



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών
Τομέας Ρευστών

**Μοντελοποίηση και ανάλυση της λειτουργίας υφιστάμενου
υδροηλεκτρικού συστήματος μετά την ένταξη πρόσθετων
μονάδων αντλησιοταμίευσης για αποθήκευση
απορριπτόμενης παραγωγής από Α.Π.Ε.**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Μανούσος - Μανουσάκης Σταύρος

Επιβλέπων: Αναγνωστόπουλος Ι.

Αθήνα, 2013

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον καθηγητή κ. Αναγνωστόπουλο Ιωάννη για τη συνεργασία, το χρόνο που αφιέρωσε και τις σημαντικές υποδείξεις και οδηγίες του που ήταν απαραίτητες για τη διεκπεραίωση αυτής της εργασίας.

Επιπλέον, ευχαριστώ όλους τους καθηγητές της σχολής μας για όλα όσα διδάχθηκα κατά τη διάρκεια της φοίτησης μου.

Η διπλωματική αυτή αφιερώνεται στην οικογένεια και τους φίλους μου, που με υποστήριξαν θερμά καθ' όλη τη διάρκεια της συγγραφής της.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	3
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	5
ABSTRACT	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ^ο – ΕΙΣΑΓΩΓΗ	9
1.1 Το ενεργειακό πρόβλημα.....	9
1.2 Παγκόσμια και εγχώρια παραγωγή ενέργειας	12
1.3 Σκοπός και Διάρθρωση της Παρούσας Εργασίας.....	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ^ο – ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΚΑΙ ΜΗ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	17
2.1 Εισαγωγή.....	17
2.2 Περιγραφή Α.Π.Ε.....	21
2.3 Αιολική ενέργεια.....	27
2.3.1 Άνεμος	27
2.3.2 Ανεμογεννήτριες.....	30
2.4 Υδροηλεκτρική Ενέργεια	36
2.4.1 Γενικά.....	36
2.4.2 Υδροστρόβιλοι	37
2.4.3 Υδροηλεκτρικά έργα.....	40
2.5 Α.Π.Ε. και Ελλάδα.....	42
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ^ο – ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	51
3.1 Τα ηλεκτρικά συστήματα σήμερα	51
3.2 Μονάδες παραγωγής ενέργειας φορτίου βάσης και αιχμής	57
3.3 Τα μελλοντικά ηλεκτρικά δίκτυα.....	59
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ^ο – ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	63
4.1 Εισαγωγή.....	63
4.2 Τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας.....	65
4.2.1 Γενικά.....	65

Περιεχόμενα

4.2.2 Αποθήκευση ενέργειας σε συσσωρευτές.....	67
4.2.3 Αποθήκευση ενέργειας σε σφονδύλους.....	69
4.2.4 Υπεραγώγιμη Μαγνητική Ενεργειακή Αποθήκευση.....	70
4.2.5 Αποθήκευση ενέργειας με πεπιεσμένο αέρα.....	71
4.3 Αποθήκευση ενέργειας με αντλησιοταμίευση.....	73
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ^ο - ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ	77
5.1 Εισαγωγή.....	77
5.2 Περιγραφή Μεθοδολογίας.....	81
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ^ο – ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	87
6.1 Αποτελέσματα πρώτου κώδικα.....	87
6.2 Αποτελέσματα δεύτερου κώδικα	94
6.2.1 Γενικά.....	94
6.2.2 Επάρκεια νερού κάτω ταμιευτήρων	94
6.2.3 Ενεργειακά αποτελέσματα συστήματος	97
6.2.3.1 Γενικά	97
6.2.3.2 Αναλυτικά αποτελέσματα άντλησης.....	102
6.2.3.3 Αναλυτικά αποτελέσματα παραγωγής	110
6.2.4 Ενεργειακά αποτελέσματα σε μία συγκεκριμένη μονάδα	116
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 ^ο - ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ.....	123
7.1 Πρόταση τιμολόγησης ενέργειας.....	123
7.2 Αποτελέσματα οικονομοτεχνικής ανάλυσης.....	124
7.3 Συσχέτιση αποτελεσμάτων με βάση το χρόνο	134
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 ^ο - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ	137
8.1 Συμπεράσματα.....	137
8.2 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα	138
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	139

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η διπλωματική αυτή εργασία διερευνά τη δυνατότητα ανάπτυξης βιώσιμων επενδυτικών σχεδίων που να χρησιμοποιούν το σύστημα της αντλησιοταμίευσης, ως μέθοδο αποταμίευσης ενέργειας σε ένα περιβάλλον όλο και αυξανόμενης εγκατεστημένου ισχύος ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Ως γνωστόν, η αξιοποίηση της αιολικής και φωτοβολταϊκής παραγωγής υπόκειται στο σημαντικό περιορισμό του ανώτατου ορίου διείσδυσής τους, ώστε να επιτυγχάνεται η σταθερότητα και η αξιοπιστία του ηλεκτρικού δικτύου επειδή, χαρακτηρίζονται από διακοπτόμενη, ευμετάβλητη και μη προβλέψιμη λειτουργία.

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η διερεύνηση βιώσιμων και εφικτών σχεδίων αντλησιοταμίευσης, με απώτερο σκοπό την αύξηση της διείσδυσης της αιολικής και ηλιακής ενέργειας στο ελληνικό ηλεκτρικό σύστημα.

Μελετάται η περίπτωση των ταμιευτήρων του Καστρακίου και του Στράτου στον ποταμό Αχελώο, που ήδη αποτελούν δύο από τα μεγαλύτερα υδροηλεκτρικά έργα της Ελλάδας. Συγκεκριμένα, διερευνάται η δυνατότητα μετατροπής της μονάδας του Καστρακίου σε αντιστρέψιμη, σε συνδυασμό με κατασκευή πρόσθετων τεχνητών ταμιευτήρων στο ευνοϊκό γεωγραφικό περιβάλλον τις περιοχές με έντονες υψομετρικές διαφορές, που θα αυξήσουν τη δυνατότητα αντλησιοταμίευσης του όλου συστήματος.

Για τη διερεύνηση χρησιμοποιείται υπολογιστικός αλγόριθμος, ο οποίος υπολογίζει την απορριπτόμενη αιολική παραγωγή από το υφιστάμενο δίκτυο και την αποθηκεύει στους προκαθορισμένους σταθμούς αντλησιοταμίευσης, απ' όπου επαναδιοχετεύεται στο δίκτυο κατά τις ώρες υψηλής ζήτησης. Ακολουθεί οικονομοτεχνική και ενεργειακή μελέτη, η οποία διερευνά τη βιωσιμότητα της επένδυσης, άλλα και τα ενεργειακά οφέλη για διάφορες πιθανές εξελίξεις της αιολικής ανάπτυξης στις επόμενες δεκαετίες, καθώς και της παράλληλης ανάπτυξης των Φωτοβολταϊκών συστημάτων.

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι από ενεργειακής άποψης το σύστημα εκμεταλλεύεται ένα μέρος της απορριπτόμενης ενέργειας, αλλά όσο αυξάνονται οι απορρίψεις αυτό το ποσοστό ελαττώνεται. Έτσι, από επενδυτικής άποψης σε πρώτο στάδιο μπορεί να κατασκευαστεί η αντιστρέψιμη μονάδα Στράτου – Καστρακίου, αλλά οι υπόλοιπες θα πρέπει να αναμένουν την αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος αιολικών και ηλιακών πάρκων κατά τα επόμενα χρόνια και να προχωρήσει σταδιακά η υλοποίησή τους, ώστε να είναι επικερδείς.

ABSTRACT

This diploma thesis explores the possibility of developing viable investment projects using pumped storage as a method of saving energy in an environment of ever-increasing installed power of Renewable Energy Sources. The exploitation of wind and photovoltaic production is subject to the important restriction of their maximum penetration limit in order to achieve the stability and reliability of the network because they are characterized by intermittent, variable and unpredictable operation.

The aim of this study is the enquiry of viable and feasible pumped storage projects, for the purpose of increasing the penetration of wind and solar energy in Greek electric system.

The case of the reservoirs of Kastraki and Stratos near river Acheloos are being studied, which are currently two of the largest hydroelectric plants in Greece. In particular, the possibility of converting the unit of Kastraki in reversible pumped storage plant is being investigated combined with the construction of additional artificial reservoirs in the favorable geographical environment with intense elevation differences, which would increase the pumped storage capacity of the whole system.

For the present investigation, a computer algorithm is used, that computes the rejected wind production from the existing electricity grid and saves this energy to the defined pumped storage units, from where it is redirected to the grid during the high demand hours. An economic and energy study follows, which investigates the viability of the investment and the energy benefits for various possible development rates of wind power production in the coming decades as also the parallel development of photovoltaic systems.

The results show that from the energy point of view the system exploits a portion of the rejected energy, but as long as rejections increase, this portion reduces. Concerning the feasibility of the investment, the reversible unit of Stratos-Kastraki can be constructed at first, but the rest units should wait the increase of wind and solar installations in the next years and be gradually realized in order to be profitable.

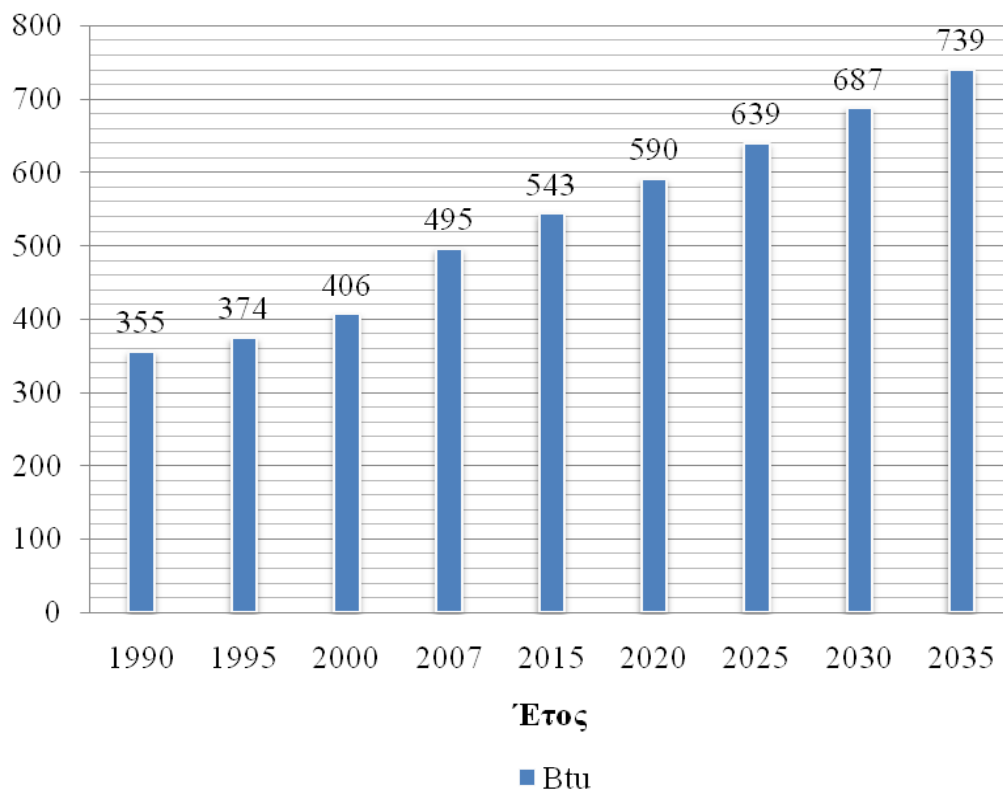
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο – ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Το ενεργειακό πρόβλημα

Τις τελευταίες δεκαετίες σε παγκόσμιο επίπεδο, κρίνεται επιτακτική η, όσο το δυνατό μεγαλύτερη, απεξάρτηση της ηλεκτροπαραγωγής από το πετρέλαιο και τον άνθρακα. Άλλωστε, όχι μόνο τα αποθέματα των πηγών αυτών έχουν αρχίσει και εξαντλούνται με αποτέλεσμα να αυξάνεται και το κόστος τους, αλλά και οι επιπτώσεις που έχουν στο περιβάλλον, οι θερμοηλεκτρικοί σταθμοί που χρησιμοποιούν τέτοιου είδους καύσιμα, είναι δύσκολα αντιστρέψιμες και επηρεάζουν τη ζωή όλου του πλανήτη. Έτσι αδιαμφισβήτητα, το ενεργειακό πρόβλημα θα βρίσκεται διαχρονικά στο επίκεντρο της παγκόσμιας πολιτικής. Η ιστορία έχει δείξει επανειλημμένα πως το ενεργειακό πρόβλημα αποτέλεσε αίτιο για αρκετές στρατιωτικές, πολιτικές και πλέον οικονομικές παρεμβάσεις σε παγκόσμια κλίμακα. Όσο η τεχνολογία προοδεύει, όσο τα κράτη αναπτύσσονται, τόσο και οι απαιτήσεις σε ενέργεια θα είναι συνεχώς αυξανόμενες. Η αύξηση του πληθυσμού στα 7 δις, η ανάγκη για βελτίωση της ποιότητας διαβίωσης αποτελούν επίσης δύο από τους βασικότερους παράγοντες της αύξησης της κατανάλωσης ενέργειας.

Τον προηγούμενο αιώνα, η παραγωγή ενέργειας βασίστηκε στην καύση ορυκτών καυσίμων λόγω του αρκετά χαμηλού κόστους τους. Όμως, η ανεξέλεγκτη άντληση τους έχει οδηγήσει σήμερα σε μια επικείμενη εξάντληση των αποθεμάτων. Ίσως το πιο σημαντικό μειονέκτημα των συμβατικών πηγών ενέργειας, είναι οι επιπτώσεις που έχει στο περιβάλλον η εκμετάλλευση και η χρήση τους. Πλέον, η αυξανόμενη μόλυνση του περιβάλλοντος επηρεάζει τη ζωή κάθε ανθρώπου. Γεγονότα σε παγκόσμιο επίπεδο όπως η αύξηση της θερμοκρασίας (φαινόμενο του θερμοκηπίου), η μείωση των βροχοπτώσεων, η μείωση των υδάτινων αποθεμάτων, τα μη αναμενόμενα καιρικά φαινόμενα, αποτελούν ορισμένα από τα ορατά αποτελέσματα της ενεργειακής δραστηριότητας και φιλοσοφίας του προηγούμενων χρόνων. Είναι κατανοητό, λοιπόν, ότι πρέπει να ενισχυθούν άλλες, αναξιοποίητες μέχρι σήμερα, λύσεις για την παραγωγή ενέργειας, αφού μια μείωση της ζήτησης κρίνεται απίθανη λόγω του νέου τρόπου ζωής των ανθρώπων. Επιπλέον, θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στον αντίκτυπο που έχει η εκμετάλλευση κάθε πηγής ενέργειας στο περιβάλλον. Ακόμα, η βελτίωση των υπαρχουσών εγκαταστάσεων και η δημιουργία περιβαλλοντικής πολιτικής κρίνεται αναγκαία.

Σύμφωνα με στοιχεία του οργανισμού Energy Information Administration (E.I.A.) στην παγκόσμια αναφορά που συνέταξε για το 2010, η παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας θα αυξηθεί κατά 49%, ή 1,4% ανά έτος, από 495 τετράκις εκατομμύρια Btu (1689x10¹² GWh) το 2007 σε 739 τετράκις εκατομμύρια Btu (2522x10¹² GWh) το 2035 [International Energy Outlook, 2010](Σχήμα 1.1).

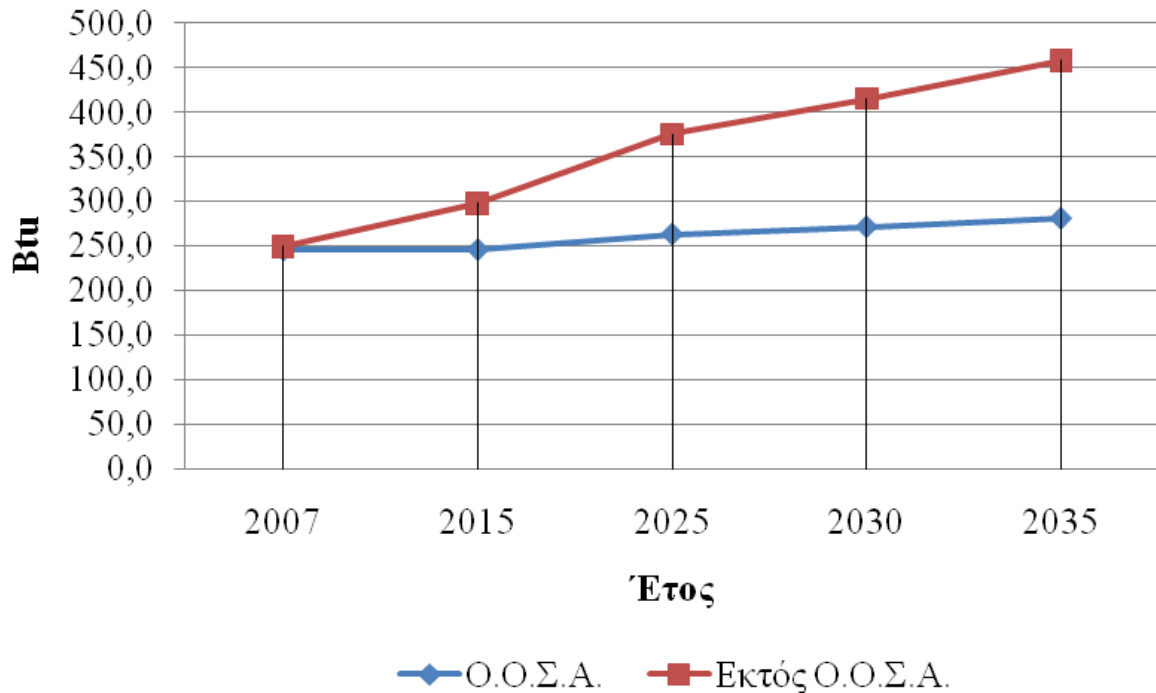


Σχήμα 1.1 Εξέλιξη παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας 1990-2035 (σε τετράκις εκ. btu)

Διαχρονικά, η εξέλιξη της παγκόσμιας κατανάλωσης αναμένεται να είναι συνεχώς αυξανόμενη έως το 2035. Στον πίνακα 1.1 που ακολουθεί, παρουσιάζεται η αναμενόμενη εξέλιξη της ενέργειας για τις χώρες μέλη και μη του Οργανισμού Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης (Ο.Ο.Σ.Α.) [Ι.Ε.Ο., 2010].

Περιοχή	2007	2015	2025	2030	2035	Μέση ετήσια % μεταβολή
Ο.Ο.Σ.Α.	245,7	246,0	263,2	271,4	280,7	0,5
Β. Αμερική	123,7	124,3	134,9	140,2	146,3	0,6
Ευρώπη	82,3	82,0	85,0	86,5	88,2	0,2
Ασία	39,7	39,7	43,3	44,8	46,3	0,5
Εκτός Ο.Ο.Σ.Α.	249,5	297,5	375,5	415,2	458,0	2,2
Ευρώπη και Ευρασία	51,5	52,4	56,2	57,8	60,2	0,6
Ασία	127,1	159,3	217,0	246,9	277,3	2,8
Μέση Ανατολή	25,1	32,9	39,1	41,8	45,7	2,2
Αφρική	17,8	20,8	24,6	26,5	29,0	1,8
Κεντρ. & Νότια Αμερική	28,0	32,1	38,7	42,2	45,7	1,8
Παγκόσμιο Σύνολο	495,2	543,5	638,7	686,5	738,7	1,4

Πίνακας 1.1 Εξέλιξη παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας 2007 – 2035 (σε τετράκις εκ. btu) κατά ομάδα χωρών

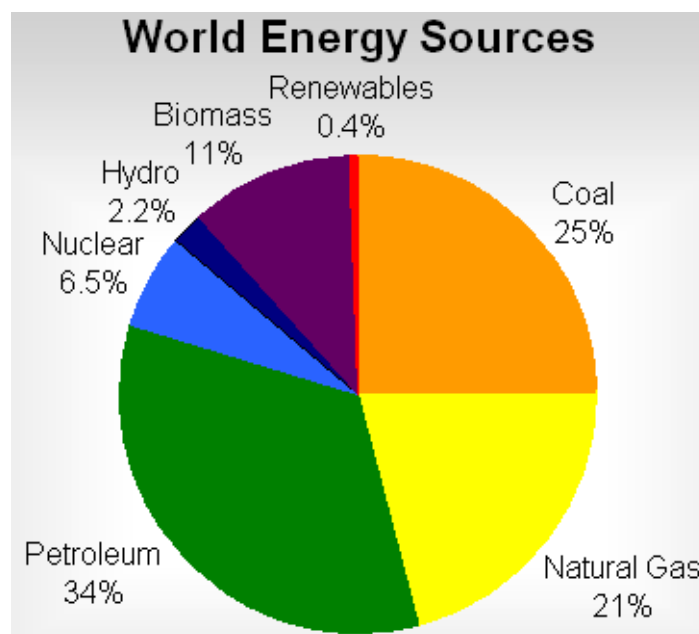


Σχήμα 1.2 Εξέλιξη παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας 2007-2035 Ο.Ο.Σ.Α. – Εκτός Ο.Ο.Σ.Α.
(σε τετράκις btu)

Η κατανάλωση ενέργειας αυξάνεται με αργό ρυθμό κατά την εξεταζόμενη περίοδο (2007 – 2035) για τα κράτη μέλη του Ο.Ο.Σ.Α. σε σύγκριση με 2,2% για τις αναδυόμενες οικονομίες μη μέλη του Ο.Ο.Σ.Α. (σχήμα 1.2). Η κατανάλωση ενέργειας σε μη μέλη του Ο.Ο.Σ.Α. στην Ασία (με επικεφαλής την Κίνα και την Ινδία) παρουσιάζει την πιο ισχυρή ανάπτυξη εντός όλων των μη μελών του Ο.Ο.Σ.Α., αύξηση κατά 118% από το 2007 έως το 2035. Ωστόσο, η έντονη αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας προβλέπεται και για μεγάλο μέρος του υπολοίπου των περιφερειών μη μελών του Ο.Ο.Σ.Α. [Ι.Ε.Ο., 2010].

1.2 Παγκόσμια και εγχώρια παραγωγή ενέργειας

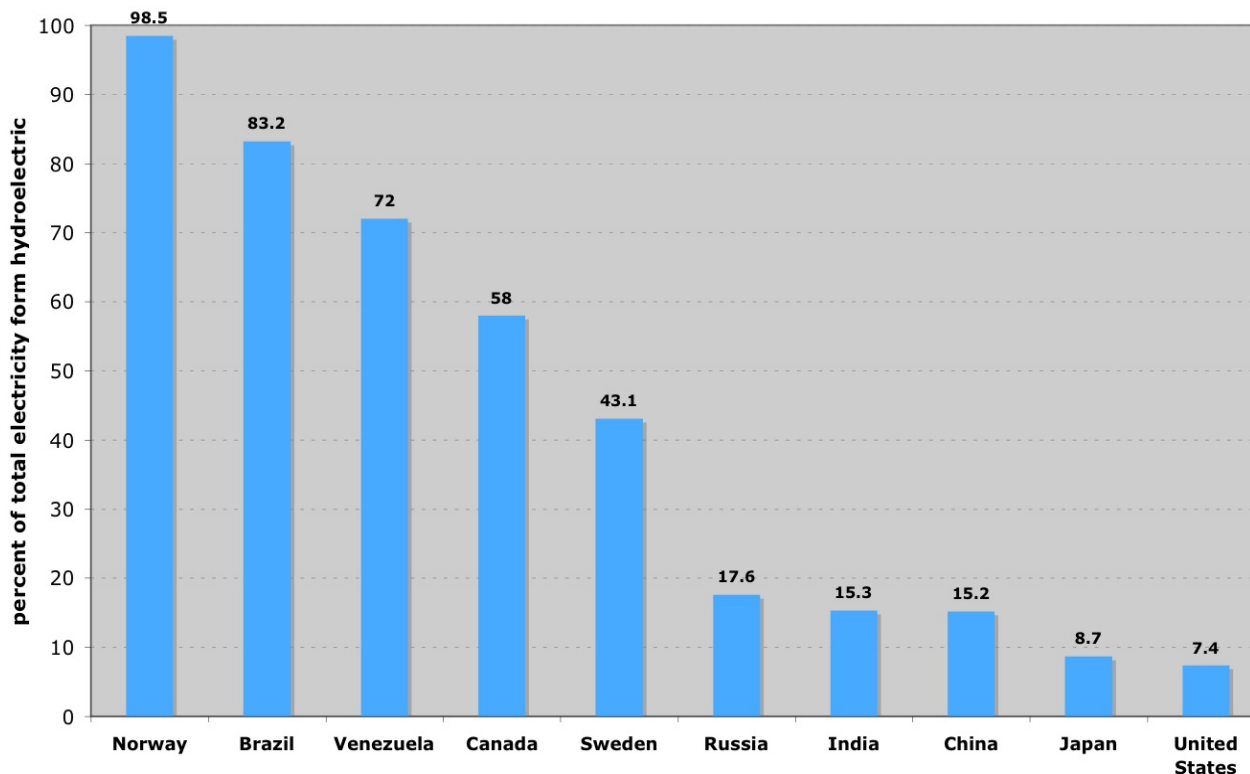
Αυτή λοιπόν η όλο και αυξανόμενη ζήτηση ενέργειας καλύπτεται σήμερα κατά κύριο λόγο από συμβατικές μονάδες παραγωγής. Η παγκόσμια παραγωγή ενέργειας αν και δεν έχει προσδιοριστεί επακριβώς, ωστόσο απαιτεί μεγάλες ποσότητες πετρελαίου ιδιαίτερα σε κάποιες πετρελαιοπαραγωγές χώρες. Επίσης, σύμφωνα με στοιχεία του 2006, ο λιθάνθρακας αποτελεί το κυρίαρχο στοιχείο στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε διάφορες χώρες, όπως η Νότια Αφρική (93%) και η Πολωνία (92%), ενώ διατηρεί υψηλό ποσοστό στη Δανία (54%), στη Μ. Βρετανία (37.5%), στην Κορέα (38%) και στις Ην. Πολιτείες (σχεδόν 50%). Στην Ελλάδα, το σημαντικότερο ρόλο διαδραματίζει ο λιγνίτης σε ποσοστό 55% [P.A.E., 2010]. Ωστόσο, αξίζει να σημειωθεί ότι και υπάρχουν και κράτη με υψηλό ποσοστό συμμετοχής του φυσικού αερίου στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας όπως η Ολλανδία (60%) και η Ιρλανδία (50%). Το παρακάτω σχήμα 1.3 μας δίνει μία ιδέα για την ποσοστιαία κατανομή των ενεργειακών πηγών παγκοσμίως στο τέλος του 2006.



Σχήμα 1.3 Παγκόσμια παραγωγή ενέργειας – 2006

Στην προσπάθεια για ανεξαρτητοποίηση από τα ορυκτά καύσιμα, ορισμένες χώρες βασίζονται στην πιο φιλική προς το περιβάλλον αλλά πολύ ριψοκίνδυνη πυρηνική ενέργεια, όπως η Γαλλία (78%), το Βέλγιο (54.5%), η Ουγγαρία (37.5%), η Σουηδία (47%), η Νότια Κορέα (37%) και η Ελβετία (43%). Εξαιρέσεις αποτελούν χώρες που έχουν καταφέρει να καλύψουν σημαντικό μέρος των ενεργειακών τους αναγκών με ΑΠΕ (κυρίως Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί), όπως η Νορβηγία (98,5%), η Αυστρία (64%), ο Καναδάς (58%), η Ελβετία (51%) καθώς και αναπτυσσόμενες χώρες όπως η Γκάνα (67%), η Βραζιλία (83%), η Κένυα (51%) και η Βενεζουέλα (72%)(σχήμα 1.4).

Top Ten Countries by Hydroelectric Generation
 ©2009 "Ranking America" (<http://rankingamerica.wordpress.com>)



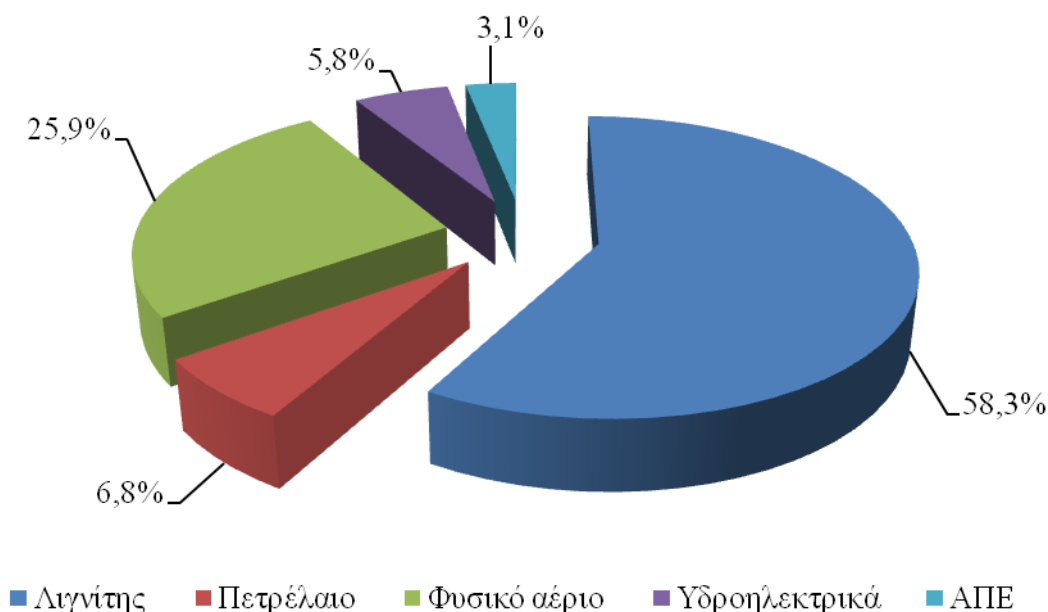
Σχήμα 1.4 Οι δέκα χώρες με το μεγαλύτερο ποσοστό κάλυψης αναγκών από Υδροηλεκτρικά

Από στοιχεία του Διασυνδεδεμένου Συστήματος για το 2008, το 67,7% της εγκατεστημένης ισχύος των ηλεκτροπαραγωγικών μονάδων στην Ελλάδα ήταν θερμικοί σταθμοί, εκ των οποίων με λιγνίτη 4.808 MW, με πετρέλαιο 1.160 MW και με φυσικό αέριο 2.447,7 MW. Οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί για το ίδιο έτος συγκέντρωναν ποσοστό 24,3% και το 8% ήταν μονάδες Α.Π.Ε.(Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας) [P.A.E., 2008]. Στον πίνακα 1.2 που ακολουθεί παρουσιάζεται η εξέλιξη της εγχώριας παραγωγής ενέργειας στην Ελλάδα από το 1998 έως το 2006 σε GWh.

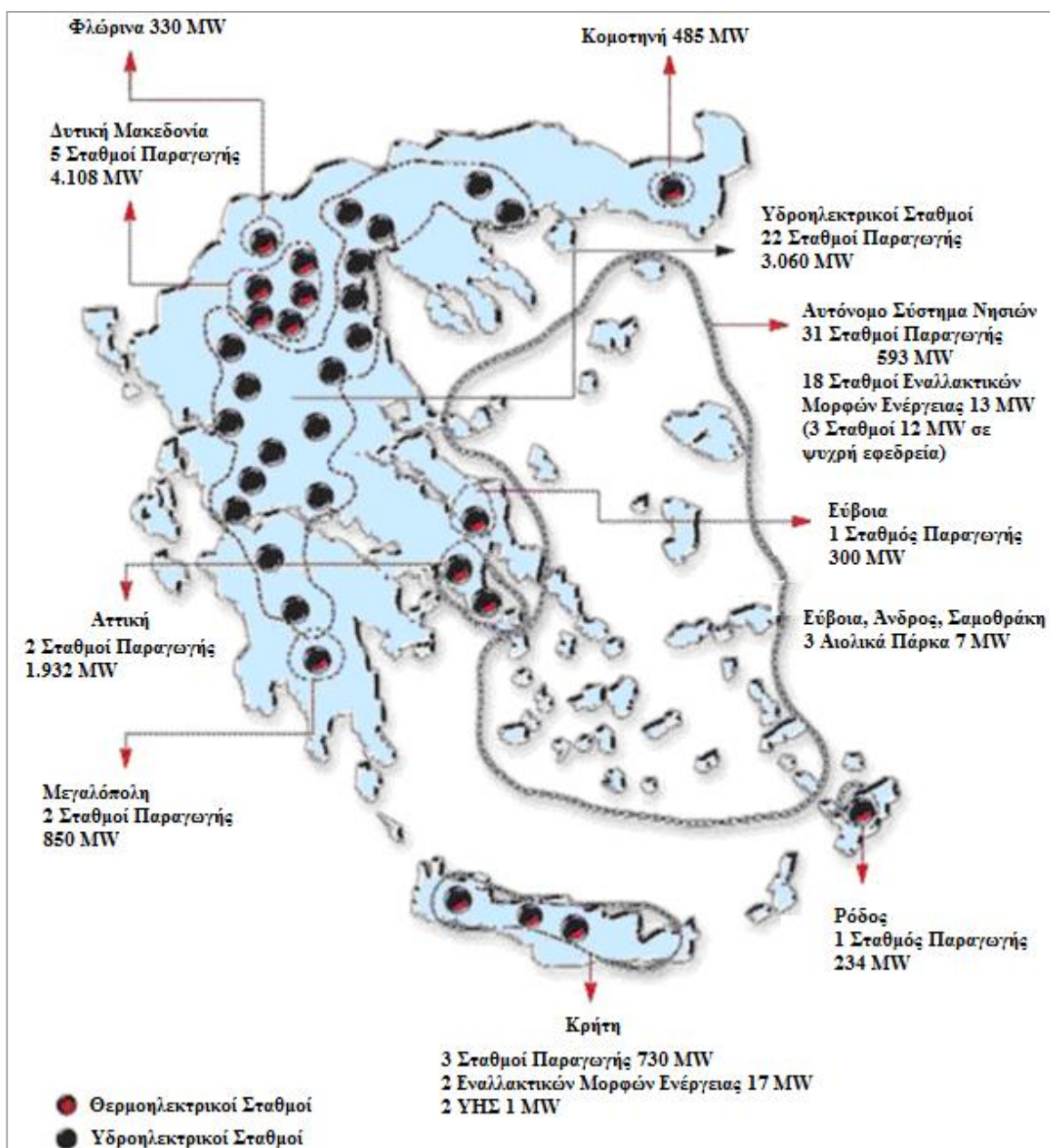
Καύσιμο	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Στερεά Καύσ.	32.442	32.381	34.313	35.431	34.566	35.170	35.380	35.543	32.264
Πετρελαϊκά Πρ.	8.078	8.157	8.885	8.477	8.633	8.707	8.385	9.207	9.601
Φυσ. Αέριο	1.713	3.907	5.920	6.133	7.061	7.995	8.991	8.171	10.610
Βιομ./Βιοαέριο	0	1	0	79	126	105	123	122	114
ΥΗΕ	3.866	5.058	4.111	2.725	3.463	5.332	5.205	5.610	6.475
Αιολικά	73	162	451	756	651	1.021	1.121	1.266	1.699
Άλλοι σταθμοί	160	194	163	103	108	141	140	100	25
Σύνολο	46.332	49.860	53.843	53.704	54.608	58.471	59.346	60.020	60.789

Πίνακας 1.2 Εξέλιξη εγχώριας παραγωγής ενέργειας 1998 – 2006 (GWh)

Η σημαντικότερη ενεργειακή πηγή για την Ελλάδα είναι ο λιγνίτης αποτελώντας το 58,3% της εγχώριας παραγωγής για το 2008 (σχήμα 1.5). Το πετρέλαιο έχει περιοριστεί στο 6,8% μετά την εισαγωγή του φυσικού αερίου, το οποίο αναπτύσσεται με γοργούς ρυθμούς και κατείχε ως το 2008 μερίδιο 25,9% επί του συνόλου. Η ανάδειξη της προστασίας του περιβάλλοντος ως στόχου υψηλής προτεραιότητας, οδήγησε σε προώθηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, θέτοντας ως στόχο την αύξηση συμμετοχής τους στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στο 34% μέχρι το 2020 από το μόλις 3,1% που κατείχαν το 2008 [P.A.E., 2008]. Οι σταθμοί που διαθέτει η Ελλάδα για την παραγωγή ενέργειας με σκοπό την ικανοποίηση των εγχώριων αναγκών, παρουσιάζονται στο σχήμα 1.6 που ακολουθεί.



Σχήμα 1.5 Εγχώρια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ανά μορφή καυσίμου 2008



Σχήμα 1.6 Γεωγραφική κατανομή σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας της ΔΕΗ Α.Ε

1.3 Σκοπός και Διάρθρωση της Παρούσας Εργασίας

Στην παραπάνω προσπάθεια αλλαγής ενεργειακής πολιτικής και διεύθυνσης των Α.Π.Ε. στο σύστημα ηλεκτροπαραγωγής της χώρας, η παρούσα εργασία μελετά την κατασκευή συστημάτων αντλησιοταμίευσης στους υφιστάμενους υδροηλεκτρικούς σταθμούς των ταμιευτήρων Κρεμαστών – Καστρακίου και Καστρακίου – Στράτου στον ποταμό Αχελώο, τα οποία θα αξιοποιούν την όλο αυξανόμενη με το χρόνο ενέργεια που το παρόν ηλεκτρικό δίκτυο θα αδυνατεί να απορροφήσει για λόγους τεχνικούς και λόγους ευστάθειας.

Στο **πρώτο κεφάλαιο** αναφέρθηκε συνοπτικά η τρέχουσα παγκόσμια και εγχώρια ενεργειακή κατάσταση, τόσο από άποψη της παραγωγής όσο και της κατανάλωσης ενέργειας, καθώς και ορισμένα από τα προβλήματα που αντιμετωπίζονται.

Στο **δεύτερο κεφάλαιο** αναφέρονται οι πηγές ενέργειας, ανανεώσιμες και συμβατικές, αλλά γίνεται εστίαση και σύντομη περιγραφή των πρώτων με τα χαρακτηριστικά και τα πλεονεκτήματά τους. Επίσης γίνεται αναφορά στον ευρωπαϊκό και ελληνικό ενεργειακό σχεδιασμό έως το 2050, στον οποίο φαίνεται η τάση προώθησης των Α.Π.Ε.

Στο **τρίτο κεφάλαιο** περιγράφεται η δομή και η λειτουργία των σημερινών ηλεκτρικών συστημάτων από την παραγωγή έως την κατανάλωση, η ανάγκη ευστάθειάς τους, η διάκριση των μονάδων παραγωγής σε βάση και αιχμής και ο στόχος για βελτιστοποίηση των μελλοντικών δικτύων (smart grids).

Σημαντικό στοιχείο για την επίτευξη των στόχων των δυο προηγούμενων κεφαλαίων είναι η ιδέα της αποταμίευσης ενέργειας. Στο **τέταρτο κεφάλαιο** αναλύεται η έννοια, τα οφέλη και οι μέθοδοι αποταμίευσης ενέργειας, ενώ γίνεται ειδική αναφορά στη μέθοδο της αντλησιοταμίευσης την οποία χρησιμοποιεί το σύστημα που θα εξεταστεί.

Στο **πέμπτο κεφάλαιο** γίνεται η παρουσίαση του συγκεκριμένου συστήματος και της μεθοδολογίας βάσει της οποίας θα λειτουργήσει. Ειδικότερα, μελετάται η μετατροπή της υπάρχουσας υδροηλεκτρικής μονάδας του Καστρακίου σε αναστρέψιμη με δυνατότητα άντλησης από τον ταμιευτήρα του Στράτου, όπως και η ένταξη επτά νέων μονάδων (η καθεμία με την προσθήκη ενός νέου άνω ταμιευτήρα) που θα αντλούν από τον πλούσιο σε υδατικά αποθέματα ταμιευτήρα του Καστρακίου. Για τη διερεύνηση χρησιμοποιείται υπολογιστικός αλγόριθμος, ο οποίος υπολογίζει την αρχικά απορριπτόμενη ενέργεια από το υφιστάμενο δίκτυο και την αποθηκεύει στις προκαθορισμένες μονάδες αντλησιοταμίευσης, αποδίδοντάς την ξανά στο σύστημα κατά τις ώρες υψηλής ζήτησης.

Στο **έκτο κεφάλαιο** γίνεται η παρουσίαση των ενεργειακών αποτελεσμάτων μέσω διαγραμμάτων, ξεχωριστά για την άντληση και την παραγωγή ενέργειας του συστήματος συνολικά, αλλά και κάποιων μονάδων ανεξάρτητα, για να φανεί η ροή ενέργειας σε κάθε μονάδα.

Στο **έβδομο κεφάλαιο** γίνεται οικονομοτεχνική μελέτη της επένδυσης, προσθέτοντας κάθε φορά και μία ακόμη μονάδα στο σύστημα, και εξετάζεται σε κάθε περίπτωση αν είναι ήδη ή σε ποιο χρονικό σημείο μελλοντικά θα γίνει βιώσιμη η επένδυση.

Τέλος, στο **όγδοο κεφάλαιο** συνοψίζονται τα συμπεράσματα της παρούσας εργασίας και προτείνονται διάφορα θέματα για περαιτέρω διερεύνηση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^Ο – ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΚΑΙ ΜΗ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

2.1 Εισαγωγή

Τις τελευταίες δεκαετίες, ειδικότερα τα τελευταία έξι περίπου χρόνια, εμφανίζονται μείζονα θέματα όπως η κάλυψη της συνεχώς αυξανόμενης ενεργειακής ζήτησης, η ανάγκη για ενεργειακή ανεξάρτηση και αποκέντρωση, και οι επιπτώσεις της ενεργειακής δραστηριότητας στο περιβάλλον.

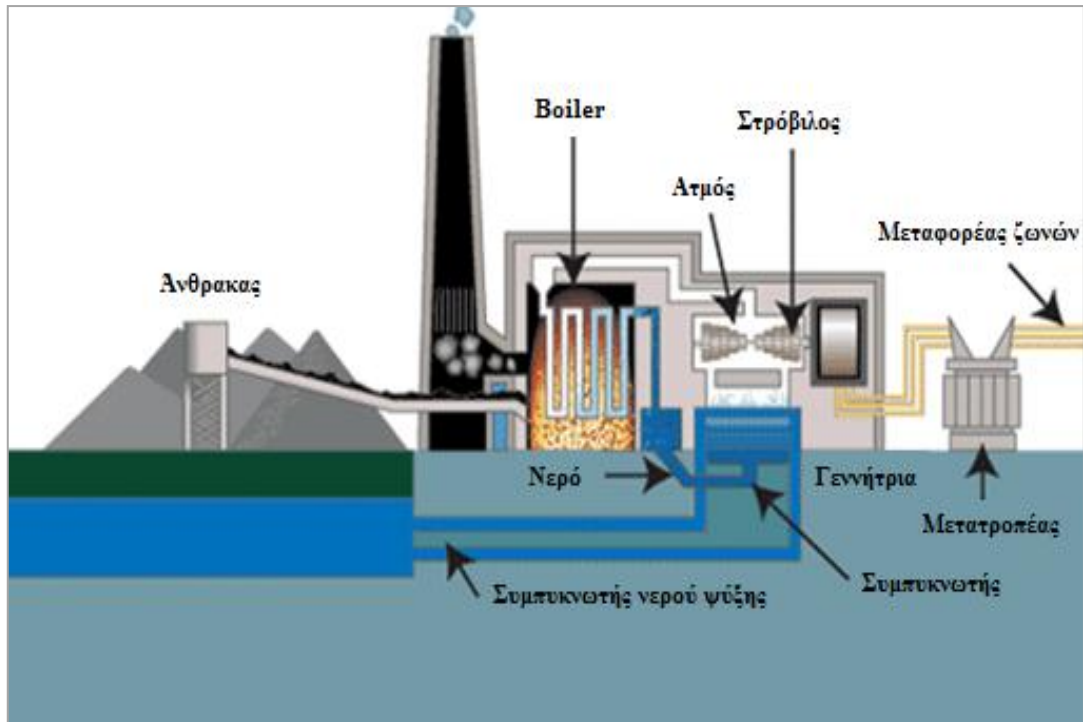
Η αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (Α.Π.Ε.) αποτελεί ένα αποτελεσματικό μέτρο για τις ανθρώπινες κοινωνίες σε παγκόσμιο επίπεδο, προκειμένου αυτές να αντικαταστήσουν τη χρησιμοποίηση των ορυκτών καυσίμων σαν κύρια μέσα μαζικής παραγωγής της ενέργειας τους και να μειώσουν τις επιπτώσεις που προκαλούνται από αυτά στη κλιματική ισορροπία του πλανήτη. Επιπλέον, στο επίπεδο των διαφόρων κρατών που δεν διαθέτουν πλούσια φυσικά αποθέματα σε ορυκτά καύσιμα (π.χ. πετρέλαιο), οι Α.Π.Ε. αποτελούν την καλύτερη λύση προκειμένου αυτά να στηρίξουν από μόνα τους τις ενεργειακές τους οικονομίες, χωρίς να χρειάζεται να εξαρτώνται ενεργειακά από άλλα κράτη – παραγωγούς και προμηθευτές τους σε ορυκτές πρώτες ύλες.

Η απαίτηση για, όσο το δυνατόν μεγαλύτερη, ανεξάρτηση από τις συμβατικές πηγές ενέργειας, αλλά και η προσπάθεια για μείωση της ρύπανσης του περιβάλλοντος, οδηγούν στη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (Α.Π.Ε.) ή αλλιώς ήπιων μορφών ενέργειας που δίνουν σε μεγάλο βαθμό λύση στα παραπάνω θέματα. Επιγραμματικά αναφέρεται πως ΑΠΕ ονομάζονται:

- η Ηλιακή ενέργεια
- η Αιολική ενέργεια
- η Γεωθερμική ενέργεια
- η Υδροηλεκτρική ενέργεια
- η Βιομάζα και τα βιοκαύσιμα
- η Ενέργεια των ωκεανών

Αντιθέτως, οι μη ανανεώσιμες ή Συμβατικές πηγές ενέργειας προέρχονται από ορυκτά καύσιμα τα οποία διακρίνονται σε:

- Στερεά (άνθρακας, σχ. 2.1)
- Υγρά (πετρέλαιο)
- Αέρια (φυσικό αέριο)
- Στις μη ανανεώσιμες ανήκει και η Πυρηνική ενέργεια, καθότι για την παραγωγή της καίμε το ορυκτό καύσιμο Ουράνιο 235 ή το τεχνητό Πλουτόνιο 238 ή άλλα ασταθή στοιχεία, τα οποία μετατρέπονται σε ελαφρύτερα στοιχεία.



Σχήμα 2.1 Τυπικό παράδειγμα εργοστασίου παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από άνθρακα

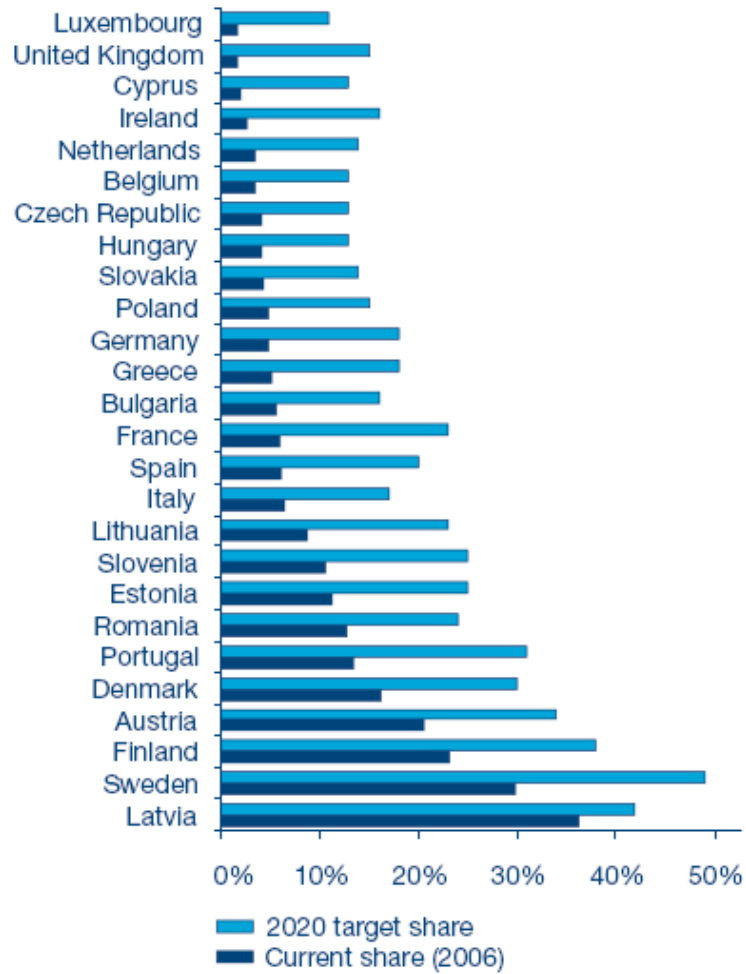
Στο τελευταίο σημείο αξίζει να προσθέσουμε ότι, οι Α.Π.Ε. θεωρούνται, τουλάχιστον μέχρι σήμερα, ως η μόνη πρακτικά εφαρμόσιμη εναλλακτική λύση έναντι της μαζικής χρήσης της πυρηνικής ενέργειας, μιας και τα αδιέξοδα που προκύπτουν από την εκτεταμένη χρησιμοποίησή της είναι ως γνωστόν πολλά (π.χ. χρησιμοποίησή της για μη ειρηνικούς σκοπούς, ενδεχόμενα πυρηνικά ατυχήματα, μη ύπαρξη ολοκληρωμένου σχεδίου ασφαλούς και μακροπρόθεσμης διαχείρισης των πυρηνικών αποβλήτων της κ.λπ.).

Σε αυτό το σημείο αναφέρουμε συνοπτικά κάποια πλεονεκτήματα των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας [Ζερβός, 2007]:

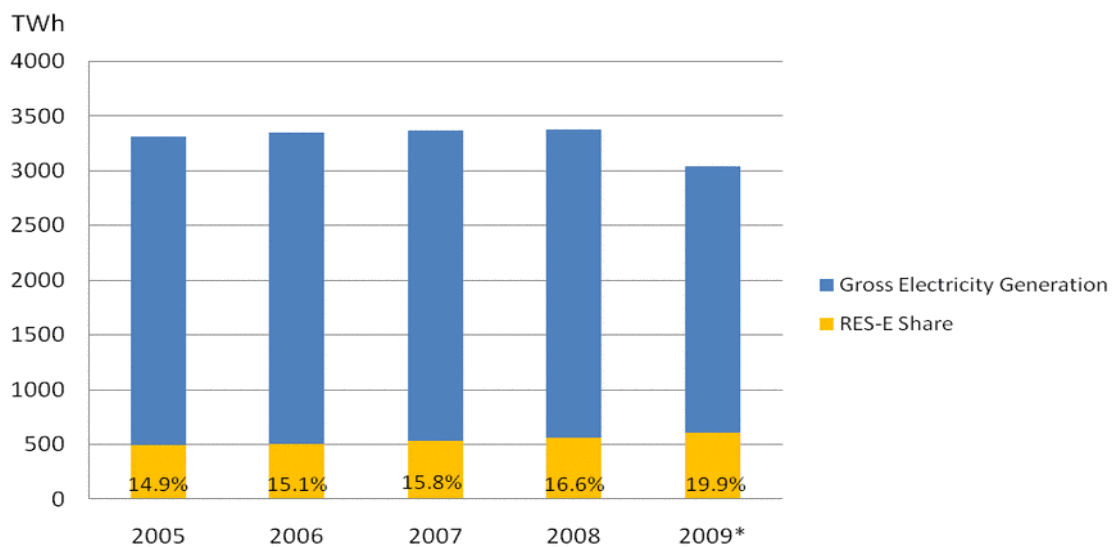
- Πρακτικά ανεξάντλητες πηγές
- Συμβάλλουν στην ενεργειακή αυτάρκεια της χώρας
- Απεξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα
- Χαμηλό λειτουργικό κόστος
- Σχετικά μικρή διάρκεια κατασκευής
- Δημιουργία θέσεων εργασίας
- Φιλικές προς το περιβάλλον

Οι Ευρωπαϊκές χώρες καταβάλουν τα τελευταία χρόνια σημαντική προσπάθεια ώστε να αυξήσουν το μερίδιο ηλεκτροπαραγωγής από Α.Π.Ε., σύμφωνα πάντα και με τις αντίστοιχες Ευρωπαϊκές οδηγίες, όπως υποδεικνύεται και από το σχήμα 2.2.

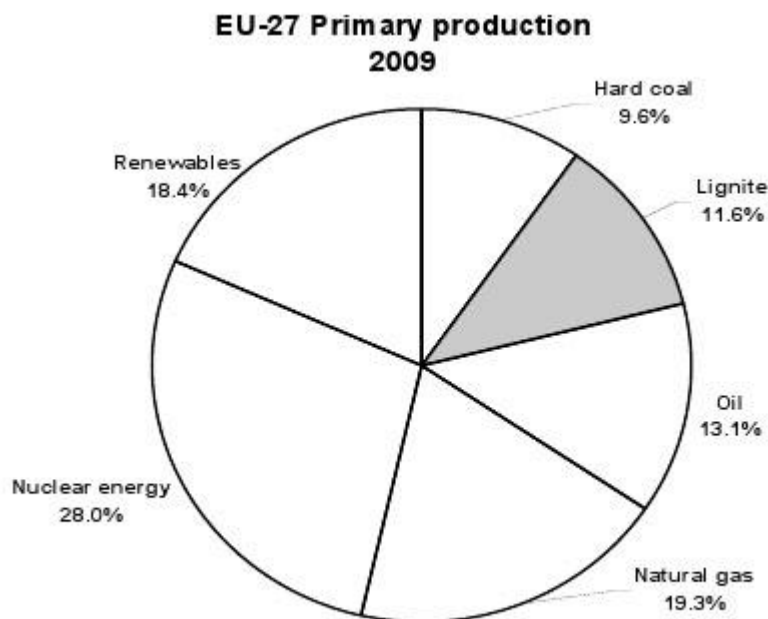
Στα παρακάτω σχήματα διαφαίνεται χαρακτηριστικά η προσπάθεια των Ευρωπαϊκών Κρατών για εξοικονόμηση ενέργειας και αύξησης του μεριδίου ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ τα τελευταία χρόνια με αργούς αλλά σταθερούς ρυθμούς [Eurostat, 2009].



Σχήμα 2.2 Ποσοστό ηλεκτροπαραγωγής από Α.Π.Ε. για τα Ευρωπαϊκά Κράτη και προβλέψεις – 2006, 2020



Σχήμα 2.3 Συνολική ηλεκτροπαραγωγής και Α.Π.Ε. για τα Ευρωπαϊκά Κράτη 2005 – 2009* (preliminary data)



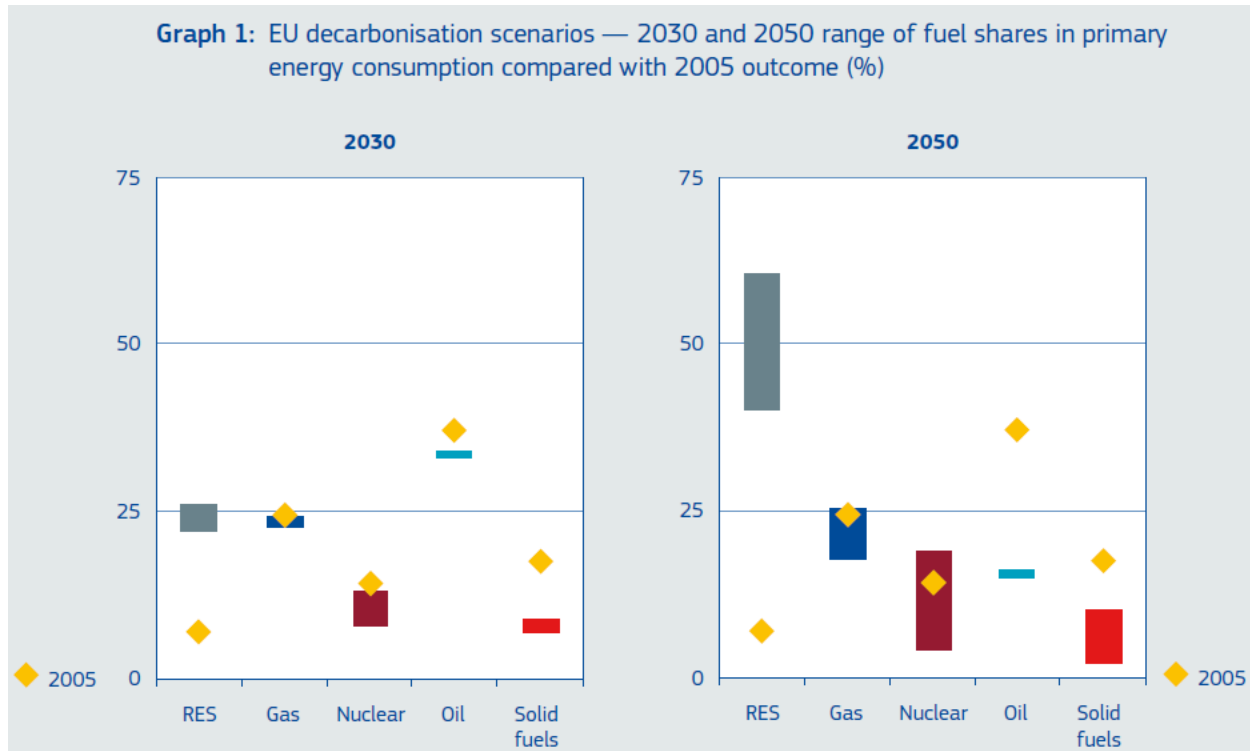
Σχήμα 2.4 Ευρωπαϊκή Ενεργειακή Πίτα 2009

Οι Α.Π.Ε., έχοντας ξεπεράσει τα μειονεκτήματα του παρελθόντος, κρίνονται πλέον ανταγωνιστικές για την παραγωγή ενέργειας. Η μαζικότερη παραγωγή, και εκτεταμένη έρευνα στο χώρο, έχουν οδηγήσει σε μείωση του κόστους παραγωγής και αύξηση της απόδοσης των συστημάτων. Η τάση για εφαρμογή πειραματικών μελετών τεχνολογιών Α.Π.Ε., θα συμβάλλουν στην απεξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα, θα συνεισφέρουν στην ενεργειακή αυτάρκεια και ανάπτυξη απομονωμένων μέχρι σήμερα περιοχών. Τέλος, θα δημιουργηθούν νέες θέσεις εργασίας και το σημαντικότερο θα αντικατασταθούν οι ρυπογόνοι τρόποι παραγωγής ενέργειας, με φιλικά προς το περιβάλλον συστήματα. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας θα διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στο μέλλον ανταποκρινόμενες στις περισσότερες ενεργειακές ανάγκες έχοντας τη δυνατότητα να προσφέρουν μηδενικές ή σχεδόν μηδενικές εκπομπές ρύπων [Panwara et al, 2011].

Η μετάβαση σε μια οικονομία χαμηλού άνθρακα έχει μεγάλες προεκτάσεις για τον ενεργειακό τομέα σε παγκόσμιο επίπεδο, με μεγαλύτερη πρόκληση την δραστική μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα μέσω μεγάλων αλλαγών τόσο στην κατανάλωση όσο και στην παραγωγή ενέργειας. Δεδομένου ότι ο ενεργειακός τομέας ευθύνεται περίπου για το 80% των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και ότι η δραστική μείωση των εκπομπών σε ορισμένους τομείς όπως η κτηνοτροφία είναι ιδιαίτερα δύσκολη, ο στόχος που τίθεται για τη μείωση των εκπομπών από την ενέργεια θα πρέπει να είναι κατ' ελάχιστο συμβατός με τον γενικό στόχο.

