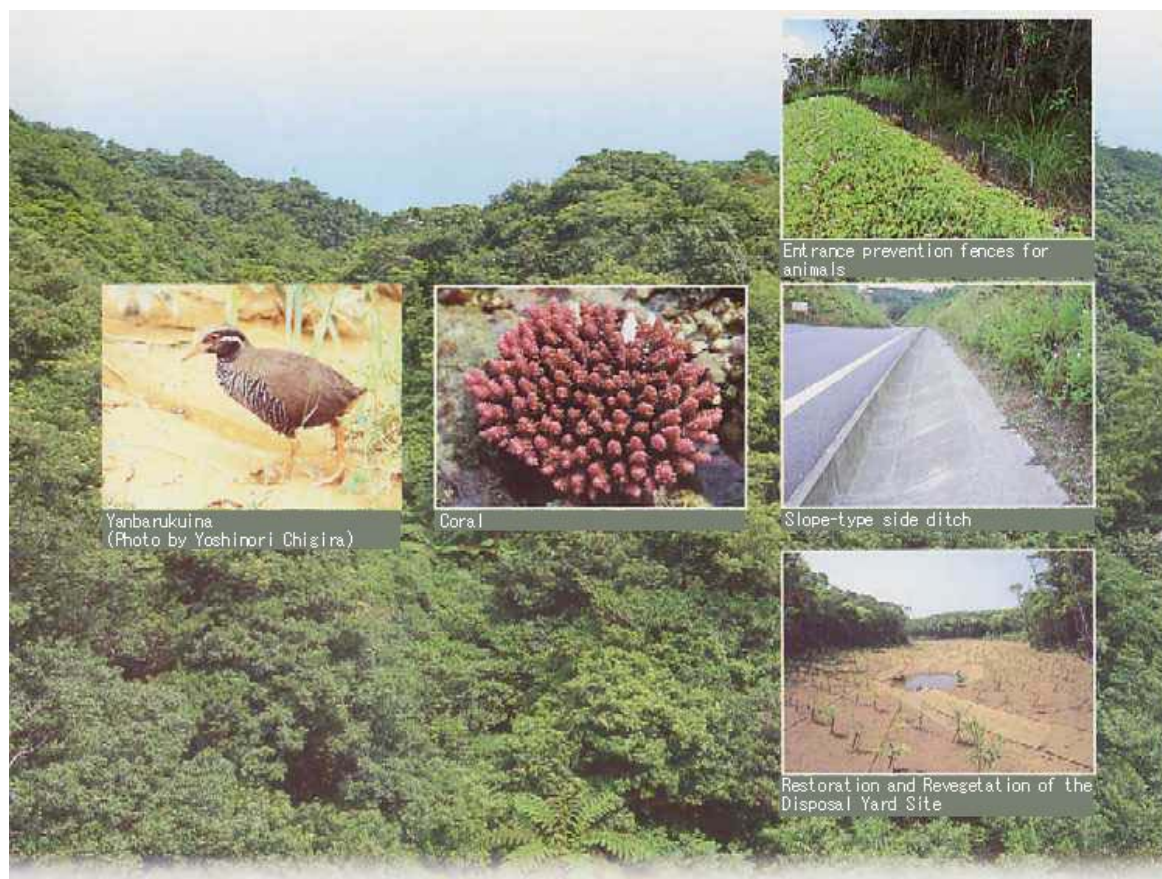
Η λειτουργία του έργου συνοδεύεται από εκπομπή θορύβου. Ο θόρυβος προέρχεται από τη λειτουργία κυρίως του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού, με κυριότερες πηγές τους υδροστροβίλους, τις γεννήτριες και το σύστημα εξαερισμού τους και τους μετασχηματιστές. Η σημαντικότερη πηγή θορύβου από τις παραπάνω είναι το σύστημα εξαερισμού των γεννητριών. Εφόσον στο συγκεκριμένο έργο, ο σταθμός παραγωγής είναι υπόγειος, οι εκπομπές θορύβου κυμαίνονται σε χαμηλά επίπεδα και κατά συνέπεια δε ελήφθησαν ιδιαίτερα μέτρα ηχομόνωσης.

6.3.4. ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

Μέτρα προστασίας του περιβάλλοντος υιοθετήθηκαν για κάθε τομέα περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τους παραπάνω. Η εφαρμογή των μέτρων έγινε σε συνεννόηση με την τοπική κοινότητα και παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 3: Περιβαλλοντικοί τομείς και μέτρα προστασίας

<i>Περιβαλλοντικός παράγων</i>		<i>Μέτρα προστασίας</i>
Εκροή νερού και λάσπης μέσω ρεμάτων στη θάλασσα, λόγω της κατασκευαστικής δραστηριότητας	Απόβλητα κατασκευής	Χημική αντιμετώπιση με εγκαταστάσεις έκπλυσης
	Έκπλυση χώματος	Διαχωρισμός νερού και χώματος, μείωση του κόκκινου χώματος μέσω ψεκάσμου διαλύματος ασφάλτου, εγκατάσταση υδροφράκτη με κυψελοειδή εγκιβωτισμό στα διάφορα ρέματα
Μείωση του ενδιαίτηματος λόγω της ανθρώπινης επέμβασης	Περιοχή κατάληψης	Κατασκευή υπόγειου σταθμού παραγωγής, σωστή διαχείριση χωματισμών μεταξύ εκσκαφών και επανεπιχώσεων, επαναφορά και αποκατάσταση των προσπελάσεων στο έργο κατά την κατασκευή
	Τοπική βλάστηση	Άμεση αναφύτευση της περιοχής, προστασία του υπάρχοντος δάσους με τη φύτευση νέων χαμηλών δέντρων
Ακουστική όχληση λόγω του μηχανολογικού εξοπλισμού		Απαγόρευση εργασιών κατά τη διάρκεια της νύχτας, χρήση μηχανημάτων χαμηλού επιπέδου θορύβου
Βλάβες που προκαλούνται σε μικρά κυρίως ζώα από την κίνηση των μηχανημάτων ή τις πτώσεις υλικών κατά την κατασκευή		Απομάκρυνση ζώων και φυτών κατά την κατασκευή, τοποθέτηση ειδικών φρακτών και επικλινών πλευρικών τοιχωμάτων για να παρεμποδίζεται η διείσδυση ζώων στο χώρο του έργου, διοργάνωση ειδικών σεμιναρίων και διανομή φυλλαδίων για ενημέρωση



Εικόνα 35: Προστατευόμενα είδη και μόνιμα περιβαλλοντικά μέτρα στην περιοχή του έργου.

Μέτρα κατά την κατασκευή

1. Απομάκρυνση ζώων και φυτών από την περιοχή κατασκευής

Από τη στιγμή που ο χώρος του έργου, κατά την περίοδο της κατασκευής, θα αποτελούσε ακατάλληλο περιβάλλον για τα διάφορα είδη σπάνιων ζώων, λόγω των παρεμβάσεων που έγιναν στην περιοχή αλλά και λόγω της κυκλοφορίας βαριών οχημάτων και εξοπλισμού, τα μικρά ζώα που είχαν περιορισμένες δυνατότητες να μετακινηθούν (βάτραχοι, χελώνες κ.ά.) μεταφέρθηκαν σε πιο φιλόξενο περιβάλλον εκτός της περιοχής κατασκευής. Πριν την αιχμαλώτιση και μετακίνησή τους, διενεργήθηκαν έλεγχοι για το αν τα ζώα αυτά θα επιβίωναν μετά τον αποικισμό τους και διαπιστώθηκε ότι κάτι τέτοιο θα ήταν εφικτό. Οι έλεγχοι επιβίωσης έγιναν σε μεμονωμένα ζώα από σπάνια είδη, σηματοδοτώντάς τα πριν αποικίσουν σε κατάλληλο περιβάλλον και διαπιστώνοντας, αρκετές εβδομάδες αργότερα, ότι ήταν όλα ζωντανά και δραστήρια.



Εικόνα 36: Τοποθέτηση ειδικών φρακτών για την περίφραξη του έργου.

2. Τοποθέτηση ειδικών φρακτών προστασίας

Προκειμένου να παρεμποδίζεται η πρόσβαση σε μικρά ζώα όπως χελώνες και να αποφεύγονται ατυχήματα, ένας φράχτης πολυαιθυλενίου ύψους 30 εκατοστών τοποθετήθηκε στην περίμετρο του χώρου εργασιών σε μήκος 8 χιλιομέτρων.

3. Διοργάνωση σεμιναρίων και διανομή ενημερωτικών φυλλαδίων

Όσο πιο σωστά ενημερωμένο είναι το εμπλεκόμενο προσωπικό, τόσο πιο ανεπτυγμένη είναι η περιβαλλοντική συνείδησή του. Για το λόγο αυτό, διανέμονταν εγχειρίδια τσέπης και φυλλάδια που περιελάμβαναν φωτογραφίες σπάνιων ζώων (κυρίως πτηνών, αμφίβιων και ερπετών), οδηγίες προφύλαξης κατά την εκτέλεση εργασιών καθώς και συμβουλές για τον χειρισμό αυτών των ζώων. Επιπλέον, αφίσες που εφιστούσαν την προσοχή για την προστασία τις πανίδας αναρτήθηκαν και σεμινάρια που αφορούσαν τα σπάνια είδη διοργανώθηκαν. Τέλος, προσλήφθηκε ένας ειδικός ελεγκτής, ο οποίος, κάνοντας περιπολίες στο χώρο του έργου, έλεγχε εάν όλα τα μέτρα προστασία λειτουργούν σωστά και εάν τα ζώα διατρέχουν κάποιο κίνδυνο.

Μόνιμα μέτρα

1. Κατασκευή επικλινούς πλευρικού τοιχώματος

Συνήθως, τα πλευρικά τοιχώματα των δρόμων έχουν σχήμα U και εάν ένα μικρό ζώο πέσει μέσα, δυσκολεύεται να βγει με αποτέλεσμα τον πιθανό θάνατο λόγω της θερμότητας που απορροφά το οδόστρωμα.



Εικόνα 37: Επικλινές τοίχωμα παραπλεύρως του δρόμου.

Για το λόγο αυτό, κατασκευάστηκαν επικλινή

πλευρικά τοιχώματα που δίνουν τη δυνατότητα στα μικρά ζώα να σκαρφαλώσουν. Από την πλευρά του δρόμου, το αυλάκι έχει κάθετο τοίχωμα έτσι ώστε τα ζώα να οδηγούνται προς την πλευρά του επικλινούς τοίχου και να επιστρέφουν στο φυσικό περιβάλλον.

2. Αναφύτευση της περιοχής και δημιουργία βιοτόπου

Όσον αφορά την περιοχή κατασκευής, θεωρήθηκε απαραίτητη η γρήγορη αποκατάσταση του φυσικού τοπίου στην αρχική μορφή του ώστε να μπορέσει η πανίδα να επανενταχθεί. Στους χώρους απόθεσης, δίπλα στον άνω ταμιευτήρα, τοποθετήθηκαν περίπου 210.000m³ χωματισμών δημιουργήθηκε ένας βιότοπος, για την πανίδα της περιοχής.



Εικόνα 38: Κεντρική τεχνητή λίμνη στην περιοχή των χώρων απόθεσης.

Προκειμένου να ξαναδημιουργηθεί βλάστηση παρεμφερής της Itajii (το δέντρο της περιοχής Kunigami- *Lithocarpus edulis*), επιλέχθηκαν περίπου 20 ποικιλίες δέντρων, μεταξύ των οποίων οι εγχώριες ποικιλίες Itajii και Adeku, σπυροφόρα δέντρα όπως τα Shimaguwa και Sharinbai και Akamegashiwa, που αναπτύσσονται γρήγορα έτσι ώστε να λειτουργήσουν ως ανεμοπετάσματα για το υπάρχον δάσος και να ενισχύσουν την ανάπτυξή του. Περίπου 30.000 δέντρα φυτεύτηκαν στους χώρους απόθεσης, σε έκταση 45.000m². Καθώς πλέον δείγματα αυτών των δέντρων πλέον δεν πωλούνται, συλλέχθηκαν σπόροι, φυτεύτηκαν σε γλάστρες για 2 με 3 χρόνια και έπειτα μεταφυτεύτηκαν.

Επιπλέον, εάν το έδαφος έμενε γυμνό μετά την κατασκευή, λόγω των βροχοπτώσεων θα υπήρχε εκροή του τοπικού κοκκινοχώματος. Για να αποφευχθεί η εκροή αυτή, το έδαφος καλύφθηκε με ρινίσματα φλοιών και ξύλου στις επίπεδες περιοχές και με ίνες από δέντρα καρύδας στις πλαγιές. Ταυτόχρονα, η μέθοδος αυτή συντέλεσε στην ανάπτυξη της τεχνητής βλάστησης και στην παρεμπόδιση της εξάτμισης του νερού από το έδαφος.



Εικόνα 39: Κάλυψη του εδάφους με ίνες καρύδας.

Πριν την κατασκευή του έργου, υπήρχαν ρεματιές και παραποτάμια βλάστηση στην περιοχή. Για την αποκατάσταση αυτού του βιοτόπου, δημιουργήθηκαν λιμνούλες και δίοδοι νερού διαφόρων μεγεθών σε εναρμόνιση με το τοπίο, για να διασφαλιστεί η βιοποικιλότητα.

6.3.5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΜΕΤΡΩΝ ΠΡΟΛΗΨΗΣ

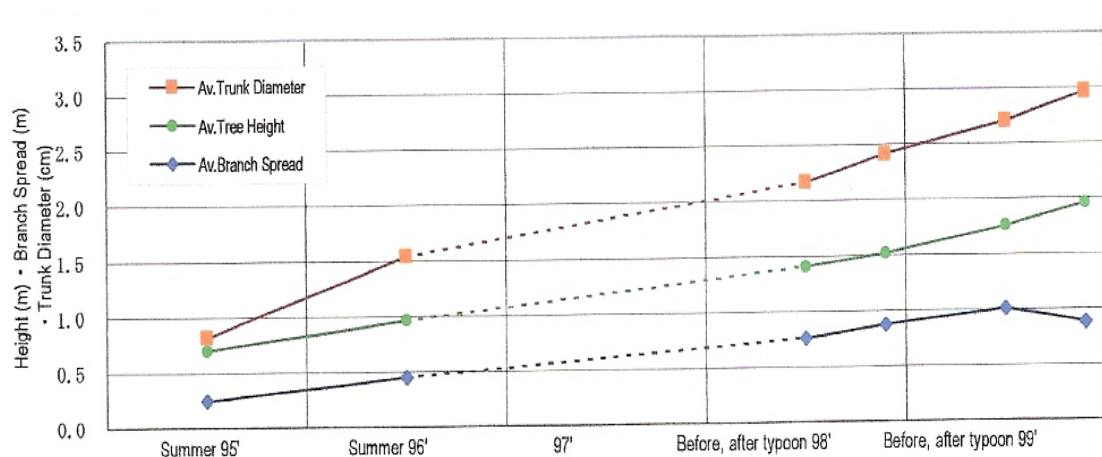
Έλεγχοι για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις του έργου διεξάγονταν από το 1990 και καθ' όλη τη διάρκεια της κατασκευής. Τα σημεία παρακολούθησης των ερευνητών παρουσιάζονται στη συνέχεια:

Πίνακας 4: Σημεία ελέγχου για την περιβαλλοντική αποκατάσταση της περιοχής.

Αντικείμενο ελέγχου			Συχνότητα ελέγχου
Επίγειος έλεγχος			
Βλάστηση (πριν και μετά από τυφώνα)		10 σημεία γύρω από το έργο	2 φορές το χρόνο
Πανίδα	Θηλαστικά, Πτηνά, Ερπετά, Αμφίβια, Έντομα, Πανίδα του εδάφους, Θαλάσσιοι Οργανισμοί	Απογραφή πληθυσμού (με χρήση στιγμάτων)	
Θόρυβος		4 σημεία γύρω από το έργο	
Ποιότητα νερού στην άνω δεξαμενή	Ποιότητα νερού, ηλεκτρική αγωγιμότητα	1 σημείο στην άνω δεξαμενή	Συνεχής έλεγχος
	Διαφάνεια νερού, pH και άλλοι δείκτες		1 φορά το χρόνο
Θαλάσσιος έλεγχος			
Ποιότητα νερού	Θερμοκρασία, περιεκτικότητα αλατιού, διαφάνεια, pH κ.ά.	4 σημεία στην παράκτια περιοχή	2 φορές το χρόνο
Καθίζηση	Κατανομή μεγεθών διαφόρων συστατικών, απώλειες κατά την πύρωση κ.ά.	5 σημεία στην παράκτια περιοχή	
Οργανισμοί	Πλαγκτόν, αυγά και γόνιμοι	2-3 σημεία στην παράκτια περιοχή	
	Φύκια	3 σειρές εγκάρσια στην παράκτια περιοχή	

	Κοράλλια	3 σειρές εγκάρσια, 5 σημεία στην παράκτια περιοχή	
	Ψάρια	1 σειρά εγκάρσια στην παράκτια περιοχή	

Στο βιότοπο που δημιουργήθηκε στους χώρους απόθεσης, δενδρύλλια αναπτύχθηκαν ικανοποιητικά, ενώ εντοπίστηκαν γυρίνοι και σαλαμάνδρες. Στο επόμενο γράφημα φαίνεται η ανάπτυξη των δέντρων στην περιοχή μετά την αποκατάσταση του βιοτόπου.



Διάγραμμα 1: Αποτελέσματα αποκατάστασης βάσει της ανάπτυξης των δέντρων, του μεγέθους του κορμού τους και της έκτασης της φυλλωσιάς.

Καθώς τα οπωροφόρα δέντρα αυξήθηκαν, εμφανίστηκαν σπάνια είδη πουλιών και ζώων. Ένα απροσδόκητο αποτέλεσμα ήταν ότι υδρόβια ζώα βρέθηκαν να αφήνουν αυγά πάνω στο τεχνητό κάλυμμα από ίνες καρύδας, το οποίο είχε εξαπλωθεί τόσο που πληρούσε τις προδιαγραφές υδρόβιων φυτών.



Εικόνα 40: Αποκατεστημένη περιοχή.

Όσον αφορά τα μέτρα πρόληψης για την έκπλυση του χώματος, δεν παρατηρήθηκαν εκροές ακόμη και κατά τη διάρκεια τυφώνων, ενώ δεν παράχθηκε λασπωμένο νερό. Επειδή η παρατήρηση νέων ειδών ζώων προβλήθηκε στην τηλεόραση, πολλοί άνθρωποι από το ευρύ κοινό άρχισαν να επισκέπτονται την περιοχή. Το γεγονός ότι μπορεί κανείς να δει σπάνια ζώα και φυτά σε μικρό χρονικό διάστημα, χωρίς να ταξιδέψει μακριά, σε απότομα βουνά και δάση, κέρδισε το ενδιαφέρον του κοινού και έγινε αξιολόγηση της περιοχής για την καταλληλότητά της ως ένα μέρος επισκέψιμο για εκπαιδευτικούς και ψυχαγωγικούς σκοπούς.

Γενικά, η αποκατάσταση του περιβάλλοντος στους χώρους απόθεσης μπορεί να θεωρηθεί ιδιαίτερα επιτυχής. Βάσει μελετών που έγιναν από τον σχεδιασμό του έργου, έγιναν έρευνες για είδη δέντρων ανθεκτικών στο αλάτι και κατάλληλων για φώλιασμα πτηνών. Αυτές οι έρευνες φάνηκαν χρήσιμες στην επιλογή των ειδών που θα φυτεύονταν καθώς και στην επιλογή μεθόδων φύτευσης.

Ως ένδειξη της αποτελεσματικότητας των περιβαλλοντικών μέτρων, παρουσιάζεται στη συνέχεια μια σειρά δοκιμών που αφορούν στα δέντρα που επιλέχθηκαν κατά την περιβαλλοντική αποκατάσταση, καθώς και τα αποτελέσματα των δοκιμών αυτών.

Οι δοκιμές του ακόλουθου πίνακα έγιναν για καθένα είδος δέντρου, έτσι ώστε να επιλεγεί η καταλληλότερη μέθοδος φύτευσης, βελτιωτικού εδάφους κλπ.

Πίνακας 5: Δοκιμές για την επιλογή των κατάλληλων μέτρων.

<i>Περιεχόμενα δοκιμών</i>	<i>Είδη δοκιμών</i>
Ικανότητα προσαρμογής δέντρου	Είδη δέντρων που χρησιμοποιήθηκαν: Itajii (<i>Lithocarpus edulis</i>), Adeku (<i>Syzygium buxifolium</i>), Tabunoki (<i>Persea thunbergii</i>), Isunoki (<i>Distylium racemosum</i>), Nezumimochi (<i>Ligustrum japonicum</i>), Oobagi
Διάταξη φύτευσης	Φύτευση σε σειρά (0,5 m x 2,0 m) Κοντινή φύτευση (5-10 δέντρα/ m ²) Σημειακή φύτευση (1,0 m x 1,0 m έως 1,2 m x 1,2 m)
Επιλογή βελτιωτικού εδάφους	Κοπριά βοοειδών, τέφρα άνθρακα, φυσικό λίπασμα
Αναγκαιότητα ανεμοφράκτη	Δοκιμή με και χωρίς ανεμοφράκτη
Επιλογή υλικού χλοοτάπητα	Τάπητας από ίνες καρύδας, φλοιοί δέντρων, αχυρόστρωμα, ψεκαζόμενοι σπόροι

Προφανώς, δεν υπάρχουν στοιχεία για το σύνολο των αποτελεσμάτων όλων των δοκιμών, καθώς πρόκειται για εξαιρετικά μεγάλο όγκο πληροφοριών και αναλύσεων. Ενδεικτικά όμως, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των δοκιμών που έγιναν στην ποικιλία Itajii. Τα αποτελέσματα αναφέρονται σε ποσοστά αύξησης του ύψους των δέντρων σε χρονικό διάστημα ενός έτους.

Πίνακας 6: Αποτελέσματα δοκιμών.

<i>Διάταξη φύτευσης</i>		<i>Επιλογή βελτιωτικού εδάφους</i>		<i>Αναγκαιότητα ανεμοφράκτη</i>		<i>Επιλογή υλικού χλοοτάπητα</i>	
Φύτευση σε σειρά	2,28	Κοπριά βοοειδών	2,28	Με ανεμοφράκτη	1,69	Τάπητας από ίνες καρύδας	2,07
Κοντινή φύτευση	1,70	Κανένα βελτιωτικό	1,08	Χωρίς ανεμοφράκτη	-	Φλοιοί δέντρων	1,23
Σημειακή φύτευση	1,23	Τέφρα άνθρακα	0,2			Αχυρόστρωμα	1,27
		Φυσικό λίπασμα	1,07			Ψεκαζόμενοι σπόροι	0,33

Βάσει των παραπάνω, η δενδροφύτευση έγινε τελικά σε σειρές, με δέντρα μέσου ύψους 50 cm που είχαν ήδη αναπτυχθεί σε γλάστρες. Όσον αφορά το υλικό του χλοοτάπητα, χρησιμοποιήθηκαν φλοιοί δέντρων στις περιοχές με ήπιες κλίσεις λόγω της ροής του νερού κατά τη διάρκεια βροχοπτώσεων, και ίνες καρύδας στις απότομες κλίσεις. Το πάχος της επίστρωσης επιλέχθηκε κατά τόπους.

Θεωρείται ότι ο βασικός λόγος υγιούς ανάπτυξης του βιοτόπου στην περιοχή, όπου οι περιβαλλοντικές συνθήκες ήταν δυσμενείς, είναι η σχολαστική προσοχή στη διεξοδική εκ των προτέρων περιβαλλοντική έρευνα και μελέτη. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι έρευνες που διεξήχθησαν, εκτός από αρκετά χρονοβόρες ήταν και εξαιρετικά δαπανηρές, αφού υπολογίζεται ότι για τα περιβαλλοντικά μέτρα του έργου δαπανήθηκε περίπου το 10% της συνολικής επένδυσης.

7. ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ

7.1. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Τα δεδομένα του συστήματος που χρησιμοποιήθηκαν στους υπολογισμούς είναι τα εξής:

7.1.1. ΑΝΩ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑΣ

Μέγιστη χωρητικότητα: $V_{\max}=590.000\text{m}^3$

Ωφέλιμη χωρητικότητα: $V_{\omega\phi}=564.000\text{m}^3$

Χωρητικότητα εφεδρείας: $V_{\epsilon\phi}=26.000\text{m}^3$

Υψόμετρο ανώτατης στάθμης: $z_{\max}=+152$

Υψόμετρο κατώτατης στάθμης: $z_{\min}=+132$

7.1.2. ΑΓΩΓΟΣ ΠΡΟΣΑΓΩΓΗΣ- ΚΑΤΑΘΛΙΨΗΣ (Penstock)

Μήκος: $L_p=314\text{m}$

Διάμετρος: $D_p=2,4\text{m}$

Υλικό κατασκευής: Σωλήνας εξελάσεως από ενισχυμένο πλαστικό (fiberglass reinforced plastic pipe- FRP)

Μέγιστη ταχύτητα ροής κατά την παραγωγή: $v_t=5,7\text{m/sec}$

Μέγιστη ταχύτητα ροής κατά την άντληση: $v_p=4,5\text{m/sec}$

7.1.3. ΑΓΩΓΟΣ ΦΥΓΗΣ- ΑΝΑΡΡΟΦΗΣΗΣ (Tailrace)

Μήκος: $L_t=205\text{m}$

Διάμετρος: $D_t=2,7\text{m}$

Υλικό κατασκευής: οπλισμένο σκυρόδεμα (concrete lining structure)

Μέγιστη ταχύτητα ροής κατά την παραγωγή: $v_t=4,5\text{m/sec}$

Μέγιστη ταχύτητα ροής κατά την άντληση: $v_p=3,5\text{m/sec}$

7.1.4. ΑΝΑΣΤΡΕΨΙΜΗ ΜΗΧΑΝΗ (λειτουργία στροβίλου)

Μέγιστη Ισχύς εξόδου: $P_{t_{max}}=31.400\text{kW}$

Μέγιστη Παροχή: $Q_{t_{max}}=26\text{m}^3/\text{sec}$

Μέγιστο Γεωμετρικό ύψος: $H_{t_{max}}= 152\text{m}$

Ελάχιστο Γεωμετρικό ύψος: $H_{t_{min}}= 132\text{m}$

Ειδικός αριθμός στροφών: $n_s=178,2\text{m-kW}$

Ταχύτητα Περιστροφής: $n=450\text{rpm} (\pm 6\%)$

7.1.5. ΑΝΑΣΤΡΕΨΙΜΗ ΜΗΧΑΝΗ (λειτουργία αντλίας)

Μέγιστη Ισχύς εξόδου: $P_{p_{max}}=31.800\text{kW}$

Μέγιστη Παροχή: $Q_{p_{max}}=20,2\text{m}^3/\text{sec}$

Μέγιστο Γεωμετρικό ύψος: $H_{p_{max}}= 152\text{m}$

Ειδικός αριθμός στροφών: $n_q=51,4\text{m- m}^3/\text{sec}$

Ταχύτητα Περιστροφής: $n=450\text{rpm} (\pm 6\%)$

7.2. ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ

7.2.1. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ

Για την καλύτερη προσέγγιση στην προσομοίωση του συστήματος έγιναν οι ακόλουθες παραδοχές:

Το σύστημα αντλησιοταμίευσης της Οκίναβα απορροφά ενέργεια από το Δίκτυο και κατασκευάστηκε κυρίως για να αξιοποιεί την περισσευούμενη πυρηνική ενέργεια καθώς και την παραγόμενη από θερμοηλεκτρικούς σταθμούς ενέργεια του νησιού. Παρόλα αυτά έγινε η παραδοχή ότι αξιοποιεί αιολική ενέργεια, έτσι ώστε να μπορεί να θεωρηθεί το σύστημα Υβριδικό, καθώς από την ελληνική νομοθεσία δεν έχει προβλεφθεί η κατασκευή συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας που δεν αποτελούν μέρος Υβριδικού Συστήματος.

Επιπλέον, υπάρχει περιορισμός στη μέγιστη ισχύ των ΑΠΕ του υβριδικού συστήματος. Για το λόγο αυτό, θεωρήθηκε ότι το αιολικό πάρκο θα έχει

εγκατεστημένη ισχύ μεγαλύτερη κατά 20% της εγγυημένης ισχύος των μονάδων αποθήκευσης του σταθμού, δηλαδή

$$30 \text{ MW} \times 1,20 = 36 \text{ MW}$$

Κατά συνέπεια, επιλέχθηκε αιολικό πάρκο ισχύος 36MW, το οποίο περιλαμβάνει 18 ανεμογεννήτριες των 2MW.

Επιπλέον, η χρονοσειρά ισχύος που χρησιμοποιήθηκε αντιστοιχεί σε χρονοσειρά αδιάστατης ισχύος αιολικού πάρκου της Κρήτης.

Η ισχύς αιχμής του νησιού θεωρήθηκε ίση με 705 MW, κατ' αναλογία του μεγέθους του.

Θεωρήθηκε ότι η διάρκεια παραγωγής του Υβριδικού Συστήματος είναι 5 ώρες ημερησίως, η κατανομή των οποίων μέσα στην ημέρα εξαρτάται από το εάν πρόκειται για θερινό ή χειμερινό μήνα.

7.2.2. ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΤΙΜΟΛΟΓΗΣΕΩΝ

Ο καθορισμός των τιμολογήσεων ενέργειας και ισχύος του Υβριδικού Σταθμού, προκειμένου να υπολογισθούν τα ετήσια έσοδα χωρίς αυθαίρετες υποθέσεις, έγινε βάσει της απόφασης υπ' αριθμ. 1333/2010 της Ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας (ΡΑΕ)⁹. Με την παραδοχή ότι το νησί της Okinawa τιμολογείται όμοια με την Κρήτη, ως μη διασυνδεδεμένο νησί, οι τιμές που χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία του μοντέλου οικονομικής βιωσιμότητας του συστήματος είναι οι εξής:

- Τιμή διαθεσιμότητας ισχύος του Υβριδικού Σταθμού: **127.000€/MW/έτος**.
- Τιμή ενέργειας από ελεγχόμενες Μονάδες Παραγωγής του Υβριδικού Σταθμού (υδροστρόβιλος): **236€/MWh**.
- Τιμή απορροφόμενης ενέργειας από το Δίκτυο (λειτουργία αντλιών): **186€/MWh**.

Για την τιμολόγηση της παραγόμενης αιολικής ενέργειας, η παραπάνω απόφαση της ΡΑΕ δεν καθορίζει κάποιο ποσό.

⁹ Απόφαση ΡΑΕ υπ' αριθμ. 1333/2010: Καθορισμός τιμολόγησης ηλεκτρικής ενέργειας από Υβριδικούς Σταθμούς για τα νησιά Κρήτη και Λέσβο.

Ο Νόμος 3851/2010 (άρθρο 5 παρ. 2) ορίζει ότι:

«α) Η τιμολόγηση γίνεται με βάση την τιμή, σε ευρώ ανά μεγαβατώρα (MWh), της ηλεκτρικής ενέργειας που απορροφάται από το Σύστημα ή το Δίκτυο, συμπεριλαμβανομένου και του Δικτύου Μη Διασυνδεδεμένων Νησιών.

β) Η τιμολόγηση της ηλεκτρικής ενέργειας κατά την προηγούμενη περίπτωση, εκτός από την ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από φωτοβολταϊκούς σταθμούς για τους οποίους έχουν οριστεί ξεχωριστές τιμές από τον ν. 3734/2009 (ΦΕΚ 8 Α'), όπως ισχύει, γίνεται με βάση τα στοιχεία του ακόλουθου πίνακα:»

Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από:	Τιμή Ενέργειας (€/MWh)	
	Διασυνδεδεμένο Σύστημα	Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά
(α) Αιολική ενέργεια που αξιοποιείται με χερσαίες εγκαταστάσεις ισχύος μεγαλύτερης των 50kW	87,85	99,45
(β) Αιολική ενέργεια που αξιοποιείται με εγκαταστάσεις ισχύος μικρότερης ή ίσης των 50kW	250	
(γ) Φωτοβολταϊκά έως 10kW _{peak} στον οικιακό τομέα και σε μικρές επιχειρήσεις (σύμφωνα με το ειδικό πρόγραμμα σε κτιριακές εγκαταστάσεις – ΚΥΑ 12323/ΓΓ 175/4.6.2009, Β' 1079)	550	
(δ) Υδραυλική ενέργεια που αξιοποιείται με μικρούς υδροηλεκτρικούς σταθμούς με εγκατεστημένη ισχύ έως δεκαπέντε (15) MW _e	87,85	
(ε) Ηλιακή ενέργεια που αξιοποιείται από ηλιοθερμικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής	264,85	
(στ) Ηλιακή ενέργεια που αξιοποιείται από ηλιοθερμικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής με σύστημα αποθήκευσης, το οποίο εξασφαλίζει τουλάχιστον 2 ώρες λειτουργίας στο ονομαστικό φορτίο	284,85	
(ζ) Γεωθερμική ενέργεια χαμηλής θερμοκρασίας κατά την παρ. 1στ του άρθρου 2 του νόμου 3175/2003 (Α' 207)	150	
(η) Γεωθερμική ενέργεια υψηλής θερμοκρασίας κατά την παρ. 1στ του άρθρου 2 του νόμου 3175/2003 (Α' 207)	99,45	
(θ) Βιομάζα που αξιοποιείται από σταθμούς με εγκατεστημένη ισχύ ≤1 MW (εξαιρουμένου του βιοαποδομήσιμου κλάσματος αστικών αποβλήτων)	200	
(ι) Βιομάζα που αξιοποιείται από σταθμούς με εγκατεστημένη ισχύ >1MW και ≤5MW (εξαιρουμένου του βιοαποδομήσιμου κλάσματος αστικών αποβλήτων)	175	

(ια) Βιομάζα που αξιοποιείται από σταθμούς με εγκατεστημένη ισχύ >5MW (εξαιρουμένου του βιοαποδομήσιμου κλάσματος αστικών αποβλήτων)	150	
(ιβ) Αέρια εκλυόμενα από χώρους υγειονομικής ταφής και από εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού και βιοαέρια από βιομάζα (συμπεριλαμβανομένου και του βιοαποδομήσιμου κλάσματος αποβλήτων), με εγκατεστημένη ισχύ ≤ 2 MW	120	
(ιγ) Αέρια εκλυόμενα από χώρους υγειονομικής ταφής και από εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού και βιοαέρια από βιομάζα (συμπεριλαμβανομένου και του βιοαποδομήσιμου κλάσματος αποβλήτων), με εγκατεστημένη ισχύ >2 MW	99,45	
(ιδ) Βιοαέριο που προέρχεται από βιομάζα (κτηνοτροφικά και αγροτο-βιομηχανικά οργανικά υπολείμματα και απόβλητα) με εγκατεστημένη ισχύ ≤ 3 MW	220	
(ιε) Βιοαέριο που προέρχεται από βιομάζα (κτηνοτροφικά και αγροτο-βιομηχανικά οργανικά υπολείμματα και απόβλητα) με εγκατεστημένη ισχύ > 3 MW	200	
(ιστ) Σ.Η.Θ.Υ.Α.	87,85xΣΡ	99,45xΣΡ
(ιζ) Λοιπές Α.Π.Ε. (συμπεριλαμβανομένων και των σταθμών ενεργειακής αξιοποίησης του βιοαποδομήσιμου κλάσματος αστικών αποβλήτων που πληρούν τις προδιαγραφές της Ευρωπαϊκής νομοθεσίας όπως εκάστοτε αυτές ισχύουν)	87,85	99,45

«Οι τιμές του ανωτέρω πίνακα για τους Αυτοπαραγωγούς ηλεκτρικής ενέργειας

ισχύουν μόνο για σταθμούς Α.Π.Ε. και Σ.Η.Θ.Υ.Α. με εγκατεστημένη ισχύ έως τριάντα πέντε (35) MW και για το πλεόνασμα της ηλεκτρικής ενέργειας που διατίθεται στο Σύστημα ή το Δίκτυο, το οποίο μπορεί να ανέλθει μέχρι ποσοστό 20% της συνολικά παραγόμενης, από τους σταθμούς αυτούς, ηλεκτρικής ενέργειας, σε ετήσια βάση. Η τιμολόγηση της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από Παραγωγό ή Αυτοπαραγωγό μέσω σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Σ.Η.Θ.Υ.Α. πραγματοποιείται ανά μήνα με βάση τη Μ.Τ.Φ.Α. του προηγούμενου τριμήνου.

γ) Η παραγόμενη ενέργεια από σταθμούς Α.Π.Ε. πλην φωτοβολταϊκών και ηλιοθερμικών σταθμών, εφόσον οι επενδύσεις υλοποιούνται χωρίς τη χρήση δημόσιας επιχορήγησης, τιμολογείται με βάση τις τιμές του ανωτέρω πίνακα τιμολόγησης, προσαυξημένες κατά ποσοστό 20% για τις περιπτώσεις (α), (δ), (ζ), (η) και (ιζ), καθώς και κατά ποσοστό 15% για τις περιπτώσεις (θ) έως (ιε).»

Με βάση τα παραπάνω, η τιμή της αιολικής ενέργειας του Υβριδικού Σταθμού θα έπρεπε να είναι τουλάχιστον $99,45 \times 120\% = 119,34\text{€}/\text{MWh}$ (προσαύξηση 20% λόγω μη χρήσης δημόσιας επιχορήγησης).

Στις πρόσφατα εκδοθείσες από τη ΡΑΕ Άδειες Παραγωγής Υβριδικών Σταθμών αναφέρεται ότι:

«Η ενέργεια των μονάδων ΑΠΕ που εγχέεται απ' ευθείας στο δίκτυο και τιμολογείται σύμφωνα με τις διατάξεις της περίπτωσης δ' της παραγράφου 3 του άρθρου 13 του ν. 3468/2006, υπολογίζεται βάσει των σχετικών ενδείξεων των οικείων μετρητών ενέργειας, αφαιρουμένων των ποσοτήτων ενέργειας που απορροφήθηκαν από το δίκτυο και θεωρείται ότι συμψηφίζονται με την εγχεόμενη, καθώς και του ημίσεως των ποσοτήτων ενέργειας που εγχύθηκαν στο δίκτυο στο πλαίσιο παροχής προγραμματισμένης/εγγυημένης ισχύος/ενέργειας. Το υπόλοιπο των ποσοτήτων που εγχύθηκαν στο δίκτυο στο πλαίσιο παροχής προγραμματισμένης/εγγυημένης ισχύος/ενέργειας, τιμολογείται με βάση την τιμή ενέργειας των ελεγχόμενων μονάδων παραγωγής, σύμφωνα με τους όρους της παρούσας, και βάσει των ειδικότερων ρυθμίσεων για τη μέτρηση των ποσοτήτων αυτών που περιλαμβάνονται στη Σύμβαση Πώλησης.»

Σύμφωνα με τα παραπάνω, για την παραγόμενη αιολική ενέργεια του Υβριδικού Σταθμού, θεωρούμε τιμή ίση με το μέσο όρο της παραγόμενης αιολικής ενέργειας χωρίς επιχορήγηση (119,34€/MWh) και της ενέργειας των ελεγχόμενων μονάδων του Υβριδικού Σταθμού (236€/MWh), ήτοι:

$$\frac{119,34 + 236,00}{2} = 177,67 \text{ €/MWh}$$

- Τιμή ενέργειας από Μονάδες Α.Π.Ε. του Υβριδικού Σταθμού (Α/Π): **177,67€/MWh.**

8. ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Ο αλγόριθμος προσομοίωσης χρησιμοποιήθηκε για την προσομοίωση του Υβριδικού συστήματος με την καλύτερη δυνατή προσέγγιση στα ελληνικά δεδομένα.

Τα βήματα που ακολουθήθηκαν για την ανάπτυξη του αλγορίθμου είναι τα εξής:

1. Ανάγνωση δεδομένων, χαρακτηριστικών μεγεθών του συστήματος και αδιάστατων χαρακτηριστικών καμπυλών για λειτουργία αντλίας και υδροστροβίλου.
2. Υπολογισμός ονομαστικής παροχής υδροστροβίλου, με δεδομένα την ονομαστική ισχύ του και το γεωμετρικό ύψος πτώσης:

$$P = \frac{\gamma \cdot H \cdot Q \cdot n}{102} \Rightarrow Q = \frac{102 \cdot P}{\gamma \cdot H \cdot n}$$

Όπου P η ονομαστική ισχύς του υδροστροβίλου (kW), γ το ειδικό βάρος του νερού (1000 Nt/m³), H το ύψος πτώσης (m) και n ο βαθμός απόδοσης. Λόγω του ότι P είναι η εγγυημένη ισχύς του στροβίλου που φτάνει στο δίκτυο, στο βαθμό απόδοσης υπολογίζονται εκτός από αυτόν του στροβίλου, ο βαθμός απόδοσης της γεννήτριας (n_G) και του μετασχηματιστή (n_{Tr}), οπότε:

$$n = n_{ur} \cdot n_G \cdot n_{Tr}$$

3. Υπολογισμός της ταχύτητας ροής στον αγωγό προσαγωγής κατά την παραγωγή (λειτουργία στροβίλου). Για τη βέλτιστη οικονομοτεχνική επιλογή, η μέση ταχύτητα ροής υπολογίζεται, με καλή προσέγγιση, από την ακόλουθη σχέση:

$$c \approx K_c \cdot \sqrt{2gh}$$

Όπου K_c συντελεστής η τιμή του οποίου κυμαίνεται μεταξύ 0,07 και 0,125.

4. Υπολογισμός διαμέτρου αγωγού προσαγωγής και επιλογή αμέσως μεγαλύτερης τυποποιημένης διαμέτρου. Η διάμετρος υπολογίζεται συναρτήσει της ταχύτητας από τη γνωστή σχέση:

$$c = \frac{Q}{A} \Rightarrow A = \frac{Q}{c} \Rightarrow D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot c}}$$

Όπου Q η παροχή σε λειτουργία στροβίλου (m^3/sec) και A το εμβαδόν της διατομής του αγωγού (m).

5. Υπολογισμός πάχους αγωγού και επιλογή τυποποιημένου πάχους. Το πάχος του αγωγού υπολογίζεται ως εξής:

$$e_o = \frac{d_2 \cdot p}{2k_2 \cdot \frac{\sigma_{\varepsilon\pi}}{k_1}}$$

Όπου d_2 η εξωτερική διάμετρος του αγωγού (m), p η εσωτερική πίεση ως προς την εξωτερική (kr/cm^2), k_2 συντελεστής που εκφράζει την αντοχή της ραφής, $\sigma_{\varepsilon\pi}$ η επιτρεπόμενη τάση του υλικού του αγωγού (kr/cm^2) και k_1 συντελεστής ασφαλείας για την επιτρεπόμενη τάση.

6. Υπολογισμός υδραυλικών απωλειών στον αγωγό πτώσης. Αρχικά υπολογίζεται ο αριθμός Reynolds της ροής βάσει του τύπου:

$$Re = \frac{c \cdot d}{\nu}$$

Όπου ν η κινηματική συνεκτικότητα του νερού (m^2/sec).

Στη συνέχεια, υπολογίζεται η τιμή του αδιάστατου συντελεστή γραμμικών απωλειών λ .

Για στρωτή ροή ($Re < 2300$):

$$\lambda = \frac{64}{Re}$$

Για $Re > 2300$, το λ υπολογίζεται με τις παρακάτω σχέσεις:

$$\lambda = 0,0055 \cdot \left(1 + \left(20000 \cdot \frac{\varepsilon}{d} + \frac{10^6}{Re} \right) \right)^{1/3} \quad (\text{Moody})$$

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \cdot \log \left[\frac{2,51}{Re \cdot \sqrt{\lambda}} + \frac{\varepsilon/d}{3,71} \right] \quad (\text{Colebrook-White})$$

με σύγκλιση τιμών.

Η απόλυτη τραχύτητα του αγωγού προσαγωγής επιλέχθηκε από πίνακες βάσει του υλικού κατασκευής του ίση με $\varepsilon=0,0015\text{mm}$.

Οι υδραυλικές απώλειες στον αγωγό ισούνται με:

$$\delta h = \frac{\lambda \cdot L \cdot c^2}{2 \cdot D \cdot g}$$

Ο συντελεστής απωλειών k ισούται με:

$$\delta h = k \cdot Q^2 \Rightarrow k = \frac{\delta h}{Q^2}$$

7. Υπολογισμός διαθέσιμης υδραυλικής πτώσης:

$$H = h - k \cdot Q^2$$

Όπου h το γεωμετρικό ύψος πτώσης, και νέος υπολογισμός παροχής (για το νέο ύψος):

$$Q = \frac{102 \cdot P}{\gamma \cdot H \cdot n}$$

Έως ότου οι τιμές της παροχής να συγκλίνουν.

8. Υπολογισμός ισχύος υδραυλικών και μηχανικών απωλειών.

$$\text{Υδραυλικές απώλειες: } P_{Hydr} = \frac{\gamma \cdot Q \cdot \delta h}{102}$$

$$\text{Μηχανικές απώλειες: } P_{Mech} = \frac{P \cdot (1 - n)}{n}$$

9. Υπολογισμός συνολικής ενέργειας ταμειυτήρα:

$$E_{vol} = \frac{\gamma \cdot V \cdot h}{102 \cdot 3600}$$

Και ονομαστικής Ισχύος Αντλίας και Αντλιοστασίου:

$$P_p = \frac{\gamma \cdot H_p \cdot Q_p}{102 \cdot n_p}$$

Όπου H_p , Q_p και n_p το ύψος, η παροχή και ο βαθμός απόδοσης της αντλίας αντίστοιχα.

Ισχύς αντλιοστασίου: $P_{αντλ} = N_p \cdot P_p$ (N_p ο αριθμός των αντλιών)

10. Υπολογισμός διαμέτρου αγωγού άντλησης και επιλογή αμέσως μεγαλύτερης τυποποιημένης διαμέτρου και αντίστοιχα υπολογισμός πάχους αγωγού και επιλογή τυποποιημένου πάχους.
11. Υπολογισμός συντελεστή υδραυλικών απωλειών ζ στον αγωγό άντλησης, αντίστοιχα με τον αγωγό πτώσης.
12. Υπολογισμός εύρους ταχυτήτων περιστροφής (λόγω λειτουργίας σε μεταβλητές στροφές) και αναγωγή της χαρακτηριστικής της αντλίας για κάθε ταχύτητα περιστροφής. Θεωρούμε ότι οι ταχύτητες λαμβάνουν 20 διαφορετικές τιμές, με ονομαστική τιμή τις 450 rpm και αυξομείωση $\pm 6\%$. Η κατασκευή των χαρακτηριστικών καμπυλών για κάθε ταχύτητα περιστροφής γίνεται με χρήση των νόμων ομοιότητας:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^3 \cdot \left(\frac{n_1}{n_2}\right) \quad \text{και} \quad \frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2 \cdot \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2$$

Πιο συγκεκριμένα, θεωρώντας ότι το σημείο 2 αντιστοιχεί στην χαρακτηριστική αντλίας σταθερών στροφών και το σημείο 1 στη χαρακτηριστική της αντίστοιχης αντλίας μεταβλητών στροφών, υπολογίζονται τα μεγέθη της παροχής και του ύψους πτώσεως από τους παρακάτω τύπους:

$$Q_1 = Q_2 \cdot \left(\frac{n_1}{n_2}\right) \quad \text{και} \quad H_1 = H_2 \cdot \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2$$

Όπου n_2 οι ονομαστικές στροφές (450 rpm) και n_1 μεταβλητές στροφές.

13. Τομή της χαρακτηριστικής της αντλίας με τη χαρακτηριστική της σωλήνωσης (σημείο λειτουργίας της αντλητικής εγκατάστασης). Η χαρακτηριστική της σωλήνωσης δίνεται από τον τύπο:

$$H_\Sigma = h + \zeta \cdot Q^2$$

Όπου ζ ο συντελεστής υδραυλικών απωλειών κατά την άντληση, όπως υπολογίστηκε στο βήμα 11.

14. Υπολογισμός ισχύος αντλίας βάσει του σημείου λειτουργίας της αντλητικής εγκατάστασης:

$$P_K = \frac{\gamma \cdot H_K \cdot Q_K}{102 \cdot n_p}$$

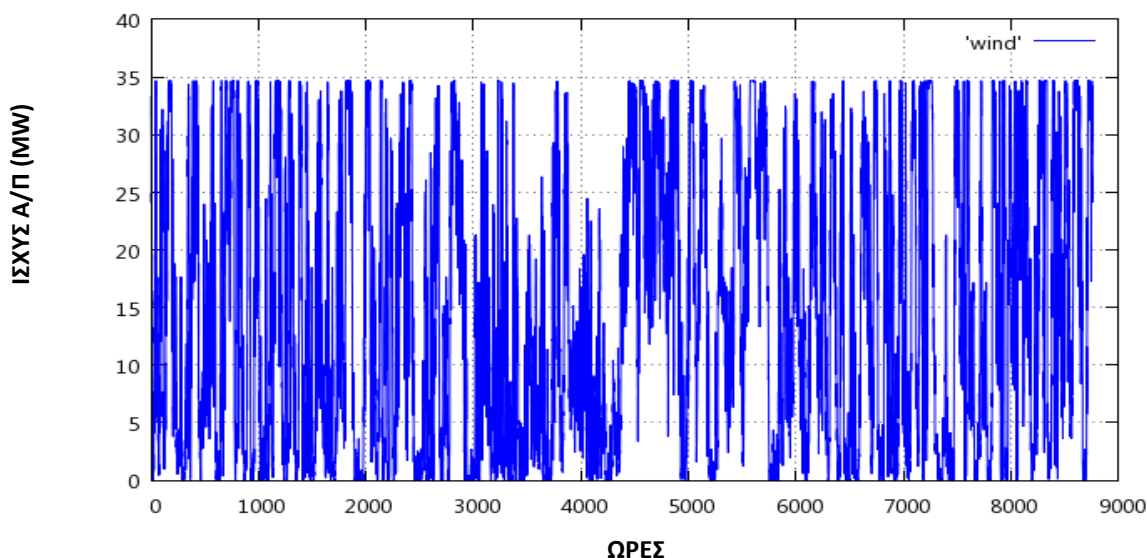
15. Επιλογή τυποποιημένης ισχύος ηλεκτροκινητήρα και υπολογισμός ισχύος υδραυλικών και μηχανικών απωλειών κατά την άντληση.
16. Υπολογισμός εγγυημένης παραγωγής Υβριδικού Σταθμού. Θεωρώντας ότι ο σταθμός είναι προγραμματισμένος να παράγει 5 ώρες ημερησίως, η εγγυημένη ενέργειά του προκύπτει από την εγγυημένη ισχύ του ως εξής:

$$E = P \cdot t$$

Όπου $t = 5 \times 365 = 1825$ ώρες παραγωγής ετησίως.

17. Γίνεται η παραδοχή ότι στην έναρξη του έτους προσομοίωσης, ο όγκος του ταμιευτήρα είναι γεμάτος στο 50% του συνολικού όγκου του.
18. Ανάγνωση αδιάστατης χρονοσειράς ισχύος αιολικού πάρκου και αναγωγή στην ισχύ του αιολικού του Υβριδικού Σταθμού. Προκύπτει η παρακάτω ετήσια χρονοσειρά ισχύος του Α/Π του Υ.Σ.

Διάγραμμα 2: Ετήσια χρονοσειρά ισχύος Αιολικού Πάρκου που χρησιμοποιήθηκε στην προσομοίωση.



19. Ακολουθείται η εξής στρατηγική λειτουργίας από τον αλγόριθμο προσομοίωσης: Η εγγυημένη ισχύς του Υβριδικού Σταθμού εξασφαλίζεται κυρίως από τους υδροστροβίλους κατά τις ώρες προγραμματισμένης παραγωγής ενώ το μέγιστο δυνατό ποσοστό της αιολικής παραγωγής διοχετεύεται κατά προτεραιότητα στις αντλίες για αποθήκευση.
20. Πιο αναλυτικά: όταν δεν πρόκειται για τις ώρες εγγυημένης παραγωγής, ελέγχεται αν ο ταμιευτήρας είναι γεμάτος. Αν ναι, η περισσευούμενη αιολική ενέργεια διοχετεύεται στο δίκτυο (μόνο όση αντιστοιχεί στην εγγυημένη ισχύ του σταθμού- η υπόλοιπη απορρίπτεται).
21. Εάν ο ταμιευτήρας δεν είναι γεμάτος, ενεργοποιούνται οι αντλίες και απορροφούν ενέργεια από το αιολικό εντός των ορίων λειτουργίας τους. Αυτό σημαίνει ότι όταν η ισχύς του αιολικού είναι μεγαλύτερη από τη μέγιστη ισχύ των αντλιών, αυτές απορροφούν όση ενέργεια αντιστοιχεί στη μέγιστη ισχύ τους. Η υπόλοιπη διοχετεύεται στο δίκτυο. Όταν η ισχύς του αιολικού είναι μικρότερη από την ελάχιστη ισχύ των αντλιών, οι αντλίες δεν λειτουργούν και η περισσευούμενη αιολική ενέργεια διοχετεύεται στο δίκτυο. Εάν η αιολική παραγωγή δεν αρκεί για την άντληση, εισάγεται ενέργεια από το δίκτυο για δεδομένο χρονικό διάστημα.
22. Όταν λειτουργούν οι υδροστροβίλοι, η αιολική ενέργεια απορρίπτεται λόγω του ότι ο Σταθμός μπορεί να διοχετεύει στο Δίκτυο κάθε στιγμή μόνο την ενέργεια που αντιστοιχεί στην εγγυημένη ισχύ του.
23. Βάσει της καμπύλης στάθμης- όγκου του άνω ταμιευτήρα, υπολογίζεται το νέο σημείο λειτουργίας του υδροστροβίλου. Πιο συγκεκριμένα, ανάλογα με το πόσο «γεμάτος» είναι ο άνω ταμιευτήρας, υπολογίζεται από την καμπύλη στάθμης-όγκου το αντίστοιχο ύψος πτώσης. Για τη σχεδίαση της καμπύλης, χρησιμοποιήθηκαν τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του άνω ταμιευτήρα (οκταγωνικό σχήμα, μέγιστη διάμετρος, μέγιστο βάθος, μέγιστη και ωφέλιμη χωρητικότητα).

Οι σχέσεις που χρησιμοποιήθηκαν είναι οι εξής:

Επιφάνεια οκταγώνου: $A = 2 \cdot \cot\left(\frac{\pi}{8}\right) \cdot \alpha^2 = 2 \cdot (1 + \sqrt{2}) \cdot \alpha^2$ όπου α η πλευρά

του οκταγώνου και

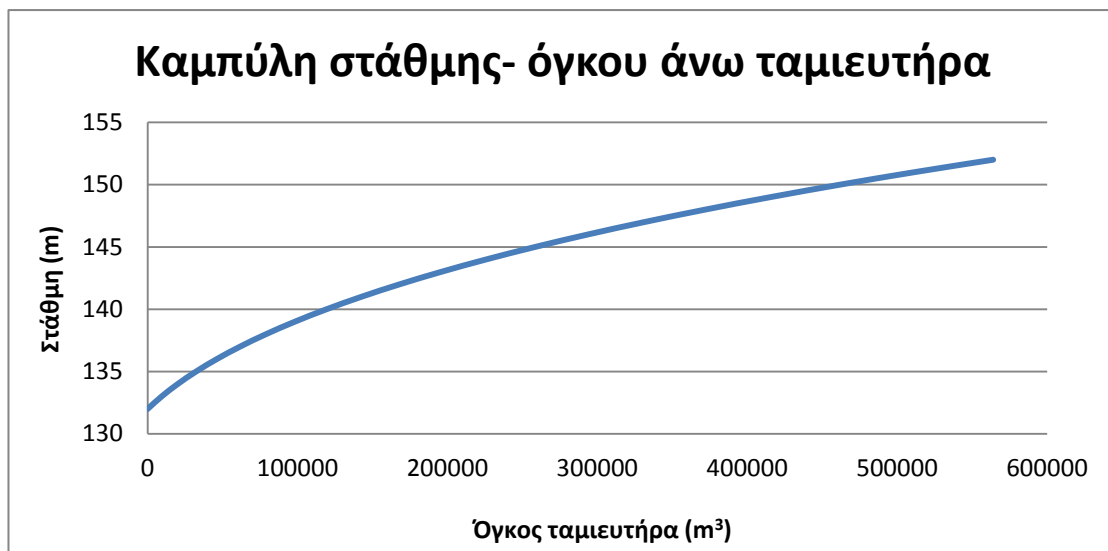
Όγκος του ταμιευτήρα:

$$V = \frac{h}{3} \cdot (A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 \cdot A_2}) = \frac{8 \cdot h}{12} \cdot (a_1^2 + a_2^2 + a_1 \cdot a_2) \cdot \cot \frac{180}{8} \text{ όπου } a_1 \text{ και } a_2 \text{ οι}$$

πλευρές των βάσεων του οκταγώνου.

Προκύπτει ο όγκος του ταμιευτήρα συναρτήσει της στάθμης:

Διάγραμμα 3: Καμπύλη στάθμης- όγκου άνω ταμιευτήρα του έργου.



Ανάλογα με το ποσοστό πλήρωσής του ταμιευτήρα, μεταβάλλεται το ύψος πτώσης του υδροστροβίλου και κατ' επέκταση η παροχή του. Η παροχή υπολογίζεται όπως προηγουμένως:

$$P = \frac{\gamma \cdot H \cdot Q \cdot n}{102} \Rightarrow Q = \frac{102 \cdot P}{\gamma \cdot H \cdot n}$$

Αφαιρώντας τις απώλειες, προκύπτει το καθαρό ύψος πτώσης:

$$H = h - k \cdot Q^2$$

Νέος υπολογισμός παροχής (για το νέο ύψος):

$$Q = \frac{102 \cdot P}{\gamma \cdot H \cdot n}$$

Έως ότου οι τιμές της παροχής να συγκλίνουν.