Πρόσφατα, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή δημοσίευσε τον οδικό χάρτη για μια οικονομία χαμηλών εκπομπών CO₂ έως το 2050 [Energy Roadmap 2050], ο οποίος έχει ως στόχο να συνεισφέρει στην κεντρική πολιτική της ΕΕ για μια Ευρώπη με υψηλή αποδοτικότητα των πόρων που διαθέτει. Πιο συγκεκριμένα, θα πρέπει μέχρι το 2030 οι εκπομπές CO₂ να έχουν μειωθεί στο 40% των επιπέδων εκπομπής το 1990 και μέχρι το 2040 στο 60% αυτών. Στο πλαίσιο αυτό προτείνει συγκεκριμένες στρατηγικές για την επίτευξη μιας οικονομίας χαμηλών εκπομπών CO₂ και βιώσιμη ανάπτυξη έως το 2050. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται ξεκάθαρα η

πρόθεση αναβάθμισης του ρόλου των ΑΠΕ ως κύρια μορφή παραγωγής ενέργειας έως το 2050 με σταδιακή υποβάθμιση των πετρελαϊκών και λιθανθρακικών μονάδων, πλην προφανώς του φυσικού αερίου.



Σχήμα 2.5 Ευρωπαϊκά σενάρια απαλλαγής από τον άνθρακα, 2030 - 2050

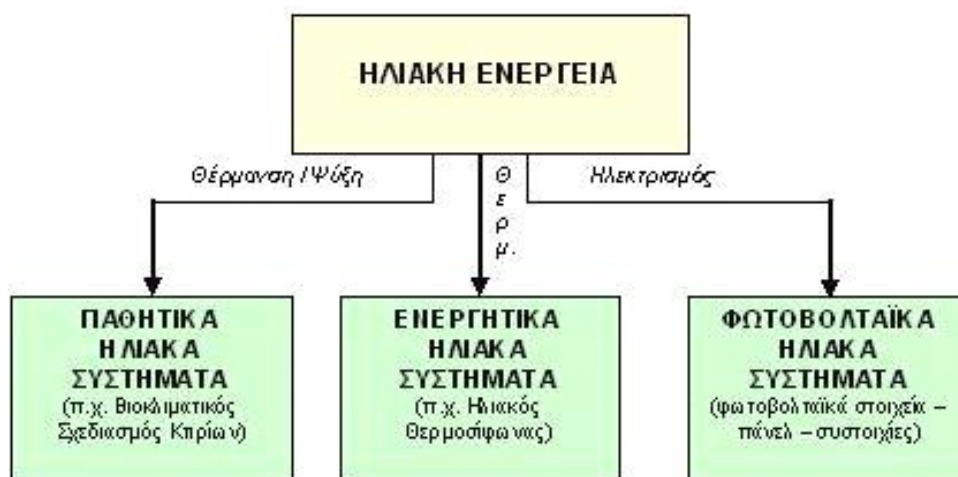
2.2 Περιγραφή Α.Π.Ε.

Τα κυριότερα είδη ήπιων μορφών ενέργειας περιγράφονται συνοπτικά παρακάτω:

- **Αιολική ενέργεια**
(Βλ. ενότητα 2.2)
- **Ηλιακή ενέργεια**

Ηλιακή ενέργεια χαρακτηρίζεται το σύνολο των διαφόρων άμεσων μορφών ενέργειας που προέρχονται από τον Ήλιο. Τέτοιες είναι το φως, η θερμότητα καθώς και διάφορες ακτινοβολίες.

Η ηλιακή ενέργεια στο σύνολό της είναι πρακτικά ανεξάντλητη, αφού προέρχεται από τον ήλιο, και ως εκ τούτου δεν υπάρχουν περιορισμοί χώρου και χρόνου για την εκμετάλλευσή της.



Σχήμα 2.6 Εφαρμογές ηλιακής ενέργειας

Όσον αφορά την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας, θα μπορούσαμε να πούμε ότι χωρίζεται σε τρεις κατηγορίες εφαρμογών (σχήμα 2.6): τα παθητικά ηλιακά συστήματα, τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα, και τα φωτοβολταϊκά συστήματα (Φ/Β). Τα παθητικά και τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα εκμεταλλεύονται τη θερμότητα που εκπέμπεται μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας, ενώ τα φωτοβολταϊκά συστήματα στηρίζονται στη μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρικό ρεύμα μέσω του φωτοβολταϊκού φαινομένου.

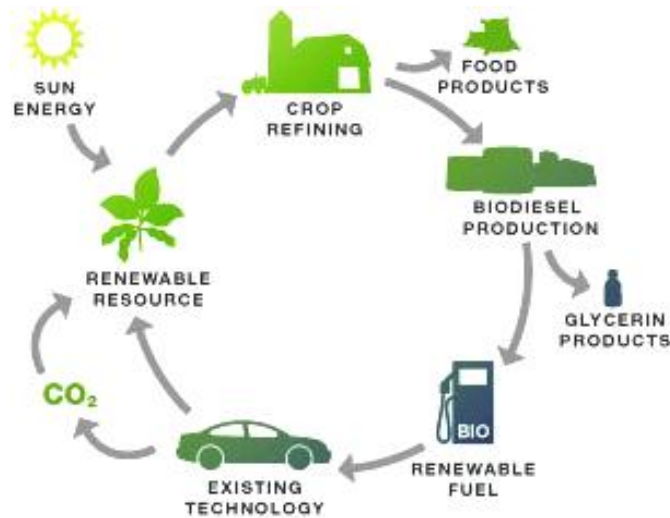
- **Υδροηλεκτρική ενέργεια**
(Βλ. ενότητα 2.3)
- **Βιομάζα και βιοκαύσιμα**

Η **βιομάζα** (biomass) με την ευρύτερη έννοια του όρου περιλαμβάνει οποιοδήποτε υλικό προέρχεται από ζωντανούς οργανισμούς. Πιο συγκεκριμένα, η βιομάζα αποτελεί μία δεσμευμένη και αποθηκευμένη μορφή της ηλιακής ενέργειας και είναι αποτέλεσμα της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας των φυτικών οργανισμών. Κατ' αυτήν, η χλωροφύλλη των φυτών μετασχηματίζει την ηλιακή ενέργεια με μια σειρά διεργασιών, χρησιμοποιώντας ως βασικές πρώτες ύλες διοξείδιο του άνθρακα από την ατμόσφαιρα καθώς και νερό και ανόργανα συστατικά από το έδαφος.

Ειδικότερα, η βιομάζα για ενεργειακούς σκοπούς, περιλαμβάνει κάθε τύπο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή στερεών, υγρών και/ ή αέριων καυσίμων. Στην πράξη υπάρχουν δύο τύποι βιομάζας. Πρώτον, οι υπολειμματικές μορφές (τα κάθε είδους φυτικά υπολείμματα και ζωικά απόβλητα και τα απορρίμματα) και δεύτερον, η βιομάζα που παράγεται από ενεργειακές καλλιέργειες.

Από τη στιγμή που σχηματίζεται η βιομάζα, μπορεί πλέον κάλλιστα να χρησιμοποιηθεί ως πηγή ενέργειας. Η βιομάζα αποτελεί μια σημαντική, ανεξάντλητη και φιλική προς το περιβάλλον πηγή ενέργειας, η οποία είναι δυνατό να συμβάλει σημαντικά στην ενεργειακή

επάρκεια, αντικαθιστώντας τα συνεχώς εξαντλούμενα αποθέματα ορυκτών καυσίμων (πετρέλαιο, άνθρακας, φυσικό αέριο κ.ά.). Η χρήση της βιομάζας ως πηγής ενέργειας δεν είναι νέα. Σ' αυτήν εξάλλου, συγκαταλέγονται τα καυσόξυλα και οι ξυλάνθρακες που, μέχρι το τέλος του περασμένου αιώνα, κάλυπταν το 97% των ενεργειακών αναγκών της χώρας.



Σχήμα 2.7 Ο κύκλος των βιοκαυσίμων

Σήμερα, ο όρος βιοκαύσιμα (biofuels) χρησιμοποιείται συνήθως για υγρά καύσιμα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στον τομέα των μεταφορών. Τα πιο συνηθισμένα στο εμπόριο είναι το βιοντήζελ, μεθυλεστέρας ο οποίος παράγεται κυρίως από ελαιούχους σπόρους (ηλίανθος, ελαιοκράμβη, κ.ά) και μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε μόνο του ή σε μίγμα με πετρέλαιο κίνησης σε πετρελαιοκινητήρες και η βιοαιθανόλη η οποία παράγεται από σακχαρούχα, κυταρινούχα κι αμυλούχα φυτά (σιτάρι, καλαμπόκι, σόργο, τεύτλα, κ.ά.) και χρησιμοποιείται είτε ως έχει σε βενζινοκινητήρες που έχουν υποστεί μετατροπή είτε σε μίγμα με βενζίνη σε κανονικούς βενζινοκινητήρες είτε τέλος να μετατραπεί σε ETBE (πρόσθετο βενζίνης).

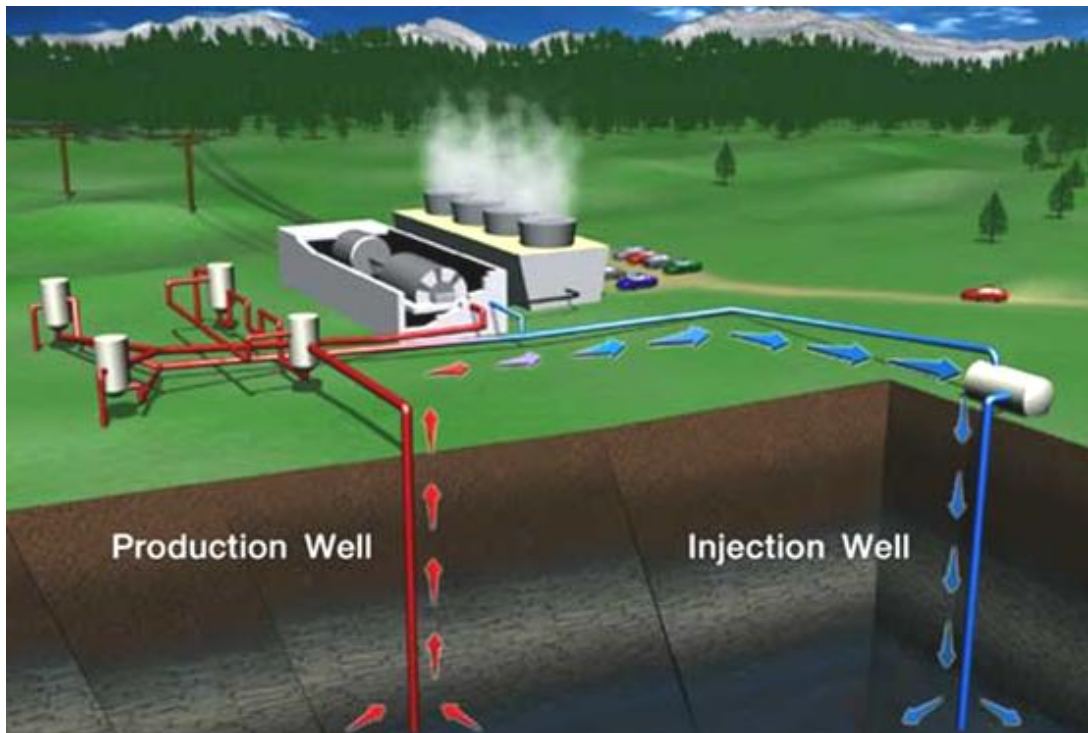
Τα βιοκαύσιμα είναι φιλικότερα προς το περιβάλλον από τα συμβατικά καύσιμα γιατί έχουν λιγότερες εκπομπές και χρησιμοποιούν ανανεώσιμες πρώτες ύλες. Συμβάλλουν στη μείωση των εισαγωγών και στην ενεργειακή αυτονομία της χώρας.

- **Γεωθερμία**

Όπως προκύπτει από τα ηφαίστεια, τις θερμές πηγές και από μετρήσεις σε γεωτρήσεις, το εσωτερικό της γης βρίσκεται σε υψηλή θερμοκρασία, η οποία υπερβαίνει τους 5000 °C στον πυρήνα. Η θερμότητα αυτή που περιέχεται στο εσωτερικό της γης αποτελεί την γεωθερμική ενέργεια και είναι τόσο μεγάλη, ώστε μπορεί να θεωρηθεί πρακτικά ανεξάντλητη μορφή ενέργειας για τα ανθρώπινα μέτρα.

Γεωθερμία ή Γεωθερμική ενέργεια ονομάζουμε τη φυσική θερμική ενέργεια της Γης που διαρρέει από το θερμό εσωτερικό του πλανήτη προς την επιφάνεια. Η μετάδοση θερμότητας πραγματοποιείται με δύο τρόπους: πρώτον, με αγωγή από το εσωτερικό προς την επιφάνεια με

ρυθμό $0,04 - 0,06 \text{ W/m}^2$ και δεύτερον, με ρεύματα μεταφοράς που περιορίζονται όμως στις ζώνες κοντά στα όρια των λιθосφαιρικών πλακών, λόγω ηφαιστειακών και υδροθερμικών φαινομένων. Οι περιοχές αυτές ονομάζονται γεωθερμικά πεδία, και εκεί η εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας είναι εξαιρετικά συμφέρουσα.



Σχήμα 2.8 Τοπική γεωθερμική εγκατάσταση

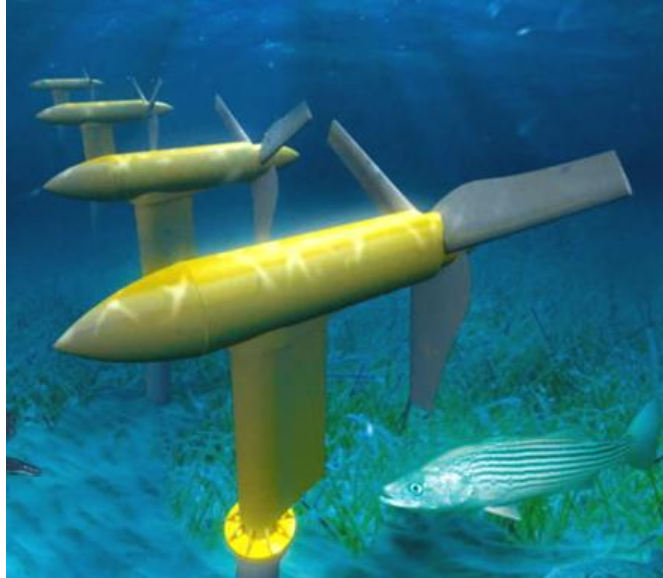
Ανάλογα με το θερμοκρασιακό της επίπεδο μπορεί να έχει διάφορες χρήσεις:

- Η Υψηλής Ενθαλπίας ($>150 \text{ }^\circ\text{C}$) χρησιμοποιείται συνήθως για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η ισχύς τέτοιων εγκαταστάσεων το 1979 ήταν 1.916 MW με παραγόμενη ενέργεια $12 \times 10^6 \text{ kWh/yr}$.
 - Η Μέσης Ενθαλπίας (80 έως $150 \text{ }^\circ\text{C}$) που χρησιμοποιείται για θέρμανση ή και ξήρανση ξυλείας και αγροτικών προϊόντων καθώς και μερικές φορές και για την παραγωγή ηλεκτρισμού (π.χ. με κλειστό κύκλωμα φρέον που έχει χαμηλό σημείο ζέσεως).
 - Η Χαμηλής Ενθαλπίας (25 έως $80 \text{ }^\circ\text{C}$) που χρησιμοποιείται για θέρμανση χώρων, για θέρμανση θερμοκηπίων, για ιχθυοκαλλιέργειες, για παραγωγή γλυκού νερού.
- **Ενέργεια ωκεανών**

Οι ωκεανοί μπορούν να μας προσφέρουν τεράστια ποσά ενέργειας. Υπάρχουν τρεις βασικοί τρόποι για να εκμεταλλευτούμε την ενέργεια της θάλασσας. Πρώτον, αξιοποιούμε την κινητική ενέργεια των θαλάσσιων κυμάτων και ρευμάτων (Σχήμα 2.9). Δεύτερον, από τις παλίρροιες (μικρές και μεγάλες) όπου εκμεταλλευόμαστε τη βαρύτητα του Ήλιου και της

Κεφ.2^ο – Ανανεώσιμες και Μη Πηγές Ενέργειας

Σελήνης, που προκαλεί ανύψωση της στάθμης του νερού. Στη συνέχεια το νερό αποθηκεύεται καθώς ανεβαίνει, και για να ξανακατέβει αναγκάζεται να περάσει μέσα από ένα υδροστρόβιλο, παράγοντας ηλεκτρισμό. Η διαφορά μεταξύ της στάθμης του νερού κατά την άμπωτη και την πλημμυρίδα πρέπει να είναι τουλάχιστον 10 μέτρα. Έχει εφαρμοστεί επιτυχώς στην Αγγλία, τη Γαλλία, τη Ρωσία και αλλού. Επίσης τρίτον, μπορεί να αξιοποιηθεί η θερμική ενέργεια των ωκεανών με την εκμετάλλευση της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ του θερμότερου επιφανειακού νερού και του ψυχρότερου νερού του πυθμένα. Η διαφορά αυτή πρέπει να είναι τουλάχιστον 3,5 °C ανάμεσα στα στρώματα του ωκεανού.



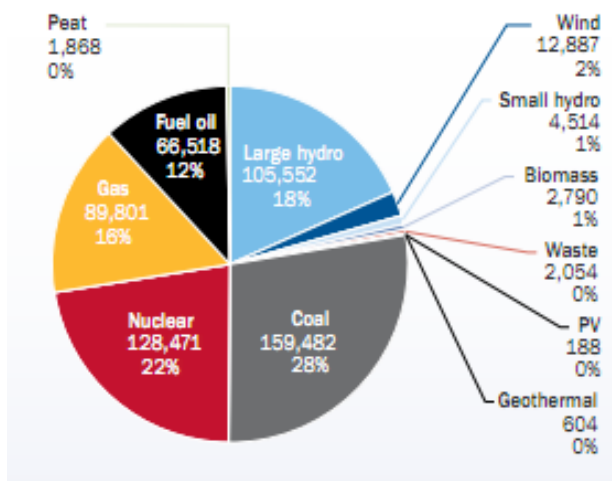
Σχήμα 2.9 Υποθαλάσσια διάταξη στροβίλων

Τα πλεονεκτήματα από τη χρήση της ενέργειας των ωκεανών, εκτός από «καθαρή» και ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, με τα γνωστά ευεργετήματα, είναι το σχετικά μικρό κόστος κατασκευής των απαιτούμενων εγκαταστάσεων, η μεγάλη απόδοση (40-70 KW ανά μέτρο μετώπων κύματος) και η δυνατότητα παραγωγής υδρογόνου με ηλεκτρόλυση από το άφθονο θαλασσινό νερό που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο. Στα μειονεκτήματα αναφέρεται το κόστος μεταφοράς της ενέργειας στη στεριά.

Αφού ολοκληρώσαμε την επισκόπησή μας στις σημαντικότερες Α.Π.Ε., παρατηρούμε στο παρακάτω σχήμα 2.10 το μερίδιο που κατέχει η κάθε μορφή ενέργειας ξεχωριστά, σε Ευρωπαϊκή κλίμακα, συγκριτικά το 2000 και το 2011.

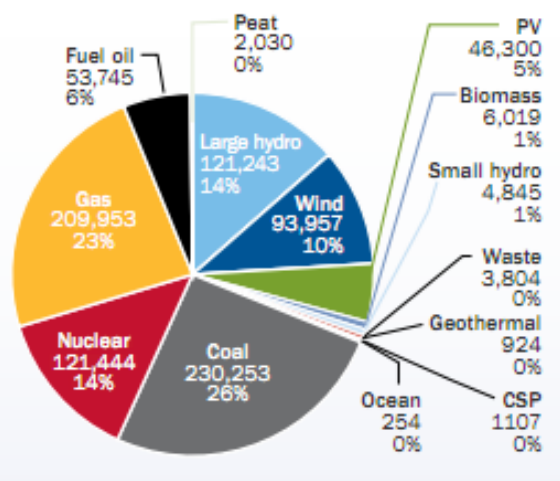
EU POWER CAPACITY MIX 2000

FIGURE 2.3



EU POWER CAPACITY MIX 2011

FIGURE 2.4



Σχήμα 2.10 Ευρωπαϊκές πηγές ενέργειας 2000 και 2011

2.3 Αιολική ενέργεια

2.3.1 Άνεμος

Οι άνεμοι, δηλαδή οι μεγάλες μάζες αέρα που μετακινούνται με ταχύτητα από μία περιοχή σε κάποια άλλη, οφείλονται στην ανομοιόμορφη θέρμανση της επιφάνειας της Γης από την ηλιακή ακτινοβολία κυρίως και στην περιστροφή της Γης. Η κινητική ενέργεια των ανέμων είναι τόση που, με βάση τη σημερινή τεχνολογία εκμετάλλευσής της, θα μπορούσε να καλύψει πάνω από δύο φορές τις ανάγκες της ανθρωπότητας σε ηλεκτρική ενέργεια. Συγκεκριμένα, περίπου 2% της ηλιακής ενέργειας που προσπίπτει στη γη μετατρέπεται σε αιολική. Ειδικότερα, είναι αποτέλεσμα των θερμοκρασιακών διαφορών που δημιουργούνται στην Τροπόσφαιρα είτε λόγω γεωγραφικού πλάτους είτε λόγω διαφορετικής θερμοκρασίας της επιφάνειας της Γης. Επιπλέον η αδράνεια, λόγω περιστροφής της Γης, τείνει να στρέψει τον ψυχρό αέρα που βρίσκεται κοντά στην επιφάνεια της. Η συνολική ισχύς των ανέμων στη Γη υπολογίζεται σε $3,6 \times 10^9$ MW. Παράλληλα, η αιολική ενέργεια χαρακτηρίζεται από το πλεονέκτημα ότι παρέχει άμεσα μηχανική ενέργεια. Στην τεχνική ορολογία αυτό χαρακτηρίζεται ως «αναβαθμισμένη» μορφή ενέργειας γιατί η μηχανική ενέργεια δύναται να μετατραπεί σε οποιαδήποτε άλλη μορφή ενέργειας με ικανοποιητικότατο βαθμό απόδοσης.



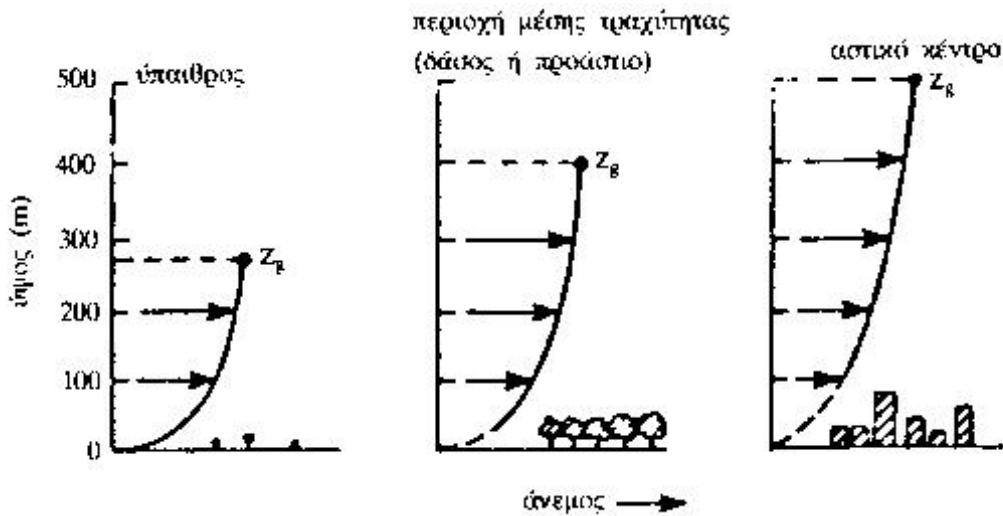
Σχήμα 2.11 Κατεύθυνση κυρίων ανέμων στο Αιγαίο – Μελέτσια

Όπως θα αναφέρουμε και παρακάτω, το κύριο χαρακτηριστικό του ανέμου είναι η ταχύτητα του. Άλλωστε, ένδειξη για το αιολικό δυναμικό μιας περιοχής αποτελεί η μέση ταχύτητα του ανέμου κατά τη διάρκεια ενός έτους. Όμως, επειδή η οριζόντια συνιστώσα της ταχύτητας του ανέμου μεταβάλλεται ανάλογα με το ύψος, για να είναι συγκρίσιμα τα μεγέθη διαφορετικών περιοχών, είτε πρέπει να λαμβάνονται μετρήσεις στο ίδιο ύψος, είτε να ανάγονται στο ίδιο ύψος σύμφωνα με τον εκθετικό νόμο:

$$V_2 = V_1 \left(\frac{z_2}{z_1} \right)^a$$

Όπου V_2 η ταχύτητα του ανέμου σε ύψος z_2 , V_1 η μετρούμενη ταχύτητα σε ύψος z_1 . Ο εκθέτης a είναι ενδεικτικός της επιφάνειας του εδάφους. Για παράδειγμα, για ανοιχτά πεδία είναι

$\alpha=0,17$, για μικρές πόλεις με μικρές κατασκευές είναι $\alpha=0,20$, ενώ για μεγάλες πόλεις με μεγάλες κατασκευές $\alpha=0,25$ [Μπεργελές, 2005]. Τα παραπάνω συνοψίζονται και στο επόμενο σχήμα 4.11.



Σχήμα 2.12 Επίδραση της τραχύτητας του εδάφους στο ατμοσφαιρικό οριακό στρώμα

Προφανώς ο εκθετικός νόμος, χρησιμοποιείται και για την αναγωγή της μετρούμενης ταχύτητας στο ύψος της ανεμογεννήτριας (Α/Γ), αφού σε αυτό το ύψος γίνεται η εκμετάλλευση της κινητικής ενέργειας του ανέμου, όπου έχουμε διαφορετικά δεδομένα σε σχέση με το ύψος μέτρησης.

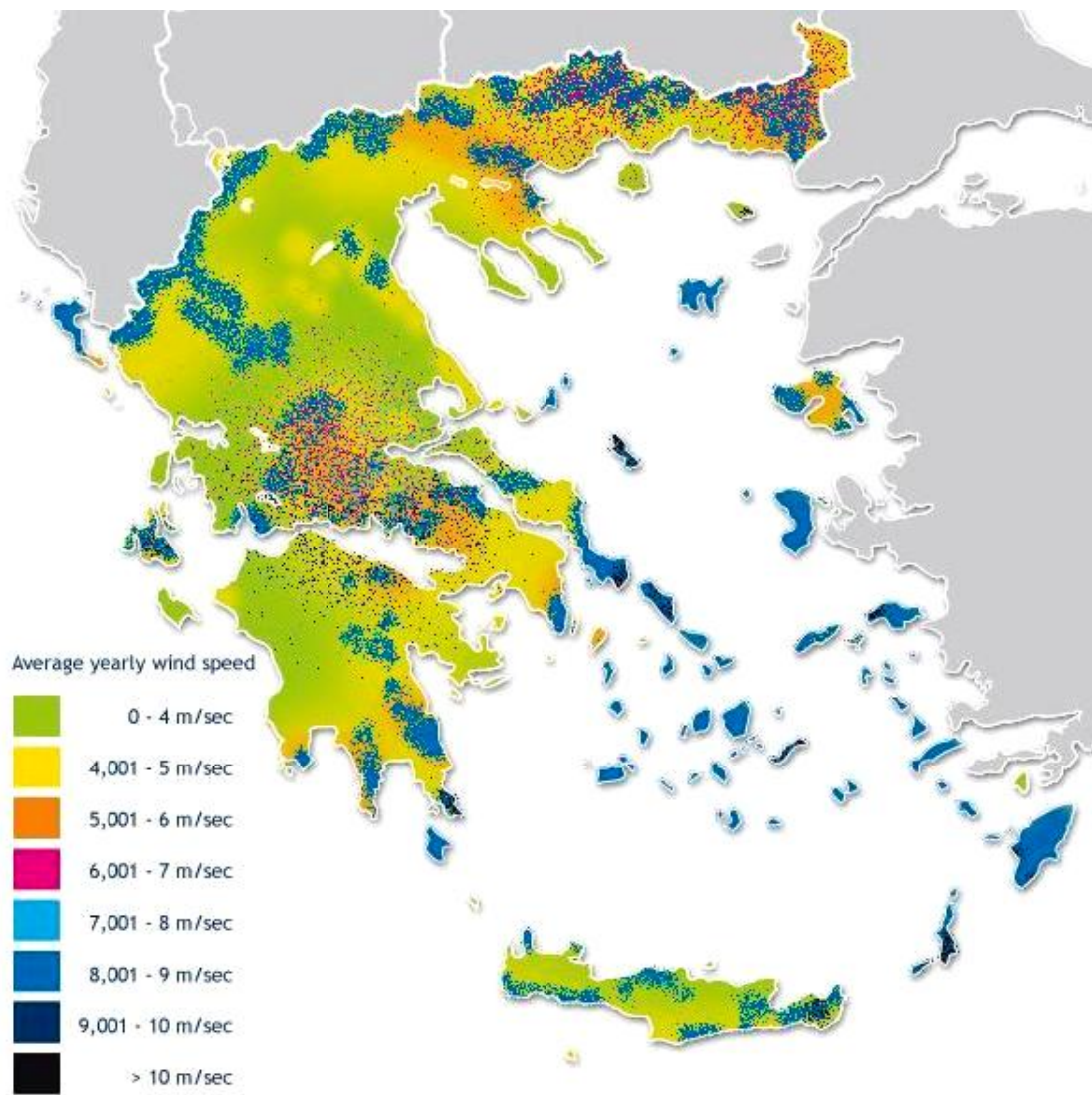
Η ενέργεια που μεταφέρεται από τον άνεμο είναι κινητική και ορίζεται ως:

$$E = \frac{1}{2} mV^2$$

Αν αντικαταστήσουμε την μάζα με τη σχέση της πυκνότητας, $\dot{m} = \rho AV$, όπου \dot{m} η μάζα του αέρα που διέρχεται από μια επιφάνεια A ανά δευτερόλεπτο και ρ η πυκνότητα του αέρα, τότε προκύπτει η κινητική ενέργεια του ανέμου ανά δευτερόλεπτο ή αλλιώς η ισχύς του ανέμου:

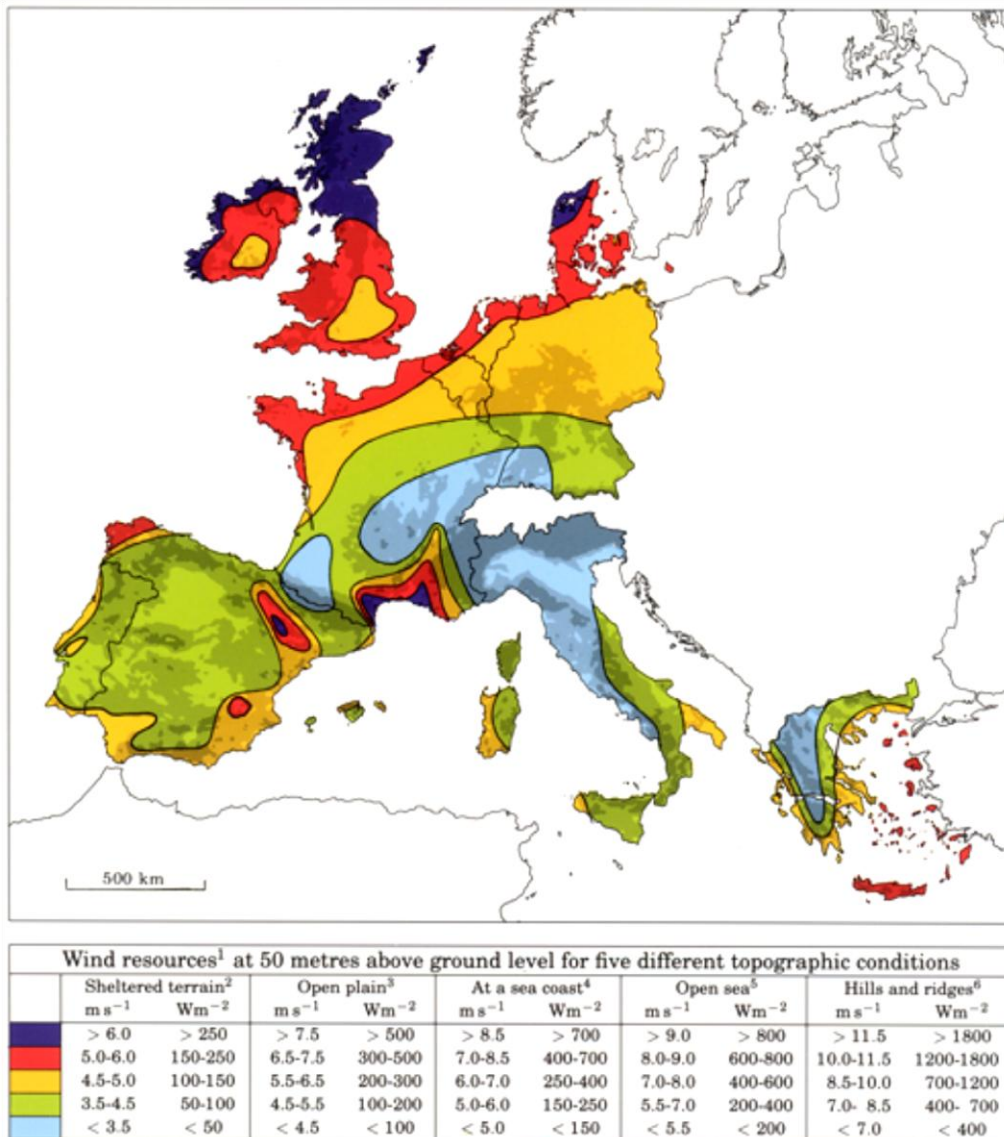
$$P = \dot{E} = \frac{1}{2} \rho AV^3$$

Παρατηρούμε ότι, η ισχύς του ανέμου είναι ανάλογη της επιφάνειας που διέρχεται ο άνεμος (δηλαδή, την επιφάνεια που καλύπτουν τα πτερύγια της Α/Γ), και ανάλογη του κύβου της ταχύτητας του. Τέλος, να πούμε ότι η ισχύς του ανέμου μπορεί να είναι εκμεταλλεύσιμη μόνο κατά ένα ποσοστό, λόγω των σημαντικών απωλειών κατά τη διαδικασία της δέσμωσης της από την Α/Γ.



Σχήμα 2.13 Χάρτης αιολικού δυναμικού στην Ελλάδα

Η Ελλάδα είναι μια χώρα με μεγάλη ακτογραμμή και τεράστιο πλήθος νησιών. Ως εκ τούτου, οι ισχυροί άνεμοι που πνέουν κυρίως στις νησιωτικές και παράλιες περιοχές προσδίδουν ιδιαίτερη σημασία στην ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας στη χώρα. Το εκμεταλλεύσιμο αιολικό δυναμικό εκτιμάται ότι αντιπροσωπεύει το 14% του συνόλου των ηλεκτρικών αναγκών της χώρας αυτή τη στιγμή. Στον παραπάνω και παρακάτω χάρτη, παρουσιάζεται το αιολικό δυναμικό της Ελλάδας και της Ευρώπης, αντίστοιχα, αναλυτικά.

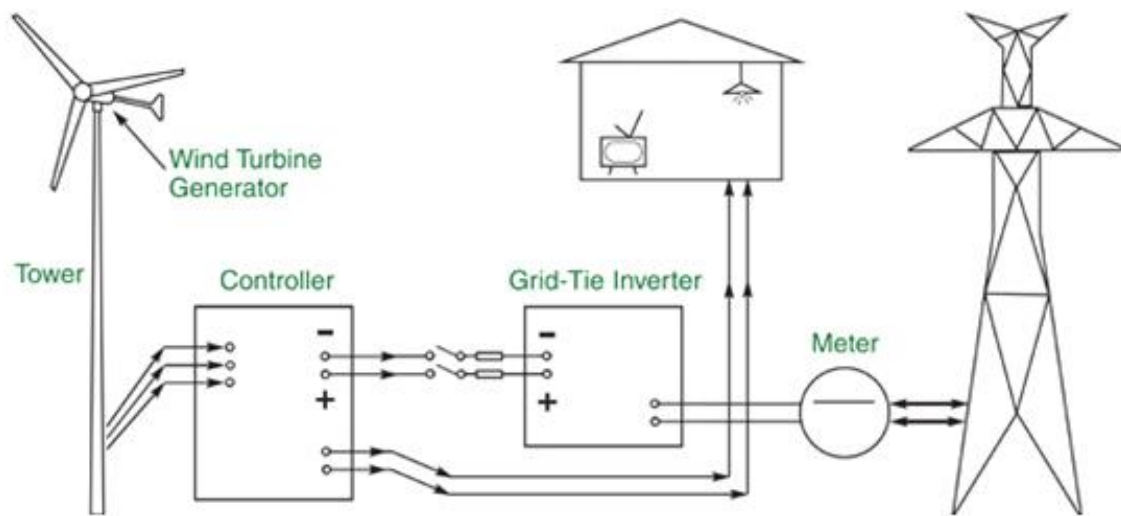


Σχήμα 2.14 Χάρτης αιολικού δυναμικού της Ευρώπης

2.3.2 Ανεμογεννήτριες

Η αξιοποίηση της κινητικής ενέργειας του ανέμου γίνεται μέσω των ανεμογεννητριών. Η κινητική ενέργεια, λοιπόν, μετατρέπεται σε μηχανικό έργο με τη βοήθεια μιας αεροδυναμικής διάταξης. Αυτό το μηχανικό έργο μπορεί να γίνει εκμεταλλεύσιμο επί τόπου (άντληση), και έτσι να αποφευχθούν οι απώλειες από τη μετατροπή του σε άλλη μορφή ενέργειας. Το σύνηθες όμως, είναι να μετατρέπεται το μηχανικό έργο σε ηλεκτρική ενέργεια, λόγω της εύκολης μεταφοράς της στον τόπο κατανάλωσης και της ικανότητας αποθήκευσης της (μπαταρίες, σύστημα αντλησιοταμίευσης). Βέβαια, το μηχανικό έργο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παραγωγή επί τόπου υδρογόνου που μπορεί να αποθηκευθεί ή να μεταφερθεί και να καεί ως αέριο καύσιμο. Η παραπάνω λύση αποτελεί τη βέλτιστη πρόταση αξιοποίησης λόγω του ότι δεν έχει καμία επίπτωση στο περιβάλλον, αφού κατά την καύση του υδρογόνου παράγεται μόνο νερό σε μορφή υδρατμών [Μπεργελές, 2005].

Η αρχή λειτουργίας της ανεμογεννήτριας και η αλληλουχία των βημάτων για την παραγωγή μέχρι την αξιοποίηση της ηλεκτρικής ενέργειας, χονδρικά, για ένα τυπικό αυτόνομο ή/και μη σύστημα (Σχήμα 2.15) έχουν ως εξής:



Σχήμα 2.15 Διάγραμμα εγκατάστασης ηλεκτροπαραγωγής από Α/Γ

- Καθώς ο άνεμος αλληλεπιδρά με τα πτερύγια και τον δρομέα της Α/Γ προκαλείται μια ροπή.
- Η σχετικά χαμηλή συχνότητα περιστροφής του δρομέα αυξάνεται μέσω ενός μετατροπέα στροφών, του οποίου ο άξονας εξόδου περιστρέφει μια γεννήτρια (generator).
- Το μεταβλητής συχνότητας ρεύμα που παράγει η γεννήτρια, μετατρέπεται σε συνεχές (DC) μέσω ενός μετατροπέα (rectifier) και προαιρετικά φορτίζει μπαταρίες, που αποτελούν το πιο κλασικό μέσο αποθήκευσης και συμβάλουν στη σταθερότητα του συστήματος.
- Στη συνέχεια, ένας άλλος μετατροπέας (inverter) μετατρέπει το ανορθωμένο συνεχές ρεύμα, αποφορτίζοντας τις μπαταρίες όποτε χρειάζεται, σε ορισμένης τάσης και συχνότητας εναλλασσόμενο ρεύμα (AC), το οποίο είναι άμεσα αξιοποιήσιμο από το τοπικό σύστημα ή/και το δίκτυο.

Οι σύγχρονες ανεμογεννήτριες οφείλουν την κίνηση των πτερυγίων τους στην άνοση που ασκείται πάνω τους από τον άνεμο. Σε αυτή την ιδέα στηρίχθηκε η ανάπτυξη των ανεμογεννητριών γενικά και ειδικότερα των ανεμογεννητριών οριζοντίου άξονα, οι οποίες έχουν γνωρίσει την μεγαλύτερη εμπορική ανάπτυξη. Μια τυπική ανεμογεννήτρια σήμερα είναι οριζόντιου άξονα με ισχύ από 600 kW έως 3000 kW.

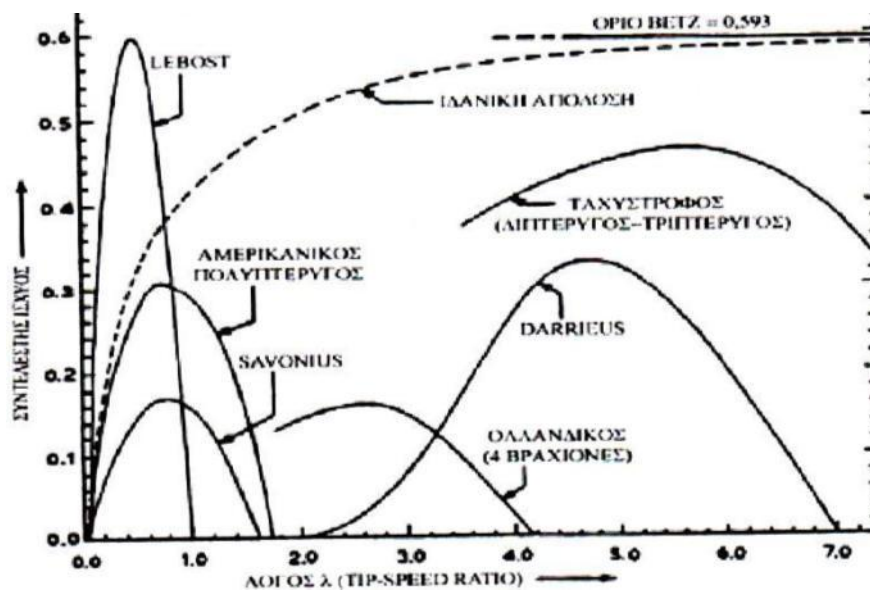
Σημαντικό χαρακτηριστικό κάθε ανεμογεννήτριας αποτελεί ο συντελεστής ισχύος C_p :

$$C_p = \frac{P}{\frac{1}{2} \rho A V^3} \Leftrightarrow P = C_p \frac{1}{2} \rho A V^3$$

που ορίζεται ως ο λόγος της ισχύος που αποδίδεται από την ανεμογεννήτρια P προς την ισχύ του ανέμου που διέρχεται από την επιφάνεια A . Ο συντελεστής ισχύος C_p εξαρτάται από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της Α/Γ και αποτελεί συνάρτηση της αδιάστατης ταχύτητας ακροπτερυγίου λ . Η ταχύτητα ακροπτερυγίου ορίζεται από τη σχέση:

$$\lambda = \frac{\omega R}{V}$$

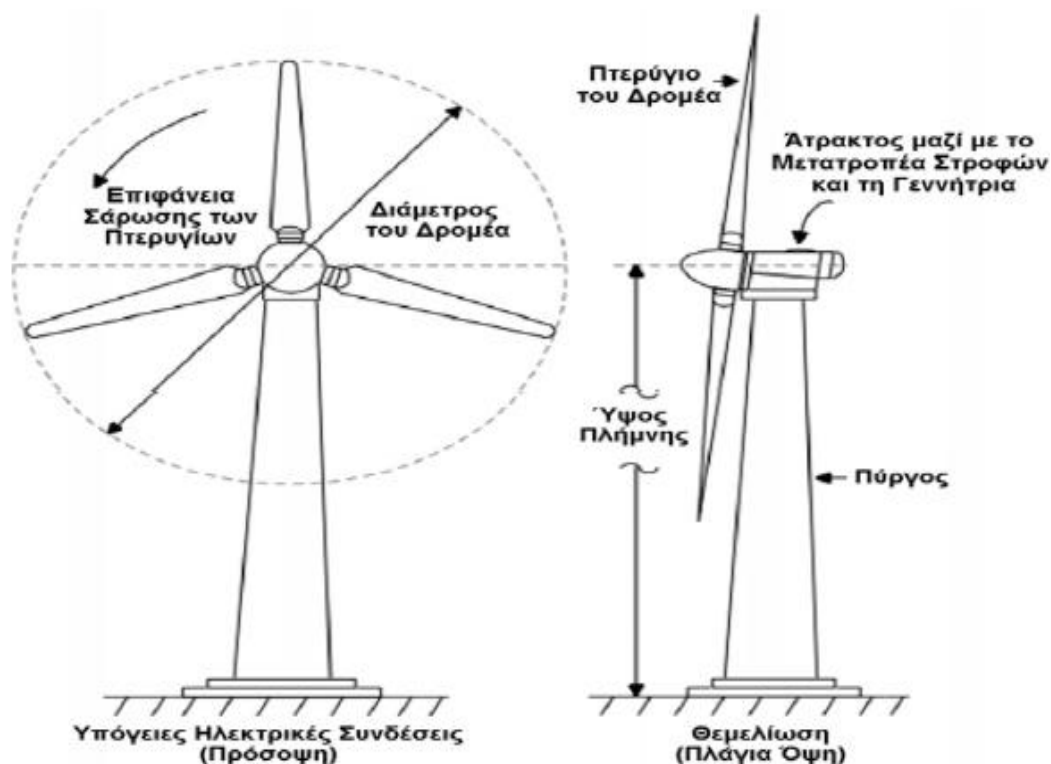
όπου ω είναι η γωνιακή ταχύτητα του δρομέα και R η ακτίνα του. Η βελτιστοποίηση της αεροδυναμικής σχεδίασης των πτερυγίων των σύγχρονων μηχανών, έχει οδηγήσει σε υψηλότερους συντελεστές ισχύος και μεγαλύτερη ενεργειακή παραγωγή για δεδομένη ταχύτητα ανέμου. Όπως φαίνεται από τη σχέση του συντελεστή ισχύος, η αποδιδόμενη ισχύς είναι ανάλογη του κύβου της στιγμιαίας ταχύτητας του ανέμου. Για να υπολογίσουμε, λοιπόν, την ισχύ που παράγει μια συγκεκριμένη ανεμογεννήτρια, χρειαζόμαστε μόνο την στιγμιαία ταχύτητα του ανέμου στο ύψος του δρομέα. Η μέγιστη τιμή που μπορεί να λάβει ο συντελεστής ισχύος είναι $C_{p,max} = \frac{16}{27} = 59\%$ και ονομάζεται *όριο του Betz*. Συνεπώς, η αξιοποίηση του αιολικού δυναμικού από την ανεμογεννήτρια μπορεί να γίνει μόνο μέχρι ένα ποσοστό της τάξης του 59%. Η μέγιστη τιμή αυτή, στην πράξη, δεν μπορεί να επιτευχθεί λόγω διαφόρων απωλειών κατά την αξιοποίηση της ενέργειας του ανέμου και ένα τυπικό εύρος τιμών του συντελεστή είναι 20-40%. Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι μεταβολές του συντελεστή ισχύος για διάφορους τύπους Α/Γ συναρτήσει της ταχύτητας ακροπτερυγίου.



Σχήμα 2.16 Συντελεστής ισχύος συναρτήσει ταχύτητας ακροπτερυγίου

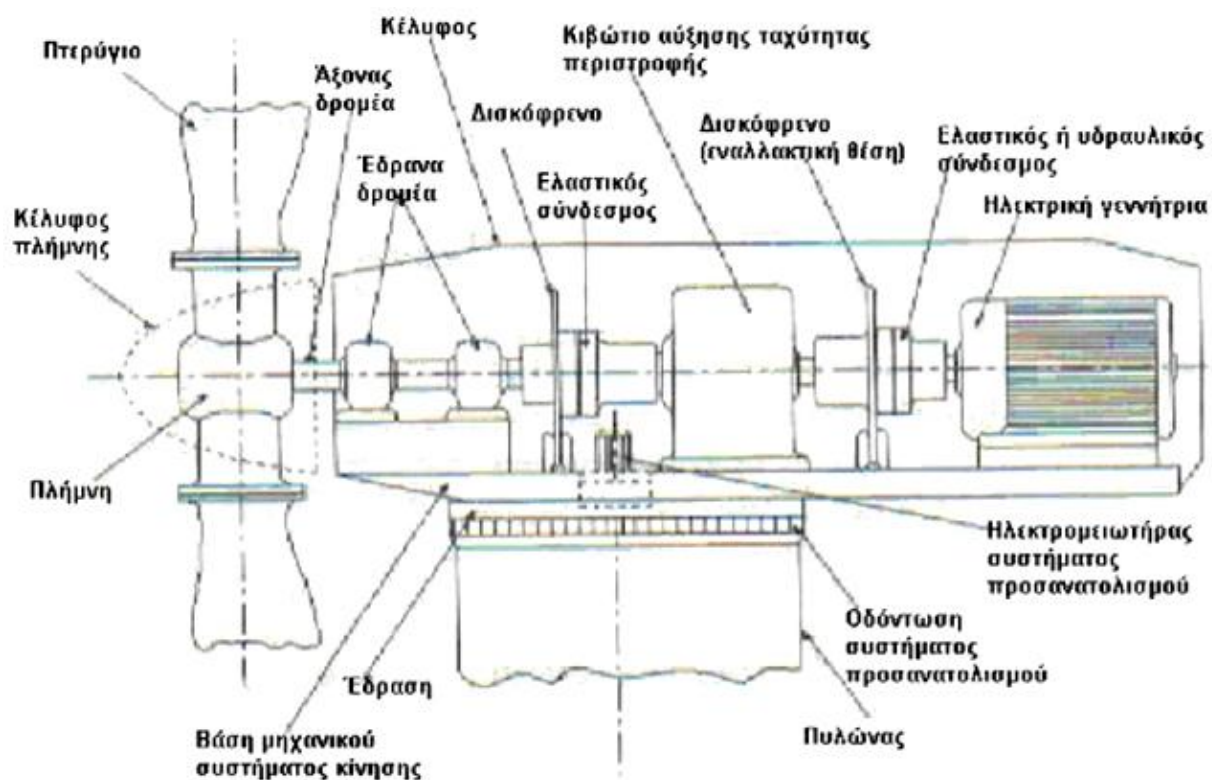
Οι ανεμογεννήτριες ταξινομούνται σε δύο κατηγορίες ανάλογα με τη προσανατολισμό του άξονα, δηλαδή σε οριζόντιου και κατακόρυφου άξονα. Έχοντας μεγαλύτερη, κατά πολύ, ανάπτυξη, θα δώσουμε παρακάτω, συνοπτικά, κάποια χαρακτηριστικά των Α/Γ οριζόντιου άξονα.

Τα κύρια μέρη των ανεμογεννητριών οριζόντιου άξονα είναι ο δρομέας, το σύστημα αύξησης στροφών και μετάδοσης ισχύος (κιβώτιο ταχυτήτων), το σύστημα πέδησης (δισκόφρενο), τα έδρανα του άξονα και οι ελαστικοί σύνδεσμοι, η ηλεκτρική γεννήτρια, το σύστημα προσανατολισμού, ο πύργος στήριξης και η θεμελίωση (Σχήμα 2.17).



Σχήμα 2.17 Ανεμογεννήτρια οριζοντίου άξονα

Ο δρομέας είναι ίσως το πιο βασικό ζήτημα στη σχεδίαση του όλου συστήματος. Αποτελείται από την πλήμνη και τα πτερύγια. Το πτερύγιο έχει αεροδυναμικό σχήμα και μπορεί να είναι ενιαίο ή να διαθέτει ακροπτερύγιο. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά (αριθμός πτερυγίων, κατανομή πλάτους, επιλογή αεροτομής, συστροφή) προκύπτουν από τη βελτιστοποίηση της αεροδυναμικής σχεδίασης. Το κιβώτιο ταχυτήτων παραλαμβάνει την κινητική ενέργεια από την άτρακτο χαμηλής ταχύτητας και την μεταφέρει στην άτρακτο υψηλής ταχύτητας με ένα λόγο μετάδοσης περίπου 50:1. Η ηλεκτρική γεννήτρια μπορεί να είναι ασύγχρονη ή σύγχρονη γεννήτρια. Γενικά προτιμούνται οι ασύγχρονες γεννήτριες λόγω της απλότητας κατασκευής, αν και οι ασύγχρονες έχουν καλύτερη συμπεριφορά σε αδύνατα δίκτυα [Ζερβός, 2007]. Το σύστημα προσανατολισμού είναι ένας σερβοκινητήρας ο οποίος ελέγχεται από τον ανεμοδείκτη του ανεμογράφου και αναγκάζει το δρομέα να παρακολουθεί την κατεύθυνση του ανέμου και να παραμένει κάθετος σε αυτήν. Ο πύργος της ανεμογεννήτριας στηρίζει τη νασέλλα και το δρομέα. Μπορεί να είναι τύπου δικτυώματος, σωληνωτός και σπανιότερα σκυρόδεμα. Η θεμελίωση γίνεται με οπλισμένο σκυρόδεμα πάνω στο οποίο τοποθετείται με βίδες ο πύργος. Ο πύργος έχει σχήμα κώνου που εξυπηρετεί στην αύξηση της αντοχής και στην εξοικονόμηση υλικών με τη διάμετρο να αυξάνεται όσο πλησιάζουμε τη βάση. Μεγάλης σημασίας έχει η γείωση που πρέπει να έχει η μεταλλική κατασκευή της ανεμογεννήτριας.

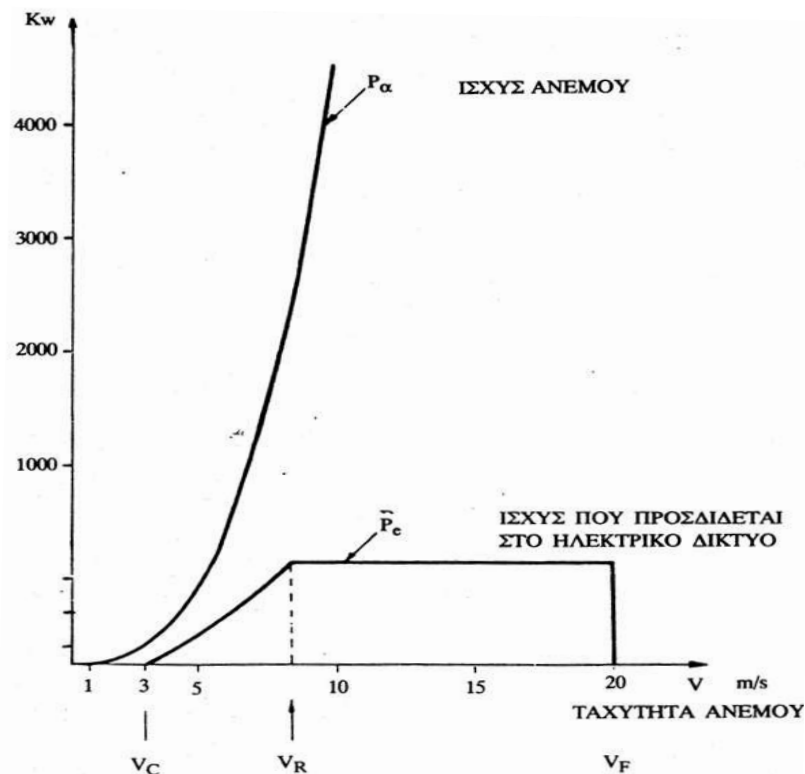


Σχήμα 2.18 Κύρια μέρη ανεμογεννήτριας οριζοντίου άξονα

Η παραγωγή ισχύος μιας Α/Γ μεταβάλλεται με την ταχύτητα του ανέμου και κάθε μηχανή χαρακτηρίζεται από την καμπύλη ισχύος της, η οποία εξαρτάται από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά και το σχεδιασμό της. Η καμπύλη ισχύος χαρακτηρίζεται από τρεις τιμές ταχύτητας:

- V_C – Ταχύτητα έναρξης λειτουργίας
- V_F – Ταχύτητα διακοπής λειτουργίας
- V_R – Ονομαστική ταχύτητα λειτουργίας

Το σχήμα 2.19 είναι χαρακτηριστικό της παραγόμενης ισχύος από την Α/Γ σε σχέση με την ταχύτητα και την ισχύ του ανέμου. Παρατηρούμε λοιπόν, ότι μια ανεμογεννήτρια ξεκινάει να παράγει ισχύ στην ταχύτητα έναρξης λειτουργίας V_C , σταματάει τη λειτουργία της για λόγους ασφαλείας σε ταχύτητες μεγαλύτερες της ταχύτητας διακοπής λειτουργίας V_F , ενώ παράγει την ονομαστική της ισχύ για ταχύτητες μεγαλύτερες της ονομαστικής V_R . Γνωρίζοντας έτσι, την στιγμιαία ταχύτητα του ανέμου μπορεί να βρεθεί πόση ισχύ μπορεί να παράγει μια Α/Γ, μέσω της καμπύλης ισχύος της.



Σχήμα 2.19 Καμπύλη ισχύος ανέμου και Α/Γ

Μια Α/Γ δεν μπορεί να αξιοποιήσει όλη την ετήσια ενέργεια του ανέμου για τους εξής λόγους [Μπεργελές, 2005]:

- Αποδίδει ισχύ μόνο όταν η ισχύς του ανέμου είναι μεγαλύτερη από τις απώλειες κενού φορτίου (τριβές, άξονα, μειωτήρα, γεννήτριας). Έτσι, σε περιόδους με ταχύτητες μικρότερες της V_C , η ενέργεια του ανέμου μένει ανεκμετάλλευτη, αφού δεν είναι σε θέση δώσει ροπή στον δρομέα.
- Για ταχύτητες μεγαλύτερης της ονομαστικής, επιδιώκεται να διατηρηθεί η παραγόμενη ισχύς σταθερή, αλλάζοντας τη γωνία κλίσης των πτερυγίων ή με τα μεταπτερύγια ή με την αλλαγή της γωνιακής θέσης του δρομέα ως προς τον άνεμο ή την αλλαγή της γωνιακής ταχύτητας του δρομέα, ανάλογα φυσικά με την γεννήτρια που έχει το σύστημα. Άρα για ταχύτητες μεγαλύτερες της V_R χάνεται ένα ποσό του αιολικού δυναμικού.
- Για υψηλές ταχύτητες ανέμου, η Α/Γ παύει να λειτουργεί για λόγους ασφαλείας. Συνεπώς, η ενέργεια του ανέμου σε αυτές τις περιπτώσεις μένει τελείως αναξιοποίητη.
- Κατά τη διάρκεια της κανονικής λειτουργίας έχουμε αεροδυναμικές απώλειες (συντελεστής ισχύος).
- Κατά τη λειτουργία έχουμε ακόμα μηχανικές απώλειες στον άξονα, στον μειωτήρα και στη γεννήτρια. Ένα ποσοστό της τάξεως του 10% της ονομαστικής ισχύος της μηχανής είναι αντιπροσωπευτικό των μηχανικών απωλειών.

Θα πρέπει να τονίσουμε ότι, εκτός των απωλειών ενέργειας του ανέμου, παρατηρούνται απώλειες της παραγόμενης ενέργειας από την ανεμογεννήτρια κατά τη μεταφορά (καλώδια) αλλά και την μετατροπή του ηλεκτρικού ρεύματος (αναστροφείς, συστήματα ελέγχου) έτσι ώστε να μπορεί να εκμεταλλευτεί με ασφάλεια και αξιοπιστία από τα φορτία.