24. Εκτός των ωρών προγραμματισμένης παραγωγής, οι υδροστρόβιλοι μπορούν να λειτουργούν με μια ελάχιστη ισχύ (10% της ονομαστικής) όταν η δεξαμενή είναι γεμάτη και δε γίνεται άντληση.

9. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της παραμετρικής μελέτης σχεδιασμού του συστήματος. Οι προσομοιώσεις έγιναν για τρεις εναλλακτικούς σχεδιασμούς του συστήματος:

1. Με μια αναστρέψιμη μηχανή.
2. Με μια αναστρέψιμη μηχανή και 4 συμβατικές αντλίες σταθερών στροφών και
3. Με μια αναστρέψιμη μηχανή και 8 συμβατικές αντλίες σταθερών στροφών.

Για κάθε μία από τις παραπάνω εναλλακτικές προτάσεις σχεδιασμού, έγινε διερεύνηση για λειτουργία του συστήματος με και χωρίς εισαγωγή ενέργειας από το δίκτυο.

Τέλος, για την πρώτη περίπτωση (μια αναστρέψιμη μηχανή) έγινε προσομοίωση για διάφορες ισχύεις αιολικών πάρκων.

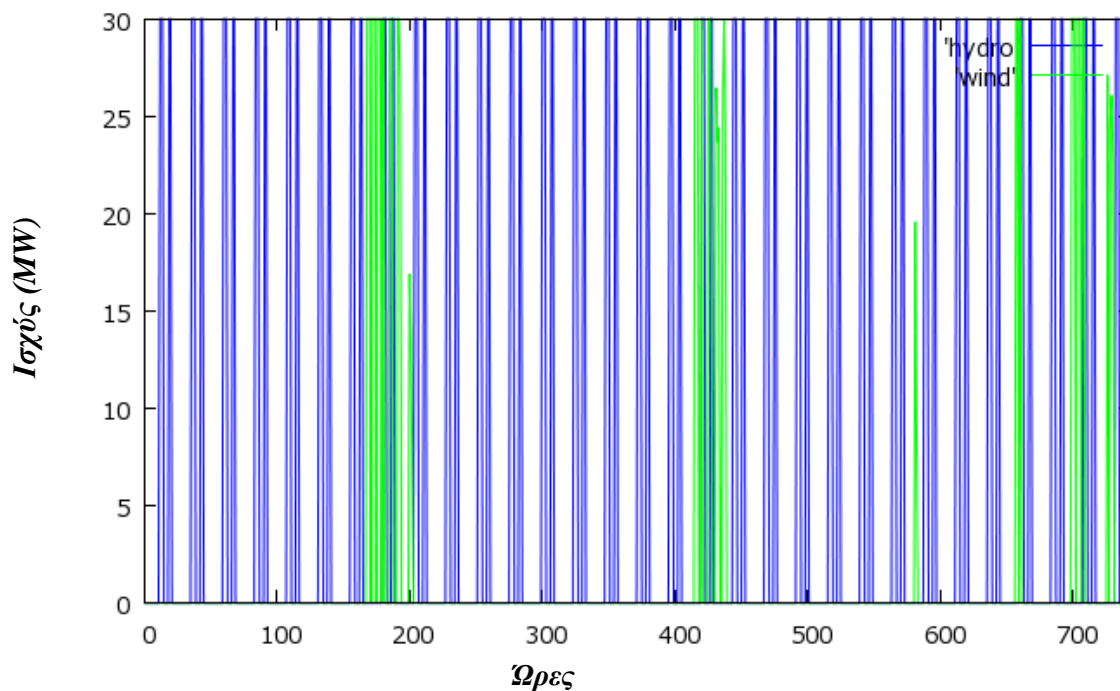
9.1. 1^η ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗ ΠΡΟΤΑΣΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

9.1.1. ΜΕ ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ

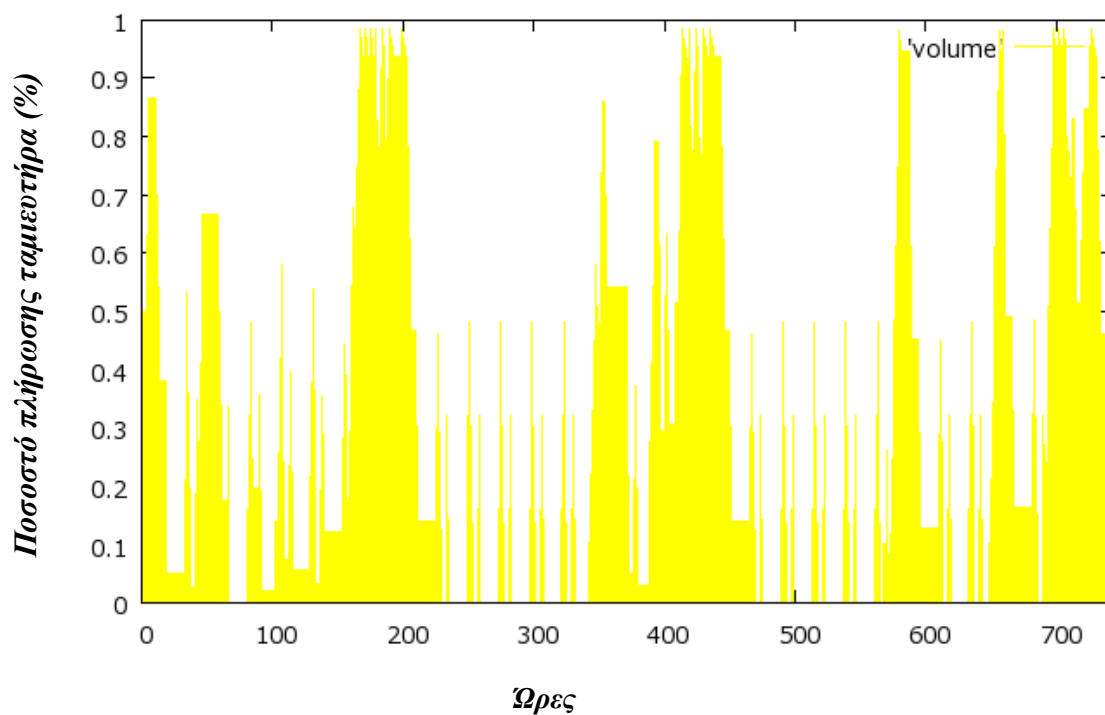
Στη συνέχεια, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα προσομοίωσης του συστήματος με μια αναστρέψιμη μηχανή. Αρχικά, γίνεται προσομοίωση του συστήματος με την παραδοχή ότι στις ώρες κατά τις οποίες η αιολική παραγωγή αδυνατεί να καλύψει την αντίστοιχη ζήτηση, γίνεται εισαγωγή επιπλέον ενέργειας από το δίκτυο για την άντληση.

Στα ακόλουθα διαγράμματα απεικονίζεται η παραγόμενη ισχύς των υδροστροβίλων του σταθμού(●), η παραγόμενη ισχύς των μονάδων ΑΠΕ του σταθμού (●) (απευθείας εγχεόμενη στο δίκτυο αιολική ενέργεια) καθώς και το ποσοστό πλήρωσης του άνω ταμιευτήρα σε μηνιαία βάση(●) για την περίπτωση μιας αναστρέψιμης μηχανής με εισαγωγή ενέργειας από το δίκτυο.

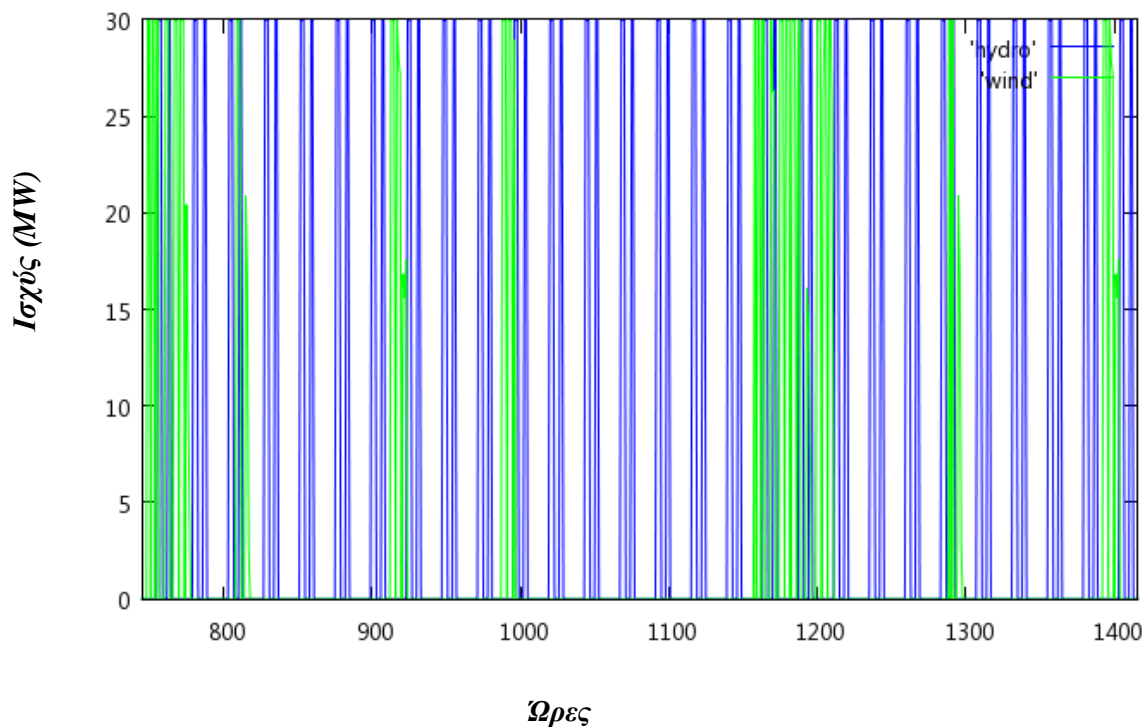
Διάγραμμα 4: Παραγωγή υδροτροβίλων και μονάδων ΑΠΕ (1^η- 31^η Ιανουαρίου).



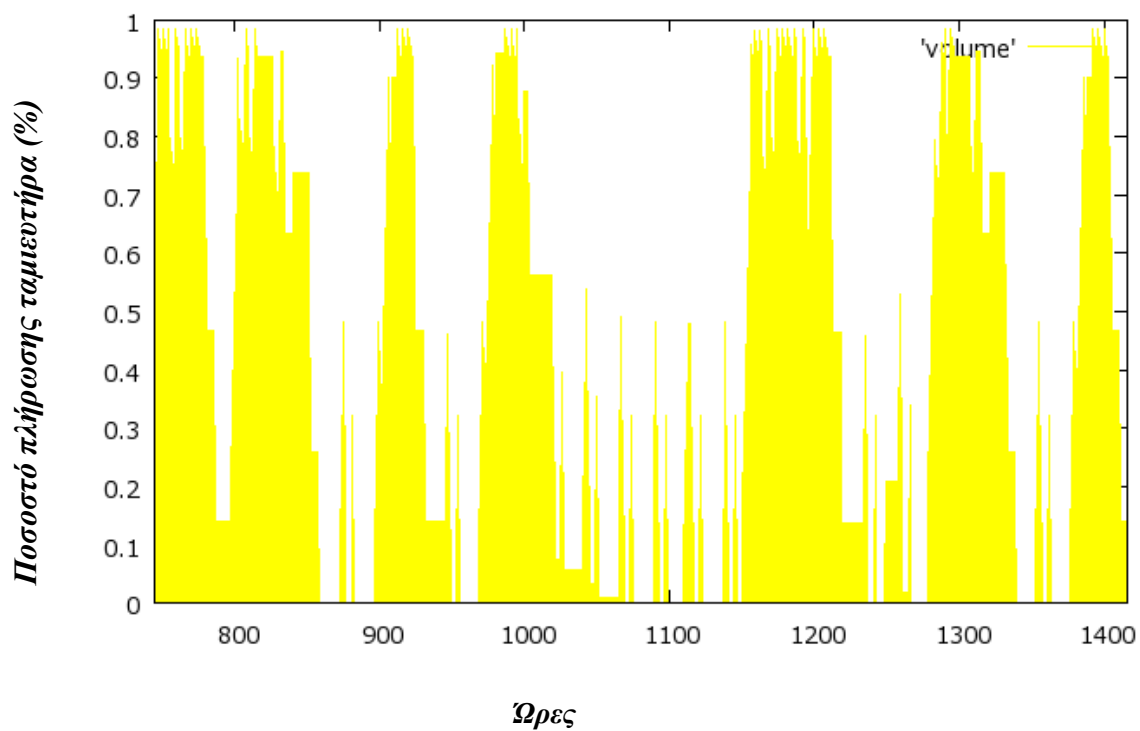
Διάγραμμα 5: Ποσοστό πλήρωσης ταμιευτήρα (1^η- 31^η Ιανουαρίου).



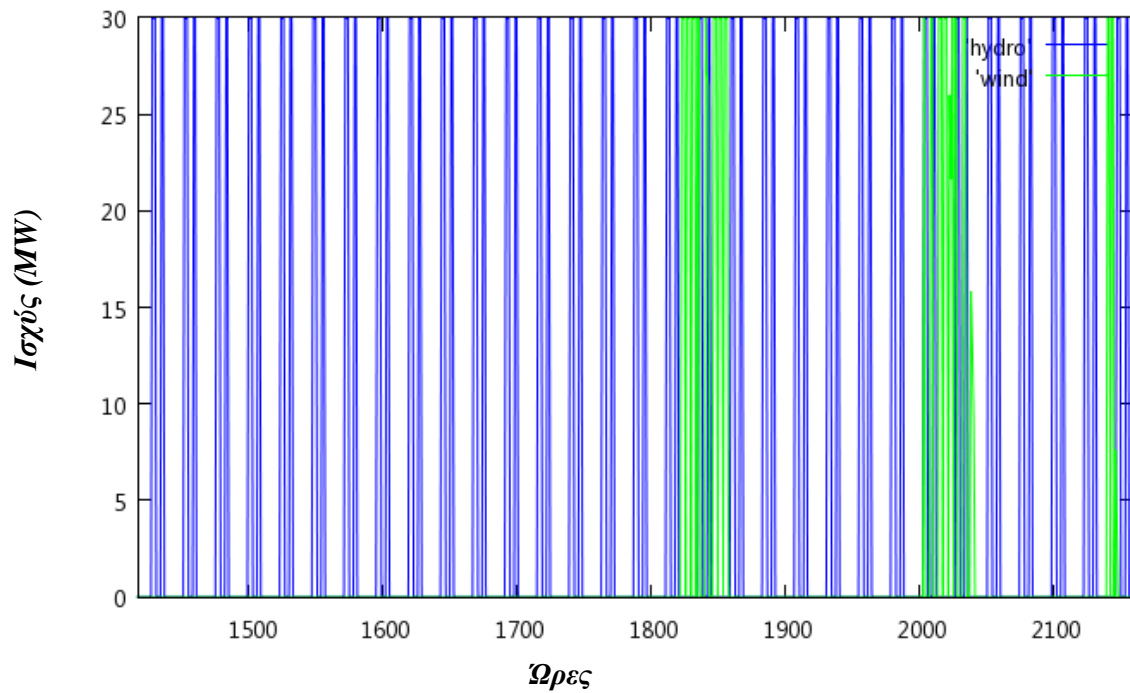
Διάγραμμα 6: Παραγωγή υδροστρόβιλων και μονάδων ΑΠΕ (1^η- 28^η Φεβρουαρίου).



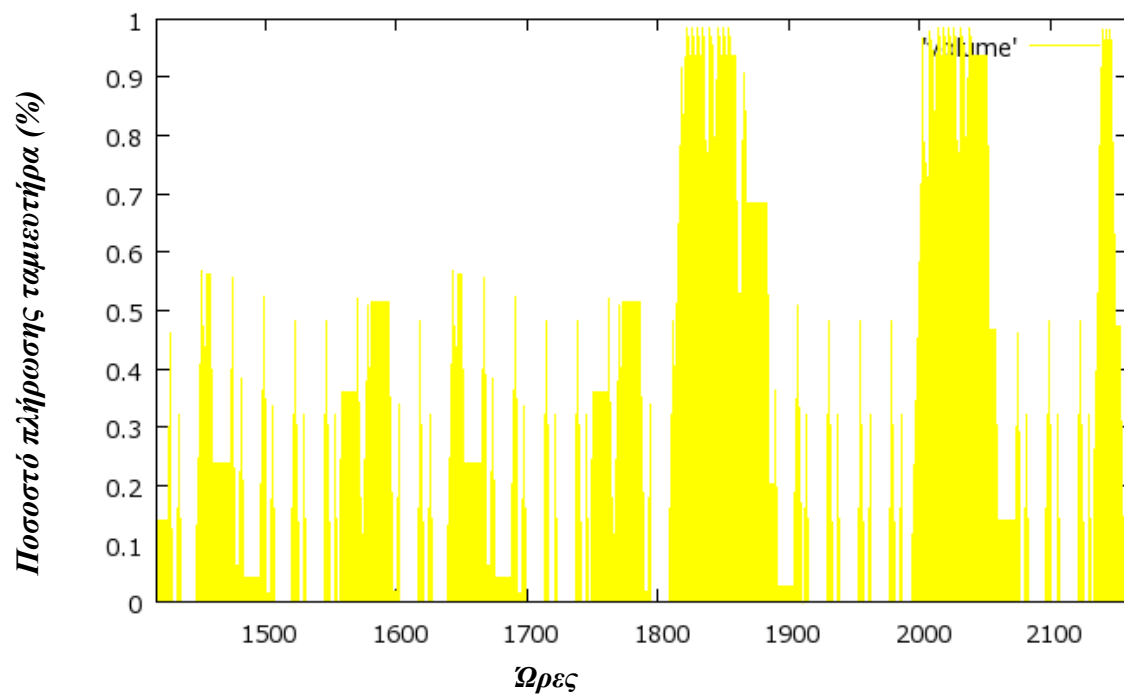
Διάγραμμα 7: Ποσοστό πλήρωσης ταμιευτήρα (1^η- 28^η Φεβρουαρίου).



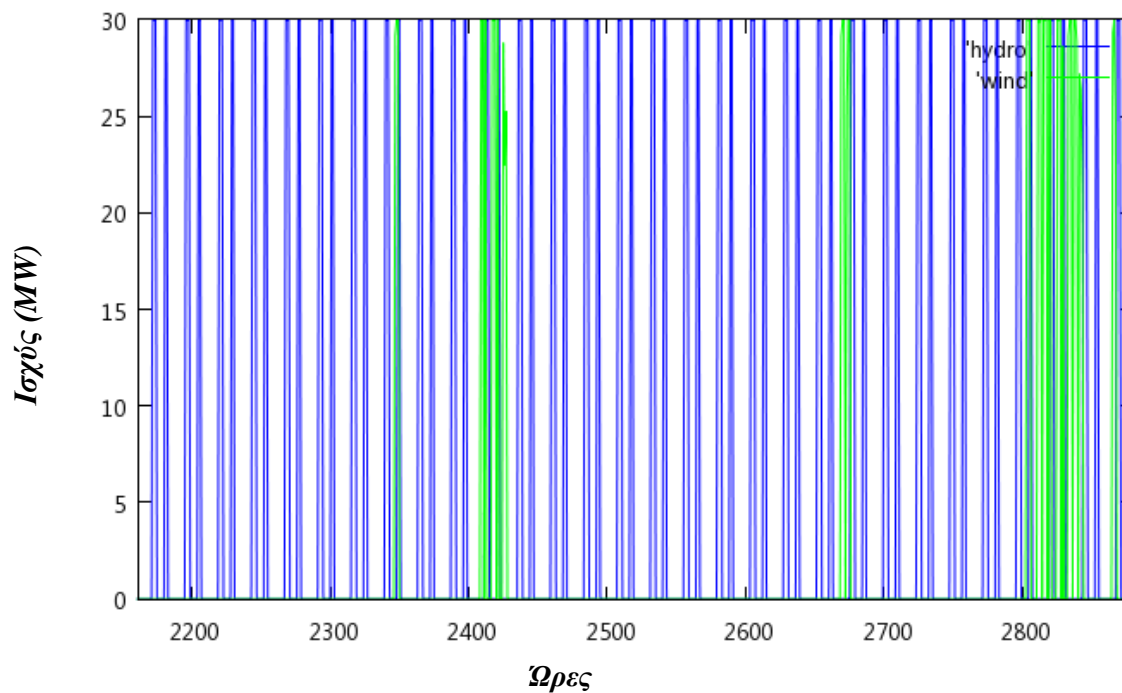
Διάγραμμα 8: Παραγωγή υδροστροβίλων και μονάδων ΑΠΕ (1^η- 31^η Μαρτίου).



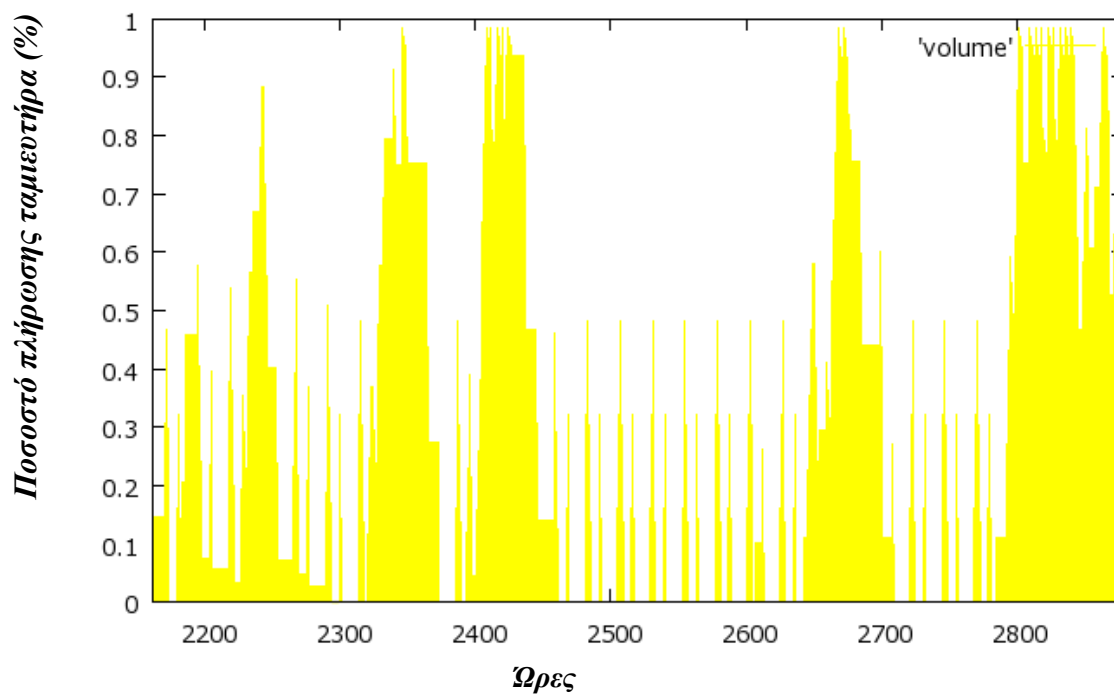
Διάγραμμα 9: Ποσοστό πλήρωσης ταμιευτήρα (1^η- 31^η Μαρτίου).



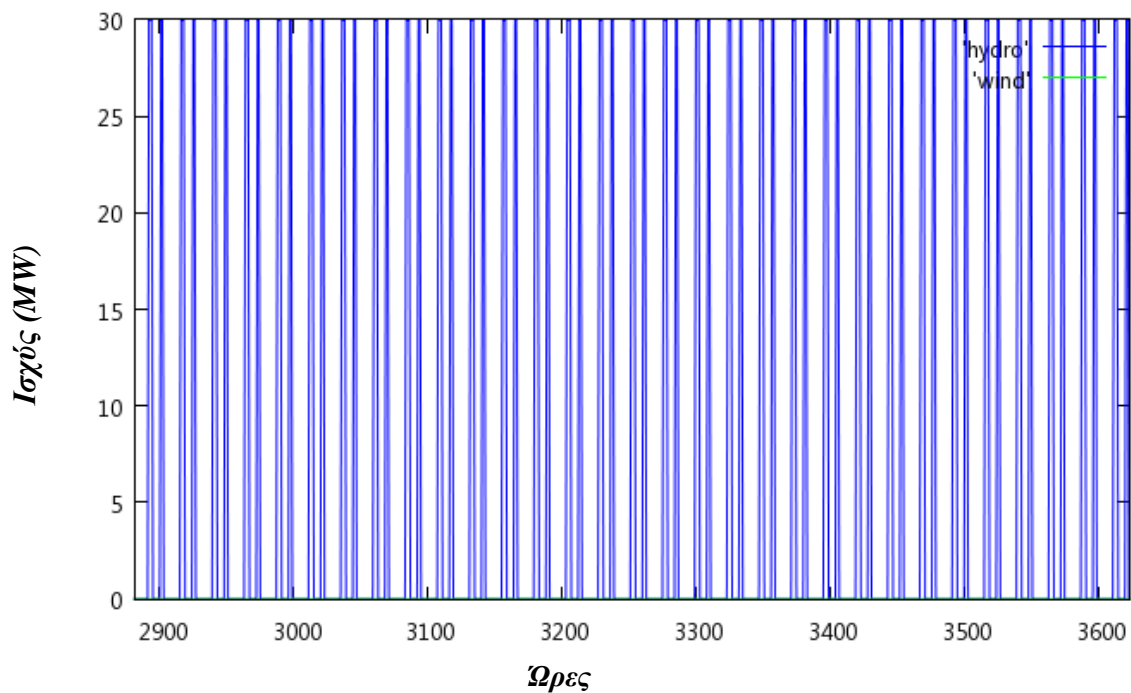
Διάγραμμα 10: Παραγωγή υδροστροβίλων και μονάδων ΑΠΕ (1^η- 30^η Απριλίου).



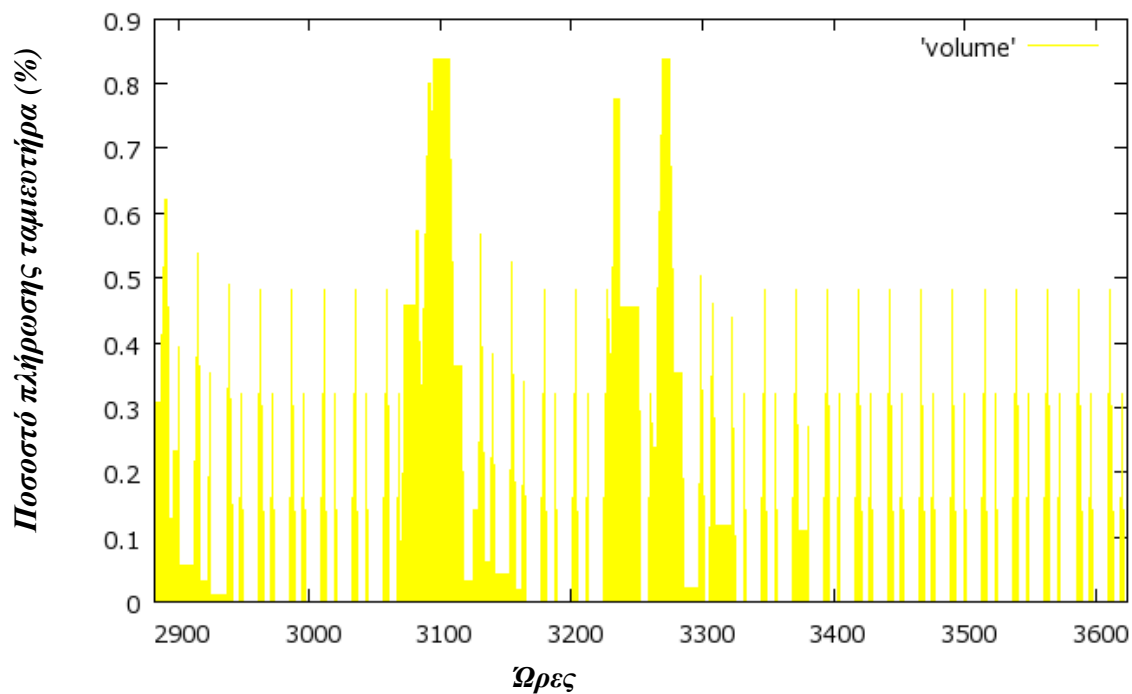
Διάγραμμα 11: Ποσοστό πλήρωσης ταμιευτήρα (1^η- 30^η Απριλίου).



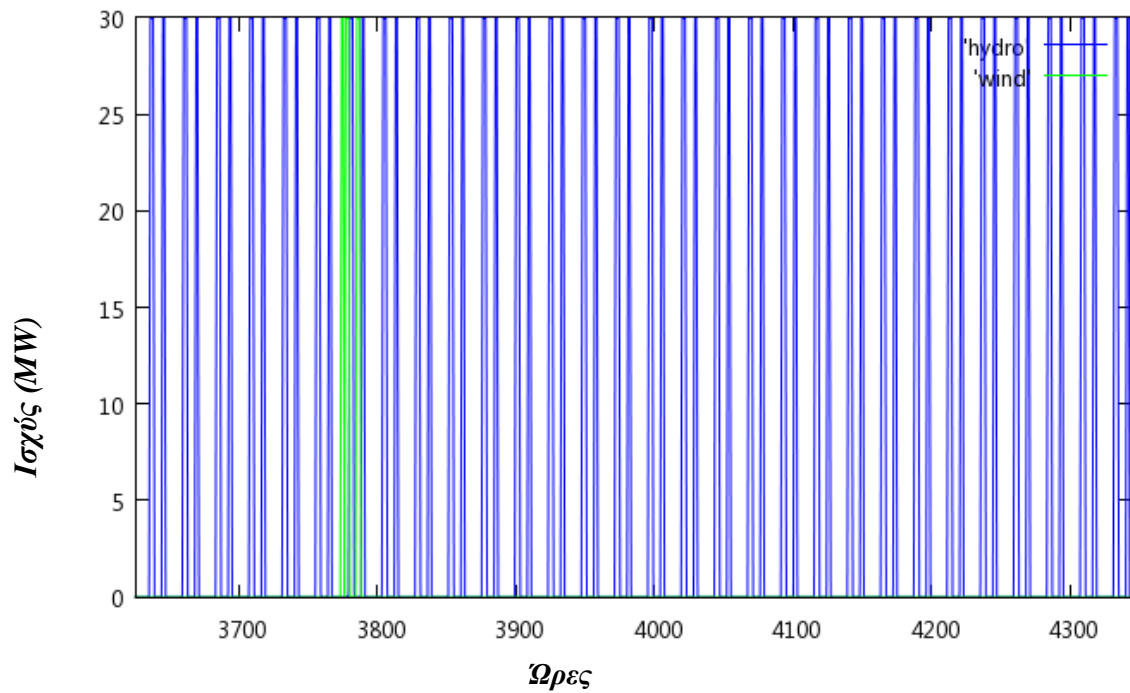
Διάγραμμα 12: Παραγωγή υδροστροβίλων και μονάδων ΑΠΕ (1^η- 31^η Μαΐου).



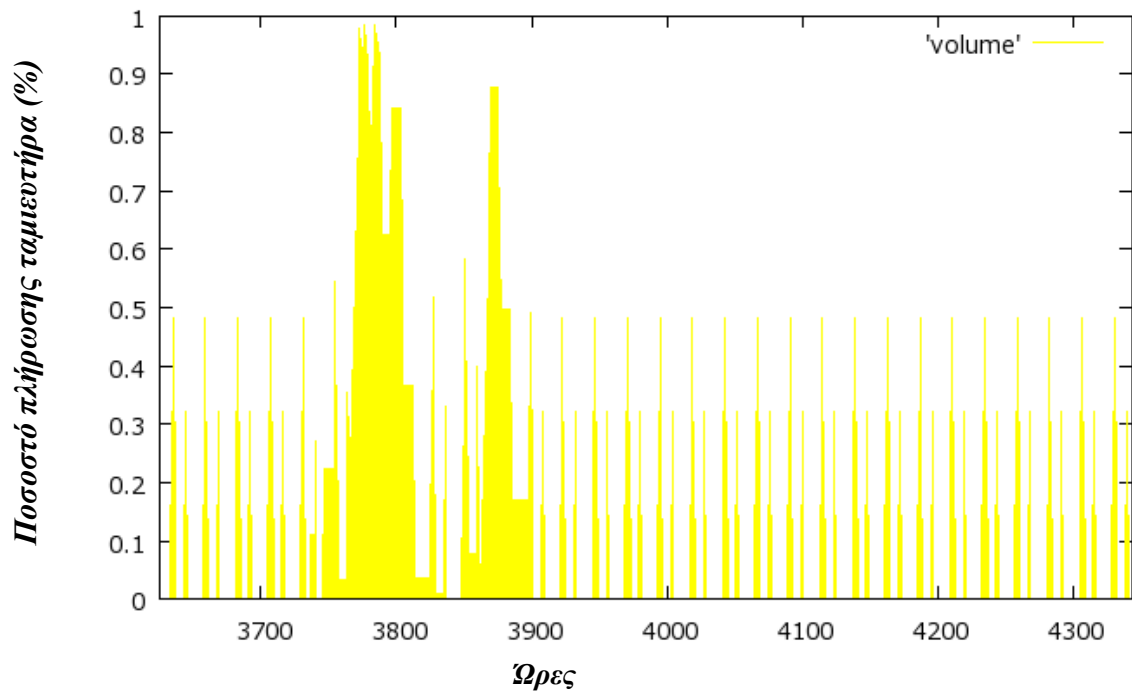
Διάγραμμα 13: Ποσοστό πλήρωσης ταμιευτήρα (1^η- 31^η Μαΐου).



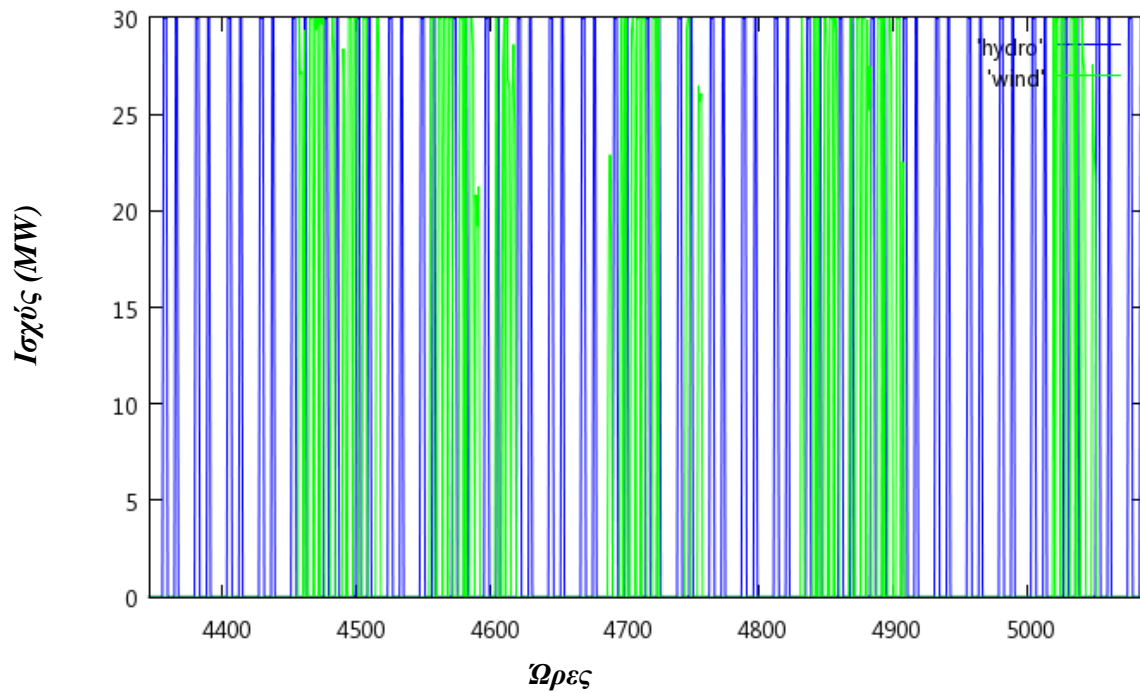
Διάγραμμα 14: Παραγωγή υδροστροβίλων και μονάδων ΑΠΕ (1^η- 30^η Ιουνίου).



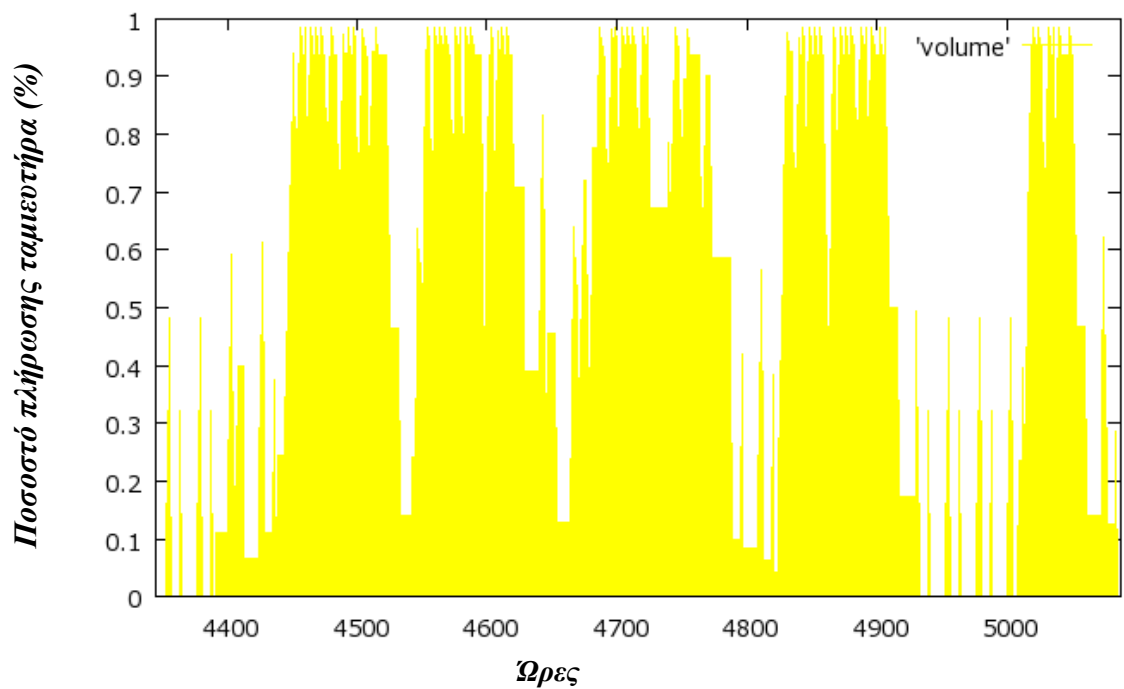
Διάγραμμα 15: Ποσοστό πλήρωσης ταμιευτήρα (1^η- 30^η Ιουνίου).



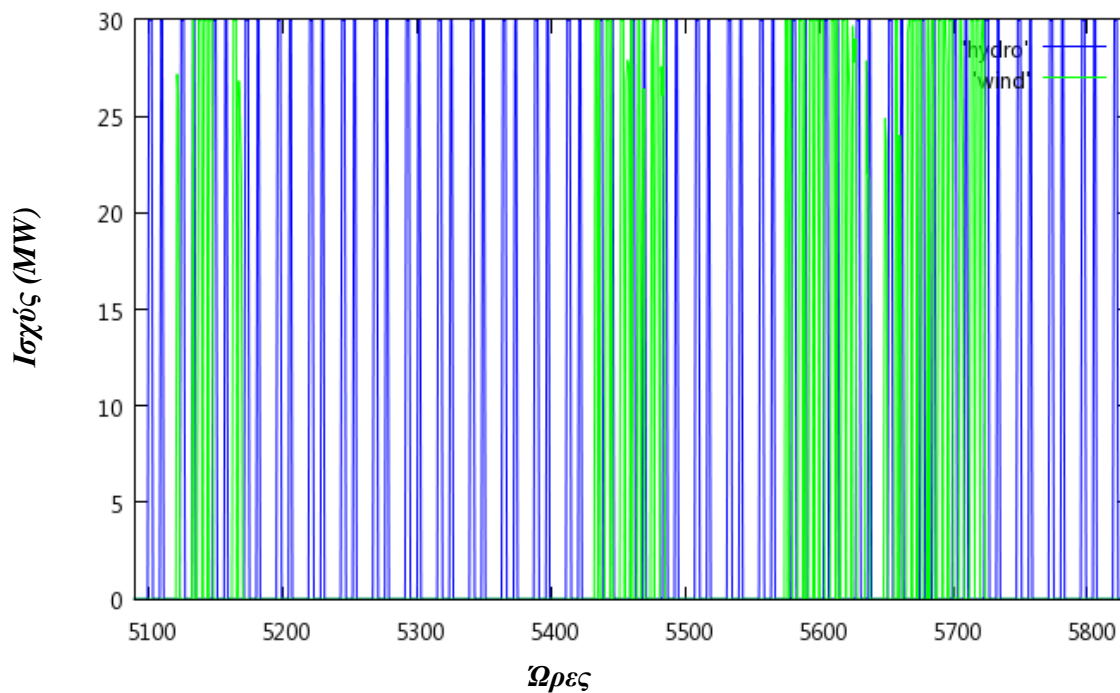
Διάγραμμα 16: Παραγωγή υδροστρόβιλων και μονάδων ΑΠΕ (1^η- 31^η Ιουλίου).



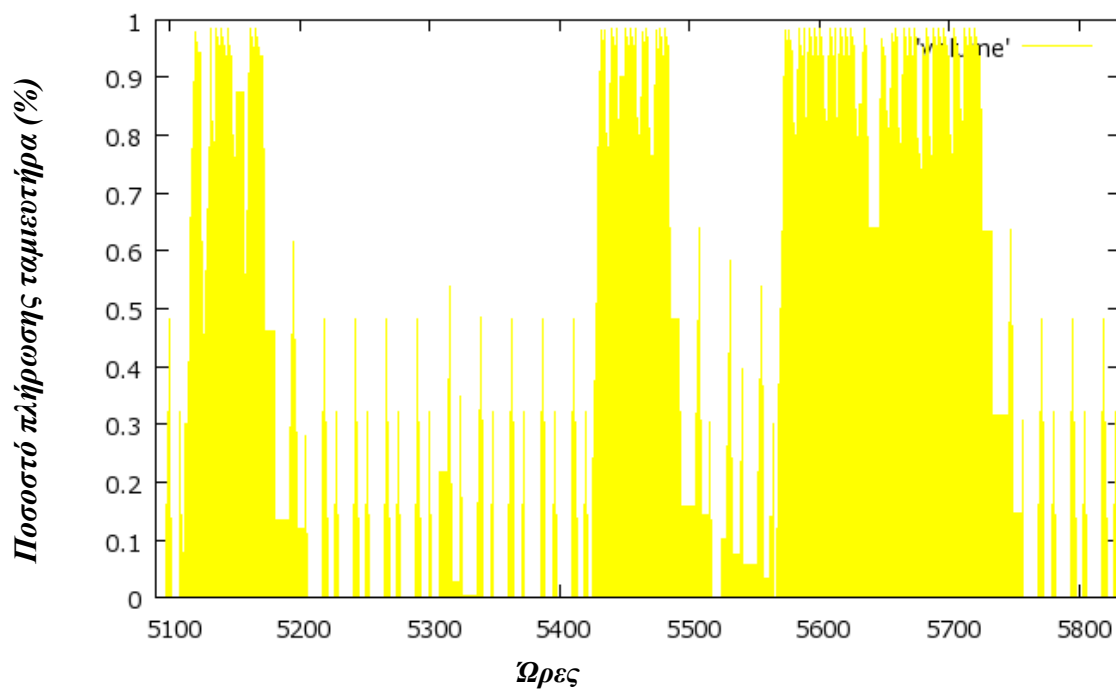
Διάγραμμα 17: Ποσοστό πλήρωσης ταμιευτήρα (1^η- 31^η Ιουλίου).

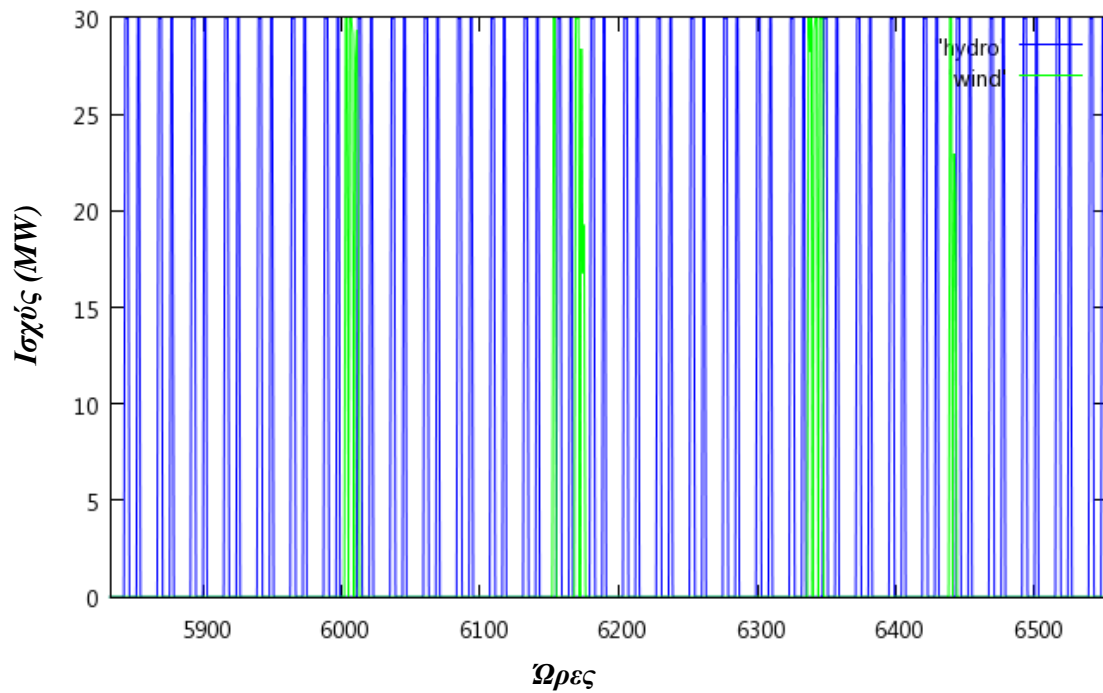
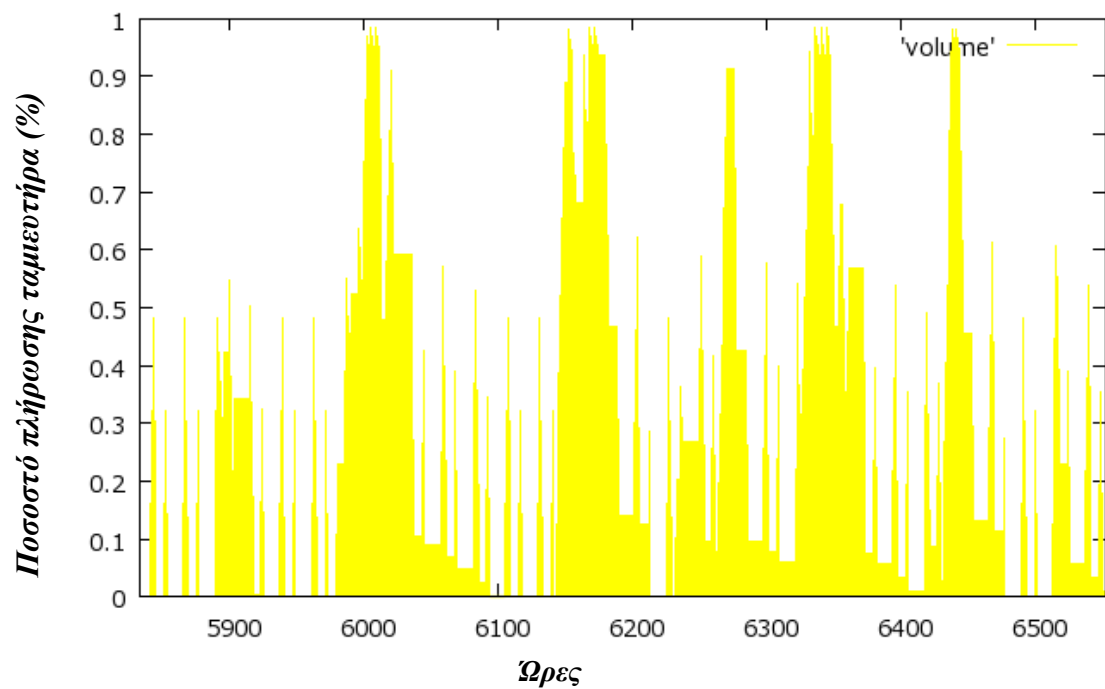


Διάγραμμα 18: Παραγωγή υδροστροβίλων και μονάδων ΑΠΕ (1^η- 31^η Αυγούστου).

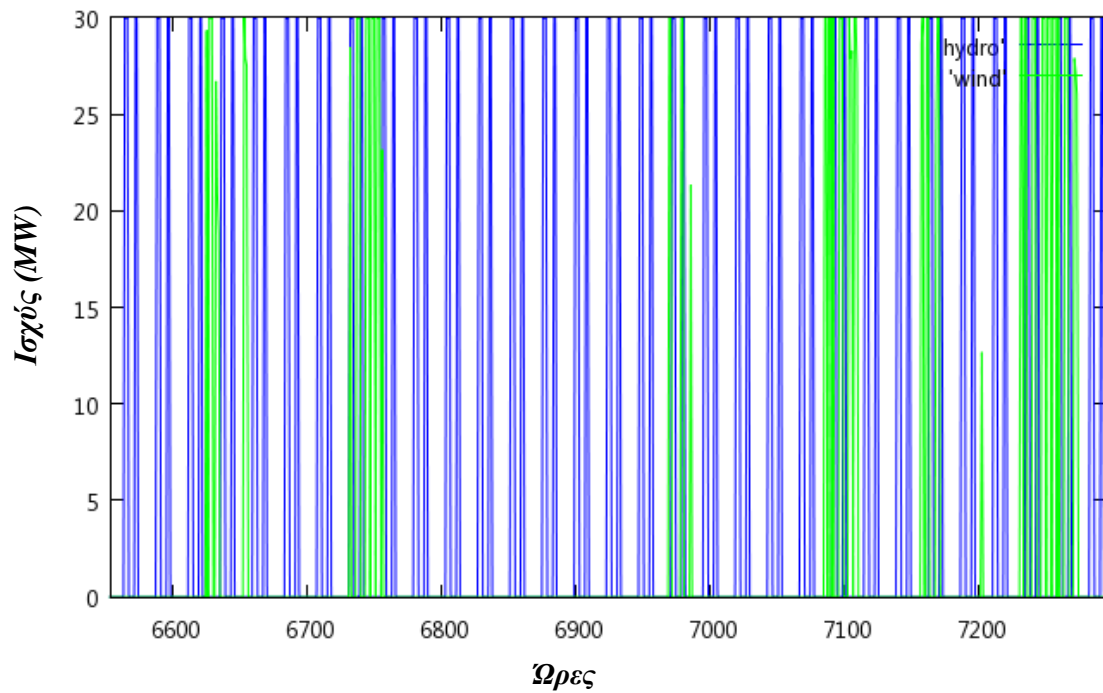


Διάγραμμα 19: Ποσοστό πλήρωσης ταμιευτήρα (1^η- 31^η Αυγούστου).

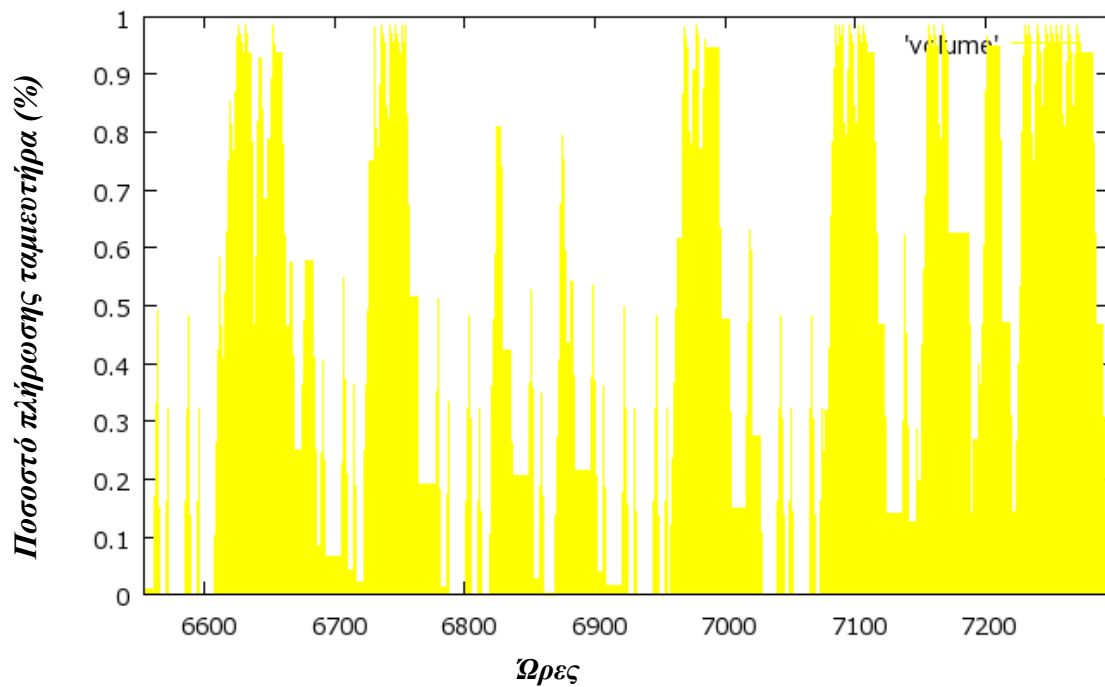


Διάγραμμα 20: Παραγωγή υδροστροβίλων και μονάδων ΑΠΕ (1^η- 30^η Σεπτεμβρίου).Διάγραμμα 21: Ποσοστό πλήρωσης ταμιευτήρα (1^η- 30^η Σεπτεμβρίου).

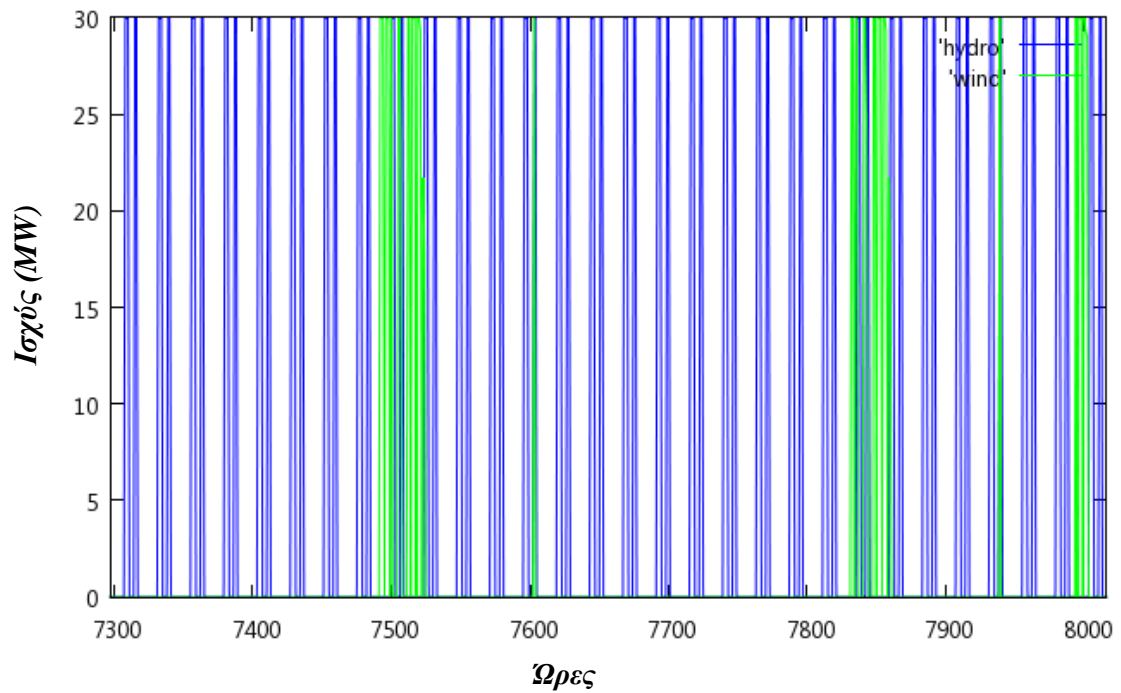
Διάγραμμα 22: Παραγωγή υδροτροβίλων και μονάδων ΑΠΕ (1^η- 31^η Οκτωβρίου).



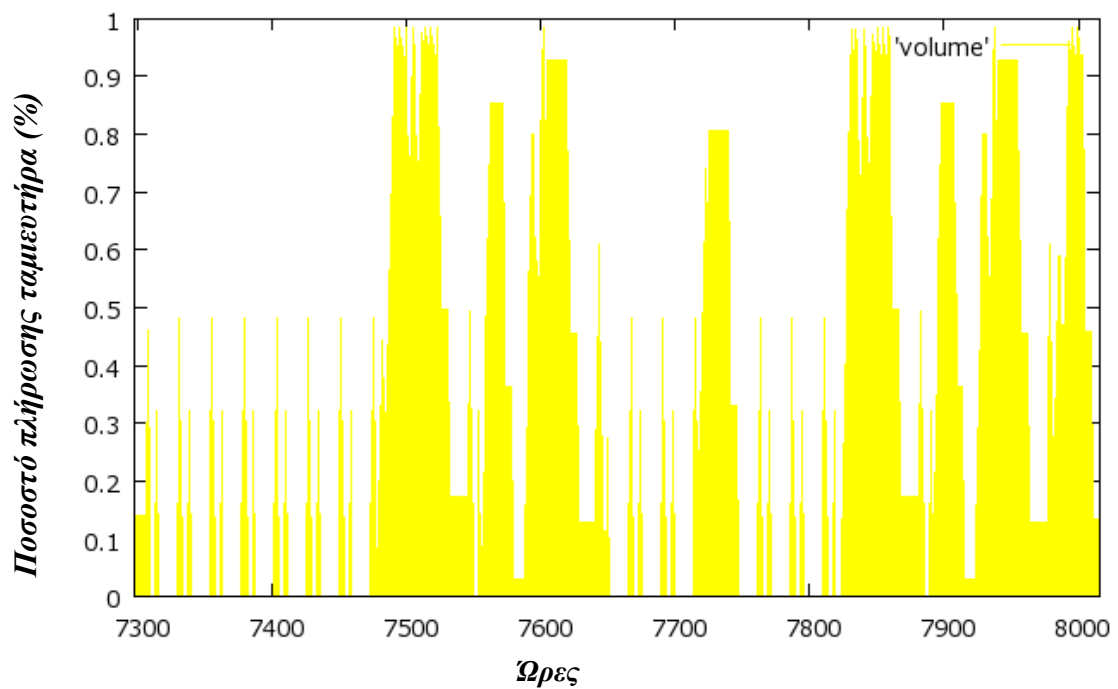
Διάγραμμα 23: Ποσοστό πλήρωσης ταμιευτήρα (1^η- 31^η Οκτωβρίου).



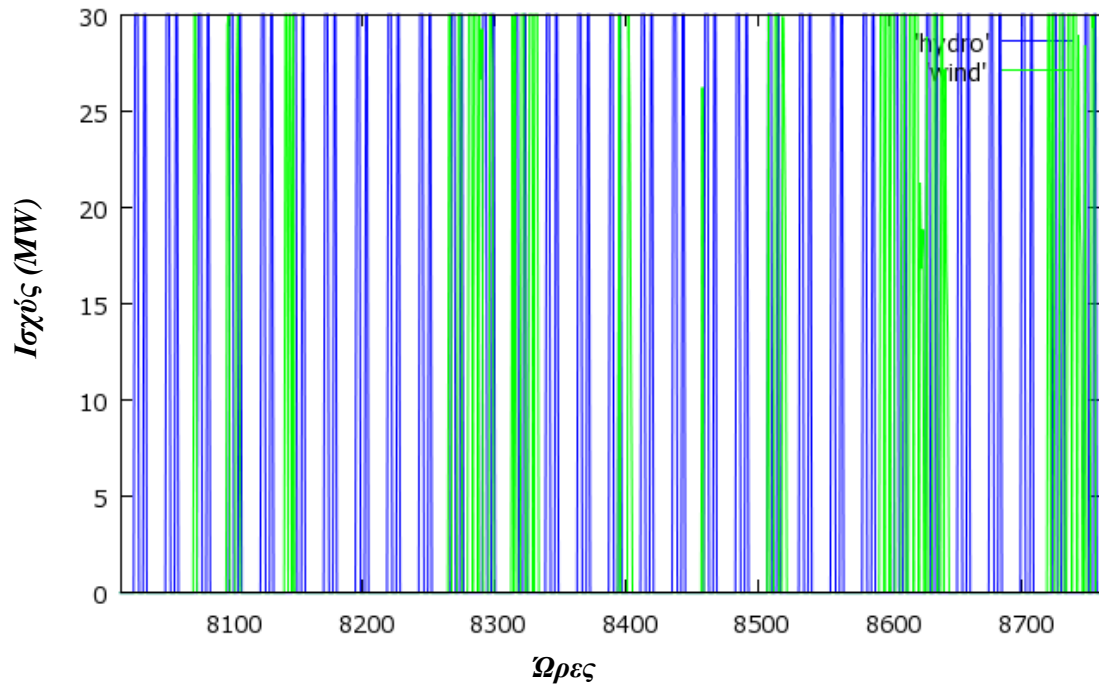
Διάγραμμα 24: Παραγωγή υδροστροβίλων και μονάδων ΑΠΕ (1^η- 30^η Νοεμβρίου).



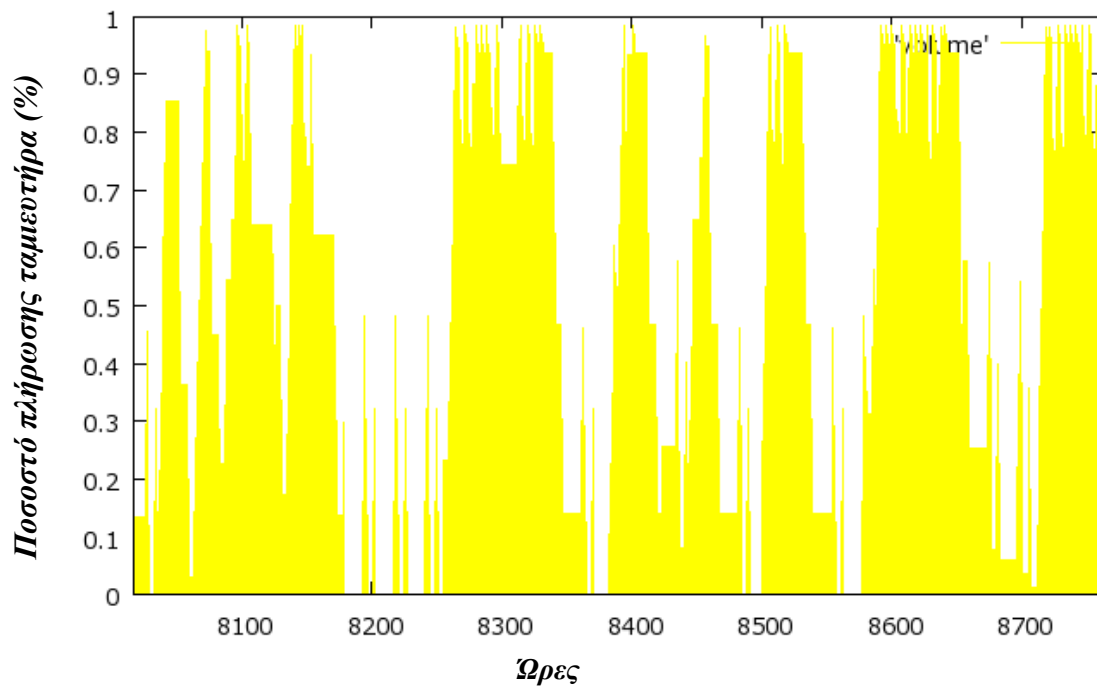
Διάγραμμα 25: Ποσοστό πλήρωσης ταμιευτήρα (1^η- 30^η Νοεμβρίου).



Διάγραμμα 26: Παραγωγή υδροστροβίλων και μονάδων ΑΠΕ (1^η- 31^η Δεκεμβρίου).



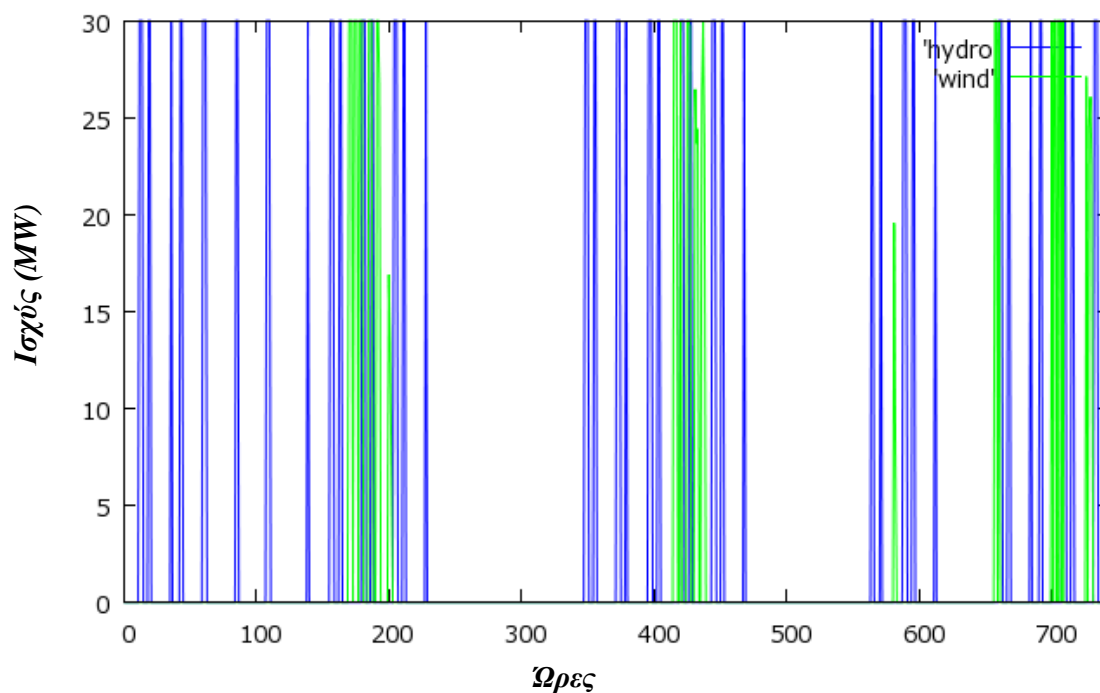
Διάγραμμα 27: Ποσοστό πλήρωσης ταμιευτήρα (1^η- 31^η Δεκεμβρίου).



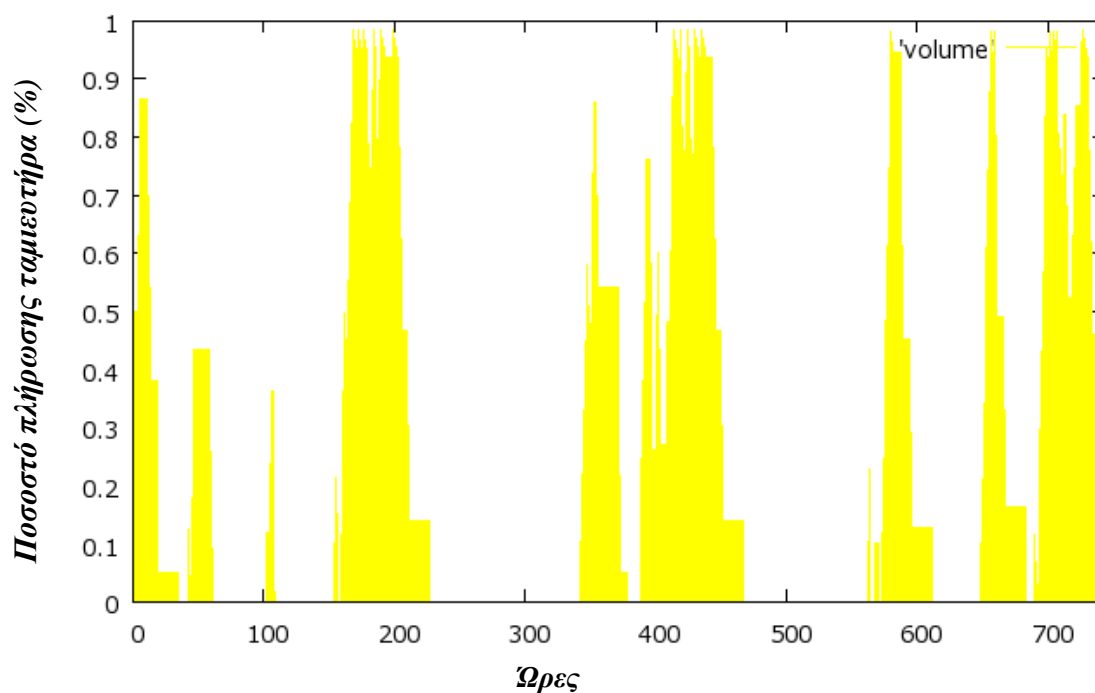
9.1.2. ΧΩΡΙΣ ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ

Στη συνέχεια, έγινε προσομοίωση του συστήματος χωρίς εισαγωγή επιπλέον ενέργειας από το δίκτυο και προέκυψαν τα ακόλουθα διαγράμματα.

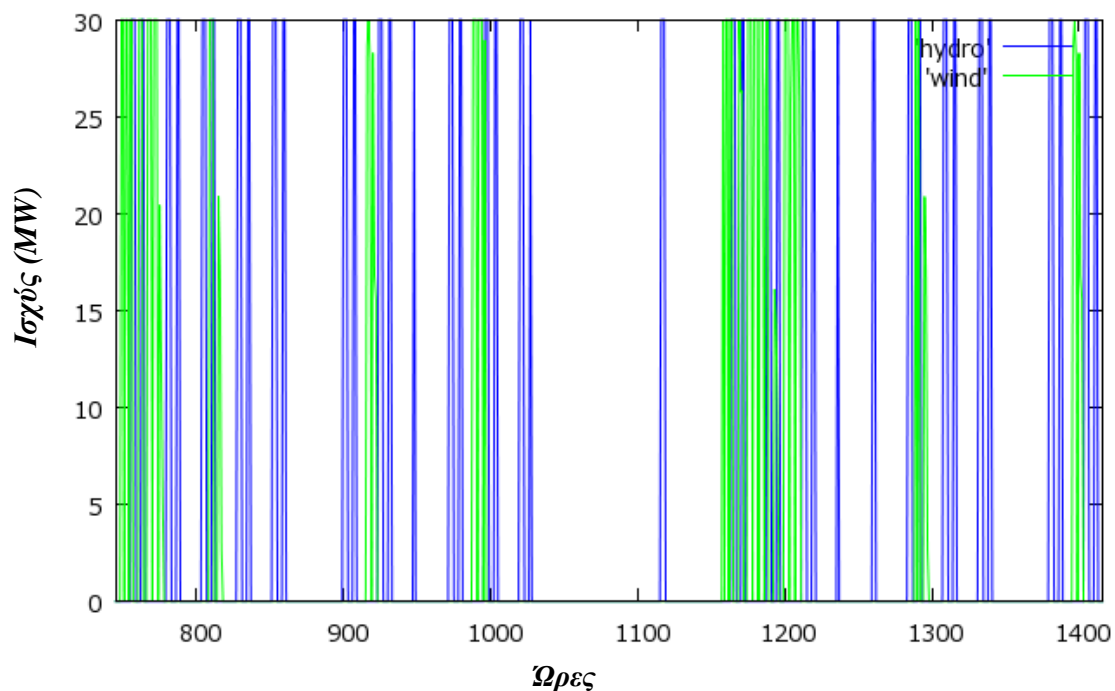
Διάγραμμα 28: Παραγωγή υδροστροβίλων και μονάδων ΑΠΕ (1^η- 31^η Ιανουαρίου).



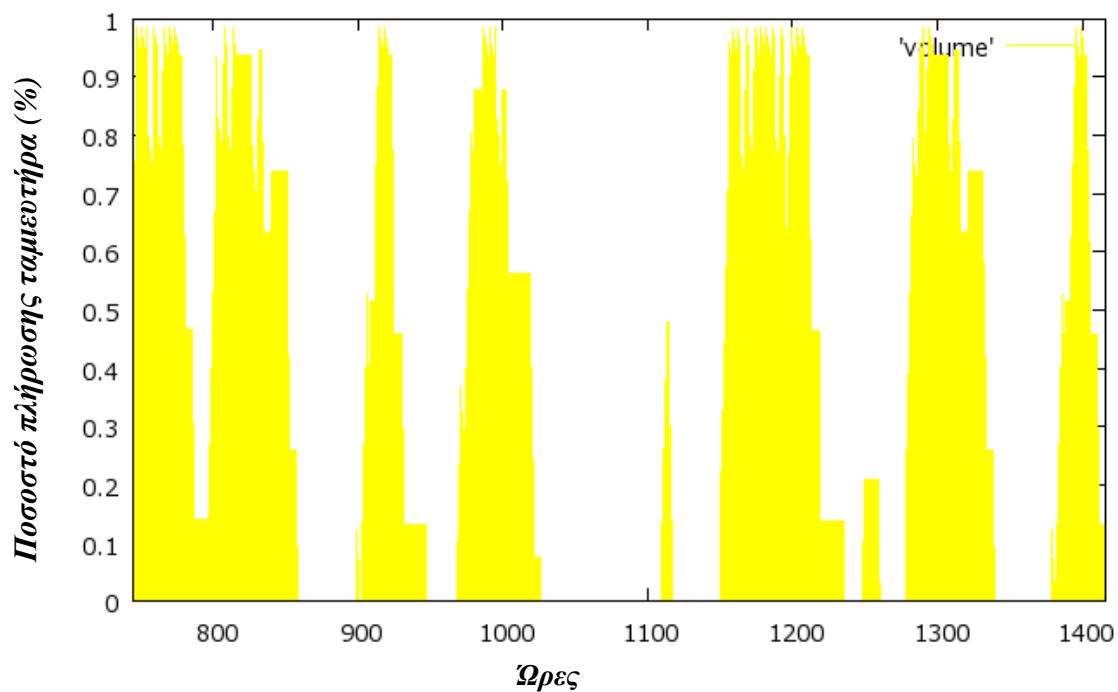
Διάγραμμα 29: Ποσοστό πλήρωσης ταμιευτήρα (1^η- 31^η Ιανουαρίου).



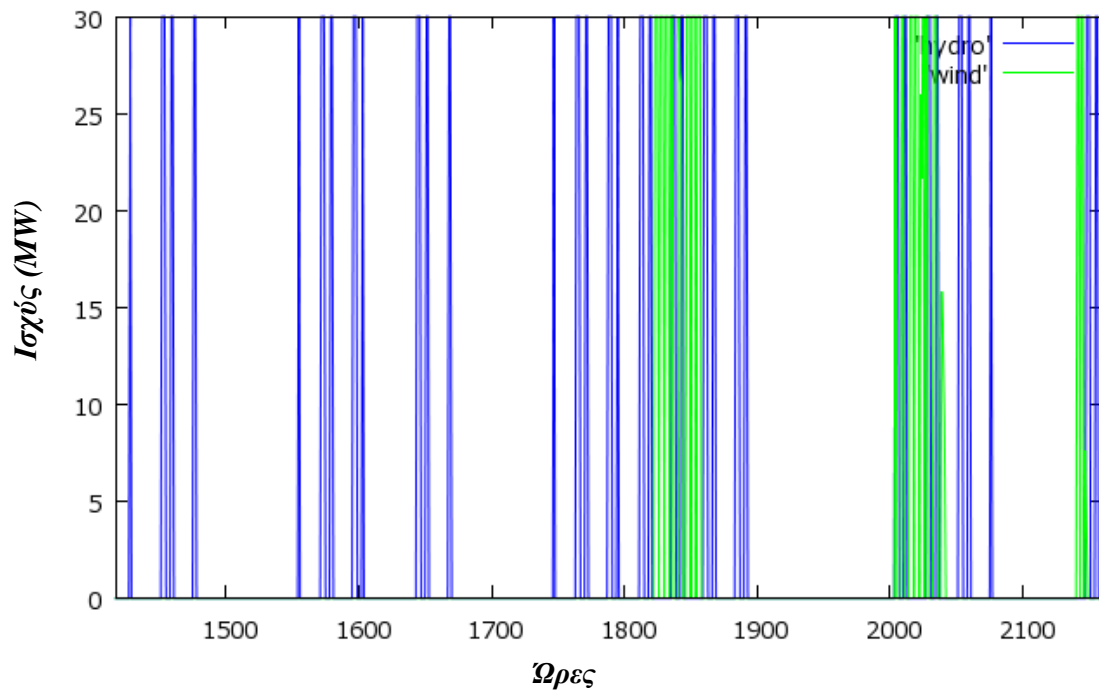
Διάγραμμα 30: Παραγωγή υδροστρόβιλων και μονάδων ΑΠΕ (1^η- 28^η Φεβρουαρίου).



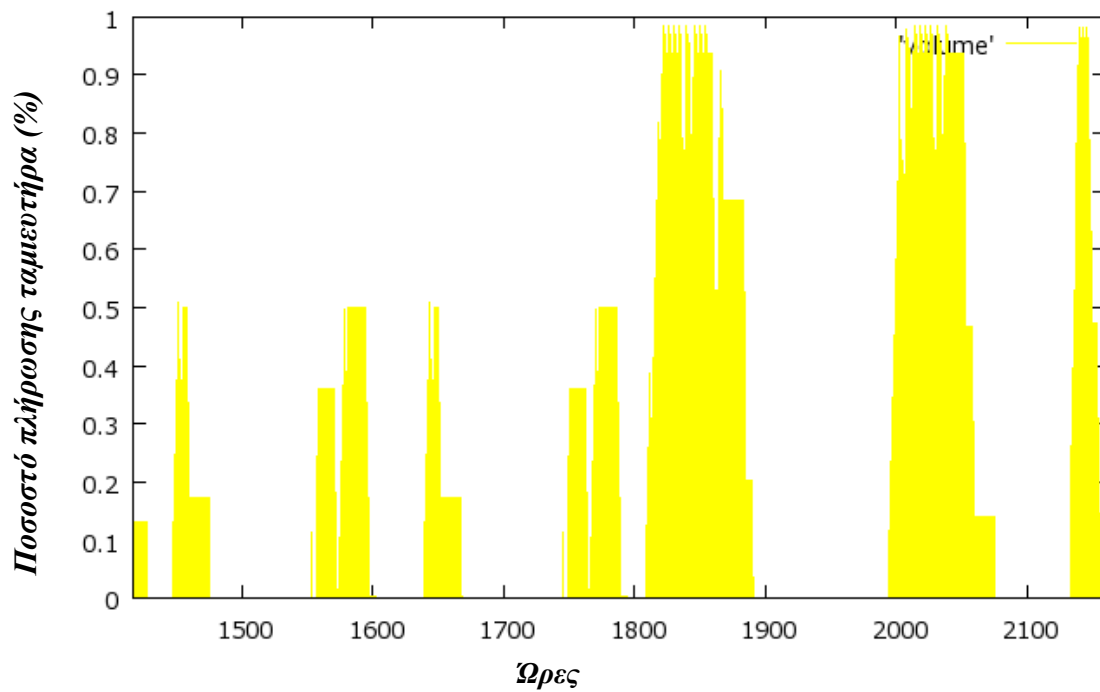
Διάγραμμα 31: Ποσοστό πλήρωσης ταμιευτήρα (1^η- 28^η Φεβρουαρίου).



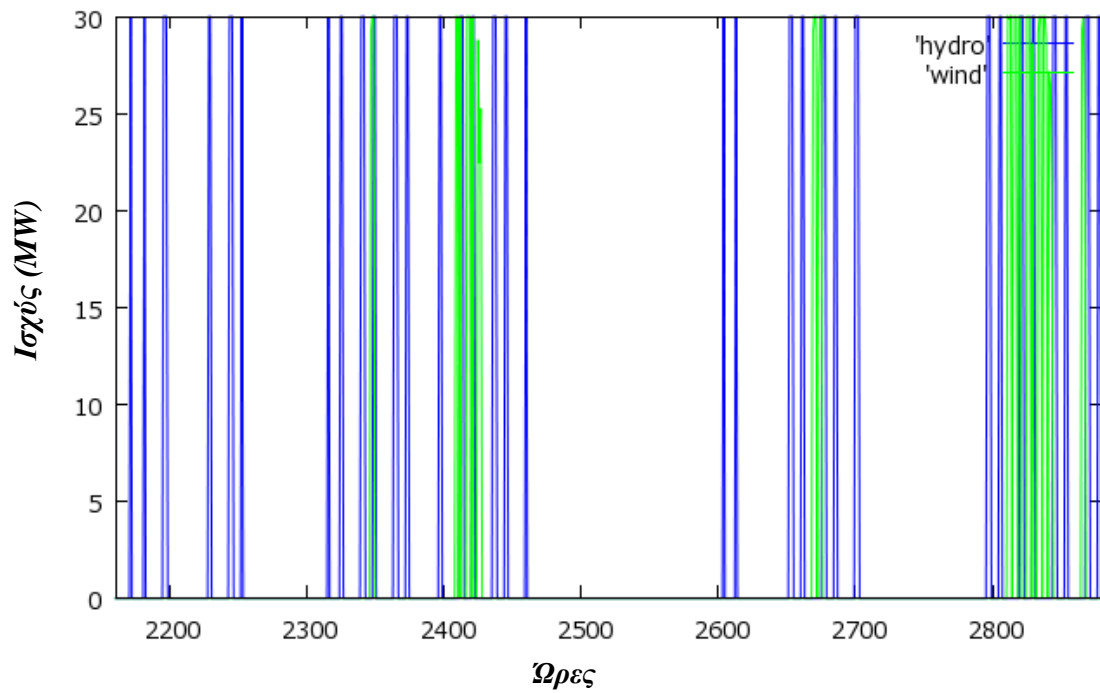
Διάγραμμα 32: Παραγωγή υδροστροβίλων και μονάδων ΑΠΕ (1^η- 31^η Μαρτίου).



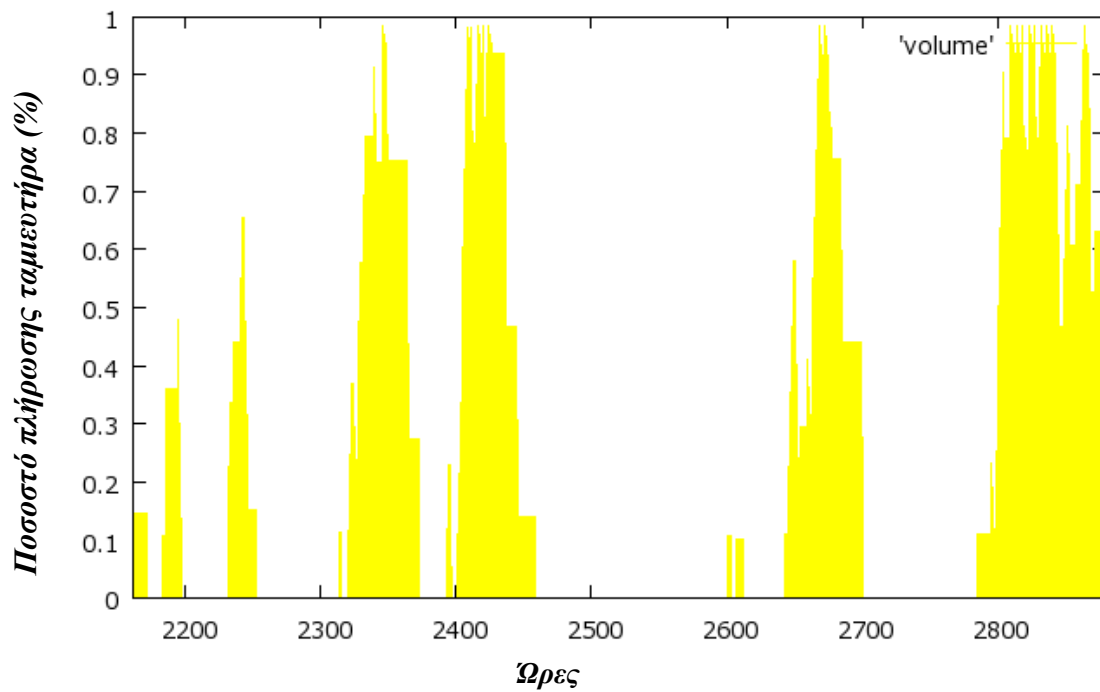
Διάγραμμα 33: Ποσοστό πλήρωσης ταμιευτήρα (1^η- 31^η Μαρτίου).



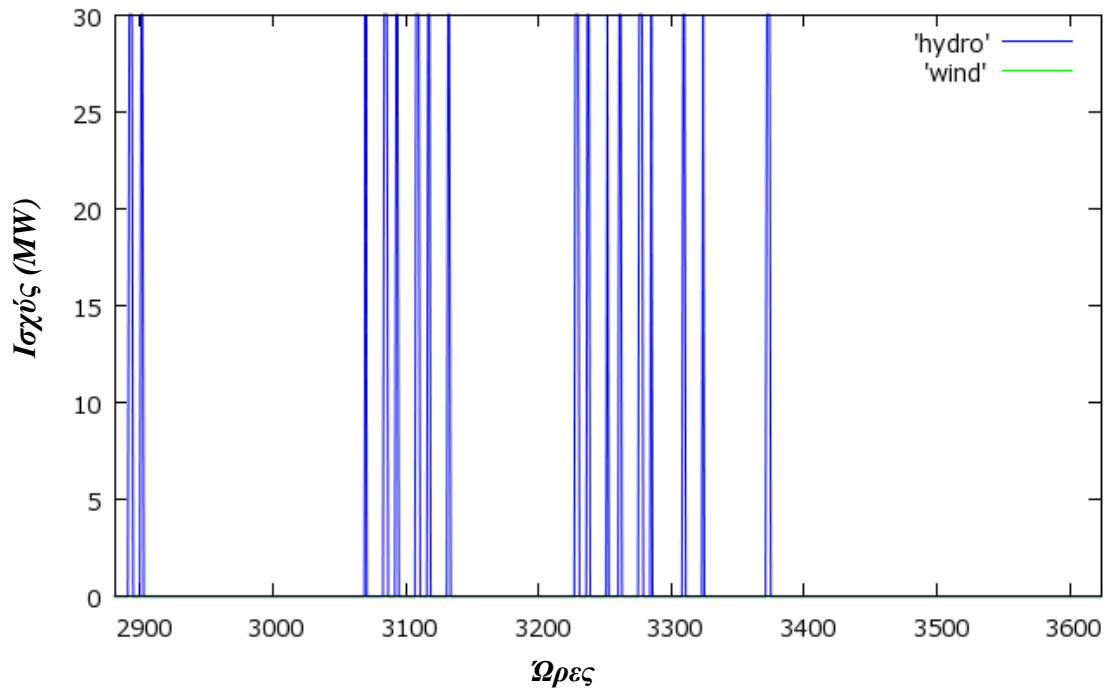
Διάγραμμα 34: Παραγωγή υδροστροβίλων και μονάδων ΑΠΕ (1^η- 30^η Απριλίου).



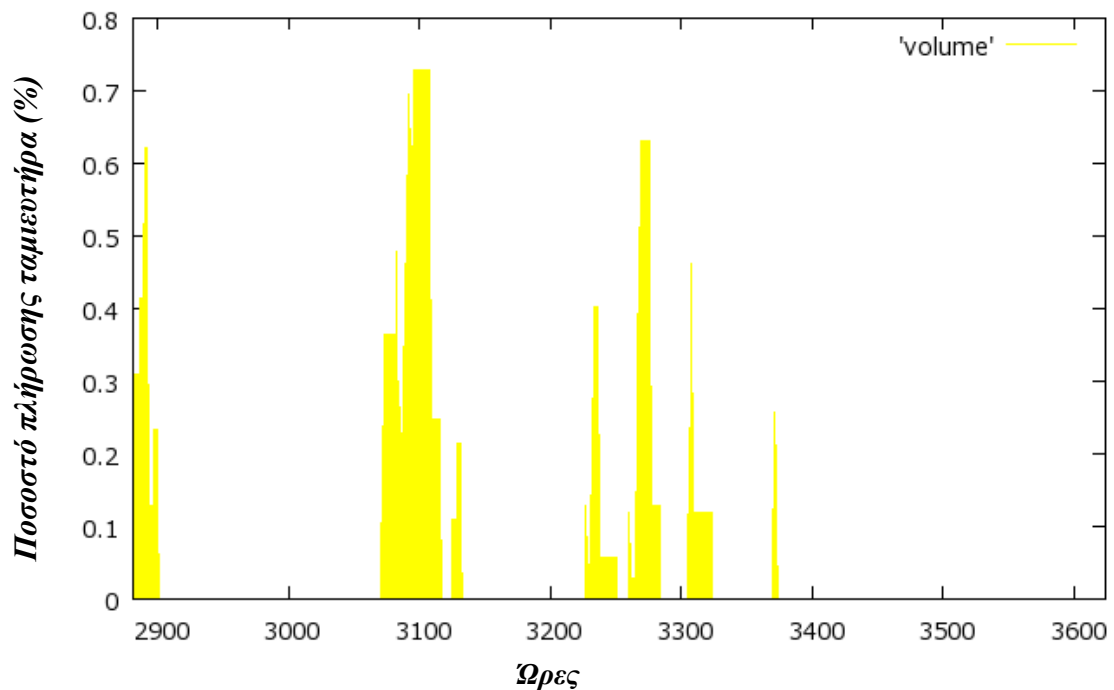
Διάγραμμα 35: Ποσοστό πλήρωσης ταμιευτήρα (1^η- 30^η Απριλίου).



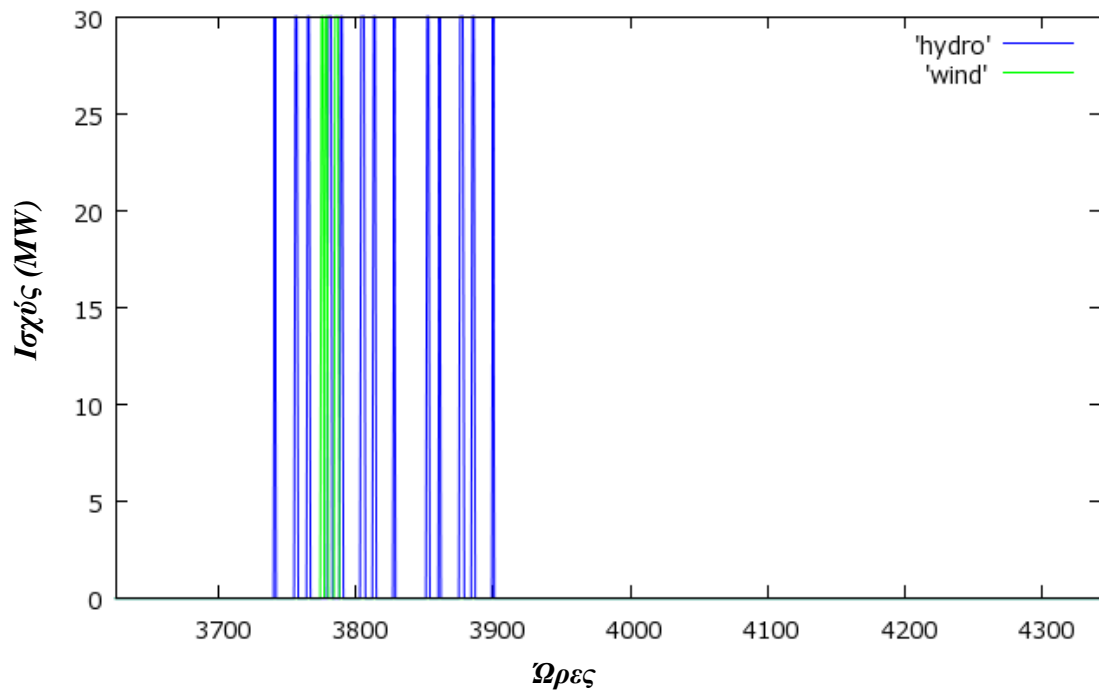
Διάγραμμα 36: Παραγωγή υδροστροβίλων και μονάδων ΑΠΕ (1^η- 31^η Μαΐου).



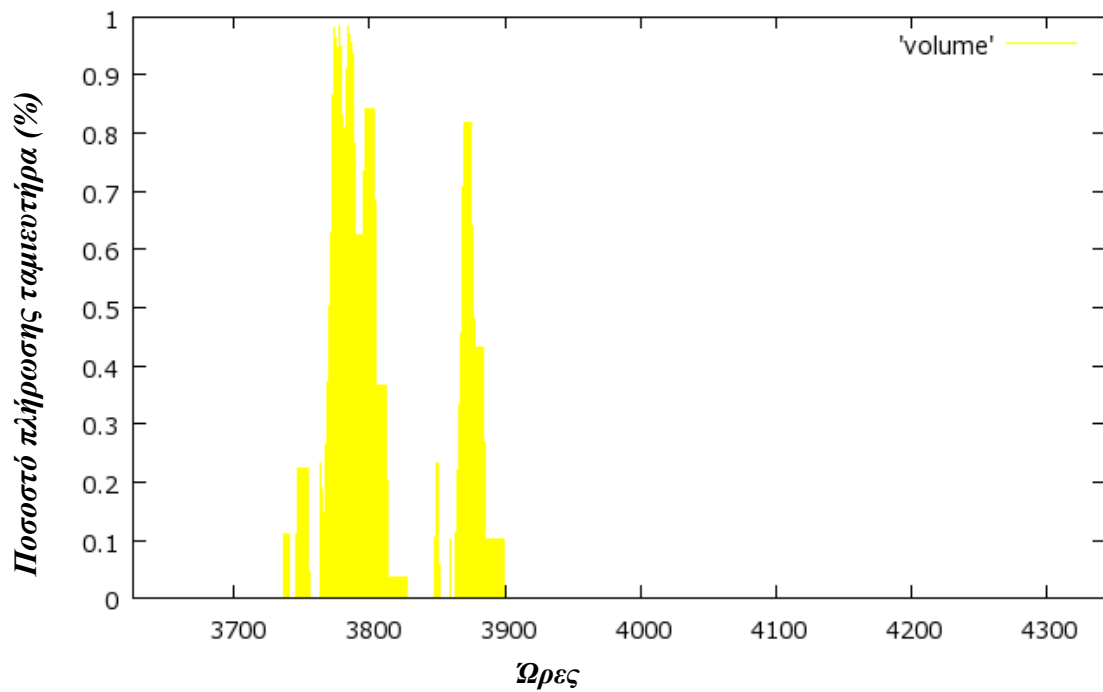
Διάγραμμα 37: Ποσοστό πλήρωσης ταμιευτήρα (1^η- 31^η Μαΐου).



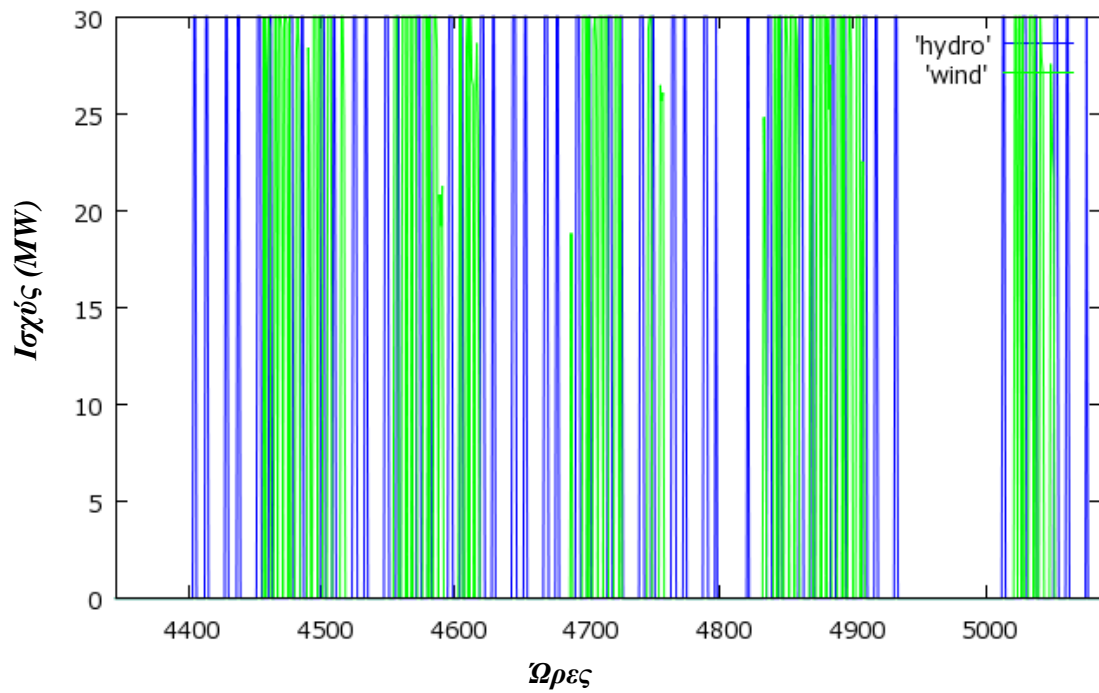
Διάγραμμα 38: Παραγωγή υδροστροβίλων και μονάδων ΑΠΕ (1^η- 30^η Ιουνίου).



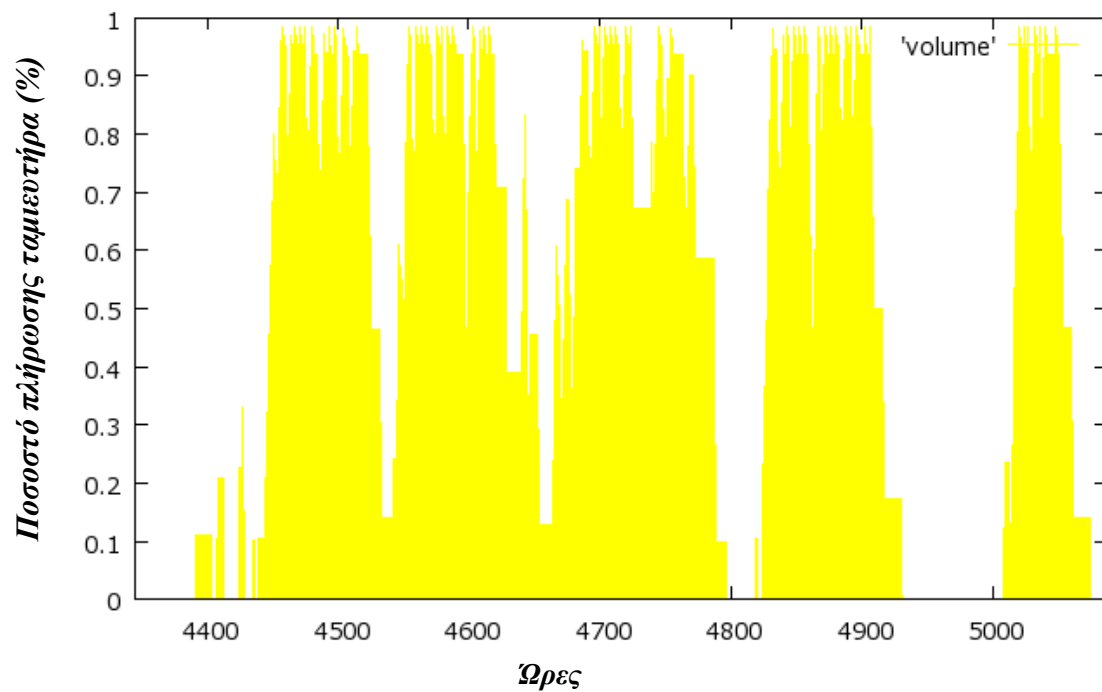
Διάγραμμα 39: Ποσοστό πλήρωσης ταμιευτήρα (1^η- 30^η Ιουνίου).



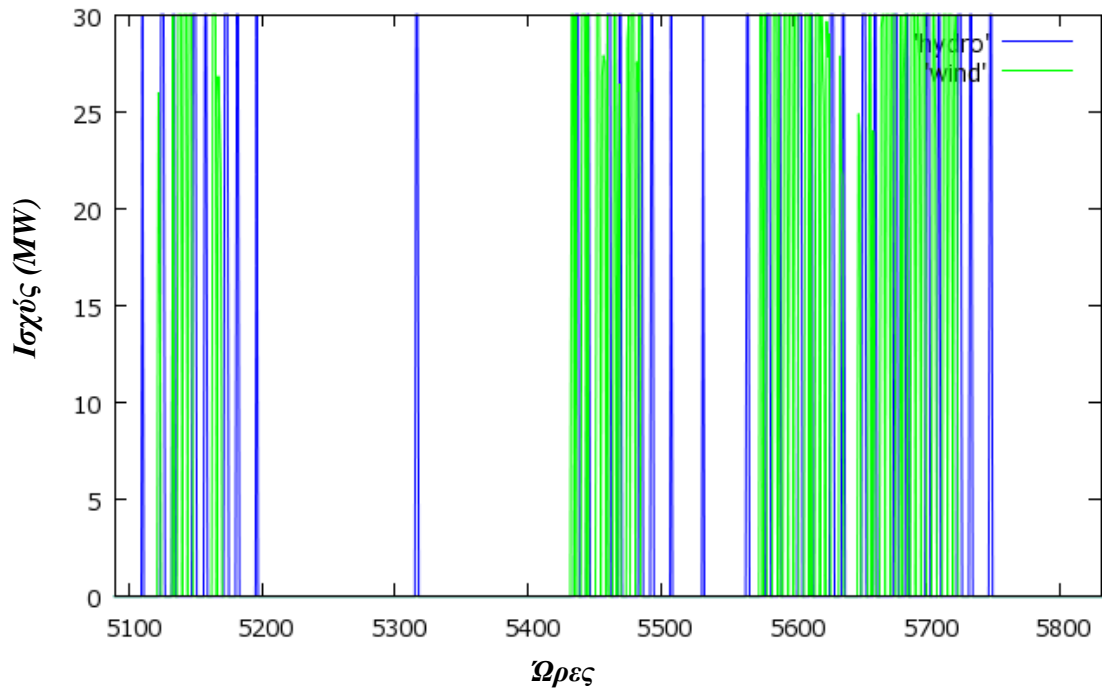
Διάγραμμα 40: Παραγωγή υδροστροβίλων και μονάδων ΑΠΕ (1^η- 31^η Ιουλίου).



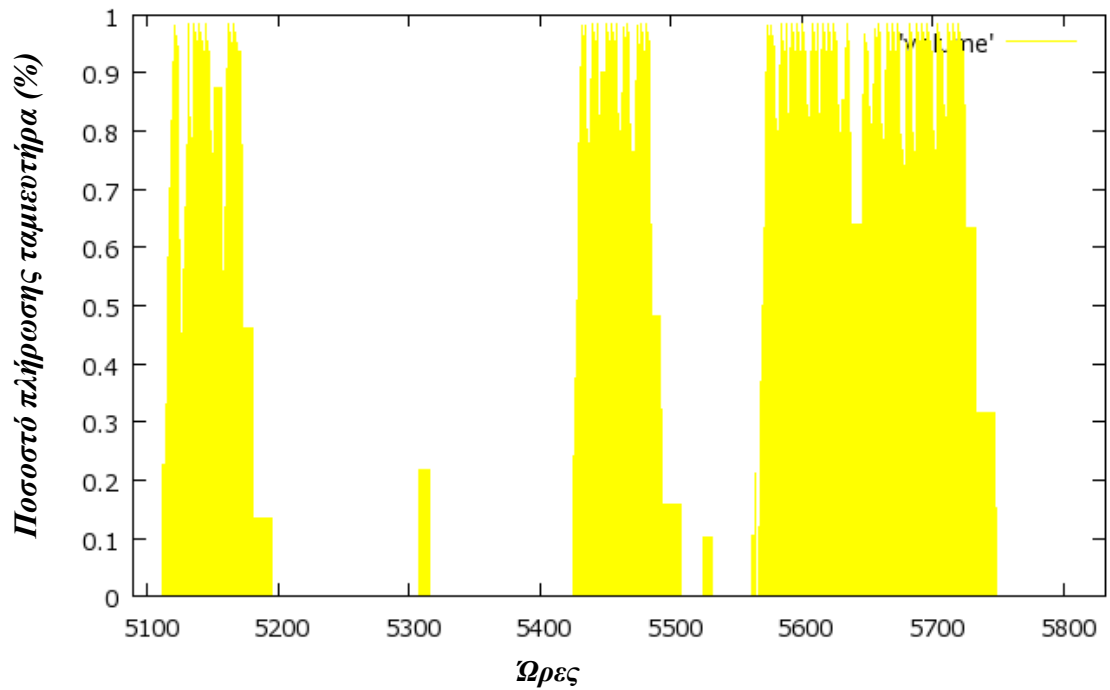
Διάγραμμα 41: Ποσοστό πλήρωσης ταμιευτήρα (1^η- 31^η Ιουλίου).



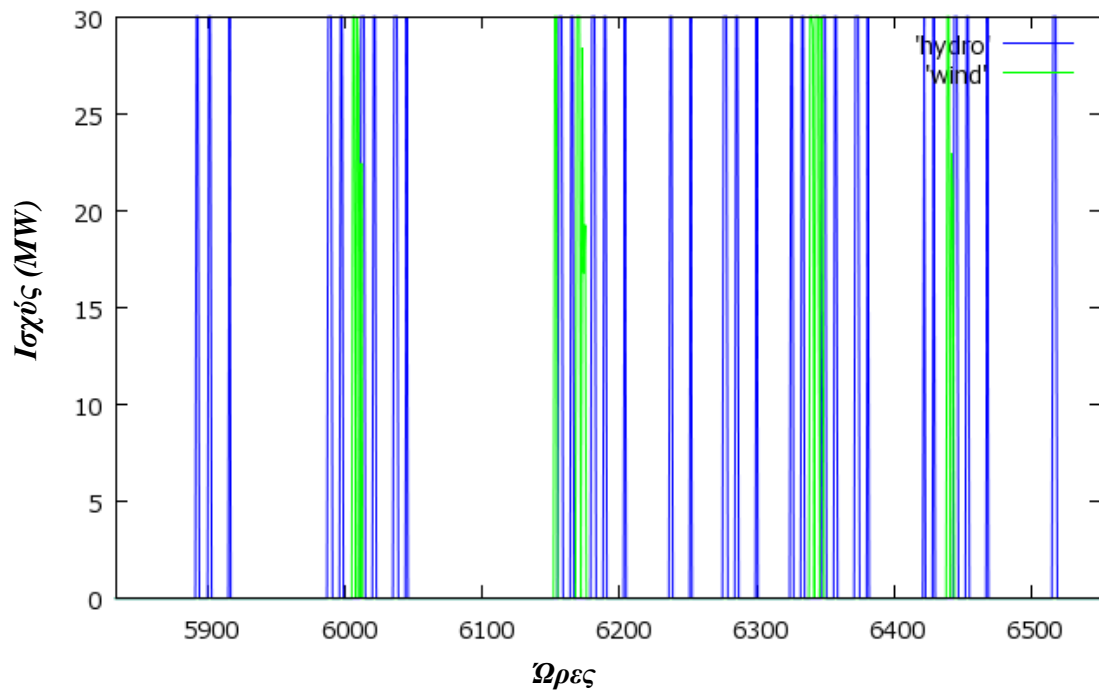
Διάγραμμα 42: Παραγωγή υδροτροβίλων και μονάδων ΑΠΕ (1^η- 31^η Αυγούστου).



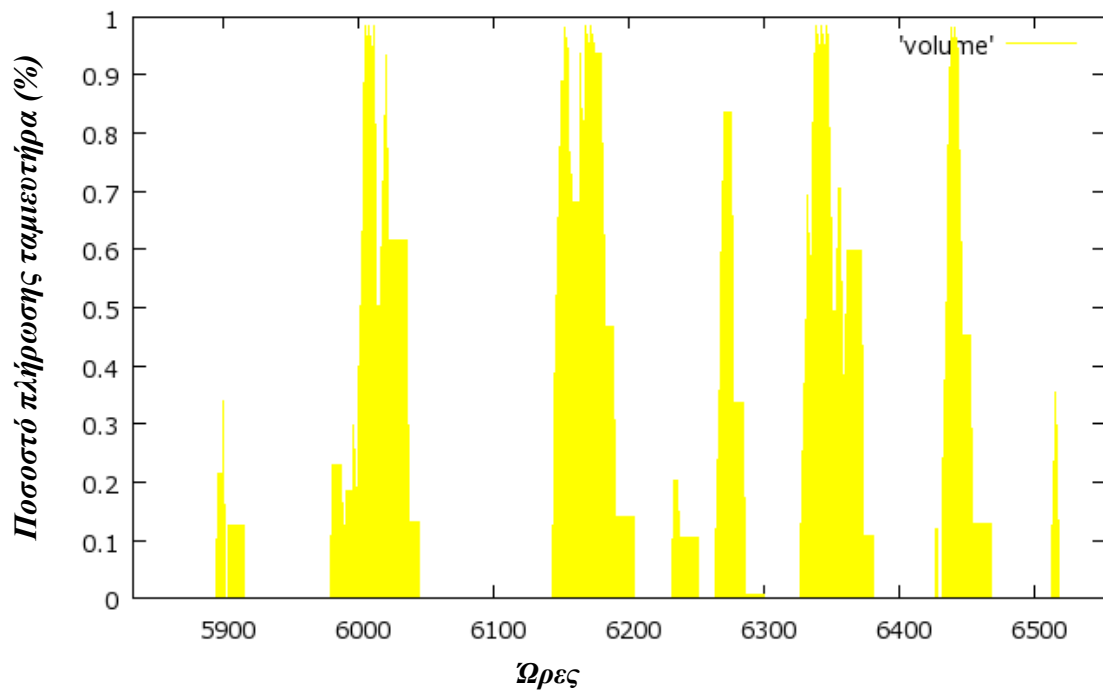
Διάγραμμα 43: Ποσοστό πλήρωσης ταμιευτήρα (1^η- 31^η Αυγούστου).



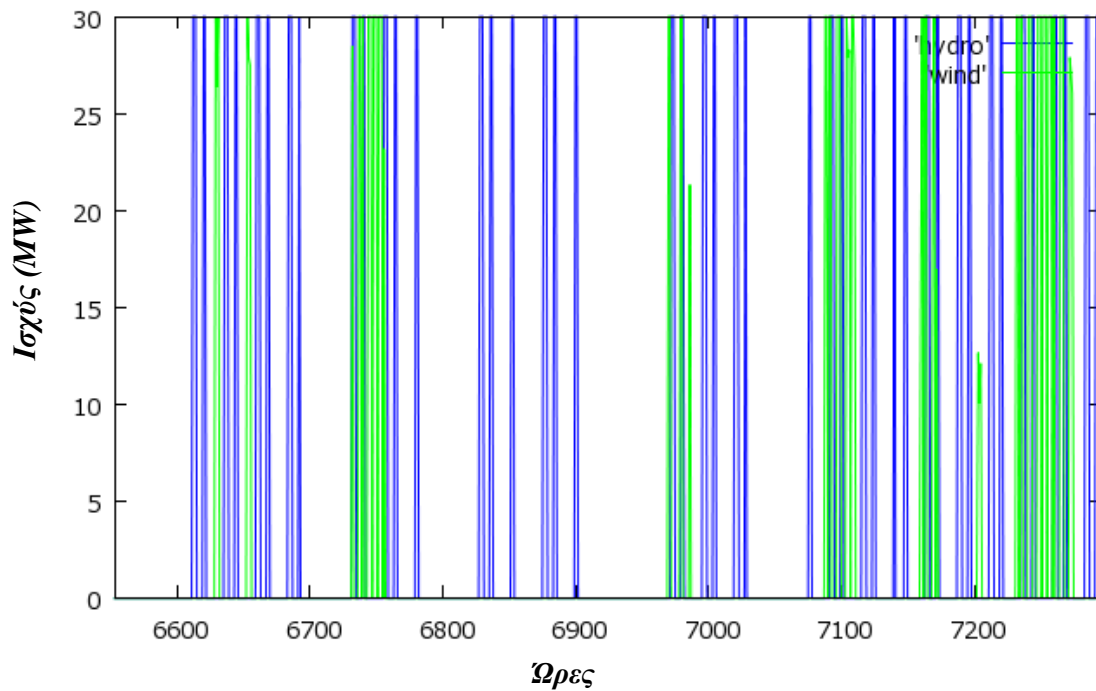
Διάγραμμα 44: Παραγωγή υδροστροβίλων και μονάδων ΑΠΕ (1^η- 30^η Σεπτεμβρίου).



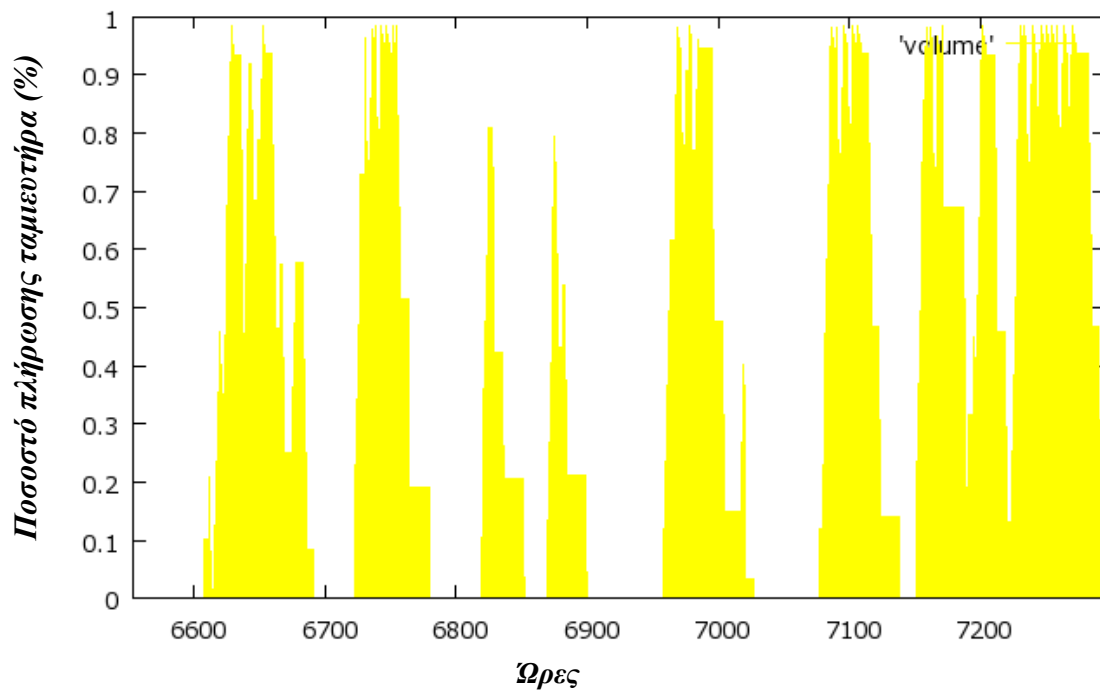
Διάγραμμα 45: Ποσοστό πλήρωσης ταμιευτήρα (1^η- 30^η Σεπτεμβρίου).