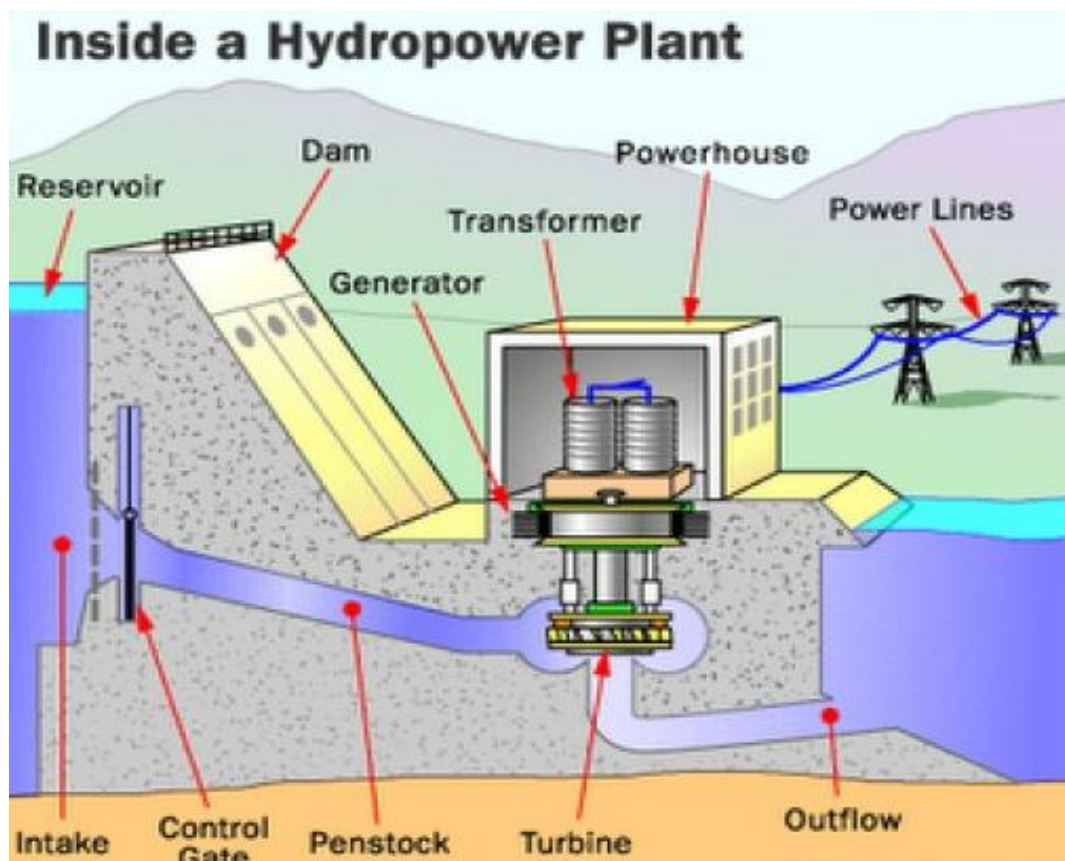
2.4 Υδροηλεκτρική Ενέργεια

2.4.1 Γενικά

Υδροηλεκτρική Ενέργεια χαρακτηρίζεται η ενέργεια η οποία στηρίζεται στην εκμετάλλευση της μηχανικής ενέργειας του νερού των ποταμών και της μετατροπής της σε ηλεκτρική ενέργεια με τη βοήθεια υδροστροβίλων και ηλεκτρογεννητριών.

Η ενέργεια αυτή διαχέεται στη φύση από δίνες και ρεύματα, καθώς το νερό ρέει καταφορικά σε ρυάκια, χείμαρρους και ποτάμια μέχρι να φτάσει στη θάλασσα. Όσο μεγαλύτερος είναι ο όγκος του αποθηκευμένου νερού και όσο ψηλότερα βρίσκεται, τόσο περισσότερη είναι η ενέργεια που περιέχει.

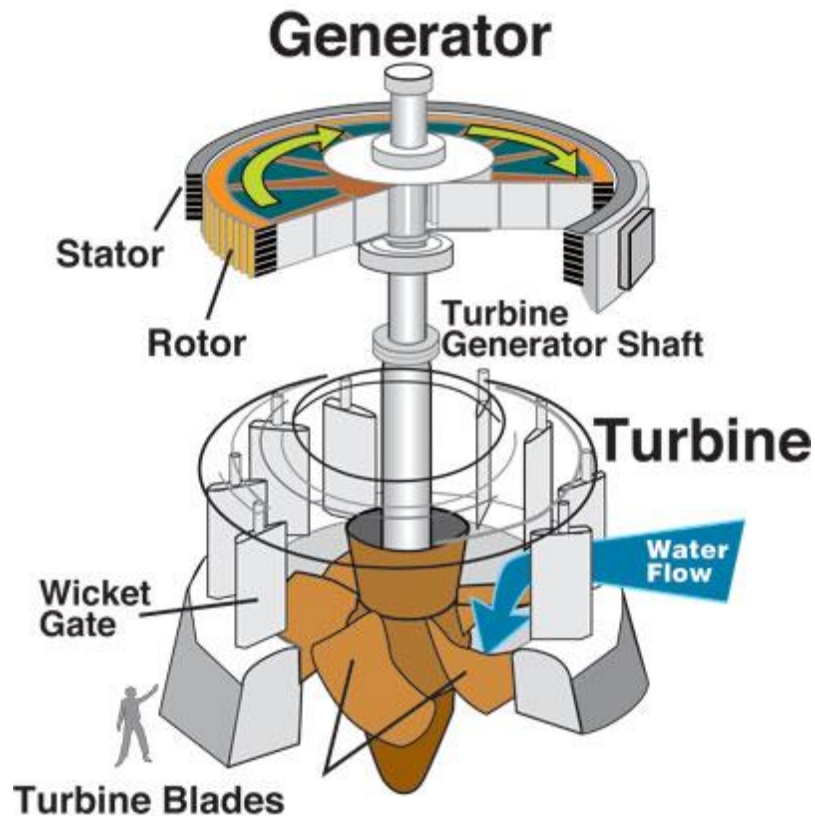
Το σύνολο των έργων, εγκαταστάσεων και εξοπλισμού μέσω των οποίων μετατρέπεται η υδραυλική ενέργεια σε μηχανική και στη συνέχεια σε ηλεκτρική, ονομάζεται Υδροηλεκτρικό έργο (ΥΗΕ) (Σχήμα 2.20). Τα Μικρά Υδροηλεκτρικά έργα (ΜΥΗΕ) είναι κυρίως "συνεχούς ροής", δηλαδή δεν περιλαμβάνουν σημαντική περισυλλογή νερού και επομένως δεν απαιτείται η κατασκευή μεγάλων φραγμάτων και ταμιευτήρων, αν και όπου αυτά υπάρχουν ήδη και μπορούν να χρησιμοποιηθούν εύκολα είναι επιβλητικά. Αποτελεί την πιο διαδεδομένη μορφή ανανεώσιμης ενέργειας.



Σχήμα 2.20 Τοπική διάταξη ενός μεγάλου υδροηλεκτρικού έργου

2.4.2 Υδροστρόβιλοι

Ως υδροστρόβιλος ορίζεται η μηχανή που μετατρέπει την ενέργεια ενός υγρού (νερού) σε μηχανική ενέργεια μέσω συνεχούς ροής του υγρού και σταθερής περιστροφικής κίνησης. Η μετατροπή της ενέργειας του διερχόμενου υγρού υπό σταθερή παροχή σε μηχανική ενέργεια γίνεται στο στρεφόμενο μέρος της μηχανής, το οποίο καλείται δρομέας, μέσω ανάπτυξης κινητήριας ροπής. Η κινητήρια ροπή μεταφέρεται στην άτρακτο του δρομέα, η οποία είναι συζευγμένη με την άτρακτο της ηλεκτρικής γεννήτριας που με τη σειρά της μετατρέπει την μηχανική ισχύ N σε ηλεκτρική N_e . Σχηματική απεικόνιση ενός υδροστρόβιλου σε τομή δίνεται στο σχήμα 2.21.



Σχήμα 2.21 Υδροστρόβιλος Kaplan

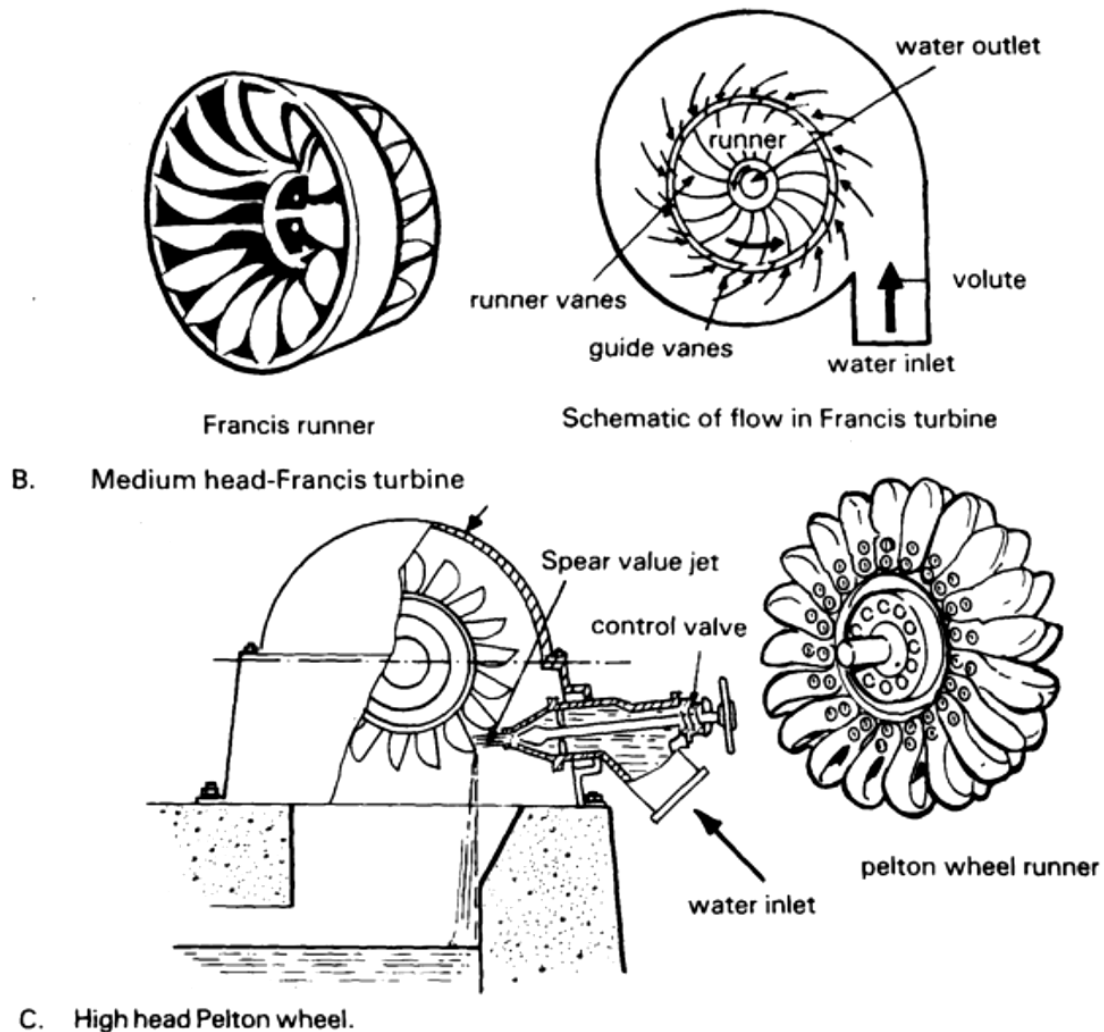
Οι σύγχρονοι υδροστρόβιλοι διακρίνονται σε δύο κατηγορίες [Παπαντώνης, 2004]:

- Δράσεως ή μερικής προσβολής
- Αντιδράσεως ή ολικής προσβολής

Η διάκριση τους βασίζεται στο ότι στους υδροστρόβιλους μερικής προσβολής, μόνο ένα τμήμα του δρομέα συμβάλλει στην μετατροπή της ενέργειας, ενώ στους ολικής προσβολής το αντίθετο. Ακόμα, στους μερικής προσβολής, ο δρομέας λειτουργεί σε χώρο ομοιόμορφης στατικής πίεσης (μηδενικός βαθμός αντίδρασης), ενώ στους ολικής προσβολής, η ροή μέσω του δρομέα γίνεται με παράλληλη μεταβολή της στατικής πίεσης του υγρού.

Χαρακτηριστικοί τύποι υδροστρόβιλων δράσεως είναι οι τύπου Pelton και Turgo, ενώ στους υδροστρόβιλους αντιδράσεως ανήκουν υδροστρόβιλοι τύπου Kaplan (αξονικής ροής) και Francis (ακτινικής και μικτής ροής). Στη συνέχεια θα αναλύσουμε σύντομα τη διαμόρφωση, των

ίσως πιο διαδεδομένων τύπων υδροστροβίλων, Pelton, ο οποίος είναι κατάλληλος ειδικά για μεγάλες τιμές της διαθέσιμης υδραυλικής πτώσης ($H > 50\text{m}$), και Francis



Σχήμα 2.22 Υδροστρόβιλοι αντίδρασης (Francis) και δράσης (Pelton)

Εν γένει, ένας υδροστρόβιλος έχει τρία κύρια μέρη: το τμήμα εισόδου, τον δρομέα, και το τμήμα εξόδου. Το τμήμα εισόδου αποτελείται από ένα ή περισσότερα ακροφύσια σκοπός των οποίων είναι η μετατροπή της ενέργειας εντατικής κατάστασης του υγρού σε κινητική, διαμορφώνοντας δέσμη κυκλικής διατομής. Κάθε δέσμη προσπίπτει στον δρομέα με αποτέλεσμα την ανάπτυξη ώθησης σε αυτόν κατά την περιφερειακή διεύθυνση και η οποία δημιουργεί κινητήρια ροπή.

Στη συνέχεια θα δοθούν οι εξισώσεις που χαρακτηρίζουν έναν υδροστρόβιλο. Ορίζεται θεωρητικό ύψος υδροστροβίλου, που εκφράζει την ανά μονάδα μάζας ενέργεια του υγρού που διατίθεται στον υδροστρόβιλο ώστε να τη μετατρέψει σε μηχανική ενέργεια από τον δρομέα, ως:

$$H_u = (H_{oe} - H_{oa}) - \delta h_{fea}$$

Η διαθέσιμη από την εγκατάσταση ενέργεια H προκύπτει από τη σχέση:

$$H = H_u + \frac{c_a^2}{2g} + \delta h_{fea}$$

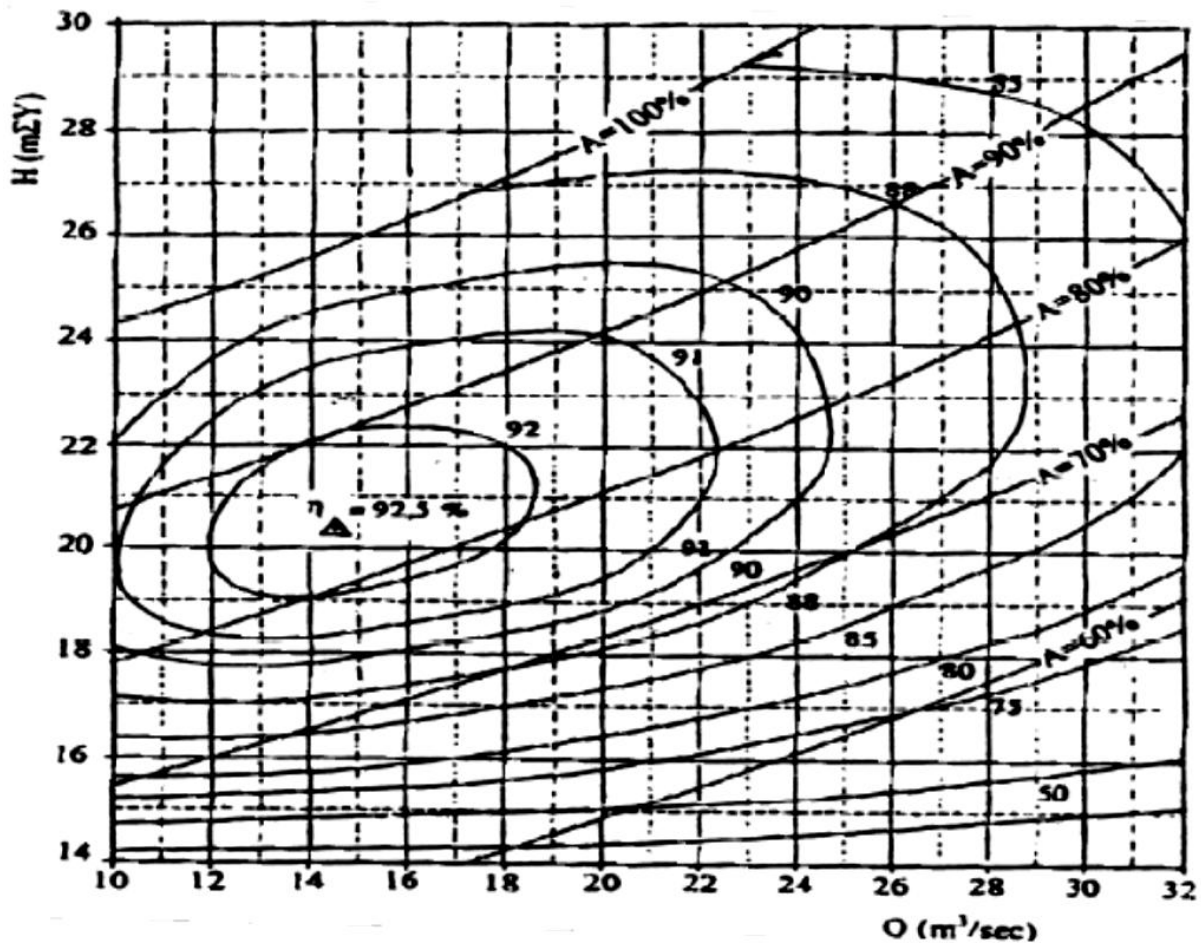
Το θεωρητικό ύψος προκύπτει αφαιρώντας από το διαθέσιμο, τις απώλειες δh_{fea} στο εσωτερικό της μηχανής (υδραυλικές, ογκομετρικές, μηχανικές) και την κινητική ενέργεια $\frac{c_a^2}{2g}$ του υγρού στην έξοδο, που φεύγει αναξιοποίητη.

Τέλος, ορίζεται η πραγματική μηχανική ισχύς N που αποδίδεται στην άτρακτο του υδροστροβίλου:

$$N = \rho g H Q \eta_T = \gamma H Q \eta_T$$

όπου η_T ο βαθμός απόδοσης του υδροστροβίλου.

Ένα άλλο σημαντικό στοιχείο των υδροστροβίλων το οποίο πρέπει να τονιστεί είναι οι χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας. Έτσι ονομάζονται οι καμπύλες μεταβολής της διαθέσιμης υδραυλικής πτώσης H συναρτήσει της παροχής Q με παράμετρο το άνοιγμα A των ρυθμιστικών πτερυγίων (υδροστροβίλοι αντιδράσεως) και για σταθερή ταχύτητα περιστροφής.

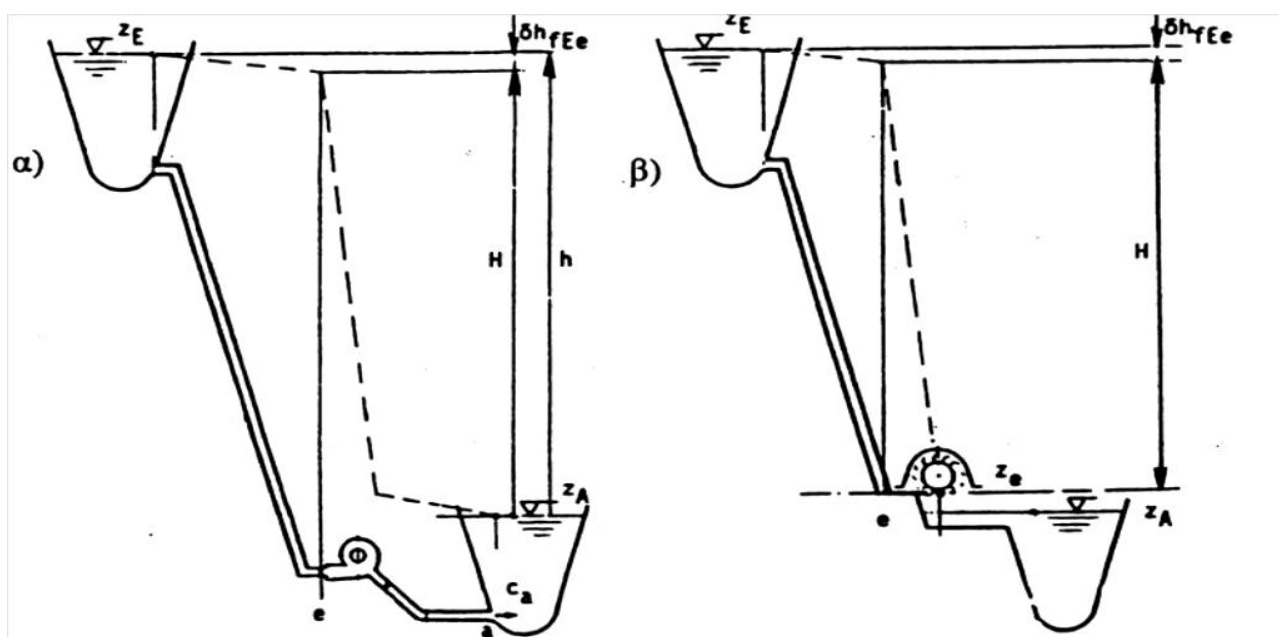


Σχήμα 2.23 Χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας υδροστροβίλου

Οι χαρακτηριστικές καμπύλες υδροστροβίλου έχουν την μορφή πλέγματος καμπυλών με θετική κλίση και προκύπτουν από την πρόσθεση στην θεωρητική καμπύλη (H_u, Q), των υδραυλικών απωλειών και την κινητική ενέργεια στην διατομή εξόδου. Επίσης, στο ίδιο διάγραμμα χαράσσονται καμπύλες ίσου βαθμού απόδοσης, οι οποίες είναι κλειστές και ισούψεις. Στην κορυφή τους αντιστοιχεί το κανονικό σημείο λειτουργίας, όπου εμφανίζεται ο μέγιστος ολικός βαθμός απόδοσης. Το κανονικό σημείο λειτουργίας αντιστοιχεί σε μια συγκεκριμένη τιμή του ανοίγματος των ρυθμιστικών πτερυγίων και σε μια τιμή της παροχής και της διαθέσιμης υδραυλικής πτώσης H για τα οποία ικανοποιούνται δύο συνθήκες: η ροή στη είσοδο του δρομέα γίνεται χωρίς κρούση, και η συστροφή του υγρού στην έξοδο του δρομέα είναι σχεδόν μηδενική [Παπαντώνης, 2004].

2.4.3 Υδροηλεκτρικά έργα

Η τυπική αρχή λειτουργίας ενός υδροηλεκτρικού έργου έχει ως εξής. Το νερό από την άνω δεξαμενή μέσω σωλήνωσης διέρχεται από τον υδροστροβίλο, όπου μετατρέπεται η ενέργεια του υγρού σε μηχανική ενέργεια, δηλαδή σε κινητήρια ροπή στην στρεφόμενη άτρακτο του δρομέα. Στη συνέχεια, επειδή η μηχανική ενέργεια δεν μπορεί να μεταφερθεί στο τόπο κατανάλωσης, μετατρέπεται αμέσως σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω της γεννήτριας που είναι συζευγμένη στην άτρακτο του υδροστροβίλου. Τέλος, το νερό που εξέρχεται από τον υδροστροβίλο είναι απαλλαγμένο συστροφής και οδηγείται στη δεξαμενή αναρρόφησης μέσω σωλήνωσης.



Σχήμα 2.24 Αξιοποίηση υδραυλικής πτώσης σε εγκατάσταση υδροστροβίλου αντιδράσεως και δράσεως

Η διαθέσιμη υδραυλική πτώση είναι ίση με:

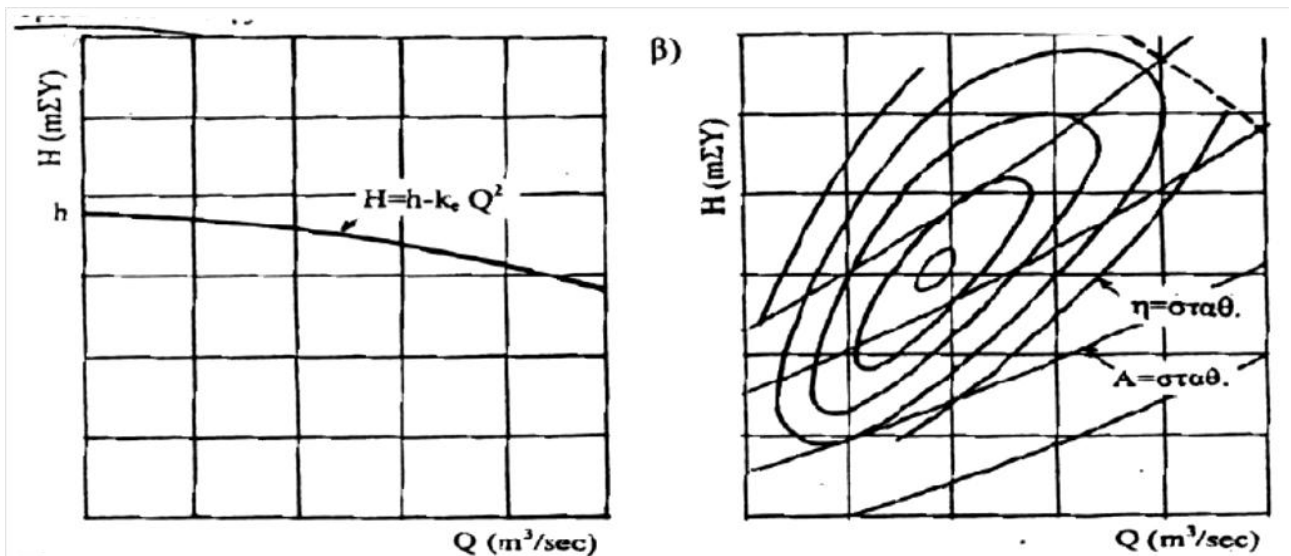
$$H = h - \delta h_{fEe} = z_E - z_A - k_e Q^2$$

Και η παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς από τον υδροστροβίλο είναι:

$$N_T = \eta_G \eta_{Tr} \eta_T \gamma H Q = \eta \gamma H Q$$

Όπου, η_G ο βαθμός απόδοσης της γεννήτριας, η_{Tr} ο βαθμός απόδοσης του μετασχηματιστή. Με τυπική τιμή του ολικού βαθμού απόδοσης του συστήματος υδροστροβίλου-γεννήτριας-μετασχηματιστή είναι $\eta=0.85$.

Για να καθορίσουμε τώρα το σημείο λειτουργίας μιας υδροηλεκτρικής εγκατάστασης, έχουμε τη διαθέσιμη υδραυλική πτώση H η οποία εκφράζεται συναρτήσει της διακινούμενης παροχής Q , και έχει τη μορφή παραβολής όπως φαίνεται παρακάτω.

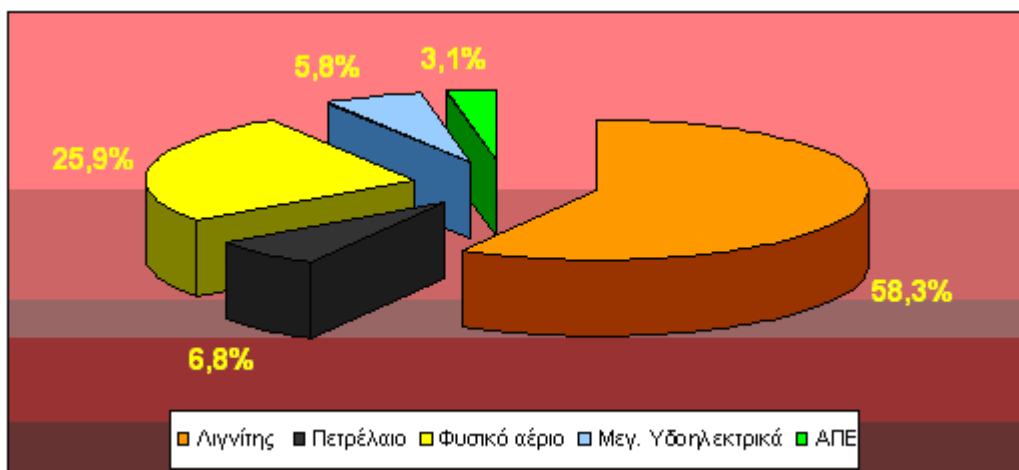


Σχήμα 2.25 Χαρακτηριστική σωλήνωσης και χαρακτηριστική υδροστροβίλου

Εάν ένας υδροστροβίλος, με χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας όπως στο σχήμα β εγκατασταθεί σε υδραυλική εγκατάσταση με χαρακτηριστική όπως στο σχήμα α, το μόνα δυνατά σημεία λειτουργίας είναι αυτά της διαθέσιμης υδραυλικής πτώσης H της εγκατάστασης. Χαράσσοντας τη χαρακτηριστική της εγκατάστασης, στο διάγραμμα με τις χαρακτηριστικές καμπύλες του υδροστροβίλου, αντιλαμβανόμαστε ότι η λειτουργία του υδροστροβίλου στην εγκατάσταση έχει ένα συγκεκριμένο εύρος λειτουργίας. Αυτό το εύρος είναι ακόμα πιο περιορισμένο προκειμένου να επιτευχθεί ομαλή λειτουργία της μηχανής και συγχρόνως υψηλός βαθμός απόδοσης.

2.5 Α.Π.Ε. και Ελλάδα

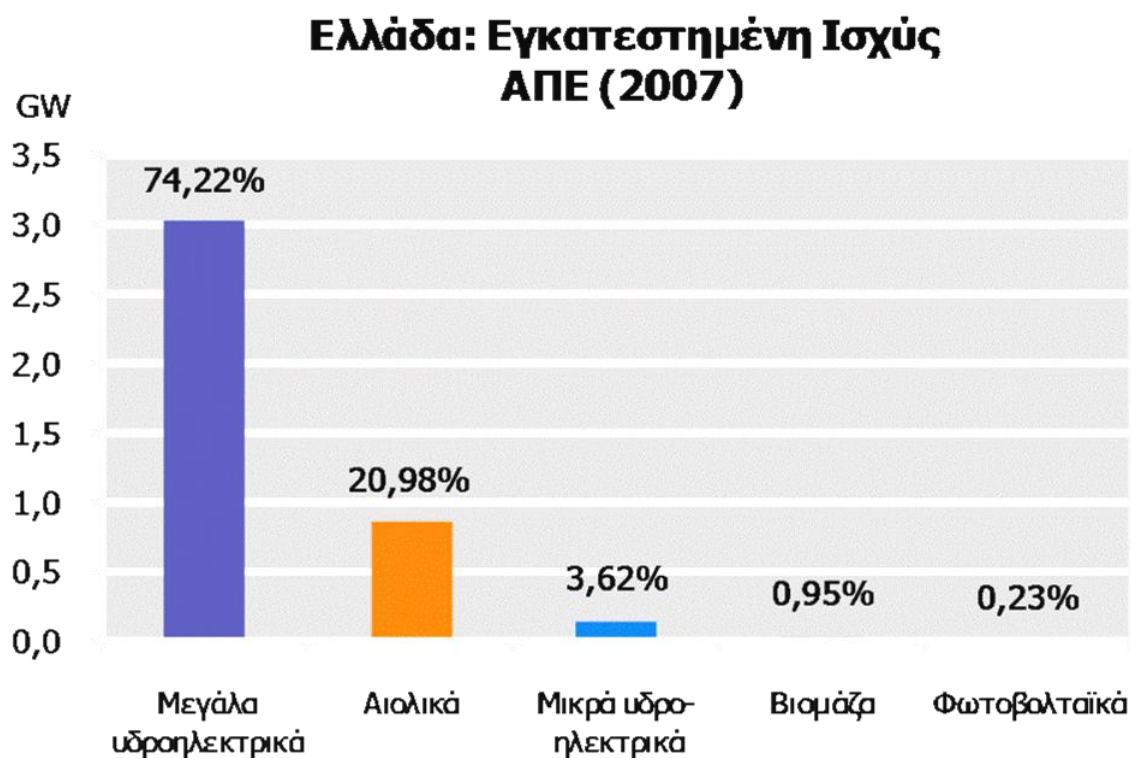
Τέλος, αξίζει να αναφερθεί η υπάρχουσα κατάσταση στην Ελλάδα. Ως γνωστόν, ο λιγνίτης είναι η πιο σημαντική εγχώρια ενεργειακή πηγή. Επειδή η χρονική διάρκεια ζωής των ήδη γνωστών εκμεταλλεύσιμων αποθεμάτων λιγνίτη δεν υπερβαίνει τα 35 χρόνια, έχει διατυπωθεί η άποψη ότι θα πρέπει να μουν στο ελληνικό ισοζύγιο ηλεκτρισμού νέα καύσιμα, όπως ο λιθάνθρακας, ώστε να παραταθεί η διαθεσιμότητα και η χρήση του λιγνίτη σε μεγαλύτερο βάθος χρόνου. Οι ανθρακικές μονάδες επιτυγχάνουν υψηλότερους βαθμούς απόδοσης από τις λιγνιτικές και κατά συνέπεια εκπέμπουν μικρότερες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα ανά παραγόμενη μονάδα ηλεκτρικής ενέργειας. Όσον αφορά στις εκπομπές διοξειδίου του θείου, αυτές αντιμετωπίζονται με αντιρρυπαντικές εγκαταστάσεις όπως η αποθείωση καυσαερίων. Επιπλέον ανάμεσα στα πλεονεκτήματα του άνθρακα είναι ότι, ενώ το φυσικό αέριο θα είναι διαθέσιμο για τα επόμενα 50 – 60 χρόνια, ο άνθρακας θα είναι διαθέσιμος τουλάχιστον για 200 χρόνια ακόμη. Ωστόσο η μελλοντική αξιοποίηση του άνθρακα θα εξαρτηθεί από τη δυνατότητα των ηλεκτροπαραγωγών μονάδων άνθρακα να υιοθετήσουν καθαρές και αποδοτικές τεχνολογίες καύσης, ώστε να προσαρμοστούν στο αυστηρό πλαίσιο των περιβαλλοντικών απαιτήσεων του «Πρωτοκόλλου του Κιότο» και των αυστηρών Ευρωπαϊκών προδιαγραφών για νέες εγκαταστάσεις καύσης.



Σχήμα 2.26 Εγχώρια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ανά μορφή καυσίμου 2008

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα προέρχεται κυρίως από θερμικούς σταθμούς. Στην Περιφέρεια Δυτικής Μακεδονίας παράγεται το 75% της συνολικής ηλεκτρικής ενέργειας, εκ της οποίας το 50% στο νομό Κοζάνης. Με το νέο ηλεκτροπαραγωγικό σταθμό της Μελίτης του νομού Φλωρίνης, η Δ. Μακεδονία καλύπτει το 80% των απαιτήσεων σε ηλεκτρική ενέργεια της χώρας. Η συγκέντρωση των θερμικών ηλεκτροπαραγωγικών σταθμών στο Βορρά της χώρας δημιουργεί αυξημένες απώλειες κατά τη μεταφορά και ανισορροπία στη λειτουργία. Ωστόσο ο σχεδιασμός τους βασίστηκε στην εγγύτητά τους στις περιοχές που είναι οι πλουτοπαραγωγικές πηγές του λιγνίτη, ο οποίος αποτελεί την καύσιμη πρώτη ύλη για αρκετούς σταθμούς. Στη χώρα μας υπάρχουν τέσσερις περιοχές με αποθέματα λιγνίτη, στη Δράμα, στη Δυτική Μακεδονία, στην Ελασσόνα και στη Μεγαλόπολη. Έτσι σύμφωνα με στοιχεία του 2008 για το Διασυνδεδεμένο Σύστημα (National Report PAE 2009), το 67.7% της εγκατεστημένης ισχύος των ηλεκτροπαραγωγικών μονάδων είναι θερμικοί σταθμοί, εκ των οποίων με λιγνίτη 4808 MW, με πετρέλαιο 1160 MW και με φυσικό αέριο 2447,7 MW. Το 24,3% είναι υδροηλεκτρικοί σταθμοί και το 8% είναι μονάδες ΑΠΕ [PAE, 2010].

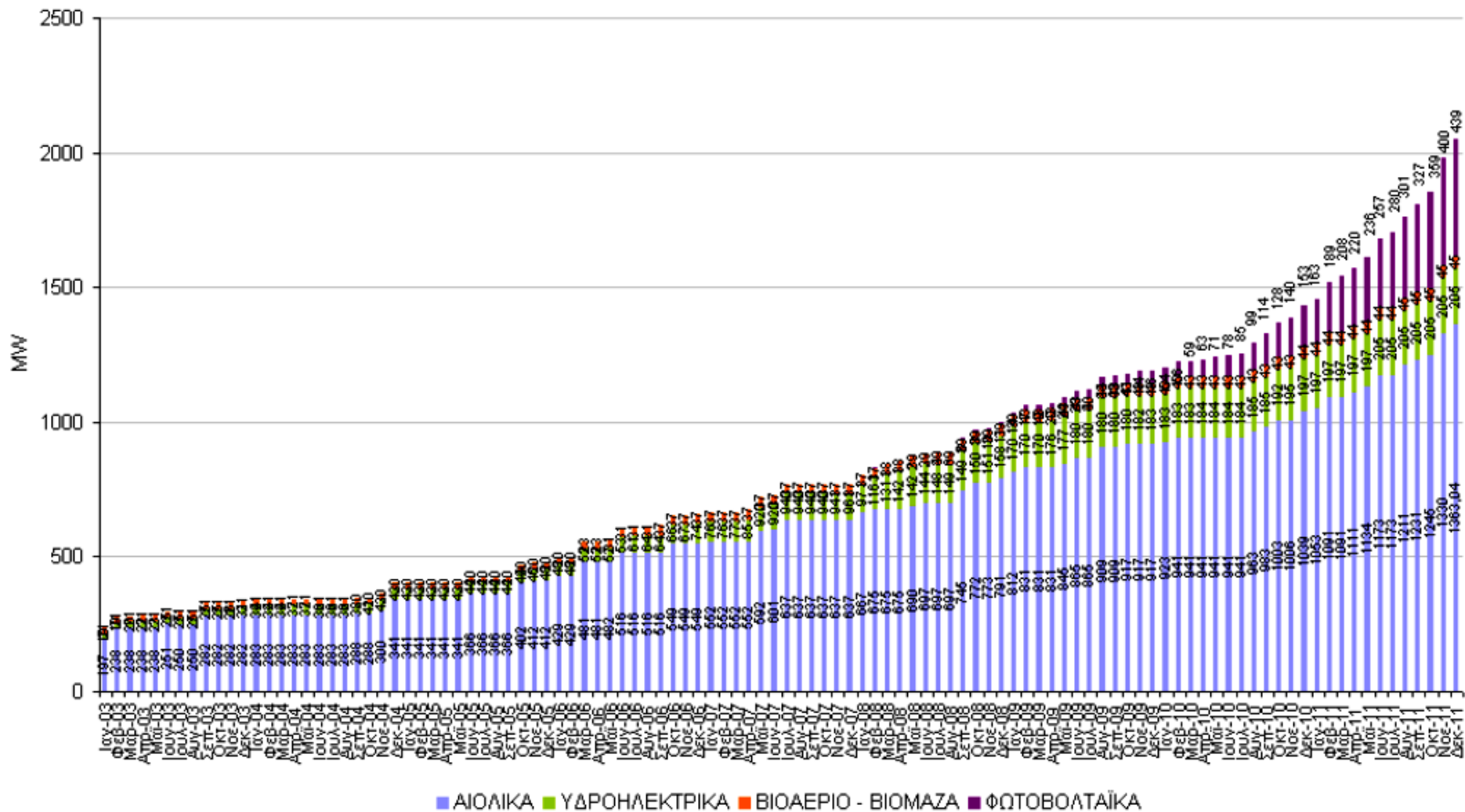
Το 2008 στην Ελλάδα εγκαταστάθηκαν συνολικά μόλις 210,9 MW από ανανεώσιμες πηγές, ανεβάζοντας την συνολική ισχύ στα 1198,33 MW, όταν για παράδειγμα η Ισπανία την ίδια χρονιά εγκατέστησε 1.000 MW μόνο από μια ανανεώσιμη πηγή, τα φωτοβολταϊκά. Στην Ελλάδα από τις 8.200 αιτήσεις για την παραγωγή 3,5 χιλιάδων MW φωτοβολταϊκών, το 2008 εγκαταστάθηκαν μόλις 9 MW. Ολόκληρο λοιπόν το 2007 εγκαταστάθηκαν στη χώρα μας μόνο 125 MW αιολικών πάρκων, όταν στο ίδιο αυτό χρονικό διάστημα εγκαταστάθηκαν στην Ισπανία 3.522 αιολικά MW (σύνολο εγκατεστημένης αιολικής ισχύος στο τέλος του 2007: 15.145 MW), στη Γερμανία 1.667 MW (22.247 MW), στη Γαλλία 888 MW (2.454 MW), στην Ιταλία 603 MW (2.726 MW), στην Πορτογαλία 434 MW (2.150 MW), στη Μ. Βρετανία 427 MW (2.389 MW), στη Σουηδία 217 MW (788 MW) και στην Ολλανδία 210 MW (1.746 MW).



Σχήμα 2.27 Εγκατεστημένη ισχύς Α.Π.Ε. στην Ελλάδα – 2007

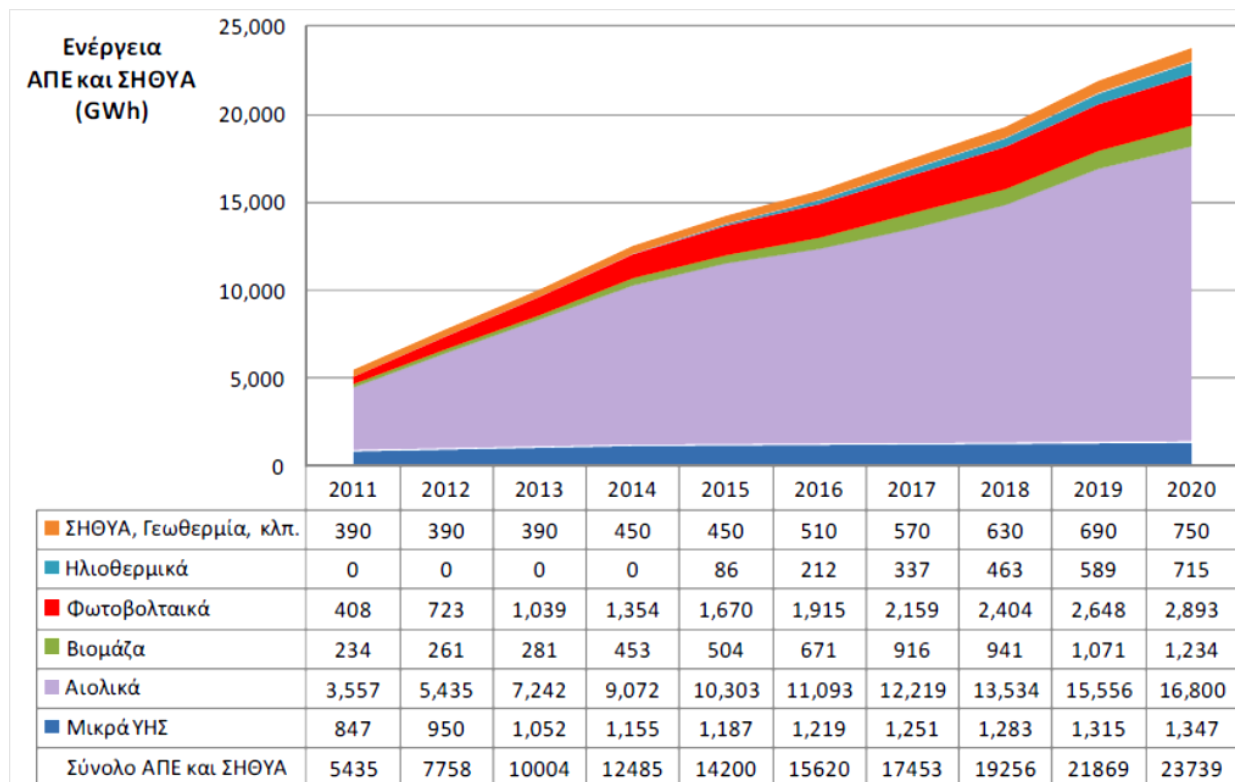
Στο σχήμα 2.28 που ακολουθεί παρατηρείται αναλυτικά η εξέλιξη των ΑΠΕ στην Ελλάδα στο διασυνδεδεμένο σύστημα, 2003 – 2011.

2003 – 2011 ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ (ΜW) ΜΟΝΑΔΩΝ ΑΠΕ ΣΕ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΣΤΟ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ (Άρθρο 9 Ν.3468/2006)



Σχήμα 2.28 Εξέλιξη Ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην Ελλάδα, 2003 – 2011

Το πρόγραμμα ανάπτυξης ΑΠΕ και Συμπααραγωγής Ηλεκτρικής ενέργειας και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης (ΣΗΘΥΑ) ακολουθεί την έκθεση του ΥΠΕΚΑ που υποβλήθηκε στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή το 2010 και φαίνεται στο παρακάτω σχήμα 2.29 [Κάπρος, 2011].



Σχήμα 2.29 Εξέλιξη Ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην Ελλάδα, 2011 – 2020

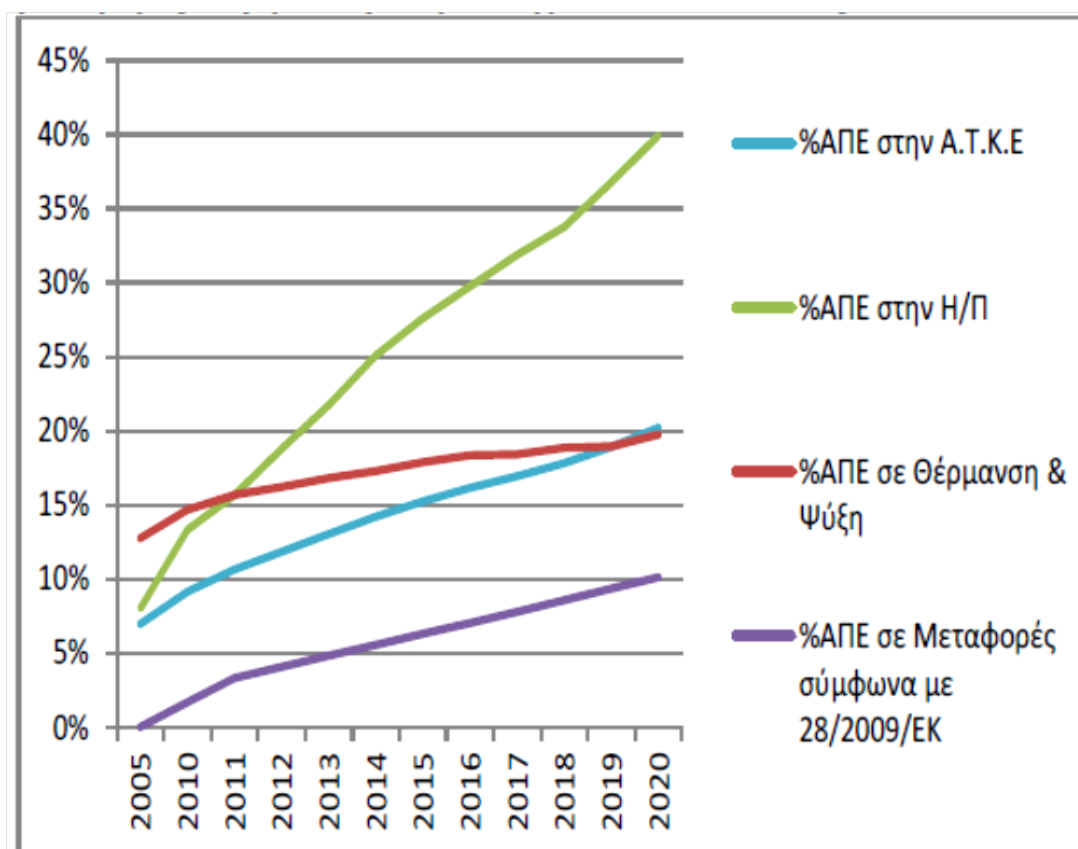
Η Ευρωπαϊκή ενεργειακή πολιτική έως το 2020 επικεντρώνεται στην επίτευξη τριών επιμέρους στόχων για το σύνολο των Κρατών-Μελών, οι οποίοι αφορούν στη μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου κατά 20% σε σχέση με τα επίπεδα του 1990 (Οδηγία 2009/29/ΕΚ), στη διείσδυση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας κατά 20% στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας (Οδηγία 2009/28/ΕΚ) και στη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και επίτευξη εξοικονόμησης πρωτογενούς ενέργειας κατά 20%. Ειδικά για την Ελλάδα, ο στόχος για τις εκπομπές αερίων ρύπων του θερμοκηπίου είναι μείωση κατά 4% στους τομείς εκτός εμπορίας σε σχέση με τα επίπεδα του 2005 και 18% διείσδυση των ΑΠΕ στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση.

Η Ελληνική κυβέρνηση στο πλαίσιο υιοθέτησης συγκεκριμένων αναπτυξιακών και περιβαλλοντικών πολιτικών, με το Ν. 3851/2010 προχώρησε στην αύξηση του εθνικού στόχου συμμετοχής των ΑΠΕ στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας στο 20%. Συγκεκριμένα ο στόχος αυτός εξειδικεύεται σε 40% συμμετοχή των ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή, 20% σε θέρμανση και ψύξη και 10% στις μεταφορές.

Για τον καθορισμό της εξέλιξης του ελληνικού ενεργειακού συστήματος για την περίοδο 2010-2020, λαμβάνονται υπόψη οι προαναφερθέντες εθνικοί στόχοι και δεσμεύσεις για τη μείωση των εκπομπών και τη διείσδυση των ΑΠΕ. Επιπλέον συνυπολογίζεται το σύνολο των πρόσφατων θεσμικών αλλαγών που αφορούν στη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης στον κτιριακό τομέα καθώς και στην ανάπτυξη μηχανισμών της αγοράς και εφαρμογής

συγκεκριμένων μέτρων και πολιτικών που αποσκοπούν στην επίτευξη του συγκεκριμένου εθνικού στόχου για εξοικονόμηση ενέργειας.

Στο πλαίσιο αυτό, το Εθνικό Σχέδιο Δράσης για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, που εκπονήθηκε το 2010, περιγράφει την πορεία εκπλήρωσης των εθνικών στόχων και δεσμεύσεων, ώστε μέχρι το 2020 να έχει επιτευχθεί η επιδιωκόμενη διείσδυση των ΑΠΕ στο ελληνικό ενεργειακό σύστημα. Το ακόλουθο σχήμα συνοψίζει την πορεία εξέλιξης της διείσδυσης των ΑΠΕ στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας, στην ηλεκτροπαραγωγή, στη θέρμανση και ψύξη καθώς και στις μεταφορές, για την επίτευξη των εθνικών ενεργειακών στόχων έως το 2020.



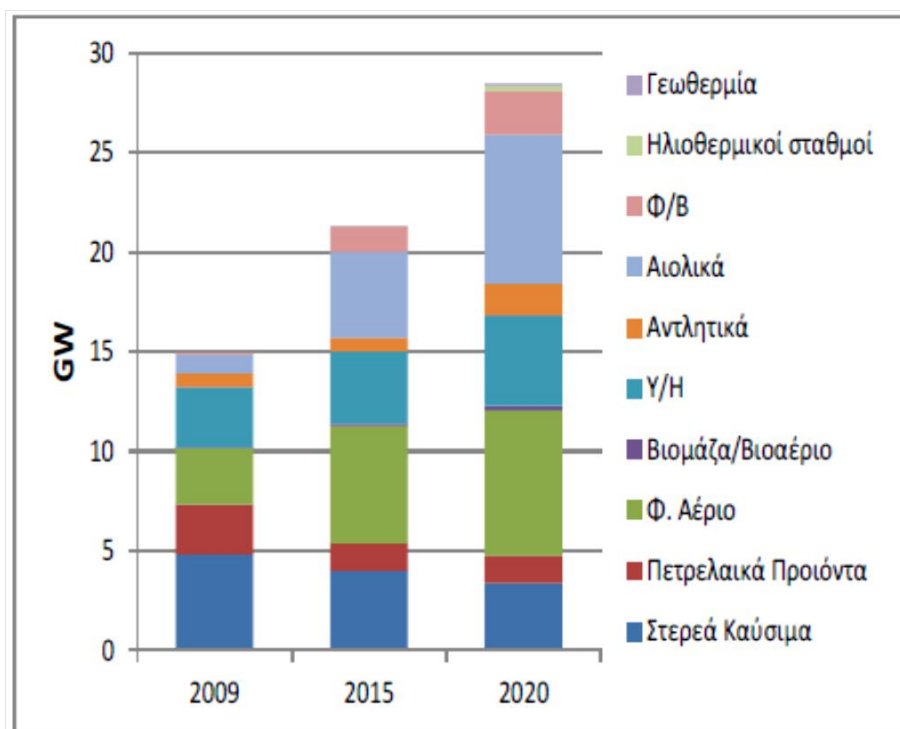
Σχήμα 2.30 Εξέλιξη του μεριδίου ΑΠΕ στην Α.Τ.Κ.Ε, την ηλεκτροπαραγωγή και στην τελική κατανάλωση θερμικής ενέργειας και του μεριδίου βιοκαυσίμων στις μεταφορές σύμφωνα με την οδηγία 2009/28/ΕΚ έως το 2020

Η παρουσίαση του συγκεκριμένου οδικού χάρτη ανάπτυξης των τεχνολογιών ΑΠΕ τόσο στην ηλεκτροπαραγωγή, όσο στη θέρμανση-ψύξη και τις μεταφορές, πραγματοποιήθηκε με τη χρήση μοντέλων ενεργειακής ανάλυσης, όπου και αναλύθηκαν διαφορετικά σενάρια εξέλιξης του Ελληνικού ενεργειακού συστήματος μέχρι το 2020, λαμβάνοντας υπόψη και παραμέτρους οικονομικής και τεχνολογικής ανάπτυξης.

Οι βασικές παράμετροι για την κατάρτιση σεναρίων εξέλιξης του ενεργειακού συστήματος ήταν η εξέλιξη της οικονομικής δραστηριότητας στη χώρα, η εξέλιξη των διεθνών τιμών καυσίμων, τα εναλλακτικά επίπεδα χρήσης των συμβατικών καυσίμων, η επίδραση των τιμών των τεχνολογιών ΑΠΕ στη διείσδυσή τους, η επίδραση των διασυνδέσεων στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και της ανάπτυξης του συστήματος μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας.

Σύμφωνα με το σενάριο στο οποίο θεωρείται επιτυχής η υλοποίηση των στόχων της Ευρωπαϊκής Πολιτικής για την Ελλάδα έως το 2020 απαιτείται η υιοθέτηση και εφαρμογή συγκεκριμένων πολιτικών, αλλά και η έγκαιρη διείσδυση και συμμετοχή συγκεκριμένων τεχνολογιών ΑΠΕ στο ενεργειακό σύστημα.

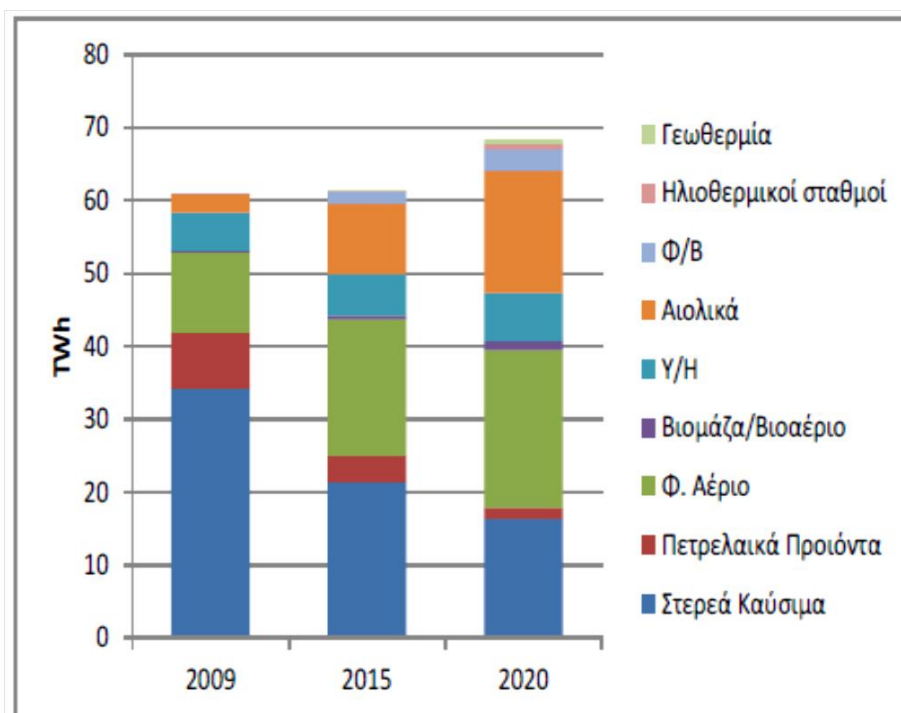
Έτσι, οι εθνικοί στόχοι για το 2020, σε πρώτη εκτίμηση αναμένεται να ικανοποιηθούν για τη μεν ηλεκτροπαραγωγή με την ανάπτυξη περίπου 13,3GW από ΑΠΕ, όπου συμμετέχει το σύνολο των τεχνολογιών ΑΠΕ με προεξέχουσες σε επίπεδο εγκατεστημένης ισχύος τα αιολικά πάρκα με 7,5GW, τα υδροηλεκτρικά με 3GW και τα ηλιακά με περίπου 2,5GW.