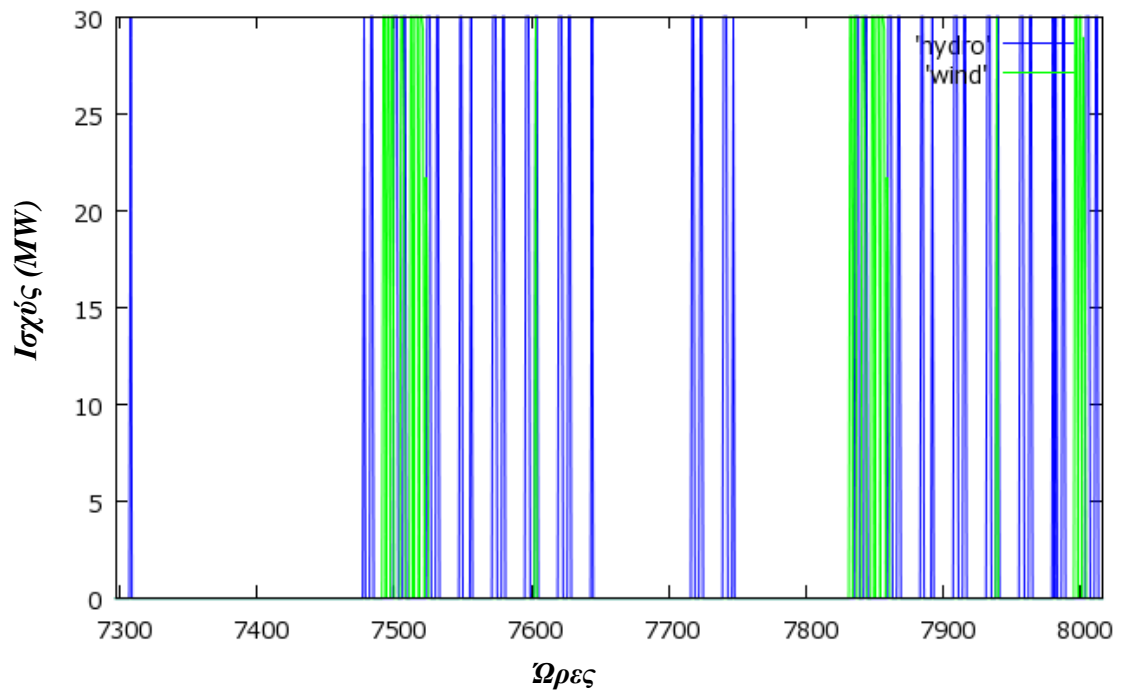
Διάγραμμα 46: Παραγωγή υδροστροβίλων και μονάδων ΑΠΕ (1^η- 31^η Οκτωβρίου).



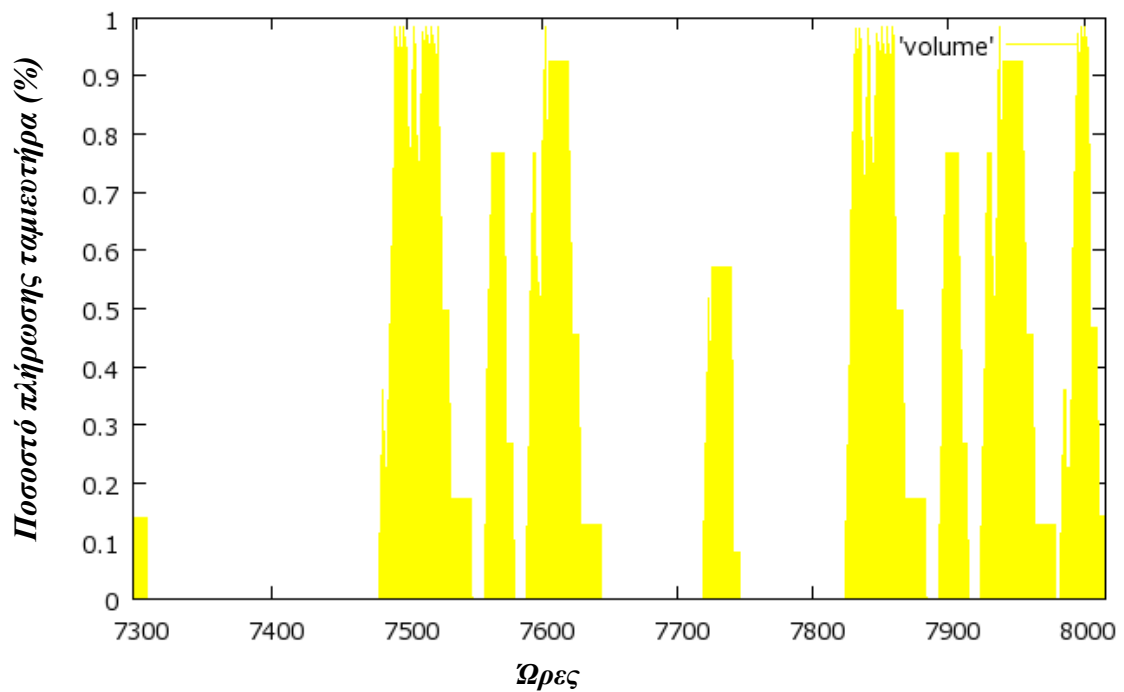
Διάγραμμα 47: Ποσοστό πλήρωσης ταμιευτήρα (1^η- 31^η Οκτωβρίου).



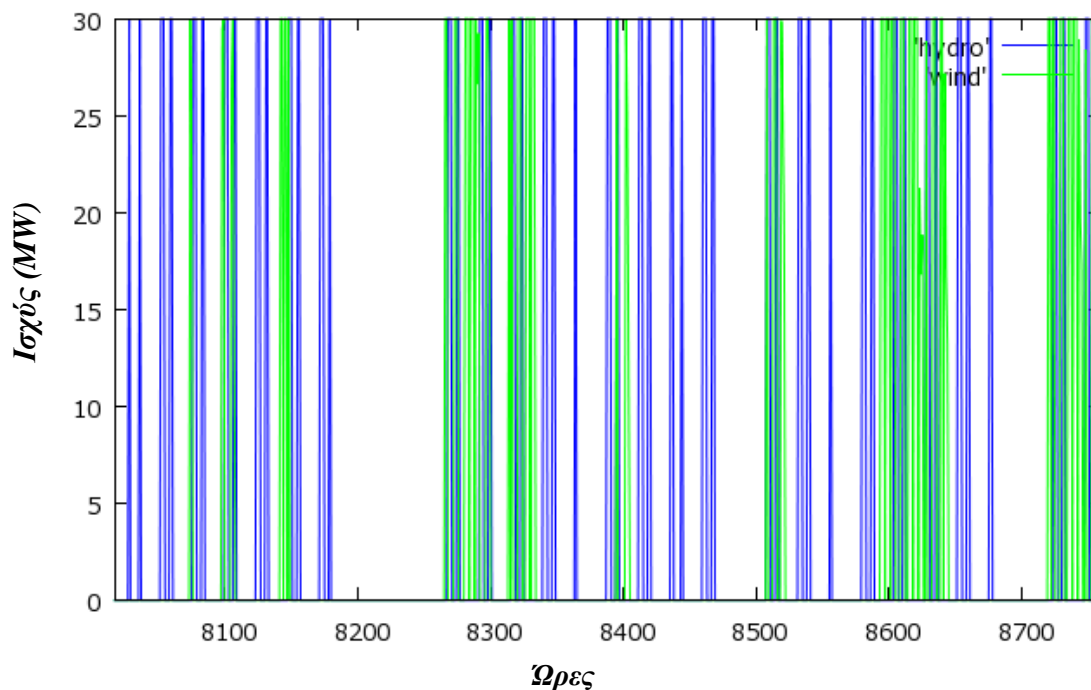
Διάγραμμα 48: Παραγωγή υδροστροβίλων και μονάδων ΑΠΕ (1^η- 30^η Νοεμβρίου).



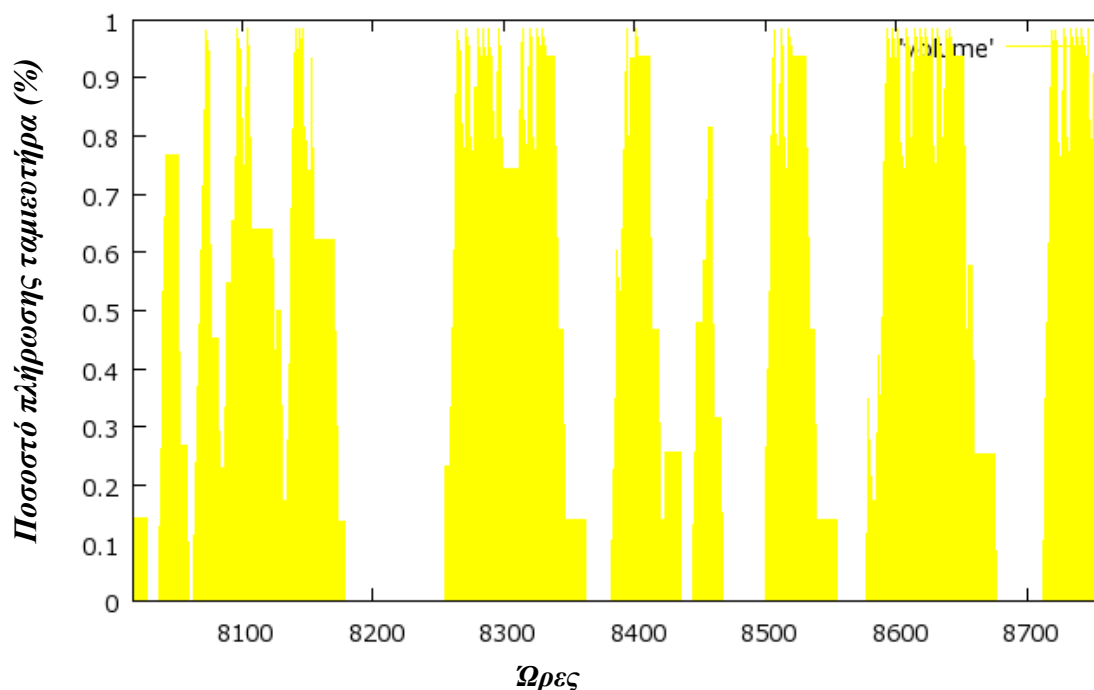
Διάγραμμα 49: Ποσοστό πλήρωσης ταμιευτήρα (1^η- 30^η Νοεμβρίου).



Διάγραμμα 50: Παραγωγή υδροστροβίλων και μονάδων ΑΠΕ (1^η- 31^η Δεκεμβρίου).



Διάγραμμα 51: Ποσοστό πλήρωσης ταμιευτήρα (1^η- 31^η Δεκεμβρίου).



Ακολουθεί συγκεντρωτικός πίνακας με τα χαρακτηριστικά μεγέθη του συστήματος, με και χωρίς εισαγωγή ενέργειας από το δίκτυο.

Πίνακας 7: Συγκεντρωτικός πίνακας για σχήμα με μια αναστρέψιμη μηχανή.

	ΟΚΙΝΑWA 1α	ΟΚΙΝΑWA 1β
	<i>(ΜΕ ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ)</i>	<i>(ΧΩΡΙΣ ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ)</i>
Εγγυημένη ισχύς ΥΣ (kW)	30.000	30.000
Συνολική Παραγόμενη Ενέργεια Α/Π ΥΣ (MWh)	126.359	126.359
Συνολική Παραγόμενη Ενέργεια ΥΣ (MWh)	74.237	46.895
Παραγωγή υδροστροβίλου ΥΣ (MWh)	53.079	26.567
Παραγωγή μονάδων ΑΠΕ του ΥΣ (MWh)	21.157	20.328
Συνολική Αποθηκευμένη Ενέργεια (MWh)	72.397	37.248
Ενέργεια που απορροφάται από το δίκτυο (MWh)	34.838	0
Ποσοστό κάλυψης εγγυημένης ενέργειας (%)	96,90%	48,50%
Βαθμός Απόδοσης ΥΣ (%)	58,75%	37,11%
Βαθμός Εκμετάλλευσης Αιολικού Πάρκου (%)	50,42%	45,61%
Βαθμός απόδοσης συστήματος αντλησιοταμίευσης (%)	73,32%	71,32%
Capacity Factor Α/Π στον ΥΣ (%)	35,60%	21,91%
Τιμή παραγόμενης ενέργειας υδροστροβίλων του ΥΣ (€/MWh)	236,00	236,00
Τιμή απορροφούμενης για άντληση ενέργειας (€/MWh)	186,00	186,00
Τιμή παραγόμενης ενέργειας Α/Π του ΥΣ (€/MWh)	177,67	177,67
Τιμή διαθεσιμότητας ισχύος ΥΣ (€/kW)	127,00	127,00
Ετήσια Έσοδα ΥΣ (€)	19.977.663,48	13.691.569,85
Ετήσια Έξοδα ΥΣ (€)	6.479.833,22	0,00
Συνολικό ετήσιο κέρδος ΥΣ (€)	13.497.830,26	13.691.569,85

9.1.3. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

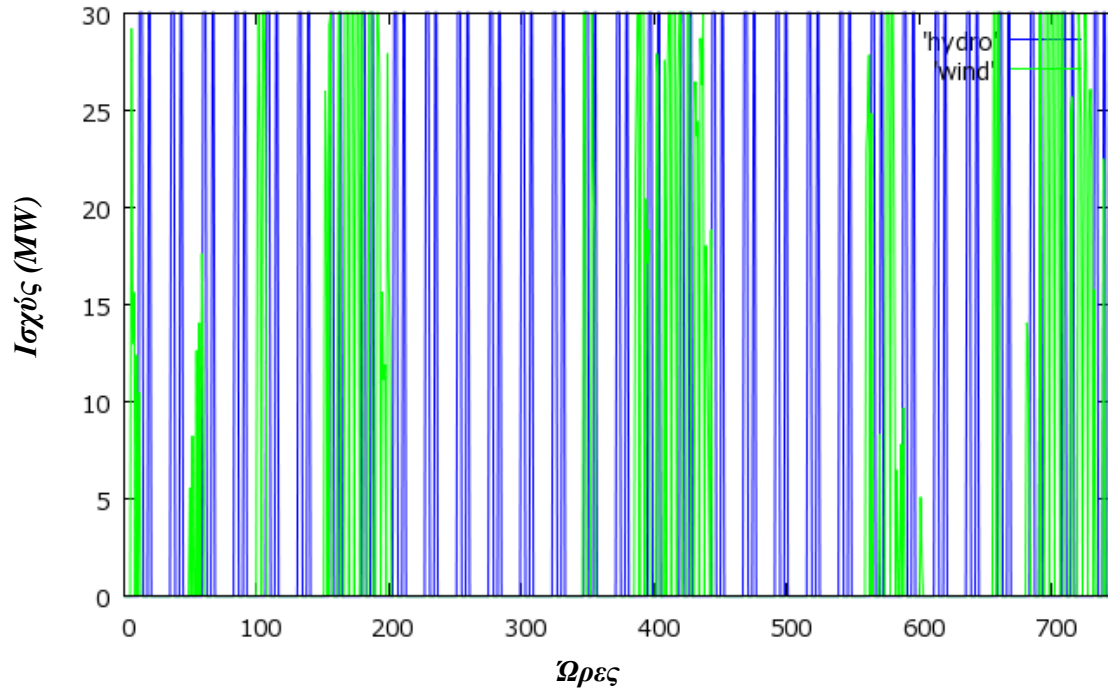
Βάσει των παραπάνω προσομοιώσεων, προκύπτει ότι η βασική διαφορά μεταξύ των δύο περιπτώσεων (με και χωρίς εισαγωγή ενέργειας) είναι το ποσοστό κάλυψης της εγγυημένης ενέργειας. Κατά τη λειτουργία με εισαγωγή ενέργειας, το ποσοστό αυτό αγγίζει το 96,9% του χρόνου, ενώ οι βαθμοί απόδοσης Υβριδικού Σταθμού, Αιολικού Πάρκου και Συστήματος Αντλησιοταμίευσης είναι ιδιαίτερα ικανοποιητικοί. Επιπλέον, ο συντελεστής φορτίου (Capacity Factor) του Αιολικού είναι της τάξεως του 35,6%, που το καθιστά ιδιαίτερα αποδοτικό. Παρόλα αυτά, τα ετήσια έσοδα του σταθμού δεν είναι ιδιαίτερα ικανοποιητικά. Αυτό οφείλεται στην οικονομική επιβάρυνση λόγω της απορροφημένης για την άντληση ενέργειας, η οποία αγγίζει ετησίως τα 6,50 εκατ. €, και καθιστά τη λειτουργία χωρίς εισαγωγή οριακά αποδοτικότερη σε οικονομικό επίπεδο. Το συνολικό ετήσιο όφελος του σταθμού με εισαγωγή ενέργειας είναι 13.497.830,26€, ενώ χωρίς εισαγωγή είναι 13.691.569,85€. Το ποσοστό κάλυψης όμως κατά τη λειτουργία χωρίς εισαγωγή ενέργειας από το δίκτυο είναι αρκετά χαμηλό (48,50%), όπως και τα ποσοστά αξιοποίησης της αιολικής ενέργειας (CF= 21,91%) και κατά συνέπεια το σχήμα δεν είναι ενεργειακά αποδοτικό.

9.2. 2^η ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗ ΠΡΟΤΑΣΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

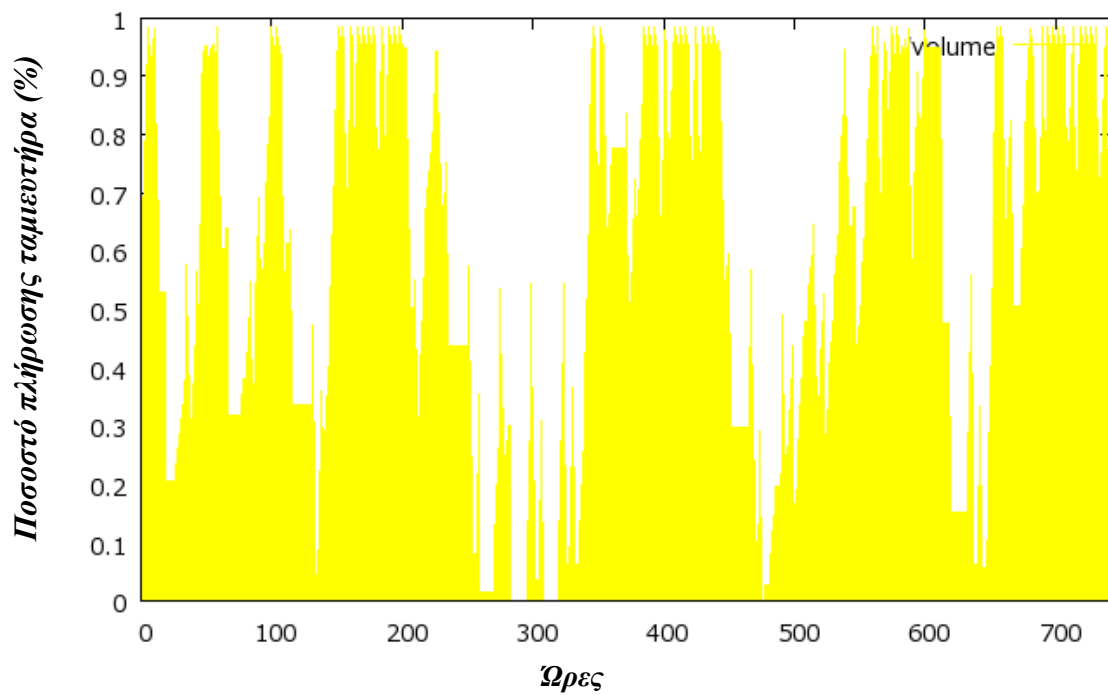
Παρακάτω, συγκεντρώνονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης συστήματος με ίδια τεχνικά χαρακτηριστικά με το προηγούμενο, αλλά με διαφορετικό συνδυασμό μηχανών. Σε αυτή τη περίπτωση, γίνεται η παραδοχή ότι ο σταθμός περιλαμβάνει, εκτός από την αναστρέψιμη μηχανή και 4 αντλίες σταθερών στροφών. Ο εναλλακτικός αυτός σχεδιασμός έχει το πλεονέκτημα ότι η αιολική ενέργεια που είναι μικρότερη από το τεχνικό ελάχιστο της αναστρέψιμης μηχανής και στην πρώτη πρόταση θα απορριπτόταν, απορροφάται από τις αντλίες. Κατά συνέπεια, τα ενεργειακά χαρακτηριστικά του σχήματος αναμένονται βελτιωμένα. Ακολουθούν τα διαγράμματα σε μηνιαία βάση για ένα έτος προσομοίωσης, όπου απεικονίζεται η παραγόμενη ισχύς των υδροστροβίλων του σταθμού(•), η παραγόμενη ισχύς των μονάδων ΑΠΕ του σταθμού (•) (απευθείας εγχεόμενη στο δίκτυο αιολική ενέργεια) καθώς και το ποσοστό πλήρωσης του άνω ταμιευτήρα (•).

9.2.1. ΜΕ ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

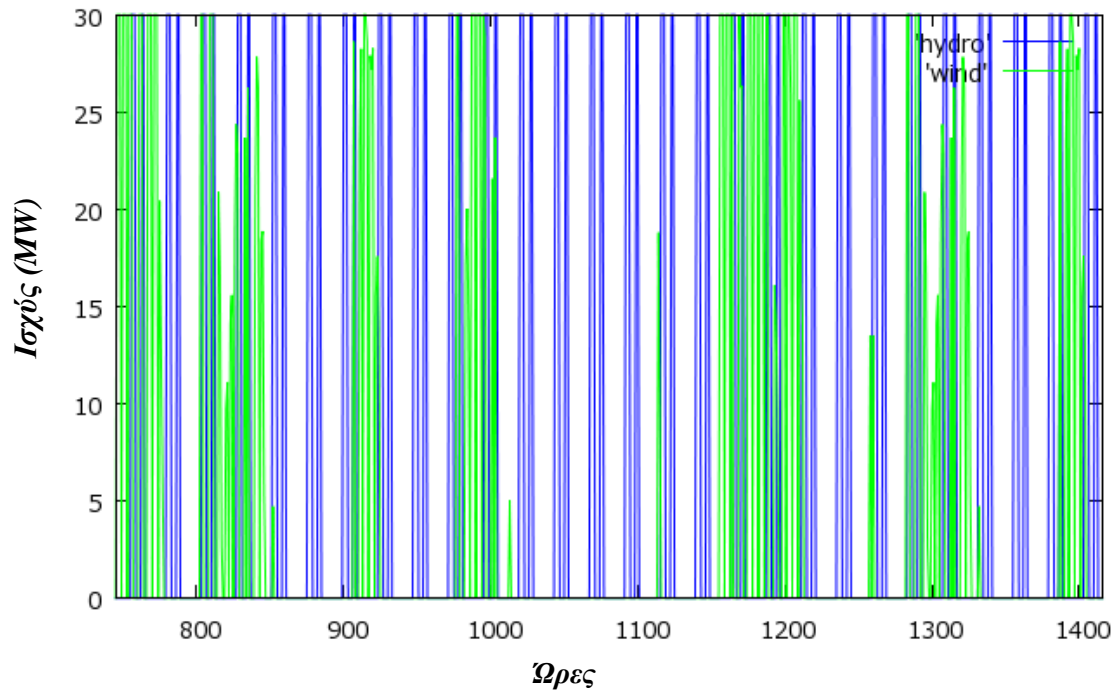
Διάγραμμα 52: Παραγωγή υδροστροβίλων και μονάδων ΑΠΕ (1^η- 31^η Ιανουαρίου).



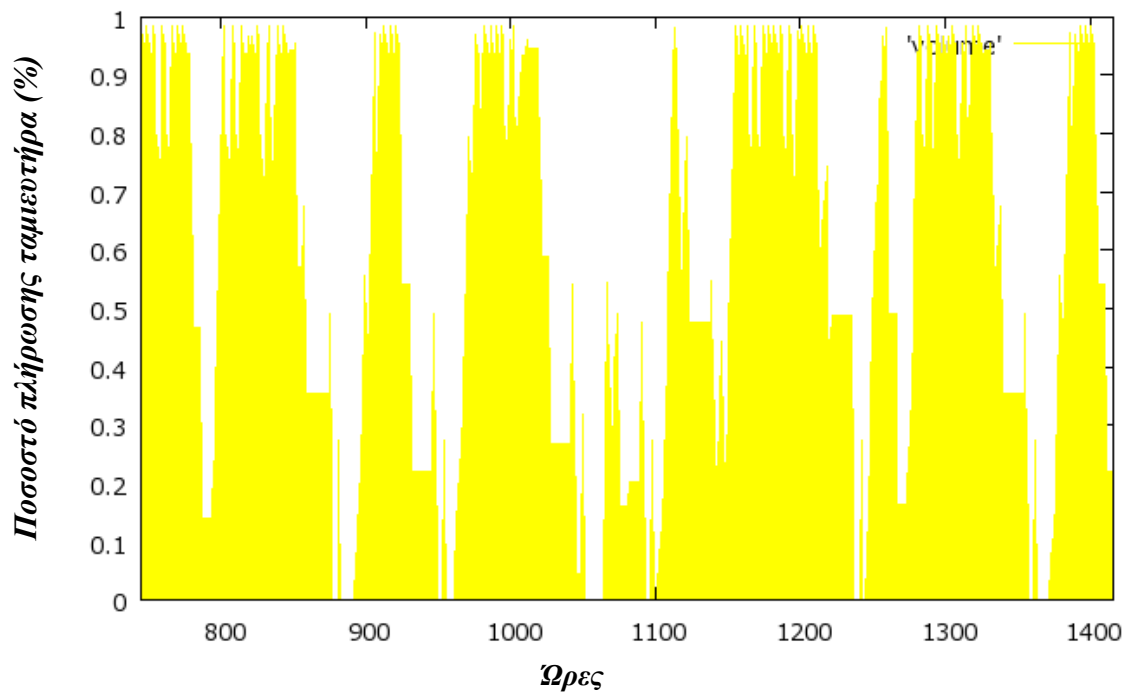
Διάγραμμα 53: Ποσοστό πλήρωσης ταμιευτήρα (1^η- 31^η Ιανουαρίου).



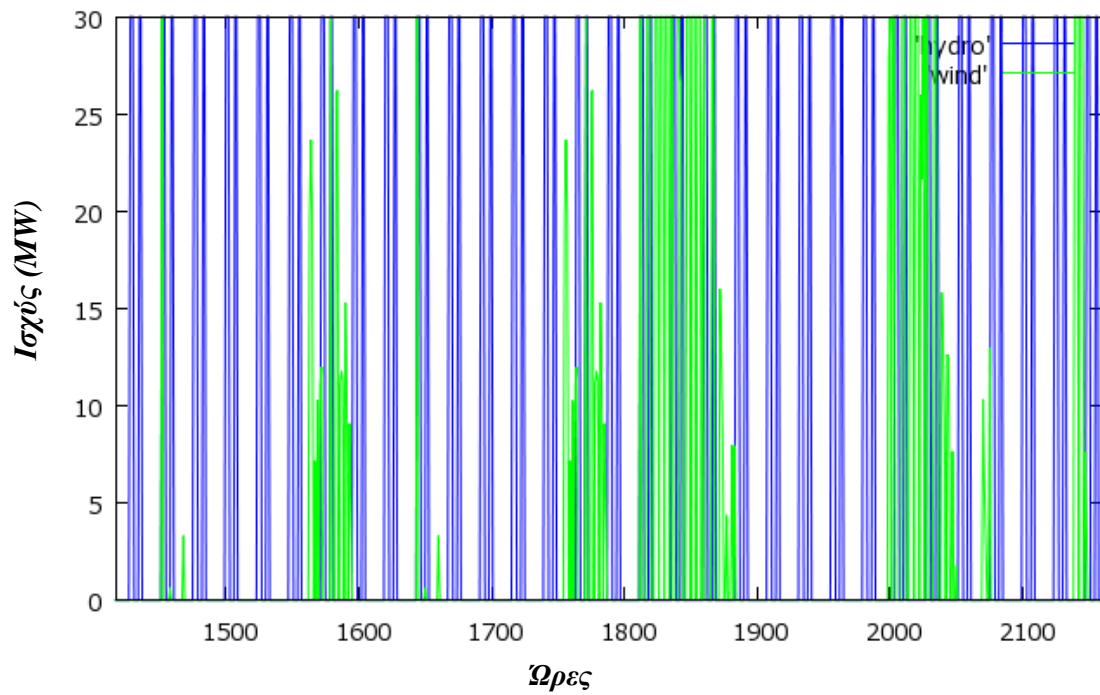
Διάγραμμα 54: Παραγωγή υδροστροβίλων και μονάδων ΑΠΕ (1^η- 28^η Φεβρουαρίου).



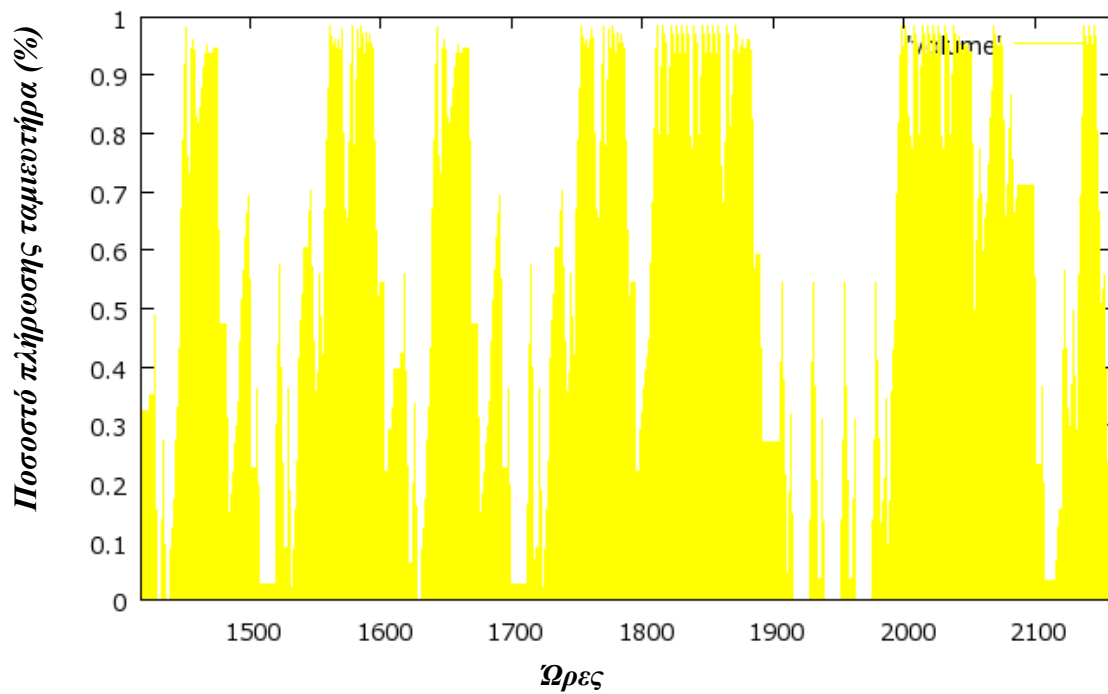
Διάγραμμα 55: Ποσοστό πλήρωσης ταμιευτήρα (1^η- 28^η Φεβρουαρίου).



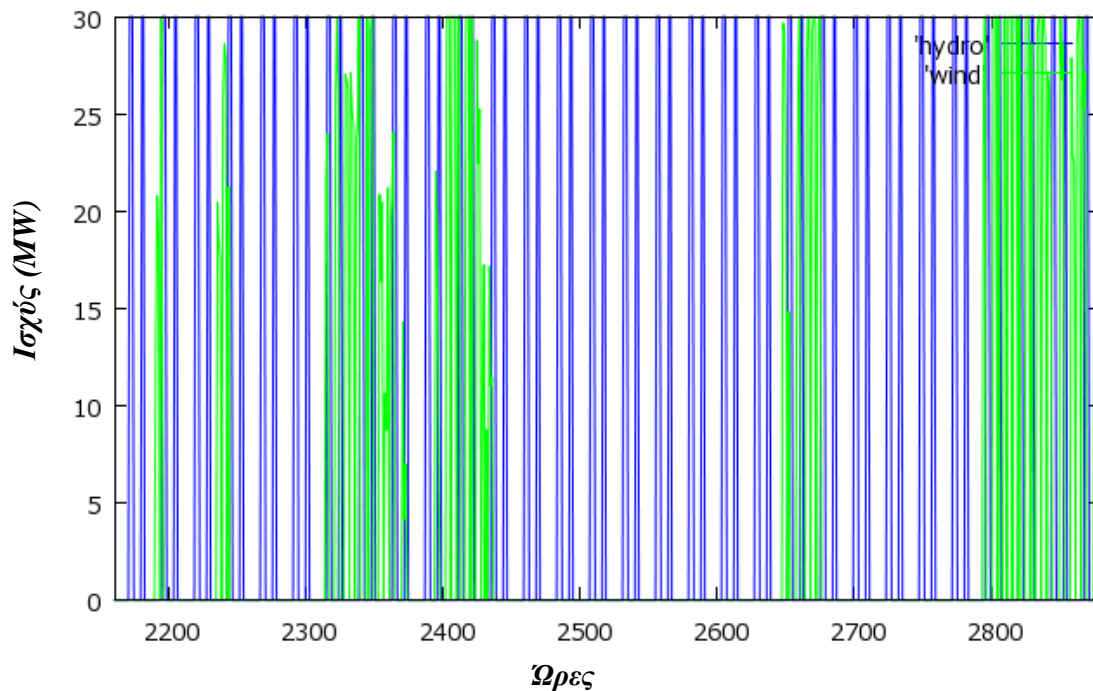
Διάγραμμα 56: Παραγωγή υδροστροβίλων και μονάδων ΑΠΕ (1^η- 31^η Μαρτίου).



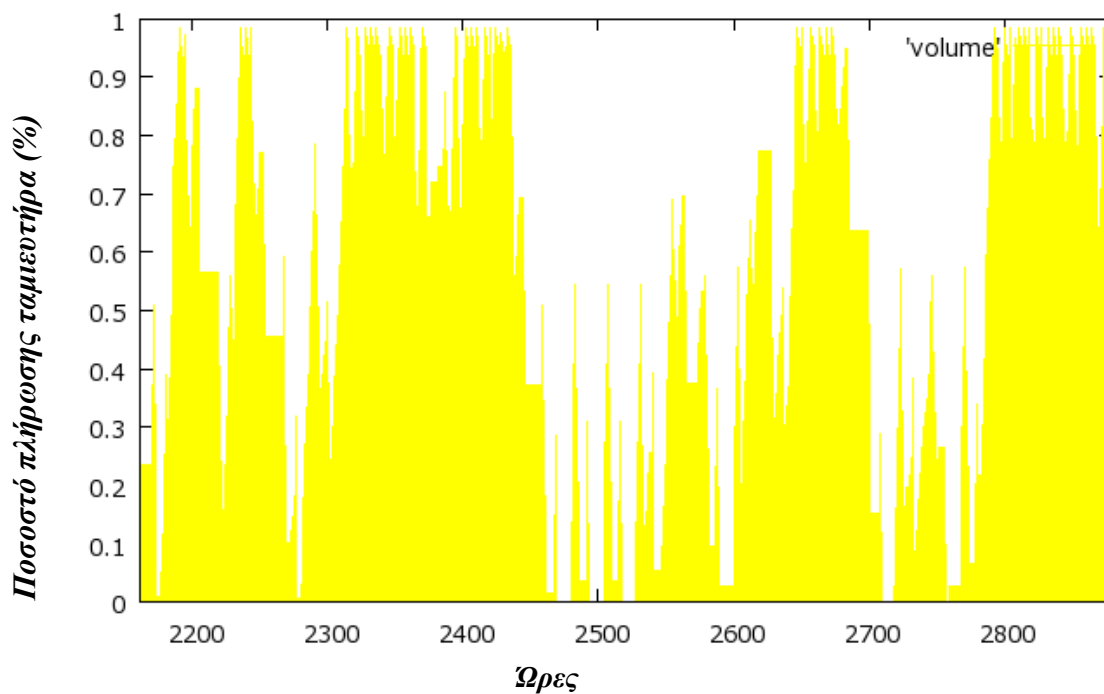
Διάγραμμα 57: Ποσοστό πλήρωσης ταμιευτήρα (1^η- 31^η Μαρτίου).



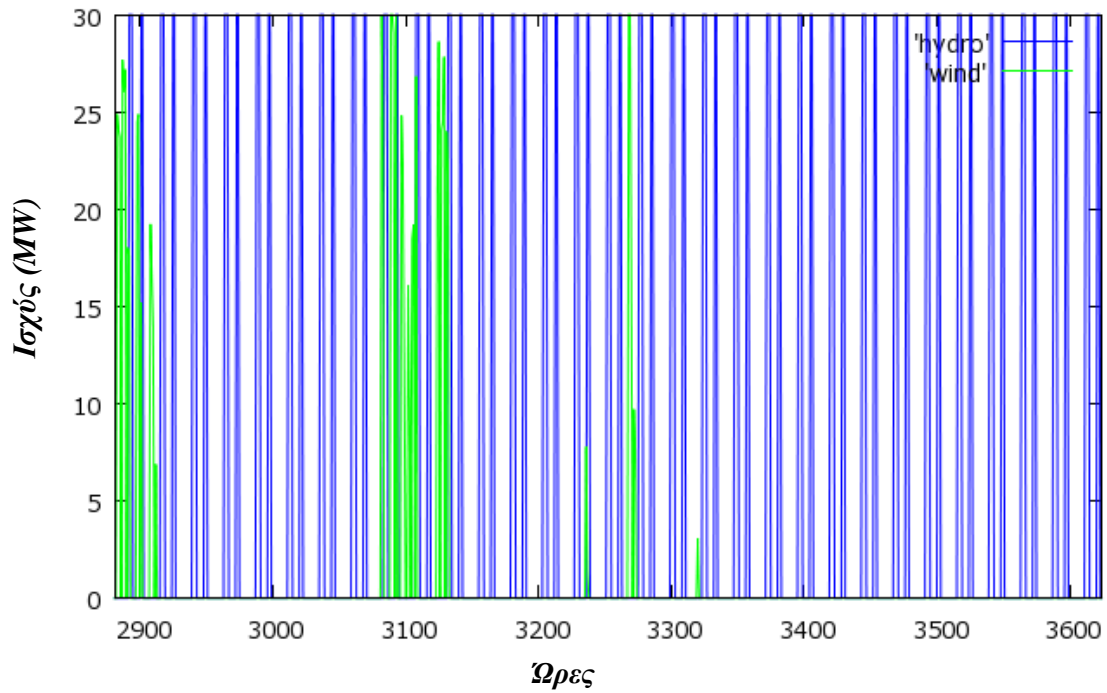
Διάγραμμα 58: Παραγωγή υδροστροβίλων και μονάδων ΑΠΕ (1^η- 30^η Απριλίου).



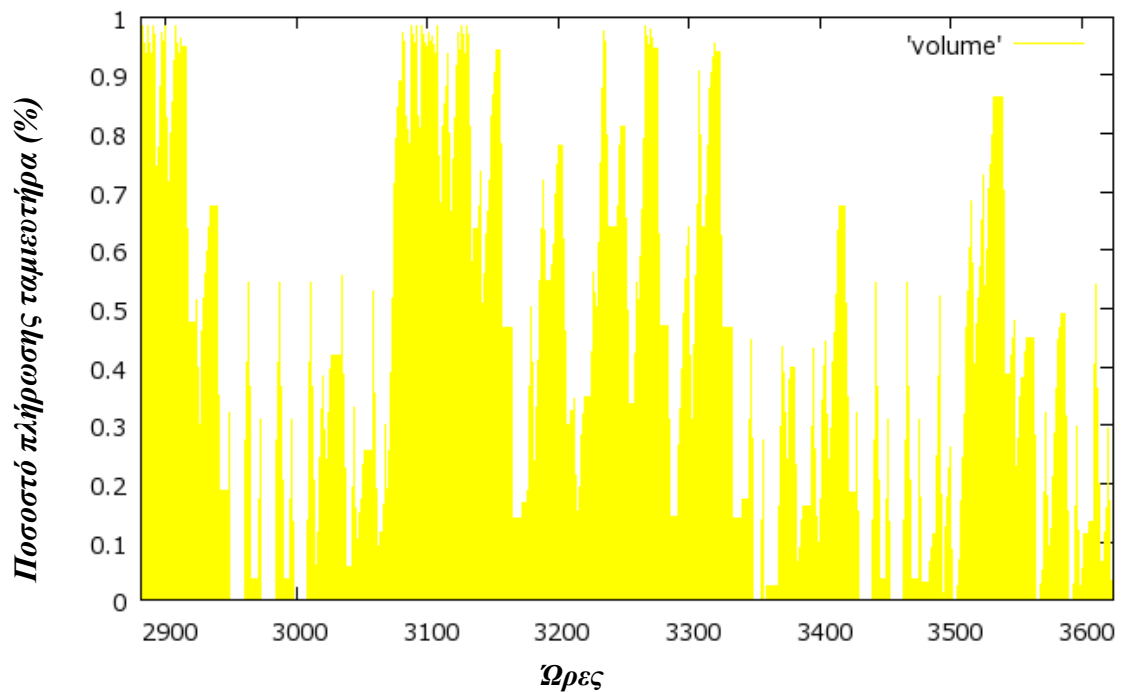
Διάγραμμα 59: Ποσοστό πλήρωσης ταμειυτήρα (1^η- 30^η Απριλίου).



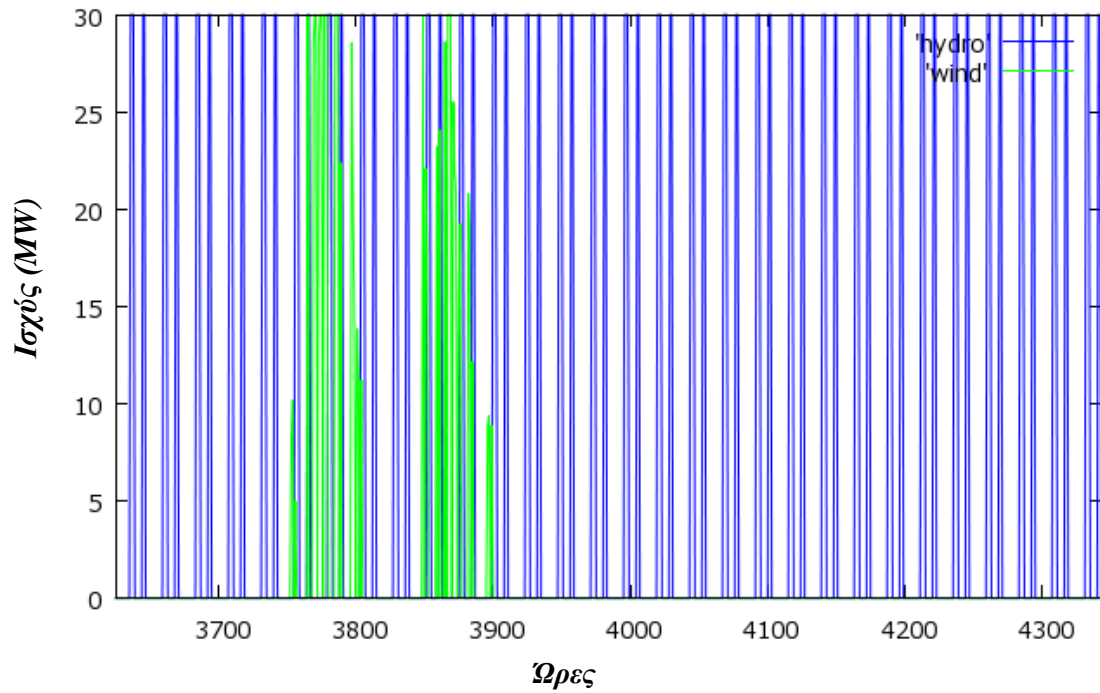
Διάγραμμα 60: Παραγωγή υδροστροβίλων και μονάδων ΑΠΕ (1^η- 31^η Μαΐου).



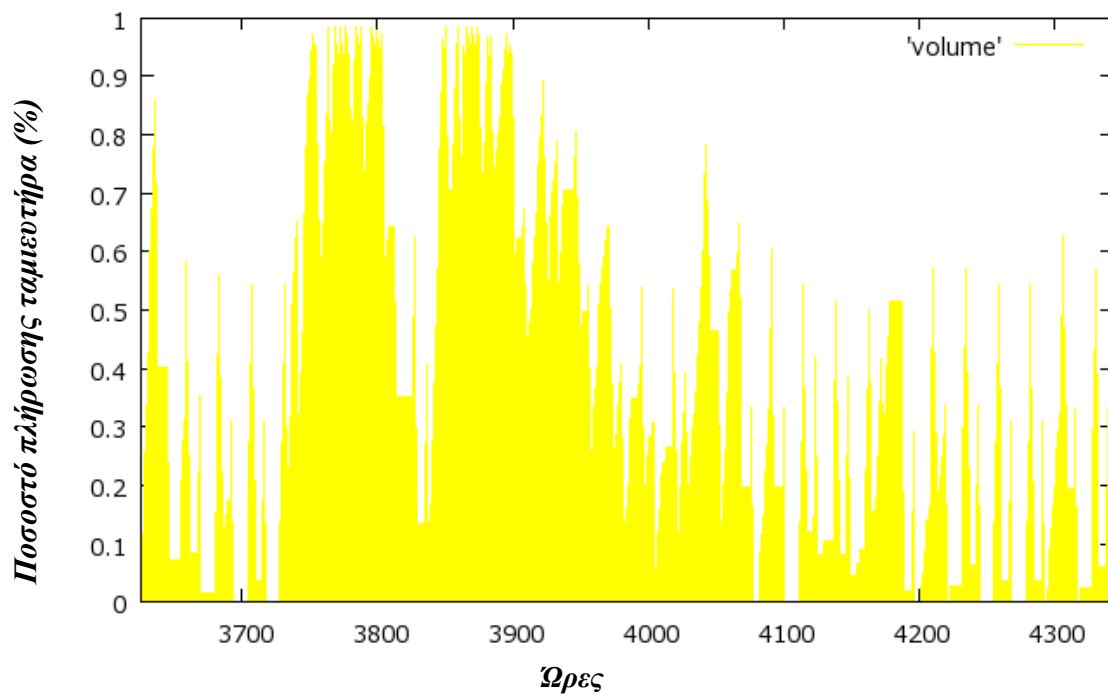
Διάγραμμα 61: Ποσοστό πλήρωσης ταμιευτήρα (1^η- 31^η Μαΐου).



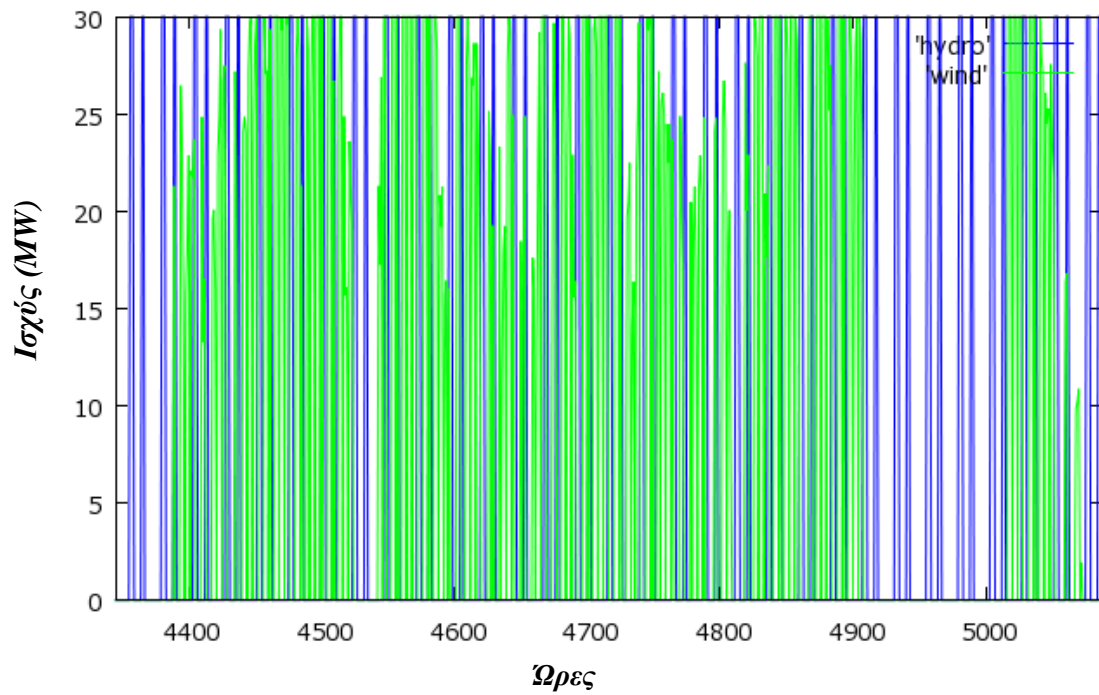
Διάγραμμα 62: Παραγωγή υδροστροβίλων και μονάδων ΑΠΕ (1^η- 30^η Ιουνίου).



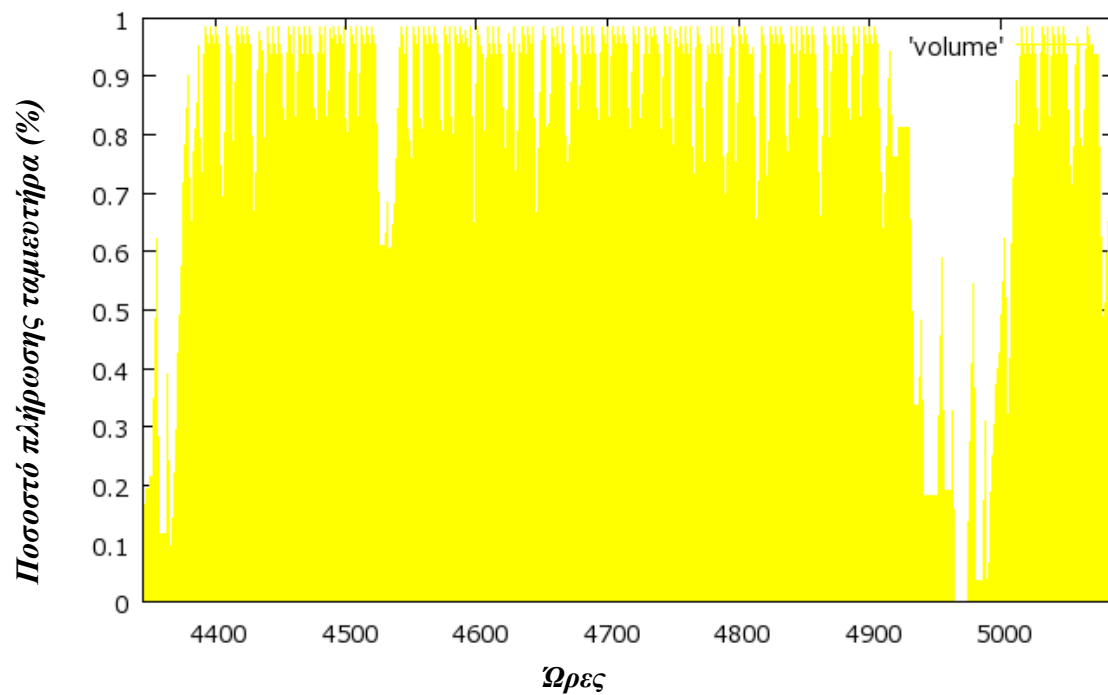
Διάγραμμα 63: Ποσοστό πλήρωσης ταμιευτήρα (1^η- 30^η Ιουνίου).



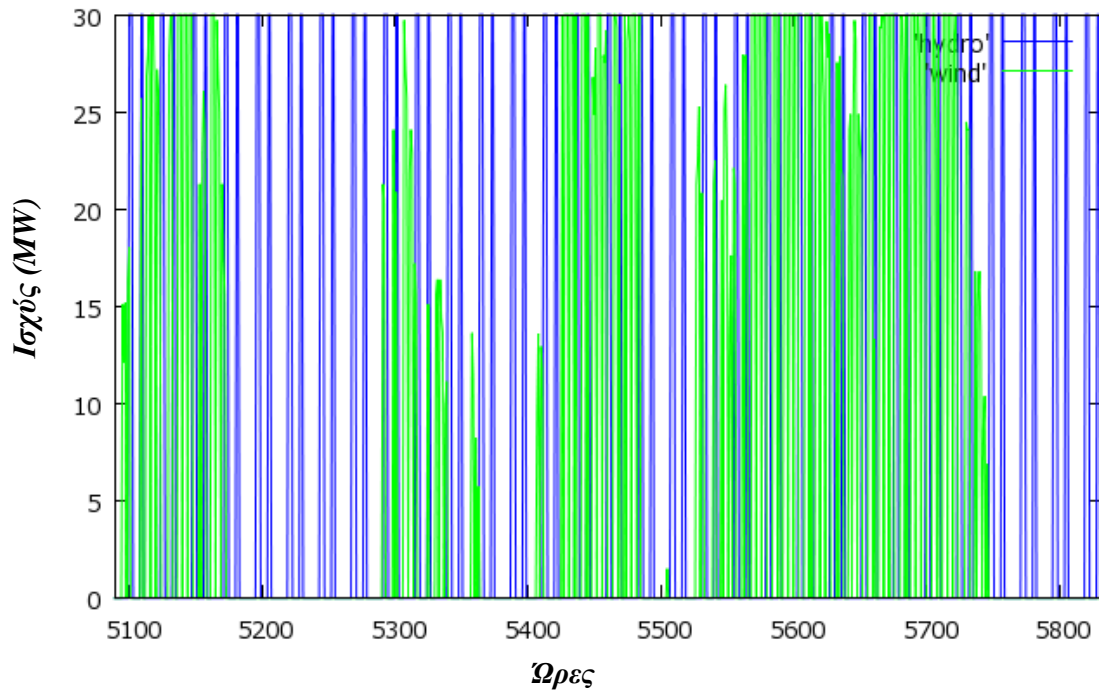
Διάγραμμα 64: Παραγωγή υδροστροβίλων και μονάδων ΑΠΕ (1^η- 31^η Ιουλίου).



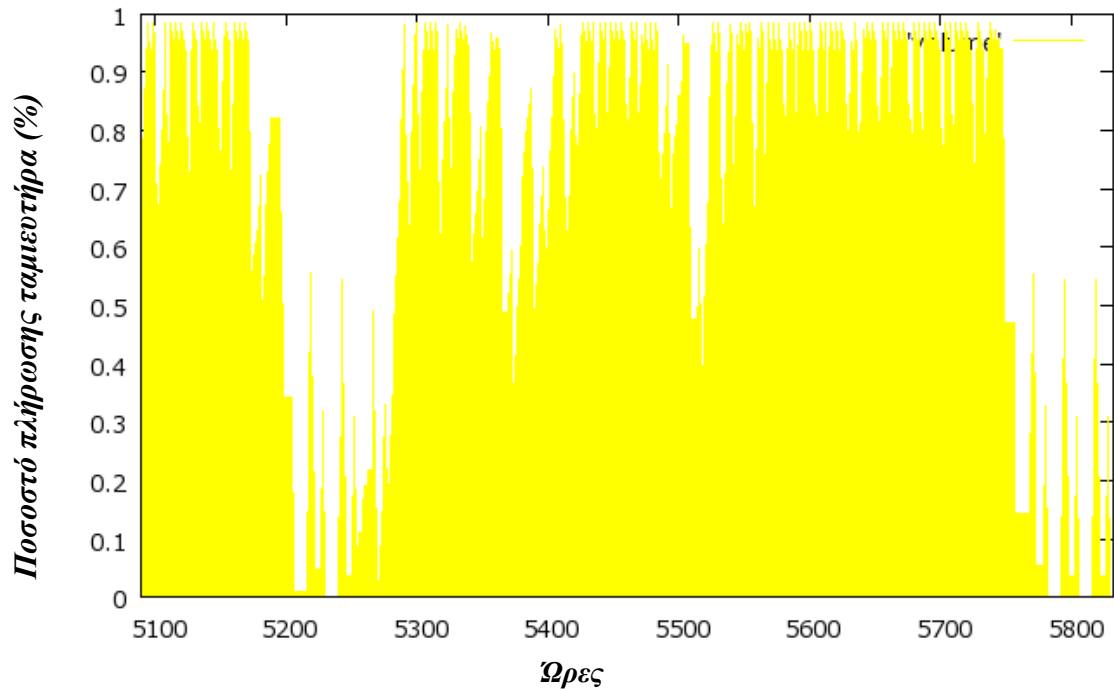
Διάγραμμα 65: Ποσοστό πλήρωσης ταμιευτήρα (1^η- 31^η Ιουλίου).



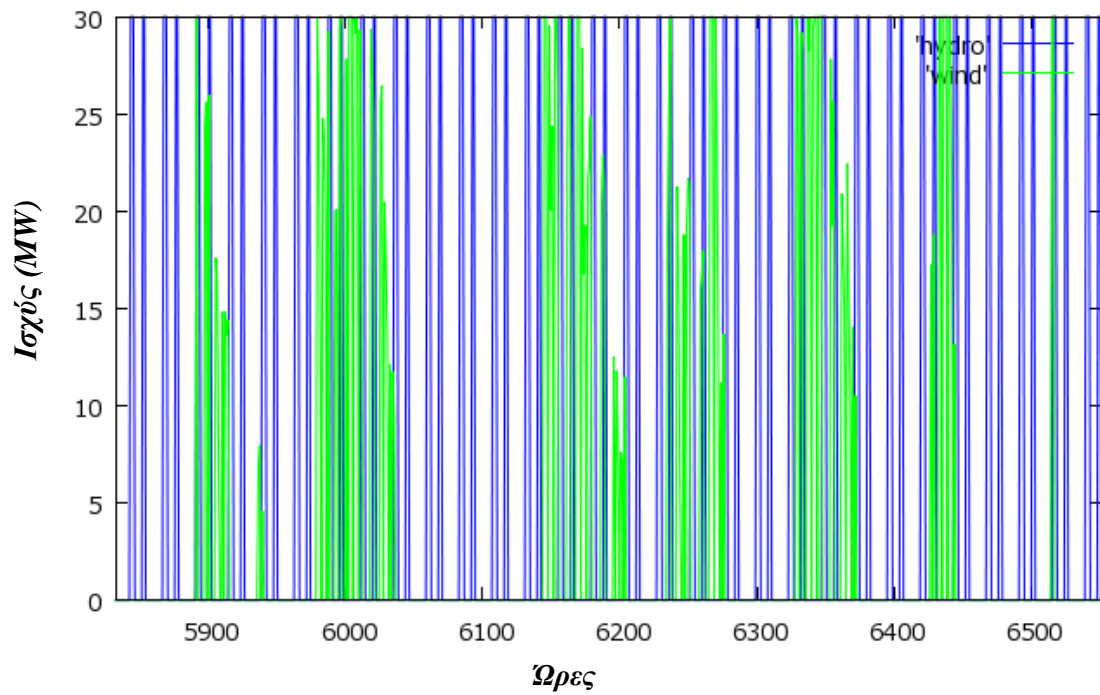
Διάγραμμα 66: Παραγωγή υδροστροβίλων και μονάδων ΑΠΕ (1^η- 31^η Αυγούστου).



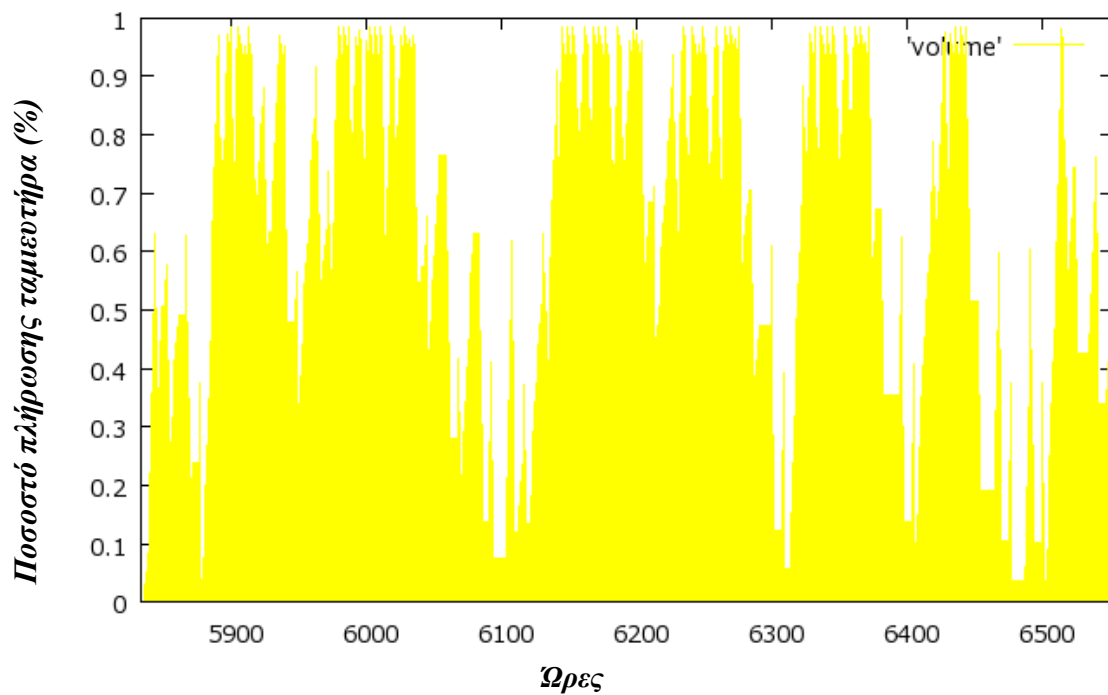
Διάγραμμα 67: Ποσοστό πλήρωσης ταμιευτήρα (1^η- 31^η Αυγούστου).



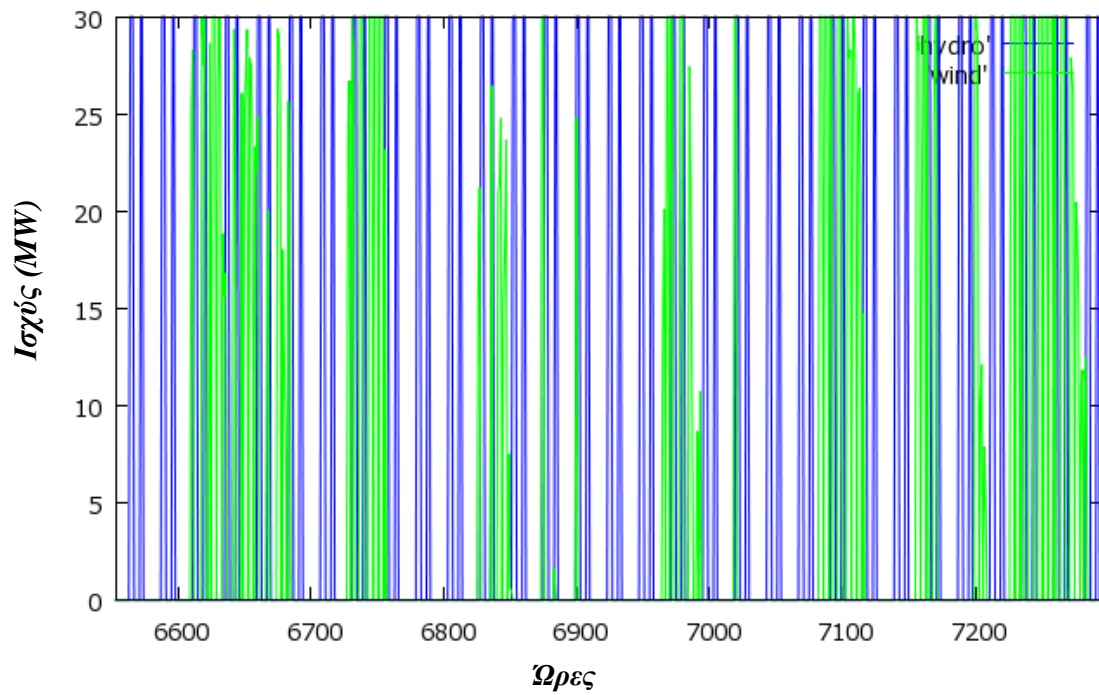
Διάγραμμα 68: Παραγωγή υδροστροβίλων και μονάδων ΑΠΕ (1^η- 30^η Σεπτεμβρίου).



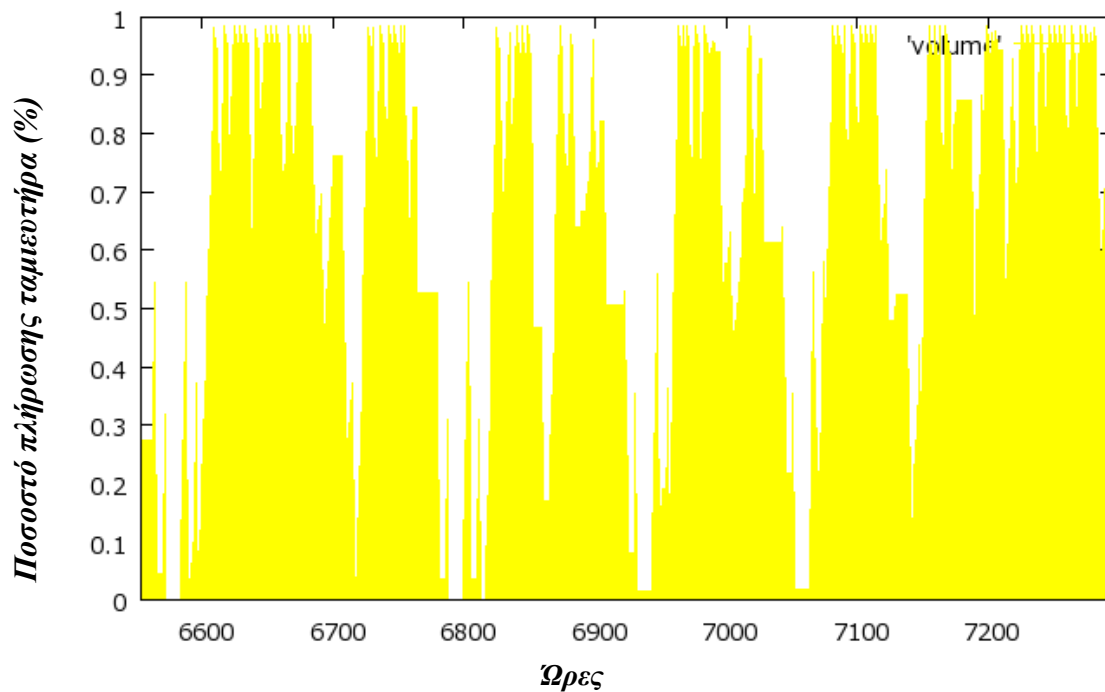
Διάγραμμα 69: Ποσοστό πλήρωσης ταμιευτήρα (1^η- 30^η Σεπτεμβρίου).



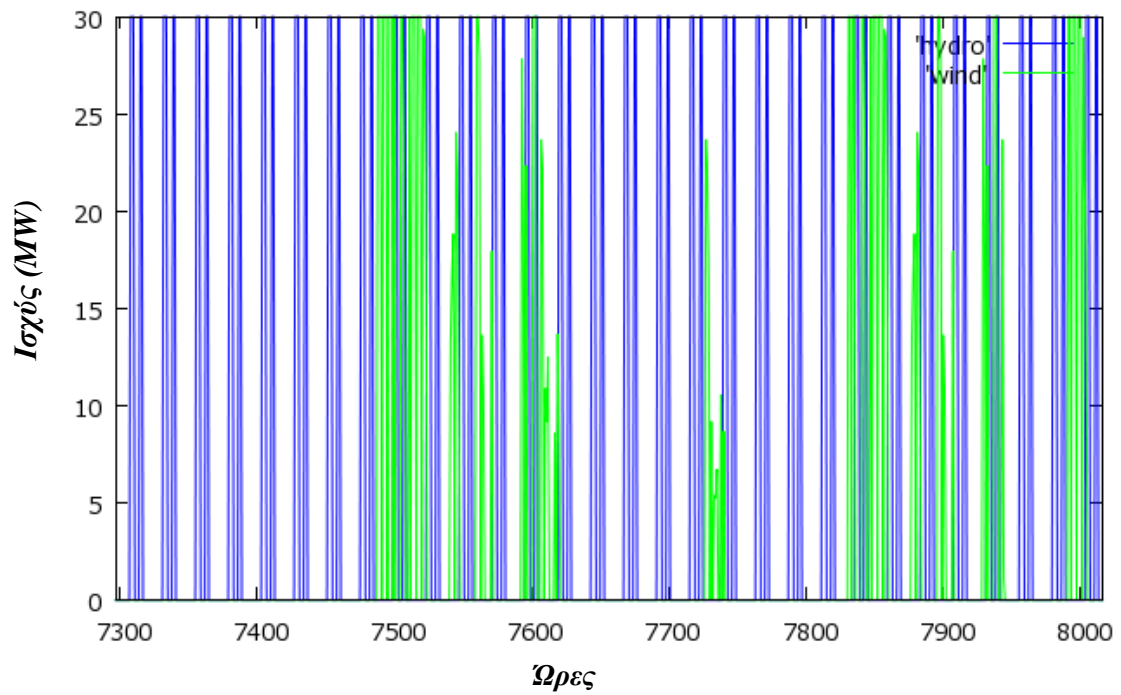
Διάγραμμα 70: Παραγωγή υδροτροβίλων και μονάδων ΑΠΕ (1^η- 31^η Οκτωβρίου).



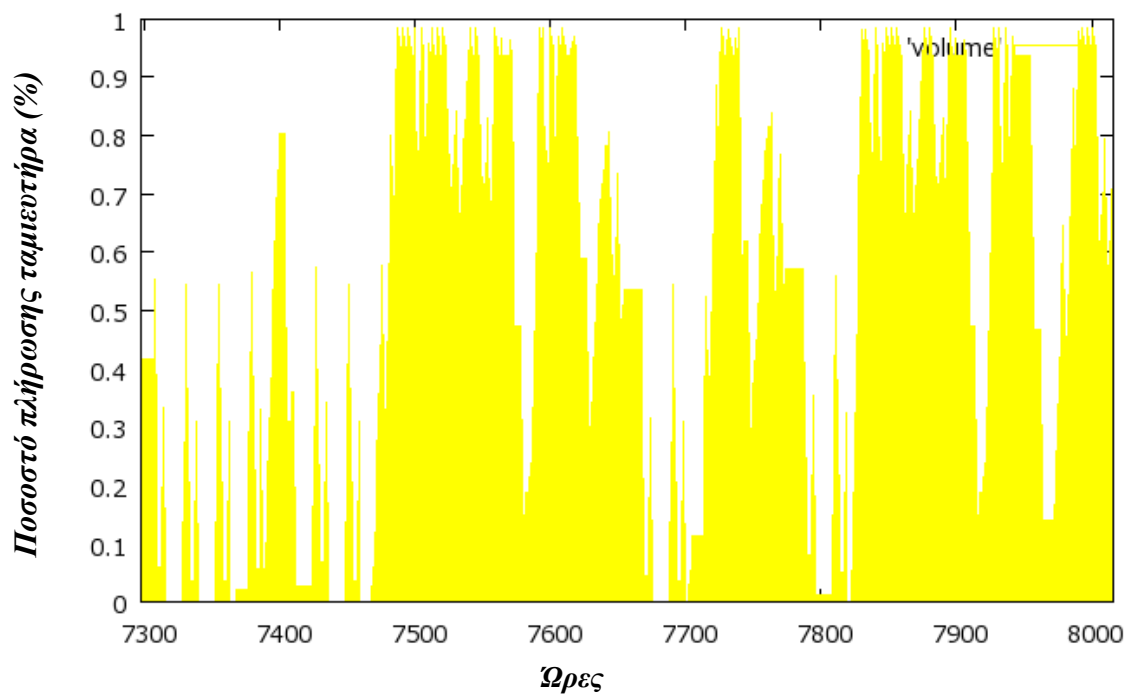
Διάγραμμα 71: Ποσοστό πλήρωσης ταμιευτήρα (1^η- 31^η Οκτωβρίου).



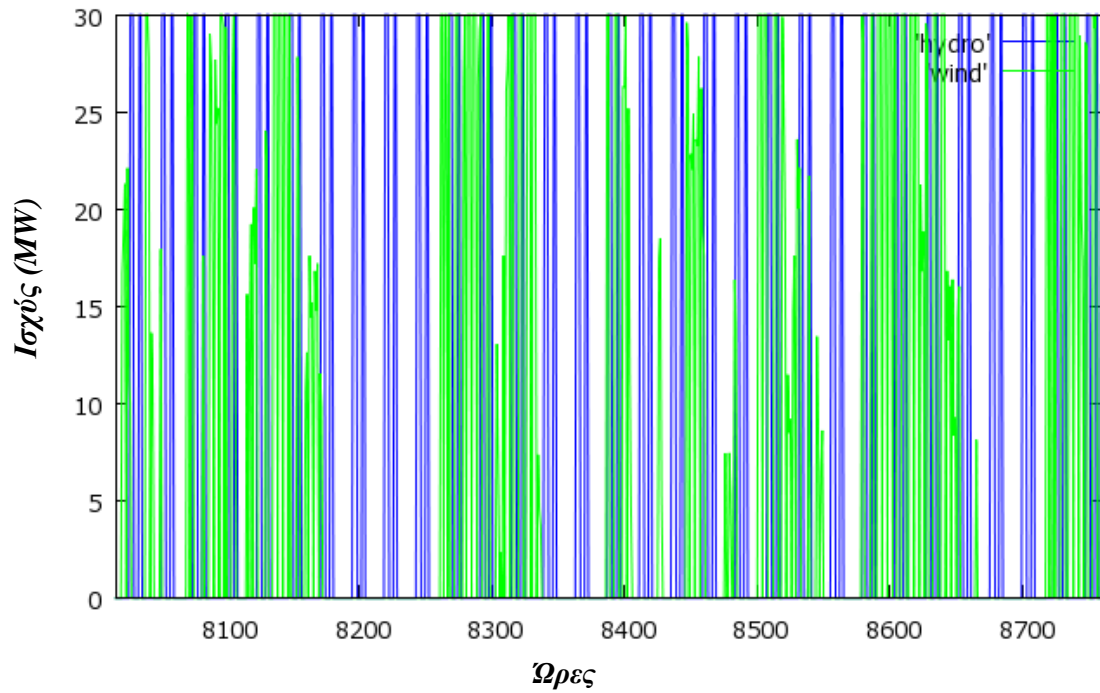
Διάγραμμα 72: Παραγωγή υδροτροβίλων και μονάδων ΑΠΕ (1^η- 30^η Νοεμβρίου).



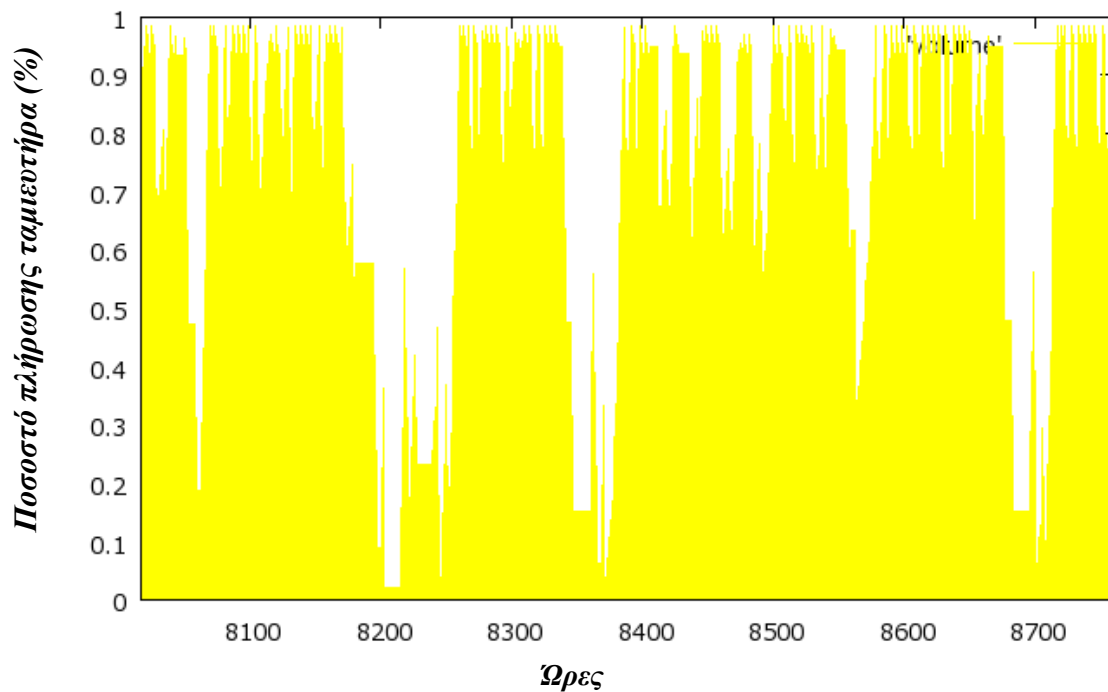
Διάγραμμα 73: Ποσοστό πλήρωσης ταμειυτήρα (1^η- 30^η Νοεμβρίου).



Διάγραμμα 74: Παραγωγή υδροστροβίλων και μονάδων ΑΠΕ (1^η- 31^η Δεκεμβρίου).

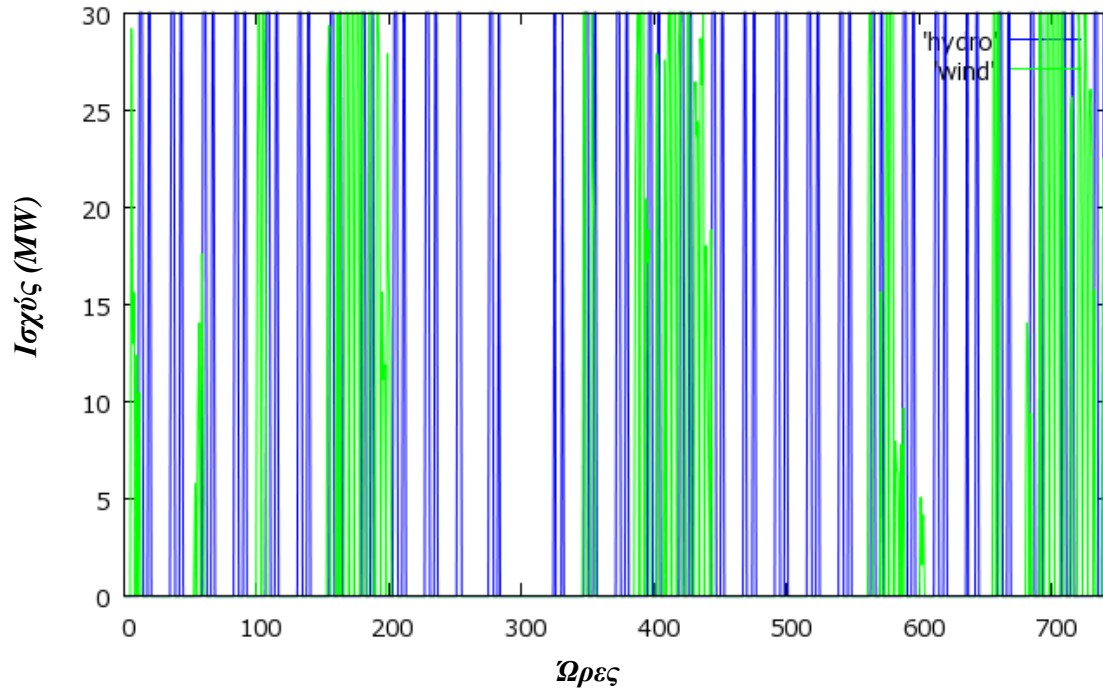


Διάγραμμα 75: Ποσοστό πλήρωσης ταμιευτήρα (1^η- 31^η Δεκεμβρίου).

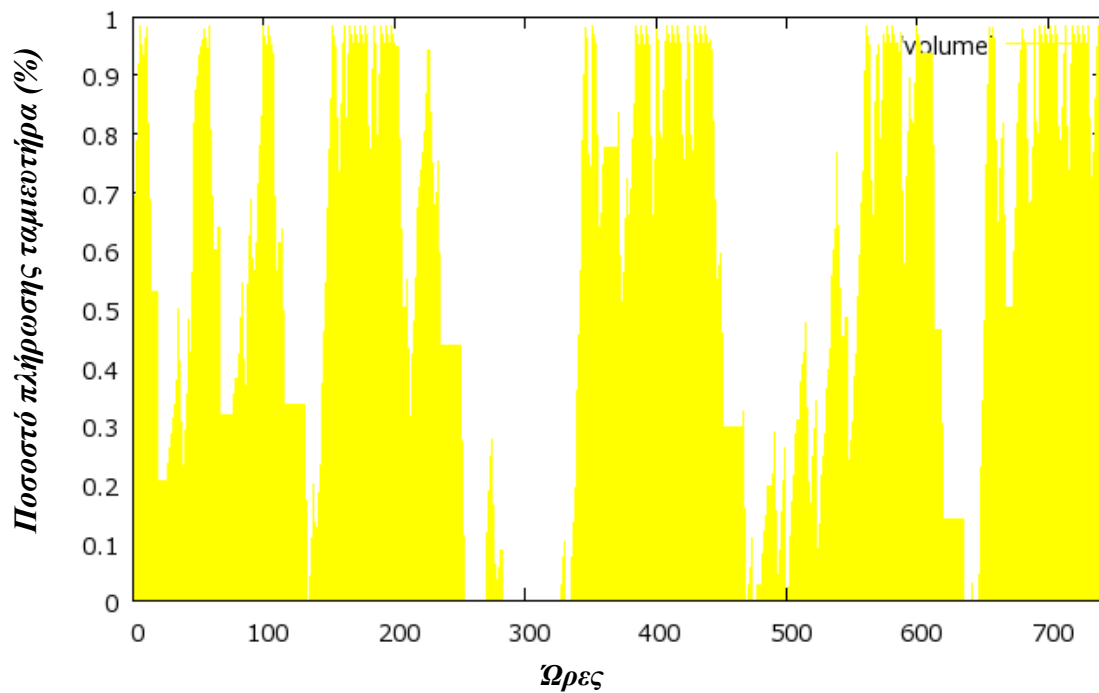


9.2.2. ΧΩΡΙΣ ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

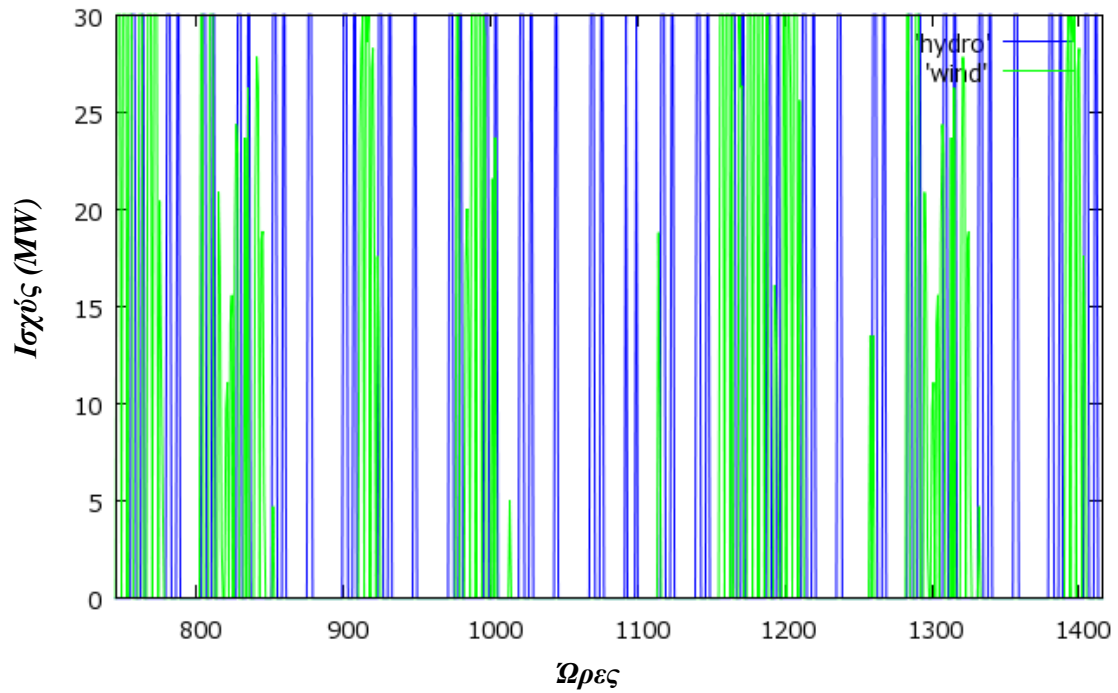
Διάγραμμα 76: Παραγωγή υδροστροβίλων και μονάδων ΑΠΕ (1^η- 31^η Ιανουαρίου).



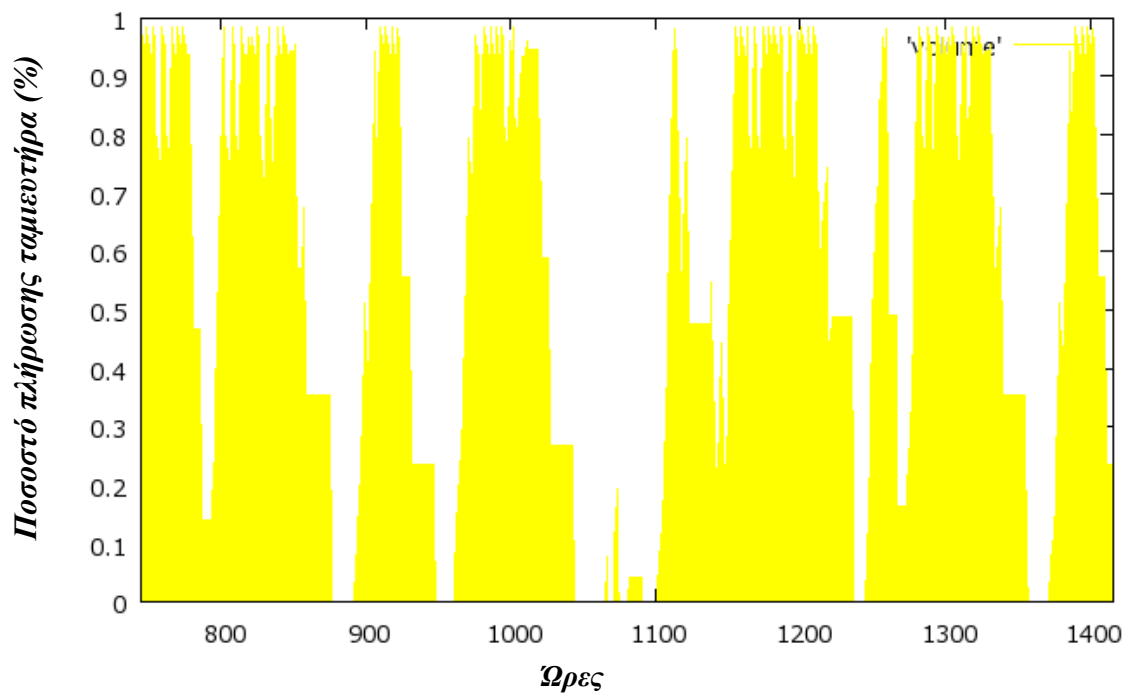
Διάγραμμα 77: Ποσοστό πλήρωσης ταμιευτήρα (1^η- 31^η Ιανουαρίου).



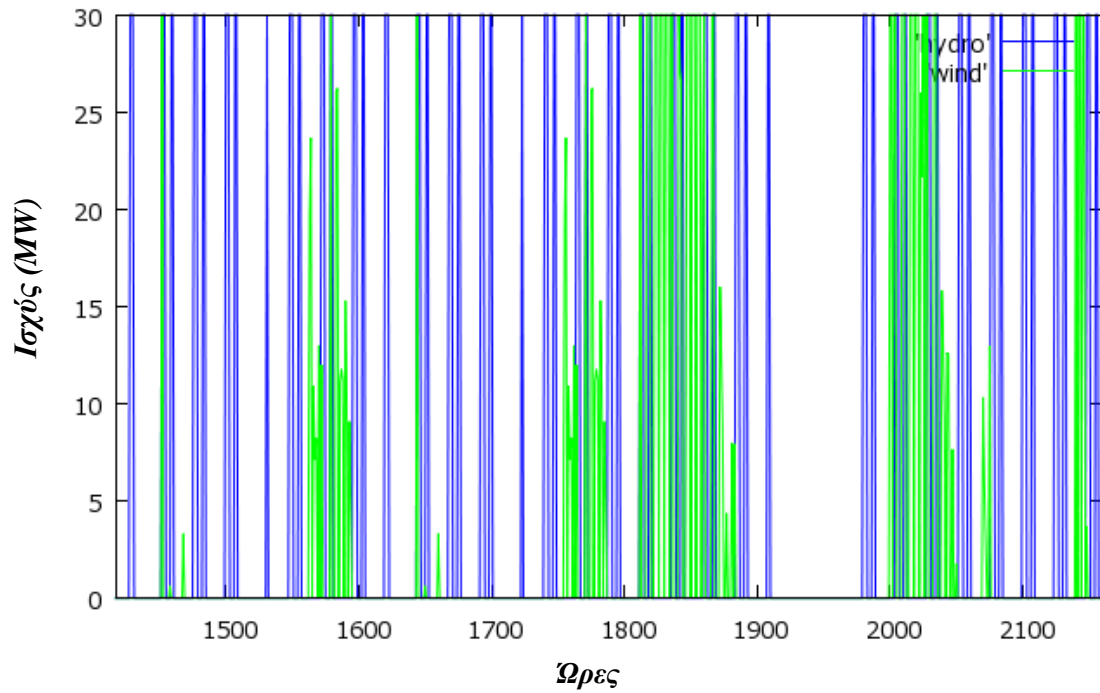
Διάγραμμα 78: Παραγωγή υδροστροβίλων και μονάδων ΑΠΕ (1^η- 28^η Φεβρουαρίου).



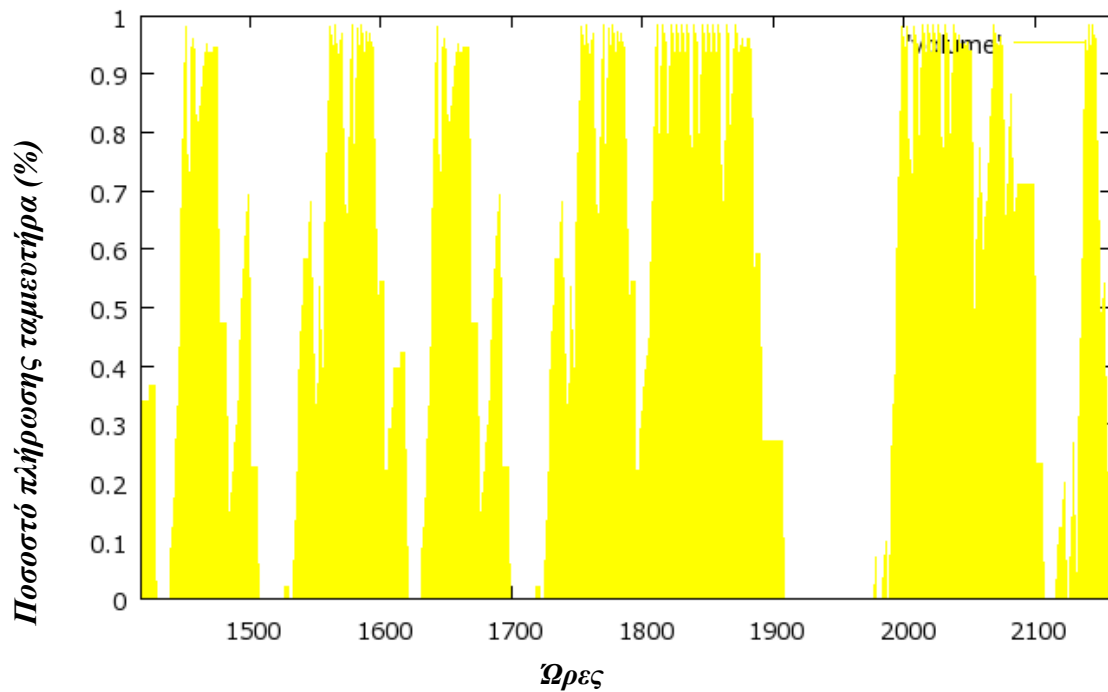
Διάγραμμα 79: Ποσοστό πλήρωσης ταμιευτήρα (1^η- 28^η Φεβρουαρίου).



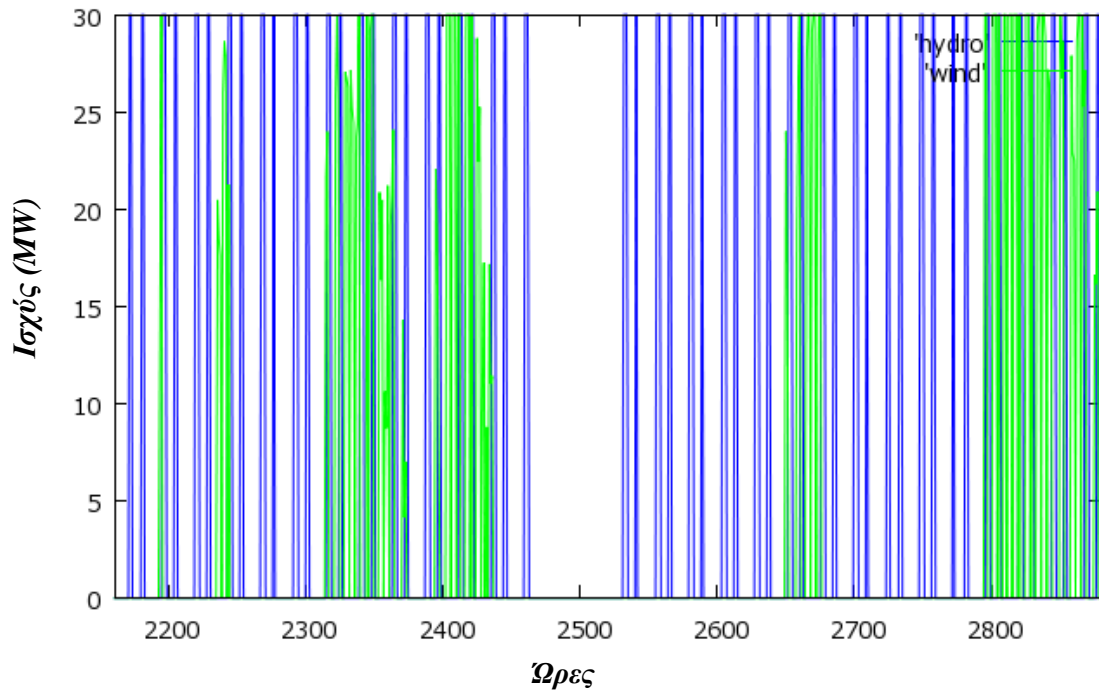
Διάγραμμα 80: Παραγωγή υδροστροβίλων και μονάδων ΑΠΕ (1^η- 31^η Μαρτίου).



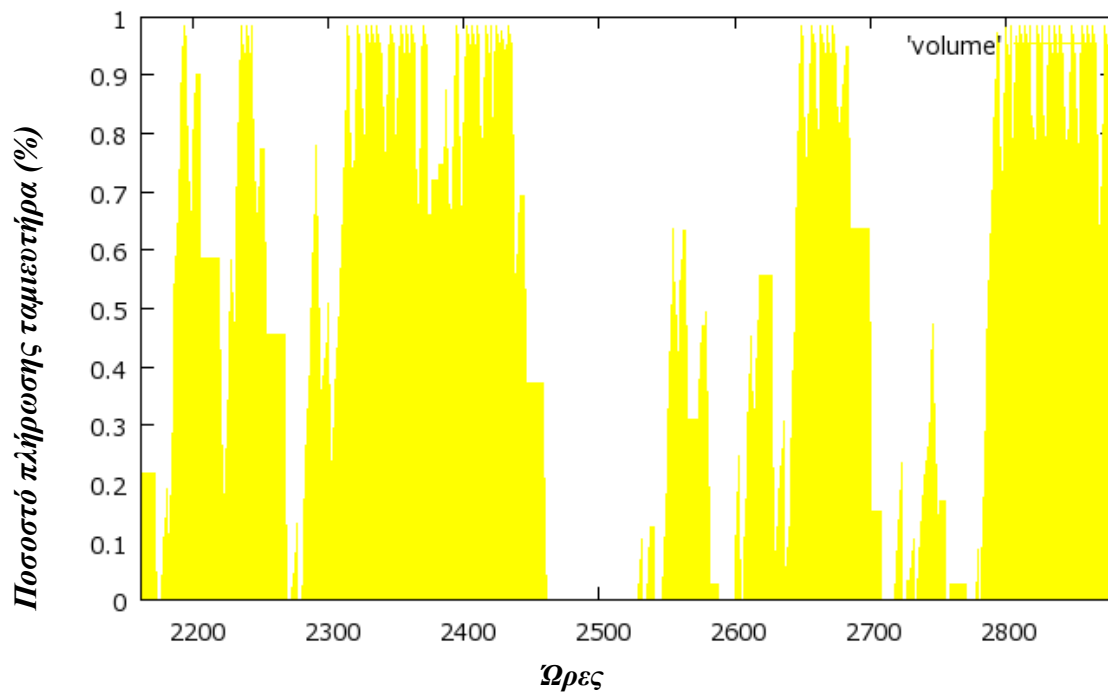
Διάγραμμα 81: Ποσοστό πλήρωσης ταμιευτήρα (1^η- 31^η Μαρτίου).



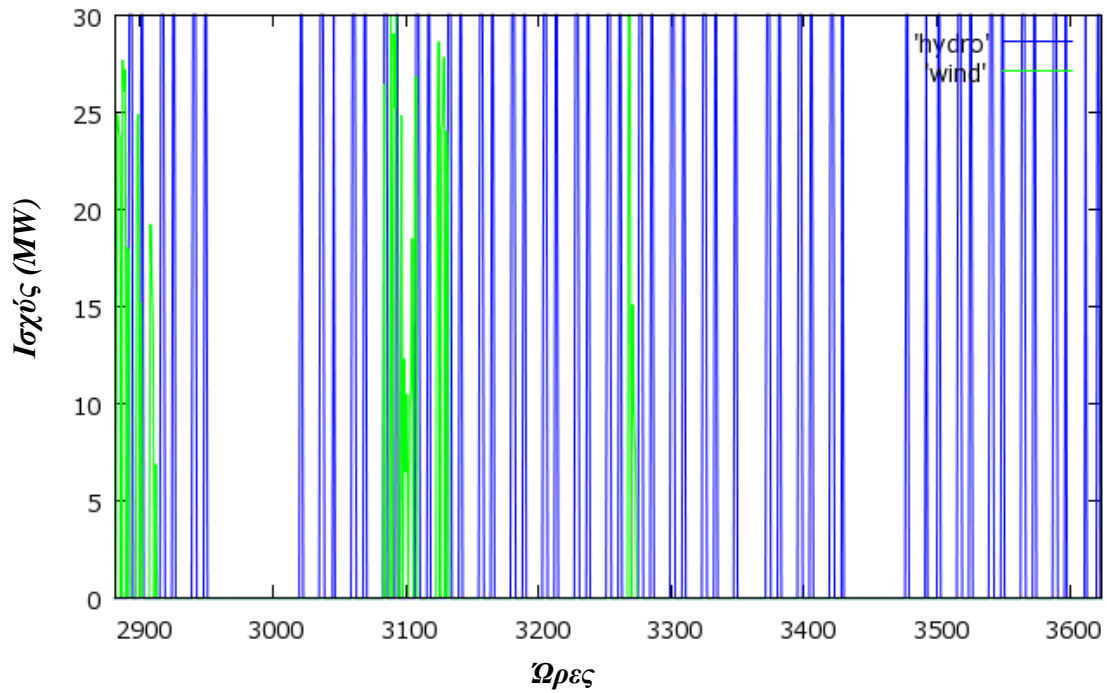
Διάγραμμα 82: Παραγωγή υδροστροβίλων και μονάδων ΑΠΕ (1^η- 30^η Απριλίου).



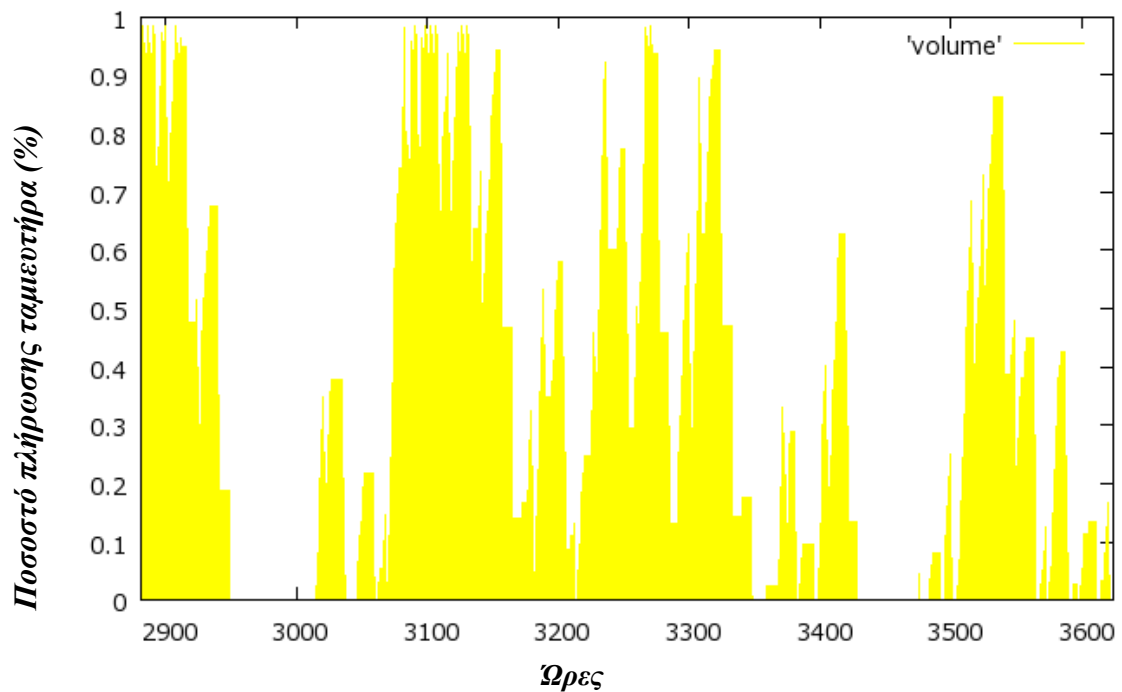
Διάγραμμα 83: Ποσοστό πλήρωσης ταμιευτήρα (1^η- 30^η Απριλίου).



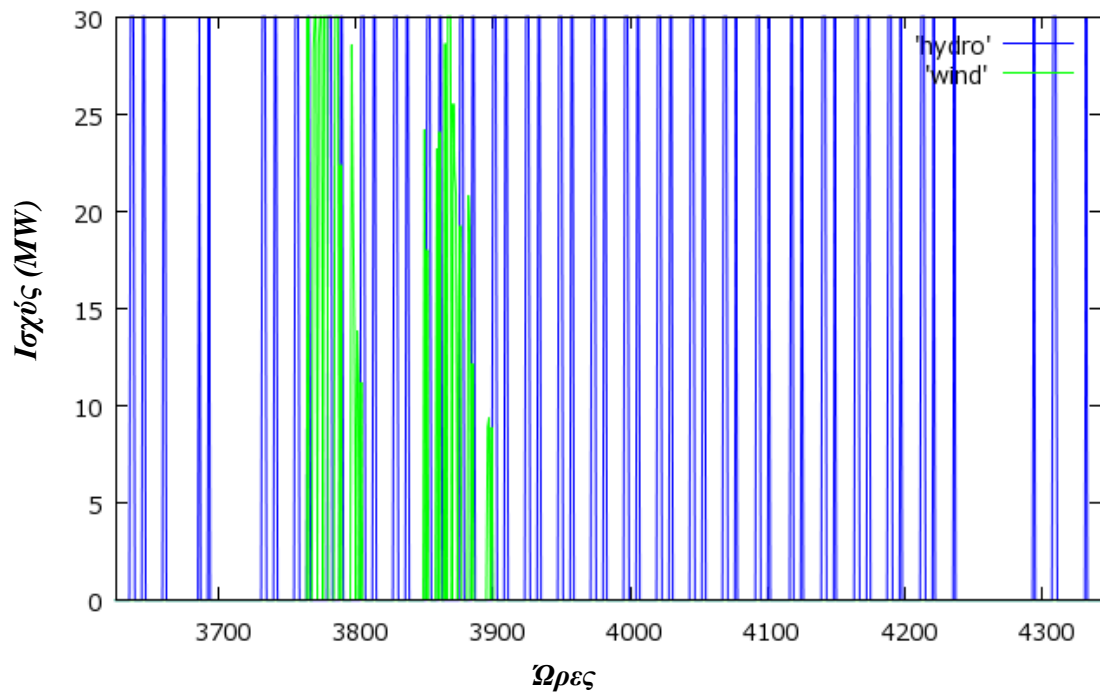
Διάγραμμα 84: Παραγωγή υδροστροβίλων και μονάδων ΑΠΕ (1^η- 31^η Μαΐου).



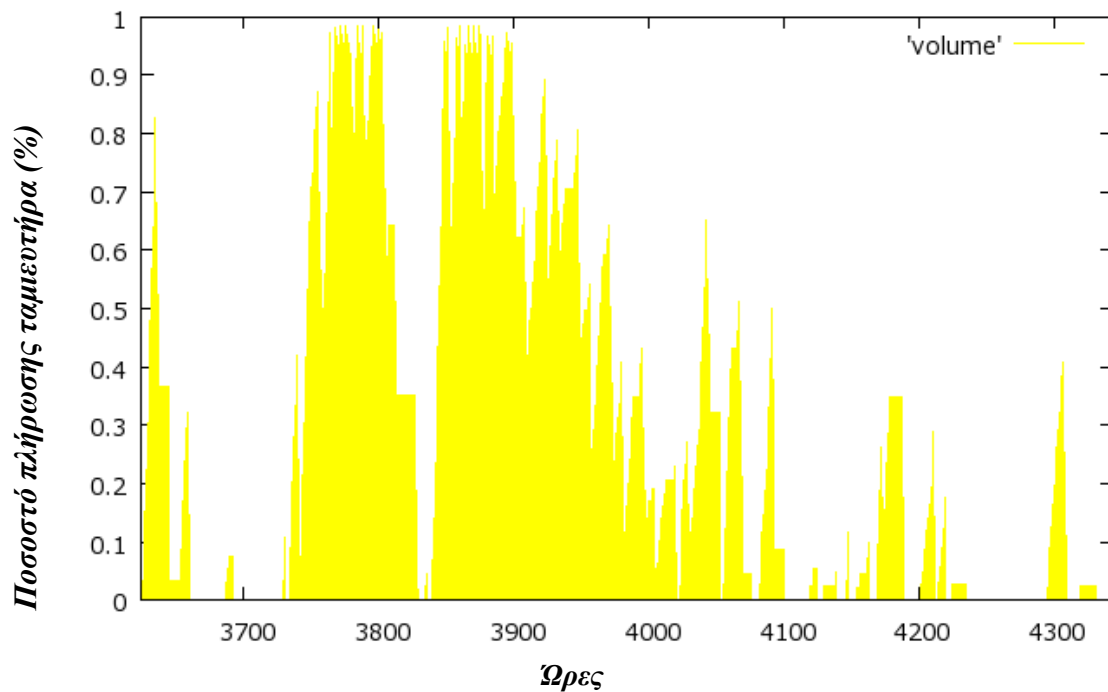
Διάγραμμα 85: Ποσοστό πλήρωσης ταμιευτήρα (1^η- 31^η Μαΐου).



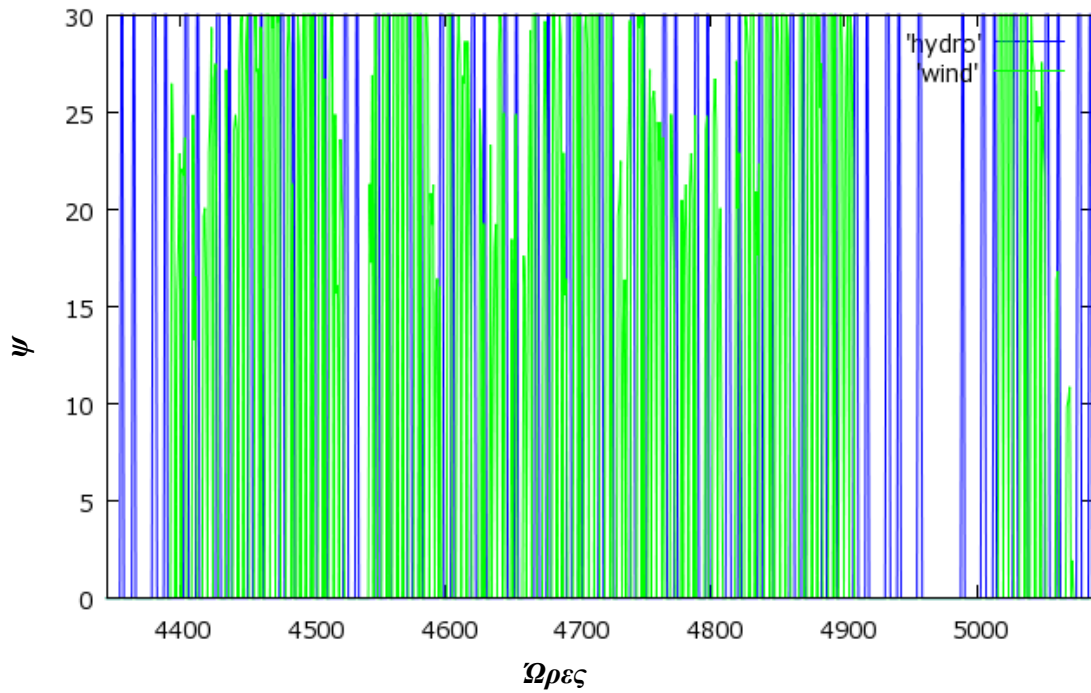
Διάγραμμα 86: Παραγωγή υδροστροβίλων και μονάδων ΑΠΕ (1^η- 30^η Ιουνίου).



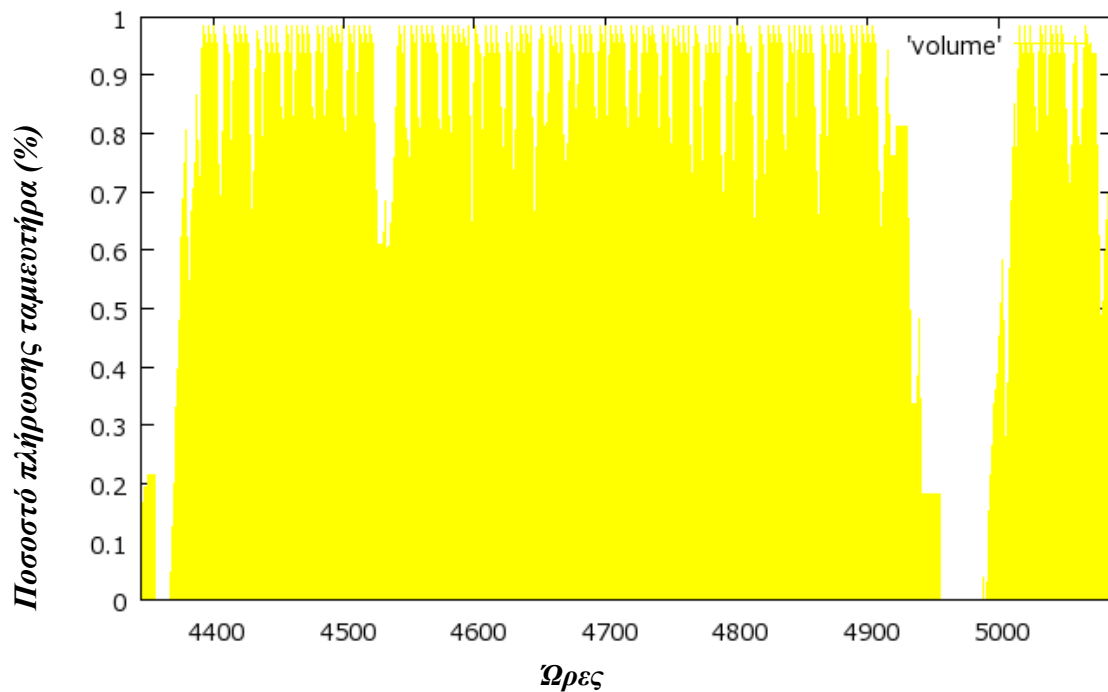
Διάγραμμα 87: Ποσοστό πλήρωσης ταμιευτήρα (1^η- 30^η Ιουνίου).