Σχήμα 2.31 Εξέλιξη της εγκατεστημένης ισχύος ηλεκτροπαραγωγών ανά καύσιμο για την επίτευξη των εθνικών στόχων έως το 2020

Αξιοσημείωτη είναι ωστόσο και η σταδιακή εμφάνιση νέων τεχνολογιών ΑΠΕ στο μείγμα της ηλεκτροπαραγωγής (γεωθερμία, ηλιοθερμικοί σταθμοί), οι οποίες αναμένεται σε μακροπρόθεσμο επίπεδο να έχουν ολοένα και πιο μεγάλο μερίδιο συμμετοχής

Το αποτέλεσμα αυτής της ανάλυσης οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η επίτευξη του ποσοστού συμμετοχής των ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή (40%) μέχρι το 2020, θα επιτευχθεί μόνο με τη συνδυαστική εφαρμογή θεσμικών, κανονιστικών, οικονομικών και τεχνολογικών μέτρων που έχουν ως βασικό στόχο την αξιοποίηση του οικονομικού δυναμικού ανάπτυξης μεγάλων έργων ΑΠΕ, την ολοκλήρωση των αναγκαίων εργασιών επέκτασης και αναβάθμισης του ηλεκτρικού δικτύου και στη σταδιακή ανάπτυξη της διεσπαρμένης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

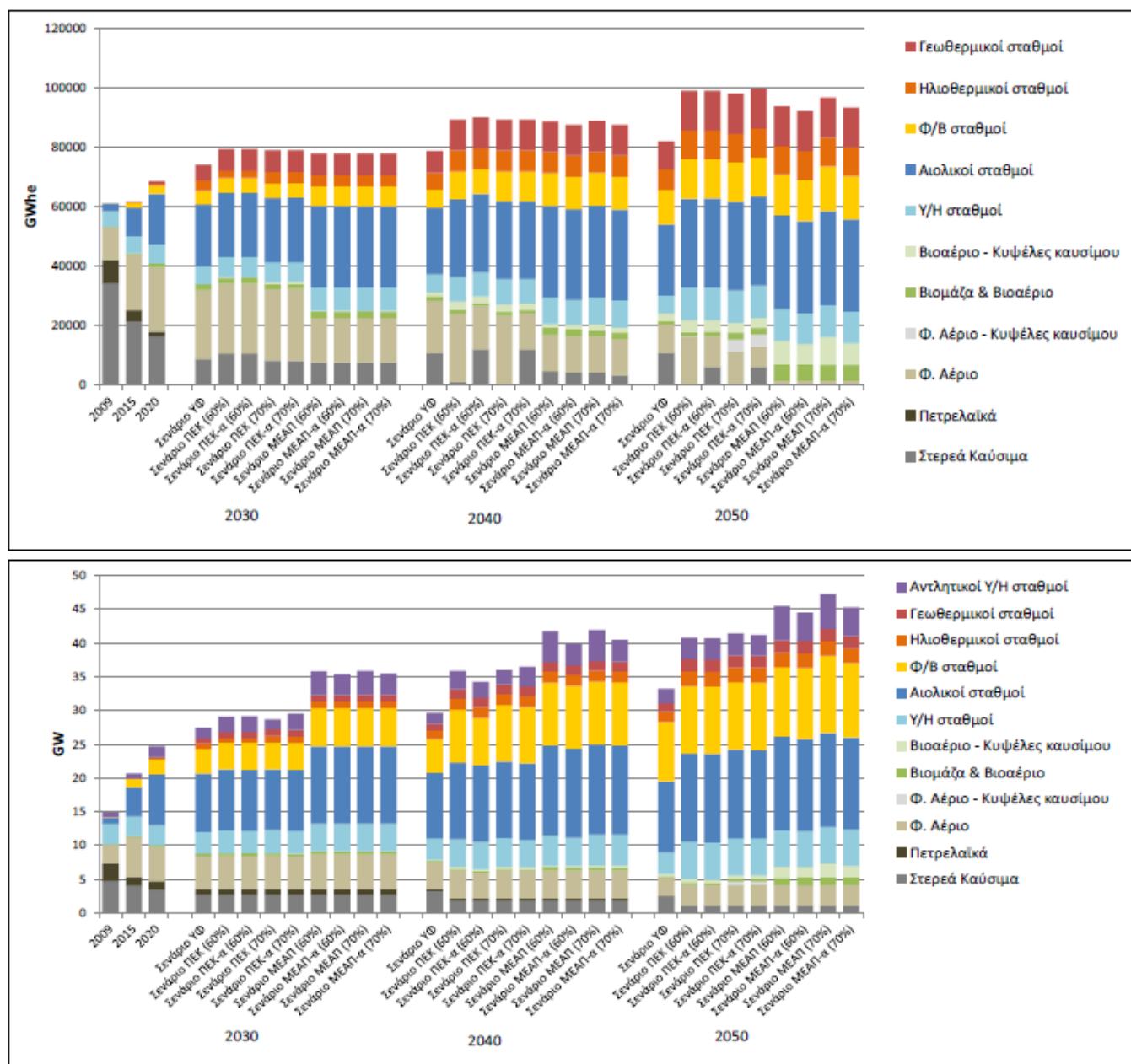


Σχήμα 2.32 Εξέλιξη της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ανά καύσιμο για την επίτευξη των εθνικών στόχων έως το 2020

Προφανώς αυτό απαιτεί την αντιμετώπιση ποικίλων εμποδίων, που έχουν ήδη εντοπιστεί, και σχετίζονται με τον χρόνο αδειοδότησης έργων ΑΠΕ, με τη σαφήνεια θεμάτων χωροταξικού σχεδιασμού, καθώς και το επίπεδο ενημέρωσης των πολιτών για τις εφαρμογές έργων ΑΠΕ σε σχέση μάλιστα με την νέα Ευρωπαϊκή πολιτική για τις εκπομπές της ηλεκτροπαραγωγής. Επίσης, η Ελλάδα παρουσιάζει την ιδιομορφία ενός μη πλήρως διασυνδεδεμένου ηλεκτρικού συστήματος, καθώς πολλά νησιά αποτελούν αυτόνομα δίκτυα. Όλα αυτά τα δεδομένα, περιορισμοί και κοινωνικοοικονομικές παράμετροι ελήφθησαν υπόψη στην εκπόνηση της μελέτης και στο σχεδιασμό της εξέλιξης συνεισφοράς των διαφόρων τεχνολογιών για ηλεκτροπαραγωγή μέχρι το 2020 [Εθνικός Ενεργειακός Σχεδιασμός, 2012].

Ωστόσο η έρευνα του Εθνικού Ενεργειακού Σχεδιασμού φτάνει ακόμη περαιτέρω έως το 2050 και για διάφορα σενάρια:

- Σενάριο «Υφιστάμενων πολιτικών» (Σενάριο ΥΦ)
- Σενάριο «Μέτρων Μεγιστοποίησης ΑΠΕ» (Σενάριο ΜΕΑΠ)
- Σενάριο «Περιβαλλοντικών Μέτρων Ελαχίστου Κόστους» (Σενάριο ΠΕΚ)



Σχήμα 2.33α,β Εξέλιξη της ηλεκτροπαραγωγής και της εγκατεστημένης ισχύος ανά καύσιμο σε κάθε εξεταζόμενο σενάριο έως το 2050

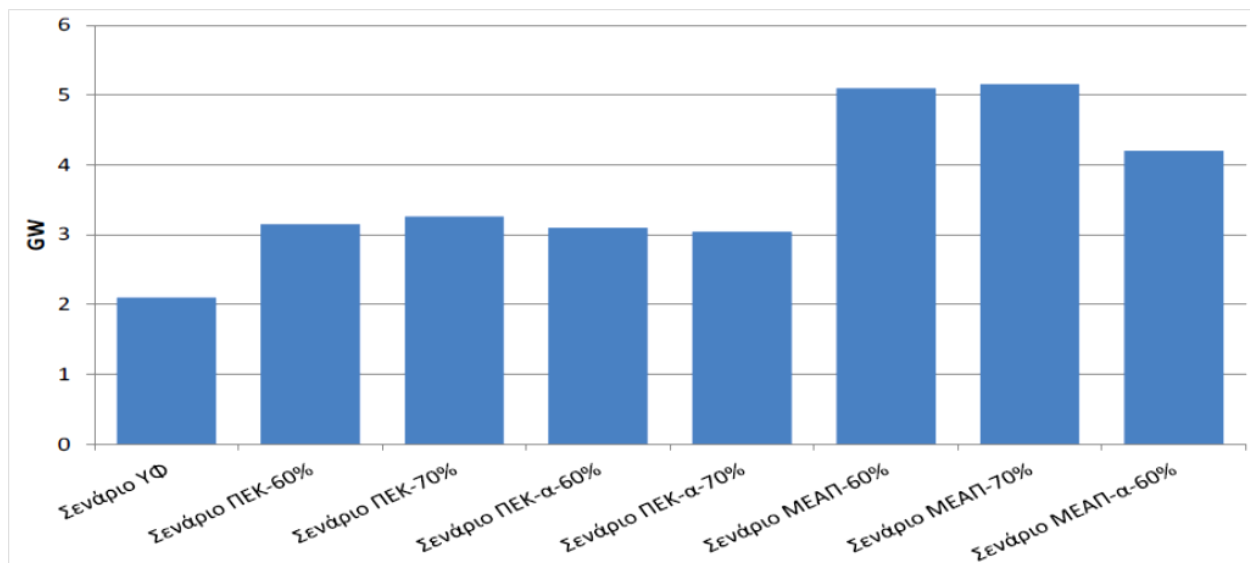
Το ηλεκτρικό μίγμα το 2050 θα αποτελείται από σταθμούς ελεγχόμενης (ηλιοθερμικοί σταθμοί, στερεή βιομάζα, γεωθερμία και Υ/Η) και μη ελεγχόμενης εξόδου (π.χ. αιολικά, Φ/Β). Οι σταθμοί μη ελεγχόμενης εξόδου προβλέπεται να συνεισφέρουν σε ποσοστό από 44% (Σενάριο ΠΕΚ) έως περίπου 49% (Σενάριο ΜΕΑΠ) στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτά τα επίπεδα διείσδυσης, ιδιαίτερα για τα σενάρια νέων ενεργειακών πολιτικών, στα οποία η εγκατεστημένη ισχύς μεταβαλλόμενων μονάδων ΑΠΕ είναι πολύ πιο υψηλή, απαιτούν σταθμούς αποθήκευσης (οι οποίοι είναι γενικά ευέλικτοι). Ο λόγος είναι τόσο για να αντισταθμίζονται οι μεγάλες διακυμάνσεις της παραγωγής των μονάδων αυτών, όσο και για να είναι δυνατή η απορρόφηση της παραγόμενης ενέργειας εφόσον δεν είναι δεδομένο ότι τις ώρες με δυνατό αέρα ή τις ώρες ηλιοφάνειας θα υπάρχει ζήτηση φορτίου αντίστοιχη με την εν δυνάμει παραγωγή των μονάδων ΑΠΕ μη ελεγχόμενης εξόδου. Η εκτίμηση που γίνεται μέσα από την μελέτη των

σεναρίων είναι ότι για αρκετές ώρες σε ετήσια βάση, η εν δυνάμει παραγωγή από τις μονάδες αυτές θα υπερβαίνει την ζήτηση του φορτίου με αποτέλεσμα, στην περίπτωση όπου δεν υφίστανταγρι οι απαιτούμενες μονάδες αποθήκευσης, το σύστημα να οδηγείται στην απόρριψη της πλεονάζουσας παραγωγής.

Η αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας θεωρήθηκε ότι θα καλυφθεί με δύο βασικές τεχνικές:

- Εγκατάσταση αντλητικών σταθμών σε υφιστάμενους ή και νέους υδροηλεκτρικούς σταθμούς τύπου φράγματος, προκειμένου να αντλείται νερό από τα κατόντη στα ανάντη του φράγματος και να πραγματοποιείται αποθήκευση της ενέργειας.
- Χρήση μεγάλων συστοιχιών συσσωρευτών σε επίπεδο βιομηχανιών ηλεκτροπαραγωγής (utility batteries) ή άλλων αποκεντρωμένων / τοπικών / οικιακών μονάδων αποθήκευσης

Όπως αναμενόταν, το σενάριο νέων ενεργειακών πολιτικών με τη μέγιστη διείσδυση τεχνολογιών ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή, δημιουργεί την απαίτηση ύπαρξης μονάδων αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας της τάξης των 5GW (4GW στην περίπτωση του Σεναρίου ΜΕΑΠ-α), ενώ αντίθετα το Σενάριο ΠΕΚ απαιτεί 3GW ισχύ αποθήκευσης. Αξιοσημείωτο είναι ότι το Σενάριο ΠΕΚ, απαιτεί ουσιαστικά μικρή συνολική επιπλέον ανάγκη ισχύος αποθήκευσης (της τάξης του 1 GW) συγκρινόμενη με την αντίστοιχη του σεναρίου υφιστάμενων πολιτικών (Σενάριο ΥΦ), η οποία και απαιτείται ουσιαστικά κατά την τελευταία εξεταζόμενη δεκαετία, αυτή της περιόδου 2040-2050.



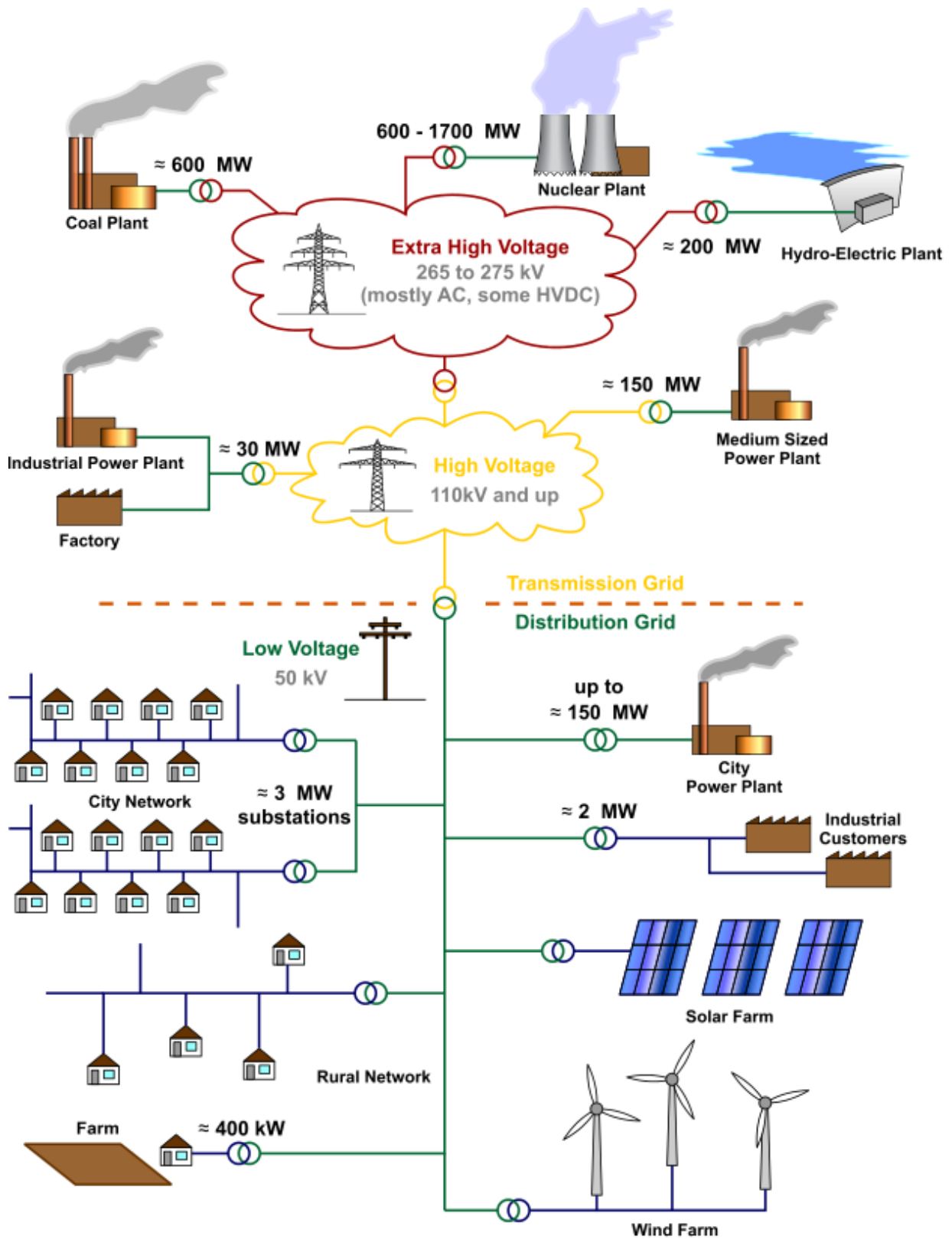
Σχήμα 2.34 Απαιτήσεις για εγκατεστημένη ισχύ αποθηκευτικών μονάδων ηλεκτρικής ενέργειας το 2050

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο – ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

3.1 Τα ηλεκτρικά συστήματα σήμερα

Καταρχάς, ηλεκτρικό σύστημα ονομάζεται το σύστημα παραγωγής μαζί με το δίκτυο μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας από τους παραγωγούς στους καταναλωτές. Συνίσταται κυρίως από τρία μέρη (Σχ. 3.1, 3.2):

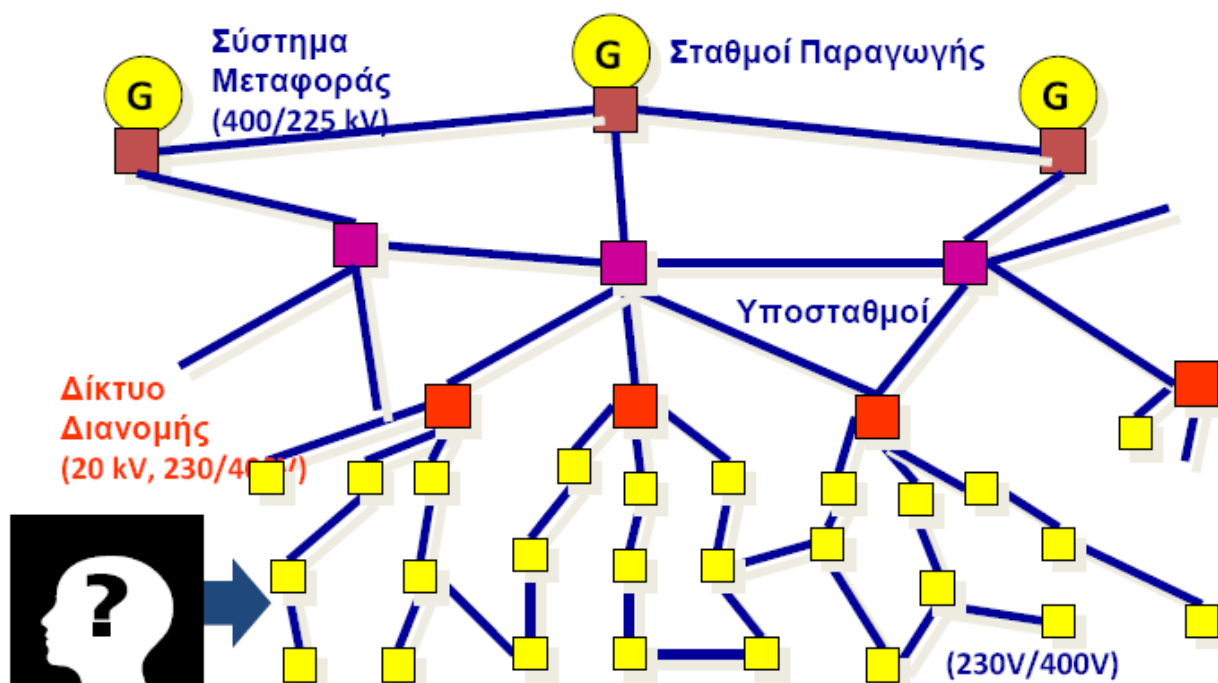
- **Παραγωγή (Production) Ηλεκτρικής Ενέργειας:** Τα εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας παράγουν ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιώντας ορυκτά καύσιμα (άνθρακα, φυσικό αέριο, βιομάζα) ή τον αέρα, το νερό, τα πυρηνικά καύσιμα και τον ήλιο,
- **Μεταφορά (Transmission) Ηλεκτρικής Ενέργειας:** Οι γραμμές μεταφοράς υψηλής τάσης μεταφέρουν την ηλεκτρική ενέργεια από τα εργοστάσια στα κέντρα κατανομής,
- **Διανομή (Distribution) Ηλεκτρικής Ενέργειας:** Η ενέργεια φτάνει στους υποσταθμούς, γίνεται υποβιβασμός τάσης με τη βοήθεια μετασχηματιστών και μεταφέρεται μέσω γραμμών διανομής. Με περαιτέρω υποβιβασμό τάσης, γίνεται κατάλληλη για χρήση από οικιακά δίκτυα.
- **Αποθήκευση (Storage) Ηλεκτρικής Ενέργειας:** Το πλεόνασμα της ηλεκτρικής ενέργειας αποθηκεύεται αποτελεσματικά για μελλοντική αξιοποίηση, π.χ. όταν υφίσταται έλλειμμα στις ΑΠΕ. Γίνεται διεξοδική ανάλυση σε επόμενο κεφάλαιο.



Σχήμα 3.1 Τοπικό ηλεκτρικό σύστημα - δίκτυο

Το ηλεκτρικό δίκτυο σήμερα χαρακτηρίζεται από [Χατζηβασιλειάδης, 2009]:

- Κεντρικό έλεγχο των σταθμών παραγωγής και του συστήματος μεταφοράς,
- Το δίκτυο διανομής και οι διεσπαρμένες μονάδες (ΑΠΕ) λειτουργούν παθητικά με περιορισμένες δυνατότητες διείσδυσης και κόστος,
- Η ροή του ρεύματος κινείται προς μία κατεύθυνση, από τους σταθμούς παραγωγής προς τους τελικούς καταναλωτές, διανύοντας μεγάλες αποστάσεις,
- Απώλειες μεταφοράς και διανομής, επενδύσεις σε δίκτυα μεταφοράς και διανομής, δαπάνες συντήρησης, αξιοπιστία τροφοδότησης,
- Προβλήματα στάθμης τάσεως και άεργου ισχύος, ποιότητα παροχής,
- Εκπομπές CO₂ για σταθμούς παραγωγής από ορυκτά καύσιμα

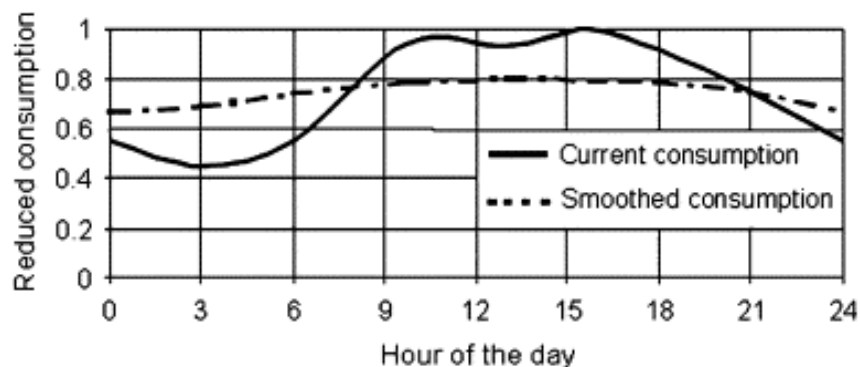


Σχήμα 3.2 Τυπικό ηλεκτρικό δίκτυο

Δεδομένου ότι η ηλεκτρική ενέργεια δεν μπορεί να αποθηκευτεί αποτελεσματικά σε μεγάλη κλίμακα, τα ηλεκτρικά δίκτυα πρέπει κατά βάση να εξισορροπούν την παραγωγή και κατανάλωσή της (φορτίο) κάθε στιγμή, δηλαδή, η προμήθεια ηλεκτρισμού πρέπει να είναι περίπου ίση με τη ζήτηση. Κι εδώ εντοπίζονται τα δυο σημαντικά θέματα όσον αφορά τη μετάδοση και διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας.

Η ενεργειακή ζήτηση στον εμπορικό και βιομηχανικό τομέα αλλά και στην καθημερινότητά μας μεταβάλλεται σε ημερήσια, εβδομαδιαία και εποχιακή βάση. Κατά τη διάρκεια της ημέρας, χαρακτηρίζεται από ανισότητα και η διακύμανση, πράγμα που σημαίνει ότι η ελάχιστη κατανάλωση είναι σχεδόν το ήμισυ της μέγιστης αιχμής. Αυτό οδηγεί στην υπερδιαστασιολόγηση του εξοπλισμού της παραγωγής και της μετάδοσης ηλεκτρικής ενέργειας,

οι οποίες έχουν σχεδιαστεί σε συνάρτηση με τις αιχμές της ζήτησης και όχι με τη μέση ημερήσια κατανάλωση.



Σχήμα 3.3 Ημερήσια διακύμανση κατανάλωσης

Ωστόσο, η εξομάλυνση του φορτίου συμβάλλει στη μείωση των διακυμάνσεων ζήτησης στο ελάχιστο, που καθιστά άμεσα την συμπεριφορά της πιο προβλέψιμη. Κατά συνέπεια, αυτό θα επέτρεπε να χρησιμοποιηθούν οι υπάρχουσες εγκαταστάσεις μεταφοράς και διανομής για πολλά χρόνια στο μέλλον.

Επιπλέον, η εξισορρόπηση της κατανάλωσης σε επίπεδο τελικής διανομής θα συμβάλει τόσο στη μείωση της εγκατεστημένης ισχύος, όσο και στην μέγιστη εκμετάλλευση του υφιστάμενου δικτύου. Σε αυτό ακριβώς το σημείο έγκειται και η σημασία της αποθήκευσης περίσσιας ενέργειας, πράγμα το οποίο θα αναφερθεί σε επόμενο κεφάλαιο.

Η εστίαση στη διαχείριση του φορτίου αιχμής, μέσω οργανωμένης ή προγραμματισμένης κατανάλωσης από μεριάς πολιτών επιφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα. Ο έλεγχος φορτίου αιχμής είναι ένας τρόπος με τον οποίο οι καταναλωτές τροποποιούν το επίπεδο και το τρόπο κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, ώστε αυτή να λαμβάνει χώρα κυρίως τις ώρες εκτός αιχμής. Υπάρχουν πολλές απλές ενέργειες που οι επιχειρήσεις και οι κάτοικοι μπορούν να κάνουν για να πετύχουν αυτή τη μετάθεση. Για παράδειγμα, οι πολίτες μπορούν να αναβάλλουν τις ενεργοβόρες δραστηριότητες-όπως πλυντήρια ρούχων και πιάτων για τις ώρες εκτός αιχμής (πρωινά, νύχτες και Σαββατοκύριακα). Ο παραπάνω έλεγχος συμβάλει στη μείωση των φορτίων αιχμής και αλλάζει το αντίστοιχο διάγραμμα (βλ. σχ. 3.3) με εξομάλυνση των καμπύλων του φορτίου κατανάλωσης.

Η μείωση του φορτίου αιχμής είναι οικονομικά συμφέρουσα εναλλακτική λύση που λειτουργεί συμπληρωματικά με τα επιτεύγματα στον τομέα της παραγωγής ενέργειας και έχει οφέλη και για τους καταναλωτές και για το περιβάλλον. Όπως θα δούμε παρακάτω η ενεργειακή κάλυψη των ωρών αιχμής γίνεται από μονάδες που είναι οικονομικά δαπανηρές και μη φιλικές προς το περιβάλλον. Οπότε η μείωση του φορτίου αιχμής ελαχιστοποιεί τόσο το κόστος παραγωγής ενέργειας, όσο και τις ηλεκτρικές δαπάνες του καταναλωτή, αλλά και την ανάγκη για νέα ενεργειακή χωρητικότητα αιχμής, ως εκ τούτου, το ύψος της ρύπανσης που παράγεται από την ηλεκτροπαραγωγή. Όπως χαρακτηριστικά αναφέρεται για την εξοικονόμηση ενέργειας,

είναι πολύ φθηνότερο να παραχθεί ένα "negawatt" (αρνητική ενέργεια) από ό, τι ένα megawatt ηλεκτρικής ενέργειας [Bartram, Rodgers, & Muise, 2010].

Το άλλο σημείο το οποίο απασχολεί την παρούσα εργασία είναι το γεγονός ότι τα υπάρχοντα ηλεκτρικά δίκτυα στερούνται ευελιξίας. Το σημερινό σύστημα δεν είναι ευέλικτο για μεγάλη διείσδυση αιολικής παραγωγής, λόγω κυρίως των υψηλών τεχνικών ελαχίστων (παλιές λιγνιτικές: άνω του 70%, νέοι σταθμοί (1 Α/Σ+1 ΑΤΜ): 60%) και λόγω αδυναμίας συχνών σβέσεων – εκκινήσεων. Αυτό το γεγονός οδηγεί σε σημαντική απόρριψη αιολικής παραγωγής, η οποία για 10 GW αιολικών δύναται να υπερβαίνει το 20%. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να καθίστανται μη βιώσιμοι αιολικοί σταθμοί και να απορρίπτεται καθαρή ενέργεια [Μπουλαξής, 2009].

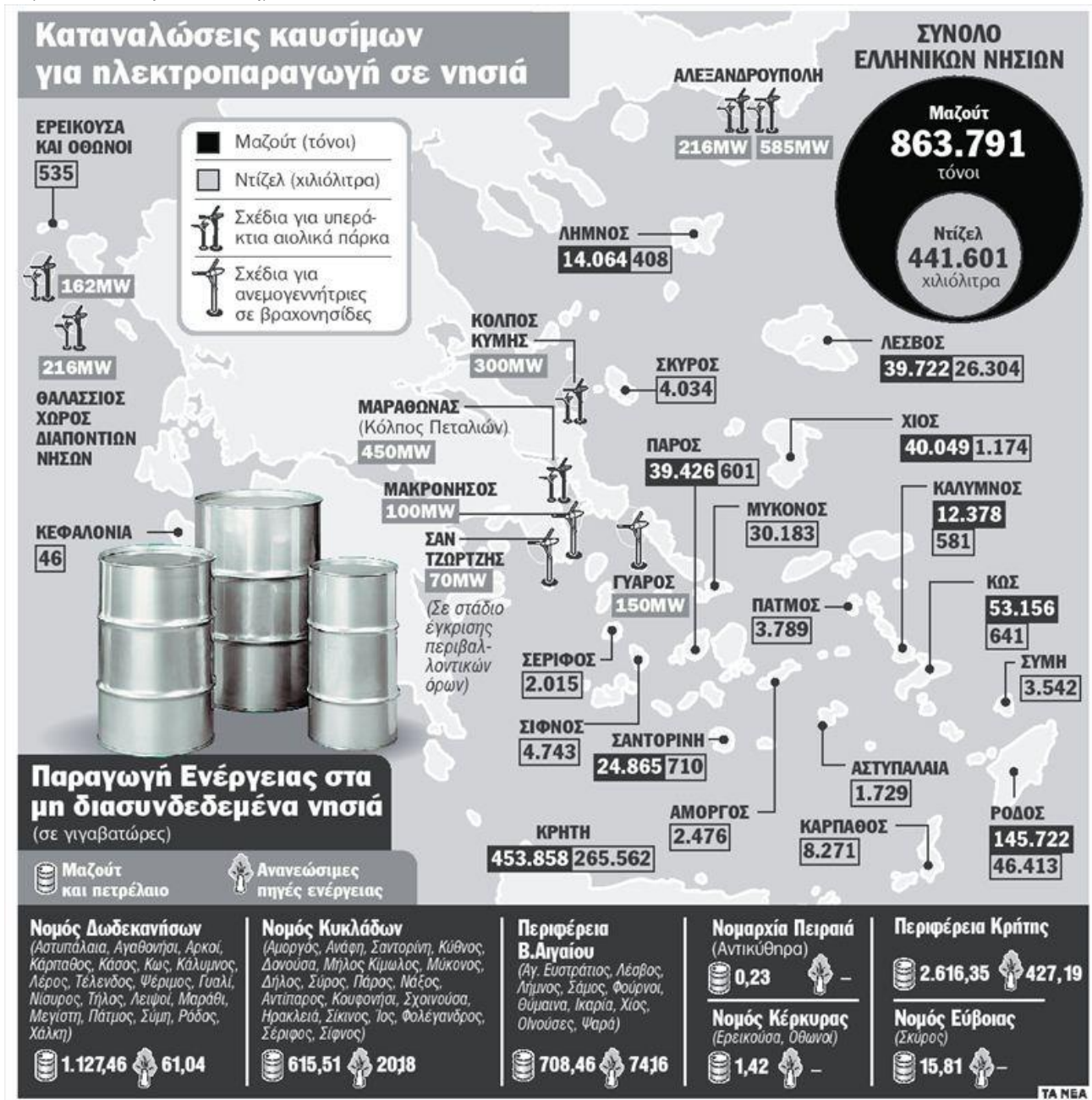
Προς αποφυγήν των παραπάνω προβλημάτων, σε κάθε περίπτωση απαιτούνται:

- ευέλικτες μονάδες με δυνατότητα παροχής εφεδρειών
- συστήματα αποθήκευσης ενέργειας

Στην Ελλάδα κρίνεται αναγκαία η επέκταση των υπάρχοντων δικτύων και η διασύνδεση των νησιών για την καλύτερη αξιοποίηση του αιολικού δυναμικού τους. Οι ήδη διαπιστωμένες αναγκαίες για «βαθείς» ενισχύσεις του συστήματος έχουν οδηγήσει σε:

- κατασκευή δικτύου 150 kV στη Ν. Εύβοια και στη Ν. Λακωνία,
- βρόχο 400 kV στην Πελοπόννησο,
- στην ενίσχυση ΚΥΤ Αλιβερίου (400 kV),
- ενίσχυση δικτύου 150 kV σε περιοχές της Μακεδονίας, (Σιδηρόκαστρο κλπ),
- πιθανή ενίσχυση δικτύου 150 kV Επτανήσων,
- πιθανή ενίσχυση δικτύου 400 kV Αν. Μακεδονίας και Θράκης

Περαιτέρω, η διασύνδεση νησιών στο Ηπειρωτικό Δίκτυο έχει σαφή πλεονεκτήματα και δείχνει μονόδρομος για την ηλεκτροδότησή τους (διασφάλιση απρόσκοπτου εφοδιασμού, αποφυγή ΥΚΩ, απεξάρτηση από πετρέλαιο – παύση σταθμών κλπ), αλλά και για την εκμετάλλευση του τεράστιου δυναμικού ΑΠΕ (αιολική και ηλιακή) που διαθέτουν. Στο παρακάτω σχήμα 3.4 φαίνεται η κατανάλωση καυσίμων στα νησιά [Πηγή: Τα Νέα, 31/10/2009].



Σχήμα 3.4 Κατανάλωση καυσίμων στα νησιά [Πηγή: Τα Νέα, 31/10/2009]

3.2 Μονάδες παραγωγής ενέργειας φορτίου βάσης και αιχμής

Βασικό φορτίο (ή ζήτηση ενέργειας βασικού φορτίου) είναι το ελάχιστο ποσό της ενέργειας που μια εταιρεία κοινής ωφέλειας ή διανομής πρέπει να διαθέσει στους πελάτες της, ή το ποσό της ενέργειας που απαιτείται να πληρούν τις ελάχιστες απαιτήσεις που βασίζονται στις εύλογες προσδοκίες των απαιτήσεων του πελάτη. Οι τιμή του βασικού φορτίου συνήθως διαφέρει από ώρα σε ώρα, στις περισσότερες εμπορικές και βιομηχανικές περιοχές.

Μονάδα παραγωγής ενέργειας φορτίου βάσης είναι μία μονάδα που διατίθενται για την παραγωγή της προμήθειας βασικού φορτίου. Αναλυτικότερα, μονάδες βασικού φόρτου είναι οι μονάδες παραγωγής που χρησιμοποιούνται για να καλυφθεί μέρος ή το σύνολο της συνεχούς ζήτησης ενέργειας μιας δεδομένης περιοχής, και παράγουν ενέργεια με σταθερό ρυθμό, συνήθως με το χαμηλότερο σχετικό κόστος από άλλες μονάδες (αιχμής) που διαθέτει το δίκτυο. Παραδείγματα μονάδων βασικού φορτίου χρησιμοποιούν συμβατικές μορφές ενέργειας, μη ανανεώσιμα καύσιμα, συμπεριλαμβάνοντας πυρηνικά και εργοστάσια που καίνε άνθρακα. Μεταξύ των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, τα μεγάλα υδροηλεκτρικά, η γεωθερμία, το βιοαέριο και η βιομάζα σε μικρότερο βαθμό, μπορούν να παρέχουν ισχύ βασικού φορτίου. Εγκαταστάσεις βασικού φόρτου συνήθως λειτουργούν συνεχόμενα όλο το έτος εκτός από την περίπτωση των επισκευών ή προγραμματισμένη συντήρηση.

Σε κάθε μονάδα παραγωγής ενέργειας βασικού φορτίου στο διασυνδεδεμένο δίκτυο της κατανέμεται ένα συγκεκριμένο ποσό της ζήτησης ενέργειας βασικού φορτίου για να χειριστεί. Η ισχύς του βασικού φορτίου καθορίζεται από την καμπύλη διάρκειας φορτίου του συστήματος. Για ένα τυπικό σύστημα ισχύος, ο κανόνας είναι ότι η ισχύς του βασικού φορτίου είναι συνήθως το 35-40% του μέγιστου φορτίου (αιχμή) κατά τη διάρκεια του έτους. Οι κορυφές ή αιχμές της ζήτησης ισχύος των πελατών γίνεται από τις μικρότερες και με αμεσότερη απόκριση μονάδες, οι οποίες ονομάζονται **μονάδες παραγωγής ενέργειας φορτίου αιχμής**, και συνήθως αποτελούνται από αεριοστροβιλικούς σταθμούς. Τα υδροηλεκτρικά έχουν επίσης το επιθυμητό χαρακτηριστικό της γρήγορης απόκρισης. Αξίζει να αναφερθεί ότι, ενώ ιστορικά μεγάλα ενεργειακά δίκτυα είχαν και έχουν αποκλειστικούς σταθμούς βάσης, δεν υπάρχει καμία ειδική τεχνική απαίτηση να το επιβάλλει. Το φορτίο βάσης θα μπορούσε εξίσου καλά να ικανοποιηθεί με την κατάλληλη ποσότητα από διαλείπουσες πηγές ισχύος και μονάδες αιχμής.

Οι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας βασικού φορτίου καθορίζονται με βάση την παραγωγή χαμηλού κόστους, την αποτελεσματικότητα και την ασφάλεια στα επίπεδα της ονομαστικής ισχύος εξόδου. Μονάδες ηλεκτροπαραγωγής βασικού φορτίου δεν αλλάζουν την παραγωγή για να ταιριάζει με τις απαιτήσεις κατανάλωσης ενέργειας, δεδομένου ότι είναι πιο οικονομικό να λειτουργεί σε σταθερά επίπεδα παραγωγής. Ελαχιστοποιείται έτσι η χρήση των πιο δαπανηρών μονάδων συνδυασμένου κύκλου ή αεριοστρόβιλων, οι οποίες μπορούν πλέον να εναλλάσσονται πάνω και κάτω για να «ταιριάζουν» στις πιο γρήγορες διακυμάνσεις της κατανάλωσης. Σταθμοί βασικού φορτίου, όπως οι λιθανθρακικοί, έχουν συχνά πολύ υψηλά πάγια έξοδα, υψηλό συντελεστή φορτίου και πολύ χαμηλό οριακό κόστος (κόστος καυσίμου λιγνίτη περίπου 38 – 40 €/MWh). Από την άλλη πλευρά, σταθμοί φορτίου αιχμής, όπως σταθμοί φυσικού αερίου, έχουν χαμηλό σταθερό κόστος, χαμηλό συντελεστή φορτίου και υψηλό οριακό κόστος (κόστος καυσίμου φυσ. αερίου περίπου 68 – 70 €/MWh)[Κάπρος, 2011]. Συνήθως οι μονάδες βάσης είναι προφανώς μεγαλύτερες και παρέχουν την πλειοψηφία της ενέργειας που χρησιμοποιείται από ένα δίκτυο. Έτσι, είναι πιο αποτελεσματικές όταν χρησιμοποιούνται συνεχώς για να καλύψουν την απαιτούμενη ισχύ βασικού φορτίου από το δίκτυο.

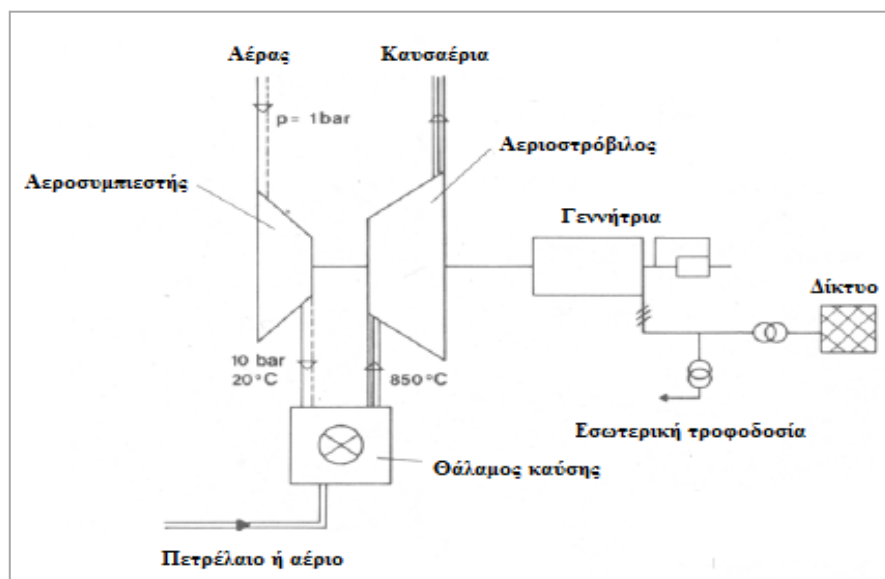
Τα πυρηνικά και λιγνιτικά εργοστάσια μπορεί να χρειαστούν πολλές ώρες, έως και ημέρες, για να έρθουν σε ένα αποδοτικό και σταθερό σημείο λειτουργίας. Από την άλλη πλευρά,

έχουν χαμηλό κόστος των καυσίμων. Επειδή χρειάζονται ένα μεγάλο χρονικό διάστημα για να θερμανθούν στην απαιτούμενη θερμοκρασία λειτουργίας, οι εγκαταστάσεις αυτές χειρίζονται συνήθως μεγάλες ποσότητες της ζήτησης ενέργειας βασικού φορτίου. Μονάδες που χρησιμοποιούν διαφορετικές τεχνολογίες, μπορούν να έχουν διαφορετικές ικανότητες για να αυξήσουν ή να μειώσουν την ισχύ εξόδου κατά βούληση. Οι πυρηνικοί σταθμοί λειτουργούν σε γενικές γραμμές κοντά στο μέγιστο φορτίο συνεχώς (εκτός από τη συντήρηση, τον ανεφοδιασμό και την περιοδική ανακαίνιση), ενώ οι λιθάνθρακικές μονάδες μπορούν να εναλλάσσονται έως ενός σημείου κατά τη διάρκεια της ημέρας για να καλύψουν τη ζήτηση.

Σε αυτό το σημείο θα γίνει μια σύντομη αναφορά στην λειτουργία των αεριοστροβιλικών σταθμών και σε ορισμένα βασικά πλεονεκτήματά τους. Οι αεριοστρόβιλοι είναι περιστροφικές μηχανές όπως οι ατμοστρόβιλοι και χρησιμοποιούν ως καύσιμο ελαφρύ πετρέλαιο με απόσταξη ή φυσικό αέριο. Οι κατηγορίες των αεριοστροβίλων (ανοικτού, κλειστού, μικτού κυκλώματος) προσδιορίζουν εν γένει και τη μορφή του σταθμού. Η λειτουργία του αεριοστροβίλου βασίζεται στα αέρια που παράγονται από την καύση του καυσίμου που χρησιμοποιείται. Τα βασικά πλεονεκτήματα των αεριοστροβιλικών σταθμών σε σχέση με άλλες μορφές μονάδων παραγωγής ενέργειας εστιάζει στα ακόλουθα [Καμπουρλάζος, 2004]:

- Απαιτούν λιγότερο ειδικευμένο προσωπικό και απλούστερη συντήρηση.
- Δεν χρειάζονται νερό τροφοδοσίας.
- Έχουν εύκολη εκκίνηση με αποτέλεσμα να επιτυγχάνουν εύκολα πλήρη και μπορούν να εξυπηρετήσουν αιχμές φορτίου. Γι' αυτό το λόγο οι αεριοστροβιλικές μονάδες δεν χρησιμοποιούνται ως μονάδες βάσης αλλά τροφοδοτούν τις αιχμές ζήτησης ή χρησιμοποιούνται προκειμένου να ανταποκριθεί το σύστημα σε μεγάλες διακυμάνσεις του φορτίου.
- Λειτουργούν σε χαμηλές πιέσεις.
- Αξιοποιούνται στην υλοποίηση συνδυασμένου κύκλου, ο οποίος παρουσιάζει την μεγαλύτερη απόδοση σε σχέση με τις υπόλοιπες θερμικές μονάδες.
- Απαιτούν μικρότερο χώρο, έχουν μικρότερο κόστος κατασκευής, μικρή εσωτερική κατανάλωση (μικρότερη του 1%) και δεν απαιτούν μεγάλα συστήματα ψύξης σε αντίθεση άλλα συστήματα παραγωγής ενέργειας.

Στο σχήμα 3.5 που ακολουθεί, παρουσιάζεται μια βασική δομή ενός αεριοστροβιλικού σταθμού.



Σχήμα 3.5 Μονάδα αεριοστροβίλου

3.3 Τα μελλοντικά ηλεκτρικά δίκτυα

Τα χαρακτηριστικά των Μελλοντικών Δικτύων είναι:

- Παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στους καταναλωτές με υψηλή αξιοπιστία,
- Πλήρης αξιοποίηση και χρήση των μεγάλων κεντρικών σταθμών και της διεσπαρμένης παραγωγής με βέλτιστη μείξη, αμφίδρομη ροή στο δίκτυο,
- Ευέλικτα, καλύπτοντας τις ανάγκες των καταναλωτών,
- Προσβάσιμα, επιτρέποντας τη σύνδεση στους χρήστες του δικτύου με λογικό κόστος και ιδιαίτερα για τις μονάδες ΑΠΕ και συμπαραγωγής,
- Αξιοπίστα, εξασφαλίζοντας και βελτιώνοντας την ασφάλεια και ποιότητα παροχής ηλεκτρικής ενέργειας,
- Οικονομικά, παρέχοντας την καλύτερη τιμή μέσω καινοτομιών,
- αποδοτική διαχείριση και ανταγωνισμό,
- Φιλικά στο περιβάλλον, περιορίζοντας τις εκπομπές CO₂ του ηλεκτ. τομέα
- Διέπονται από ρυθμιστικό πλαίσιο και σύγχρονους κώδικες δικτύων
- Μεγάλη διείσδυση διεσπαρμένης παραγωγής και αποθήκευσης, χρήση αποκεντρωμένης νοοτροπίας

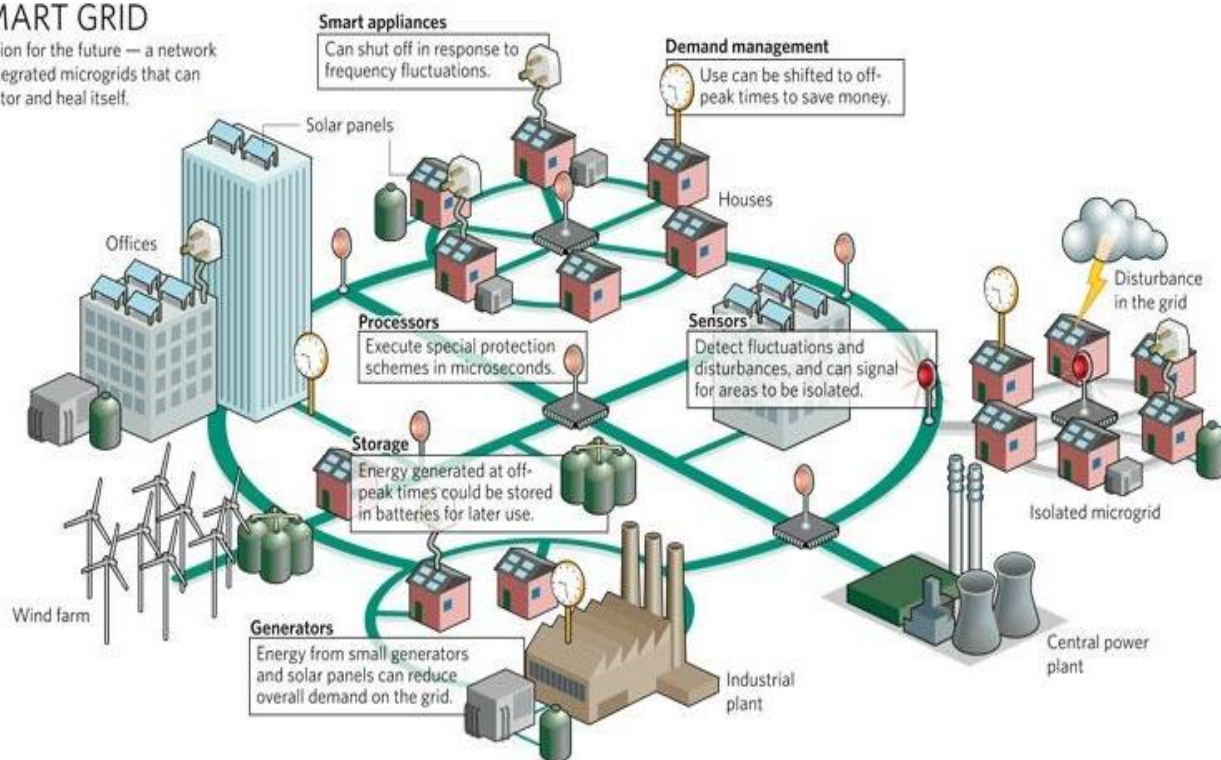
Αποκεντρωμένη ή διεσπαρμένη παραγωγή ενέργειας είναι το αντίθετο της σημερινής συγκεντρωμένης παραγωγής ενέργειας. Η ισχύς και η ενέργεια για τις ανάγκες στον οικιστικό, εμπορικό ή βιομηχανικό τομέα παράγεται επιτόπου, κοντά στο χώρο κατανάλωσης, αποφεύγοντας έτσι υπερβολές και απώλειες κατά την μεταφορά της ενέργειας. Η ηλεκτρική βιομηχανία στην Ελλάδα αναδύθηκε στις αρχές του 20 αιώνα και γύρω στο 1950 με την οργάνωση της Δ.Ε.Η. πρωτοσηματίστηκε ένα ενιαίο εθνικό δίκτυο διανομής ενέργειας. Τότε, οι τιμές ορυκτών καυσίμων ήταν φτηνές, και το κόστος της τροφοδότησης της ηλεκτρικής ενέργειας μέσω των γραμμών μετάδοσης ισχύος, ήταν επίσης μικρό. Κεντρικοί σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής βρίσκονταν εκατοντάδες χιλιόμετρα μακριά από τα κέντρα της ζήτησης, ή πόλεις, όπου η ηλεκτρική ενέργεια ήταν απαραίτητη, ενώ η ροή της ενέργειας ήταν μονομερής, από το δίκτυο στον παθητικό καταναλωτή. Η πολύ μικρή απόδοση που είχαν και οι φτηνές τιμές των ορυκτών καυσίμων αποτέλεσαν μια σημαντική οικονομική και περιβαλλοντική επιβάρυνση στους καταναλωτές και στον πλανήτη.

Το ηλεκτρικό δίκτυο του 21ου αιώνα θα είναι αποκεντρωμένο, «έξυπνο», αποδοτικότερο και θα παρέχει «ισχύ χωρίς ρύπανση» στους καταναλωτές. Θα αποτελείται από σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής δίπλα στο τόπο της κατανάλωσης που θα τροφοδοτούνται με βιομεθάνιο, βιοντίζελ, γεωθερμία, αιολική, υδροηλεκτρική και ηλιακή ενέργεια.

Το επονομαζόμενο «**smart grid**» (Σχ. 3.6) είναι το ηλεκτρικό δίκτυο που ενσωματώνει έξυπνα τις λειτουργίες όλων των χρηστών που συνδέονται σε αυτό (καταναλωτές/παραγωγοί), ώστε να παρέχεται αποδοτικά, αειφόρα, οικονομικά και με ασφάλεια η ηλεκτρική ενέργεια με έμφαση στην ενσωμάτωση μικρού και μεσαίου μεγέθους μονάδων παραγωγής νέων τεχνολογιών και ΑΠΕ αντί της απλής σύνδεσης στο δίκτυο. Ένα τέτοιο δίκτυο ενισχύει την ικανότητα μεταφοράς και διανομής, προσφέροντας επικουρικές υπηρεσίες στο δίκτυο διανομής, επιπλέον βελτιώνει την ευστάθεια του συστήματος και μειώνει το συνολικό κόστος και τις εκπομπές CO₂ και ενισχύει την ανταγωνιστικότητα.

SMART GRID

A vision for the future — a network of integrated microgrids that can monitor and heal itself.



Σχήμα 3.6 Έξυπνα δίκτυα

Η σταδιακή μετάβαση από τα σημερινά προς τα μελλοντικά έξυπνα δίκτυα μπορεί να επιτευχθεί με διάφορες ιδέες οι οποίες βρίσκονται σε εξέλιξη, όπως:

- τα ενεργητικά δίκτυα (active networks),
- τα μικροδίκτυα (Microgrids), και
- οι εικονικοί σταθμοί παραγωγής (virtual utility/Internet model)

Σε παγκόσμιο επίπεδο, οι ΗΠΑ έχουν προχωρήσει σε διάθεση \$3,9δισ σε έξυπνα δίκτυα με σκοπό την ενσωμάτωση των ΑΠΕ στο δίκτυο. Σε ένα τέτοιο εγχείρημα, προφανώς τα Ελληνικά νησιά έχουν την πρώτη προτεραιότητα. Έτσι, εγκρίθηκε από τη γενική διεύθυνση ενέργειας της Ευρωπαϊκής Επιτροπής το πρόγραμμα «Smart Grids» (Έξυπνα Δίκτυα) για πέντε ελληνικά νησιά, σύμφωνα με τα όσα ανακοίνωσε ο εκπρόσωπος της γενικής διεύθυνσης ενέργειας, Pedro Ballesteros και η εκπρόσωπος της Διεύθυνσης Διαχείρισης Νησιών της ΔΕΗ, Θεοδώρα Πατσάκα, κατά τη διάρκεια του συνεδρίου που έγινε στη Σύρο το 2011 με θέμα «Το Σύμφωνο των Νησιών και ο ρόλος των νησιωτικών αρχών στον αειφόρο ενεργειακό σχεδιασμό».

Πρόκειται για τα νησιά Λήμνος, Λέσβος, Κύθνος, Σαντορίνη και Μήλος, τα οποία θα αποκτήσουν το «έξυπνο» ηλεκτρικό δίκτυο, ώστε να γίνεται καλύτερη διαχείριση της ηλεκτρικής ενέργειας. Το έργο, ύψους 50 εκατ. ευρώ, θα υλοποιήσει η ΔΕΗ ενώ η αρχική του χρηματοδότηση για την κάλυψη της τεχνικής βοήθειας, ύψους 800.000 ευρώ, θα γίνει μέσω του προγράμματος ELENA, που διαχειρίζεται η Ευρωπαϊκή Τράπεζα Επενδύσεων [Δίκτυο Αειφόρων Νήσων Αιγαίου - ΔΑΦΝΗ, 2011].

Η διαχείριση της ηλεκτρικής ενέργειας θα γίνεται ανάλογα με τις ιδιαιτερότητες που έχει το κάθε νησί. Η ΔΕΗ θα προχωρήσει στην εγκατάσταση κέντρων ελέγχου στα νησιά αυτά για

Κεφ.3^ο – Ηλεκτρικά Συστήματα

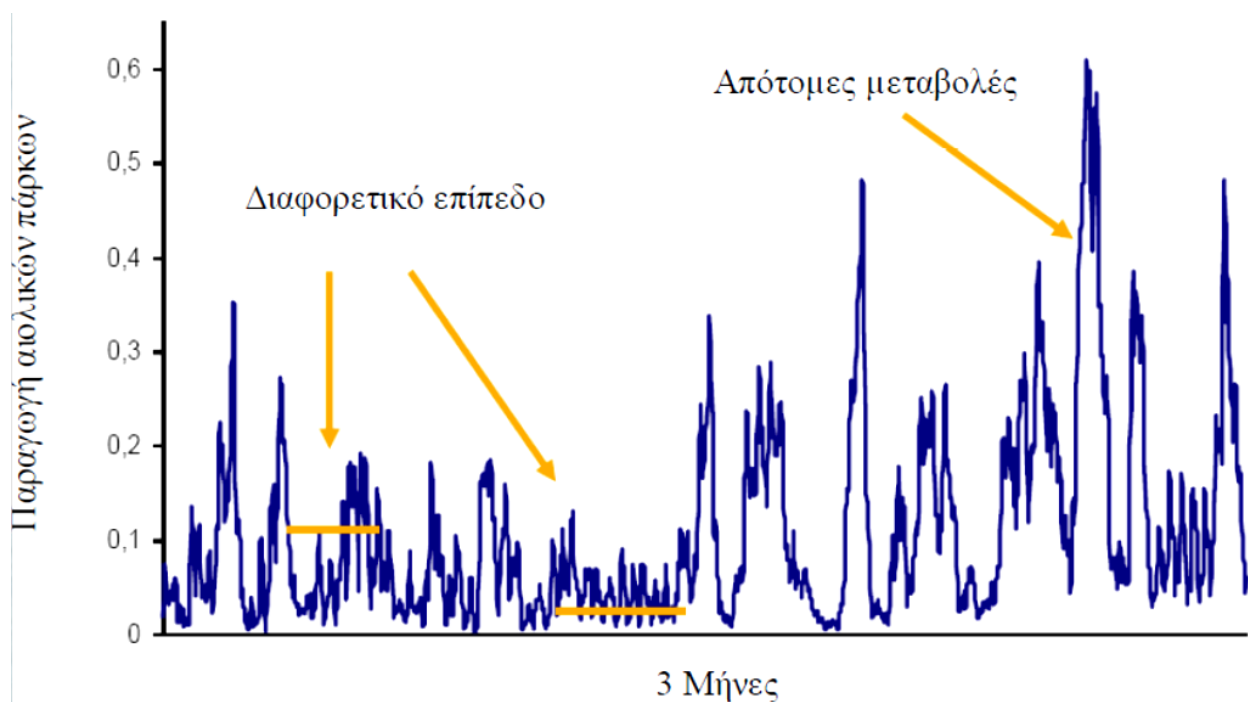
την καλύτερη διαχείριση της ηλεκτρικής ενέργειας με αποθήκευση αυτής όταν η ζήτηση είναι χαμηλή και αξιοποίησή της όταν αυτή αυξάνεται, αλλά και για την αύξηση της διείσδυσης των ΑΠΕ. Τα συγκεκριμένα νησιωτικά συστήματα προσφέρονται για την εφαρμογή των «έξυπνων δικτύων», κυρίως γιατί η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας δεν είναι σταθερή και παρουσιάζει έντονες διακυμάνσεις τόσο σε ημερήσιο, όσο και σε εποχιακό επίπεδο, με αποτέλεσμα να παρουσιάζονται προβλήματα στην ηλεκτροδότηση των νησιών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο – ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

4.1 Εισαγωγή

Σε ένα ηλεκτρικό δίκτυο, είτε αυτό είναι ένα ισχυρό διασυνδεδεμένο δίκτυο (όπως αυτό της ηπειρωτικής χώρας) είτε είναι αυτόνομο (μεγάλης ή μικρότερης ισχύος, όπως τα νησιά ανάλογα με το μέγεθός τους) σε κάθε χρονική στιγμή πρέπει να ικανοποιείται το ισοζύγιο της ισχύος, δηλ. η ισχύς που απορροφάται από τους καταναλωτές, το φορτίο, πρέπει να είναι ίση, με μικρές αποκλίσεις, προς αυτή που παράγουν οι σταθμοί παραγωγής (θερμικοί, υδροηλεκτρικοί κλπ).

Η χρονική διακύμανση του φορτίου είναι σχετικά προβλέψιμη ώστε να προσαρμόζεται η παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος (Σχ. 4.2). Για τεχνικούς λόγους και σε περιόδους χαμηλού φορτίου, οι μεγάλοι θερμικοί σταθμοί δεν μπορούν να μειώσουν την παραγωγή τους κάτω από ένα τεχνικό ελάχιστο όριο οπότε τις χρονικές αυτές περιόδους φαίνεται να περισσεύει ισχύς στο δίκτυο. Η αύξηση της συμμετοχής της ηλεκτρικής ενέργειας που προέρχεται από την αιολική ενέργεια προκαλεί νέα τεχνικά προβλήματα στην διαχείριση ενός ηλεκτρικού δικτύου, τα οποία οφείλονται στην έντονη χρονική διακύμανση που παρουσιάζει η παραγωγή των αιολικών πάρκων και στην αδυναμία πρόβλεψης της παραγωγής από τα αιολικά πάρκα (Σχ. 4.1).