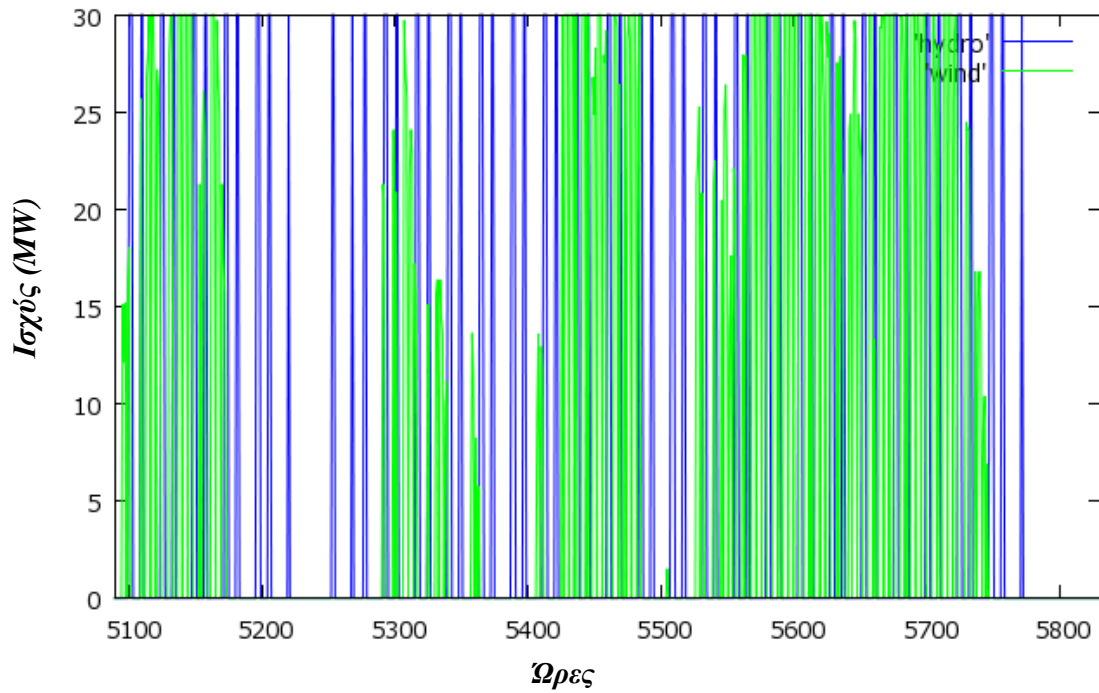
Διάγραμμα 88: Παραγωγή υδροστροβίλων και μονάδων ΑΠΕ (1^η- 31^η Ιουλίου).



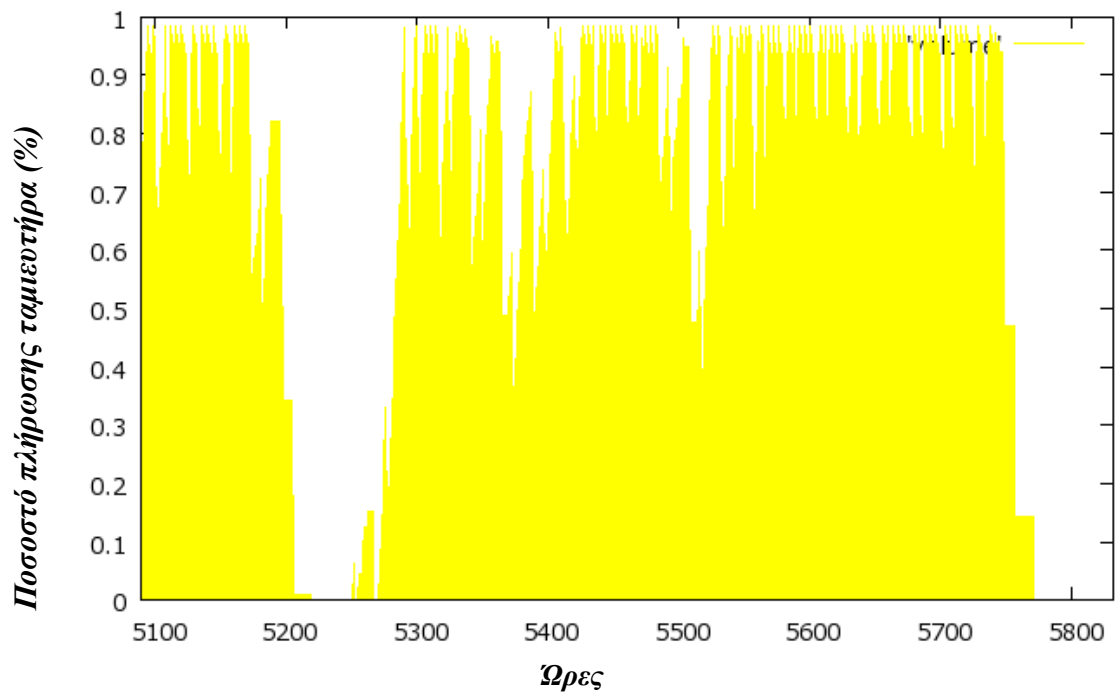
Διάγραμμα 89: Ποσοστό πλήρωσης ταμιευτήρα (1^η- 31^η Ιουλίου).



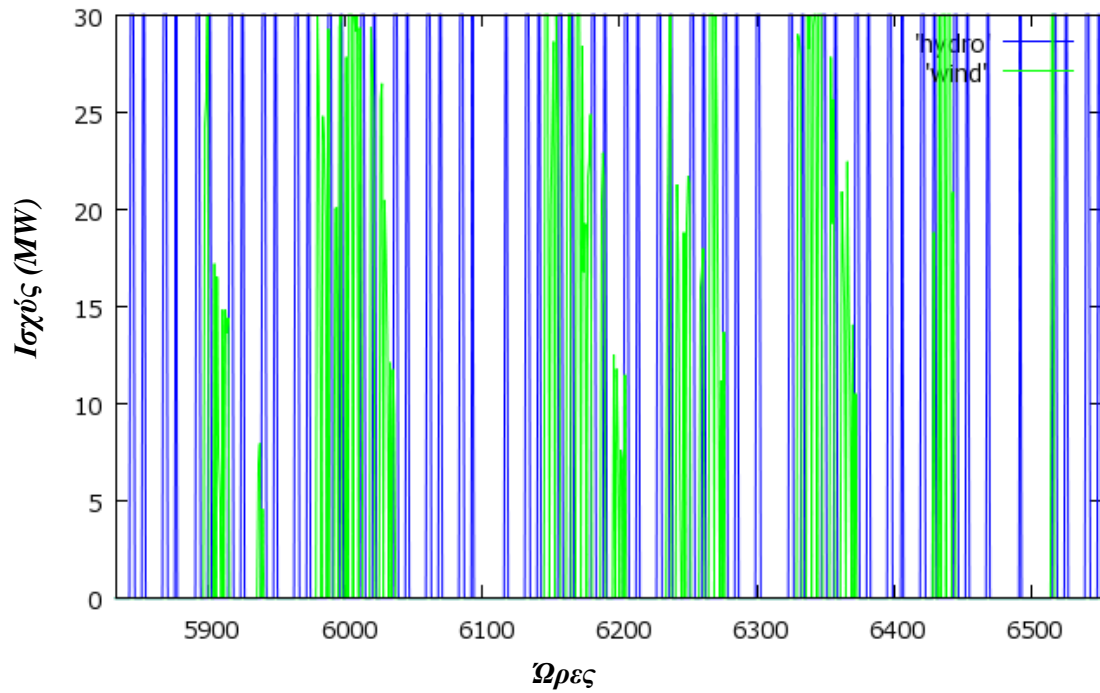
Διάγραμμα 90: Παραγωγή υδροστροβίλων και μονάδων ΑΠΕ (1^η- 31^η Αυγούστου).



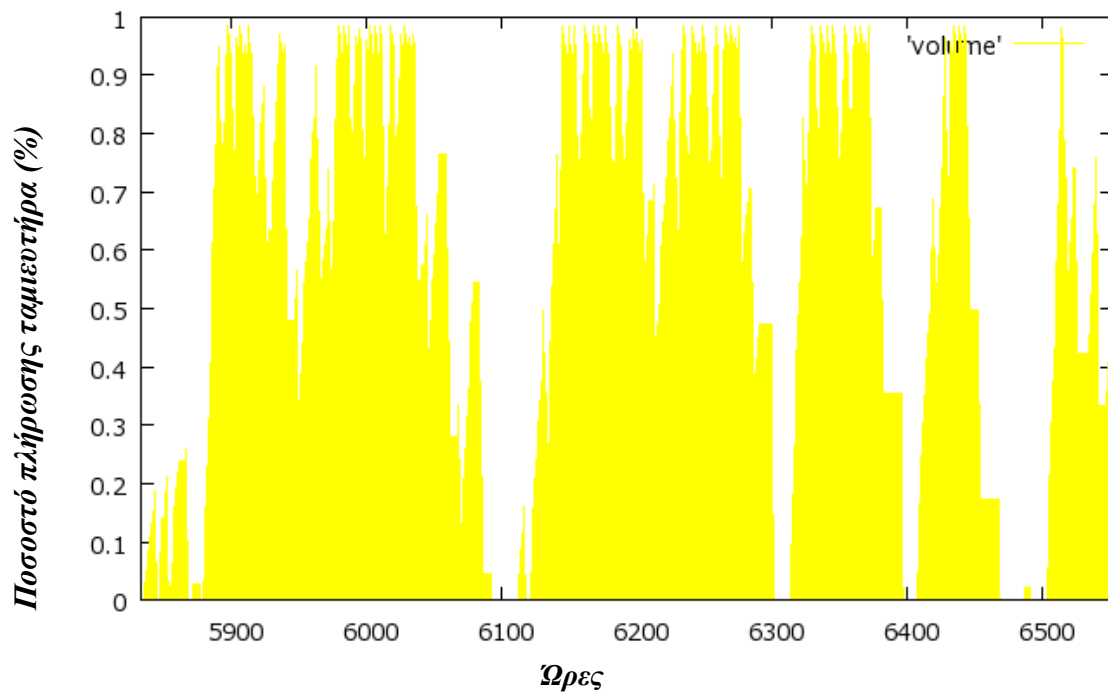
Διάγραμμα 91: Ποσοστό πλήρωσης ταμιευτήρα (1^η- 31^η Αυγούστου).



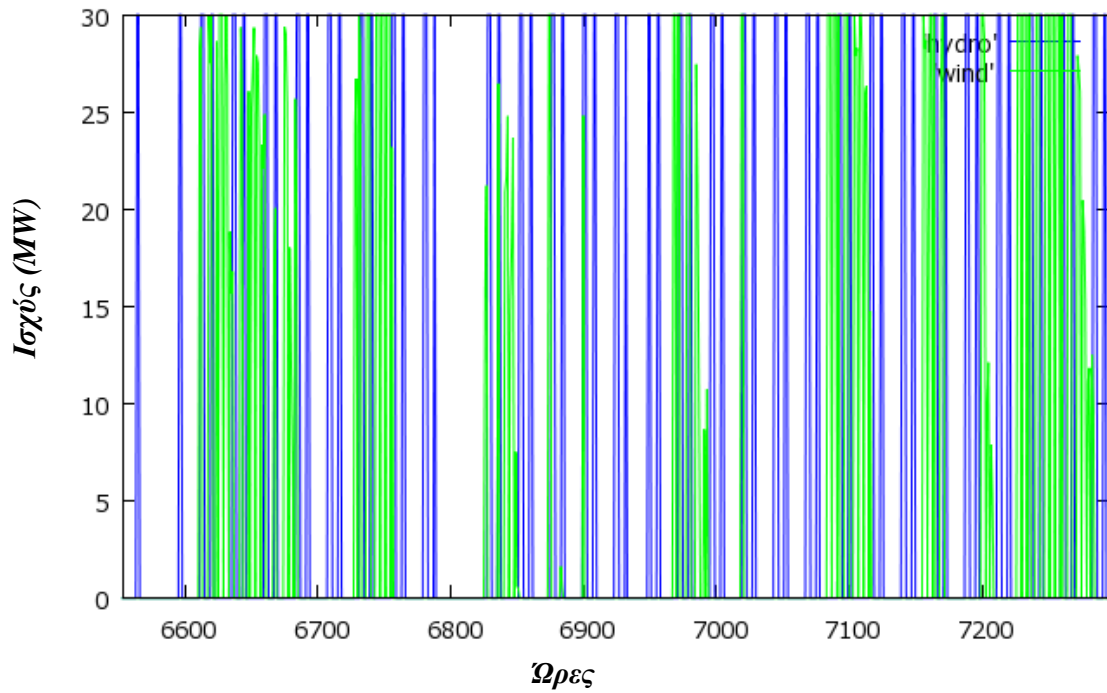
Διάγραμμα 92: Παραγωγή υδροστροβίλων και μονάδων ΑΠΕ (1^η- 30^η Σεπτεμβρίου).



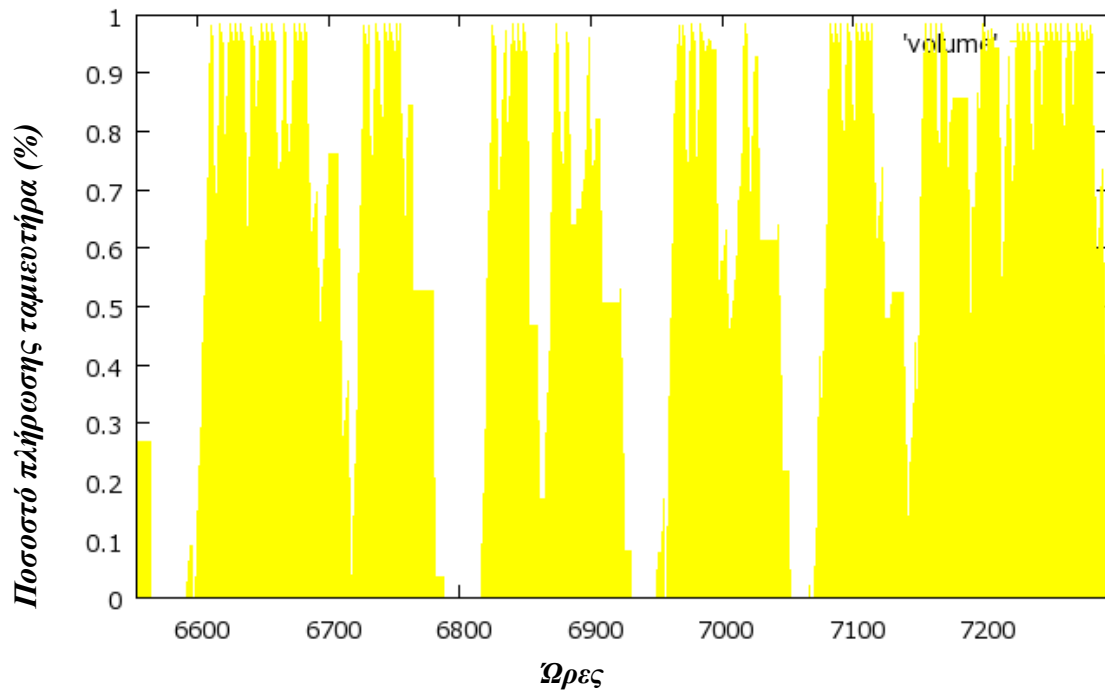
Διάγραμμα 93: Ποσοστό πλήρωσης ταμιευτήρα (1^η- 30^η Σεπτεμβρίου).



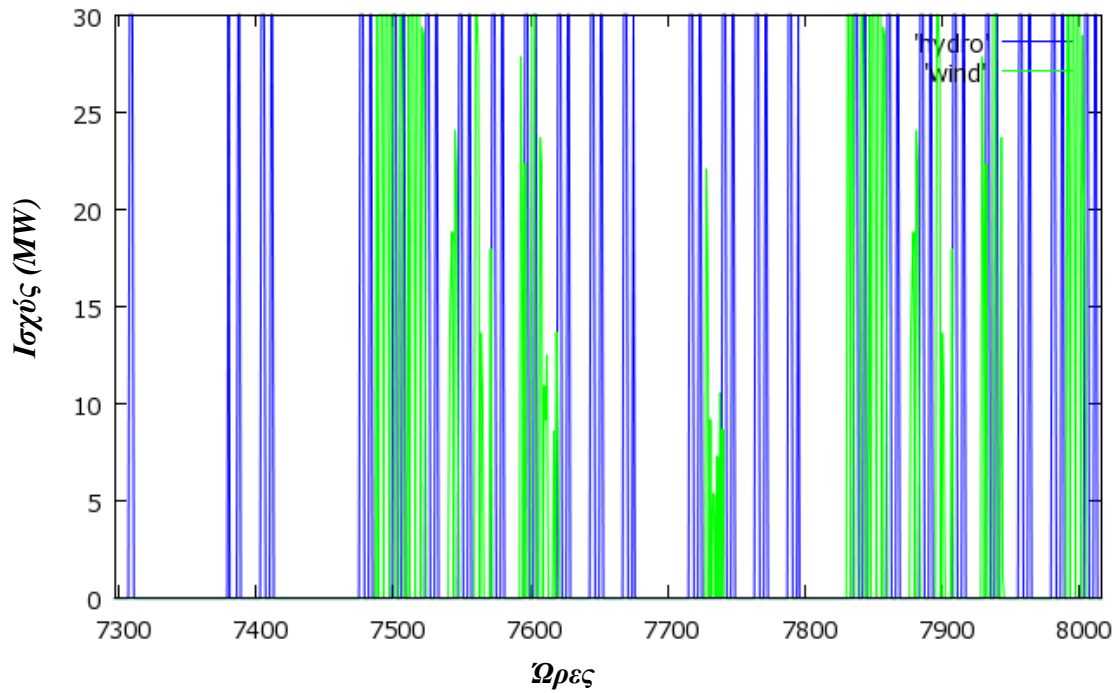
Διάγραμμα 94: Παραγωγή υδροστροβίλων και μονάδων ΑΠΕ (1^η- 31^η Οκτωβρίου).



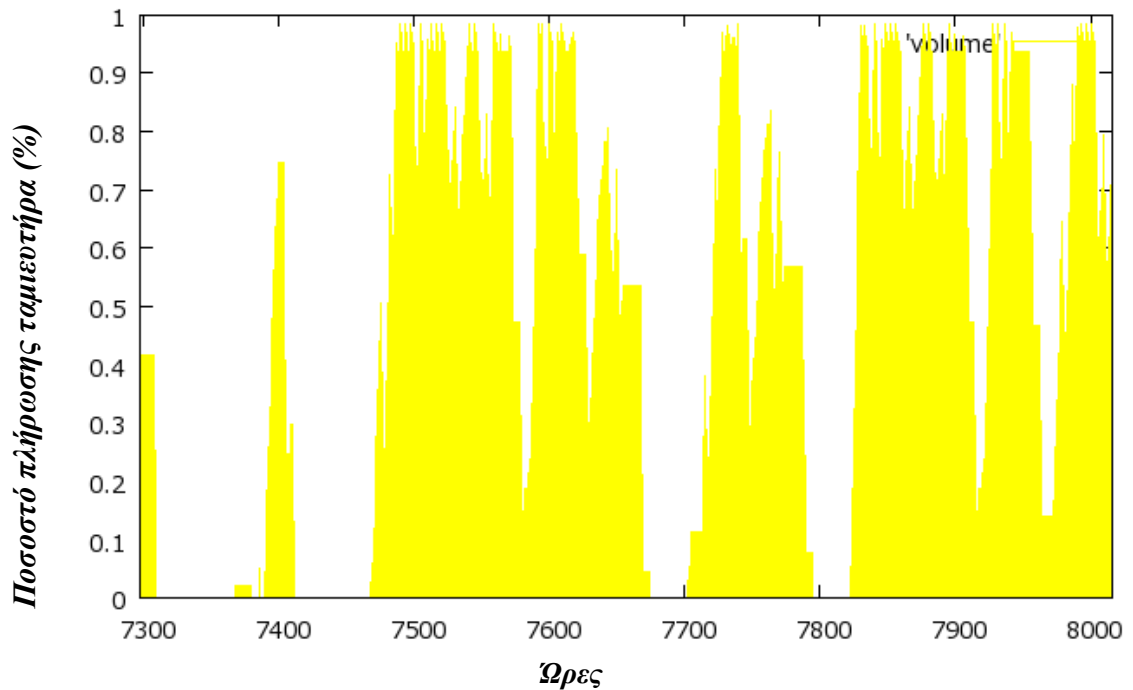
Διάγραμμα 95: Ποσοστό πλήρωσης ταμιευτήρα (1^η- 31^η Οκτωβρίου).



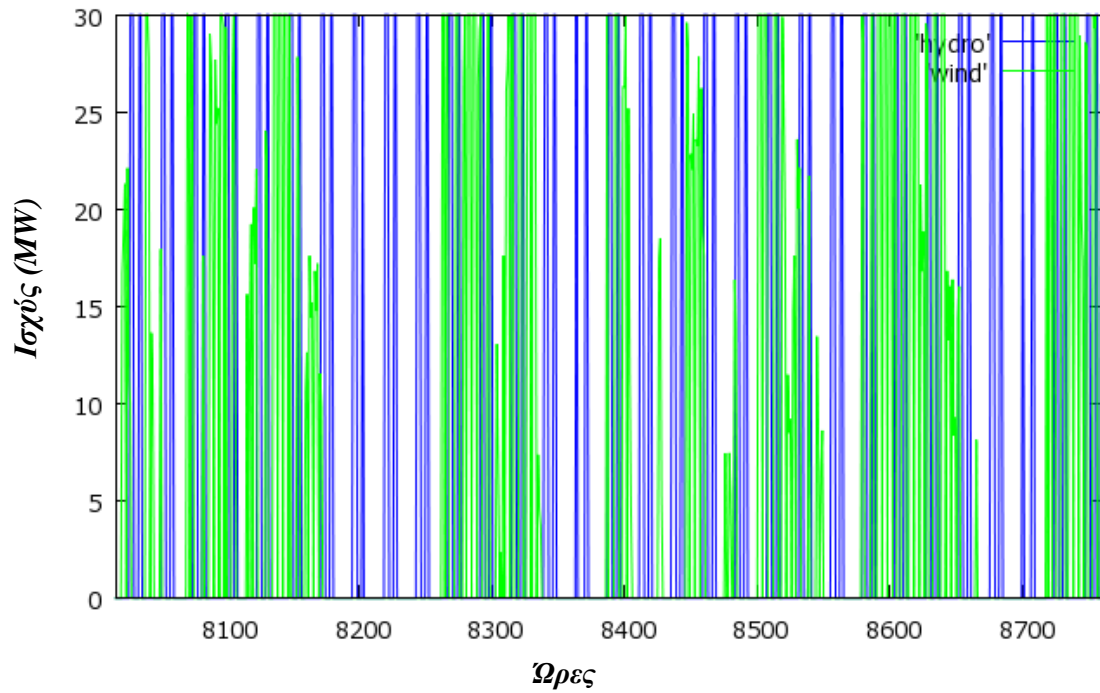
Διάγραμμα 96: Παραγωγή υδροστροβίλων και μονάδων ΑΠΕ (1^η- 30^η Νοεμβρίου).



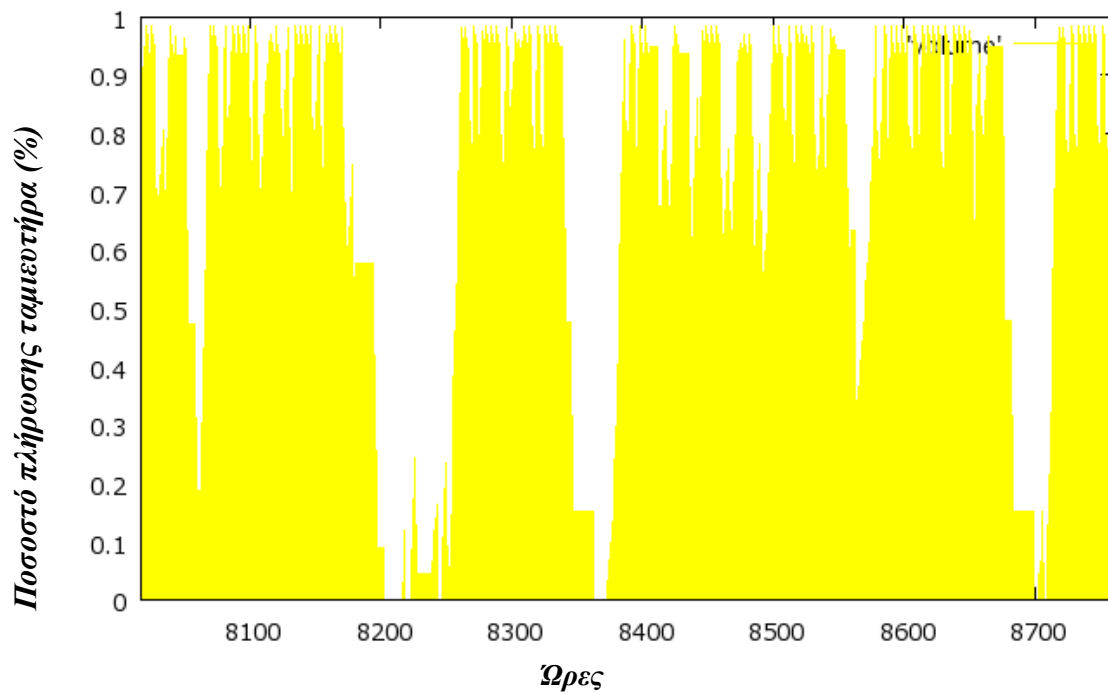
Διάγραμμα 97: Ποσοστό πλήρωσης ταμιευτήρα (1^η- 30^η Νοεμβρίου).



Διάγραμμα 98: Παραγωγή υδροστροβίλων και μονάδων ΑΠΕ (1^η- 31^η Δεκεμβρίου).



Διάγραμμα 99: Ποσοστό πλήρωσης ταμιευτήρα (1^η- 31^η Δεκεμβρίου).



9.2.3. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Όπως προκύπτει από τη μηνιαία ανάλυση των αποτελεσμάτων, αλλά και από τα αποτελέσματα του ακόλουθου συγκεντρωτικού πίνακα, ο σχεδιασμός αυτός είναι ενεργειακά αλλά και οικονομικά βελτιωμένος. Πιο συγκεκριμένα, το ποσοστό πλήρωσης του άνω ταμιευτήρα είναι υψηλό για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα μέσα στο έτος προσομοίωσης, με αποτέλεσμα το ποσοστό κάλυψης της εγγυημένης ενέργειας να προσεγγίζει το 100% (99,30% στην περίπτωση εισαγωγής ενέργειας και 81,30% στην περίπτωση μη εισαγωγής). Η αξιοποιούμενη αιολική ενέργεια είναι αρκετά μεγαλύτερη και η συνολική παραγωγή του αυξήθηκε. Κατά συνέπεια, τα συνολικά ετήσια κέρδη του σταθμού είναι εμφανώς βελτιωμένα και στις δύο περιπτώσεις: 21.430.405,35€ με εισαγωγή και 21.674.574,25€ χωρίς εισαγωγή ενέργειας από το δίκτυο. Έτσι, το σύνθετο αυτό σχήμα μιας αναστρέψιμης μονάδας και τεσσάρων αντλιών αποδεικνύεται καταλληλότερο και αποδοτικότερο, τόσο ενεργειακά όσο και τεχνικοοικονομικά.

Πίνακας 8: Συγκεντρωτικός πίνακας για σχήμα με μια αναστρέψιμη μηχανή και 4 αντλίες.

	ΟΚΙΝΑWA 2α	ΟΚΙΝΑWA 2β
	<i>(ΜΕ ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ)</i>	<i>(ΧΩΡΙΣ ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ)</i>
Εγγυημένη ισχύς ΥΣ (kW)	30.000	30.000
Συνολική Παραγόμενη Ενέργεια Α/Π ΥΣ (MWh)	126.3	126.359
Συνολική Παραγόμενη Ενέργεια ΥΣ (MWh)	96.404	85.928
Παραγωγή υδροστροβίλου ΥΣ (MWh)	54.390	44.536
Παραγωγή μονάδων ΑΠΕ του ΥΣ (MWh)	42.015	41.392
Συνολική Αποθηκευμένη Ενέργεια (MWh)	77.099	64.231
Ενέργεια που απορροφάται από το δίκτυο (MWh)	14.410	0
Ποσοστό κάλυψης εγγυημένης ενέργειας (%)	99,30%	81,30%
Βαθμός Απόδοσης ΥΣ (%)	76,29%	68,00%
Βαθμός Εκμετάλλευσης Αιολικού Πάρκου (%)	82,99%	82,90%
Βαθμός απόδοσης συστήματος αντλιοσταμείωσης (%)	70,55%	69,34%
Capacity Factor Α/Π στον ΥΣ (%)	45,32%	40,19%
Τιμή παραγόμενης ενέργειας υδροστροβίλων του ΥΣ (€/MWh)	236,00	236,00
Τιμή απορροφούμενης για άντληση ενέργειας (€/MWh)	186,00	186,00
Τιμή παραγόμενης ενέργειας Α/Π του ΥΣ (€/MWh)	177,67	177,67
Τιμή διαθεσιμότητας ισχύος ΥΣ (€/kW)	127,00	127,00
Ετήσια Έσοδα ΥΣ (€)	24.110.722,64	21.674.574,25
Ετήσια Έξοδα ΥΣ (€)	2.680.317,29	0,00
Συνολικό ετήσιο κέρδος ΥΣ (€)	21.430.405,35	21.674.574,25

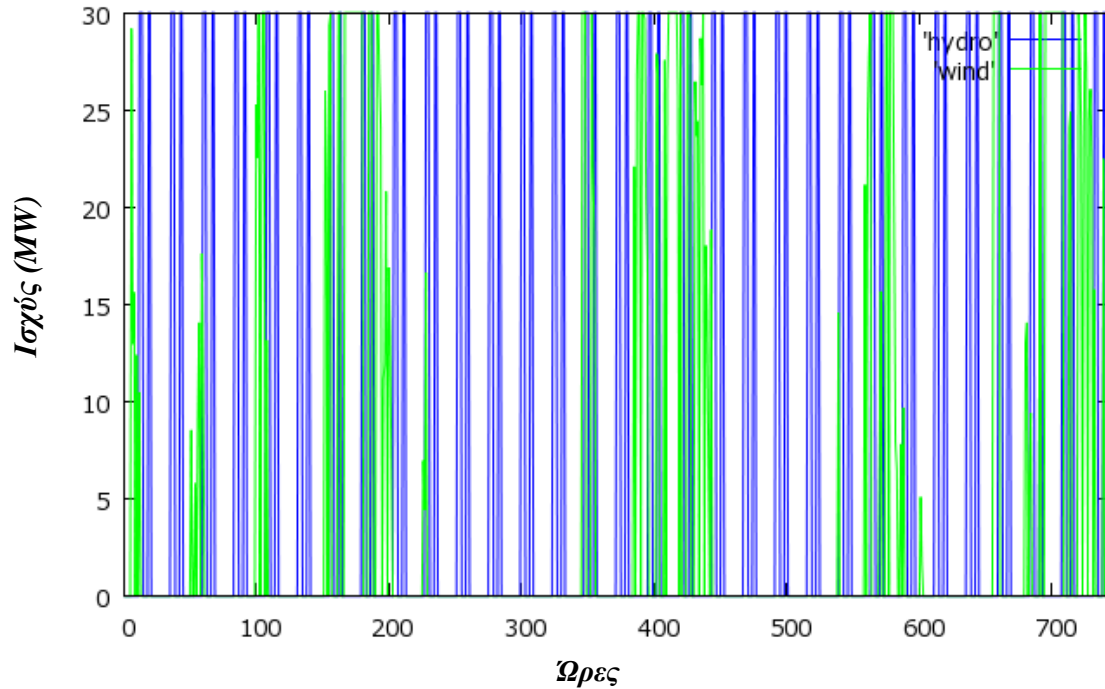
9.3. 3^η ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗ ΠΡΟΤΑΣΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Ακολουθούν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης συστήματος με ίδια τεχνικά χαρακτηριστικά με το προηγούμενο, αλλά με 8 αντλίες σταθερών στροφών. Ο σχεδιασμός του συγκεκριμένου σύνθετου σχήματος περιλαμβάνει ένα σημαντικό αριθμό αντλιών, γεγονός που καθιστά αφενός το σχήμα πιο ευέλικτο σε σχέση με τα δύο προηγούμενα, αφετέρου το έργο οικονομικά βιώσιμο. Ένα σχήμα με περισσότερες αντλίες, πιθανόν να αποτελούσε τη βέλτιστη λύση, τουλάχιστον ενεργειακά, όμως θα απαιτούσε αρκετά μεγάλο αρχικό κεφάλαιο επένδυσης για την υλοποίησή του, ογκώδη σταθμό για τη στέγαση των μονάδων και πολύπλοκο προγραμματισμό κατά τη λειτουργία του.

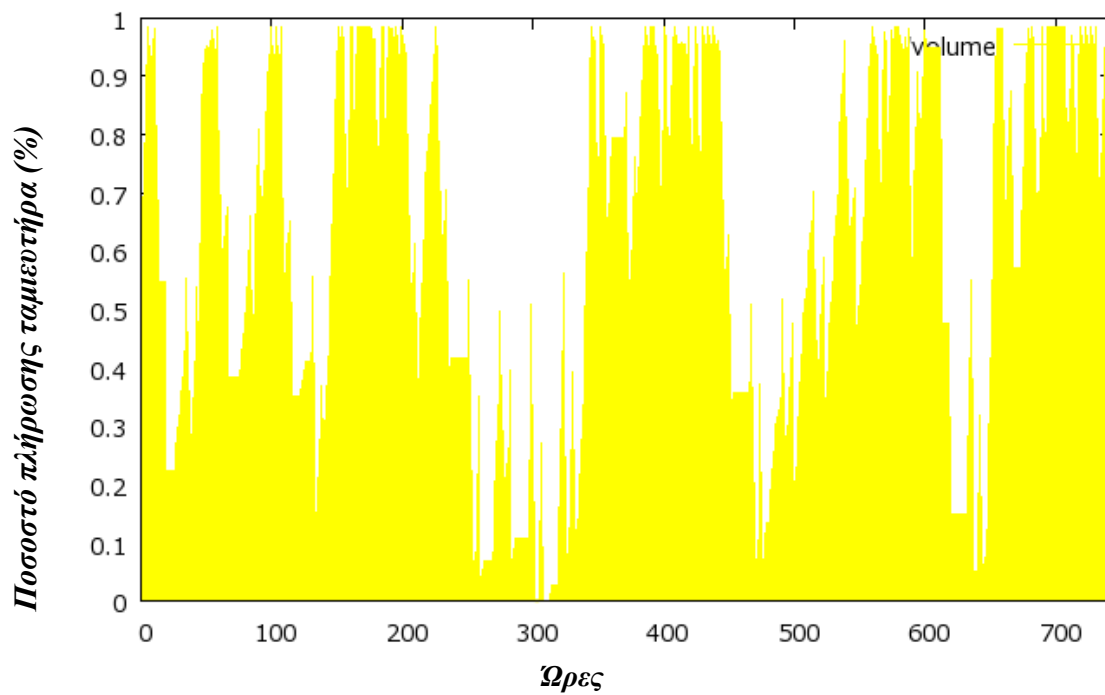
Ακολουθούν τα διαγράμματα σε μηνιαία βάση για ένα έτος προσομοίωσης, όπου απεικονίζεται η παραγόμενη ισχύς των υδροστροβίλων του σταθμού(•), η παραγόμενη ισχύς των μονάδων ΑΠΕ του σταθμού (•) (απευθείας εγχεόμενη στο δίκτυο αιολική ενέργεια) καθώς και το ποσοστό πλήρωσης του άνω ταμιευτήρα (•) για λειτουργία με μια αναστρέψιμη μηχανή και 8 αντλίες σταθερών στροφών.

9.3.1. ΜΕ ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

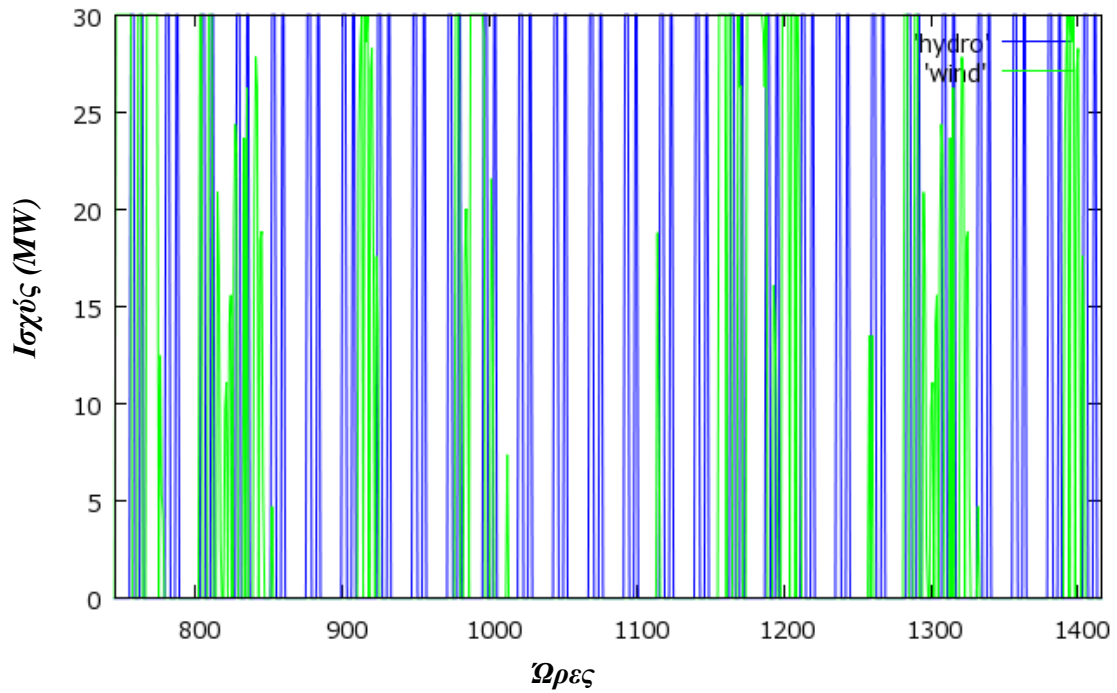
Διάγραμμα 100: Παραγωγή υδροτροβίλων και μονάδων ΑΠΕ (1^η- 31^η Ιανουαρίου).



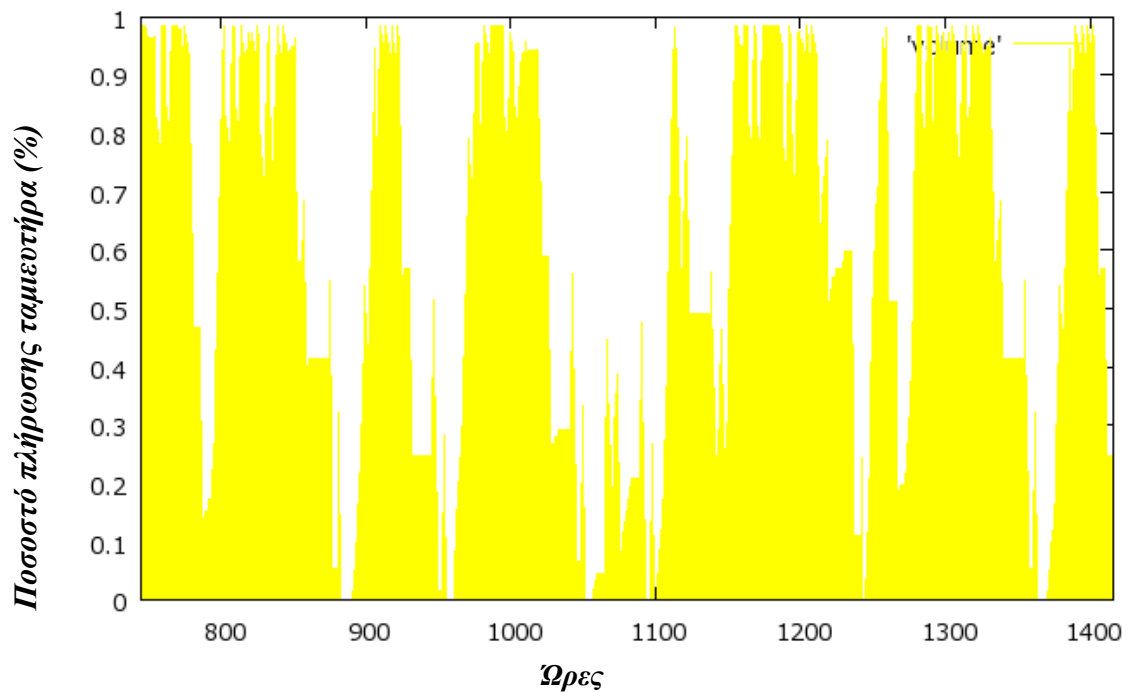
Διάγραμμα 101: Ποσοστό πλήρωσης ταμιευτήρα (1^η- 31^η Ιανουαρίου).



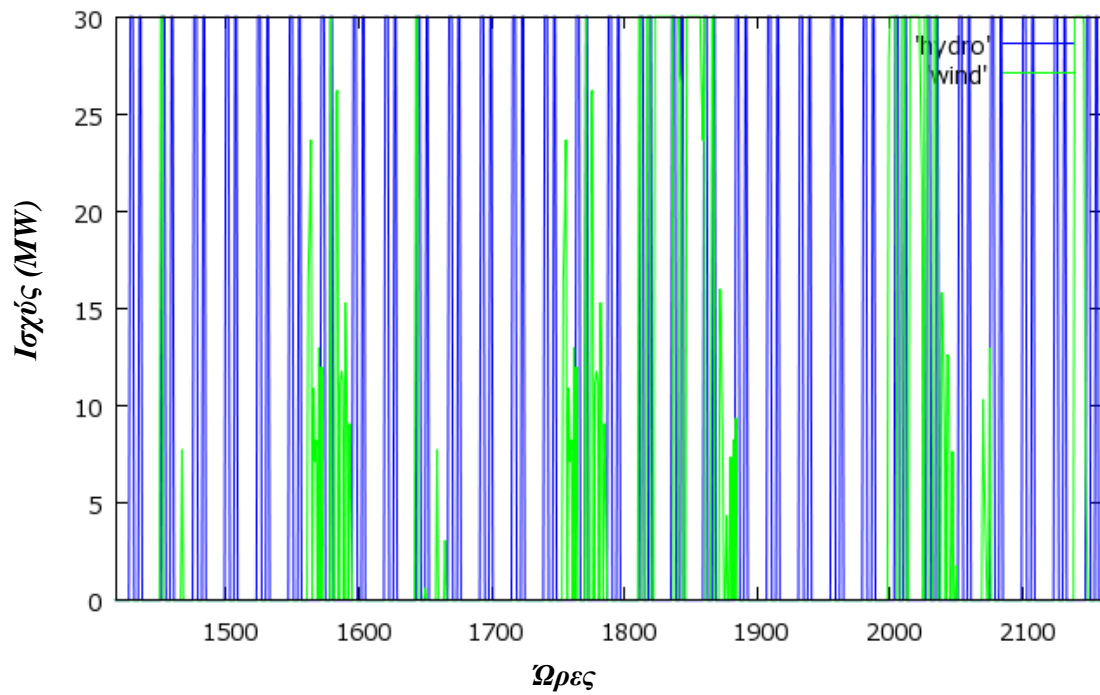
Διάγραμμα 102: Παραγωγή υδροστροβίλων και μονάδων ΑΠΕ (1^η- 28^η Φεβρουαρίου).



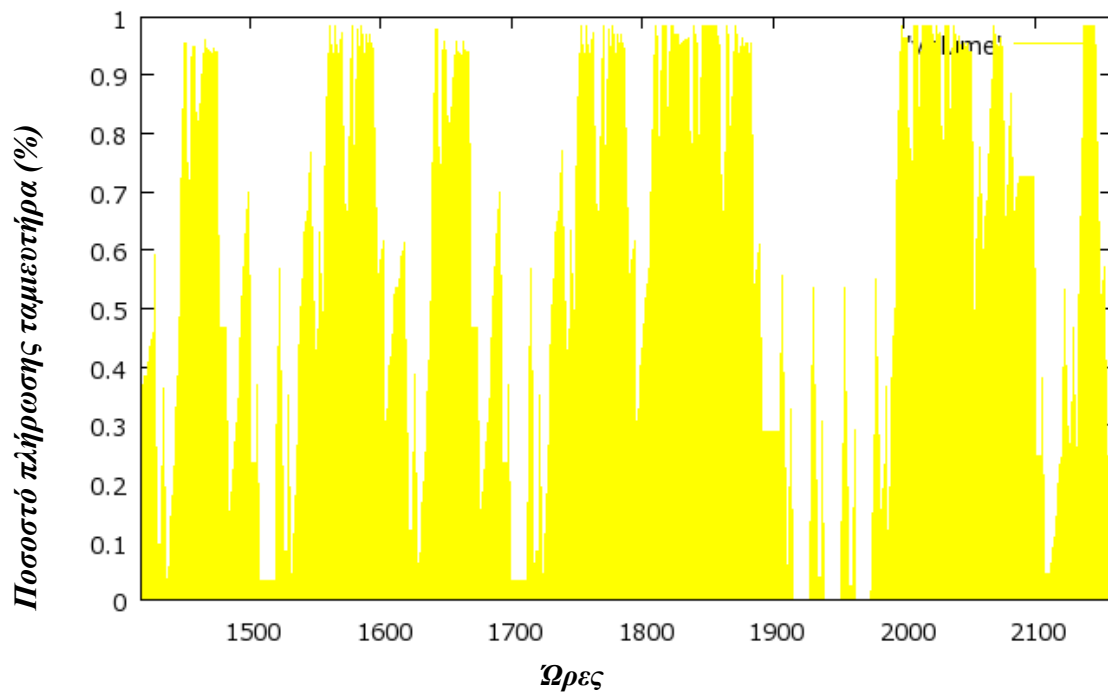
Διάγραμμα 103: Ποσοστό πλήρωσης ταμιευτήρα (1^η- 28^η Φεβρουαρίου).



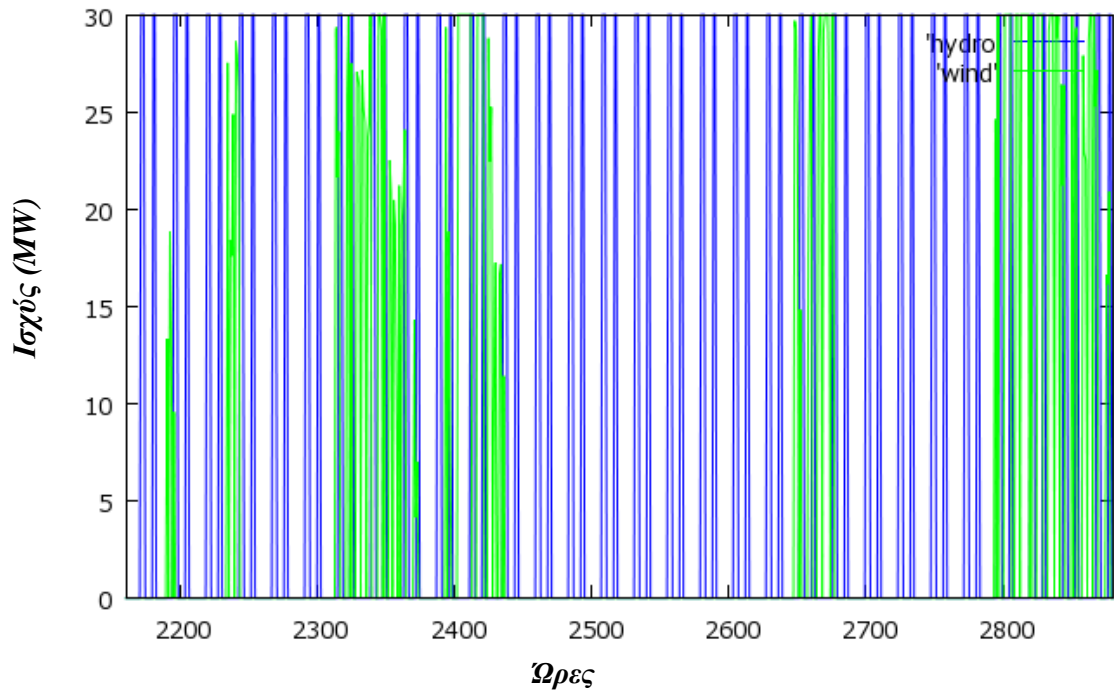
Διάγραμμα 104: Παραγωγή υδροστροβίλων και μονάδων ΑΠΕ (1^η- 31^η Μαρτίου).



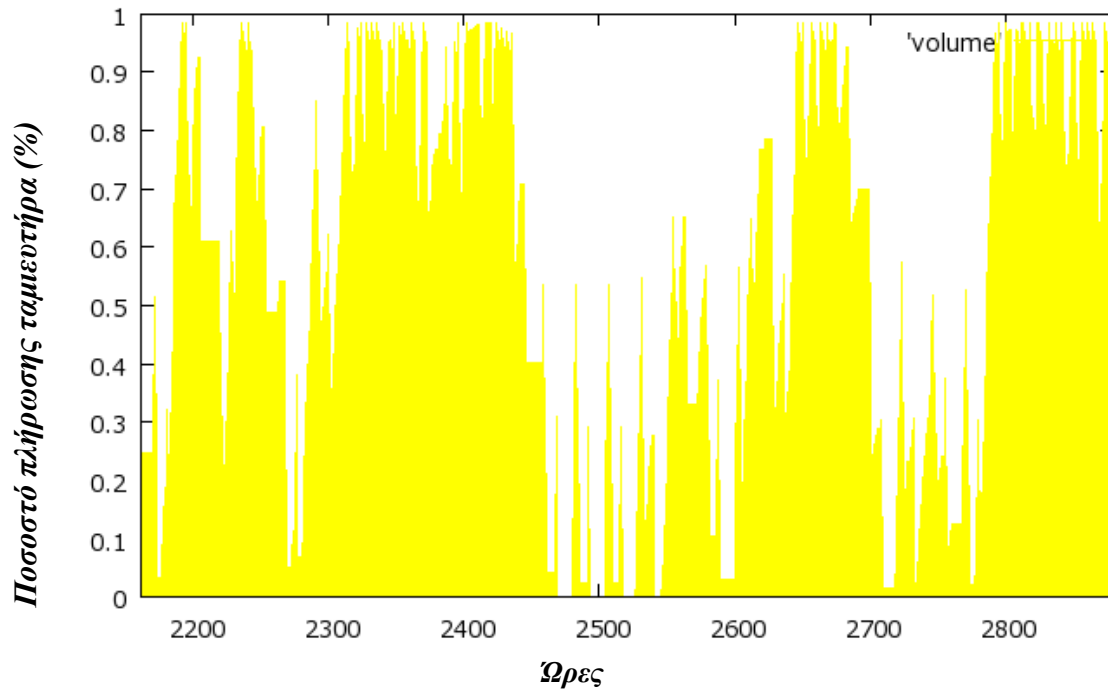
Διάγραμμα 105: Ποσοστό πλήρωσης ταμιευτήρα (1^η- 31^η Μαρτίου).



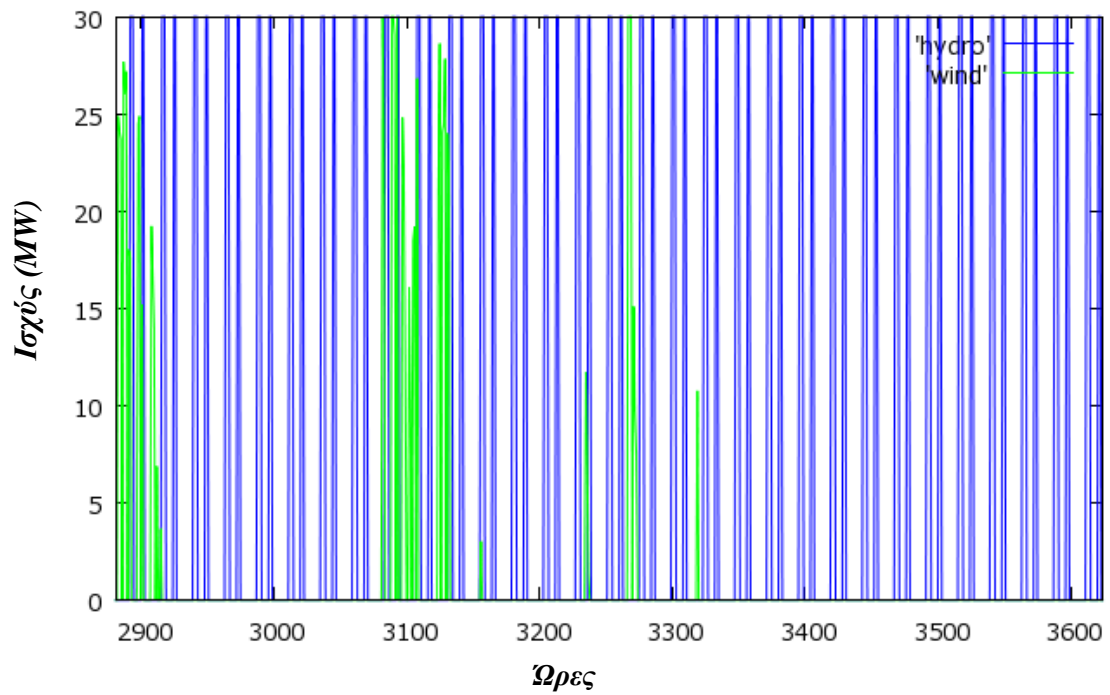
Διάγραμμα 106: Παραγωγή υδροστροβίλων και μονάδων ΑΠΕ (1^η- 30^η Απριλίου).



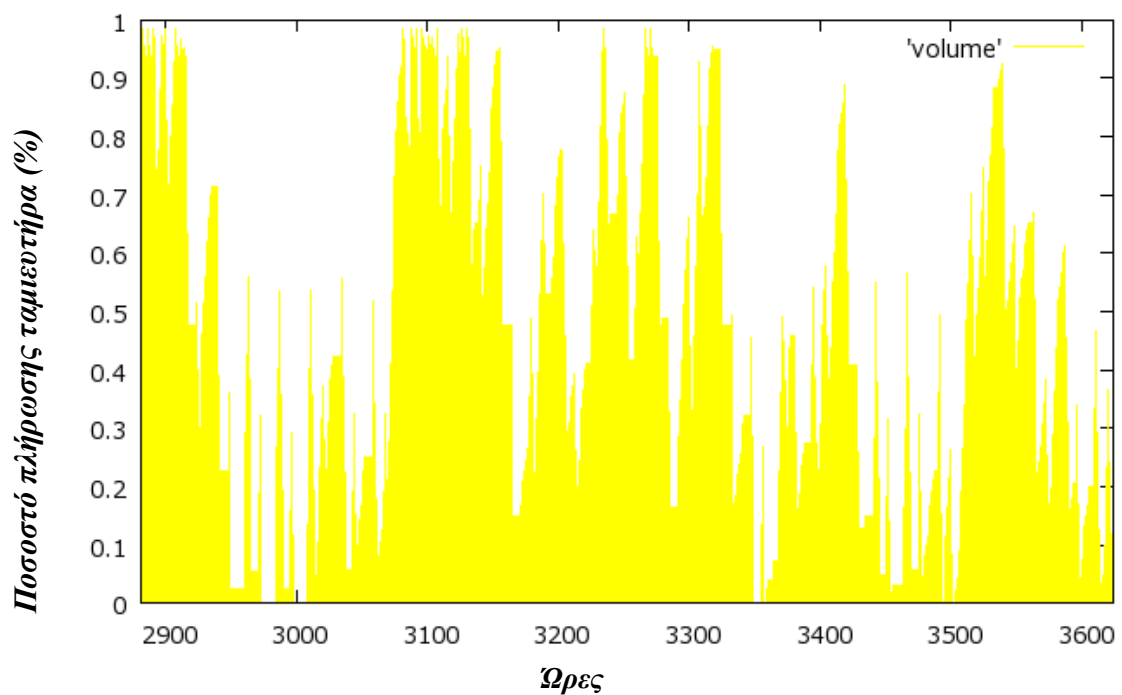
Διάγραμμα 107: Ποσοστό πλήρωσης ταμιευτήρα (1^η- 30^η Απριλίου).



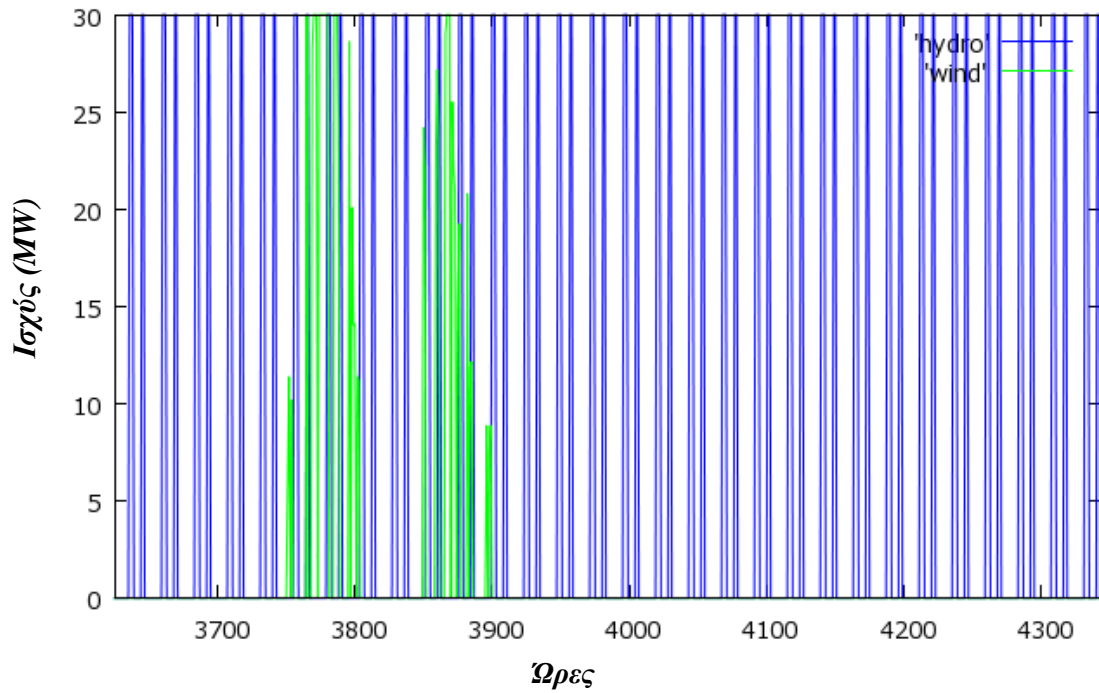
Διάγραμμα 108: Παραγωγή υδροστροβίλων και μονάδων ΑΠΕ (1^η- 31^η Μαΐου).



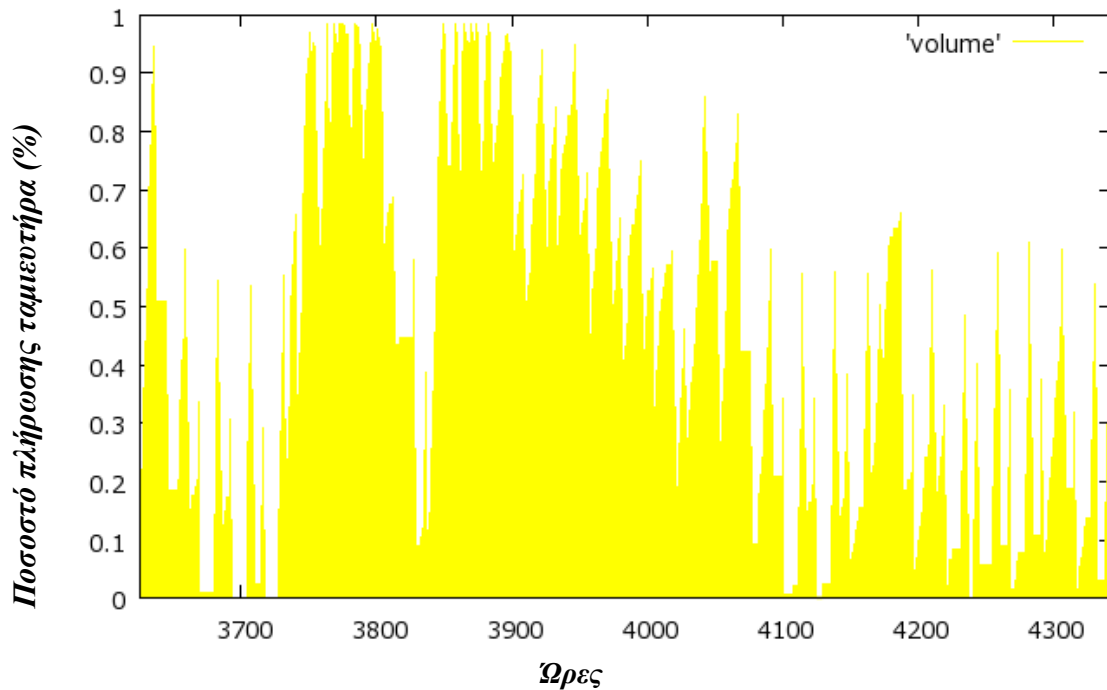
Διάγραμμα 109: Ποσοστό πλήρωσης ταμιευτήρα (1^η- 31^η Μαΐου).



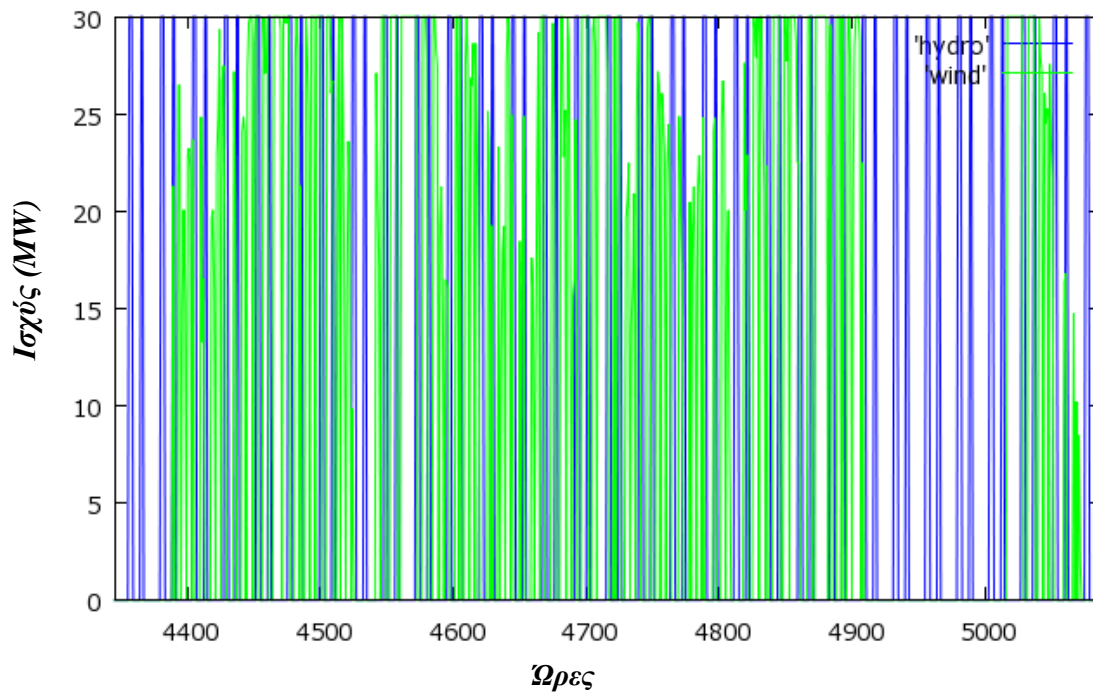
Διάγραμμα 110: Παραγωγή υδροστροβίλων και μονάδων ΑΠΕ (1^η- 30^η Ιουνίου).



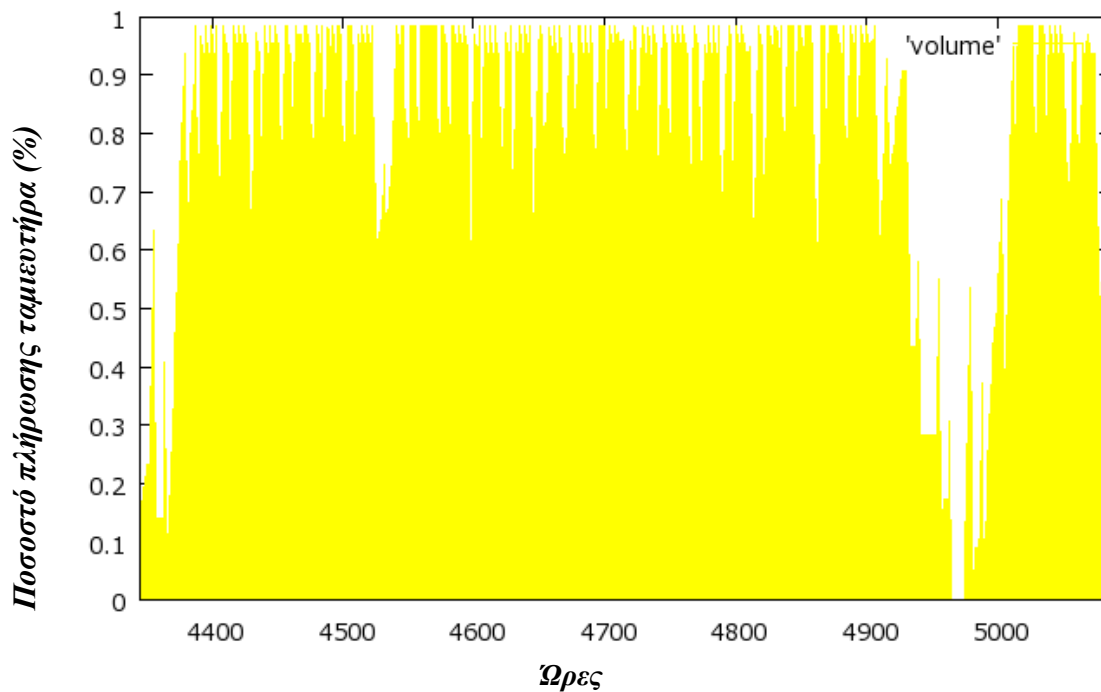
Διάγραμμα 111: Ποσοστό πλήρωσης ταμιευτήρα (1^η- 30^η Ιουνίου).



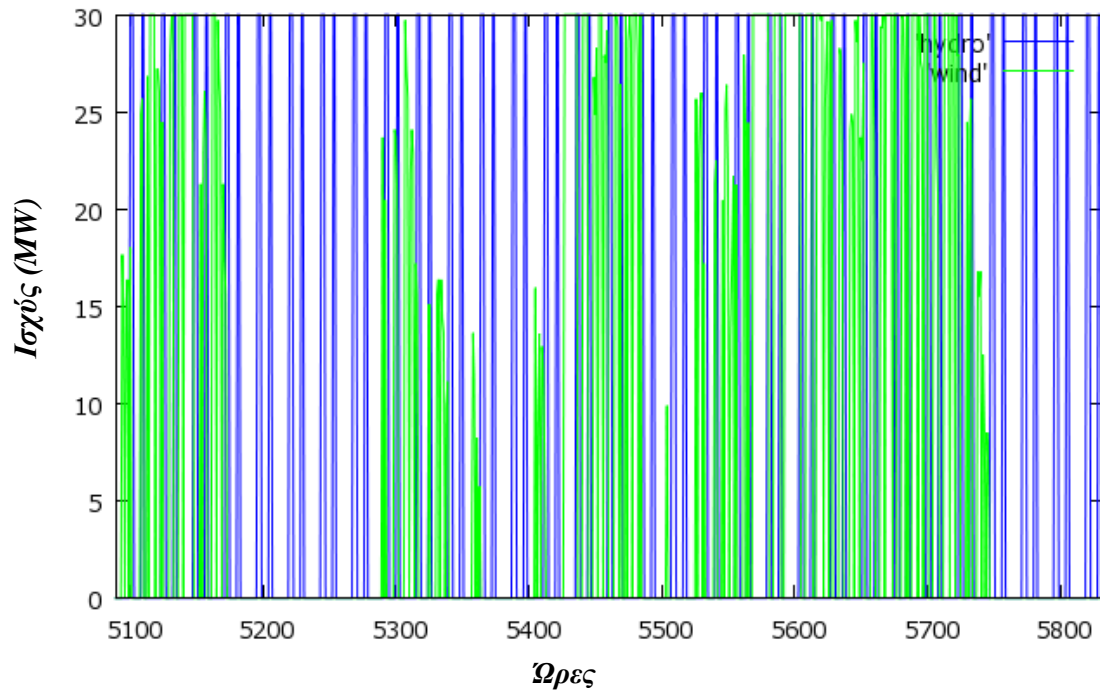
Διάγραμμα 112: Παραγωγή υδροστροβίλων και μονάδων ΑΠΕ (1^η- 31^η Ιουλίου).



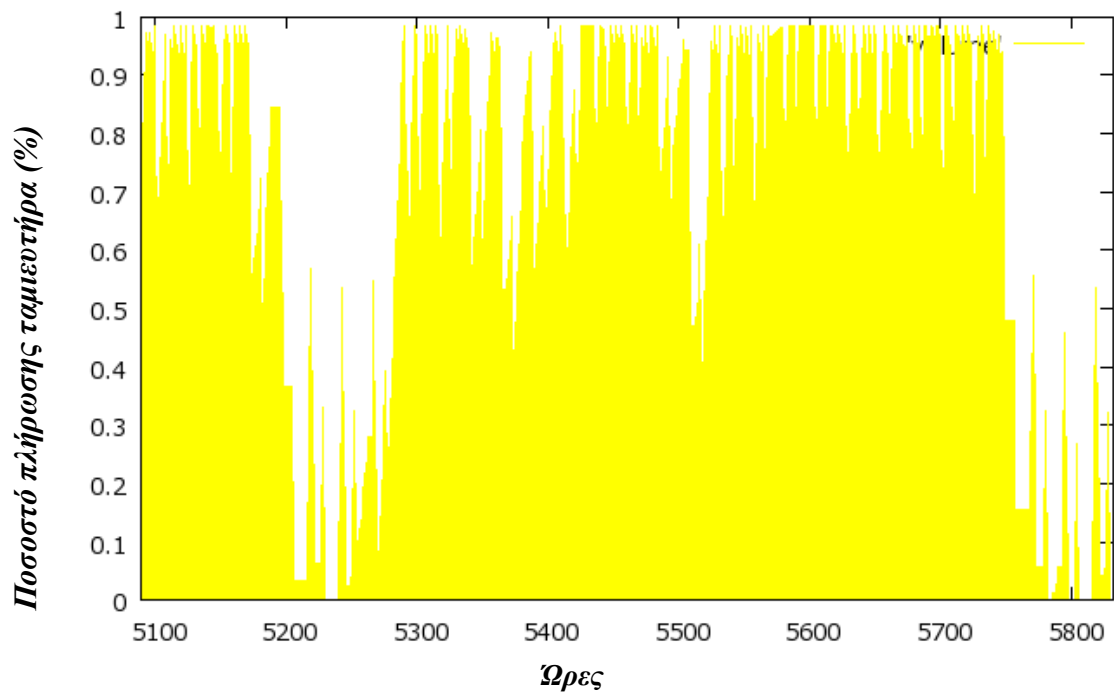
Διάγραμμα 113: Ποσοστό πλήρωσης ταμιευτήρα (1^η- 31^η Ιουλίου).



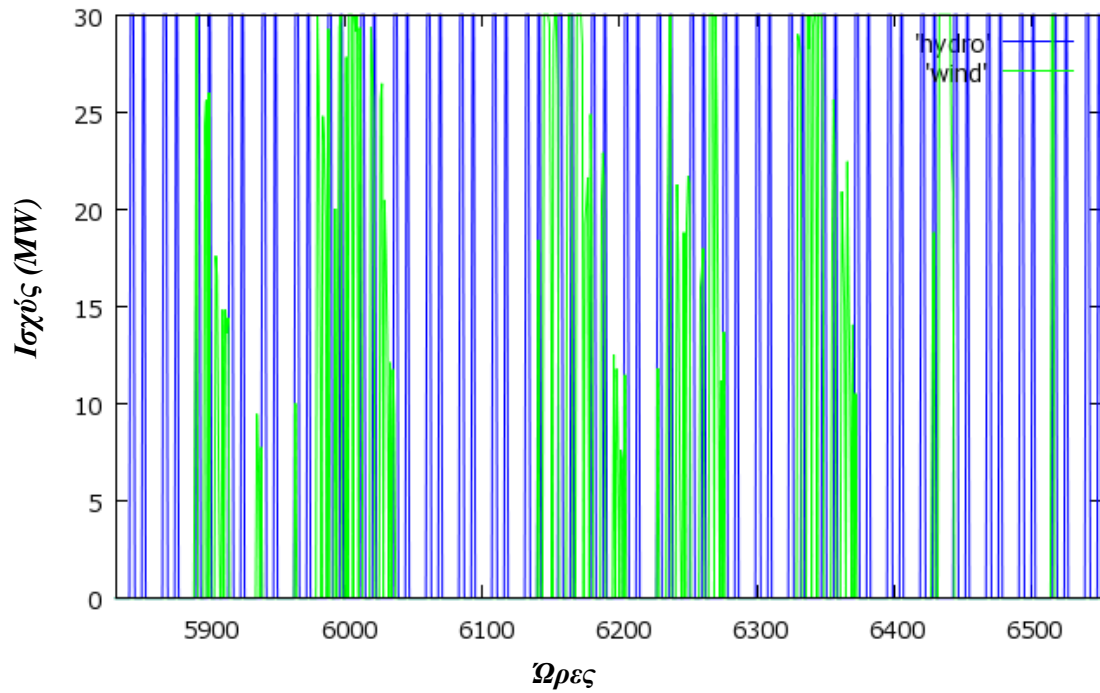
Διάγραμμα 114: Παραγωγή υδροστροβίλων και μονάδων ΑΠΕ (1^η- 31^η Αυγούστου).



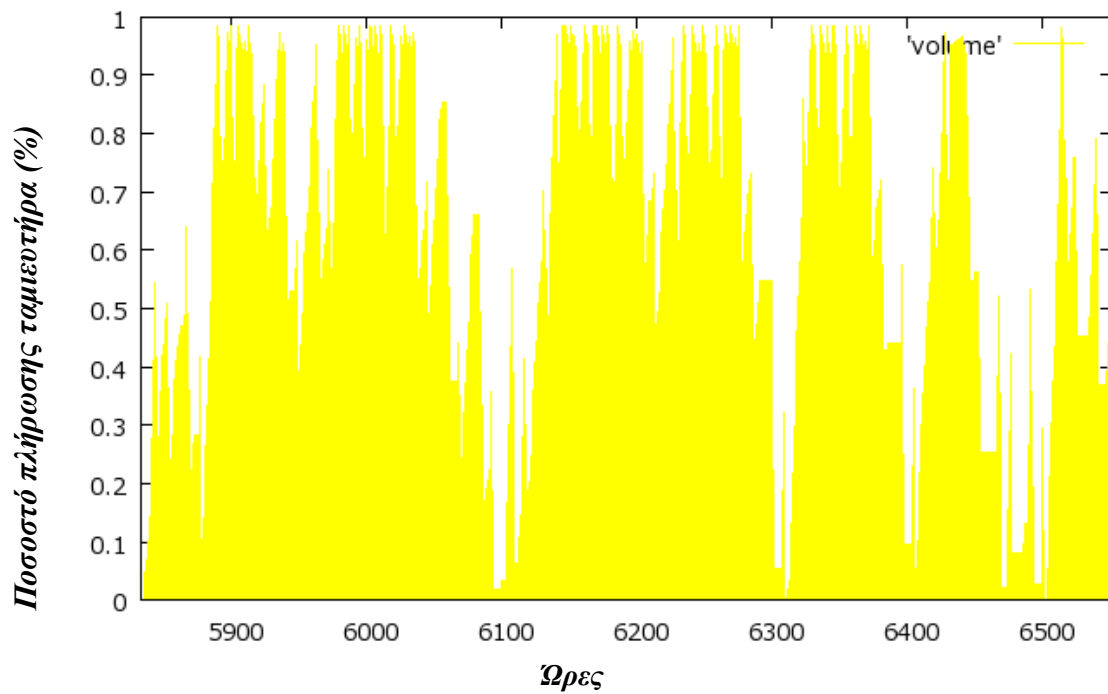
Διάγραμμα 115: Ποσοστό πλήρωσης ταμειυτήρα (1^η- 31^η Αυγούστου).



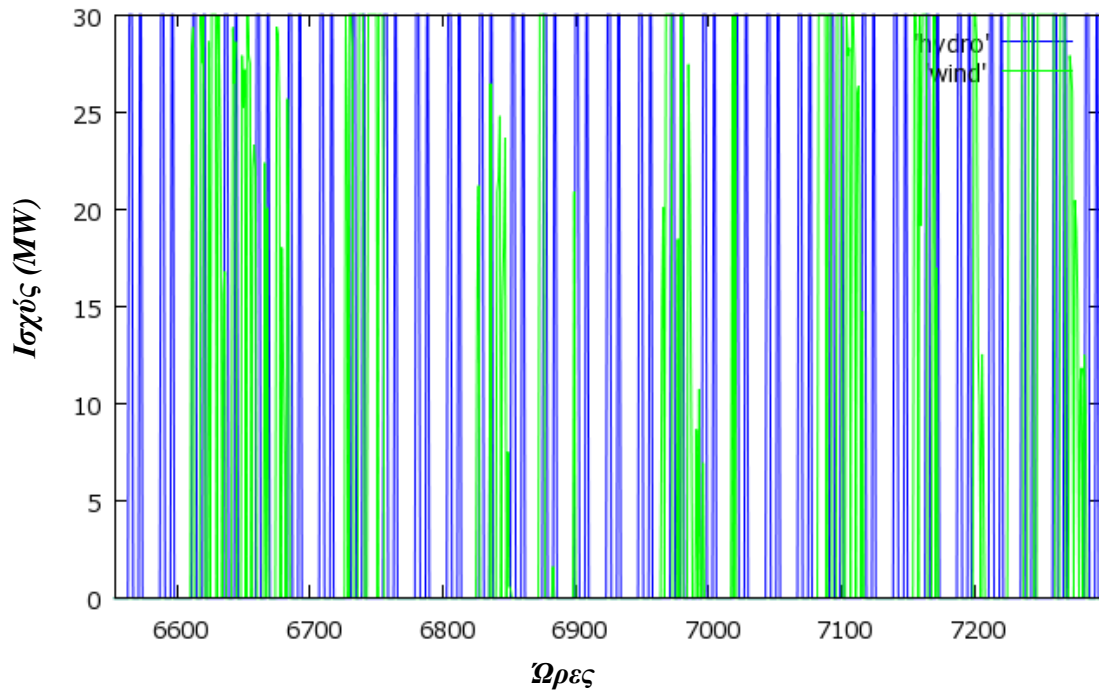
Διάγραμμα 116: Παραγωγή υδροστροβίλων και μονάδων ΑΠΕ (1^η- 30^η Σεπτεμβρίου).



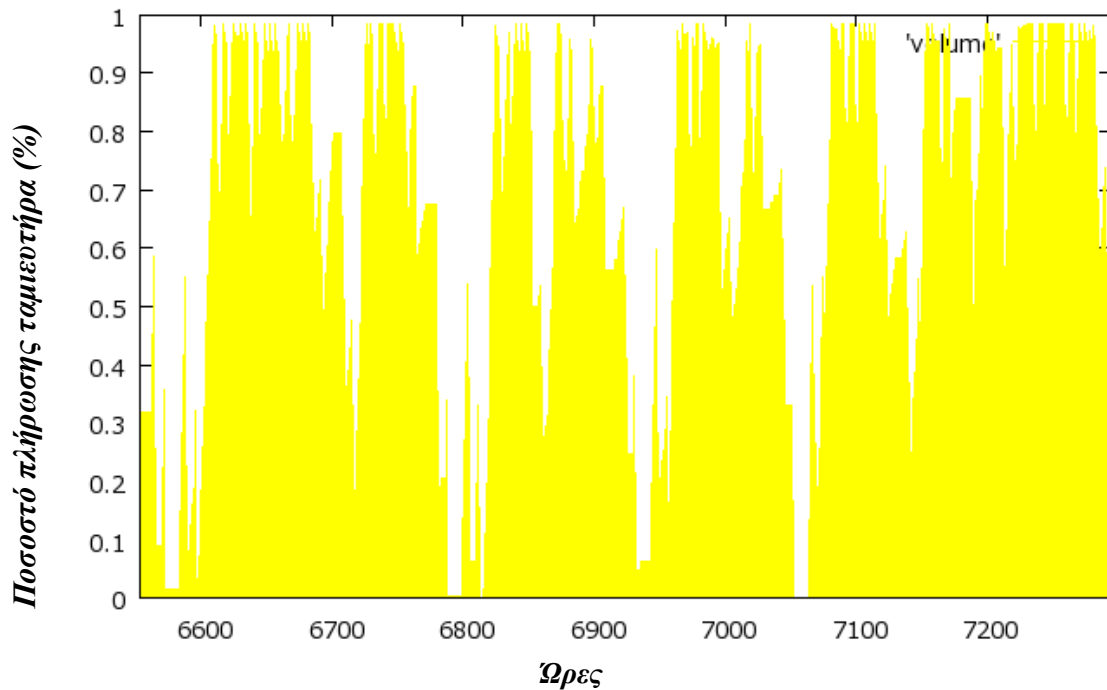
Διάγραμμα 117: Ποσοστό πλήρωσης ταμειυτήρα (1^η- 30^η Σεπτεμβρίου).



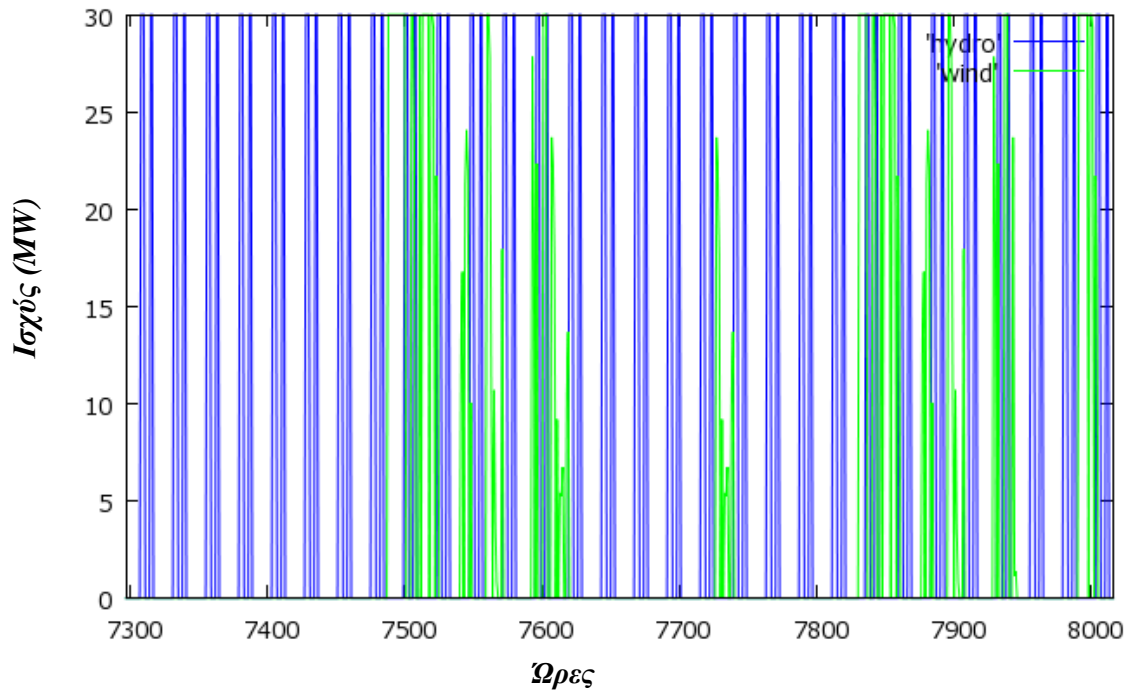
Διάγραμμα 118: Παραγωγή υδροστροβίλων και μονάδων ΑΠΕ (1^η- 31^η Οκτωβρίου).



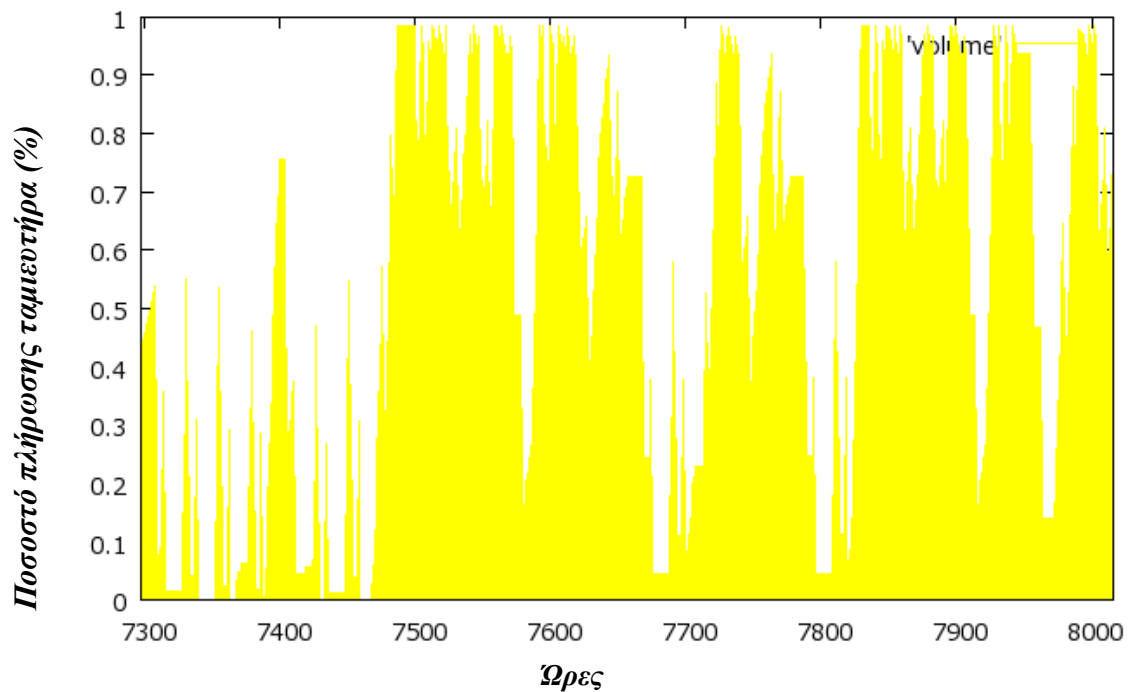
Διάγραμμα 119: Ποσοστό πλήρωσης ταμειυτήρα (1^η- 31^η Οκτωβρίου).



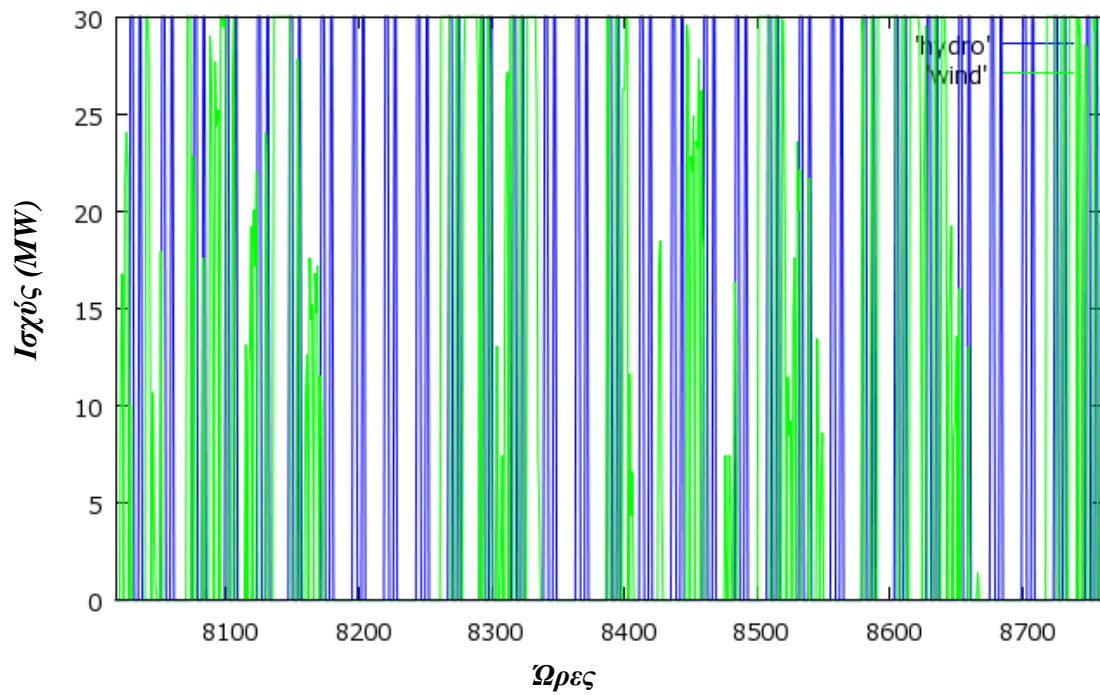
Διάγραμμα 120: Παραγωγή υδροστροβίλων και μονάδων ΑΠΕ (1^η- 30^η Νοεμβρίου).



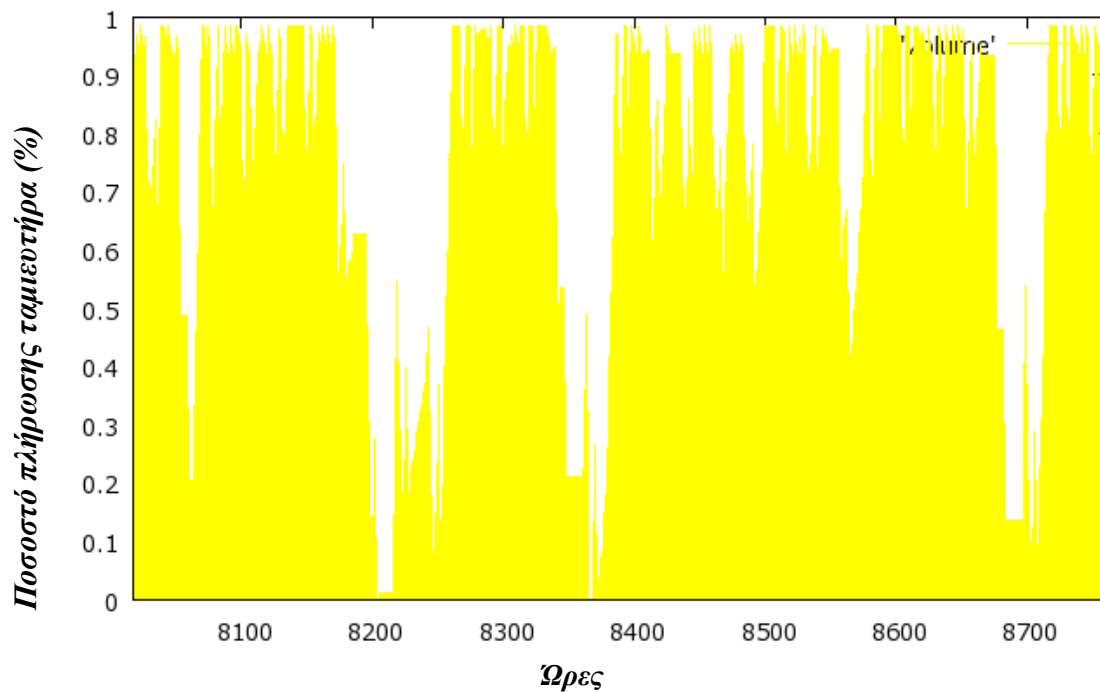
Διάγραμμα 121: Ποσοστό πλήρωσης ταμειυτήρα (1^η- 30^η Νοεμβρίου).



Διάγραμμα 122: Παραγωγή υδροστροβίλων και μονάδων ΑΠΕ (1^η- 31^η Δεκεμβρίου).

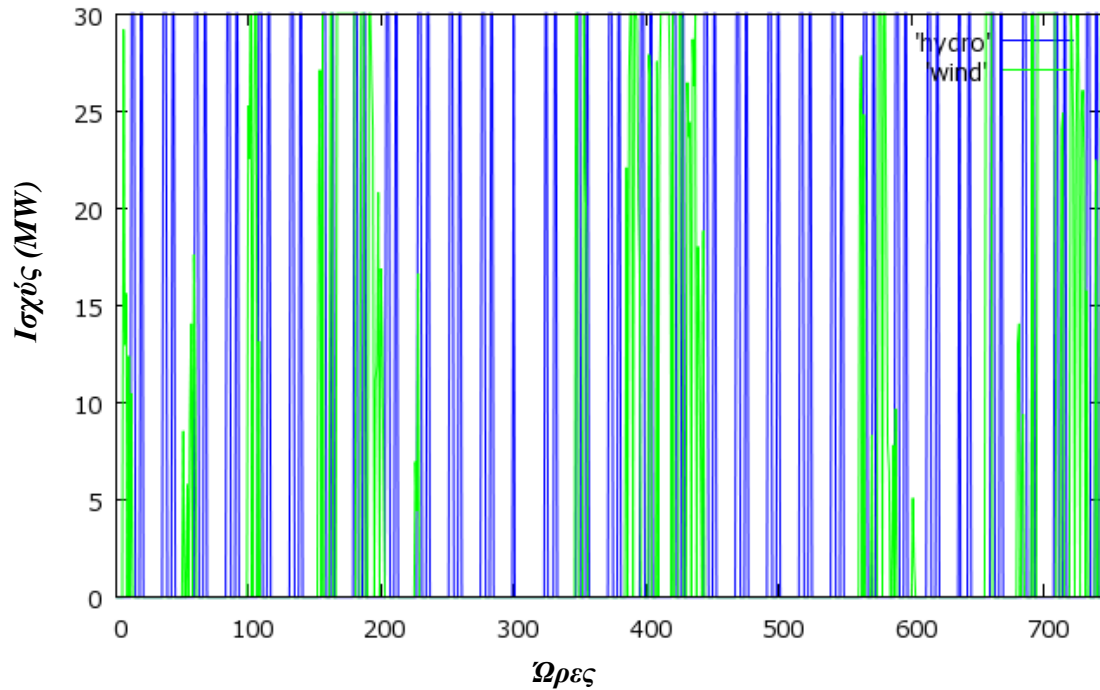


Διάγραμμα 123: Ποσοστό πλήρωσης ταμιευτήρα (1^η- 31^η Δεκεμβρίου).

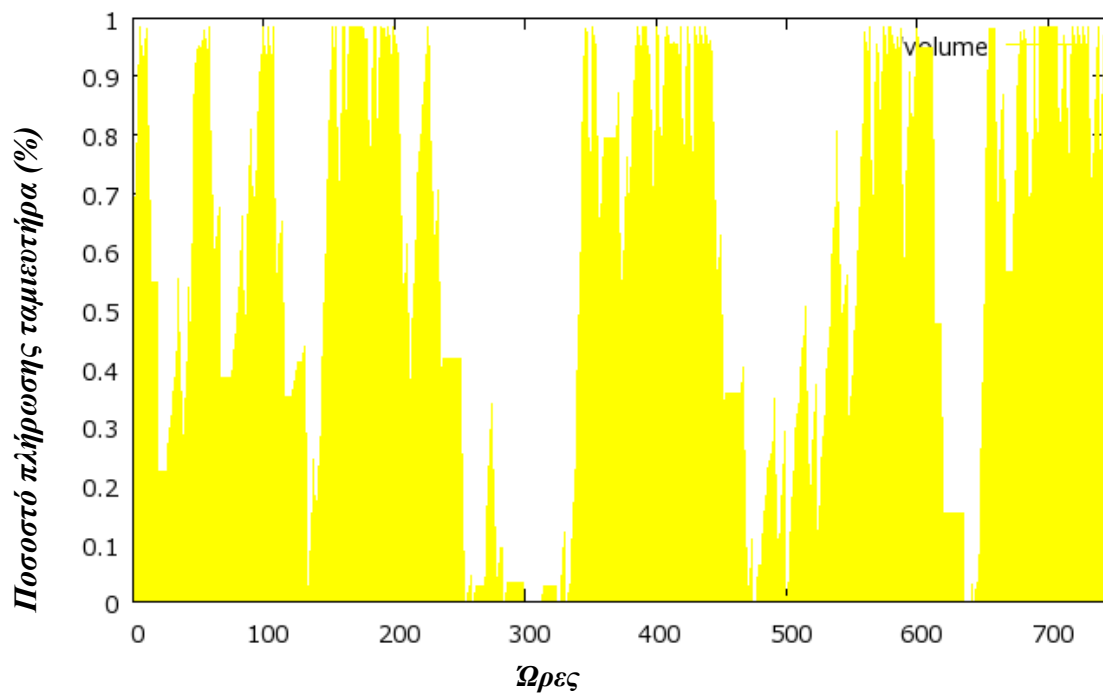


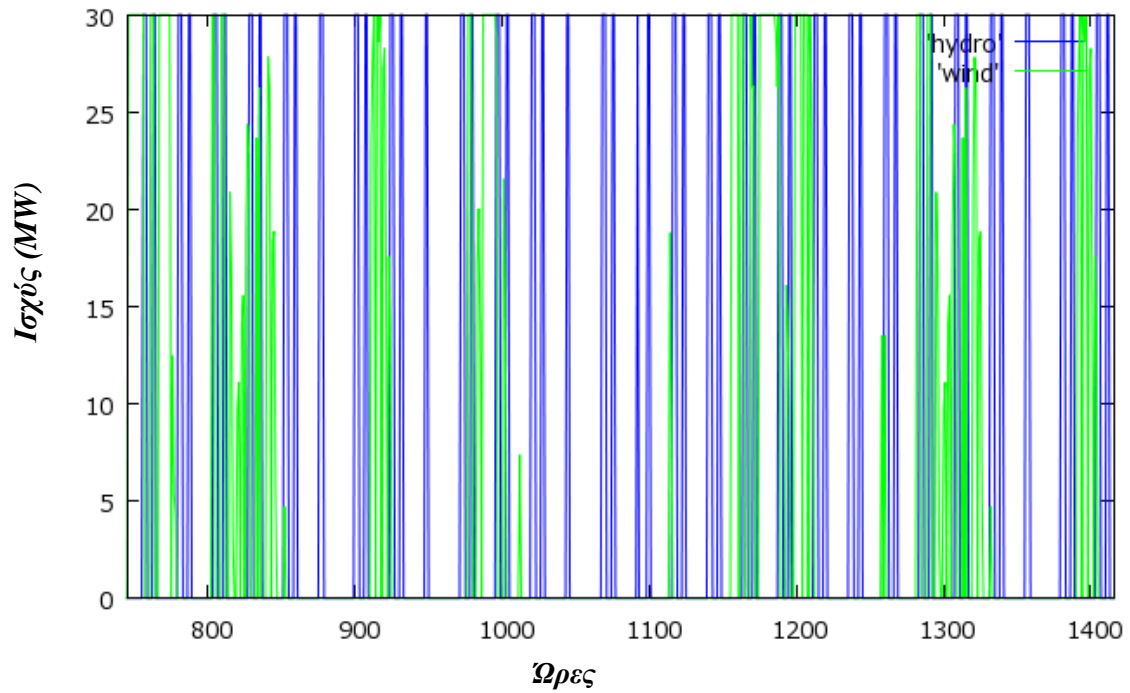
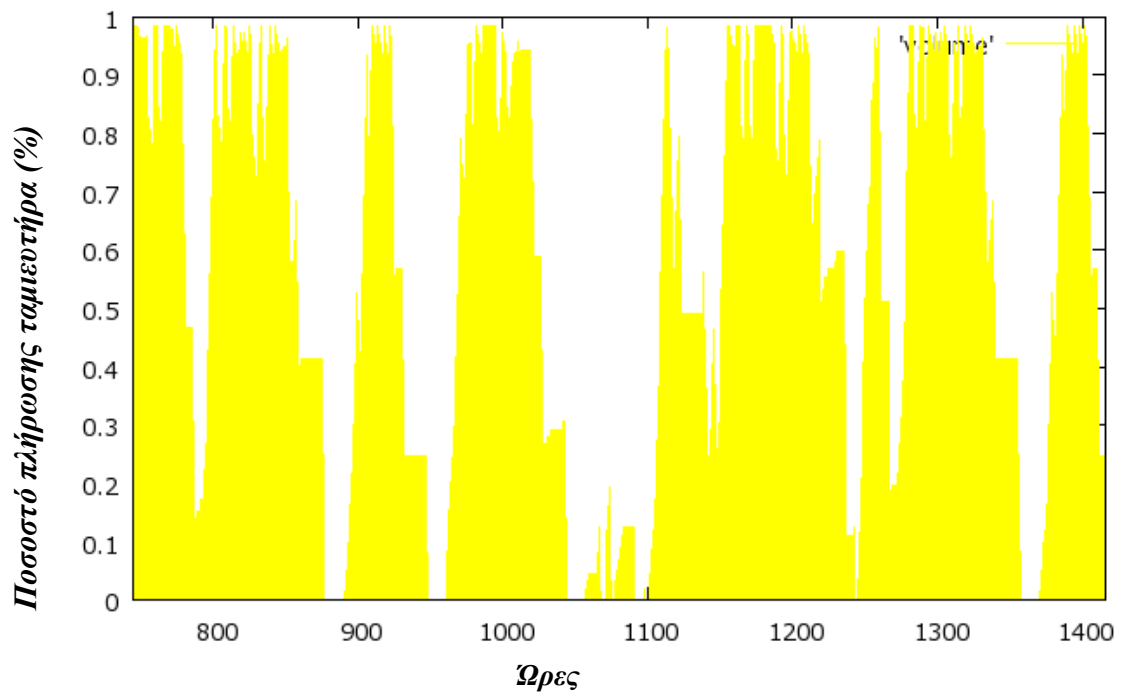
9.3.2. ΧΩΡΙΣ ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Διάγραμμα 124: Παραγωγή υδροτροβίλων και μονάδων ΑΠΕ (1^η- 31^η Ιανουαρίου).

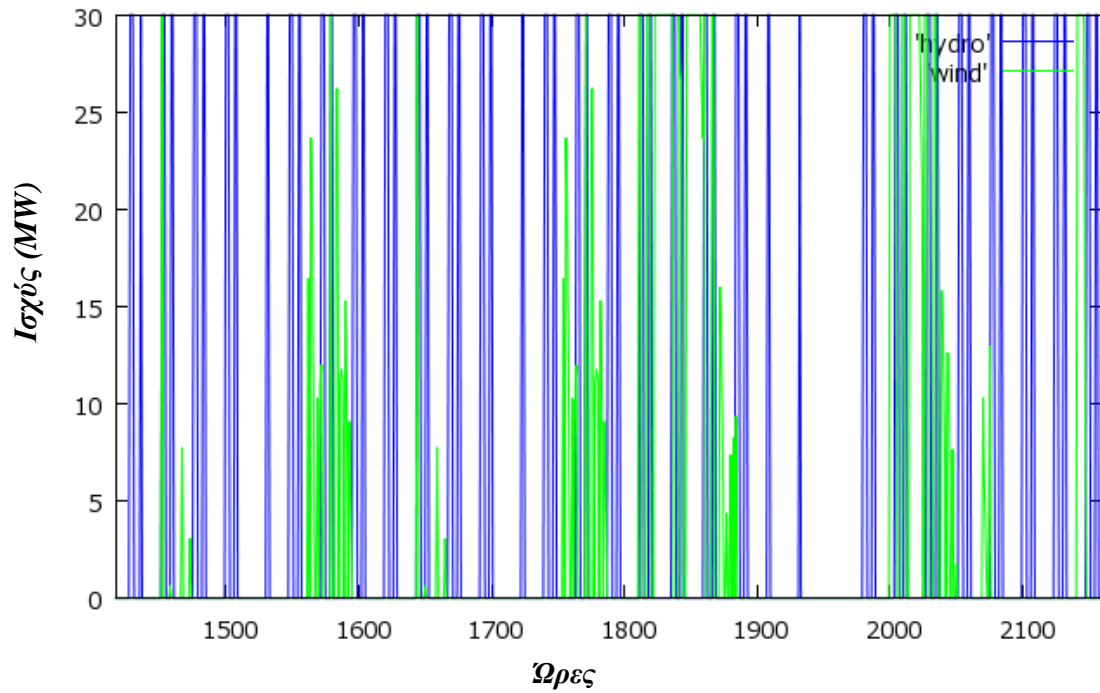


Διάγραμμα 125: Ποσοστό πλήρωσης ταμιευτήρα (1^η- 31^η Ιανουαρίου).

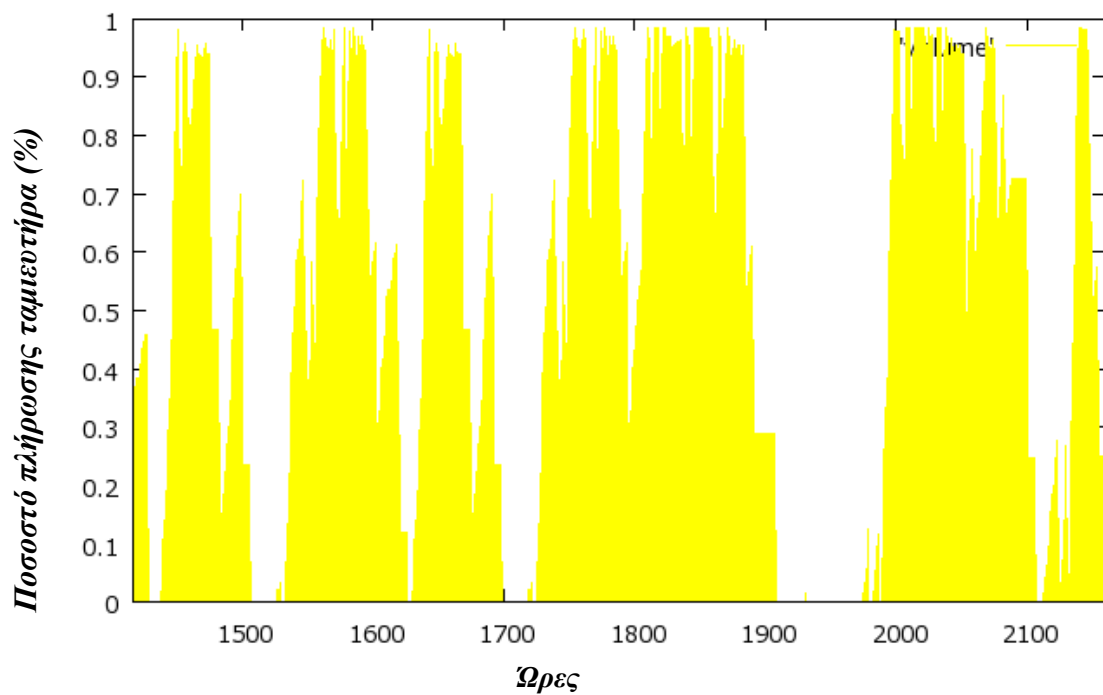


Διάγραμμα 126: Παραγωγή υδροστροβίλων και μονάδων ΑΠΕ (1^η- 28^η Φεβρουαρίου).Διάγραμμα 127: Ποσοστό πλήρωσης ταμιευτήρα (1^η- 28^η Φεβρουαρίου).

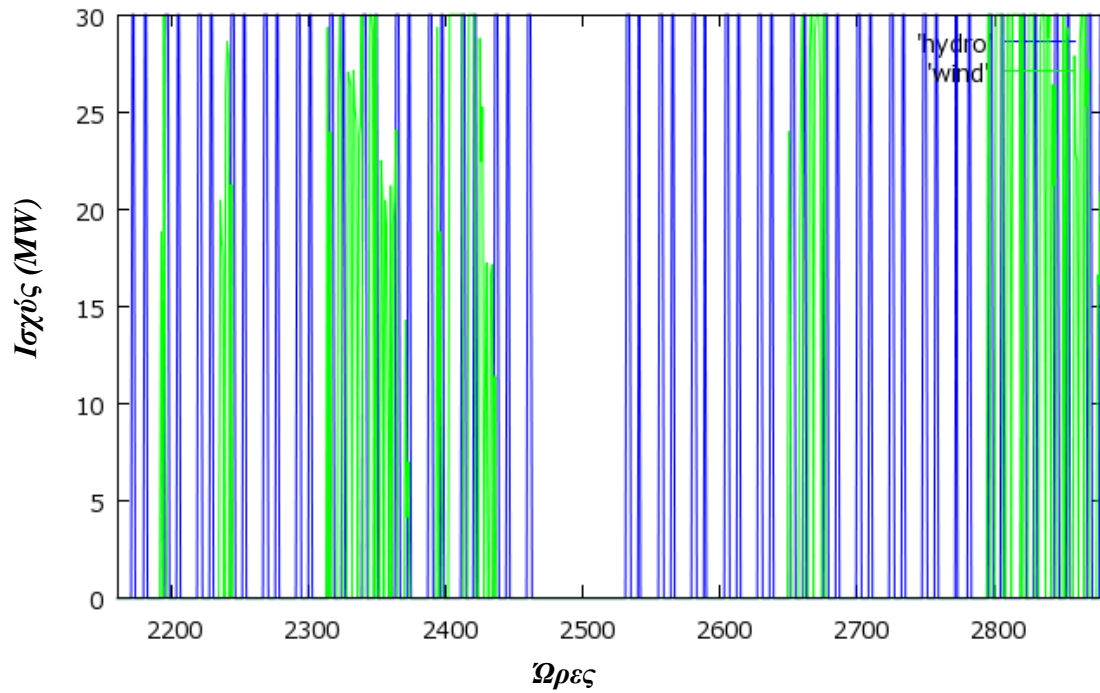
Διάγραμμα 128: Παραγωγή υδροστροβίλων και μονάδων ΑΠΕ (1^η- 31^η Μαρτίου).



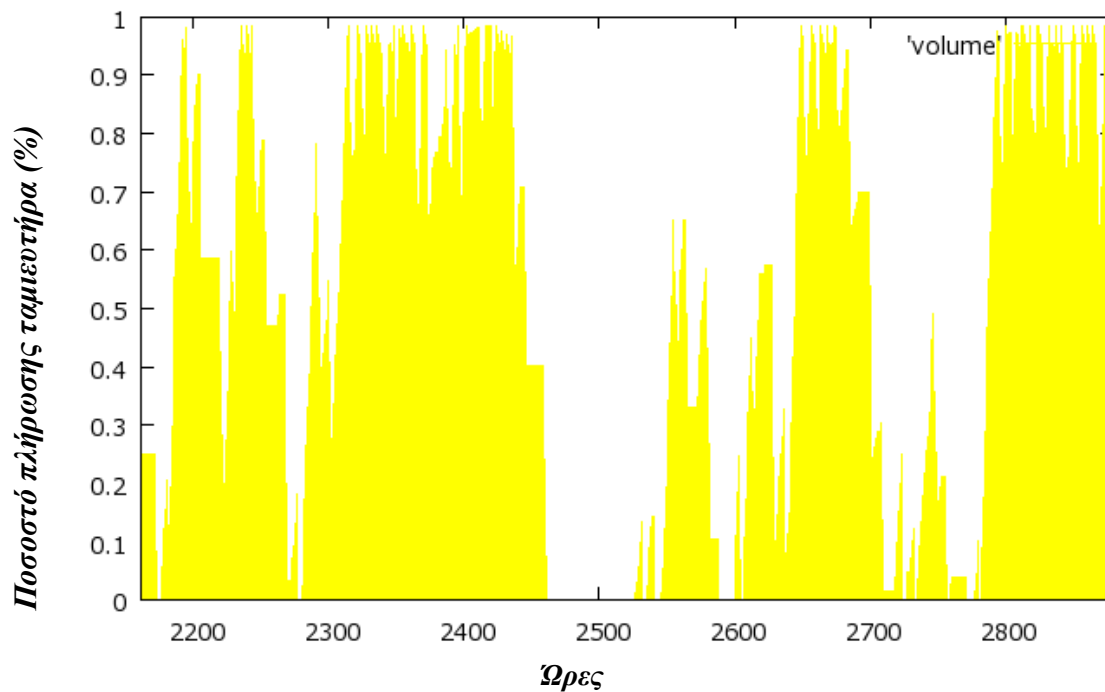
Διάγραμμα 129: Ποσοστό πλήρωσης ταμιευτήρα (1^η- 31^η Μαρτίου).



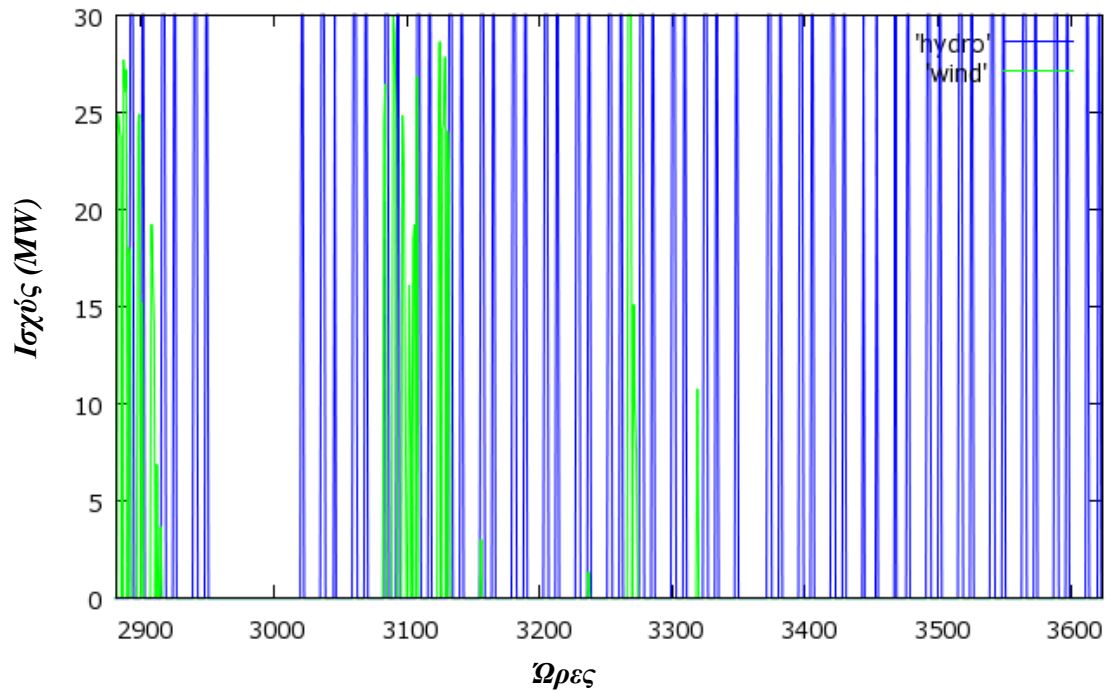
Διάγραμμα 130: Παραγωγή υδροστροβίλων και μονάδων ΑΠΕ (1^η- 30^η Απριλίου).