Σχήμα 4.1 Διακύμανση ισχύος Αιολικών πάρκων

Άρα στην ανάγκη αποθήκευσης ενέργειας που υπήρχε παραδοσιακά λόγω των τεχνικών ελαχίστων των μεγάλων θερμικών σταθμών παραγωγής και την κάλυψη των αιχμών ενός δικτύου προστίθεται μία καινούργια, που προέρχεται την αύξηση της συμμετοχής των αιολικών πάρκων στο σύστημα παραγωγής [Παπαντώνης, 2009].



Σχήμα 4.2 Ημερήσια καμπύλη παραγωγής και κατανάλωσης

Η χρήση τεχνολογιών ενεργειακής αποθήκευσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί επίσης για τη μείωση της έντασης στα δίκτυα διανομής ενέργειας παρέχοντας ταυτόχρονα ευστάθεια των γραμμών μεταφοράς και σύγχρονη λειτουργία ώστε να αποφεύγονται «καθιζήσεις» των συστημάτων και η ρύθμιση της διανομής ενέργειας να μην επιφέρει μεταβολές στην ένταση της ενέργειας [European Commission, 2001].

Η ανάγκη αποθήκευσης ενέργειας που προέρχεται από την παραγωγή αιολικών πάρκων γίνεται απαραίτητη, ακόμη και σε ισχυρά διασυνδεδεμένα δίκτυα, όταν η συμμετοχή της αιολικής ενέργειας αρχίζει να πλησιάζει κάποια όρια πέρα από τα οποία η διείσδυση της αιολικής ενέργειας προκαλεί αστάθεια στο ηλεκτρικό δίκτυο. Ήδη κάποιες χώρες έχουν φθάσει στο όριο αυτό οπότε η περαιτέρω ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας μπορεί να γίνει μόνο μέσω αποθήκευσης.

Στην Γερμανία με συνολική εγκατεστημένη ισχύ περί τις 120.000 MW η ισχύς των αιολικών πάρκων είναι ήδη 22.000 MW. Στην Ελλάδα σήμερα με εγκατεστημένη ισχύ περί τα 14.000 MW, η ισχύς των αιολικών πάρκων είναι περί τα 1600 MW. Για το 2020 ο στόχος είναι να έχουν εγκατασταθεί 5.000-8.000 MW αιολικών πάρκων οπότε θα αρχίζουμε να έχουμε πρόβλημα διείσδυσης. Επίσης στις χρονικές περιόδους υψηλού φορτίου (υψηλού φορτίου) και ιδιαίτερα στις αιχμές του φορτίου είναι ιδιαίτερα επιθυμητή στον διαχειριστή ενός δικτύου η διαθεσιμότητα μεγάλης ισχύος σε σύντομο χρονικό διάστημα. Από τα προηγούμενα προκύπτει η ανάγκη αποθήκευσης ενέργειας τις ώρες που υπάρχει αυτή διαθέσιμη και η δυνατότητα πρόσδοσης ενέργειας στο ηλεκτρικό δίκτυο κατά τις περιόδους αιχμής.

4.2 Τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας

4.2.1 Γενικά

Οι τεχνολογίες ενεργειακής αποθήκευσης παρουσιάζουν ένα μεγάλο εύρος. Στην περίπτωση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Α.Π.Ε.), η ενεργειακή αποθήκευση μπορεί να ενσωματωθεί στα συστήματα παραγωγής, είτε στις αυτόνομες είτε στις διασυνδεδεμένες στο δίκτυο εγκαταστάσεις. Για τα αυτόνομα συστήματα η μονάδα αποθήκευσης είναι σημαντική για την αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας και τη χρησιμοποίηση της όταν υφίσταται έλλειμμα στις Α.Π.Ε. Στα διασυνδεδεμένα στο δίκτυο συστήματα, η μονάδα αποθήκευσης προσθέτει αξία στις διακοπτόμενες ανανεώσιμες πηγές διευκολύνοντας τον καλύτερο συσχετισμό της τροφοδοσίας με τη ζήτηση. Η ενεργειακή αποθήκευση, σε συνδυασμό με την ανανεώσιμη πηγή, μπορεί να αυξήσει την ποσότητα της ενέργειας που παράγεται από φωτοβολταϊκά και αιολικά συστήματα [Makansi et al, 2003].

Οι διάφορες τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας μπορούν να κατηγοριοποιηθούν με βάση δύο κριτήρια: τη λειτουργία και τη μορφή αποθήκευσης. Με βάση το πρώτο κριτήριο, οι τεχνολογίες διακρίνονται σε αυτές που αποσκοπούν πρωταρχικά στην ποιότητα και την αξιοπιστία της παρεχόμενης ισχύος και χαρακτηρίζονται από υψηλές τιμές ονομαστικής ισχύος αλλά από σχετικά μικρό ενεργειακό περιεχόμενο, και σε αυτές που σχεδιάζονται για εφαρμογές διαχείρισης ενέργειας. Όπως φαίνεται από τον Πιν. 4.1, οι τεχνολογίες PHS, CAES, TES, solar fuel, οι μπαταρίες μεγάλης κλίμακας, οι μπαταρίες ροής και οι κυψέλες καυσίμου κατατάσσονται στην κατηγορία διαχείρισης ενέργειας, ενώ οι πυκνωτές/υπερπυκνωτές, η τεχνολογία SMES, οι σφόνδυλοι και οι μπαταρίες μικρής κλίμακας εντάσσονται στην κατηγορία ποιότητας ισχύος και αξιοπιστίας (βλ. παρακάτω Σχ. 4.3).

Ποιότητα ισχύος και αξιοπιστία Power quality and reliability	Διαχείριση Ενέργειας Energy Management
Πυκνωτής (Capacitor) Υπερπυκνωτής (Supercapacitor) Υπεραγώγιμη μαγνητική αποθήκευση (SMES) Σφόνδυλος (Flywheel) Μπαταρία (Battery)	Αντλησιοταμίευση (PHS) Αποθήκευση με συμπίεση αέρα (CAES) Κυψέλη καυσίμου (Fuel Cell) Solar Fuel Θερμική αποθήκευση (TES) Μπαταρία μεγάλης κλίμακας (Large-scale battery)

Πίνακας 4.1 Κατηγοριοποίηση τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας με κριτήριο τη λειτουργία

Με βάση τη μορφή με την οποία αποθηκεύεται η ηλεκτρική ενέργεια οι τεχνολογίες αποθήκευσης διακρίνονται σε:

- 1. Ηλεκτρική αποθήκευση:** Ηλεκτροστατική αποθήκευση με τη χρήση πυκνωτών και υπερπυκνωτών, καθώς και μαγνητική αποθήκευση με τη χρήση τεχνολογίας SMES (Υπεραγώγιμη Μαγνητική Ενεργειακή Αποθήκευση Υ.Μ.Ε.Α.).
- 2. Μηχανική αποθήκευση:** Σε μορφή κινητικής ενέργειας (σφόνδυλοι) ή σε μορφή δυναμικής ενέργειας (αντλησιοταμίευση PHS και πεπιεσμένος αέρας CAES / Ενεργειακή Αποθήκευση Συμπιεσμένου Αέρα Ε.Α.Σ.Α.).

3. **Χημική αποθήκευση:** Με τη μορφή ηλεκτροχημικής ενέργειας (συμβατικές μπαταρίες, μπαταρίες ροής) ή με τη μορφή χημικής ενέργειας (κυψέλες καυσίμου, μπαταρίες μετάλλου αέρα) ή με τη μορφή θερμοχημικής ενέργειας (τεχνολογία solar fuel).

4. **Θερμική αποθήκευση:** Αποθήκευση ενέργειας σε συστήματα χαμηλής ή υψηλής θερμοκρασίας.

Η διαδικασία αποθήκευσης της ενέργειας και στην συνέχεια η επαναπόδοση της στην κατανάλωση, γίνεται με την ανάπτυξη απωλειών με αποτέλεσμα η ενέργεια που αποδίδεται να είναι μικρότερη από την ενέργεια που αποθηκεύεται. Ο τύπος των απωλειών εξαρτάται από την μέθοδο αποθήκευσης. Ως βαθμός απόδοσης του συστήματος αποθήκευσης ορίζεται ο λόγος της ενέργειας που αποδίδεται προς την ενέργεια που αποθηκεύεται. Ενδεικτικοί βαθμοί απόδοσης φαίνονται στον παρακάτω Πίνακα για τις πιο αξιοσημείωτες τεχνολογίες αποταμίευσης ενέργειας.

Τεχνολογία	Ολικός Βαθμός Απόδοσης (%)	Μέγεθος (MWh)
Αντλησιοταμίευση PHS	75	0 – 20.000
Πεπιεσμένος αέρας CAES	70	250 – 2.200
Σφόνδυλος	90+	0.1 – 20
Ηλ. συσσωρευτής	70 – 84	17 – 40

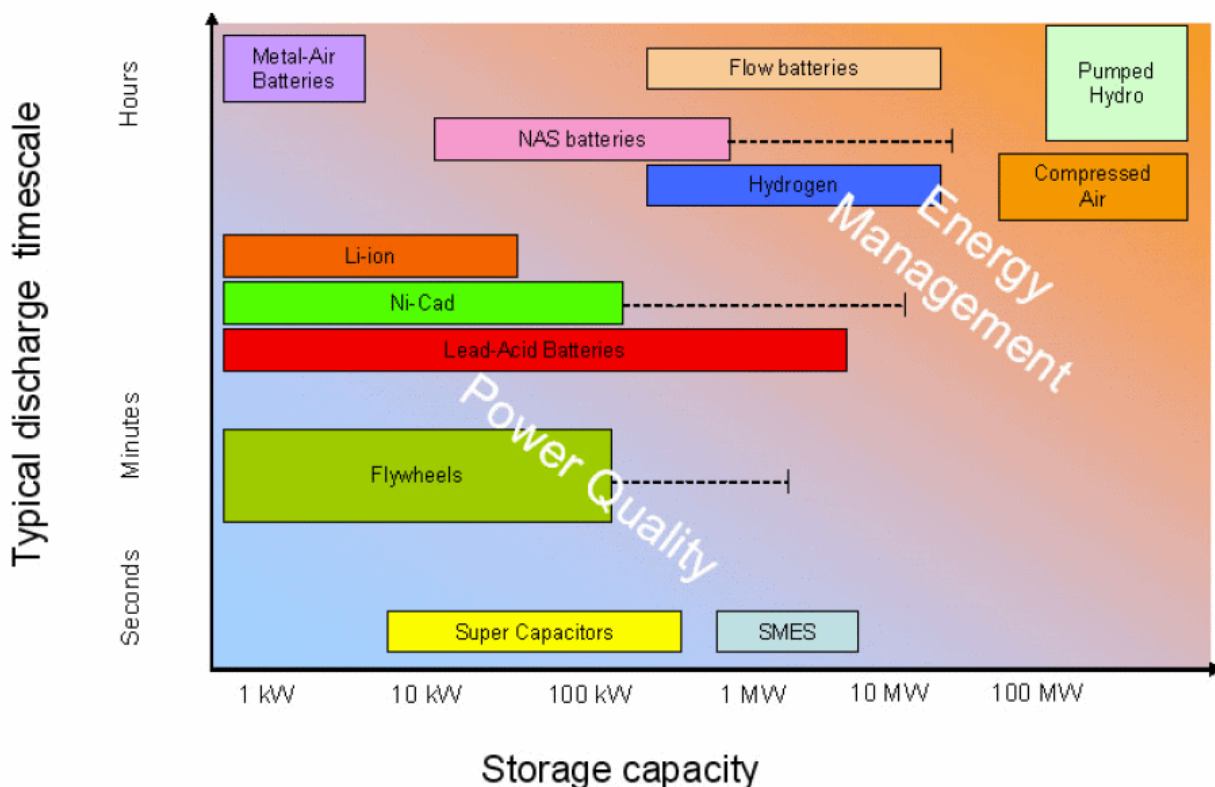
Πίνακας 4.2 Βαθμοί απόδοσης τεχνολογιών αποθήκευσης

Από όλες τις μεθόδους αποθήκευσης ενέργειας, μόνο η αποθήκευση της σε μορφή υδραυλικής ενέργειας PHS και υπό μορφή πεπιεσμένου αέρα CAES καλύπτουν την περιοχή μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας, όποτε είναι εφαρμόσιμες στην περίπτωση ηλεκτρικού δικτύου. Επίσης παρουσιάζουν το ακόλουθα πλεονεκτήματα:

- Είναι αναστρέψιμες μέθοδοι (αποθήκευση και τροφοδοσία του ηλεκτρικού δικτύου)
- Έχουν γρήγορη απόκριση
- Έχουν σχετικά υψηλό βαθμό απόδοσης σε ένα πλήρη κύκλο

Στην συνέχεια θα αναφερθούμε σε ορισμένες τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας πιο αναλυτικά, εμβαθύνοντας στην μέθοδο της αντλησιοταμίευσης που θα μας απασχολήσει και στην συνέχεια της εργασίας.

Figure 1: Typical storage capacity versus discharge times for energy storage technologies



Σχήμα 4.3 Χωρητικότητα και χρόνος απόδοσης τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας

4.2.2 Αποθήκευση ενέργειας σε συσσωρευτές

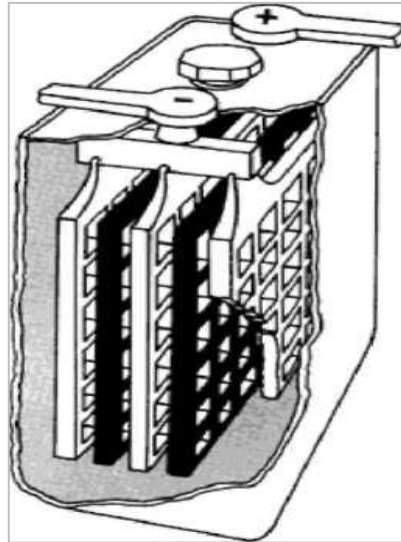
Τα τελευταία χρόνια, η εξέλιξη της τεχνολογίας αποθήκευσης της ενέργειας επικεντρώνεται αρκετά στις διατάξεις αποθήκευσης μπαταριών. Σε μια χημική μπαταρία, η φόρτιση προκαλεί αντιδράσεις σε ηλεκτροχημικές ενώσεις ώστε να αποθηκευτεί υπό χημική μορφή η ενέργεια από μια γεννήτρια. Αντίστροφες χημικές αντιδράσεις αναγκάζουν τον ηλεκτρισμό να εκρεύσει από την μπαταρία κατά τη ζήτηση. Σήμερα υπάρχουν σε χρήση ή τελούν υπό ανάπτυξη μια πληθώρα τεχνολογιών ενεργειακής αποθήκευσης μπαταρίας [Pavlon et al, 1991][Kusko, 2007].

Οι τρέχουσες δραστηριότητες θα οδηγήσουν σε σημαντικές βελτιώσεις στο κόστος και την απόδοση των συστημάτων αποθήκευσης μπαταρίας στο μέλλον. Προς το παρόν διαθέσιμες είναι οι μπαταρίες εμβάπτισης μολύβδου - οξέως και οι VRLA (ρυθμιζόμενες με βαλβίδα μολύβδου - οξέως), καθώς επίσης και αλκαλικές μπαταρίες (NiCd, NiMH). Οι μπαταρίες βρωμιδίου του ψευδάργυρου και λιθίου αποτελούν δύο εξελιγμένες μπαταρίες που βρίσκονται στο στάδιο της ανάπτυξης. Κάθε μια από αυτές τις τεχνολογίες, όπως θα παρουσιαστεί στη συνέχεια, έχει ιδιαίτερες δυνατότητες και αδυναμίες.

Αρχικά οι μπαταρίες μολύβδου – οξέως (Σχ. 4.4), τεχνολογία εμβάπτισης μολύβδου σε οξύ για τα συστήματα αποθήκευσης Α.Π.Ε., αποτελεί την εφαρμογή σε μεγάλη κλίμακα μιας τεχνολογίας παρόμοιας με αυτήν που εφαρμόζεται στις μπαταρίες των αυτοκινήτων. Οι μπαταρίες εμβάπτισης μολύβδου σε οξύ κατασκευάζονται σε μεγάλη έκταση και για ποικίλες χρήσεις παρουσιάζοντας κάποιους βασικούς περιορισμούς.

Ειδικότερα:

- Απαιτούν συχνή συντήρηση και αναπλήρωση του νερού που χάνεται κατά τη λειτουργία.
- Παρουσιάζουν υψηλό βάρος καθιστώντας δυσχερή τη μεταφορά τους.
- Το κόστος τους δεν εμφανίζει προοπτικές μείωσης μελλοντικά.



Σχήμα 4.4 Μπαταρία μολύβδου – οξέως

Πέρα των περιορισμών που προαναφέρθηκαν, οι μπαταρίες μολύβδου – οξέως διαθέτουν στοιχεία που μπορούν να τις χαρακτηρίσουν ιδιαίτερα ανταγωνιστικές. Τα βασικά πλεονεκτήματα των μπαταριών εμβάπτισης μολύβδου - οξέως εντοπίζονται στη σχετικά μεγάλη διάρκεια ζωής, την ανθεκτικότητα και την εμπορική διαθεσιμότητα της τεχνολογίας. Αυτό επιτρέπει την απόσβεση του κόστους των συστημάτων αποθήκευσης με μεγάλο χρονικό διάστημα. Η συνηθέστερη χρήση τους εντοπίζεται στα φωτοβολταϊκά συστήματα [Pavlov et al, 1991].

Οι μπαταρίες VRLA (ρυθμιζόμενες με βαλβίδα μολύβδου - οξέως) χρησιμοποιούν την ίδια ηλεκτροχημική τεχνολογία με τις μπαταρίες μολύβδου - οξέως, αλλά οι συγκεκριμένες σφραγίζονται από μια βαλβίδα ρύθμισης της πίεσης. Επιπλέον, ο όξινος ηλεκτρολύτης είναι ακινητοποιημένος εξαλείφοντας την ανάγκη προσθήκης νερού στις κυψέλες για τη διατήρηση κατάλληλης λειτουργίας του ηλεκτρολύτη, ή ανάμιξής του αποτρέποντας τη διαστρωμάτωση. Επίσης η ανακύκλωση του οξυγόνου και οι βαλβίδες των VRLA αποτρέπουν τον εξαερισμό των αερίων υδρογόνου και οξυγόνου καθώς και την είσοδο αέρα στις κυψέλες [Ribeiro et al, 2001].

Οι μπαταρίες VRLA, όπως και εκείνες που δεν διαθέτουν βαλβίδα ρύθμισης της πίεσης, εμφανίζουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματά τους είναι [Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2001]:

- Σημαντική μείωση της απαραίτητης συντήρησης για τη διατήρηση της μπαταρίας σε λειτουργία.
- Στενότερη συσσωμάτωση των κυψελών λόγω της κλειστής κατασκευής και του ακινητοποιημένου ηλεκτρολύτη, με αποτέλεσμα τη μείωση του ίχνους και του βάρους της μπαταρίας.

Ως μειονεκτήματά τους μπορούν να χαρακτηριστούν η μικρότερη κατασκευαστική ανθεκτικότητα έναντι των μπαταριών μολύβδου - οξέως, παρουσιάζουν υψηλότερο κόστος ενώ εμφανίζουν και μικρότερη διάρκεια ζωής. Επίσης, οι μπαταρίες VRLA θεωρούνται ως μη χρήζουσες συντήρησης και ασφαλείς, ενώ έχουν καταστεί πολύ δημοφιλείς για την εφεδρική τροφοδοσία ισχύος σε εφαρμογές τηλεπικοινωνιών, καθώς επίσης και για την αδιάκοπη παροχή ηλεκτρικού ρεύματος σε περιπτώσεις όπου δεν μπορούν να διατεθούν ειδικοί χώροι για την τοποθέτηση των μπαταριών.

Ένα άλλο είδος μπαταριών που χρησιμοποιούνται στην αποθήκευση ενέργειας είναι οι αλκαλικές μπαταρίες. Οι μπαταρίες νικελίου - καδμίου (NiCd), όπως αλλιώς ονομάζονται οι αλκαλικές μπαταρίες, παρέχουν λογικές δυναμικότητες ενέργειας και ισχύος. Παρουσιάζουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής από τις μπαταρίες μολύβδου – οξέως, μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες ενώ μπορούν να επαναφορτιστούν σε μικρό χρονικό διάστημα. Τα κύρια μειονεκτήματα της συγκεκριμένης μορφής μπαταριών είναι τα υψηλά κόστη των πρώτων υλών, η ανακυκλωσιμότητα, η τοξικότητα του καδμίου, και οι θερμοκρασιακοί περιορισμοί στην επαναφορτισσιμότητα [European Commission, 2001].

Πέραν των προαναφερθέντων τύπων μπαταριών, υπάρχουν και οι προηγμένες μπαταρίες που παρέχουν υψηλές δυνατότητες στην αποθήκευση ενέργειας. Μεταξύ των προηγμένων μπαταριών που μπορούν να υποστηρίξουν συστήματα που αξιοποιούν τις ανανεώσιμες πηγές, είναι το σύστημα ψευδάργυρου/βρωμιδίου. Τα πλεονεκτήματα της τεχνολογίας των συγκεκριμένων μπαταριών είναι το χαμηλό κόστος, η ευκολία μεταφοράς, το χαμηλό βάρος και η ευέλικτη λειτουργία.

Τα κύρια μειονεκτήματα των συγκεκριμένων προηγμένων μπαταριών επικεντρώνονται στις απαιτήσεις συντήρησης, συμπεριλαμβανομένης της συντήρησης των αντλιών που απαιτούνται για την κυκλοφορία του ηλεκτρολύτη, και την ανεπαίσθητα χαμηλότερη ηλεκτρική απόδοση [European Commission, 2001].

Ένας άλλος τύπος προηγμένων μπαταριών είναι εκείνες του ιόντος λιθίου και πολυμερούς λιθίου που λειτουργούν σε ή κοντά στις θερμοκρασίες περιβάλλοντος και μπορούν να καταστούν κατάλληλες για εφαρμογές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Στα πλεονεκτήματά τους περιλαμβάνεται η υψηλή ειδική ενέργεια τους και η διατήρηση της φόρτισης. Εντούτοις, παραμένει μια επίμοχθη πρόκληση η διεύρυνση στα μεγέθη, τα επίπεδα ισχύος και τον κύκλο ζωής που απαιτούνται για τις μεγάλες εφαρμογές [Naish et al, 2007].

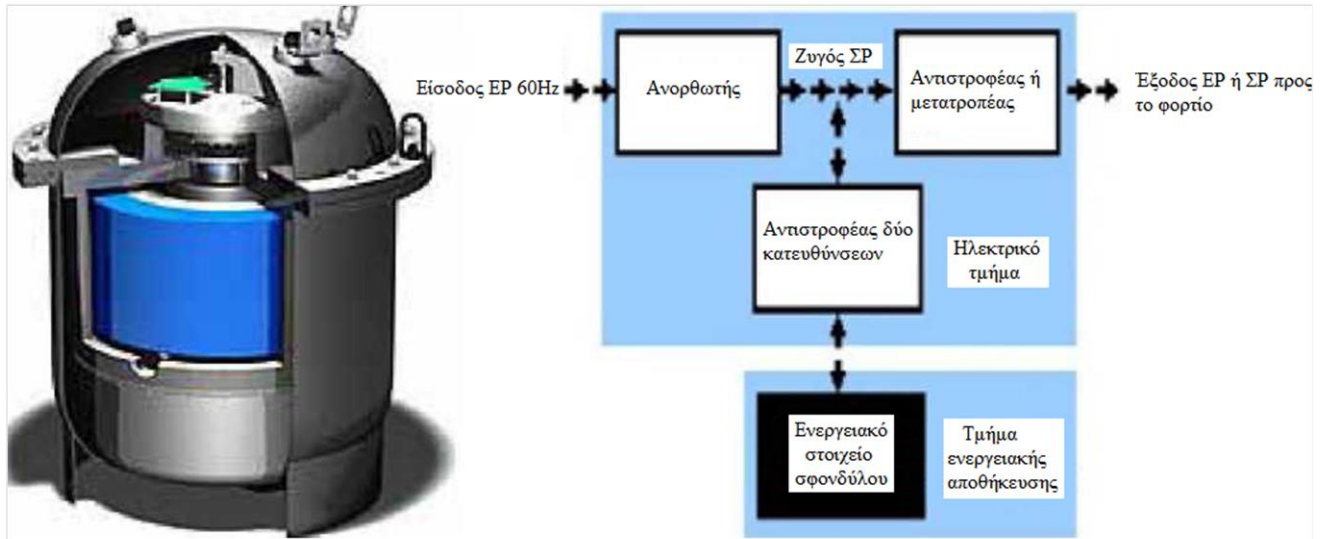
Από τους παραπάνω τύπους μπαταριών, ο συνηθέστερα χρησιμοποιούμενος τύπος στις εφαρμογές που αξιοποιούν τις ανανεώσιμες πηγές είναι εκείνες του μολύβδου – οξέως επειδή παρουσιάζουν χαμηλότερο κόστος και μπορούν να ανευρεθούν σχετικά εύκολα. Επίσης, οι μπαταρίες νικελίου - καδμίου παρουσιάζουν εξίσου καλή εφαρμογή στις Α.Π.Ε. καθώς επιτρέπουν τη χρήση σε ένα μεγάλο εύρος θερμοκρασιών και μπορούν να αποφορτίζονται έως και κάτω από το 10% της ονομαστικής τους χωρητικότητας. Είναι όμως πιο ακριβές και έτσι χρησιμοποιούνται μόνο όταν αναμένονται υψηλή αξιοπιστία ή αντίξοες κλιματικές συνθήκες [Naish et al, 2007].

4.2.3 Αποθήκευση ενέργειας σε σφονδύλους

Η χρήση σφονδύλων (flywheels) στην ενεργειακή αποθήκευση είναι σχετικά πρόσφατη. Κατασκευαστικά, η διάταξη αποθήκευσης με χρήση σφονδύλου αποτελείται από ένα σφόνδυλο που περιστρέφεται σε πολύ υψηλή ταχύτητα και μια ενσωματωμένη ηλεκτρική συσκευή που δύναται να λειτουργεί είτε ως κινητήρας για να περιστρέφει το σφόνδυλο και να αποθηκεύει

ενέργεια, είτε ως γεννήτρια για να παράγει ηλεκτρική ισχύ κατά τη ζήτηση με χρήση της ενέργειας που αποθηκεύτηκε στο σφόνδυλο [Ribeiro et al, 2001] (Σχήμα 4.5).

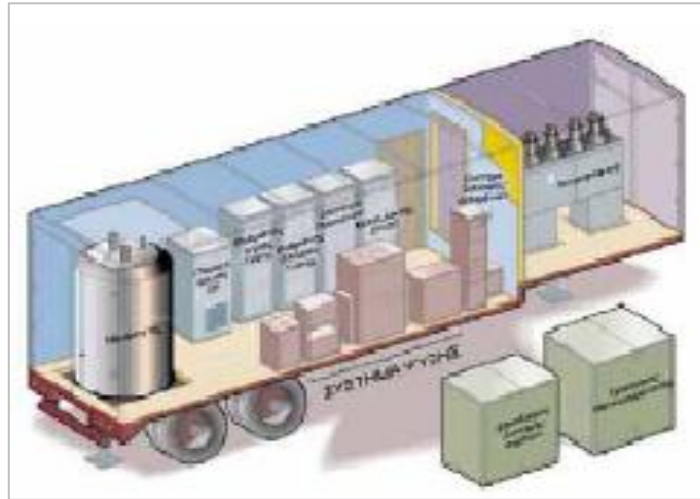
Η χρήση μαγνητικών τριβών και ενός θαλάμου υπό κενό βοηθά στη μείωση των ενεργειακών απωλειών. Ο καλύτερος δυνατός σχεδιασμός των σφονδύλων επηρεάζεται από τη σωστή συσχέτιση μεταξύ της γεωμετρίας και των χαρακτηριστικών των υλικών, με αποτέλεσμα οι μηχανικοί να έχουν επικεντρωθεί στην ανάπτυξη υλικών με υψηλούς λόγους λειτουργικής αντοχής προς πυκνότητα. Η ανάπτυξη σφονδύλων για τα ηλεκτρικά συστήματα έχει επικεντρώσει κυρίως στις εφαρμογές ποιότητας ισχύος (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2001: 175, (Makansi et al, 2003).



Σχήμα 4.5 Ενεργειακή μονάδα σφονδύλου και λειτουργία

4.2.4 Υπεραγώγιμη Μαγνητική Ενεργειακή Αποθήκευση

Μια διαφορετική μορφή ενεργειακής αποθήκευσης είναι η Υπεραγώγιμη Μαγνητική Ενεργειακή Αποθήκευση (SMES). Στα συστήματα Υ.Μ.Ε.Α. η αποθήκευση της ενέργειας πραγματοποιείται στο μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται από τη ροή συνεχούς ρεύματος σε ένα πηνίο από υπεραγώγιμο υλικό. Για τη διατήρηση του πηνίου σε υπεραγώγιμη κατάσταση του, πραγματοποιείται εμβύθιση σε υγρό ήλιο που περιέχεται σε έναν μονωμένο υπό κενό κρυστάτη. Η παραγωγή ενέργειας στην Υ.Μ.Ε.Α. εξαρτάται πολύ λιγότερο από το ρυθμό εκφόρτισης απ' ό,τι αυτή των μπαταριών που προαναφέρθηκαν. Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό των συγκεκριμένων συστημάτων αποτελεί η μεγάλη χρονική διάρκεια λειτουργίας με αποτέλεσμα να κρίνονται κατάλληλα για εφαρμογές αποθήκευσης ενέργειας που απαιτούν σταθερή, πλήρη ανακύκλωση και συνεχή ρυθμό λειτουργίας. Στο Σχήμα 4.6 που ακολουθεί, παρουσιάζεται μια μορφή που μπορεί να λάβει ένα σύστημα Υπεραγώγιμης Μαγνητικής Ενεργειακής Αποθήκευσης (Υ.Μ.Ε.Α.) [European Commission, 2001].



Σχήμα 4.6 Σύστημα υπεραγώγιμης μαγνητικής ενεργειακής αποθήκευσης

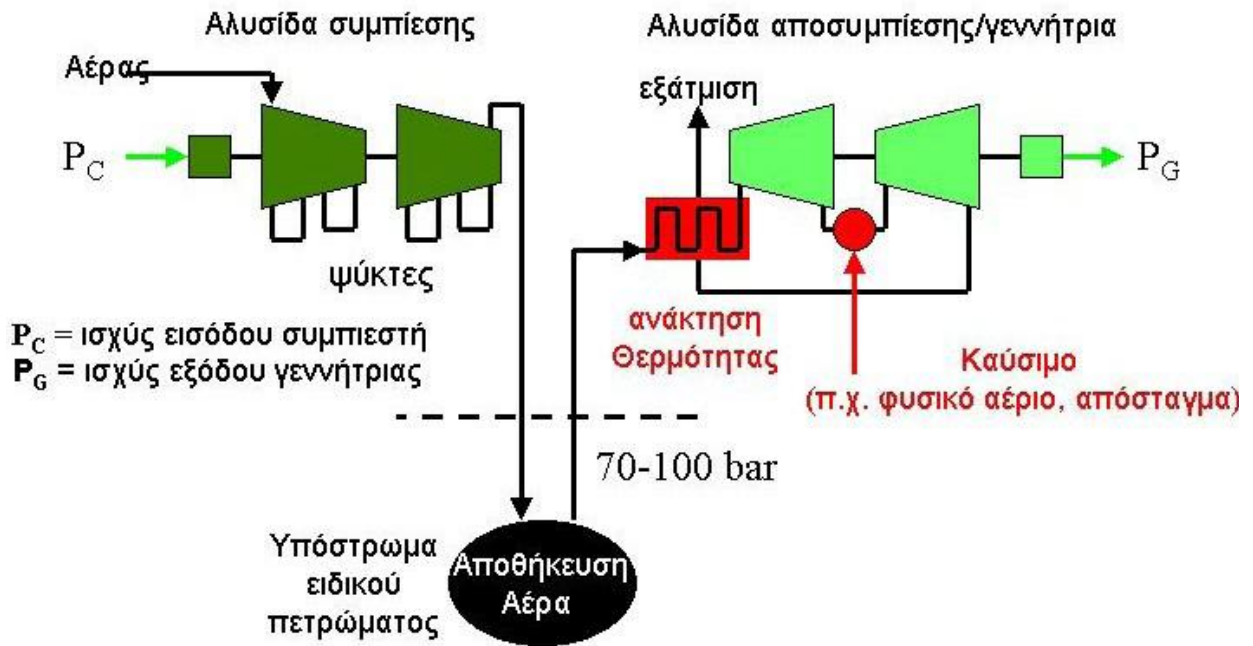
4.2.5 Αποθήκευση ενέργειας με πεπιεσμένο αέρα

Η βασική ιδέα της μεθόδου είναι ότι αέρας μπορεί να συμπιεστεί στα 800 ως 1600psi σε ειδικές γεωλογικές δομές και να αποσυμπιεστεί ώστε, κινώντας αεροστρόβιλο, να παράγει ηλεκτρισμό. Ο πλήρης κύκλος περιλαμβάνει αεροσυμπιεστή του ατμοσφαιρικού αέρα, αποθήκευση του πεπιεσμένου αέρα σε υπόγεια σπήλαια σε πίεση 40-100 bar και στην συνέχεια παραγωγή ηλεκτρισμού από 2 αεροστροβίλους (υψηλής και χαμηλής πίεσης) (σχ.4.7).

Η συμπίεση του αέρα μπορεί να γίνει π.χ. κατά τη διάρκεια κοιλάδων φορτίου και αποσυμπίεση κατά τη διάρκεια των αιχμών του φορτίου. Λόγω της ειδικής γεωλογικής δομής που απαιτείται (υπόστρωμα ορυκτού άλατος), ελάχιστες τέτοιες εγκαταστάσεις υπάρχουν παγκοσμίως, μία στις ΗΠΑ (Alabama 1992) και η άλλη στη Γερμανία (Huntorf 1980) που περιλαμβάνει αεροστρόβιλους ισχύος 290 MW που λειτουργούν επί 2 ώρες και Αεροσυμπιεστή 60 MW που λειτουργεί επί 8 ώρες.

Πρόσφατη είναι και η προσπάθεια μείωσης της απαιτούμενης ισχύος και της πιο ευέλικτης εφαρμογής τέτοιων διατάξεων με τη μορφή Transportable-CAES ή micro-CAES για την εκμετάλλευση αιολικής παραγωγής, ενώ νέες εγκαταστάσεις αυτής της μορφής εγκαθίστανται στις Η.Π.Α. (Ohio 2008).

Σύστημα συμπίεσης αέρα (CAES)

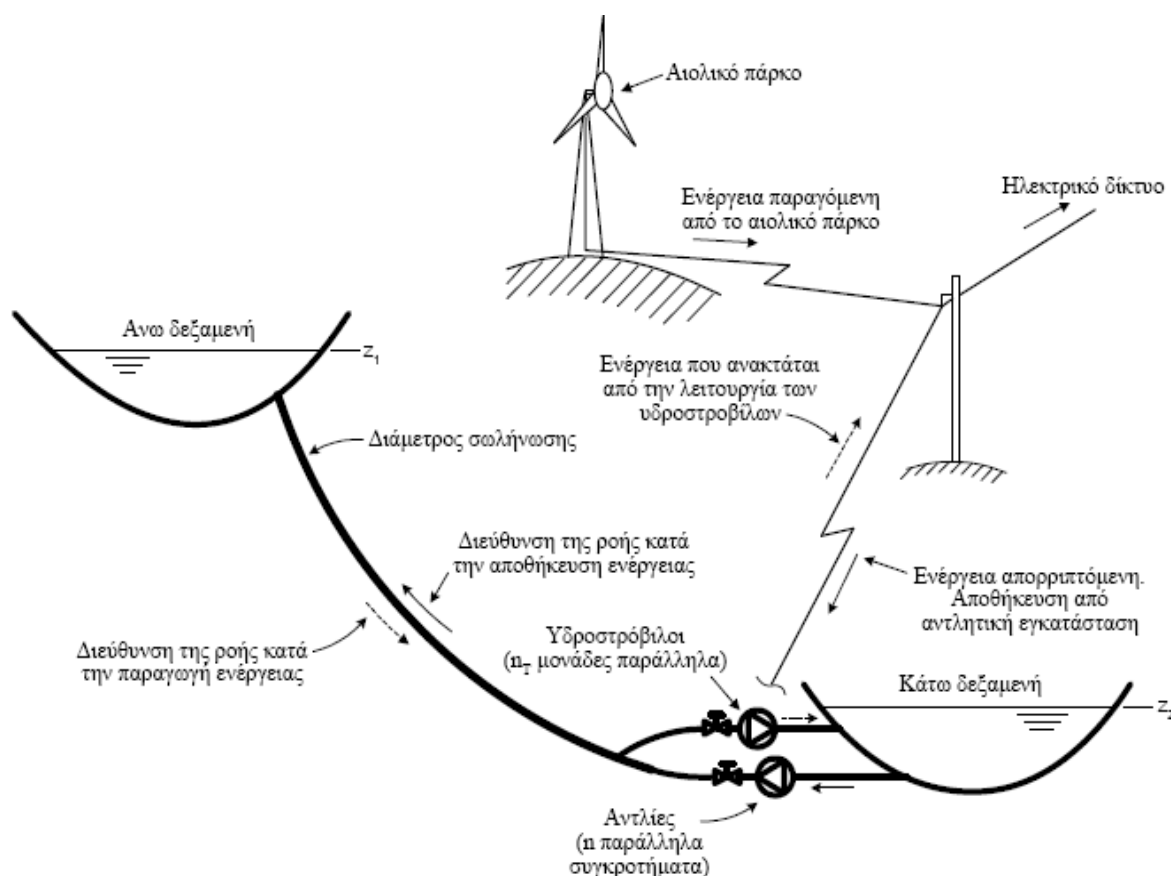


Σχήμα 4.7 Διάταξη πεπιεσμένου αέρα

4.3 Αποθήκευση ενέργειας με αντλησιοταμίευση

Η αποθήκευση με άντληση υδάτων αποτελεί την παλιότερη από τις τεχνολογίες αποθήκευσης κεντρικού σταθμού, ξεκίνησε να εφαρμόζεται το 1929 στην Γερμανία και ουσιαστικά μέχρι το 1970 ήταν η μόνη εμπορικά διαθέσιμη επιλογή για εφαρμογές ηλεκτροπαραγωγής. Το 2004 η εγκατεστημένη ισχύς συστημάτων αντλησιοταμίευσης εκτιμήθηκε στα 82.800 MW. Σήμερα η αντλησιοταμίευση αποτελεί την πιο ελκυστική μέθοδο αποθήκευσης μεγάλης κλίμακας (100MW – 5000 MW) και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με αιολικά πάρκα τόσο ως διεσπαρμένη παραγωγή, όσο και σε αυτόνομα συστήματα. Τα αποθηκευμένα αυτά ποσά ενέργειας μπορούν να χρησιμοποιηθούν μια άλλη χρονική στιγμή όταν προκύψει σχετική ανάγκη για παροχή ενέργειας και οι βασικές μονάδες παραγωγής δεν είναι σε θέση να καλύψουν το σύνολο της ζήτησης.

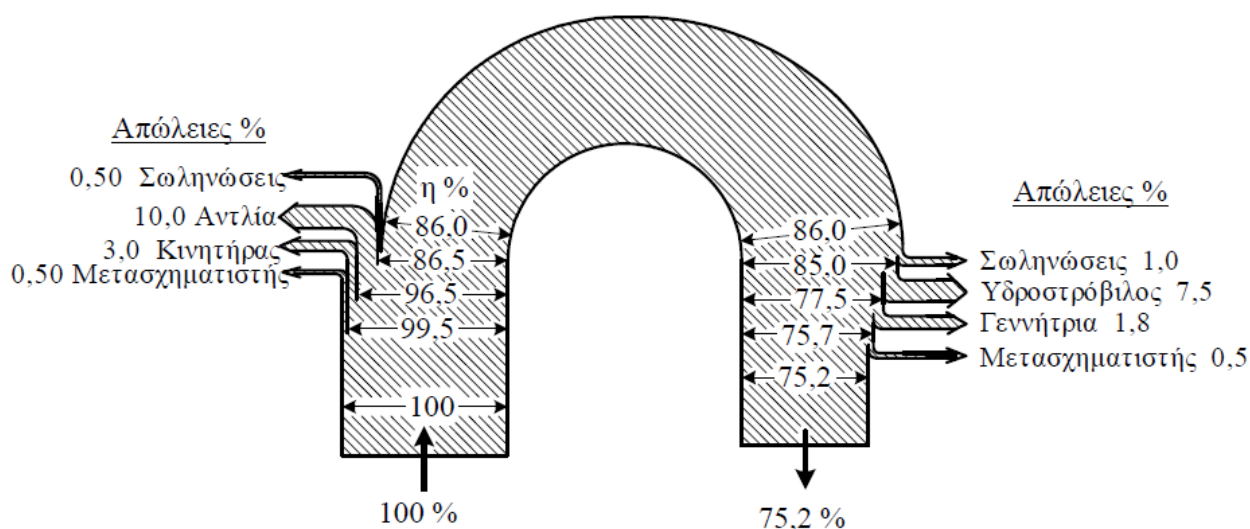
Η πιο γενική συγκρότηση ενός συστήματος αντλησιοταμίευσης (Σχ. 4.8) (pumped hydro storage system) περιλαμβάνει δύο ταμιευτήρες νερού που έχουν υψομετρική διαφορά της τάξης των εκατοντάδων μέτρων, έναν αριθμό υδροστροβίλων με τις αντίστοιχες ηλεκτρικές γεννήτριες, έναν αριθμό αντλιών με τους αντίστοιχους ηλεκτρικούς κινητήρες (η και αναστρέψιμες μηχανές), καθώς και ένα σύστημα ελέγχου. Η επικοινωνία μεταξύ του άνω και του κάτω ταμιευτήρα μπορεί να γίνει με έναν ή με δύο αγωγούς πτώσης.



Σχήμα 4.8 Διάταξη αντλησιοταμίευσης

Σε ένα αναστρέψιμο υδροηλεκτρικό έργο ο πλήρης κύκλος περιλαμβάνει άντληση νερού από τον κάτω ταμιευτήρα στον άνω, των οποίων η υψομετρική διαφορά είναι ίση προς h για την φάση της αποθήκευσης ενέργειας (μετατρέπεται η ηλεκτρική ενέργεια σε υδραυλική). Στην φάση της παραγωγής, διακινείται το νερό από τον πάνω ταμιευτήρα στον κάτω μέσω υδροστροβίλων οπότε η υδραυλική ενέργεια μετατρέπεται σε μηχανική και στην συνέχεια σε ηλεκτρική. Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα των υδροηλεκτρικών σταθμών παραγωγής είναι η δυνατότητα γρήγορης παραλαβής και γρήγορης απόρριψης φορτίου πολύ μεγάλης ισχύος με αποτέλεσμα να αποτελούν την καλύτερη λύση που διαθέτει ο διαχειριστής ενός δικτύου ώστε να καλύπτει τις αιχμές φορτίου που παρουσιάζονται.

Συνολικά σε ένα πλήρη κύκλο, και ανάλογα με τον εξοπλισμό (αντλίες, υδροστροβίλοι κλπ) ο ολικός βαθμός απόδοσης είναι της τάξεως του 65-80% (το υπόλοιπο 35-20% της ενέργειας χάνεται σε απώλειες) ανάλογα με το μέγεθος της μονάδας, την επιλογή του εξοπλισμού της κα, όπως βλέπουμε και στο σχήμα 4.9 [Παπαντώνης, 2009].



Σχήμα 4.9 Ανάλυση βαθμού απόδοσης αναστρέψιμου υδροηλεκτρικού

Παρόλο όμως που η αντλησιοταμίευση μπορεί να δώσει υψηλή χωρητικότητα ενέργειας σε χαμηλό κόστος δεν χρησιμοποιείται όσο θα ήταν αναμενόμενο. Ένας λόγος είναι η εξειδικευμένη περιοχή που χρειάζεται για να κατασκευαστεί η εγκατάσταση. Για αυτό ως επί το πλείστον χρησιμοποιείται σε εγκαταστάσεις ενέργειας μεγάλης κλίμακας. Παγκοσμίως είναι τεχνικώς διαθέσιμα (αλλά αναξιοποίητα) πάνω από 140GW ισχύος για αντλησιοταμίευση και σε μερικές περιπτώσεις σε συνδυασμό με φράγματα.

Τα αναστρέψιμα υδροηλεκτρικά έργα που λειτουργούν κατά το έτος 2009 σε ολόκληρη την υφήλιο έχουν ισχύ περί τις 140.000 MW από τα οποία:

- 100.000 MW στην Ευρώπη, Ασία και Λατινική Αμερική
- 21.000 MW στην Ιαπωνία
- 19.000 MW στις ΗΠΑ

Όπως ήδη αναφέρθηκε το πρόβλημα της διείσδυσης της αιολικής ενέργειας στο διασυνδεδεμένο ηπειρωτικό σύστημα δεν έχει ακόμη εμφανισθεί στην χώρα μας όμως σε μερικά χρόνια θα είναι υπαρκτό. Στην Ελλάδα λειτουργούν 2 αναστρέψιμα υδροηλεκτρικά έργα:

- της Σφηκιάς στον ποταμό Αλιάκμονα (1985) με 3 αναστρέψιμες μονάδες ισχύος $3 \times 105 = 315$ MW, και
- του Θησαυρού στον ποταμό Νέστο (1998) με 3 αναστρέψιμες μονάδες ισχύος $3 \times 127 = 381$ MW, διαθέσιμη υδραυλική πτώση $H = 154$ m και ταμιευτήρα χωρητικότητας $565 \cdot 10^6$ m³

Ορισμένα από τα νησιά μας που δεν είναι διασυνδεδεμένα έχουν ήδη κορεσθεί από πλευράς εγκατεστημένων αιολικών πάρκων και σε αυτά η αύξηση της διείσδυσης μπορεί να γίνει μόνο μέσω της εισαγωγής της αντλησιοταμίευσης, δηλ. υβριδικών μονάδων που συνδυάζουν τα αιολικά πάρκα με αντλησιοταμίευση, για παράδειγμα:

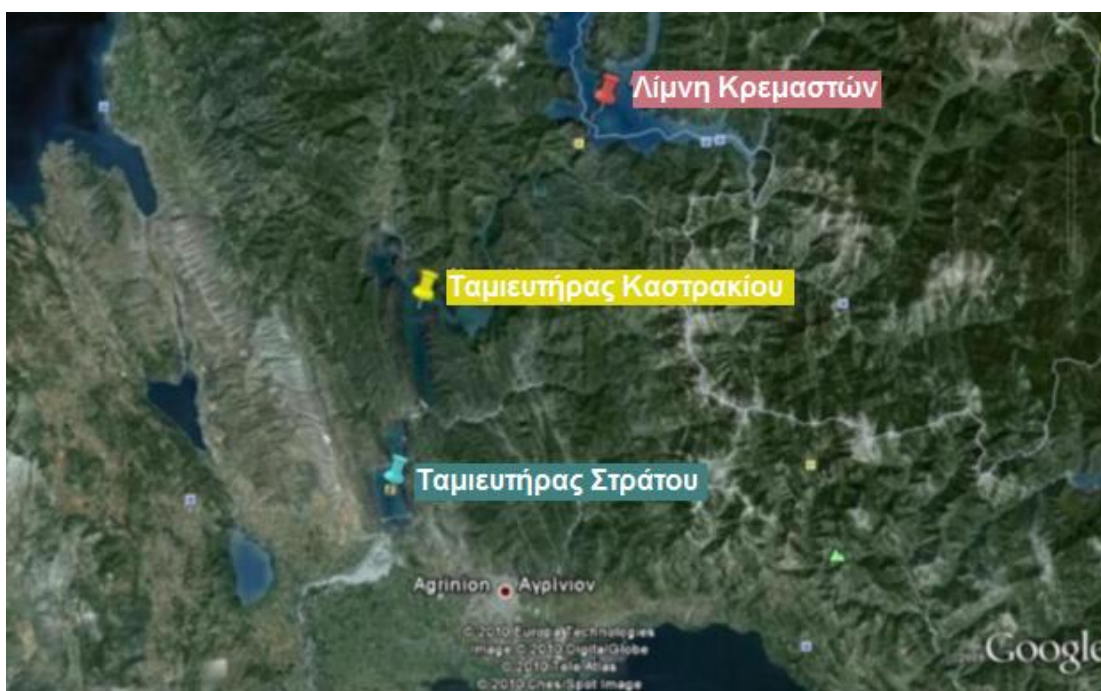
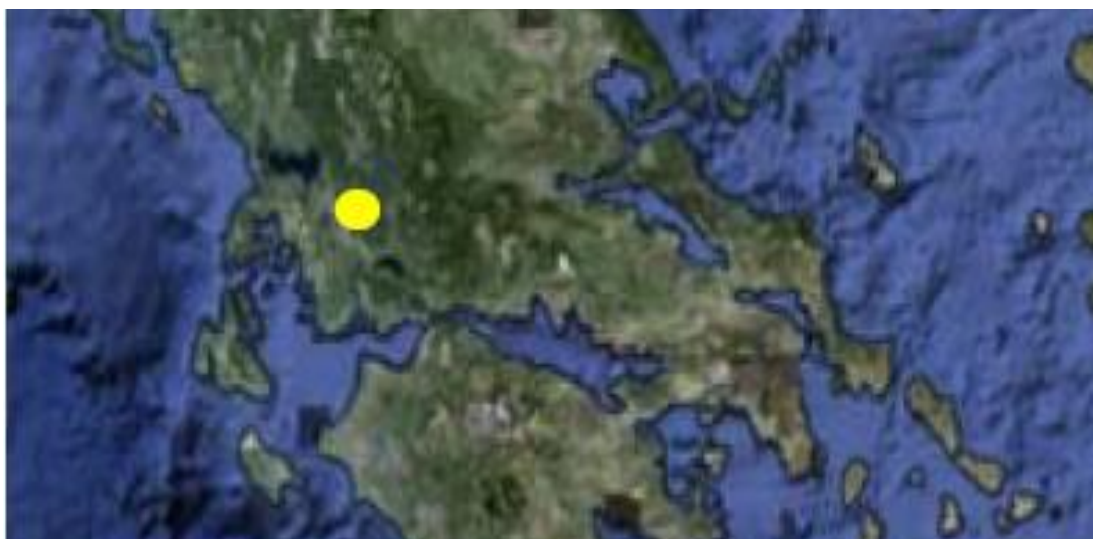
- στην Κρήτη υπάρχει ενδιαφέρον για 2 μονάδες, ισχύος 100 και 50 MW
- στην Λέσβο για μονάδα 15 MW
- στο σύστημα της Παροναξίας για μονάδα 8 MW
- στην Ικαρία είναι υπό κατασκευή από την ΔΕΗ υβριδική ισχύος 3 MW περίπου.

Λόγω του αναλογικά μικρού μεγέθους του δικτύου στα νησιά η διαστασιολόγηση μίας υβριδικής μονάδας θα πρέπει να προκύψει ως αποτέλεσμα βελτιστοποίησης όλων των παραμέτρων που υπεισέρχονται, προβλέποντας επιπλέον την ζήτηση στα επόμενα χρόνια.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο - ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ

5.1 Εισαγωγή

Στην παρούσα εργασία μελετάται η περίπτωση εκμετάλλευσης των φυσικών ταμιευτήρων του Καστρακίου και του Στράτου στον ποταμό Αχελώο, που ήδη αποτελούν δύο από τα μεγαλύτερα υδροηλεκτρικά έργα της Ελλάδας σε ένα μεγάλο διασυνδεδεμένο σύμπλεγμα μονάδων αντλιοσταμίου (Σχήμα 5.1).



Σχήμα 5.1 Τοποθεσία φυσικού συστήματος Κρεμαστών – Καστρακίου - Στράτου

Αυτό μπορεί να επιτευχθεί, μετατρέποντας τη μονάδα του Καστρακίου σε αντιστρέψιμη και προσθέτοντας επιπλέον τεχνητούς ταμιευτήρες στο ευνοϊκό γεωγραφικό περιβάλλον με τις έντονες υψομετρικές διαφορές, που θα αυξήσουν τη δυνατότητα αντλησιοταμίευσης, αλλά φυσικά και το κόστος επένδυσης.

Εξετάζεται στην συνέχεια η δυνατότητα αποθήκευσης και αξιοποίησης της ελεγχόμενα αυξανόμενης αιολικής ισχύος. Ακολουθεί ενεργειακή και οικονομοτεχνική μελέτη η οποία προσθέτοντας έναν κάθε φορά ταμιευτήρα στο σύστημα διερευνά τη βιωσιμότητα της επένδυσης, άλλα και τα ενεργειακά οφέλη για διάφορες πιθανές εξελίξεις της αιολικής ανάπτυξης.

Όπως προαναφέρθηκε, για να εφαρμοστεί ένα έργο αποθήκευσης ενέργειας με αντλησιοταμίευση, χρειάζεται ένα ζεύγος άνω και κάτω ταμιευτήρων. Ένα συνηθισμένο πρόβλημα που συναντάται στα υπάρχοντα τέτοια συστήματα είναι ότι ο κάτω ταμιευτήρας είναι σημαντικά μικρότερος από τον άνω και αυτό το γεγονός εισάγει σημαντικούς περιορισμούς στην μέγιστη ισχύ άντλησης που μπορεί να εγκατασταθεί. Αυτό το πρόβλημα συναντάται σε κάποιο βαθμό και στο ζεύγος Καστράκι – Στράτος, με την διαφορά όμως ότι η τοποθεσία υπεράνω του ταμιευτήρα του Καστρακίου είναι εξαιρετικά ευνοϊκή για να εγκατασταθεί ένας αριθμός αναστρέψιμων μονάδων αντλησιοταμίευσης, αυξάνοντας έτσι την δυναμικότητα του συστήματος.

Πρόσφατες εργασίες αύξησαν τον ωφέλιμο όγκο του Καστρακίου από τα 53 εκ. m³ στα 97 εκ. m³ (αύξηση 83%). Στον Πίνακα 5.1 βλέπουμε τα χαρακτηριστικά του υφιστάμενου συστήματος Καστρακίου – Στράτου [Αναγνωστόπουλος – Παπαντώνης, 2011].

Όνομα έργου, Έτος κατασκευής	Χωρητικότητα ταμιευτήρα	Ελάχιστη – Μέγιστη στάθμη	Μονάδες υδροστροβίλων	Μέση ετήσια παραγωγή
Καστράκι, 1969	53 (97) εκ. m ³	142 – 146 m	320 MW (4x80 Francis)	600 GWh
Στράτος, 1989	11 εκ. m ³	67 – 68,6 m	150 MW (2x75 Francis)	240GWh

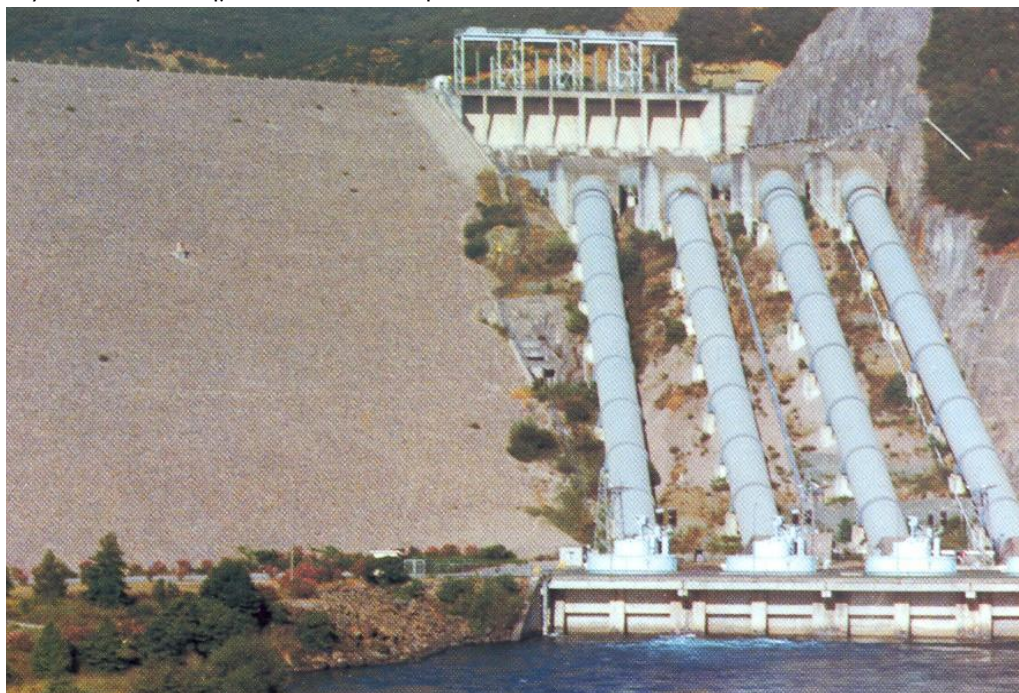
Πίνακας 5.1 Υφιστάμενα υδροηλεκτρικά έργα Καστρακίου – Στράτου

Χρησιμοποιώντας τον ταμιευτήρα του ΥΗΣ Καστρακίου ως κάτω ταμιευτήρα, αναζητήθηκαν και βρέθηκαν από προηγούμενες μελέτες 7 διαφορετικές θέσεις κατάλληλες για την δημιουργία αναστρέψιμων μονάδων [Στεφανάκος, 2009]. Μαζί με το ζευγάρι Καστρακίου – Στράτου (άνω – κάτω ταμιευτήρας αντίστοιχα) συνδυάζεται ένα σύστημα από 8 διαφορετικές μονάδες. Τα χαρακτηριστικά τους παρουσιάζονται παρακάτω. Οι ώρες άντλησης στον πίνακα 5.2 είναι οι ώρες που απαιτούνται για να γεμίσει ο εκάστοτε άνω ταμιευτήρας σε ημερήσια βάση, οπότε αποτελούν άμεσο χαρακτηριστικό του μεγέθους του [Αναγνωστόπουλος – Παπαντώνης, 2012].

Όνομα Μονάδας	Όγκος Ταμιευτήρα (εκ. m ³)	Ισχύς Αντλησης (MW)	Ισχύς Υδροστροβ. (MW)	Μέγιστο Υδραυλ. Ύψος (m)	Ώρες Αντλησης (hours)	Κόστος Μονάδας (€/kW)
1. Καστρ.-Στράτος	95 – 11	110	80	78	24,0	500
2. Αλευράδα	5,0	272	183	198	12,1	1250
3. Σομπόρεμα	2,0	153	110	288	12,1	1250
4. Φίλος	0,5	131	91	484	5,9	1300
5. Δαιμονοπόργια	2,0	124	83	226	12,0	1300
6. Πετούλια	1,9	124	85	238	12,0	1400
7. Μέγας Κάμπος	0,36	74	52	373	5,9	1500
8. Τσουγκαριά	0,42	52	37	224	5,8	1500

Πίνακας 5.2 Χαρακτηριστικά συστήματος μονάδων αντλησιοταμίευσης

Όπως παρατηρείται από τον πίνακα 5.2 το κόστος της μονάδας Καστρακίου – Στράτου είναι πολύ χαμηλότερο. Η υφιστάμενη υδροηλεκτρική μονάδα ήδη χρησιμοποιεί τέσσερις αγωγούς προσαγωγής με τους αντίστοιχους υδροστρόβιλους (Σχήμα 5.2). Κατά τη διάρκεια του έτους το χρονικό διάστημα κατά το οποίο απαιτείται και ο τέταρτος υδροστρόβιλος για την αξιοποίηση των υδατικών αποθεμάτων του ταμιευτήρα Καστρακίου είναι ελάχιστο, οπότε είναι πολύ πιο οικονομικό αντί να κατασκευαστεί καινούργιος, να μετατραπεί αυτός σε αντιστρέψιμο και να χρησιμοποιηθεί ο αγωγός του και για άντληση όποτε είναι διαθέσιμος. Προφανώς σε αυτήν την περίπτωση δεν απαιτείται κατασκευή νέου ταμιευτήρα, οπότε το συνολικό κόστος μειώνεται σημαντικά.