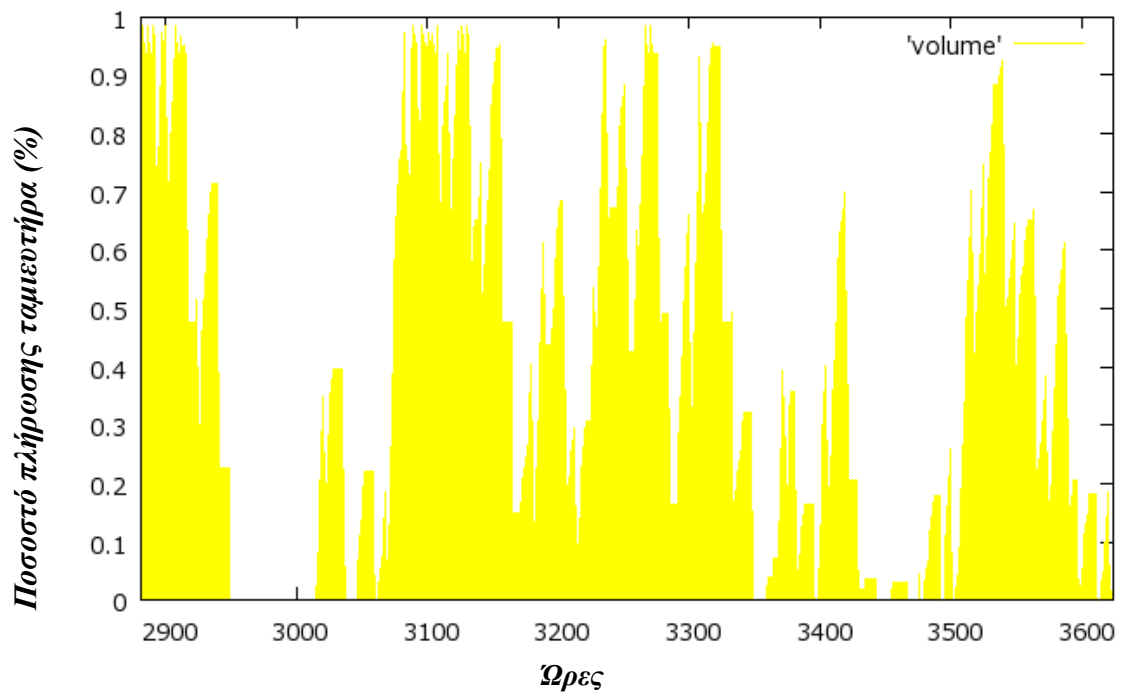
Διάγραμμα 131: Ποσοστό πλήρωσης ταμιευτήρα (1^η- 30^η Απριλίου).



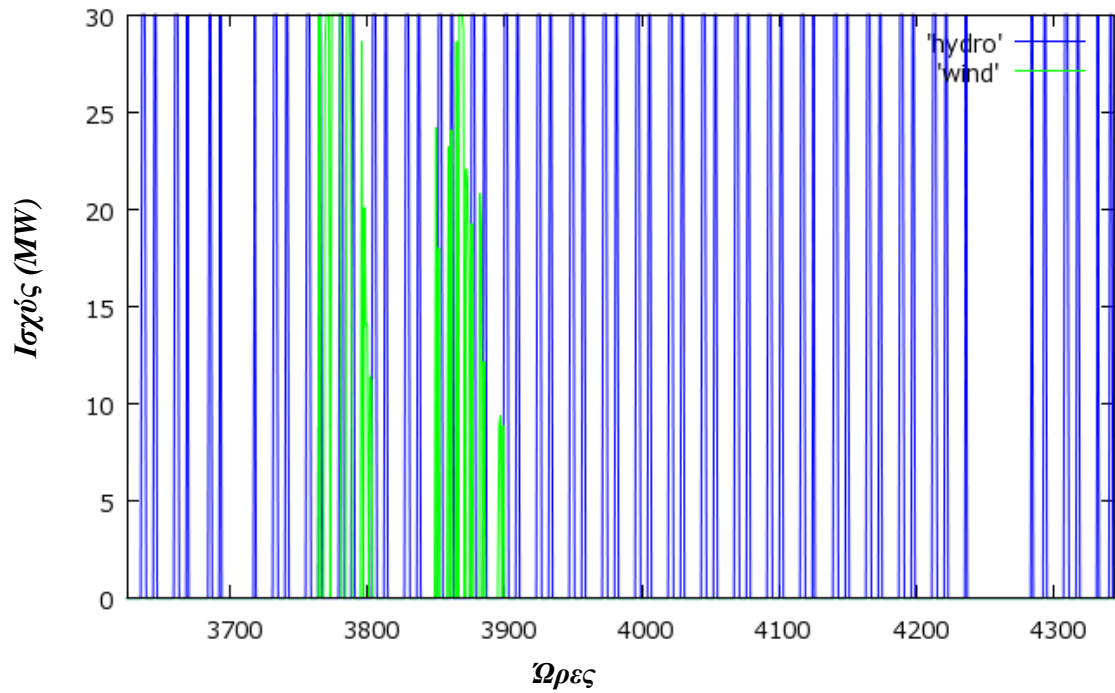
Διάγραμμα 132: Παραγωγή υδροστροβίλων και μονάδων ΑΠΕ (1^η- 31^η Μαΐου).



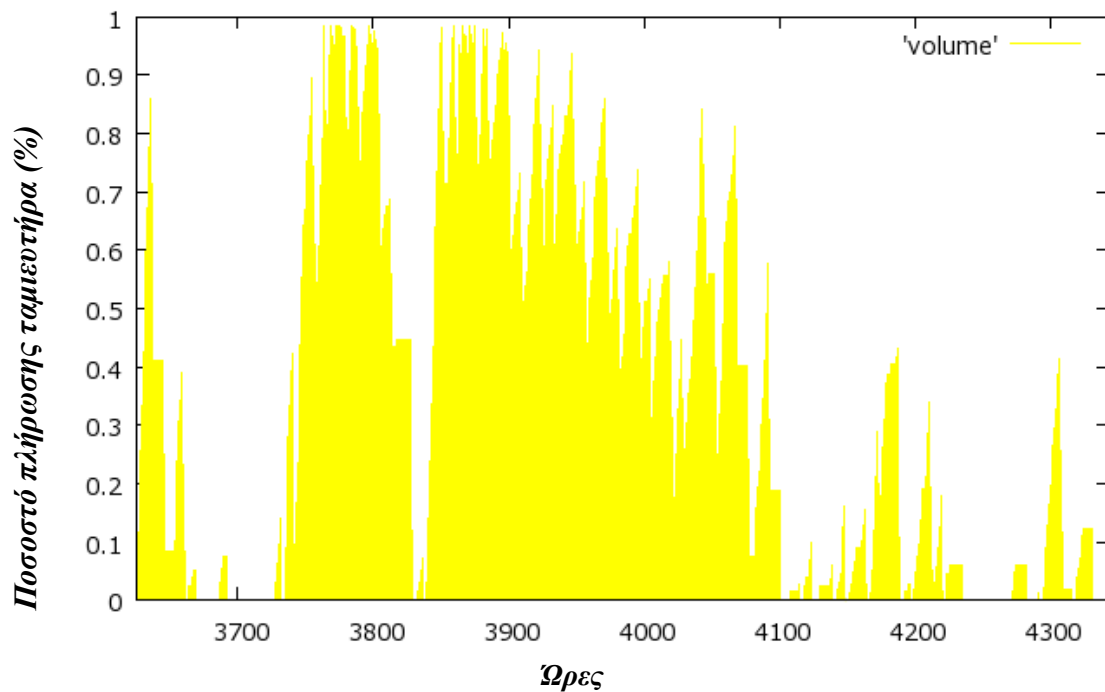
Διάγραμμα 133: Ποσοστό πλήρωσης ταμιευτήρα (1^η- 31^η Μαΐου).



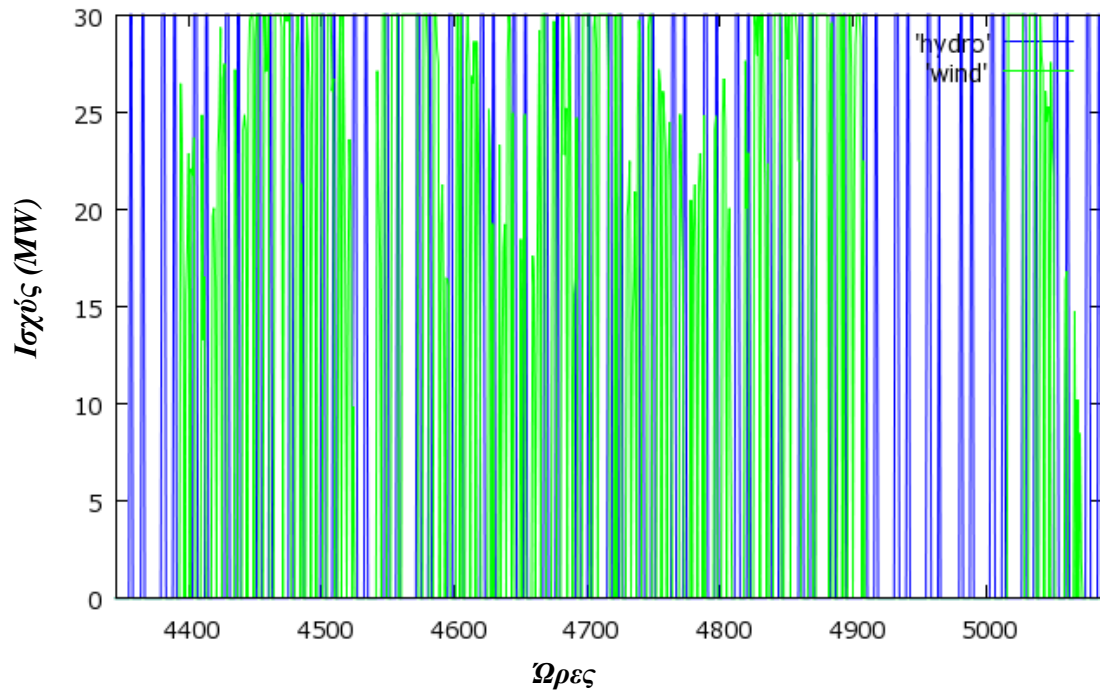
Διάγραμμα 134: Παραγωγή υδροστροβίλων και μονάδων ΑΠΕ (1^η- 30^η Ιουνίου).



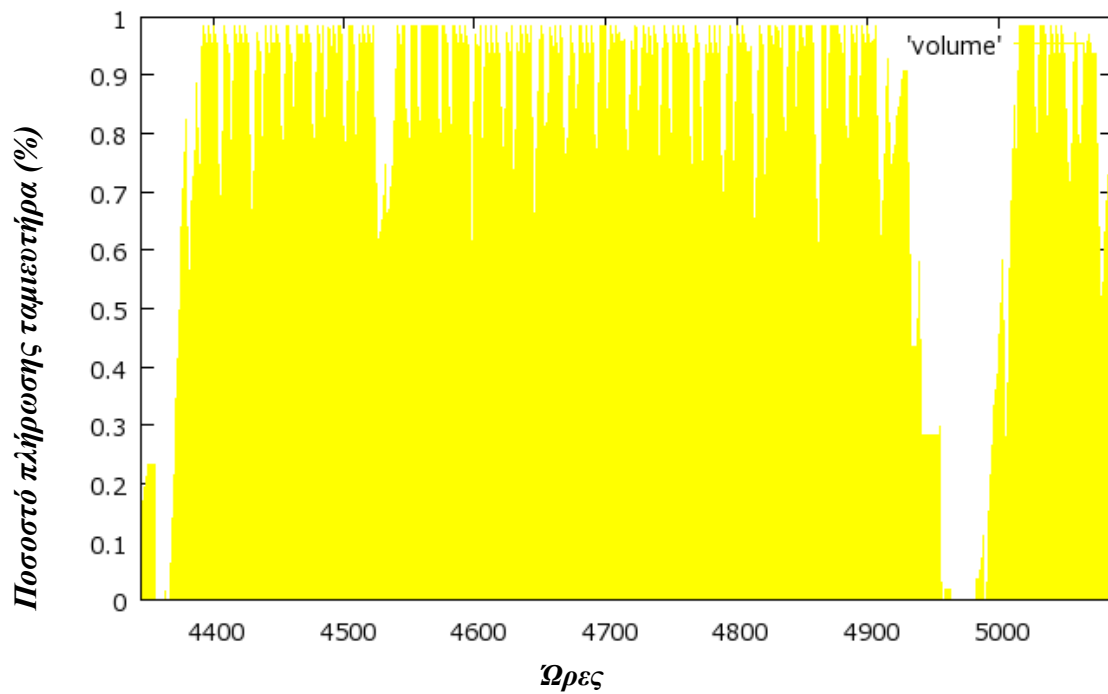
Διάγραμμα 135: Ποσοστό πλήρωσης ταμιευτήρα (1^η- 30^η Ιουνίου).



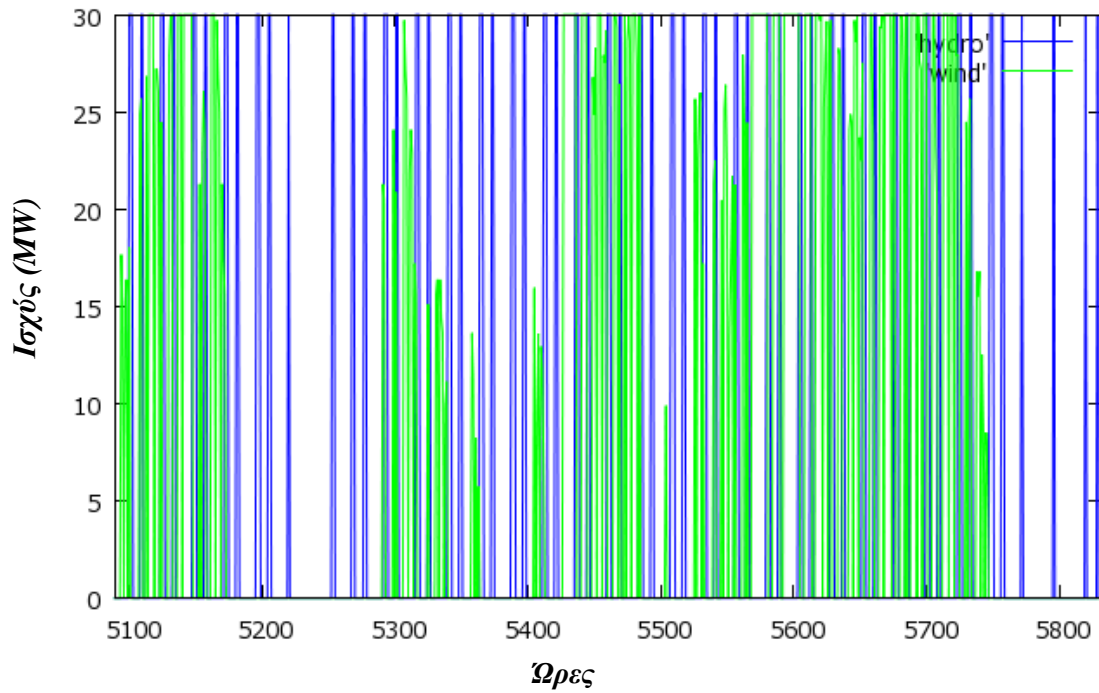
Διάγραμμα 136: Παραγωγή υδροστροβίλων και μονάδων ΑΠΕ (1^η- 31^η Ιουλίου).



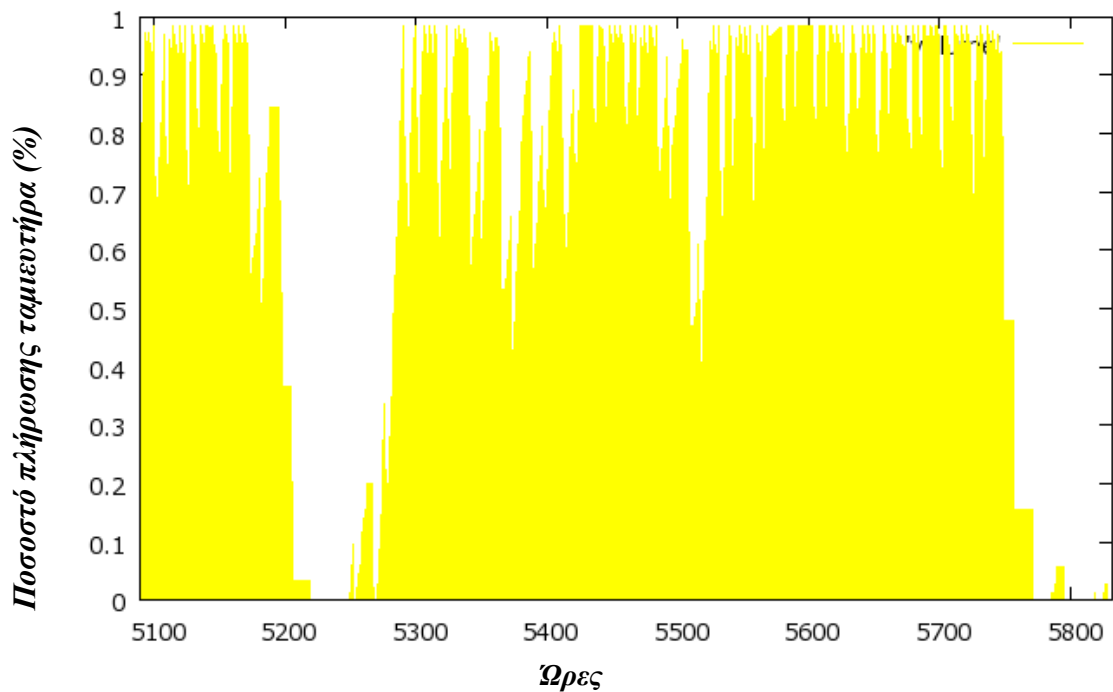
Διάγραμμα 137: Ποσοστό πλήρωσης ταμιευτήρα (1^η- 31^η Ιουλίου).



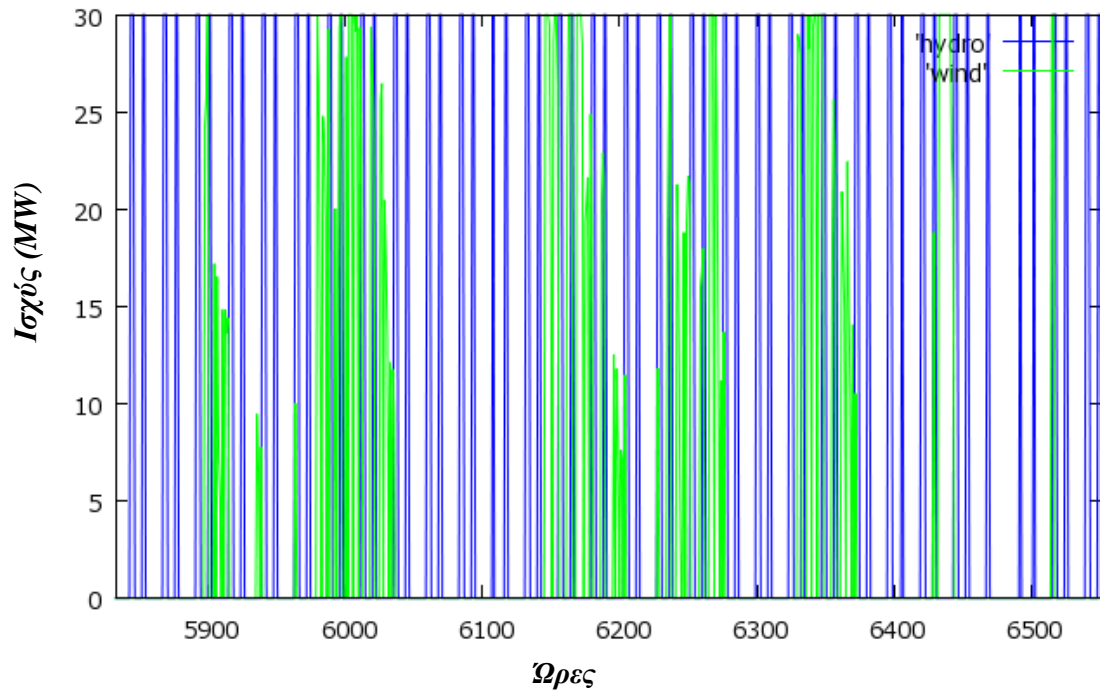
Διάγραμμα 138: Παραγωγή υδροστροβίλων και μονάδων ΑΠΕ (1^η- 31^η Αυγούστου).



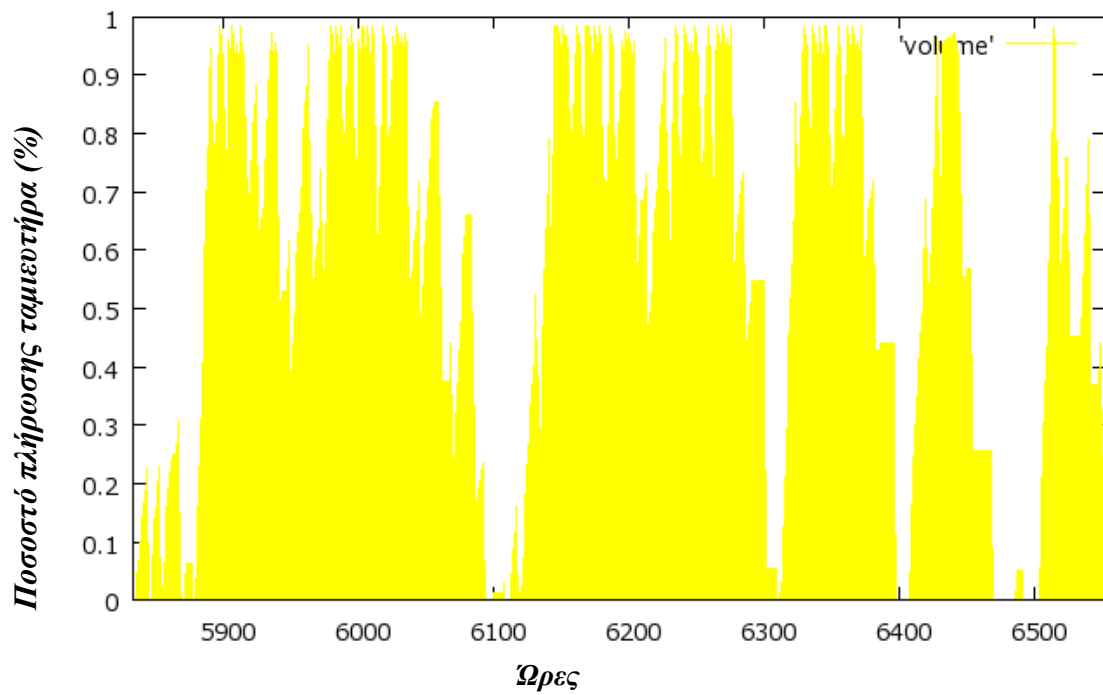
Διάγραμμα 139: Παραγωγή υδροστροβίλων και μονάδων ΑΠΕ (1^η- 31^η Αυγούστου).



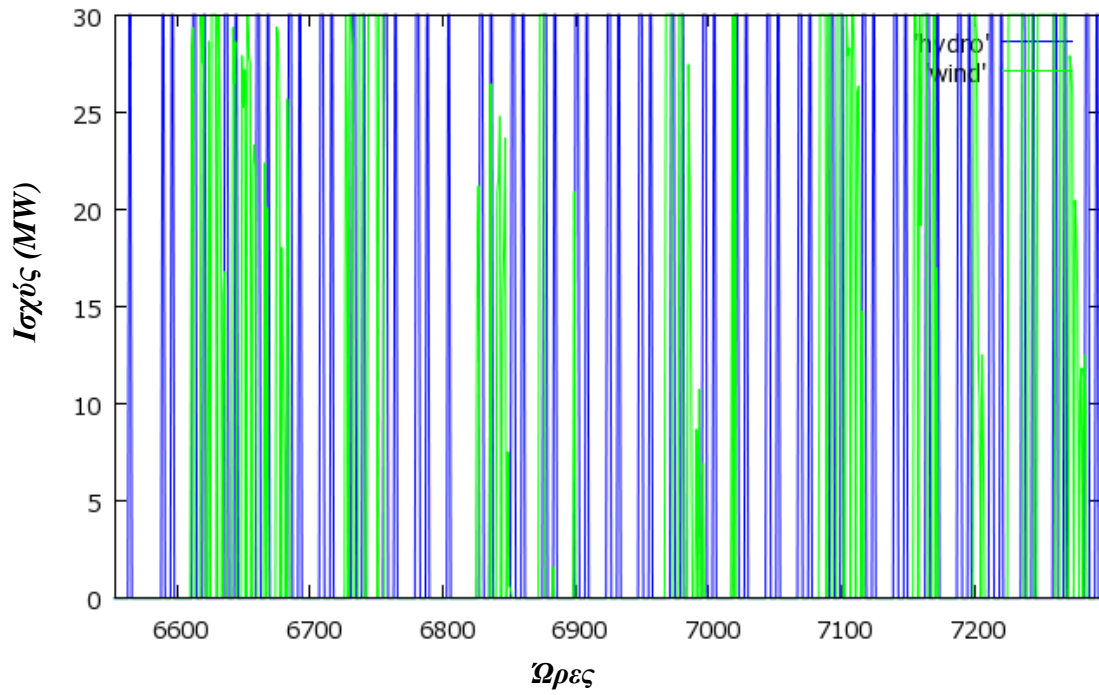
Διάγραμμα 140: Παραγωγή υδροστροβίλων και μονάδων ΑΠΕ (1^η- 30^η Σεπτεμβρίου).



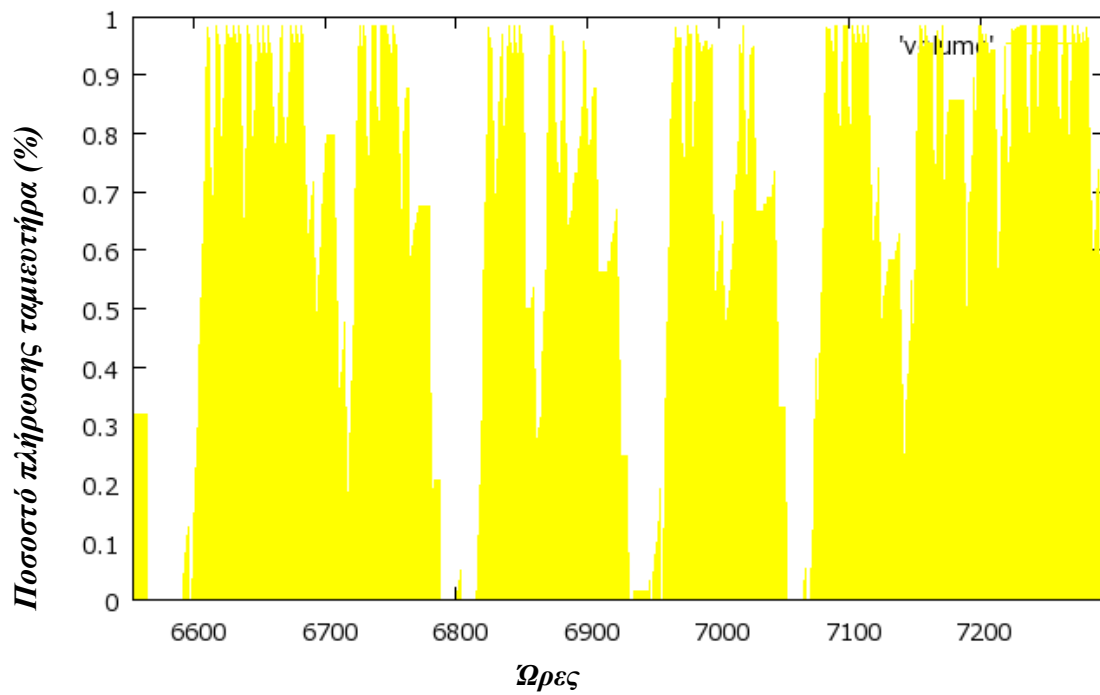
Διάγραμμα 141: Ποσοστό πλήρωσης ταμιευτήρα (1^η- 30^η Σεπτεμβρίου).



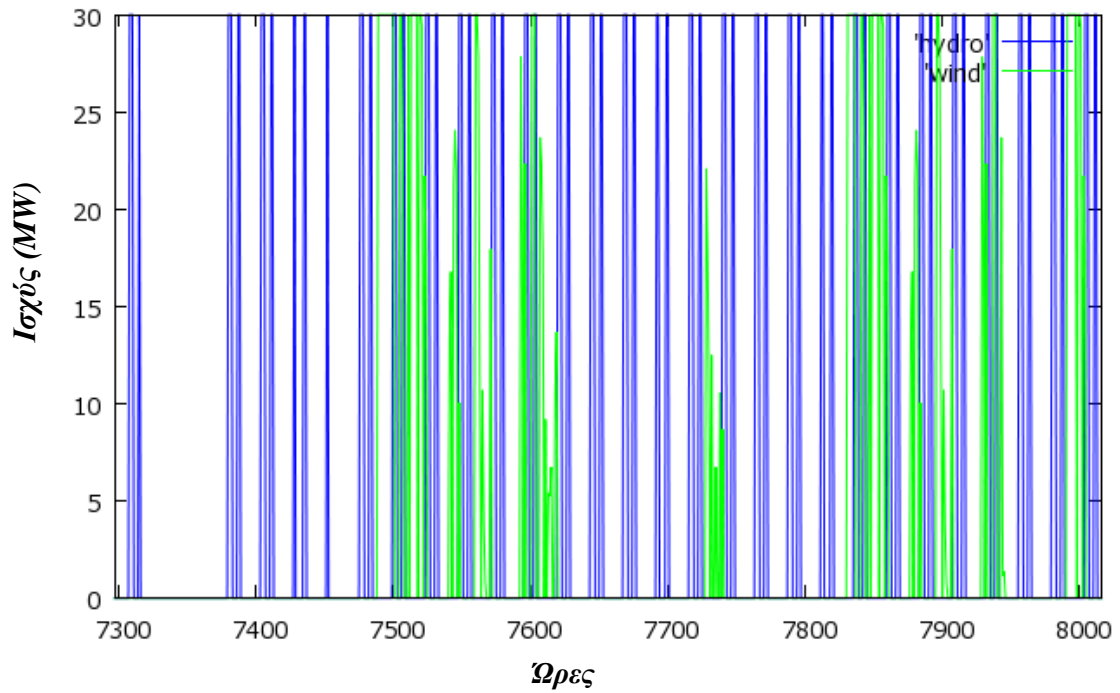
Διάγραμμα 142: Παραγωγή υδροστροβίλων και μονάδων ΑΠΕ (1^η- 31^η Οκτωβρίου).



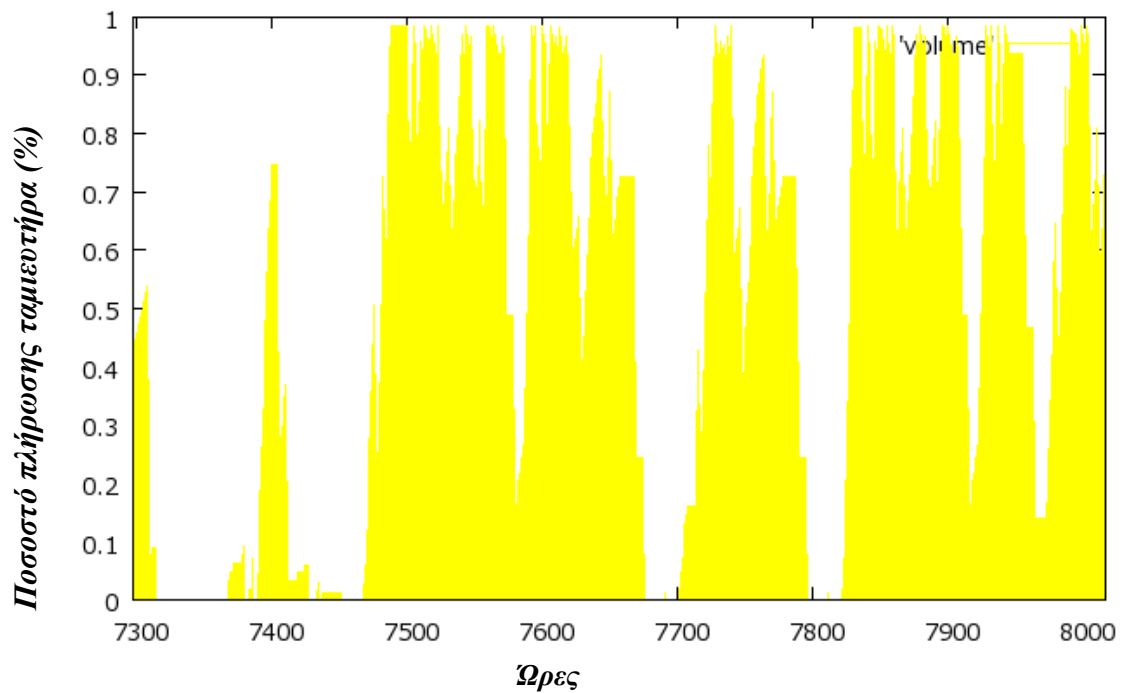
Διάγραμμα 143: Ποσοστό πλήρωσης ταμειυτήρα (1^η- 31^η Οκτωβρίου).



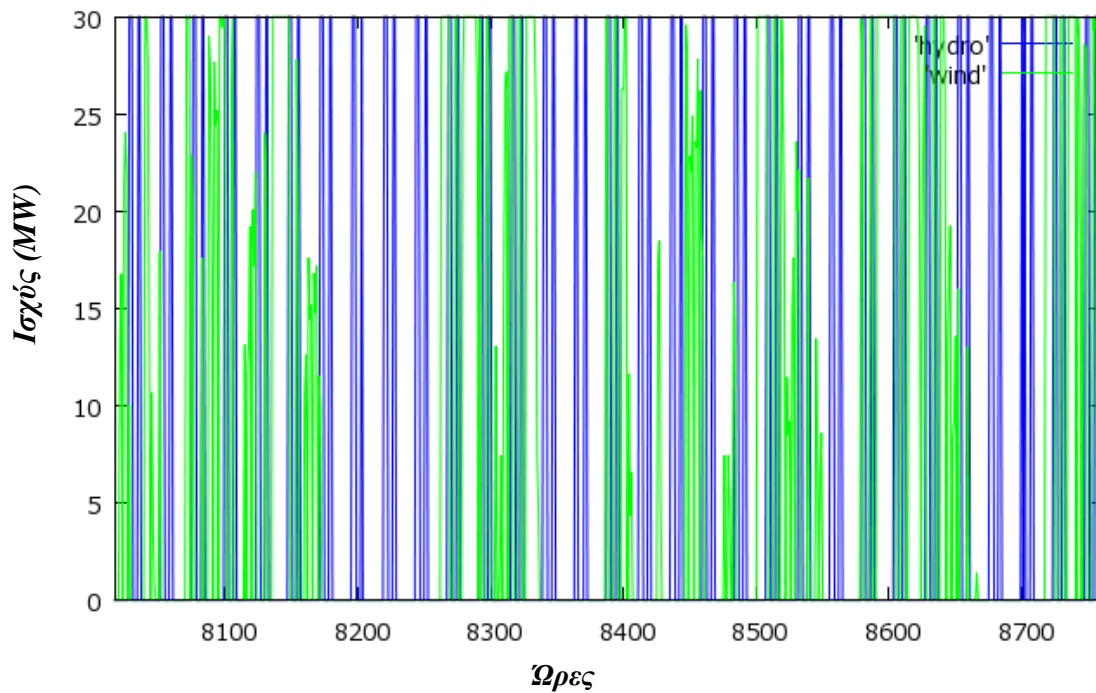
Διάγραμμα 144: Παραγωγή υδροστροβίλων και μονάδων ΑΠΕ (1^η- 30^η Νοεμβρίου).



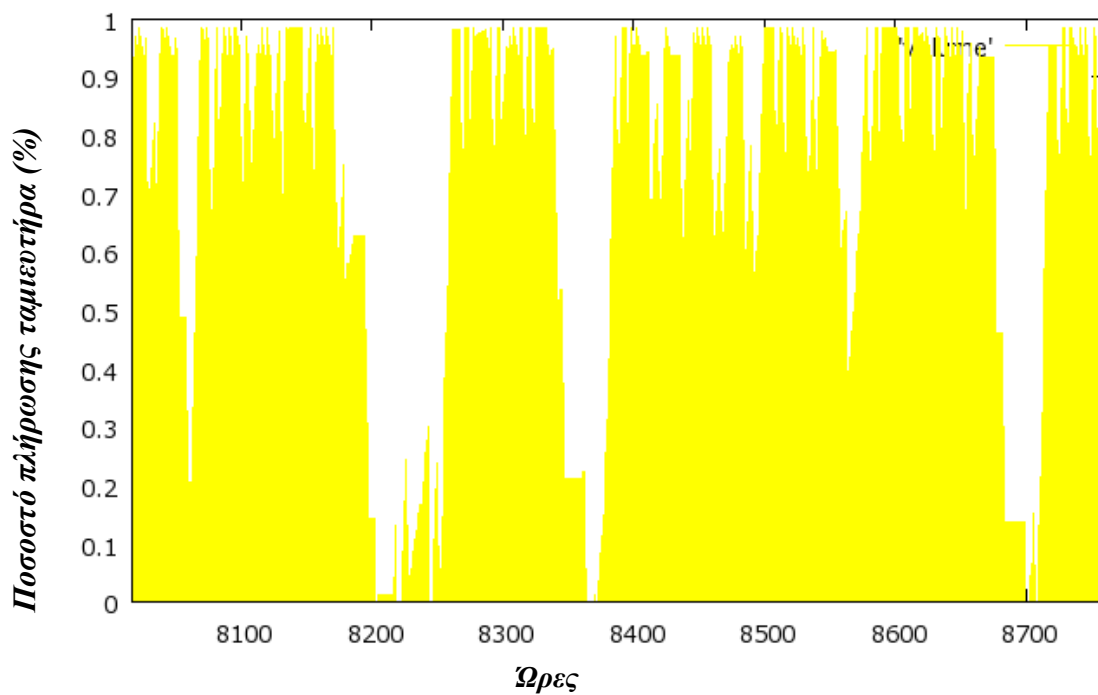
Διάγραμμα 145: Ποσοστό πλήρωσης ταμιευτήρα (1^η- 30^η Νοεμβρίου).



Διάγραμμα 146: Παραγωγή υδροστροβίλων και μονάδων ΑΠΕ (1^η- 31^η Δεκεμβρίου).



Διάγραμμα 147: Ποσοστό πλήρωσης ταμιευτήρα (1^η- 31^η Δεκεμβρίου).



9.3.3. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Πίνακας 9: Συγκεντρωτικός πίνακας για σχήμα με μια αναστρέψιμη μηχανή και 8 αντλίες.

	ΟΚΙΝΑΩΑ 3α	ΟΚΙΝΑΩΑ 3β
	<i>(ΜΕ ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ)</i>	<i>(ΧΩΡΙΣ ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ)</i>
Εγγυημένη ισχύς ΥΣ (kW)	30.000	30.000
Συνολική Παραγόμενη Ενέργεια Α/Π ΥΣ (MWh)	126.359	126.359
Συνολική Παραγόμενη Ενέργεια ΥΣ (MWh)	100.893	91.775
Παραγωγή υδροστροβίλου ΥΣ (MWh)	54.438	46.070
Παραγωγή μονάδων ΑΠΕ του ΥΣ (MWh)	46.455	45.706
Συνολική Αποθηκευμένη Ενέργεια (MWh)	77.393	66.526
Ενέργεια που απορροφάται από το δίκτυο (MWh)	12.464	0
Ποσοστό κάλυψης εγγυημένης ενέργειας (%)	99,40%	81,40%
Βαθμός Απόδοσης ΥΣ (%)	79,85%	72,63%
Βαθμός Εκμετάλλευσης Αιολικού Πάρκου (%)	90,13%	90,07%
Βαθμός απόδοσης συστήματος αντλησιοταμίευσης (%)	70,34%	69,25%
Capacity Factor Α/Π στον ΥΣ (%)	47,13%	42,71%
Τιμή παραγόμενης ενέργειας υδροστροβίλων του ΥΣ (€/MWh)	236,00	236,00
Τιμή απορροφούμενης για άντληση ενέργειας (€/MWh)	186,00	186,00
Τιμή παραγόμενης ενέργειας Α/Π του ΥΣ (€/MWh)	177,67	177,67
Τιμή διαθεσιμότητας ισχύος ΥΣ (€/kW)	127,00	127,00
Ετήσια Έσοδα ΥΣ (€)	24.911.027,85	22.802.964,15
Ετήσια Έξοδα ΥΣ (€)	2.318.304,00	0,00
Συνολικό ετήσιο κέρδος ΥΣ (€)	22.592.723,85	22.802.964,15

Ο σχεδιασμός αυτός έχει ελαφρώς βελτιωμένα αποτελέσματα από τον προηγούμενο: το ποσοστό πλήρωσης του άνω ταμιευτήρα είναι 99,40% στην περίπτωση εισαγωγής ενέργειας (έναντι του 99,30% της προηγούμενης περίπτωσης) και 81,40% στην περίπτωση μη εισαγωγής (έναντι του 81,30%). Αντίστοιχα, τα συνολικά ετήσια κέρδη του σταθμού είναι ελαφρώς αυξημένα και στις δύο περιπτώσεις: 22.592.723,85€ με εισαγωγή και 22.802.964,15€ χωρίς εισαγωγή ενέργειας από το δίκτυο.

Το σύνθετο αυτό σχήμα μιας αναστρέψιμης μονάδας και οκτώ αντλιών σταθερών στροφών είναι ελάχιστα πιο αποδοτικό σε σχέση με το προηγούμενο. Λαμβάνοντας υπόψη το κόστος του Ηλεκτρομηχανολογικού Εξοπλισμού καθώς και το επιπλέον κόστος των έργων Πολιτικού Μηχανικού στο Σταθμό Παραγωγής που επιβάλλονται λόγω του μεγάλου αριθμού των αντλιών, απαιτείται οικονομοτεχνική ανάλυση για το εάν το σχήμα αυτό είναι τελικά αποδοτικότερο από το προηγούμενο ή όχι.

9.4. ΧΡΗΜΑΤΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Βάσει της προηγούμενης ενεργειακής προσομοίωσης του συστήματος, προκύπτει ότι ο αποδοτικότερος ενεργειακά και οικονομικά σχεδιασμός είναι αυτός που συνδυάζει τη χρήση μιας αναστρέψιμης μηχανής και τεσσάρων αντλιών, με εισαγωγή ενέργειας από το δίκτυο. Το αποτέλεσμα αυτό προκύπτει καθώς το σύνθετο αυτό σχήμα καλύπτει σε ικανοποιητικό ποσοστό την εγγυημένη παραγωγή του Υβριδικού Σταθμού (σε σχέση με τη χρήση μόνο μιας αναστρέψιμης), ενώ ταυτόχρονα έχει μικρότερο κατασκευαστικό κόστος, λόγω του μικρού αριθμού αντλιών (σε σχέση με τις οχτώ αντλίες τις τελευταίας εναλλακτικής).

Η απόφαση για την προώθηση μιας επένδυσης είναι ιδιαίτερα σημαντική και, επομένως, είναι απαραίτητη η διερεύνηση της χρηματοοικονομικής αποδοτικότητας του εξεταζόμενου σχεδίου επένδυσης. Στη συνέχεια γίνεται μια προκαταρκτική ανάλυση οικονομικής βιωσιμότητας της επένδυσης, προκειμένου να εξεταστεί εάν μια τέτοια επένδυση στον ελλαδικό χώρο θα ήταν προσοδοφόρα για έναν ιδιώτη επενδυτή.

Με την ανάλυση χρηματοροής εξετάζεται αν η επένδυση αποφέρει χρηματικό κέρδος στον επιχειρηματία επενδυτή για τα κεφάλαια που διέθεσε, και στηρίζεται αποκλειστικά στις χρηματικές ροές της επένδυσης, δηλαδή στο χρηματικό ποσό που εισέρχεται ή εξέρχεται μια δεδομένη χρονική προς και από την επιχείρηση που θα επενδύσει στο εν λόγω σύστημα. Μια αρκετά δημοφιλής μέθοδος αξιολόγησης των επενδύσεων είναι το κριτήριο εσωτερικής απόδοσης της επένδυσης (Internal Rate of Return- IRR). Το κριτήριο του IRR εκφράζει το πόσο κινδυνεύει να ανατραπεί η οικονομική βιωσιμότητα ενός έργου λόγω μεταβολής των επιτοκίων. Πρακτικά, είναι το υπολογιζόμενο επιτόκιο (εσωτερική αποδοτικότητα) με το οποίο η παρούσα αξία των ταμειακών εισροών είναι ίση με την παρούσα αξία των ταμειακών εκροών, δηλαδή η άθροιση των καθαρών χρηματοροών όλου του χρονικού ορίζοντα του σχεδίου επένδυσης είναι ίση με το μηδέν. Από τη σύγκριση του IRR με το «επίσημο» επιτόκιο της αγοράς, συμπεραίνεται η αποδοτικότητα (αν ο IRR είναι μεγαλύτερος) ή μη του σχεδίου επένδυσης (αν ο IRR είναι μικρότερος).

Οι παραδοχές που έγιναν για την ακόλουθη χρηματοροή είναι οι εξής:

Για το συνολικό κόστος κατασκευής του έργου, θεωρήθηκε ρεαλιστικό το ποσό των 3.000€ ανά kW εγγυημένης ισχύος. Κατά συνέπεια, προκύπτει κόστος επένδυσης 90.000.000€ για 30 MW εγγυημένης ισχύος. Θεωρούμε προσαύξηση κόστους ~10%, λόγω ιδιαιτεροτήτων του θαλασσινού νερού, και προκύπτει συνολικό κόστος 100.000.000€.

Συνήθως, η διάρκεια κατασκευής των μικρών ΥΗΕ είναι της τάξεως των 2 ετών. Στην περίπτωση αυτή, λόγω πολυπλοκότητας του σχήματος, η διάρκεια κατασκευής θεωρήθηκε ίση με τέσσερα έτη. Η διάρκεια λειτουργίας για την οικονομική ανάλυση λήφθηκε ίση με 20 χρόνια, εφόσον τόση είναι συνήθως η διάρκεια ζωής του Ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού.

Θεωρήθηκε ότι η συμμετοχή ιδίων κεφαλαίων στην επένδυση είναι της τάξεως του 30%, ενώ το υπόλοιπο κόστος (70%) καλύπτεται από τραπεζικό δανεισμό. Το επιτόκιο δανεισμού λήφθηκε ίσο με 6,5% κατά την κατασκευαστική περίοδο και 8% κατά την περίοδο λειτουργίας του έργου. Το τοκοχρεωλύσιο θεωρήθηκε σταθερό, με αποπληρωμή κατά τη λειτουργία, και υπολογίσθηκε από τη σχέση:

$$X = \frac{K \cdot i}{1 - (1 + i)^{-N}}$$

όπου X το τοκοχρεωλύσιο, K το κόστος της επένδυσης, i το επιτόκιο δανεισμού και N τα έτη αποπληρωμής.

Θεωρήθηκε ότι επιβάλλεται φόρος στα ετήσια κέρδη του Σταθμού, της τάξεως του 25%.

Τα ετήσια έξοδα λειτουργίας και συντήρησης του σταθμού θεωρήθηκαν ίσα με το 1,5% της αρχικής επένδυσης, ενώ τυχόν αυξομειώσεις του πληθωρισμού αγνοήθηκαν, καθώς είναι ιδιαίτερα δύσκολο να προβλεφθούν.

		ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ				ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ																			
		1	2	3	4	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Συνολική επένδυση	-100.000	32.500	22.500	22.500	22.500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ίδια κεφάλαια	-30.000	-9.750	-6.750	-6.750	-6.750	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Τραπεζικός δανεισμός	-70.000	22.750	15.750	15.750	15.750	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Έσοδα		-	-	-	-	21.430	21.430	21.430	21.430	21.430	21.430	21.430	21.430	21.430	21.430	21.430	21.430	21.430	21.430	21.430	21.430	21.430	21.430	21.430	21.430
Κόστος Λ&Σ		-	-	-	-	-1.500	-1.500	-1.500	-1.500	-1.500	-1.500	-1.500	-1.500	-1.500	-1.500	-1.500	-1.500	-1.500	-1.500	-1.500	-1.500	-1.500	-1.500	-1.500	-1.500
Τόκοι κατά την κατασκευή	-12.058	-1.479	-2.503	-3.526	-4.550	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Τόκοι κατά τη λειτουργία	-85.097	-	-	-	-	-6.565	-6.421	-6.266	-6.099	-5.918	-5.723	-5.512	-5.285	-5.039	-4.773	-4.486	-4.177	-3.842	-3.481	-3.091	-2.670	-2.215	-1.723	-1.192	-619
Χρεωλύσιο		-	-	-	-	-1.793	-1.937	-2.092	-2.259	-2.440	-2.635	-2.845	-3.073	-3.319	-3.584	-3.871	-4.181	-4.515	-4.877	-5.267	-5.688	-6.143	-6.635	-7.165	-7.739
Τοκοχρεωλύσιο	-167.155	-	-	-	-	-8.358	-8.358	-8.358	-8.358	-8.358	-8.358	-8.358	-8.358	-8.358	-8.358	-8.358	-8.358	-8.358	-8.358	-8.358	-8.358	-8.358	-8.358	-8.358	-8.358
Φόρος		-	-	-	-	-4.983	-4.983	-4.983	-4.983	-4.983	-4.983	-4.983	-4.983	-4.983	-4.983	-4.983	-4.983	-4.983	-4.983	-4.983	-4.983	-4.983	-4.983	-4.983	-4.983
Κέρδη προ φόρων, τόκων κλπ		-	-	-	-	19.930	19.930	19.930	19.930	19.930	19.930	19.930	19.930	19.930	19.930	19.930	19.930	19.930	19.930	19.930	19.930	19.930	19.930	19.930	19.930
Κέρδη μετά φόρων, τόκων κλπ		23.785	17.502	18.218	18.935	6.590	6.590	6.590	6.590	6.590	6.590	6.590	6.590	6.590	6.590	6.590	6.590	6.590	6.590	6.590	6.590	6.590	6.590	6.590	6.590
IRR ιδίων κεφαλαίων	16,07%	-9.750	-6.750	-6.750	-6.750	6.590	6.590	6.590	6.590	6.590	6.590	6.590	6.590	6.590	6.590	6.590	6.590	6.590	6.590	6.590	6.590	6.590	6.590	6.590	6.590
IRR έργου	14,69%	32.500	22.500	22.500	22.500	19.930	19.930	19.930	19.930	19.930	19.930	19.930	19.930	19.930	19.930	19.930	19.930	19.930	19.930	19.930	19.930	19.930	19.930	19.930	19.930

Από τους δείκτες IRR (16,07% για τα ίδια κεφάλαια και 14,69% για όλο το έργο), συμπεραίνουμε ότι μια τέτοια επένδυση θα ήταν σαφώς κερδοφόρα, εκτός από ιδιαίτερα αποδοτική ενεργειακά.

9.5. ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΙΣΧΥΟΣ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ

Ακολουθεί η διερεύνηση της επίδρασης του Αιολικού Πάρκου στην ενεργειακή απόδοση του Σταθμού. Η προσομοίωση γίνεται για σύστημα με μια αναστρέψιμη μηχανή, χωρίς συμβατικές αντλίες, λόγω απλούστευσης του σχήματος.

Παρόλο που υπάρχει περιορισμός από τη νομοθεσία όσον αφορά στην ισχύ του Αιολικού Πάρκου του Σταθμού (προσαύξηση 20% των μονάδων αποθήκευσης του σταθμού), διερευνήθηκαν σχήματα με μικρότερη ή μεγαλύτερη ισχύ Αιολικού Πάρκου. Όπως φαίνεται στον ακόλουθο πίνακα, το ποσοστό κάλυψης της εγγυημένης ενέργειας δεν παρουσιάζει ανάλογη αύξηση με την αύξηση ισχύος του Αιολικού. Επιπλέον, η αύξηση στα ετήσια έσοδα του Σταθμού είναι προφανής, χωρίς όμως να δικαιολογεί την αύξηση του κόστους επένδυσης, η οποία θα είναι μεγάλη λόγω του πλήθους των ανεμογεννητριών. Συμπερασματικά, προκύπτει ο Υβριδικός Σταθμός με 36MW αιολικής ισχύος αποτελεί τη βέλτιστη επιλογή.

	ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΓΕΘΩΝ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΙΣΧΥΕΙΣ ΑΙΟΛΙΚΩΝ ΠΑΡΚΩΝ ΤΟΥ ΥΣ ΓΙΑ ΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ ΟΚΙΝΑΩΑ 1α				
	(ΜΕ ΙΣΧΥ ΑΙΟΛΙΚΟΥ 30 MW)	(ΜΕ ΙΣΧΥ ΑΙΟΛΙΚΟΥ 36 MW)	(ΜΕ ΙΣΧΥ ΑΙΟΛΙΚΟΥ 42 MW)	(ΜΕ ΙΣΧΥ ΑΙΟΛΙΚΟΥ 48 MW)	(ΜΕ ΙΣΧΥ ΑΙΟΛΙΚΟΥ 54 MW)
Εγγυημένη ισχύς ΥΣ (kW)	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000
Συνολική Παραγόμενη Ενέργεια Α/Π ΥΣ (MWh)	105.300	126.359	147.421	168.480	189.540
Συνολική Παραγόμενη Ενέργεια ΥΣ (MWh)	60.102	74.237	85.007	93.450	99.450
Παραγωγή υδροστροβίλου ΥΣ (MWh)	52.464	53.079	53.262	53.323	53.614
Παραγωγή μονάδων ΑΠΕ του ΥΣ (MWh)	7.638	21.157	31.745	40.127	45.835
Συνολική Αποθηκευμένη Ενέργεια (MWh)	70.239	72.397	73.893	75.124	76.123
Ενέργεια που απορροφάται από το δίκτυο (MWh)	44.272	34.838	28.855	25.500	23.035
Ποσοστό κάλυψης εγγυημένης ενέργειας (%)	95,80%	96,90%	97,30%	97,40%	97,90%
Βαθμός Απόδοσης ΥΣ (%)	57,08%	58,75%	57,66%	55,47%	52,47%
Βαθμός Εκμετάλλευσης Αιολικού Πάρκου (%)	39,99%	50,42%	53,01%	53,14%	52,21%
Βαθμός απόδοσης συστήματος αντλησιοταμίευσης (%)	74,69%	73,32%	72,08%	70,98%	70,43%
Capacity Factor Α/Π στον ΥΣ (%)	29,63%	35,60%	40,20%	43,85%	46,41%
Τιμή παραγόμενης ενέργειας υδροστροβίλων του ΥΣ (€/MWh)	236,00	236,00	236,00	236,00	236,00
Τιμή απορροφούμενης για άντληση ενέργειας (€/MWh)	186,00	186,00	186,00	186,00	186,00
Τιμή παραγόμενης ενέργειας Α/Π του ΥΣ (€/MWh)	177,67	177,67	177,67	177,67	177,67
Τιμή διαθεσιμότητας ισχύος ΥΣ (€/kW)	127,00	127,00	127,00	127,00	127,00
Ετήσια Έσοδα ΥΣ (€)	17.388.501,54	19.977.663,48	22.020.040,53	23.523.662,00	24.606.537,68
Ετήσια Έξοδα ΥΣ (€)	8.234.622,50	6.479.833,22	5.367.116,49	4.743.066,77	4.284.550,73
Συνολικό ετήσιο κέρδος ΥΣ (€)	9.153.879,04	13.497.830,26	16.652.924,04	18.780.595,23	20.321.986,95

10.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Νόμος 3468/2006 ΦΕΚ 129/Α/27-06-2006: «Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης και λοιπές διατάξεις»
- Νόμος 3851/2010 ΦΕΚ 85/Α/04-06-2010: «Επιτάχυνση της ανάπτυξης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και άλλες διατάξεις σε θέματα αρμοδιότητας του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής»
- Υδροδυναμικές Μηχανές, Αντλίες- Υδροστρόβιλοι, Δ. Ε. Παπαντώνης, Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα 2002.
- Μικρά υδροηλεκτρικά έργα, Δ. Ε. Παπαντώνης, Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα 2001.
- Παραδόσεις Μαθήματος «Επιχειρησιακή Έρευνα Ι», Π. Πολύζος, Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα 2005.
- Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, Αρθ. Ζερβός, Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα 2007
- Ανεμοκινητήρες, Γ. Μπεργελές, Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα 2005.
- Hydraulic Structures Third Edition, P. Novak, A.I.B. Moffat, C. Nalhuri, R. Narayanan, Taylor & Francis Group, Span Press, 2004, New York.
- Estimating Reversible Pump- Turbine Characteristics, R. S. Stelzer and R. N. Walters, United States Department of the Interior Bureau of Reclamation, Denver 1977.
- Engineering Geology, Seawater pumped storage power plant in Okinawa island, Japan, Elsevier Science Publishers B.V. 1993, Amsterdam.
- Operating policies for Wind- Pumped Storage Hybrid Power Stations in Island Grids, S. Papaefthimiou, E. Karamanou, S. Papathanassiou, M. Papadopoulos, NTUA, School of Electrical and Computer Engineering, Electric Power Division, Athens.
- Seawater powerhouse test operations on a seawater pumped- storage power

plant in Okinawa are yielding promising results. Ohara Hideo profiles the demonstration plant. Japan 2004.

- IEA Hydropower Implementing Agreement Annex VIII, Hydropower Good Practices, Environmental Mitigation Measures and Benefits, Case Study 01-01: Biological diversity- Okinawa Seawater Pumped Storage Power Plant, New Energy Foundation, Japan 2006.
- Development of Pump Turbine for seawater pumped- storage power plant, Hitachi Review Vol. 47, Japan 1998.
- Ingula Pumped Storage Project & Spirit of Ireland Project, Sam Mottram, Knight Piesold Consulting, Ireland 2010.
- en.wikipedia.org
- goliath.ecnext.com
- www.cleanenergybc.org
- www.jpower.co.jp
- www.organicpower.ie
- www.hydropower.org
- www.icold.or.jp
- www.examiner.ie
- www.rae.gr