Σχήμα 5.2 Τοποθεσία φυσικού συστήματος Κρεμαστών – Καστρακίου - Στράτου

Εν τέλει ο σκοπός της παρούσας μελέτης είναι η διερεύνηση των δυνατοτήτων συμβολής του προτεινόμενου συστήματος αντλησιοταμίευσης στην ικανοποίηση των αναγκών αποθήκευσης ενέργειας της χώρας σε περίπτωση που αυξηθεί η εγκατεστημένη αιολική και ηλιακή ισχύς. Με λίγα λόγια, στόχος είναι η αύξηση της αιολικής και ηλιακής διείσδυσης μέσω αντλησιοταμίευσης στο σύστημα Καστρακίου – Στράτου και μείωση της απορριπτόμενης ενέργειας.

5.2 Περιγραφή Μεθοδολογίας

Στην προηγούμενη ενότητα τέθηκαν τα κύρια χαρακτηριστικά του συστήματος που θα μελετηθεί. Ουσιαστικά ο ΥΗΣ Καστρακίου – Στράτου θα μετατραπεί σε αναστρέψιμο και θα προστεθούν 7 ακόμα αναστρέψιμες μονάδες υπεράνω του Καστρακίου σε κατάλληλες θέσεις, αντλώντας από αυτό. Στη συνέχεια της εργασίας και για την ενεργειακή προσομοίωση που θα ακολουθήσει, έχουνε διατεθεί από την ΔΕΗ όλα τα ενεργειακά στοιχεία της χώρας για το έτος 2008 ανά ώρα. Τα δεδομένα είναι η ηλεκτροπαραγωγή ανά ώρα από τα θερμικά εργοστάσια, τα μεγάλα ΥΗΣ, τις λοιπές ΑΠΕ, τις εισαγωγές και τις εξαγωγές της χώρας. Έτσι με το έτος 2008 ως έτος αναφοράς και με πραγματικά δεδομένα θα εξεταστεί η δυνατότητα αξιοποίησης της προκύπτουσας από την αύξηση της αιολικής ισχύος απορριπτόμενη ενέργεια από το δίκτυο, αποθηκευοντάς τη με αντλησιοταμίευση με το παρόν σύστημα 8 αναστρέψιμων μονάδων και παράγοντας μετέπειτα υδροηλεκτρική ενέργεια από τους υδροστροβίλους των αναστρέψιμων 8 σταθμών.

Αναλυτικότερα, ο πρώτος υπολογιστικός κώδικας σε γλώσσα FORTRAN χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό της συνολικής παραγωγής ενέργειας από όλες τις πηγές για το 2008 συνυπολογίζοντας εισαγωγές, εξαγωγές και άντληση. Το πρόγραμμα χρησιμοποιεί σαν εισόδους όλα τα ενεργειακά δεδομένα από την ΔΕΗ Α.Ε. σε μορφή αρχείου .txt και στη συνέχεια προκύπτουν ωριαία και αθροιστικά αποτελέσματα για όλο το έτος αναφοράς, Επίσης, βάσει ενός συντελεστή που ορίζει ο χρήστης, υπολογίζεται μια νέα υποθετική – προσεγγιστική για μια μελλοντική χρονιά χρονοσειρά αυξημένης παραγόμενης αιολικής ενέργειας όπως επίσης η απορριπτόμενη ενέργεια ανά ώρα και το ποσοστό της απορριφθείσας σε σχέση με την παραγόμενη αιολική.

Συνοπτικά ο πρώτος κώδικας χρησιμοποιεί ως εισόδους του τα εξής:

- Την ωριαία χρονοσειρά παραγόμενης ενέργειας από θερμικές μονάδες (αεριοστροβιλικές, πετρελαϊκές, λιγνιτικές)
- Την ωριαία χρονοσειρά παραγόμενης ενέργειας από ΑΠΕ
- Την ωριαία χρονοσειρά παραγόμενης ενέργειας από υδροηλεκτρικές μονάδες
- Την ωριαία χρονοσειρά ενέργειας από εισαγωγές και εξαγωγές της χώρας
- Το συντελεστή $R_{W/L}$. Για να ληφθεί υπόψη και το αυξανόμενο με το χρόνο φορτίο κατανάλωσης, το οποίο επηρεάζει τις απώλειες της αιολικής ενέργειας κατ' ανάλογο τρόπο [Αναγνωστόπουλος – Παπαντώνης, 2011], η αύξηση της αιολικής ισχύος εξετάζεται μέσω του συντελεστή $R_{W/L}$, που ορίζεται ως η εγκατεστημένη αιολική ισχύς προς το μέσο φορτίο. Το 2008 η εγκατεστημένη αιολική ισχύς ήταν περίπου 800 MW, δηλαδή ο $R_{W/L}$ ήταν 12,7 % (μέσο φορτίο περίπου 6300MW).

Αντίστοιχα στην έξοδο του προκύπτουν τα εξής:

- Συνολική παραγωγή ενέργειας για το έτος αναφοράς
- Ποσοστό εγκατεστημένης αιολικής ισχύος
- Παραγωγή αιολικής ενέργειας

- Απορρίπτει αιολικής ενέργειας με βάση δύο κριτήρια:
 - ο Της μέγιστης αιολικής διείσδυσης, που θεωρείται ότι δεν μπορεί να υπερβεί το 45% του φορτίου (δηλαδή της καθαρής κατανάλωσης) ανά πάσα στιγμή και
 - ο Του τεχνικού ελάχιστου των θερμικών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που είναι ενταγμένοι και λειτουργούν, το οποίο λαμβάνεται σε πρώτη προσέγγιση ίσο με 65% και με την παραδοχή εδώ ότι για κάθε αύξηση στα αιολικά θα μειώνεται το φορτίο των θερμικών, έτσι ώστε να παρέχεται εφεδρεία στο 100% της παραγωγής από ΑΠΕ.

Στη συνέχεια γίνεται χρήση ενός δεύτερου υπολογιστικού κώδικα γλώσσας FORTRAN ο οποίος υπολογίζει ουσιαστικά τη δυνατότητα αξιοποίησης της ενέργειας που απορρίπτεται από το δίκτυο, τόσο στο σύνολο της όσο και για κάθε αναστρέψιμη μονάδα ξεχωριστά.

Θα εξεταστεί ένα σενάριο το οποίο περιλαμβάνει ένταξη των αναστρέψιμων σταθμών με προκαθορισμένη σειρά σε διάστημα 16 ωρών ημερησίως (9:00 – 24:00). Η σειρά ένταξης είναι αυτή που φαίνεται στον Πίνακα 5.2 η οποία έχει διερευνηθεί και αξιολογηθεί ως οικονομοτεχνικά βέλτιστη [Παληαρούτα, 2011.], καθώς πρώτα χρησιμοποιείται ο ταμιευτήρας με το χαμηλότερο κόστος κατασκευής και στη συνέχεια ταμιευτήρες με τη μεγαλύτερη τιμή ονομαστικής ισχύος άντλησης. Η άντληση πραγματοποιείται οποιαδήποτε χρονική στιγμή με μόνη την προϋπόθεση ύπαρξης διαθέσιμης απορριπτόμενης ενέργειας να τροφοδοτήσει το σύστημά, ενώ η παραγωγή με τον παραπάνω χρονικό περιορισμό, καθώς τις υπόλοιπες ώρες η ζήτηση ενέργειας, άρα και η τιμή πώλησής της, είναι μειωμένες. Οι ώρες λειτουργίας του κάθε σταθμού εξαρτώνται από την διαθέσιμη απορριφθείσα ενέργεια και την πληρότητα των ταμιευτήρων του.

Το δεύτερο πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε είναι και το πιο σημαντικό και πολύπλοκο εργαλείο της προσομοίωσης. Παραλαμβάνει υπολογιστικά την απορριφθείσα αιολική ενέργεια και αναλαμβάνει την σωστή διαχείριση της. Αποτελείται από δύο σκέλη:

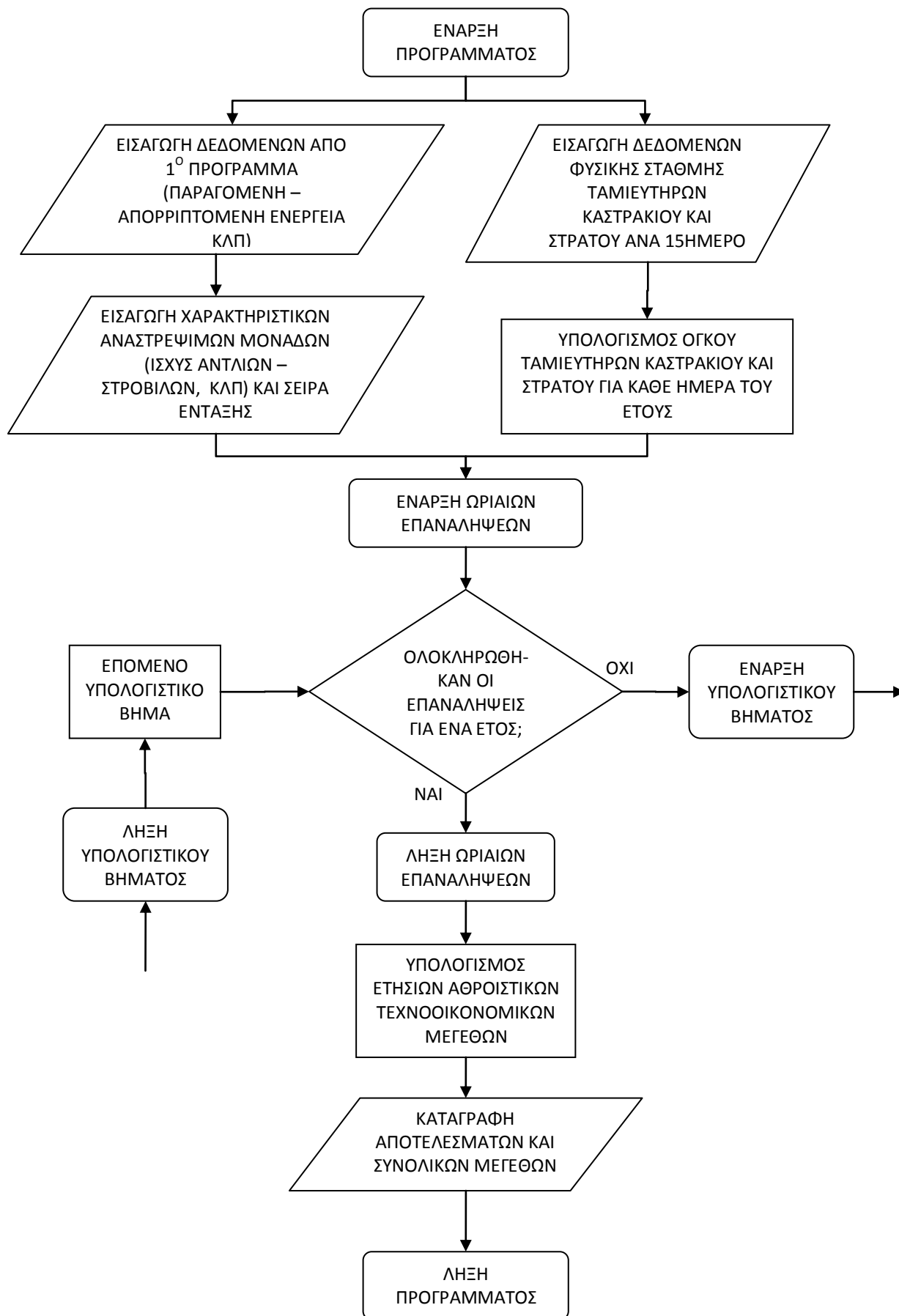
- το κομμάτι της άντλησης, το οποίο εξετάζει την δυνατότητα εκμετάλλευσης στις μονάδες με την σειρά και μία προς μία. Ελέγχεται:
 - η ύπαρξη διαθέσιμης απορριφθείσας ενέργειας προς εκμετάλλευση
 - η ύπαρξη διαθέσιμου ελεύθερου όγκου στον άνω ταμιευτήρα κάθε σταθμού ώστε να γίνει ασφαλής άντληση χωρίς κίνδυνο υπερχειλίσης
 - δεδομένης των φυσικών αποθεμάτων των ταμιευτήρων Καστρακίου και Στράτου καθ' όλη τη διάρκεια του έτους 2008 καθώς και της επιδίωξης ανακύκλωσης των υδάτων, σε καθημερινή βάση, ώστε να μην υπάρχει καμία επιρροή στο φυσικό υποσύστημα (παροχή νερού, άρδευση κλπ.), η ύπαρξη διαθέσιμου όγκου ύδατος για άντληση στον ταμιευτήρα Στράτου για τη μονάδα 1 και στον ταμιευτήρα Καστρακίου για τις υπόλοιπες 7 μονάδες
 - για τη μονάδα 1 η δυνατότητα χρησιμοποίησης του τέταρτου αγωγού για άντληση, καθώς όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα υπάρχουν χρονικά διαστήματα που αυτός δεσμεύεται από την κανονική λειτουργία του ΥΗΣ
- και το κομμάτι της ηλεκτροπαραγωγής, το οποίο ομοίως για κάθε σταθμό ξεχωριστά και με τη δεδομένη σειρά και ανάλογα με τις τεχνικές του δυνατότητες, αξιοποιεί τη διαθέσιμη αποταμιευμένη ενέργεια για το χρονικό διάστημα από 9:00 έως 24:00 κάθε μέρα.

Στη συνέχεια, καταγράφονται οι ωριαίες τιμές άντλησης, παραγωγής και αποταμιευόμενης ενέργειας για κάθε μονάδα ξεχωριστά, αλλά και αθροιστικά για όλο το

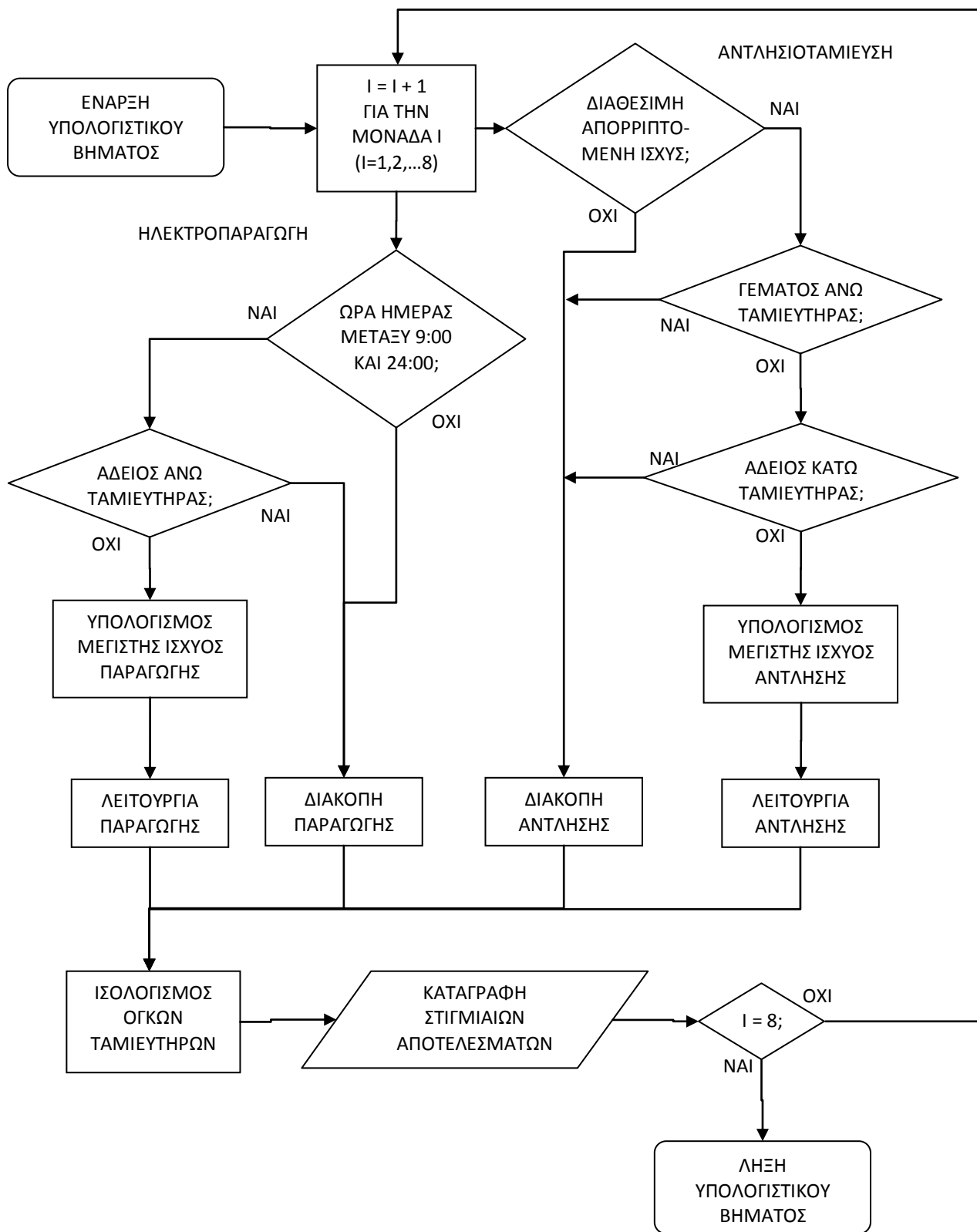
Κεφ.5^ο – Παρουσίαση Συστήματος Υπό Μελέτη

σύστημα. Τέλος, γίνεται ετήσιος ενεργειακός απολογισμός και υπολογίζονται τα συνολικά οικονομικά μεγέθη, όπως ετήσια έσοδα, ετήσιο κόστος και εσωτερικός βαθμός απόδοσης της επένδυσης.

Ακολουθεί το λογικό διάγραμμα του δεύτερου κώδικα για την πληρέστερη κατανόηση του και θα ακολουθήσουν τα αποτελέσματα.



Σχήμα 5.3α Λογικό διάγραμμα 2^ο προγράμματος



Σχήμα 5.3β Λογικό διάγραμμα 2^ο προγράμματος

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο – ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

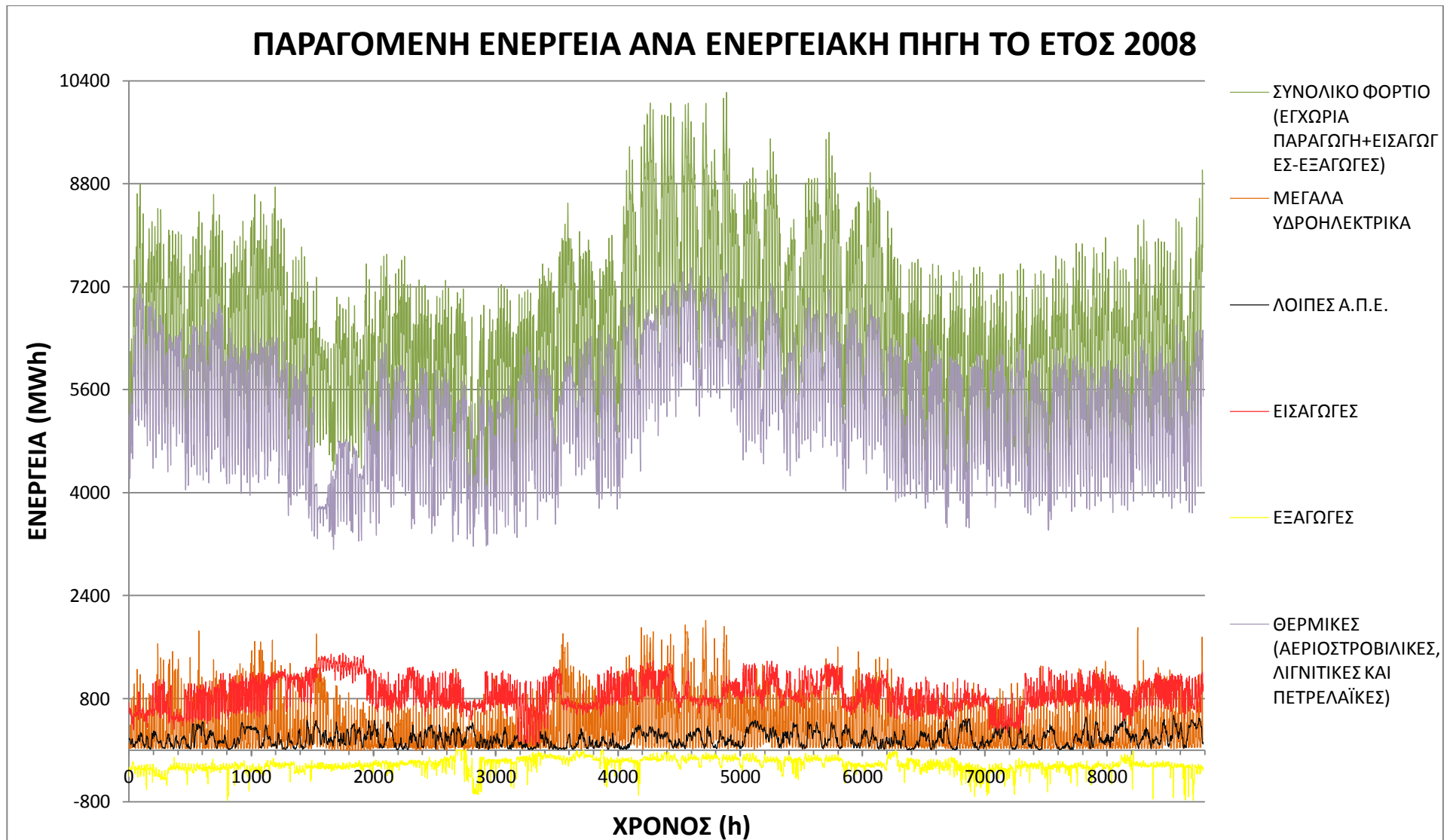
6.1 Αποτελέσματα πρώτου κώδικα

Όπως λοιπόν προκύπτει από την εκτέλεση του πρώτου προγράμματος και με δεδομένη την αναλυτική καταγραφή της παραγόμενης ενέργειας ανά είδος και ανά ώρα μπορούμε να δούμε παραστατικά την κατανομή της παραγόμενης ενέργειας στο παρακάτω διάγραμμα (Σχ. 6.1) για το έτος 2008.

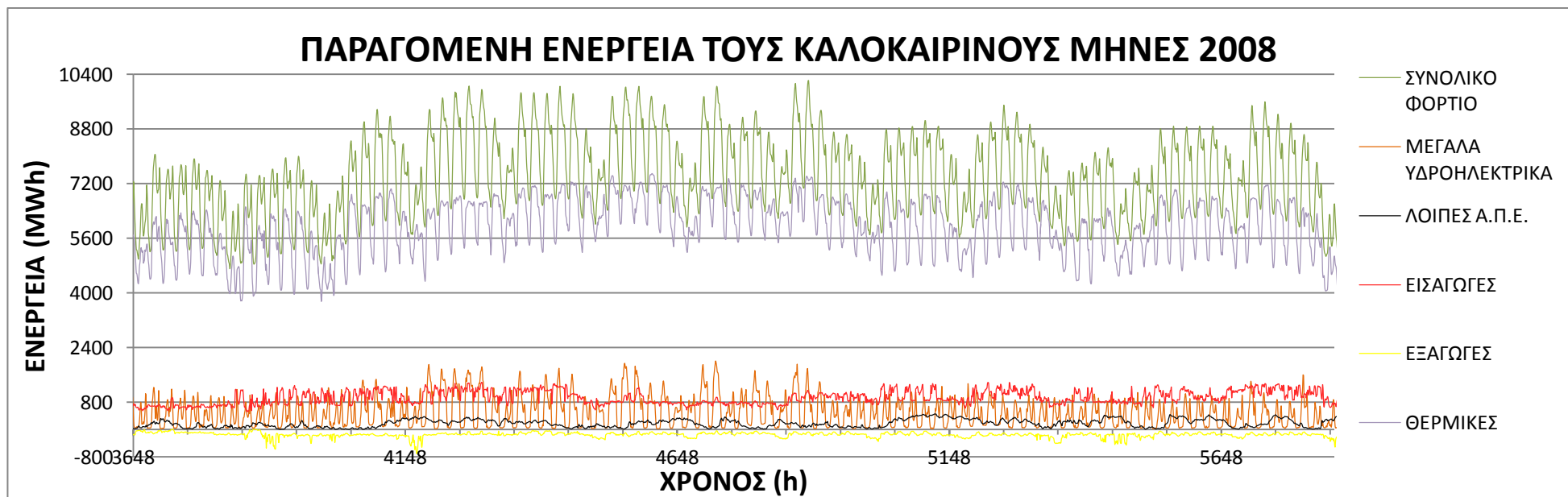
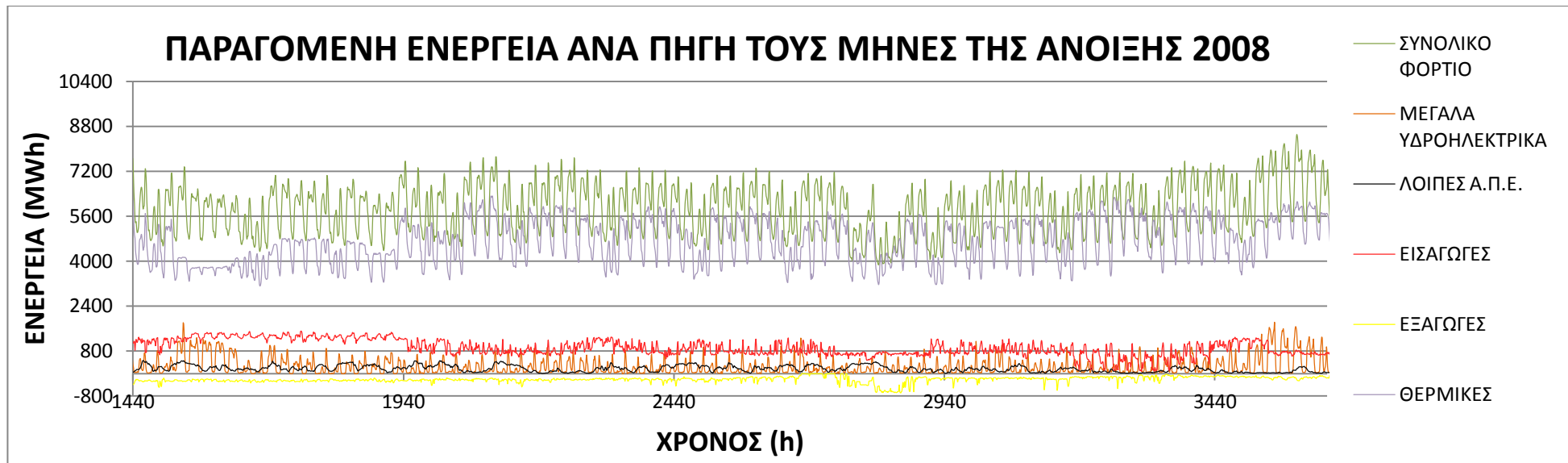
Βλέπουμε τη συντριπτική πλειονότητα των θερμικών πηγών ενέργειας καθώς και τη διακύμανση μέσα στο χρόνο. Οι μήνες του χειμώνα και του καλοκαιριού είναι πιο ενεργοβόροι λόγω της χρήσης θερμικών ή κλιματιστικών συσκευών, περισσότερων συσκευών φωτισμού το χειμώνα και της αύξησης του τουρισμού το καλοκαίρι (αν και το συγκεκριμένο φαινόμενο είναι πολύ πιο έντονο στα μη διασυνδεδεμένα δίκτυα).

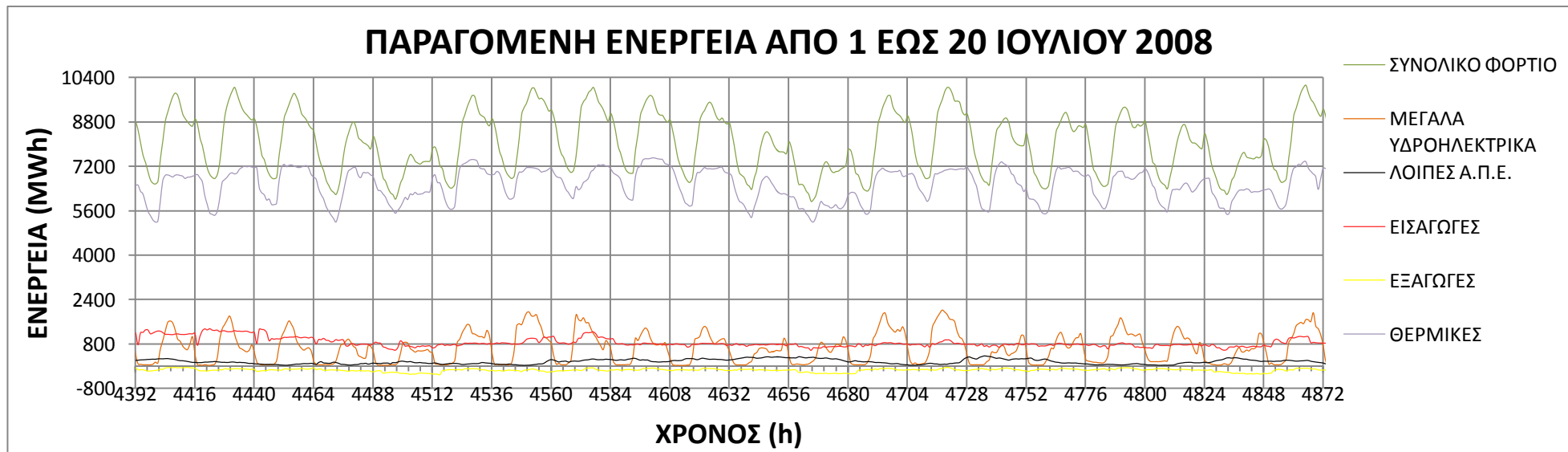
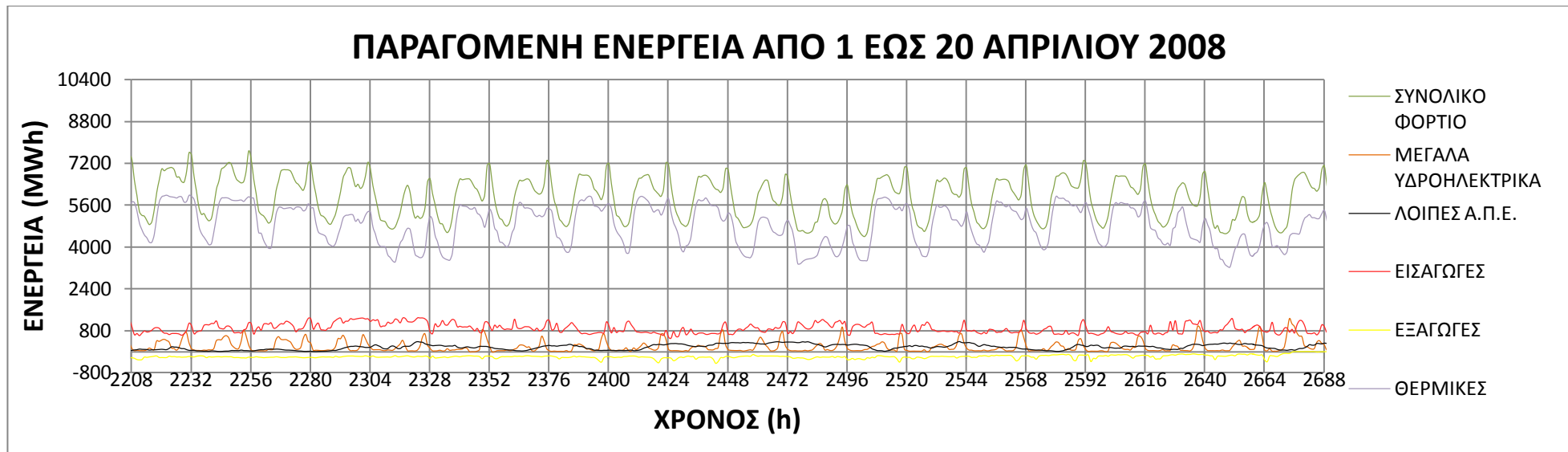
Ενδεικτικά και για λόγους ευκρίνειας παρουσιάζουμε δυο αντίστοιχα διαγράμματα για τους μήνες της άνοιξης και του καλοκαιριού, καθώς και για δυο εικοσαήμερα τις αντίστοιχες περιόδους. Παρατηρείται η διακύμανση της κατανάλωσης ενέργειας από νύχτα σε ημέρα και η κάμψη κατά τις απογευματινές ώρες, ενώ τα μέγιστα εμφανίζονται όπως αναμενόταν στις ώρες αιχμής (Σχ. 6.2γ,δ). Τις καλοκαιρινές ημέρες η αύξηση των αιχμών είναι έως και 27%, ενώ τα σαββατοκύριακα έχουμε έντονη μείωση της κατανάλωσης (Σχ. 6.2α,β).

Αυτή η αύξηση της κατανάλωσης εξυπηρετείται από τις μεγάλες υδροηλεκτρικές μονάδες, για αυτό και βλέπουμε έντονες αιχμές στις συγκεκριμένες περιόδους (Σχ. 6.1, 6.2β,δ), αλλά και από τις θερμικές (και συγκεκριμένα από τους αεριοστροβίλους φυσικού αερίου που λειτουργούν καλύτερα ως μονάδες αιχμής), ενώ οι Α.Π.Ε. είναι ακόμα σε χαμηλά επίπεδα.



Σχήμα 6.1 Παραγόμενη ενέργεια – 2008

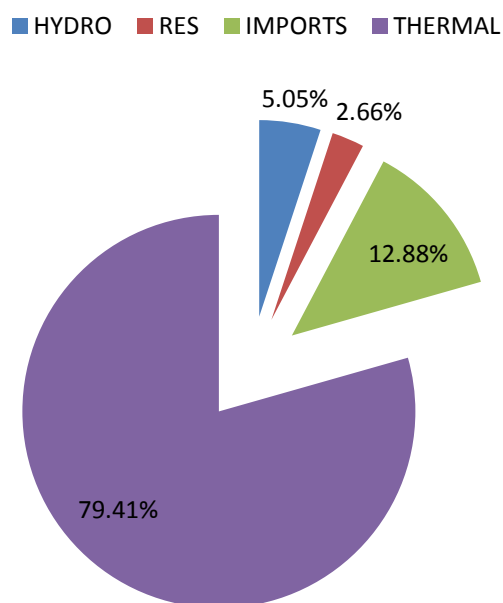




Σχήμα 6.2α,β,γ,δ Παραγόμενη ενέργεια ανά περιόδους – 2008

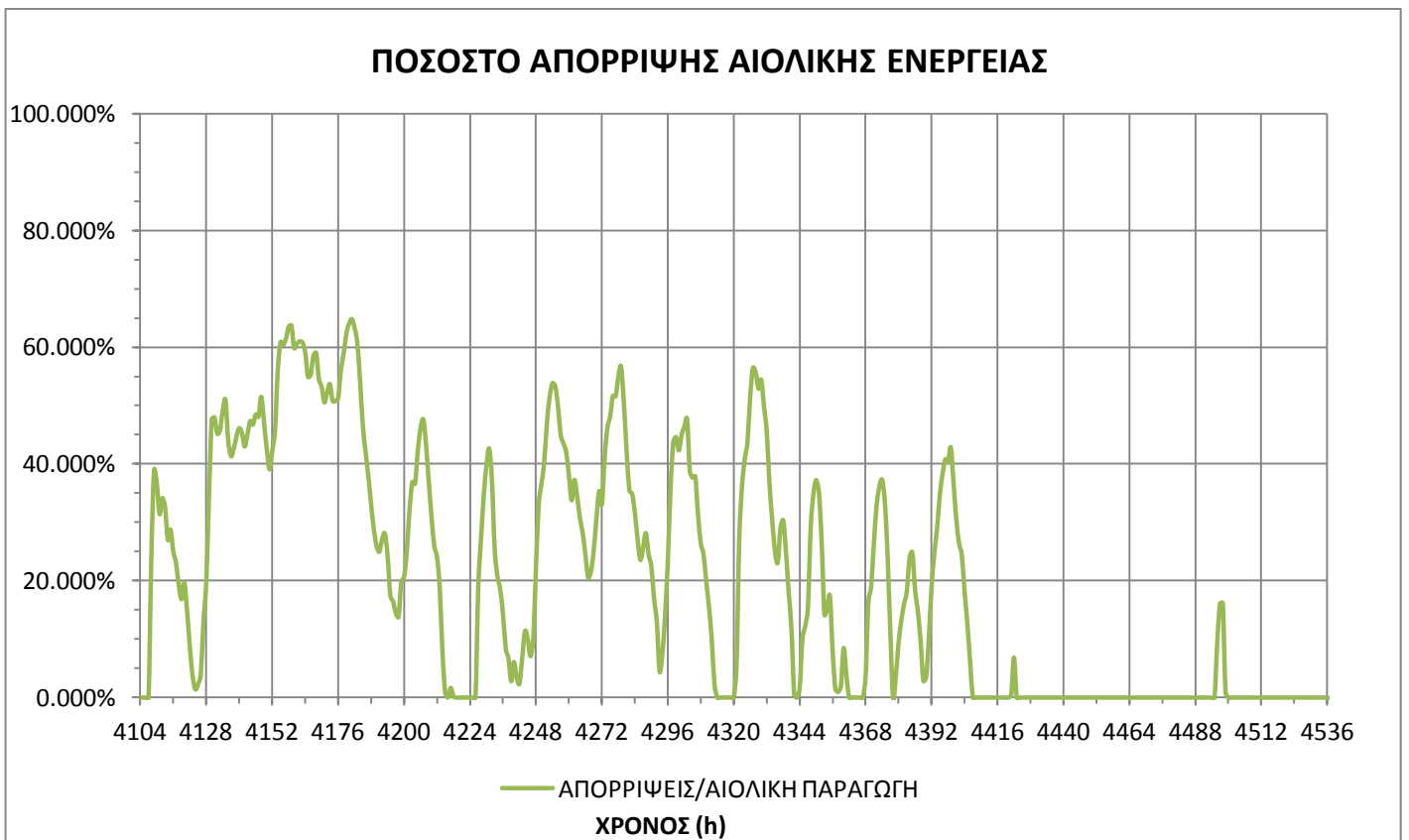
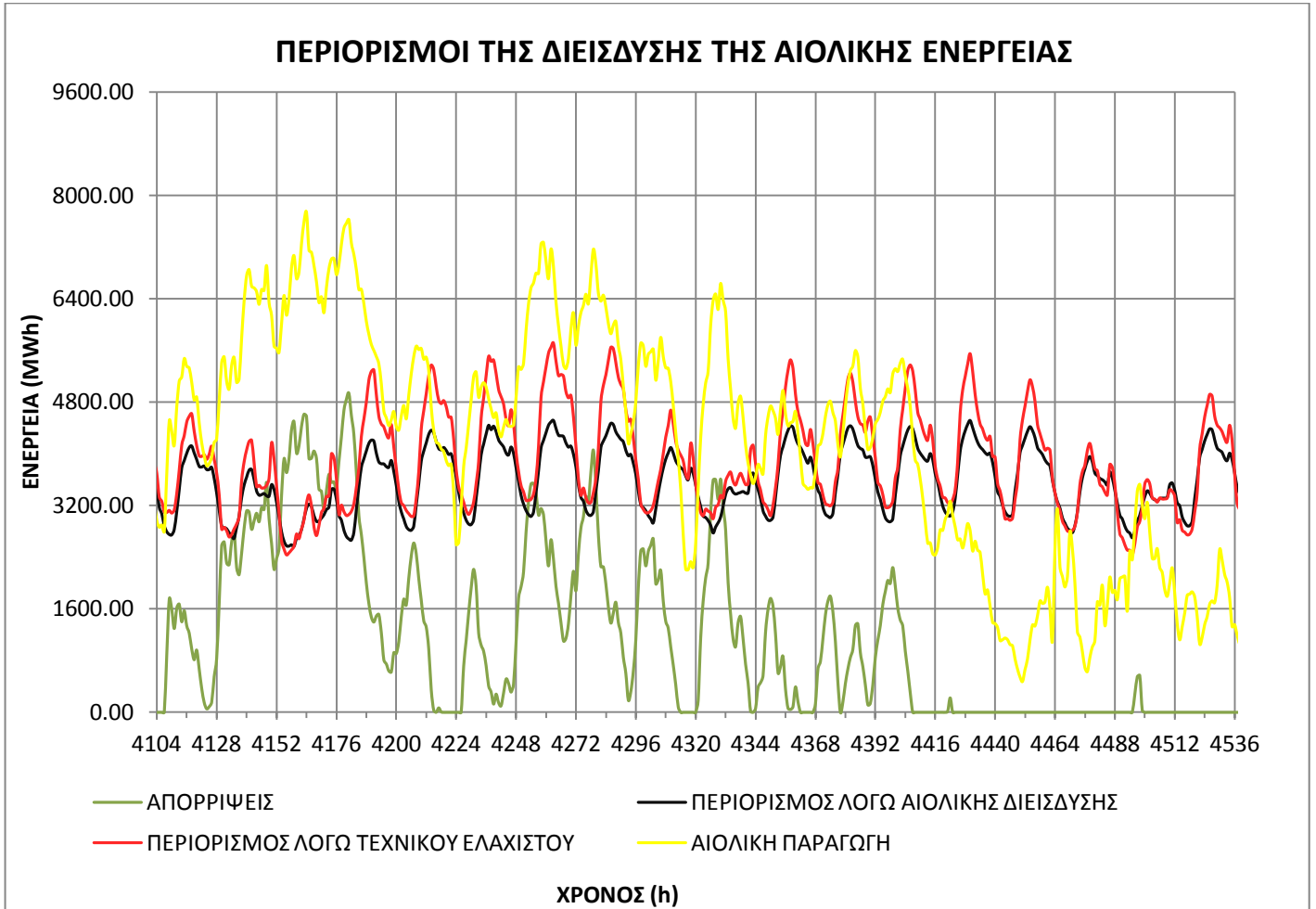
Κεφ.6^ο – Παρουσίαση Αποτελεσμάτων

Τέλος σε ένα συγκεντρωτικό διάγραμμα (Σχ. 6.3) φαίνεται ποσοστιαία η συνολική εγχώρια παραγωγή.



Σχήμα 6.3 Κατανομή παραγόμενης ενέργειας - 2008

Στη συνέχεια και με βάση τους περιορισμούς που αναφέρθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο υπολογίσαμε τις αιολικές απώλειες για διάφορες τιμές του $R_{w/L}$. Συγκεκριμένα για $R_{w/L} = 190\%$ έχουμε το παρακάτω διάγραμμα:



Σχήμα 6.4α,β Περιορισμοί διείσδυσης και απορρίψεις Αιολικής ενέργειας

Παρατηρούμε ότι σε αυτήν την περίπτωση η απορριπτόμενη αιολική ενέργεια φτάνει στιγμιαία έως και το 60%. Το μεγαλύτερο μέρος αυτής της απόρριψης λαμβάνει μέρος τις βραδινές ώρες χαμηλής ζήτησης, όπου το φορτίο εμφανίζει κοιλίες, οπότε περιορίζεται και το περιθώριο αιολικής διείσδυσης, και οι θερμοκοί σταθμοί λειτουργούν πιο κοντά στα τεχνικά τους ελάχιστα. Αντίθετα, η αιολική παραγωγή στις αντίστοιχες ώρες συχνά έχει αρκετά αυξημένες τιμές και δύσκολα απορροφάται. Το σύστημα αντλησιοταμίευσης μπορεί να πλεονεκτεί, καθώς αυτές τις ώρες αγοράζει από το δίκτυο σε πολύ χαμηλή τιμή την ενέργεια που έτσι κι αλλιώς θα απορριπτόταν και την αποταμιεύει για να την αποδώσει στο σύστημα όταν η ζήτηση είναι αυξημένη.

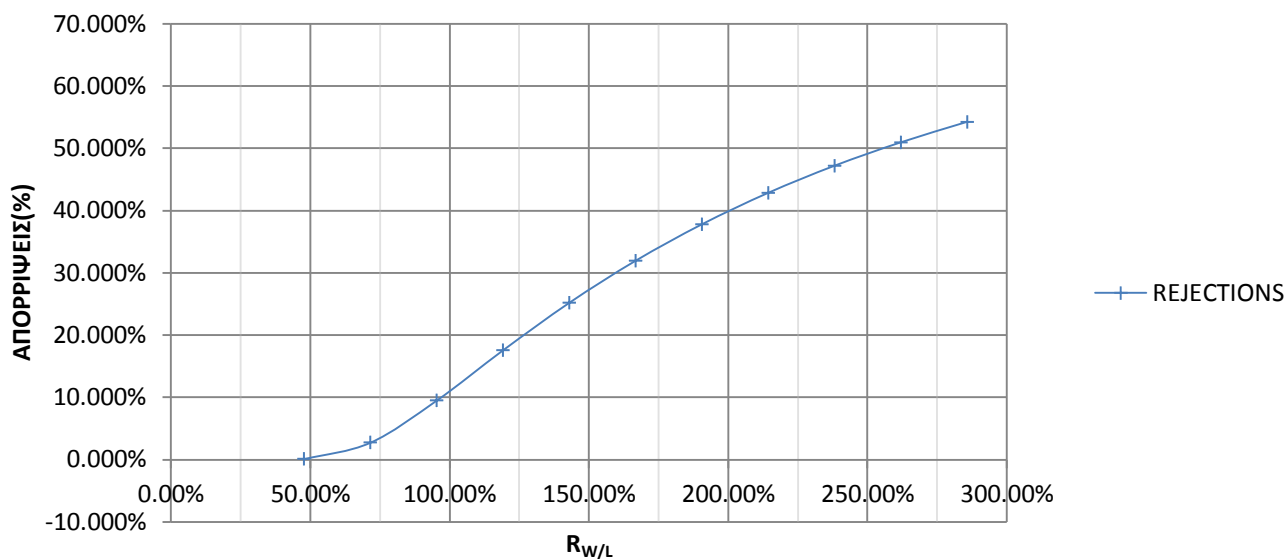
Συγκεντρωτικά έχουμε τον παρακάτω πίνακα με το αντίστοιχο διάγραμμα, όπου το ποσοστό των απορρίψεων είναι ως προς την συνολική αιολική παραγωγή:

$R_{w/L}$	WIND PRODUCTION (MWh)	REJECTIONS (MWh)	REJECTIONS (%)
47.62%	7,832,257.23	7,820.64	0.100%
71.43%	11,748,385.85	321,234.97	2.734%
95.24%	15,664,514.47	1,486,282.29	9.488%
119.05%	19,580,643.09	3,435,925.16	17.548%
142.86%	23,496,771.70	5,915,435.19	25.176%
166.67%	27,412,900.32	8,749,901.12	31.919%
190.48%	31,329,028.94	11,831,996.98	37.767%
214.29%	35,245,157.56	15,090,385.94	42.815%
238.10%	39,161,286.17	18,469,805.29	47.163%
261.90%	43,077,414.79	21,933,763.52	50.917%
285.71%	46,993,543.41	25,471,512.47	54.202%

Πίνακας 6.1 Αιολική ενέργεια και απορρίψεις ανάλογα με το $R_{w/L}$

Είναι εμφανές ότι για $R_{w/L} = 130\%$ οι απώλειες ενέργειας υπερβαίνουν το 20% και δεν μπορεί να αγνοηθούν, ενώ όσο αυξάνεται ο $R_{w/L}$ αυξάνονται γραμμικά (Σχ. 6.5), το οποίο και καθιστά επιτακτική την εύρεση τρόπου αποτελεσματικής αξιοποίησης αυτών όσο η αιολική και ηλιακή ισχύς διεισδύουν στο εθνικό σύστημα παραγωγής ενέργειας

ΑΠΟΡΡΙΨΕΙΣ



Σχήμα 6.5 Ποσοστό απόρριψης αιολικής ενέργειας ανάλογα με το $R_{w/L}$

6.2 Αποτελέσματα δεύτερου κώδικα

6.2.1 Γενικά

Το σύστημα που εξετάζεται λοιπόν παραλαμβάνει και εφόσον έχει τη δυνατότητα αποθηκεύει αυτήν την απορριπτόμενη ενέργεια. Ο δεύτερος κώδικας υπολογίζει αυτήν την ενέργεια με βάση τη μεθοδολογία και τους περιορισμούς που αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο 5.2. Επιλέχθηκαν τέσσερις λόγοι $R_{w/L}$, για τους οποίους πρώτα έτρεξε ο πρώτος υπολογιστικός κώδικας για να υπολογιστεί το ποσό της εκτιμώμενης κάθε φορά παραγόμενης αιολικής ενέργειας και το αντίστοιχο ποσό των απωλειών σε ωριαία βάση, και στη συνέχεια ο εξεταζόμενος εδώ. Οι συγκεκριμένοι $R_{w/L}$ 48%, 95%, 143% και 190% καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα πιθανής αύξησης αιολικής και ηλιακής ισχύος σε βάθος 40ετίας, σύμφωνα και με τα αναφερόμενα στο έβδομο κεφάλαιο. Σημειώνεται ότι σήμερα είναι περίπου 25%. Τα αποτελέσματα του κώδικα, δηλαδή η αντλούμενη ενέργεια, η αποταμιευμένη ενέργεια, η παραγόμενη ενέργεια σε ωριαία και ετήσια βάση για κάθε εκτέλεση παρουσιάζονται στα κεφάλαια 6.2.3 και 6.2.4.

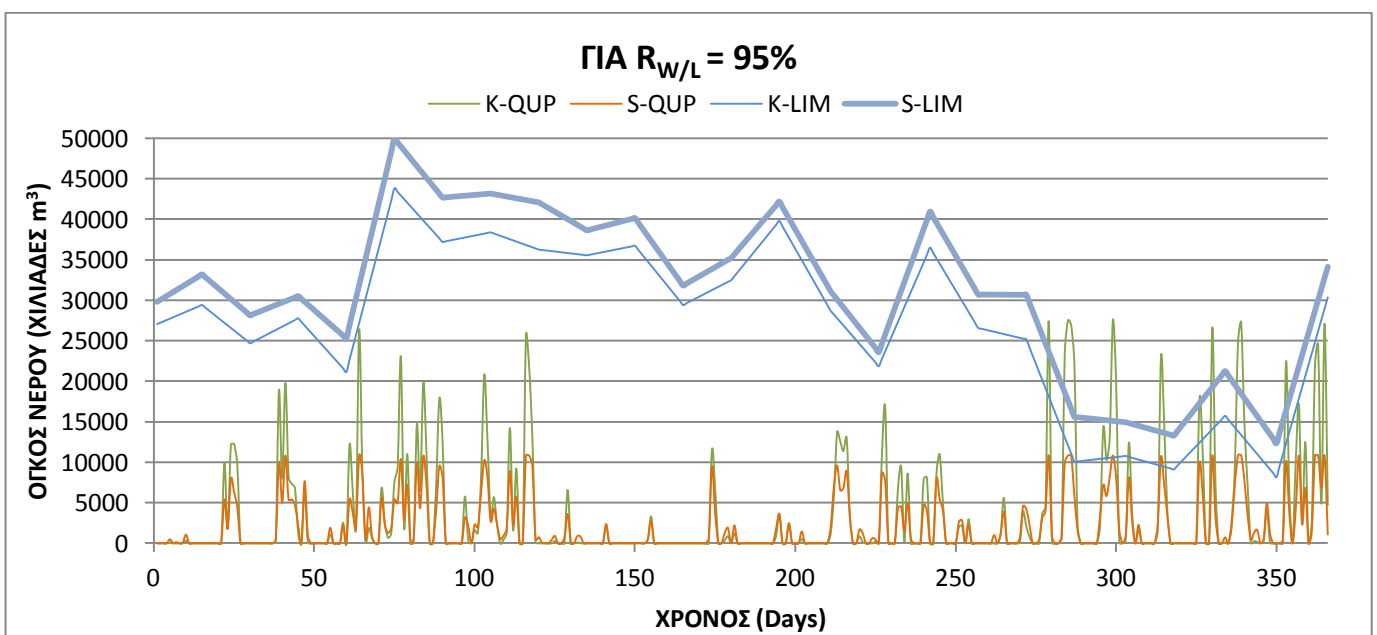
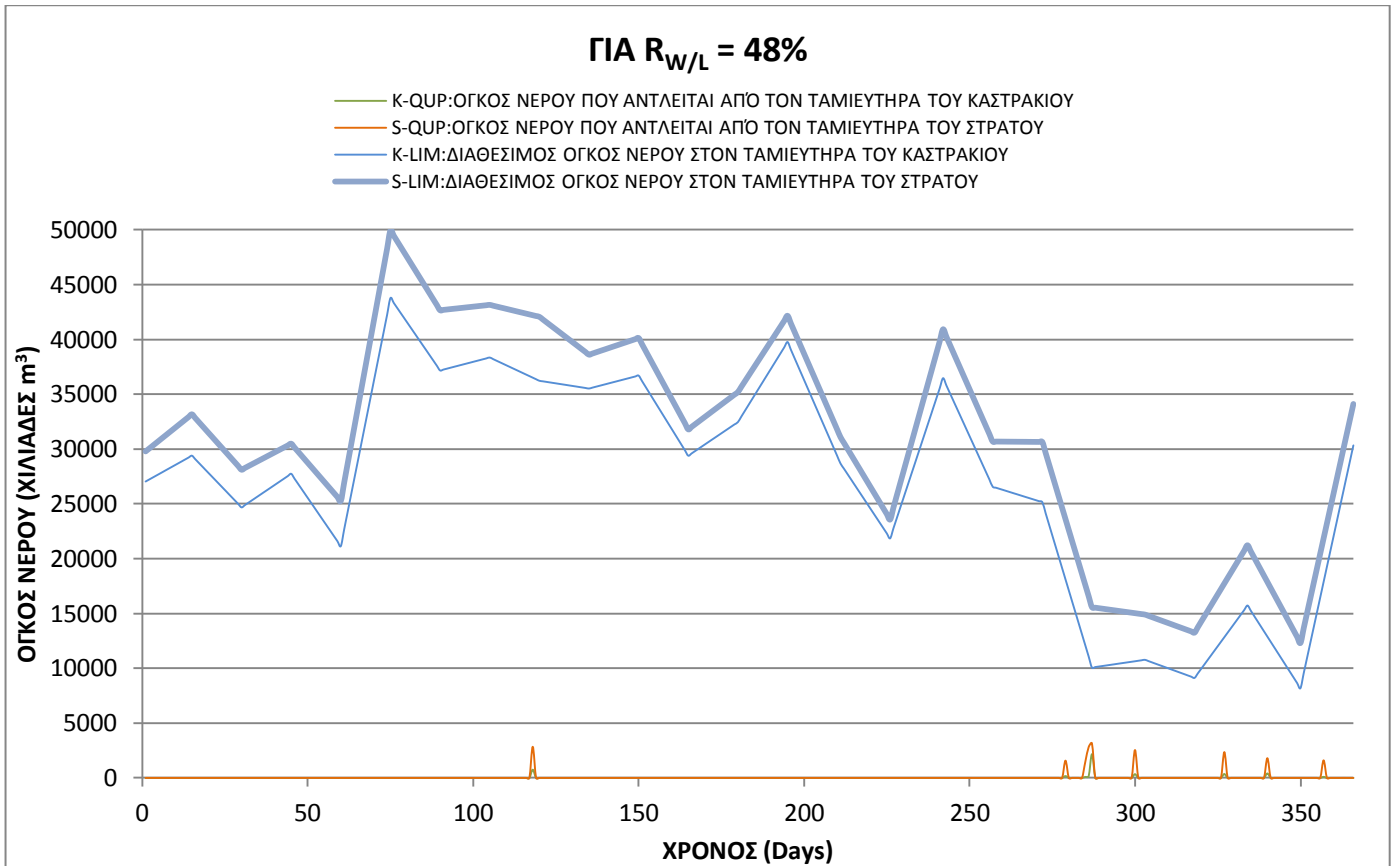
6.2.2 Επάρκεια νερού κάτω ταμιευτήρων

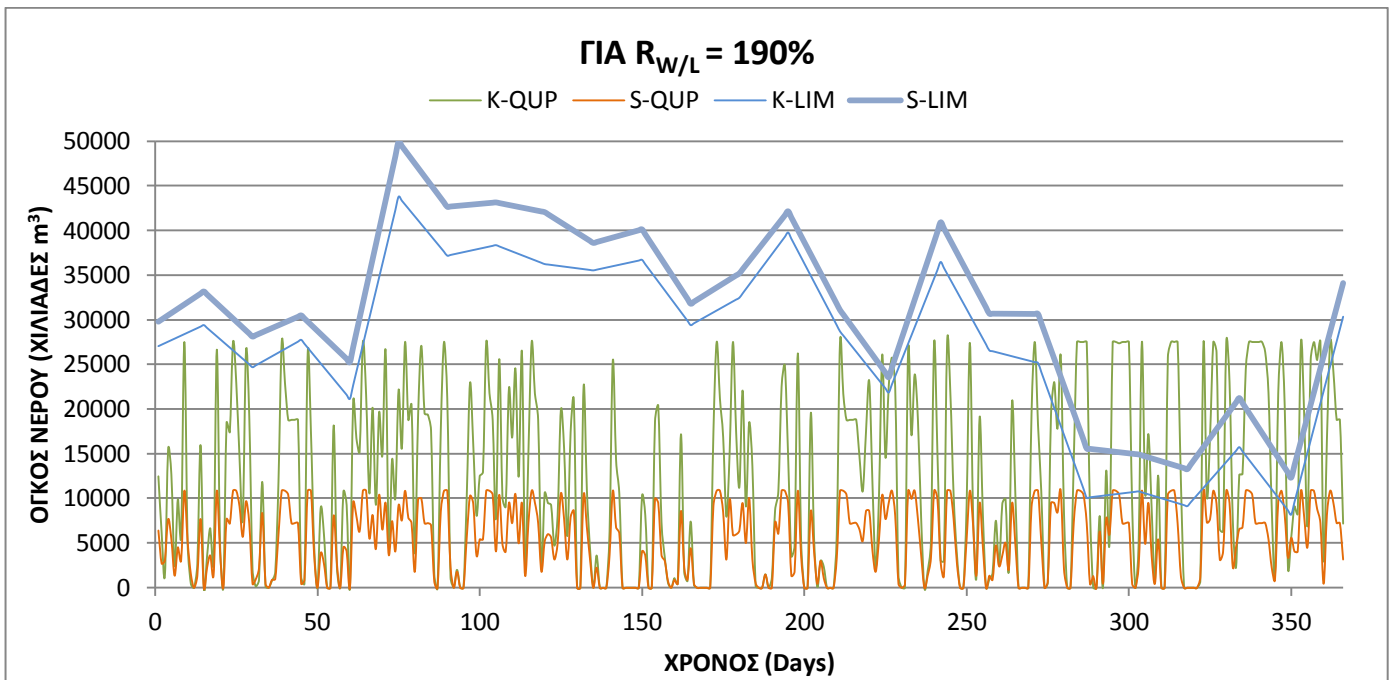
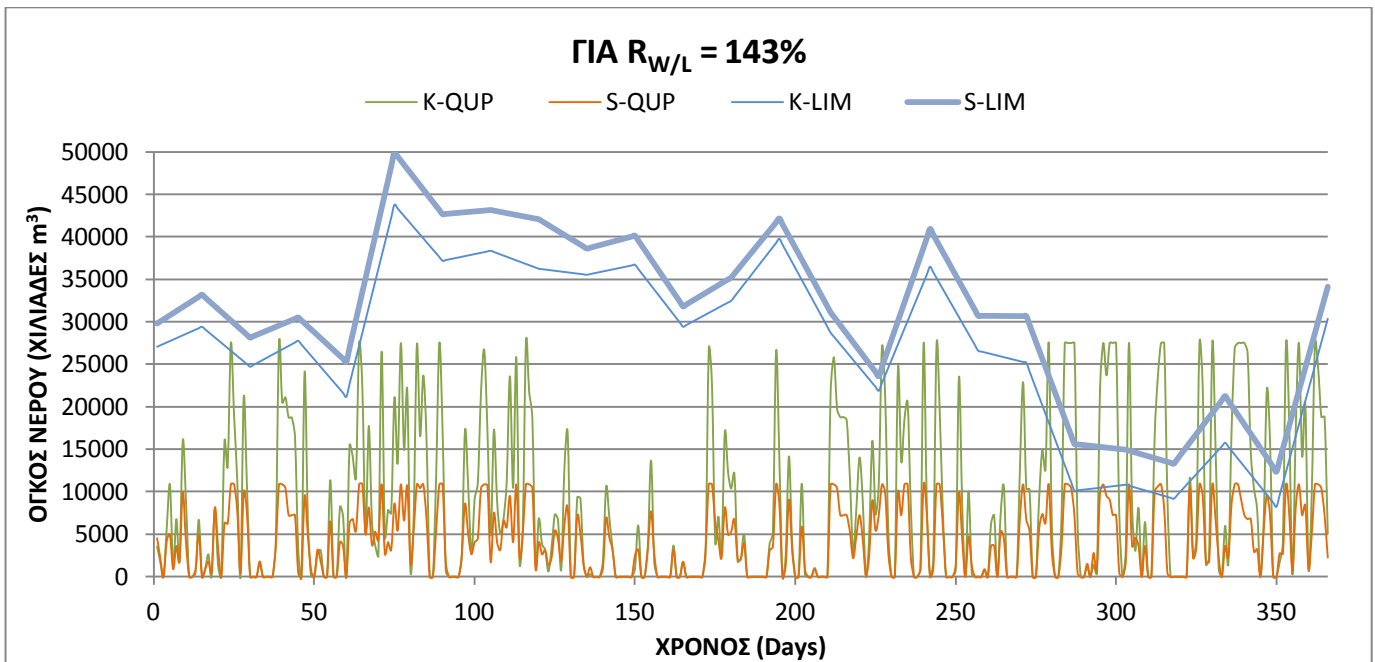
Ένα από τα στοιχεία του συστήματος είναι ο σεβασμός και η προσπάθεια ελαχιστοποίησης της επίδρασης προς το υπάρχον φυσικό υποσύστημα της περιοχής, το οποίο επιτυγχάνεται εξασφαλίζοντας τα επίπεδα των στάθμων των ταμιευτήρων σε ημερήσια βάση. Δηλαδή στόχος είναι η ποσότητα υδάτων που αντλείται να επιστρέφει αξιοποιούμενη στον κάτω ταμιευτήρα κατά τη διάρκεια της ημέρας. Για το λόγο αυτό και με δεδομένα τις τιμές της στάθμης των ταμιευτήρων Στράτου και Καστρακίου για κάθε δεκαπενθήμερο του έτους 2008, υπολογίστηκαν ενδεικτικά με γραμμική αναγωγή πρώτα οι εν λόγω στάθμες για κάθε ημέρα του

Κεφ.6^ο – Παρουσίαση Αποτελεσμάτων

έτους κι έπειτα οι αντίστοιχοι όγκοι. Στη συνέχεια, κάθε ημέρα γίνεται έλεγχος του ανερχόμενου μέσω άντλησης όγκου υδάτων από όλους τους σταθμούς (γνωρίζοντας την ισχύ άντλησης, το υδραυλικό ύψος πτώσης, τους βαθμούς απόδοσης, υπολογίζεται το σημείο λειτουργίας) να μην υπερβαίνει τον θεωρητικά υπολογισθέντα διαθέσιμο φυσικό όγκο του κάθε φορά κάτω ταμιευτήρα, αφήνοντας και ένα περιθώριο για εξασφάλιση. Σε διαφορετική περίπτωση η άντληση διακόπτεται.

Προκύπτουν λοιπόν τα παρακάτω διαγράμματα για διάφορες τιμές του λόγου $R_{w/L}$:





Σχήμα 6.β,γ,δ Διαθέσιμος όγκος νερού Στράτου – Καστρακίου ανάλογα με το R_{WL}

Το ποσοστό των ημερών που εμφάνισαν εξάντληση υδάτινων αποθεμάτων είναι:

- 0% για $R_{WL}=48\%$,
- 4,9% για $R_{WL}=95\%$,
- 10,7% για $R_{WL}=143\%$ και
- 14,5% για $R_{WL}=190\%$

Όπως είναι προφανές κι εποπτικά από τα διαγράμματα με την αύξηση του R_{WL} , άρα των απορρίψεων ΑΠΕ και άρα της λειτουργίας του συστήματος αντλιοσταμίου, είναι πιο συχνό

το φαινόμενο της εξάντλησης των υδάτινων αποθεμάτων των κάτω ταμιευτήρων και ειδικότερα αυτού του Καστρακίου. Αυτό μπορεί να φαίνεται παράδοξο, καθώς ο ταμιευτήρας του Στράτου είναι αρκετά μικρότερος, αλλά στον αλγόριθμο του υπολογιστικού κώδικα θεωρείται δυνατή η ανακύκλωση ύδατος από τον άνω ταμιευτήρα του Καστρακίου όποτε αυτό καταστεί απαραίτητο κι εφόσον υπάρχει υδατικό διαθέσιμο.

Επίσης, γίνεται εμφανές ότι ο περιορισμός αυτός εντείνεται τους δύο τελευταίους μήνες του έτους, καθώς τότε η στάθμη των ταμιευτήρων είναι ακόμη αρκετά πιο χαμηλή. Οπότε είναι λιγότερος και ο διαθέσιμος προς μετατόπιση και «μεταφορά ενέργειας» όγκος υδάτων. Αυτό οφείλεται στο ότι δεν έχουν λάβει ακόμη χώρα αρκετές βροχοπτώσεις, έτσι ώστε να γίνει πλήρωση των ταμιευτήρων.

6.2.3 Ενεργειακά αποτελέσματα συστήματος

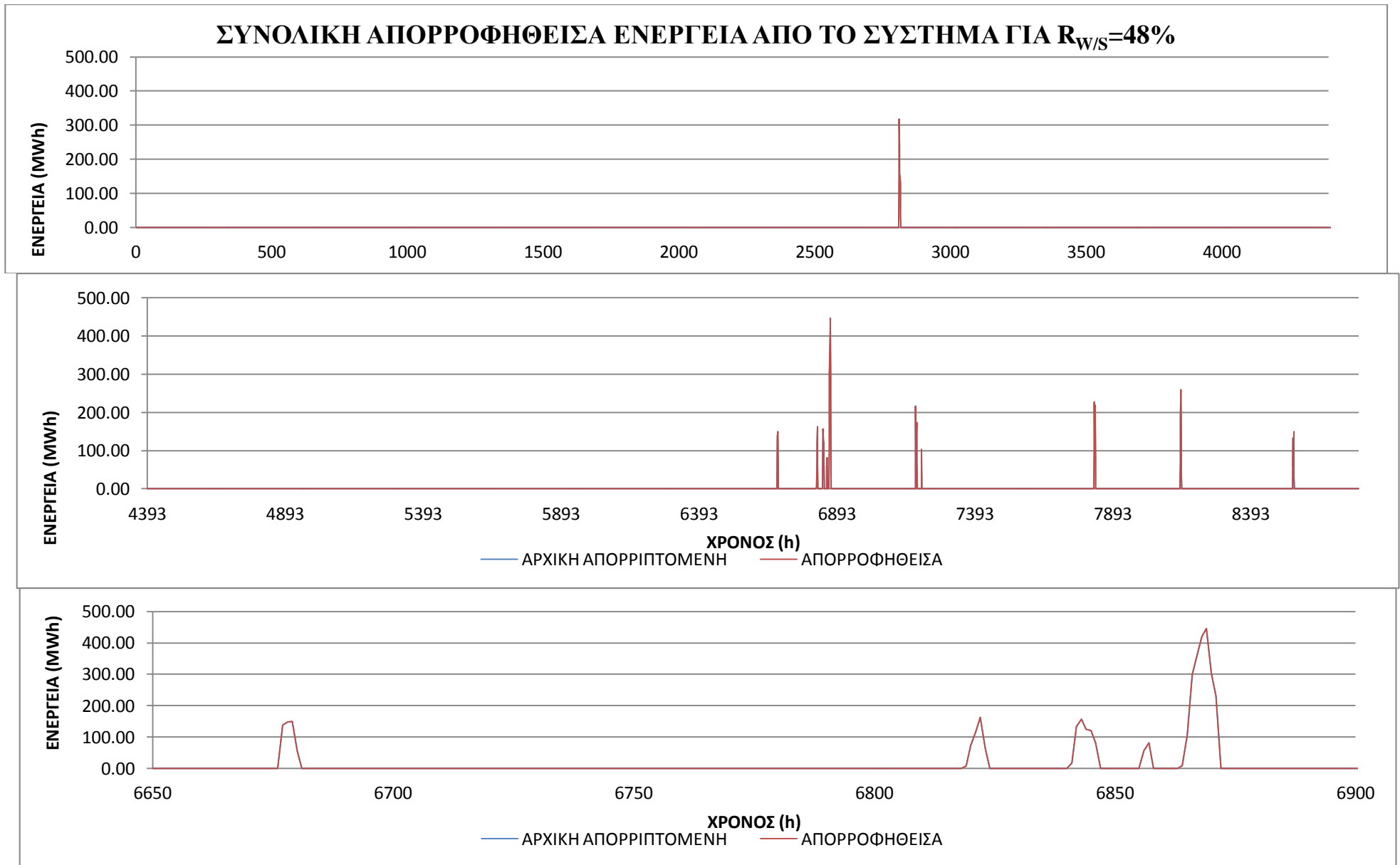
Παρακάτω θα παρουσιαστούν τα πιο ενδιαφέροντα αποτελέσματα για κάθε λόγο $R_{w/L}$ και πιο συγκεκριμένα τα εξής ετήσια διαγράμματα:

- Ετήσια απορρόφηση ενέργειας από την αρχικά απορριπτόμενη
- Απορρόφηση ενέργειας μέσω άντλησης ανά σταθμό
- Συμμετοχή κάθε ταμιευτήρα στην άντληση
- Παραγωγή ενέργειας ανά ταμιευτήρα

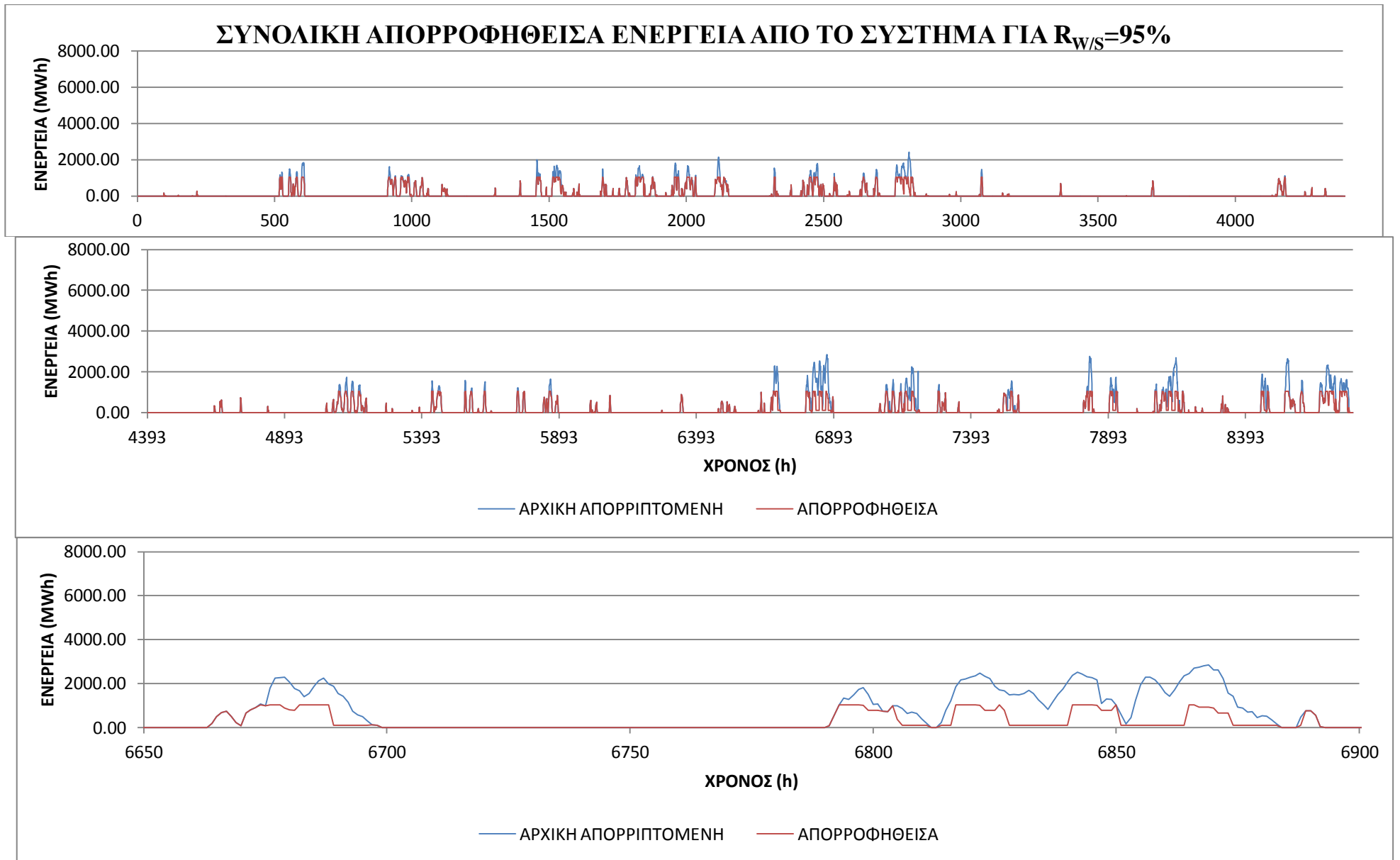
Για λόγους ευκρίνειας, λόγω του πολύ μεγάλου αριθμού των σημείων των διαγραμμάτων (8784 τιμές), όπου απαιτείται, αμέσως μετά από κάθε διάγραμμα δίνεται και σχολιάζεται και ένα διάγραμμα για συγκεκριμένη χρονική περίοδο (ενδεικτικά επιλέχθηκε η περίοδος από 6650 έως 6900 ώρες) στην οποία υπάρχουν πιο έντονες διακυμάνσεις και στο οποίο φαίνονται πιο καθαρά κάποια χαρακτηριστικά των περιγραφόμενων μεγεθών.

6.2.3.1 Γενικά

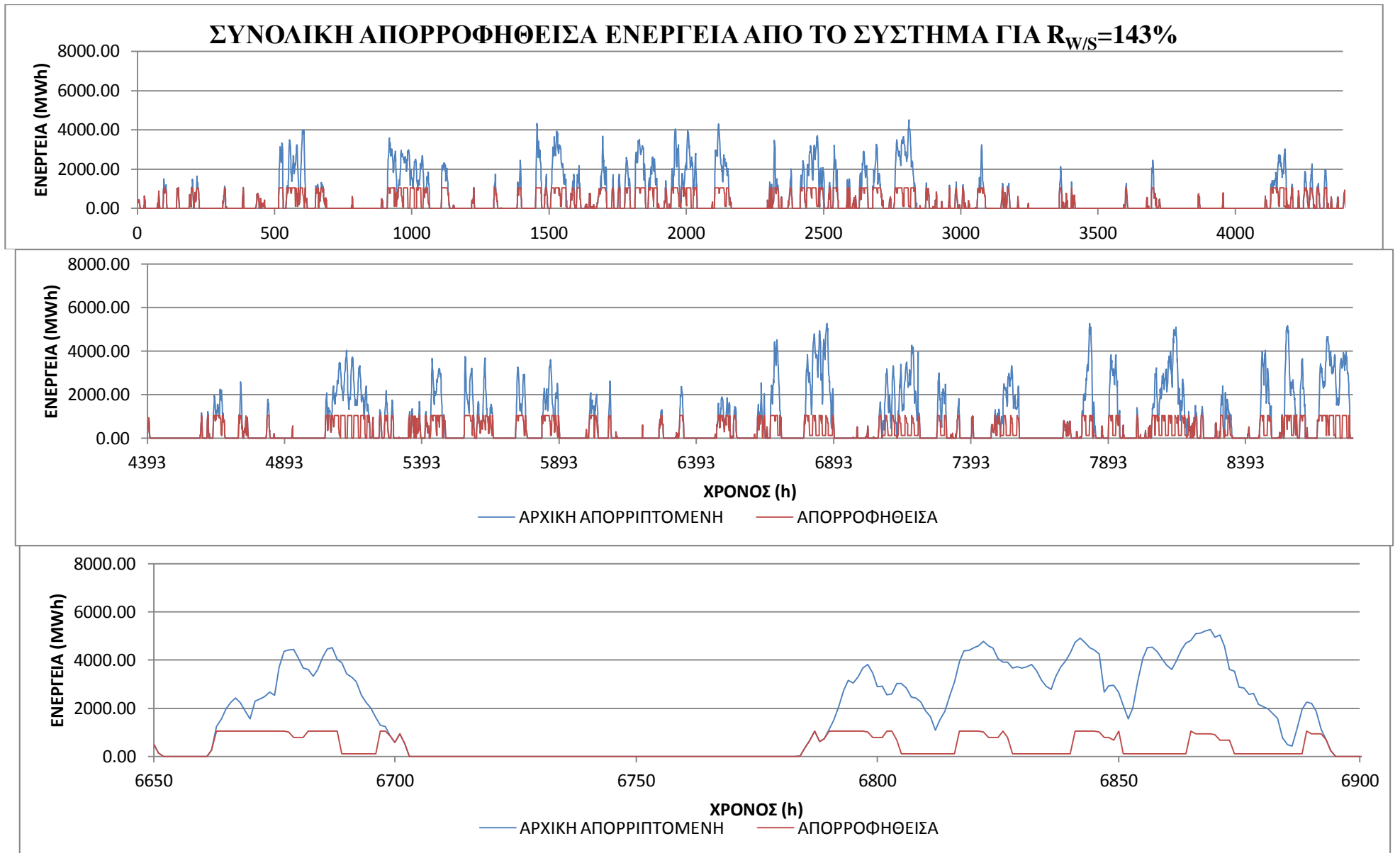
Αρχικά παρατίθενται τα διαγράμματα της συνολικής ενέργειας που απορροφά το σύστημα αντλησιοταμίευσης από τις αρχικές απορρίψεις, στα οποία φαίνεται σε πρώτη φάση η συνολική αποδοτικότητα του συστήματος.



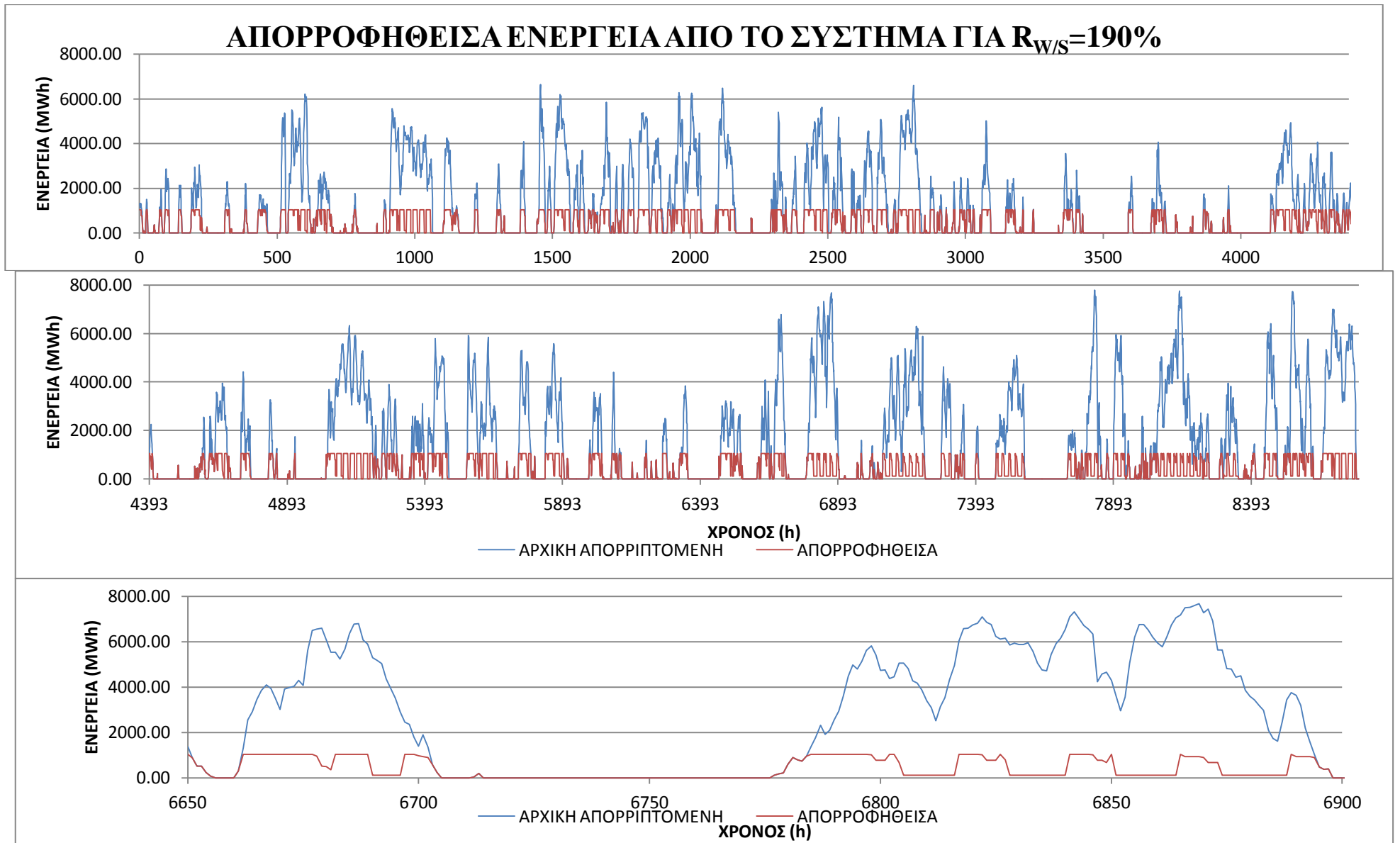
Σχήμα 6.7α,β,γ Συνολική απορροφηθείσα ενέργεια από το σύστημα για $R_{WL} = 48\%$



Σχήμα 6.8α,β,γ Συνολική απορροφηθείσα ενέργεια από το σύστημα για $R_{WL} = 95\%$



Σχήμα 6.9α,β,γ Συνολική απορροφηθείσα ενέργεια από το σύστημα για $R_{w/L} = 143\%$



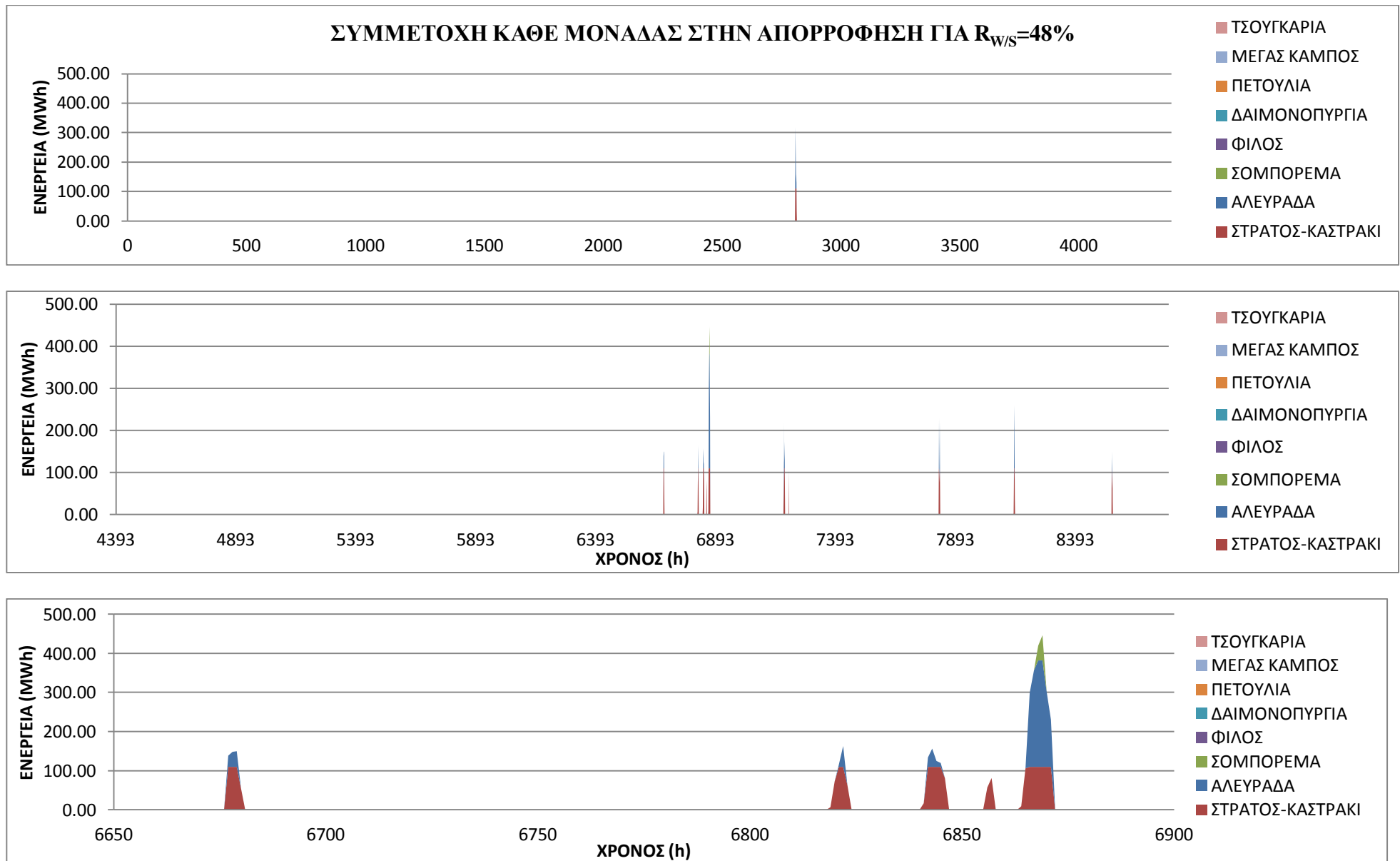
Σχήμα 6.10α,β,γ Συνολική απορροφηθείσα ενέργεια από το σύστημα για $R_{w/L} = 190$

Το πρώτο που παρατηρείται στα διαγράμματα 6.7 είναι ότι για $R_{w/L} = 48\%$ η λίγη απορριφθείσα ενέργεια απορροφάται εξολοκλήρου από το σύστημα. Στα διαγράμματα 6.8 για $R_{w/L} = 95\%$ το σύστημα εκμεταλλεύεται το μεγαλύτερο μέρος από τις απορρίψεις (70.75%). Στα υπόλοιπα διαγράμματα είναι προφανές ότι η αποτελεσματικότητα του συστήματος μειώνεται καθώς οι απώλειες τις αιολικής έχουν αυξηθεί σε τέτοιο βαθμό που ενώ χρησιμοποιούνται όλες οι μονάδες και συχνά μάλιστα οι αντλητικοί σταθμοί λειτουργούν στη μέγιστη ισχύ τους (η μέγιστη αντλητική ισχύς του συστήματος είναι 1040MW, που φαίνεται σαν ανώτατο όριο σε όλα τα παραπάνω διαγράμματα) ένα μεγάλο ποσοστό της παραληφθείσας ενέργειας παραμένει απώλεια. Στο τελευταίο διάγραμμα παρατηρείται επίσης ότι πέρα από την αύξηση του πλάτους των αιχμών που έτσι κι αλλιώς παραμένουν ανεκμετάλλευτες, αυξάνεται και η συχνότητά τους και για το λόγω αυτό το σύστημα λειτουργεί περισσότερο χρόνο μέσα στο έτος, γεγονός που αυξάνει τη συνολική αντλούμενη ενέργεια άρα και το βαθμό χρησιμοποίησής του (βαθμός χωρητικότητας), όπως θα φανεί και στο κεφάλαιο 7.

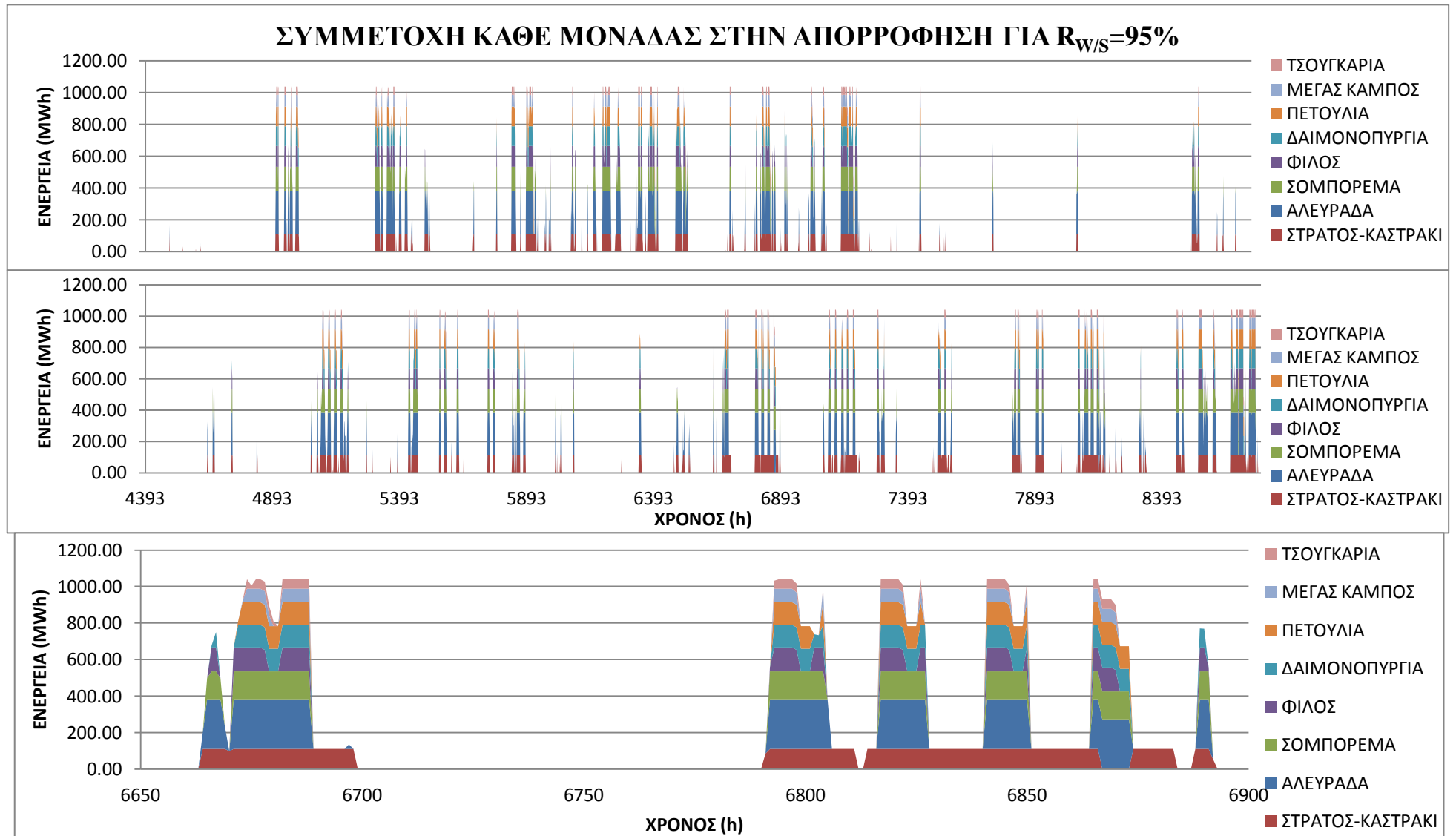
Όσον αφορά τα διαγράμματα με μεγαλύτερη ευκρίνεια φαίνεται πως εφόσον υπάρχει διαθέσιμη απορριφθείσα ενέργεια το σύστημα λειτουργεί με τη μέγιστη δυνατή ισχύ το περισσότερο χρόνο μέσα στο έτος πλην κάποιων διαστημάτων που η λειτουργία διακόπτεται ολικά ή μερικά εξαιτίας των περιορισμών που έχουν αναλυθεί. Συγκεκριμένα ποιος ταμιευτήρας και για ποια αιτία υπολειτουργεί θα σημειωθεί στο επόμενο υποκεφάλαιο.

6.2.3.2 Αναλυτικά αποτελέσματα άντλησης

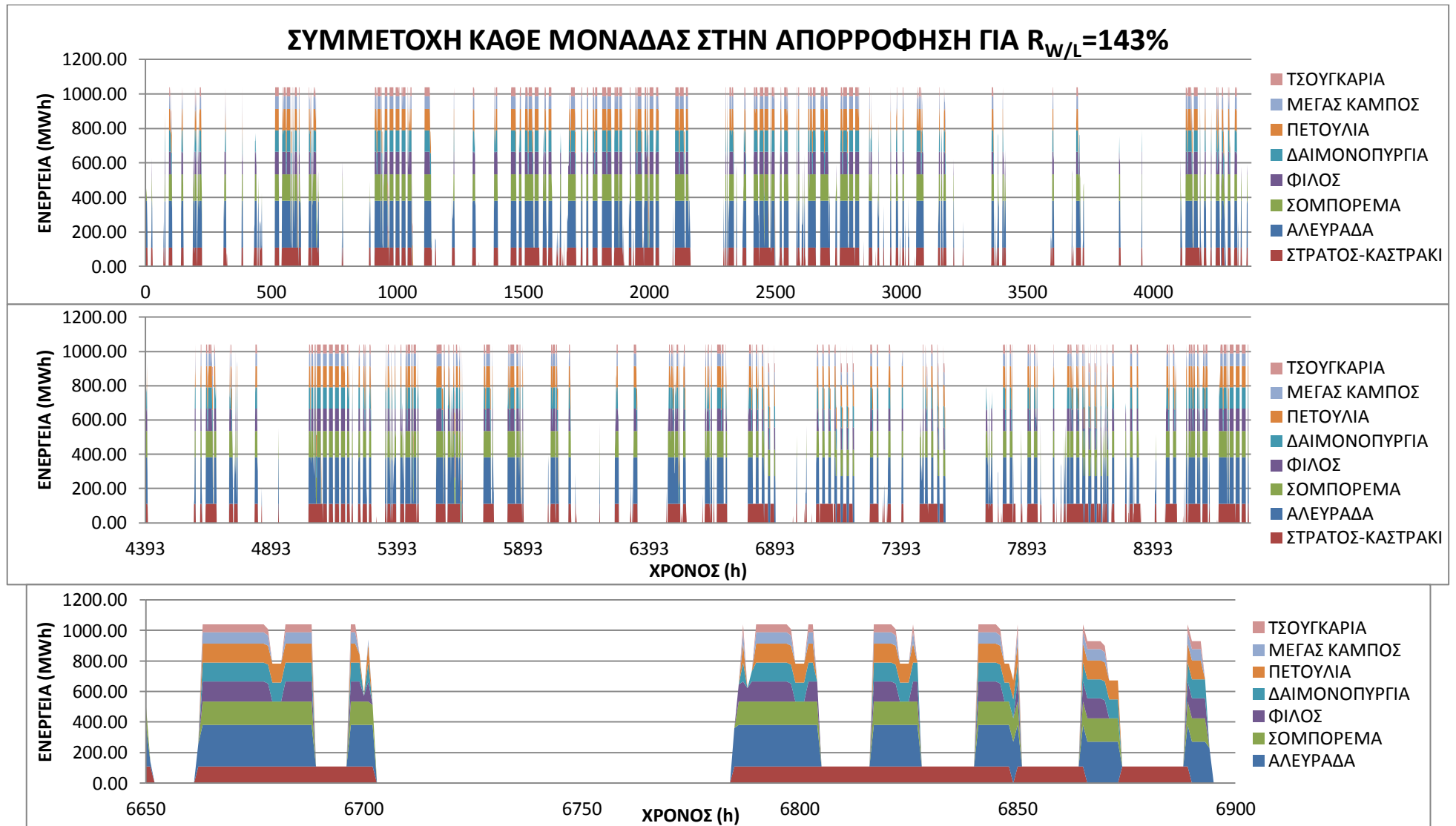
Οι καμπύλες της εκμεταλλεζόμενης ενέργειας που αναφέρθηκαν προηγουμένως αναλύονται στα παρακάτω διαγράμματα, κύρια χαρακτηριστικά των οποίων είναι ο βαθμός στον οποίο συμμετέχει η κάθε μονάδα στη συνολική αντλητική ισχύ, το μερίδιο που απορροφάει από την απορριπτόμενη ενέργεια καθώς και η προτεραιότητα με την οποία εντάσσονται στο σύστημα.



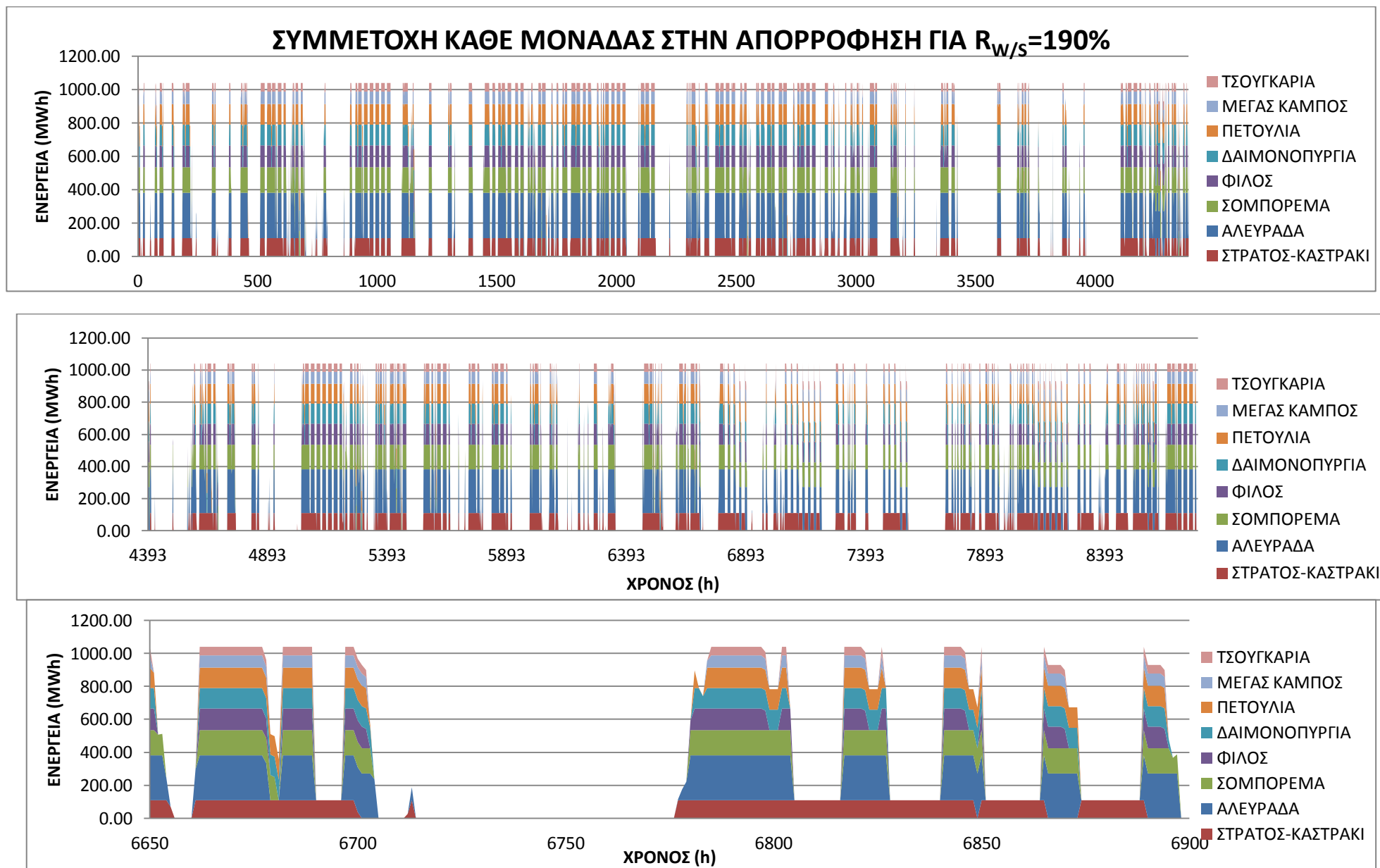
Σχήμα 6.11α,β,γ Συμμετοχή κάθε μονάδας στην απορρόφηση για $R_{w/L} = 48\%$



Σχήμα 6.12α,β,γ Συμμετοχή κάθε μονάδας στην απορρόφηση για $R_{w/L} = 95\%$



Σχήμα 6.13α,β,γ Συμμετοχή κάθε μονάδας στην απορρόφηση για $R_{w/L} = 143\%$

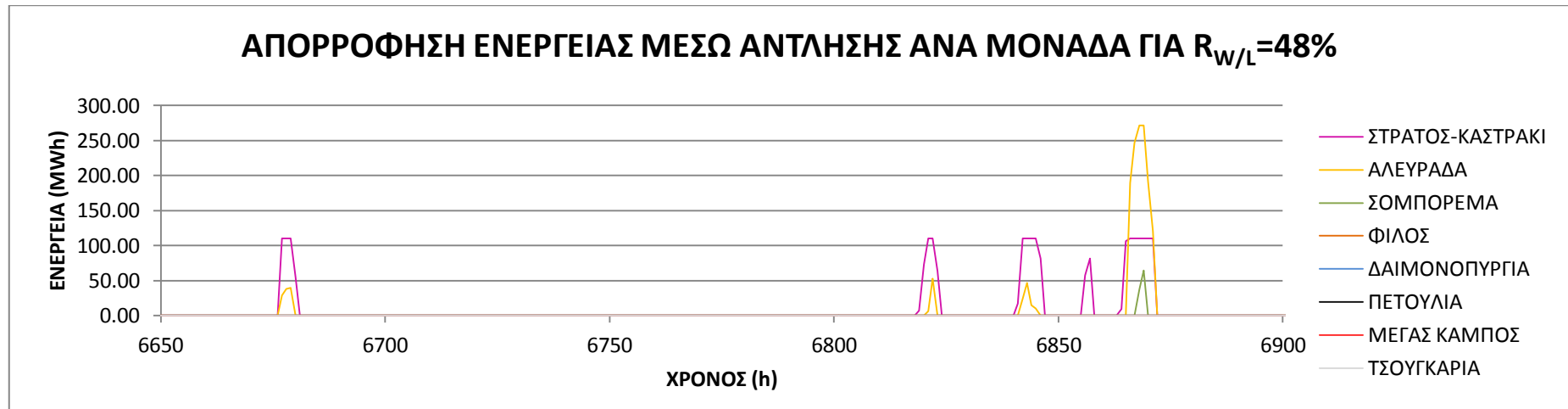


Σχήμα 6.14α,β,γ Συμμετοχή κάθε μονάδας στην απορρόφηση για $R_{WL} = 190\%$

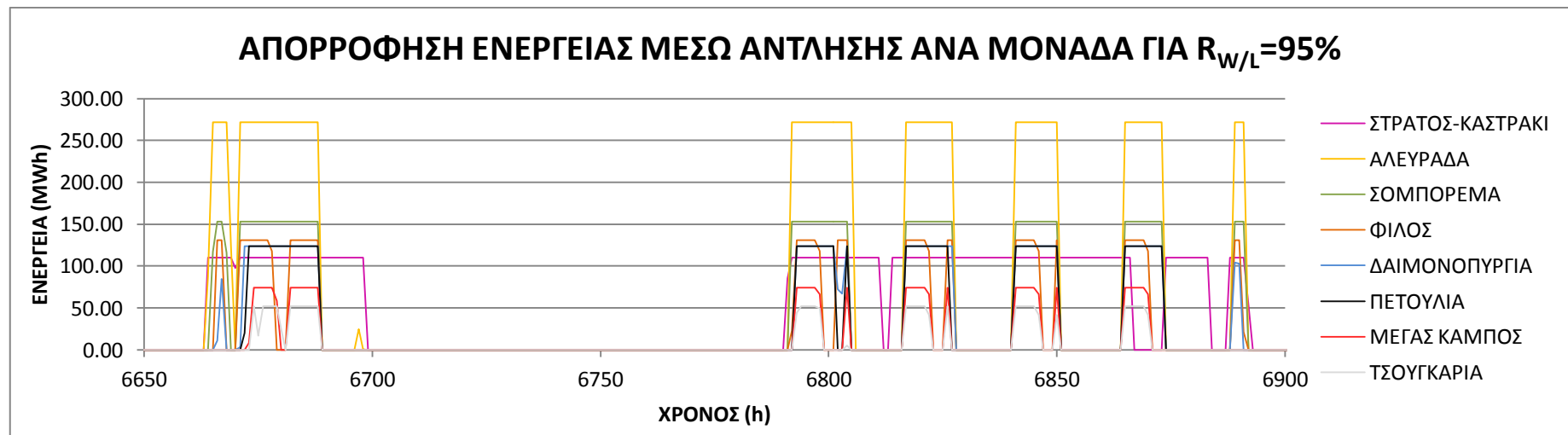
Στα διαγράμματα 6.11α,β παρατηρείται ότι όλες οι απορρίψεις αξιοποιούνται μόλις από τις δύο πρώτες μονάδες. Οι υπόλοιπες μονάδες δε λειτουργούν καθόλου καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Γενικά, εύκολα διαπιστώνεται ότι για $R_{w/L} = 48\%$ δεν έχει καμία αξία η ύπαρξη ενός συστήματος αντλησιοταμίευσης. Στα υπόλοιπα διαγράμματα, είναι εμφανής η εντατικοποίηση της λειτουργίας όλων των μονάδων αυξανόμενου του $R_{w/L}$, για να ανταπεξέλθει το σύστημα στην όσο το δυνατόν αποτελεσματικότερη απορρόφηση ποσών απορριπτόμενης ενέργειας.

Στα αναλυτικότερα διαγράμματα φαίνονται καθαρά οι περιορισμοί που αδρανοποιούν τη λειτουργία κάποιων σταθμών για ορισμένα χρονικά διαστήματα. Για το διάστημα αυτό το αντίστοιχο μερίδιο ενέργειας παραλαμβάνεται από την επόμενη ή τις επόμενες, ακολουθώντας τη σειρά προτεραιότητας, μονάδες. Για παράδειγμα στο διάγραμμα 6.14γ στο χρονικό διάστημα από περίπου 6805 έως 6815 ώρες, η εξάντληση των ημερήσιων φυσικών αποθεμάτων του κάτω ταμιευτήρα του Καστρακίου, που προκαλεί τη διακοπή λειτουργίας όλων των μονάδων 2-8, στο χρονικό διάστημα περί των 6800 ωρών η πλήρωση του μικρού σε χωρητικότητα ταμιευτήρα Φίλος τον κωλύει να συμμετέχει περαιτέρω για να αποφευχθεί η υπερχειλίση και στο χρονικό διάστημα μεταξύ 6860 και 6875 ωρών διακόπτεται η λειτουργία της μονάδας Στράτου-Καστρακίου καθώς δεν είναι διαθέσιμος ο τέταρτος αγωγός του υδροηλεκτρικού σταθμού που είναι απαραίτητος για την άντληση. Αυτό που ξεχωρίζει είναι ότι η μονάδα Στράτου-Καστρακίου επιδέχεται τη λιγότερη επίδραση από περιορισμούς, καθώς δεν αντιμετωπίζει ούτε ενδεχόμενο εξάντλησης του κάτω ταμιευτήρα για το λόγω που επεξηγήθηκε στην ενότητα 6.2.2 αλλά και ο άνω ταμιευτήρας έχει τόσο μεγάλο μέγεθος που ακόμη και αν η μονάδα λειτουργούσε επί 24 ώρες θα αδυνατούσε να τον γεμίσει.

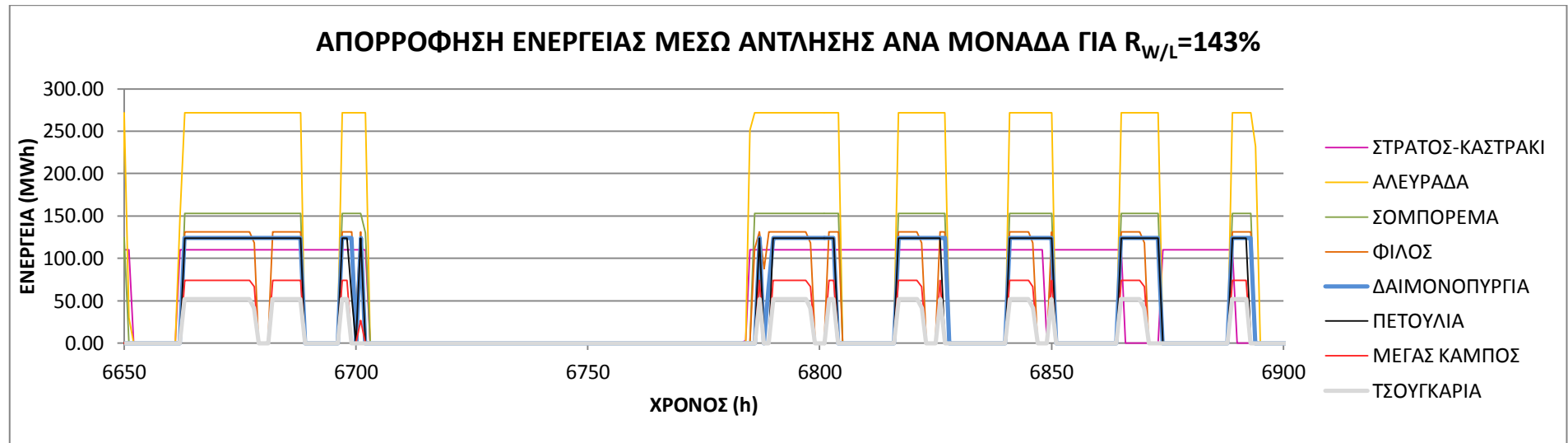
Για να γίνει μία σύγκριση και μεταξύ των μονάδων σχετικά με τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους παρατίθενται τα παρακάτω διαγράμματα άντλησης κάθε μονάδας ξεχωριστά για το χρονικό διάστημα από 6650 έως 6900 ώρες και για τους τέσσερεις λόγους $R_{w/L}$:



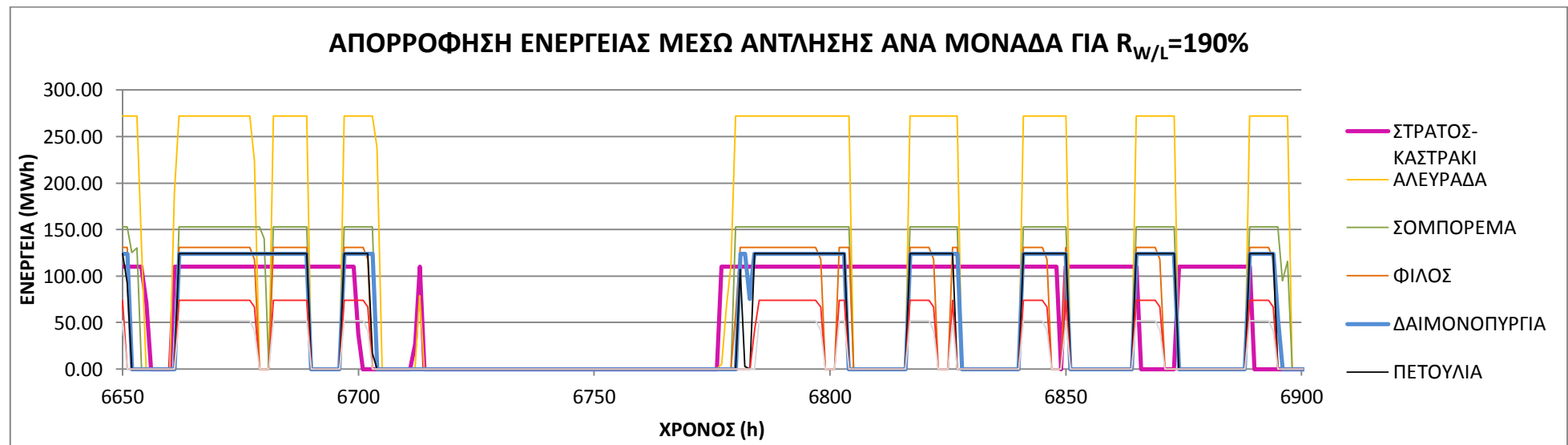
Σχήμα 6.15α Απορρόφηση ενέργειας μέσω άντλησης ανά μονάδα (6650 – 6900 ώρες) για $R_{w/L} = 48\%$



Σχήμα 6.15β Απορρόφηση ενέργειας μέσω άντλησης ανά μονάδα (6650 – 6900 ώρες) για $R_{w/L} = 95\%$



Σχήμα 6.15γ Απορρόφηση ενέργειας μέσω άντλησης ανά μονάδα (6650 – 6900 ώρες) για $R_{w/L} = 143\%$

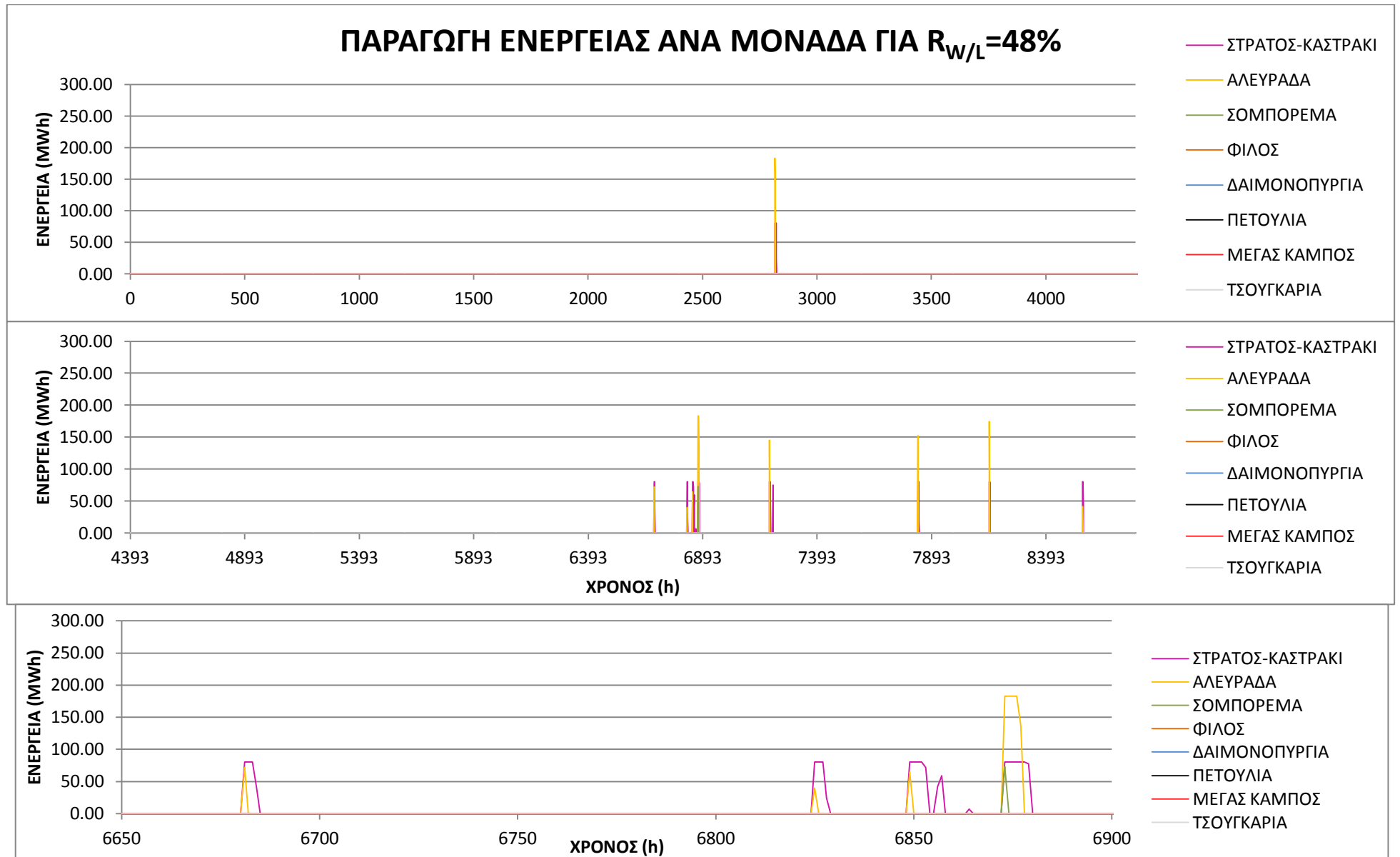


Σχήμα 6.15δ Απορρόφηση ενέργειας μέσω άντλησης ανά μονάδα (6650 – 6900 ώρες) για $R_{w/L} = 190\%$

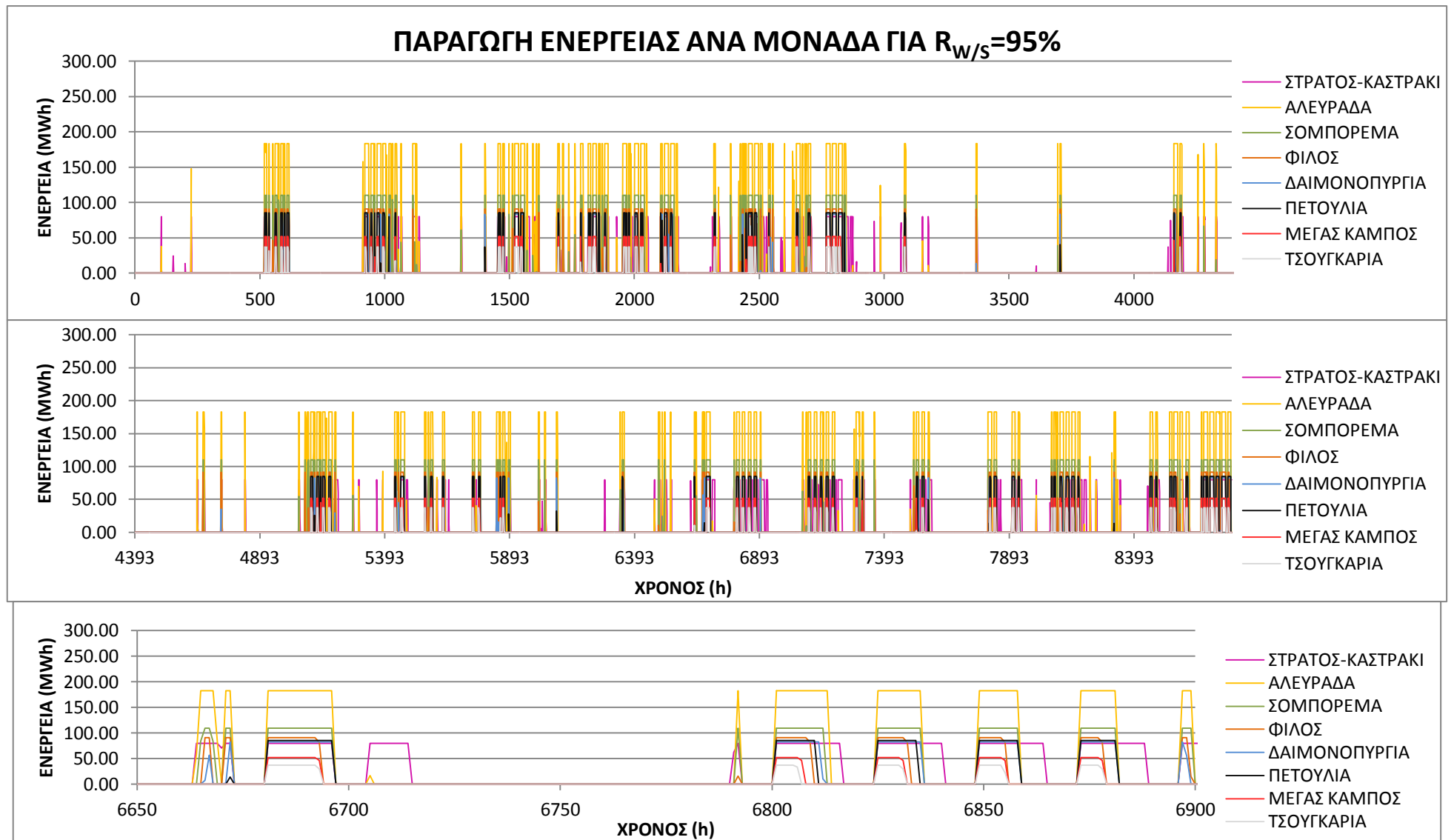
Από τα χαρακτηριστικά λοιπόν των μονάδων με βάση και τον Πίνακα 5.2. είναι πασιφανές ότι η μονάδα της Αλευράδας έχει με διαφορά τη μεγαλύτερη αντλητική ισχύ και σε συνδυασμό με τη μεγαλύτερη χωρητικότητα άνω ταμιευτήρα αποτελεί τη μονάδα με τη σαφώς μεγαλύτερη δυνατότητα ενεργειακής αποταμίευσης. Κατά τα άλλα είναι εμφανές το κριτήριο μεγαλύτερης ισχύος άντλησης για να καθορισθεί η σειρά ένταξης των μονάδων στο σύστημα, πάντα με την εξαίρεση της πρώτης μονάδας λόγω του χαμηλού κόστους εγκατάστασης. Τέλος έχει ήδη επισημανθεί για τη μονάδα του Φίλου ότι παρά τη σχετικά μεγάλη αντλητική ισχύ, σημαντικό μειονέκτημα αποτελεί η μικρή χωρητικότητα του άνω ταμιευτήρα που οδηγεί σε γρήγορη πλήρωσή του και συχνή διακοπή της λειτουργίας του.

6.2.3.3 Αναλυτικά αποτελέσματα παραγωγής

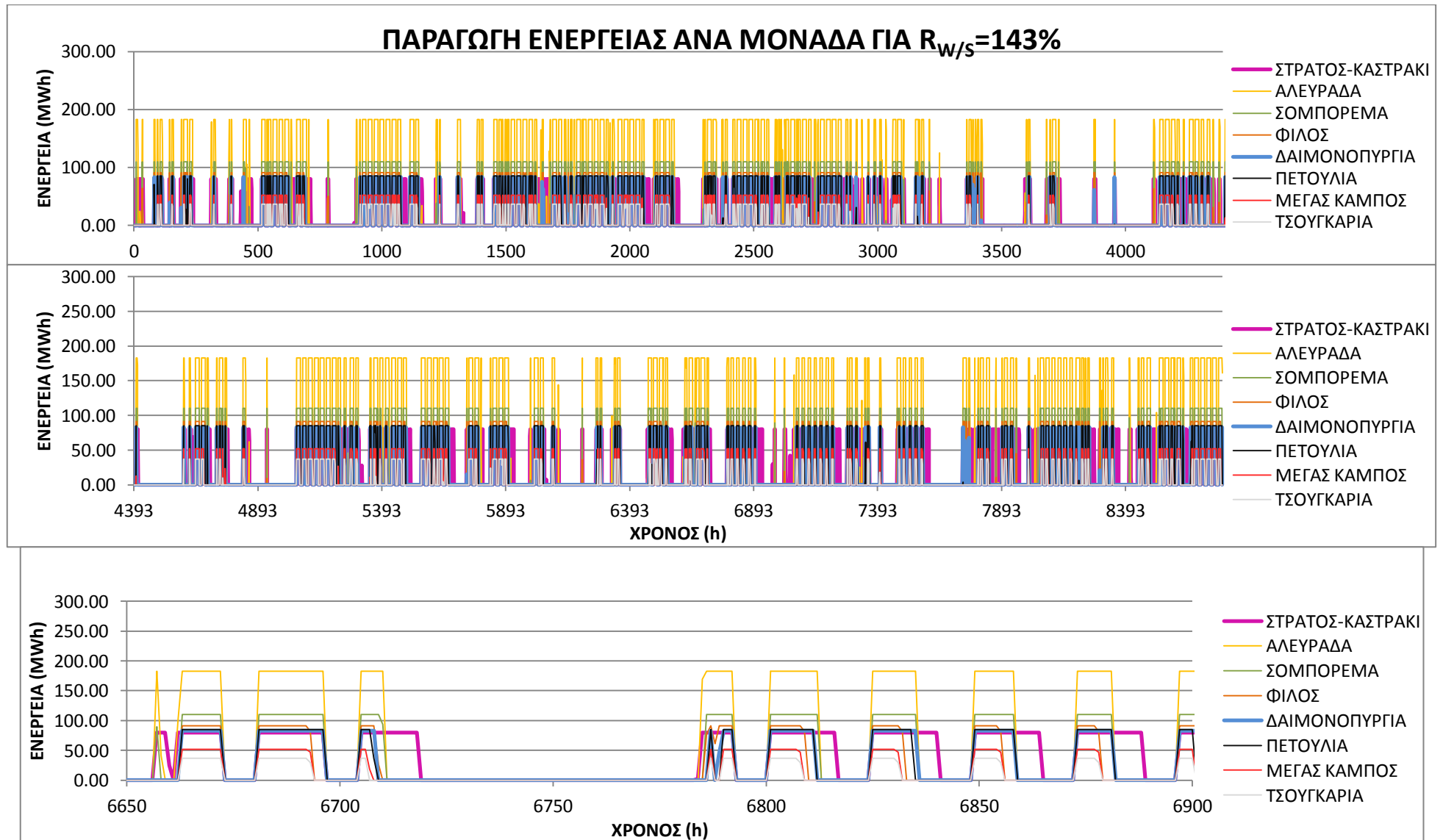
Στη συνέχεια παρατίθενται τα διαγράμματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας απελευθερώνοντας την αποταμιευμένη ενέργεια και λαμβάνοντας υπόψη την ισχύ των υδροστροβίλων για κάθε μονάδα ξεχωριστά.



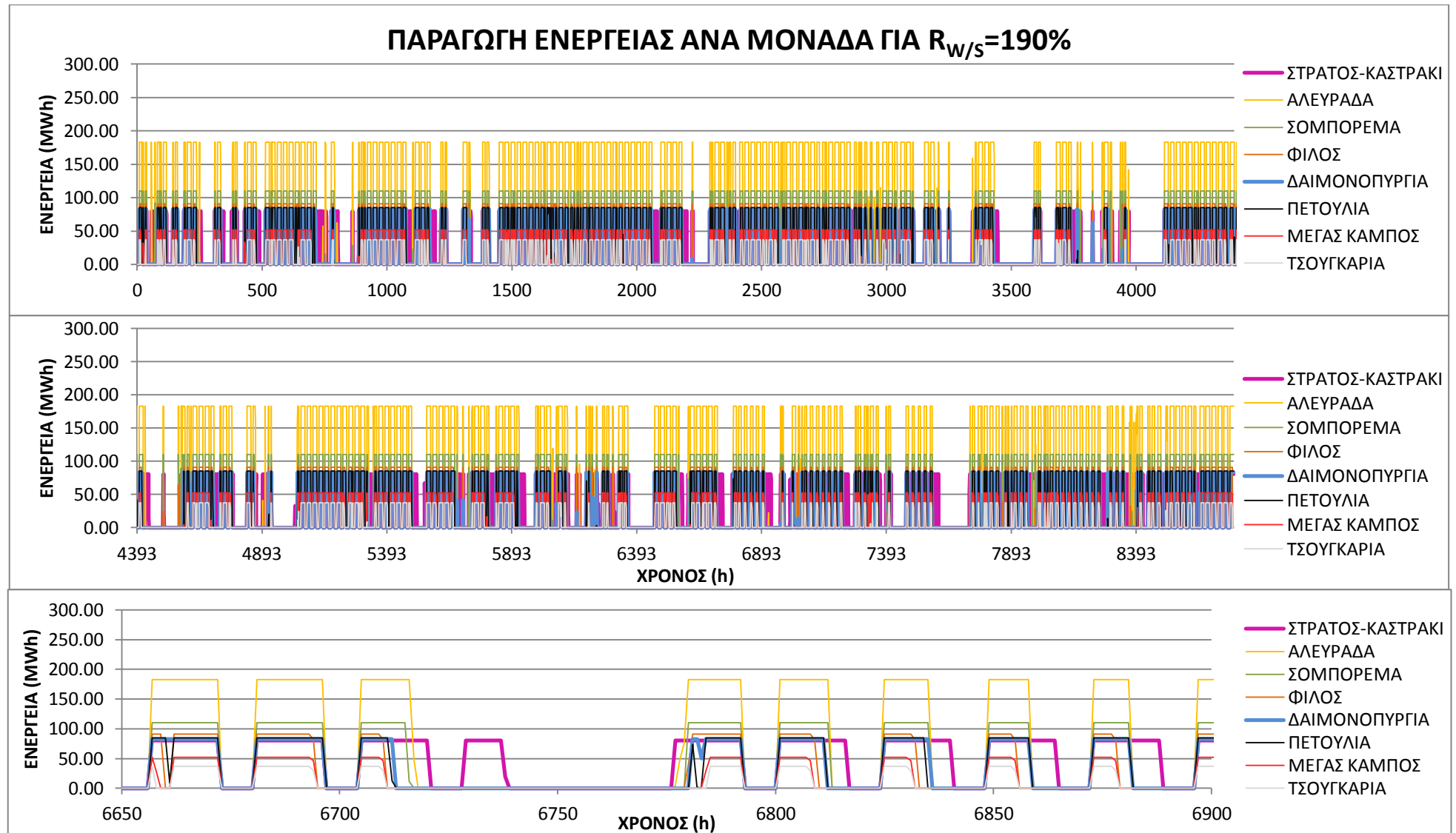
Σχήμα 6.16α,β,γ Παραγωγή ενέργειας ανά μονάδα για $R_{w/L} = 48\%$



Σχήμα 6.16α,β,γ Παραγωγή ενέργειας ανά μονάδα για $R_{wL} = 95\%$

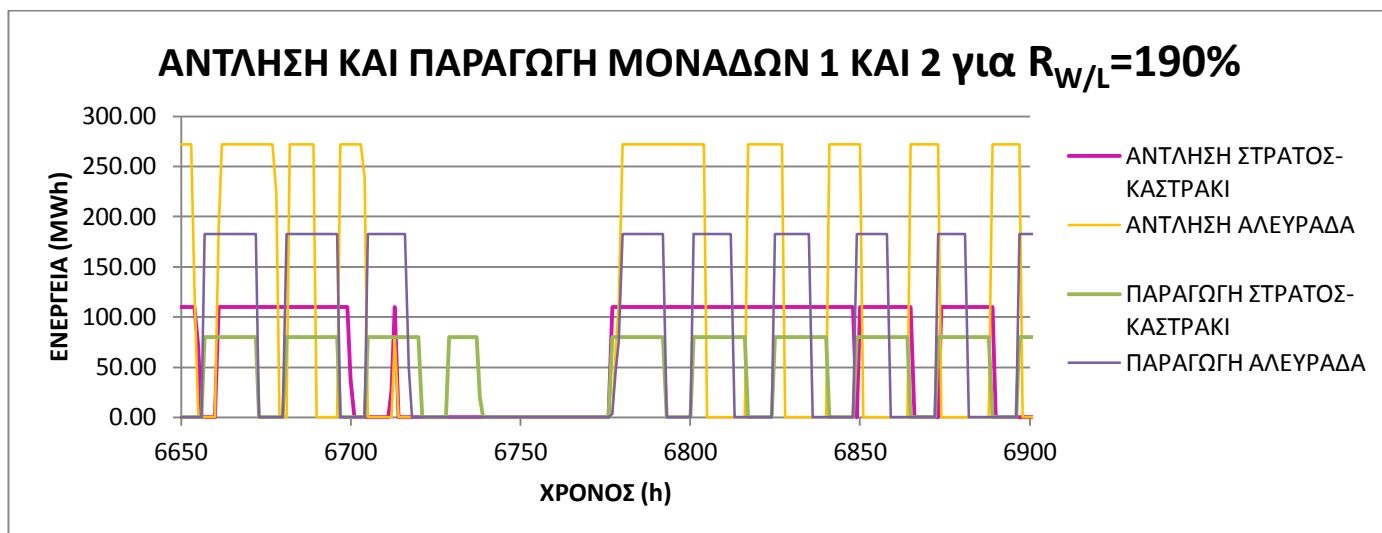


Σχήμα 6.18α,β,γ Παραγωγή ενέργειας ανά μονάδα για $R_{WL} = 143\%$



Σχήμα 6.19α,β,γ Παραγωγή ενέργειας ανά μονάδα για $R_{wL} = 190\%$

Επισημαίνεται η μεγάλη ομοιότητα με τα διαγράμματα άντλησης κάθε μονάδας ξεχωριστά, το οποίο είναι αναμενόμενο καθόσον κάθε μονάδα ό, τι αποταμιεύει, την επόμενη χρονική στιγμή δύναται να το απελευθερώσει προς παραγωγή με μόνο το χρονικό περιορισμό περί μη παραγωγής ενέργειας τις βραδινές ώρες (00:00 – 8:00). Αυτό φαίνεται ακόμα καλύτερα και στο παρακάτω διάγραμμα για $R_{w/L} = 190\%$:

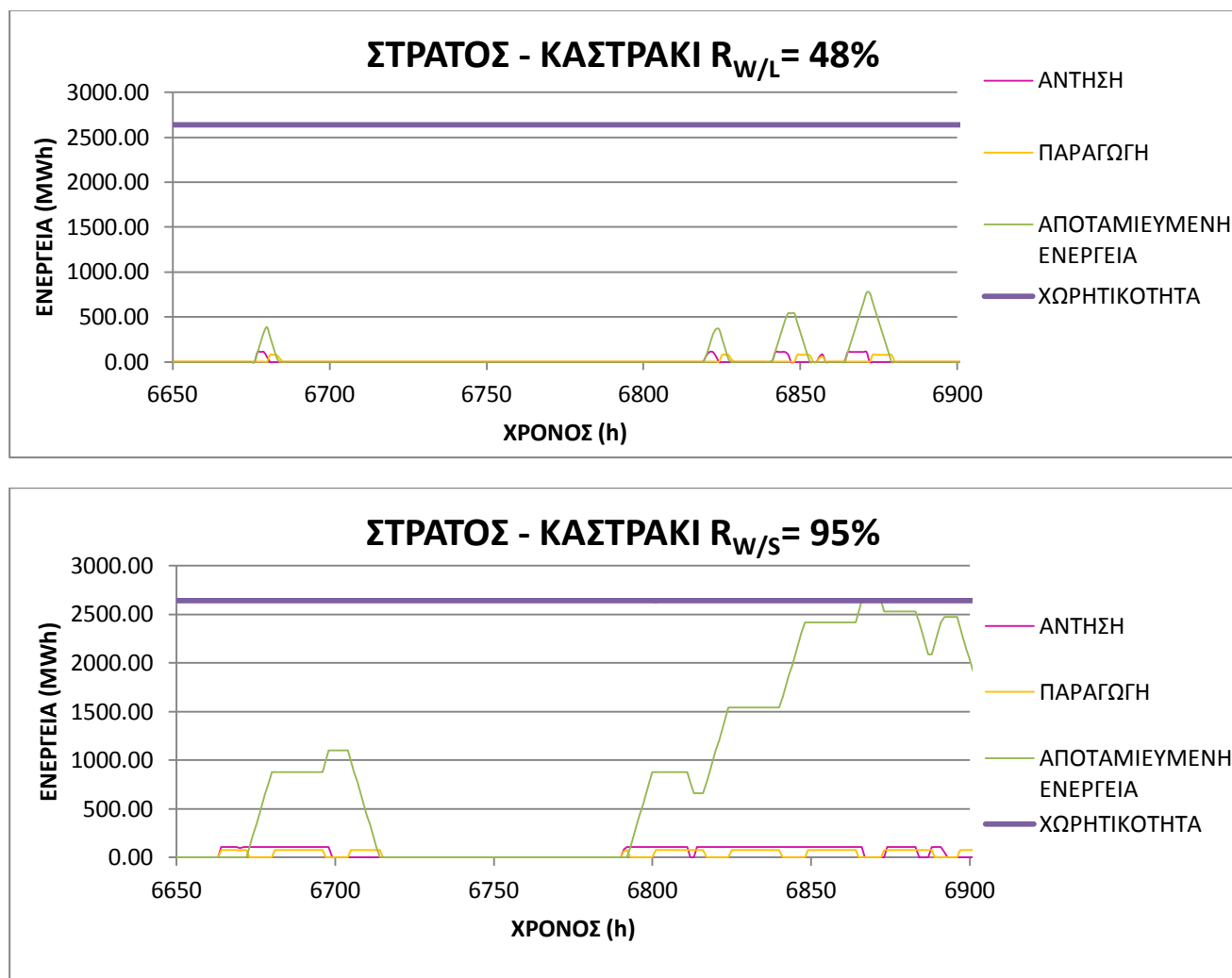


Σχήμα 6.20 Αντληση και Παραγωγή Ενέργειας των μονάδων Στρατού-Καστρακίου και Αλευράδας για $R_{w/L}=190\%$

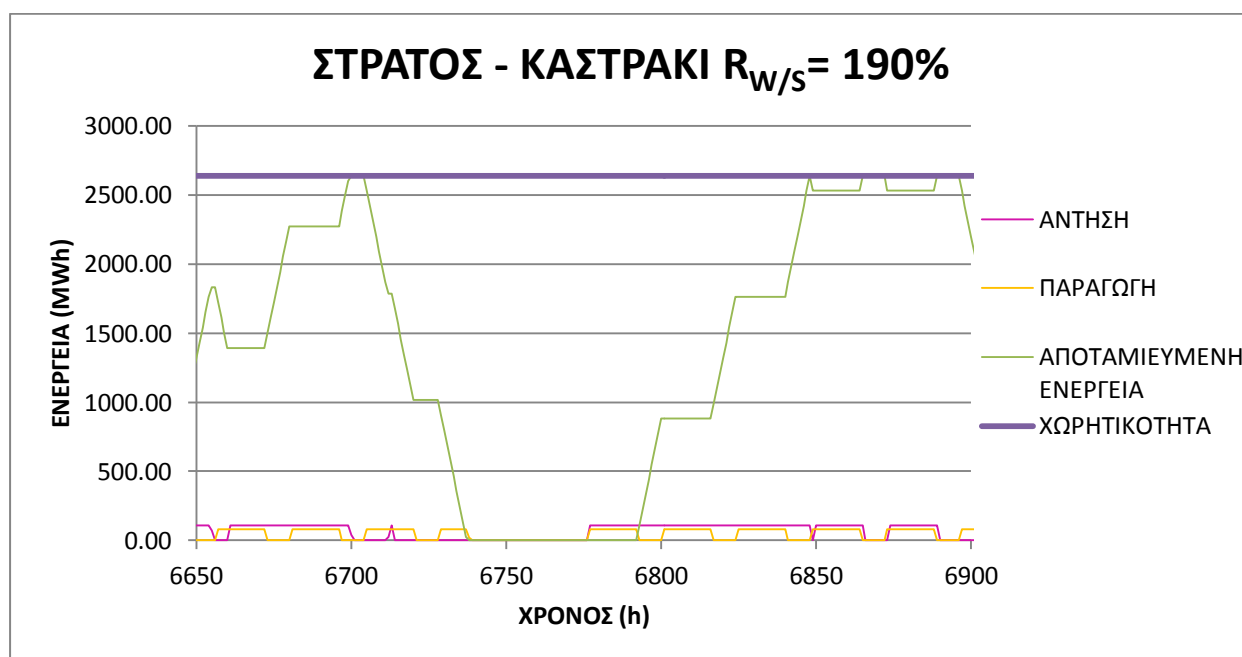
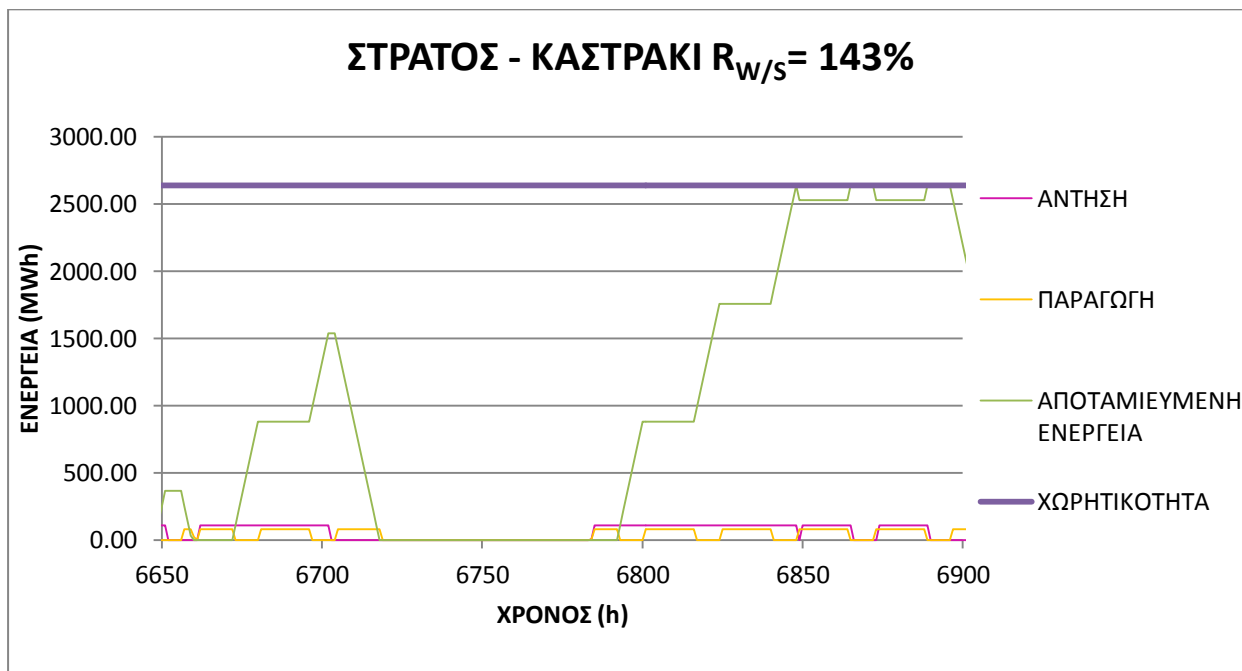
Είναι εμφανής ο χρονικός περιορισμός και η μηδενική παραγωγή τις βραδινές ώρες, κατά τις οποίες καθόσον η άντληση δε διακόπτεται αποταμιεύεται ενέργεια η οποία γίνεται εκμεταλλεύσιμη σε μεταγενέστερο χρονικό σημείο. Επίσης η διαφορά της ενέργειας/ισχύος παραγωγής από την ενέργεια/ισχύ άντληση αποτελεί μέγεθος των απωλειών ενέργειας κατά τη διάρκεια ενός κύκλου αντλησιοταμίευσης και ο λόγος αυτών σαφή ένδειξη του βαθμού απόδοσης της συγκεκριμένης μονάδας.

6.2.4 Ενεργειακά αποτελέσματα σε μία συγκεκριμένη μονάδα

Πέρα από τη λειτουργία του συστήματος αντλιοσταμίου και των επί μέρους μονάδων του σαν σύνολο, κρίνεται αξιόλογο να δοθούν κάποια διαγράμματα με την απομονωμένη λειτουργία και τη ροή της ενέργειας ενδεικτικά σε κάποιες από τις μονάδες για να απεικονιστούν καλύτερα τα αποτελέσματα των λειτουργιών της άντλησης και της παραγωγής.



Σχήμα 6.21α,β Λειτουργία άντλησης-παραγωγής και αποταμιευόμενη ενέργεια στη μονάδα Στράτου-Καστρακίου

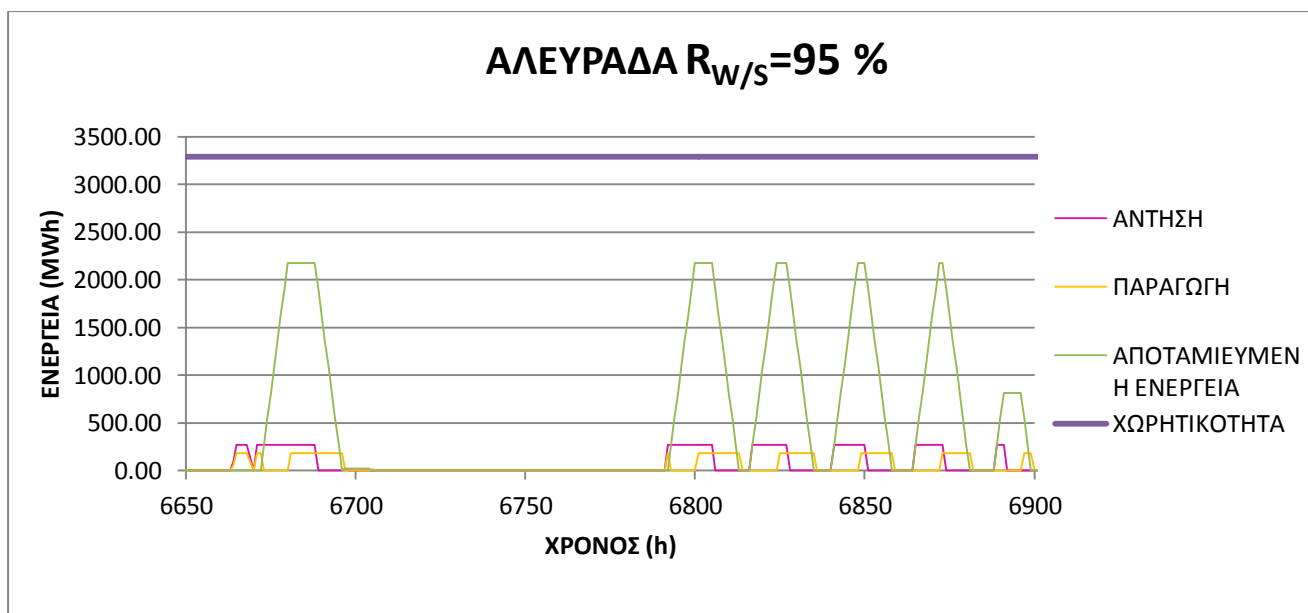
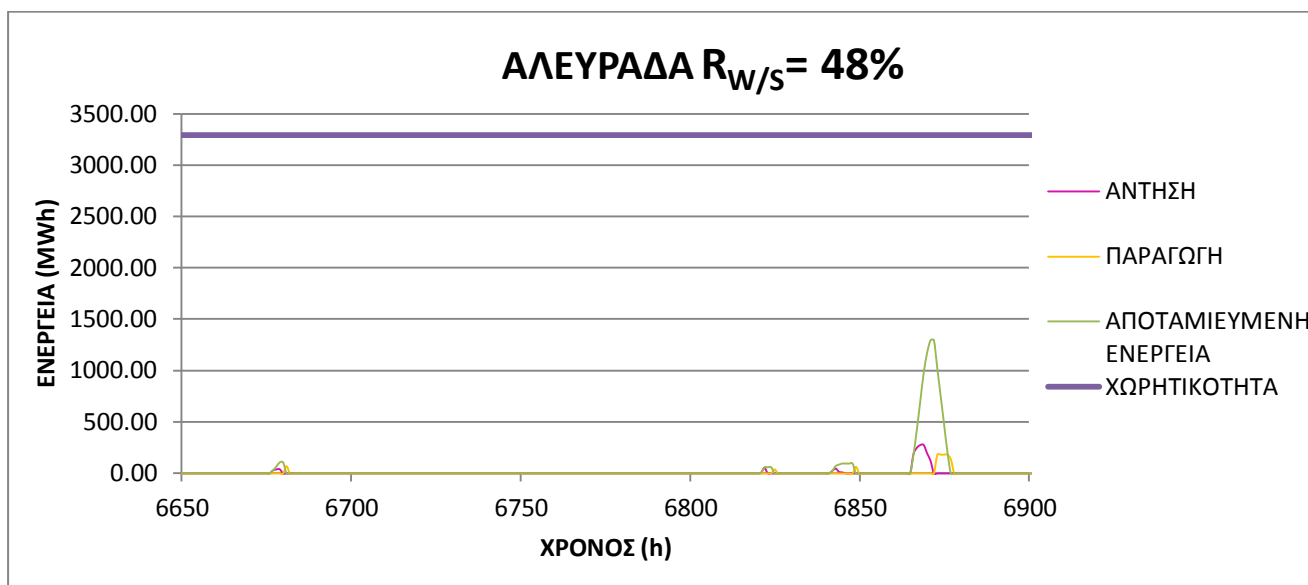


Σχήμα 6.21γ,δ Λειτουργία άντλησης-παραγωγής και αποταμιευόμενη ενέργεια στη μονάδα Στράτου-Καστρακίου

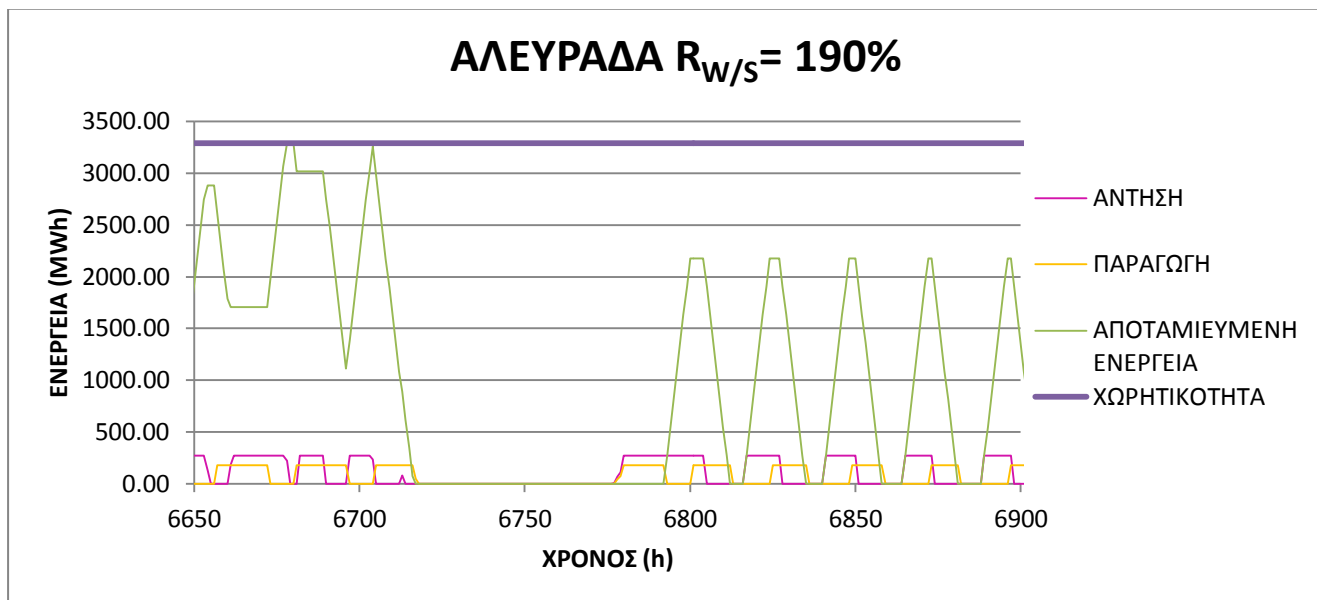
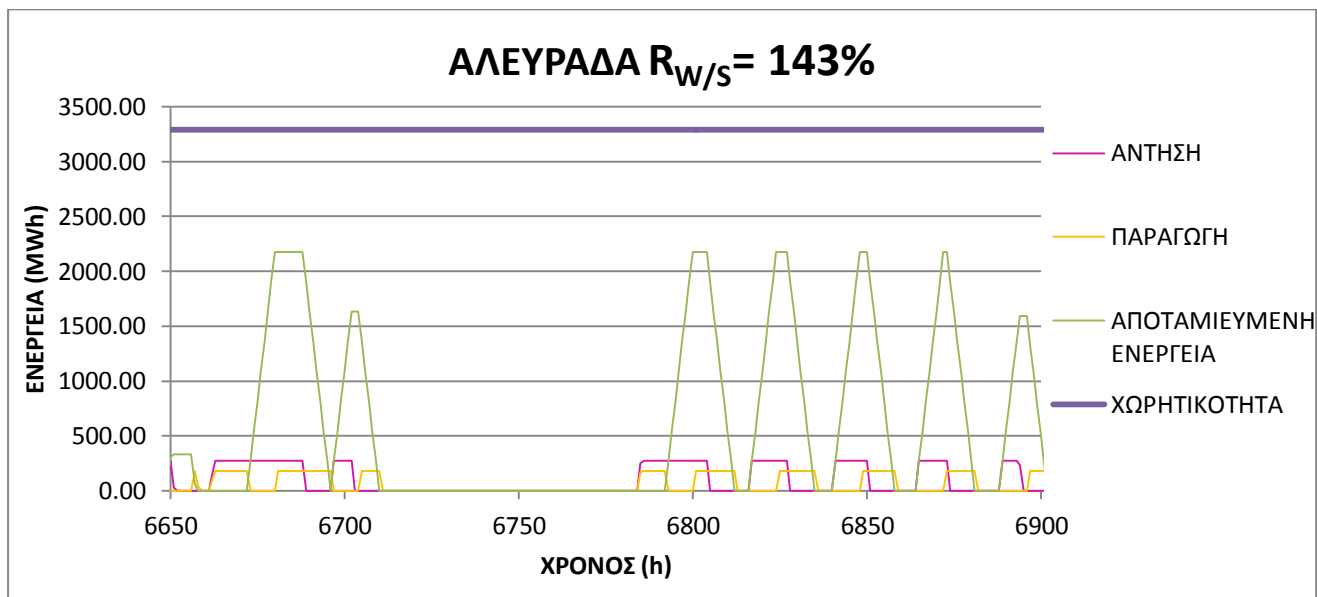
Στην παραπάνω μονάδα αναφέρθηκε ότι η πραγματική χωρητικότητα του ταμιευτήρα του Καστρακίου θεωρείται απεριόριστη για τη δραστηριότητά της, επομένως στα ανωτέρω διαγράμματα σημειώνεται η μέγιστη “ημερήσια” χωρητικότητα για συνεχή άντληση επί 24ώρου βάσεως. Η ροή ενέργειας απεικονίζεται στην αποταμιευόμενη ενέργεια η οποία αυξάνεται όταν πραγματοποιείται μόνο άντληση, μειώνεται όταν πραγματοποιείται μόνο παραγωγή και παραμένει σταθερή όταν διενεργούνται και οι δύο λειτουργίες. Έτσι λοιπόν διακρίνονται οι βραδινές ώρες κατά τις οποίες αυξάνεται η αποταμιευόμενη ενέργεια με όριο σε αρκετά χρονικά σημεία την “πλήρωση” του άνω ταμιευτήρα. Ακόμα και εκείνες τις περιόδους μπορεί να

Κεφ.6° – Παρουσίαση Αποτελεσμάτων

πραγματοποιηθεί άντληση αρκεί την ίδια ημέρα μια αντίστοιχη παραγωγή να έχει δημιουργήσει το απαιτούμενο περιθώριο. Όταν πληρούνται οι προϋποθέσεις για εκμετάλλευση αυτής της ενέργειας, δηλαδή μόλις η ώρα ξεπεράσει την 8η πρωινή, πραγματοποιείται η παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας και για αυτό το λόγο στα διαγράμματα η παραγωγή έπεται χρονικά της άντλησης (Σχ. 6.21α).

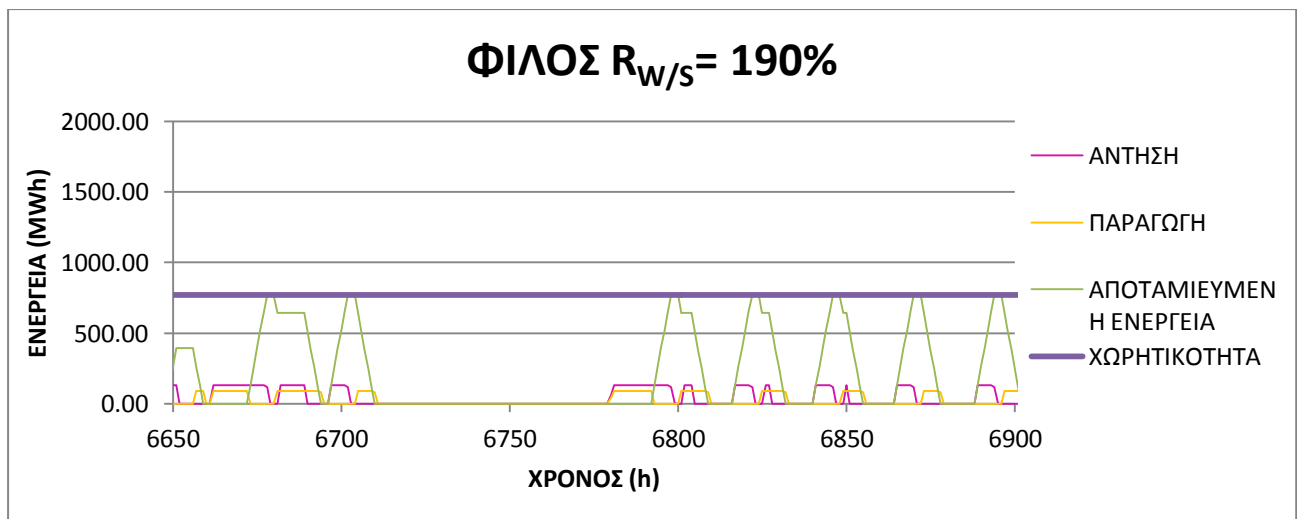
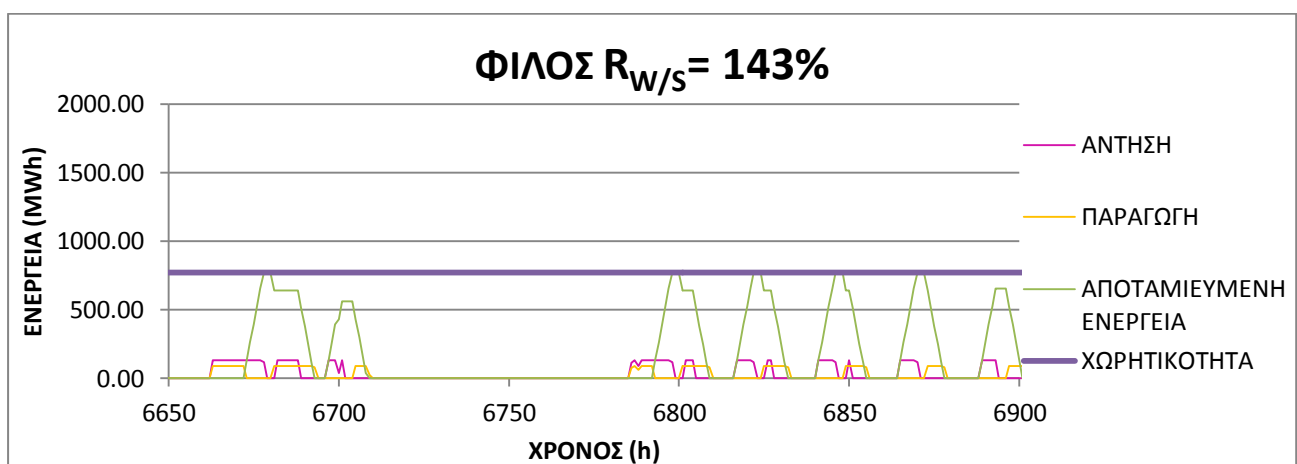
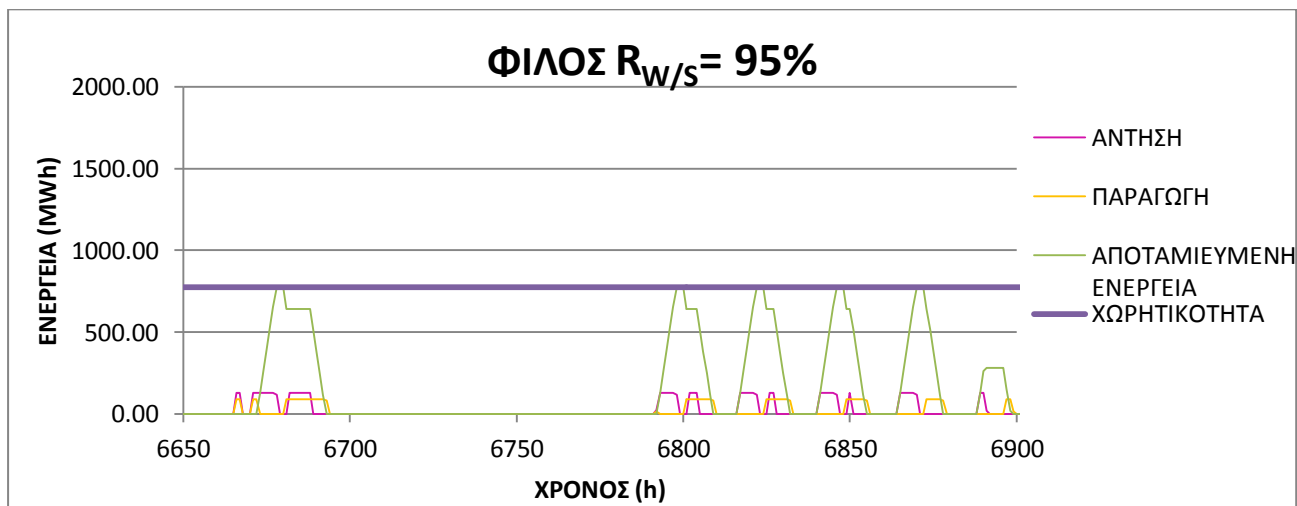


Σχήμα 6.22α,β Λειτουργία άντλησης-παραγωγής και αποταμιευόμενη ενέργεια στη μονάδα Αλευράδας



Σχήμα 6.22γ,δ Λειτουργία άντλησης-παραγωγής και αποταμιευόμενη ενέργεια στη μονάδα Αλευράδας

Η μονάδα της Αλευράδας την προκείμενη χρονική περίοδο υπολειτουργεί και δεν εκμεταλλεύεται το μέγιστο των δυνατοτήτων της, επειδή τα φυσικά αποθέματα του κάτω ταμιευτήρα εξαντλούνται, έτσι η αποταμίευση ενέργειας είναι φτωχή. Οι παρατηρήσεις που έγιναν για την προηγούμενη μονάδα είναι και εδώ εμφανείς.



Σχήμα 6.23α,β,γ Λειτουργία άντλησης-παραγωγής και αποταμιευόμενη ενέργεια στη μονάδα Φίλου

Για $R_{w/s} = 48\%$ η μονάδα του Φίλου δεν έχει καθόλου ενεργειακό απόθεμα απορρίψεων να λειτουργήσει καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Και σε αυτή τη μονάδα φαίνεται περιορισμένη η λειτουργία λόγω της εξάντλησης των φυσικών αποθεμάτων του κάτω ταμιευτήρα, μόνο που

εδώ η άντληση περιορίζεται και από τη μικρή χωρητικότητα του άνω ταμιευτήρα. Λόγω και της ικανοποιητικής ισχύος άντλησης ο άνω ταμιευτήρας γεμίζει σε μόλις 6 ώρες.

Παρατηρήθηκε λοιπόν εν γένει ότι όσο μεγαλώνει η αιολική παραγωγή το σύστημα αποταμιεύει και επαναπαράγει περισσότερη ενέργεια, όχι όμως τόσο λόγω της αύξησης των αιχμών της αιολικής ενέργειας καθώς ούτως ή άλλως η μέγιστη αντλητική ισχύς του συστήματος είναι συγκεκριμένη και καλύπτεται ήδη από τη δεύτερη περίπτωση ($R_{w/L} = 95\%$), όσο της συχνότητας εμφάνισης μεγάλων αιχμών, που προκαλούν τη λειτουργία του συστήματος πιο συχνά μέσα στο χρόνο. Αυτό, όπως περιγράφεται και στο 7^ο κεφάλαιο, θα φανεί από την αύξηση του βαθμού χωρητικότητας του συστήματος, αλλά η τελική παραγωγή ενέργειας, δηλαδή το ποσοστό αξιοποίησης της παραληφθείσας ενέργειας που επιδρά έντονα και στην αξιολόγηση της επένδυσης αυξάνεται με πολύ αργό ρυθμό. Προφανώς, όταν η εγκατεστημένη αιολική και ηλιακή ισχύ φτάσουν σε τόσο υψηλά επίπεδα, δε θα αρκεί μόνο αυτό το σύστημα, αλλά θα χρειαστεί η κατασκευή και λειτουργία και άλλων αντίστοιχων αποταμιευτικών συστημάτων που θα λαμβάνουν μερίδιο από το σύνολο των πολύ αυξημένων πλέον απωλειών της αιολικής ενέργειας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο - ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Από τα αποτελέσματα των προηγούμενων κεφαλαίων που αφορούν στην ενεργειακή αποτίμηση της αναγκαιότητας της κατασκευής του υπό εξέταση συστήματος αντλησιοταμίευσης, συμπεράναμε ότι τα ενεργειακά οφέλη για το διασυνδεδεμένο δίκτυο είναι σημαντικά. Όμως εξίσου σημαντική είναι και η οικονομική αποτίμηση της συγκεκριμένης επένδυσης, έτσι ώστε να προσελκυστούν τα απαραίτητα επενδυτικά κεφάλαια για την υλοποίησή της.

Το δεύτερο μέρος του δεύτερου υπολογιστικού κώδικα αποτελεί μια οικονομοτεχνική μελέτη της επένδυσης, στηριζόμενη στον χρηματοοικονομικό δείκτη IRR (Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης). Έτσι λοιπόν, ο κώδικας παίρνει στην είσοδό του τα ενεργειακά δεδομένα, δηλαδή συνολική απορροφηθείσα ενέργεια για άντληση και συνολική παραγόμενη ενέργεια προς πώληση. Με αυτά τα δεδομένα και μια πρόταση τιμολόγησης που περιγράφεται στο επόμενο υποκεφάλαιο υπολογίζονται τα ετήσια έσοδα της εγκατάστασης και λαμβάνοντας υπόψη και το συνολικό κόστος εγκατάστασης, για το οποίο χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές του Πίνακα 5.2., υπολογίζεται το ετήσιο κέρδος της εγκατάστασης. Τέλος, για να γίνει εκτίμηση της κερδοφορίας ή μη της επένδυσης για υποτιθέμενη διάρκεια 25 ετών, χρησιμοποιούνται συνήθεις τιμές για διάφορες οικονομικές παραμέτρους με βάση τις σημερινές συνθήκες της οικονομίας, όπως ποσοστά φορολογίας και πληθωρισμού, ετήσιο προεξοφλητικό επιτόκιο (για τη συγκεκριμένη επένδυση θεωρείται ότι δε χρειάζεται ούτε επιχορήγηση, ούτε δανειοδότηση, αλλά όλο το αρχικό κόστος καλύπτεται με ίδια κεφάλαια), υπολογίζεται προσεγγιστικά το λειτουργικό κόστος για κάθε έτος, οπότε και με τον συγκεκριμένο αλγόριθμο που ενσωματώνεται στον δεύτερο κώδικα υπολογίζεται ο IRR.

7.1 Πρόταση τιμολόγησης ενέργειας

Καθ' όλη τη διάρκεια ενός κύκλου αντλησιοταμίευσης υπάρχουν απώλειες ενέργειας σε όλα τα στάδια, κυρίως σε αυτό της άντλησης, αλλά και στην αποταμίευση και της εκκένωσης. Για το λόγο αυτό πρέπει να γίνει μια δικαιολογημένη πρόταση τιμολόγησης τόσο της αγοράς ενέργειας από το δίκτυο για άντληση, όσο και της πώλησης της παραγόμενης ενέργειας στο δίκτυο, ώστε να ωφελούνται όλοι οι ενεχόμενοι. Έτσι, θεωρείται η τιμή πώλησης ίση τουλάχιστον με αυτή που αγοράζει ο διαχειριστής του συστήματος την παραγόμενη από αιολικά πάρκα ενέργεια, δηλαδή με € 100/MWh. Σημειώνεται ότι λόγω της ποιότητας και σημασίας, για τους λόγους που έχουν αναφερθεί στα κεφάλαια 3 και 4, της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας θα μπορούσε να διαπραγματευτεί μια ακόμα καλύτερη τιμή πώλησης.

Λαμβάνοντας υπ' όψιν ένα συνηθισμένο βαθμό απόδοσης μιας μονάδας αντλησιοταμίευσης περίπου 70%, όπως φαίνεται ενδεικτικά και από τον πίνακα 5.2, από την αγορά μίας MWh θα πωληθεί 0.7 MWh ηλεκτρικής ενέργειας και τα έσοδα θα είναι € 70 ανά MWh ανακτώμενης ενέργειας από τη διαφορετικά απορριπτόμενη. Αυτά τα έσοδα ισομοιράζονται μεταξύ παραγωγού αιολικής ενέργειας και παραγωγού ενέργειας αποταμιευμένης σε μονάδα αντλησιοταμίευσης, απ' όπου προκύπτει η προτεινόμενη τιμή που

αγοράζει το εξεταζόμενο σύστημα την απορριπτόμενη ενέργεια μέσω του διασυνδεδεμένου δικτύου από τους παραγωγούς αιολικής ενέργειας, ήτοι € 35/MWh.

Με αυτό τον τρόπο επωφελούνται και οι παραγωγοί αιολικής ενέργειας, καθόσον έχουν έσοδα από παραγόμενη ενέργεια που χωρίς αντλησιοταμίευση θα έμενε ανεκμετάλλευτη και απώλητη, και το σύστημα αντλησιοταμίευσης έχει καθαρό κέρδος 35€ /MWh και το δίκτυο αυξάνει την ποιότητα και ευστάθειά του και συμμορφώνεται με τις οδηγίες και το σχεδιασμό για ανάπτυξη των Α.Π.Ε. τις προεχείς δεκαετίες, με σχετικά χαμηλό κόστος.

7.2 Αποτελέσματα οικονομοτεχνικής ανάλυσης

Τα αποτελέσματα που λήφθηκαν για τις έξι περιπτώσεις $R_{w/L}$ παρουσιάζονται στους Πίνακες 7.1 έως 7.6. Σημειώνεται ότι όλες οι τιμές για κάθε στήλη των πινάκων αποτελούν τα υπολογισθέντα ποσά όλου του συστήματος μετά και την ένταξη του συγκεκριμένου κάθε φορά ταμιευτήρα σε αυτό και δεν αφορούν την ανεξάρτητη λειτουργία καθενός ξεχωριστά.

Επίσης για λόγους σαφήνειας διευκρινίζονται τα μεγέθη που καταγράφονται:

- ΑΙΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ: Η ετήσια υποθετική παραγωγή αιολικής ενέργειας με βάση τη νέα υποτιθέμενη χρονοσειρά ωριαίας παραγωγής αιολικής ενέργειας για το συγκεκριμένο $R_{w/L}$
- ΑΠΟΡΡΙΨΕΙΣ: Τα ποσά ενέργειας που απορρίπτονται λόγω των περιορισμών που έχουν ήδη αναλυθεί
- ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΠΟΡΡΙΨΕΩΝ: Ο λόγος των ποσών ενέργειας που απορρίπτονται προς το σύνολο της αιολικής παραγωγής
- ΤΕΛΙΚΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ: Τα ποσά ενέργειας που παραμένουν ανεκμετάλλευτα μετά και την παρέμβαση του συστήματος αντλησιοταμίευσης
- ΠΟΣΟΣΤΟ ΤΕΛΙΚΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ: Ο λόγος των τελικών απωλειών προς το σύνολο της αρχικής αιολικής παραγωγής
- ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΑΝΤΛΗΣΗ: Το συνολικό ποσό ενέργειας από τις αρχικές απορρίψεις του δικτύου που αξιοποιεί το σύστημα αντλησιοταμίευσης και αντλεί προς αποταμίευση στον άνω ταμιευτήρα
- ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ: Τα συνολικό ποσό ενέργειας που παράγεται από το σύστημα, από την εκμετάλλευση της αποταμιευμένης ενέργειας
- ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ: Ο λόγος της ενέργειας που αξιοποιεί το σύστημα για άντληση προς το συνολικό ποσό ενέργειας που έχει απορριφθεί
- ΒΑΘΜΟΣ ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ: Το ποσοστό λειτουργίας του συστήματος, δηλαδή ο λόγος της ενέργειας που πραγματικά αντλήθηκε προς την ενέργεια που θα αντλούσαν αν κάθε μονάδα λειτουργούσε στο ονομαστικό σημείο λειτουργίας της καθ' όλη τη διάρκεια του έτους
- ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΕΣΟΔΑ: Το συνολικό ποσό παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας που πωλείται στο δίκτυο επί την τιμή πώλησης όπως αναφέρθηκενωρίτερα
- ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ: Το συνολικό κόστος εγκατάστασης, όπως υπολογίστηκε
- ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΣ ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ (IRR): Ο δείκτης που αξιολογεί την επένδυση. Οικονομικά ορίζεται ως το προεξοφλητικό επιτόκιο που μηδενίζει την καθαρή παρούσα αξία της επένδυσης. Ενδεικτικά, τιμές του από 10 και άνω θεωρούνται ικανοποιητικές.

$R_{w/L}$	47.62%							
ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΕΣ	1	2	3	4	5	6	7	8
ΑΙΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ (GWh)	7,832.25							
ΑΠΟΡΡΙΨΕΙΣ (GWh)	7.82							
ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΠΟΡΡΙΨΕΩΝ (%)	0.10%							
ΤΕΛΙΚΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ (GWh)	2.90	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ΠΟΣΟΣΤΟ ΤΕΛΙΚΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ (%)	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΑΝΤΛΗΣΗ (GWh)	4.92	7.72	7.82	7.82	7.82	7.82	7.82	7.82
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ (GWh)	3.58	5.46	5.53	5.53	5.53	5.53	5.53	5.53
ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΤΕ- -ΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (%)	62.96	98.69	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
ΒΑΘΜΟΣ ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (%)	0.51	0.12	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΕΣΟΔΑ (Εκατ. €)	0.19	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ (Εκατ.€)	40.00	268.75	406.25	524.55	632.45	751.45	829.45	884.95
ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΣ ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ (%)	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10

Πίνακας 7.1 Αποτελέσματα για $R_{w/L}=47.62\%$

R_{w/L}	95.24%							
ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΕΣ	1	2	3	4	5	6	7	8
ΑΙΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ (GWh)	15,664.50							
ΑΠΟΡΡΙΨΕΙΣ (GWh)	1,486.28							
ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΠΟΡΡΙΨΕΩΝ (%)	9.49							
ΤΕΛΙΚΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ (GWh)	1,293.43	941.30	781.30	680.79	582.95	496.95	458.78	434.72
ΠΟΣΟΣΤΟ ΤΕΛΙΚΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ (%)	8.26	6.01	4.99	4.35	3.72	3.17	2.93	2.78
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΑΝΤΛΗΣΗ (GWh)	192.85	544.98	704.99	805.50	903.33	989.33	1.03	1,051.57
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ (GWh)	139.50	376.41	491.44	561.27	626.76	685.71	712.53	729.65
ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΤΕ-ΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (%)	12.98	36.67	47.43	54.20	60.78	66.56	69.13	70.75
ΒΑΘΜΟΣ ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (%)	19.96	14.74	11.91	8.73	8.98	7.90	5.87	5.27
ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΕΣΟΔΑ (Εκατ. €)	7.20	25.77	50.24	78.17	109.23	143.18	178.47	214.63
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ (Εκατ.€)	40.00	268.75	406.25	524.55	632.45	751.45	829.45	884.95
ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΣ ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ (%)	13.80	3.00	1.90	1.00	0.40	0.10	0.10	0.10

Πίνακας 7.2 Αποτελέσματα για $R_{w/L}=95.24\%$

R_{w/L}	142.86%							
ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΕΣ	1	2	3	4	5	6	7	8
ΑΙΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ (GWh)	23,496.74							
ΑΠΟΡΡΙΨΕΙΣ (GWh)	5,915.44							
ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΠΟΡΡΙΨΕΩΝ (%)	25.18							
ΤΕΛΙΚΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ (GWh)	5,543.48	4,804.32	4,427.79	4,163.09	3,894.76	3,642.56	3,517.16	3,432.40
ΠΟΣΟΣΤΟ ΤΕΛΙΚΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ (%)	23.59	20.45	18.84	17.72	16.58	15.50	14.97	14.61
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΑΝΤΛΗΣΗ (GWh)	371.95	1,111.11	1,487.64	1,752.35	2,020.67	2,272.88	2,398.27	2,483.03
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ (GWh)	269.55	766.85	1,037.56	1,221.44	1,401.04	1,573.93	1,662.04	1,722.35
ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΤΕ-ΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (%)	6.29	18.78	25.15	29.62	34.16	38.42	40.54	41.98
ΒΑΘΜΟΣ ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (%)	38.49	30.94	28.02	23.00	24.63	23.16	19.29	18.5
ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΕΣΟΔΑ (Εκατ. €)	13.94	51.73	103.42	164.23	233.61	311.46	393.72	479.05
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ (Εκατ.€)	40.00	268.75	406.25	524.55	632.45	751.45	829.45	884.95
ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΣ ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ (%)	27.60	10.40	9.10	8.00	7.40	6.80	6.40	6.10

Πίνακας 7.3 Αποτελέσματα για $R_{w/L}=142.86\%$

$R_{w/L}$	190.48%							
ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΕΣ	1	2	3	4	5	6	7	8
ΑΙΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ (GWh)	31,328.99							
ΑΠΟΡΡΙΨΕΙΣ (GWh)	11,832.00							
ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΠΟΡΡΙΨΕΩΝ (%)	37.77%							
ΤΕΛΙΚΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ (GWh)	11,359.27	10,383.86	9,861.82	9,484.59	9,092.72	8,718.57	8,529.95	8,400.73
ΠΟΣΟΣΤΟ ΤΕΛΙΚΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ (%)	36.26	33.14	31.48	30.27	29.02	27.83	27.23	26.81
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΑΝΤΛΗΣΗ (GWh)	472.73	1,448.14	1,970.18	2,347.40	2,739.28	3,113.42	3,302.04	3,431.26
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ (GWh)	342.68	998.55	1,373.73	1,635.77	1,898.00	2,154.47	2,287.01	2,378.96
ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΤΕ- -ΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (%)	4.00	12.24	16.65	19.84	23.15	26.31	27.91	29.00
ΒΑΘΜΟΣ ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (%)	48.92	40.82	38.84	32.78	35.98	34.35	29.02	28.29
ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΕΣΟΔΑ (Εκατ. €)	17.72	66.89	135.31	216.73	310.65	417.13	530.26	648.06
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ (Εκατ.€)	40.00	268.75	406.25	524.55	632.45	751.45	829.45	884.95
ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΣ ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ (%)	35.10	14.10	12.80	11.70	11.10	10.50	10.00	9.70

Πίνακας 7.4 Αποτελέσματα για $R_{w/L}=190.48\%$

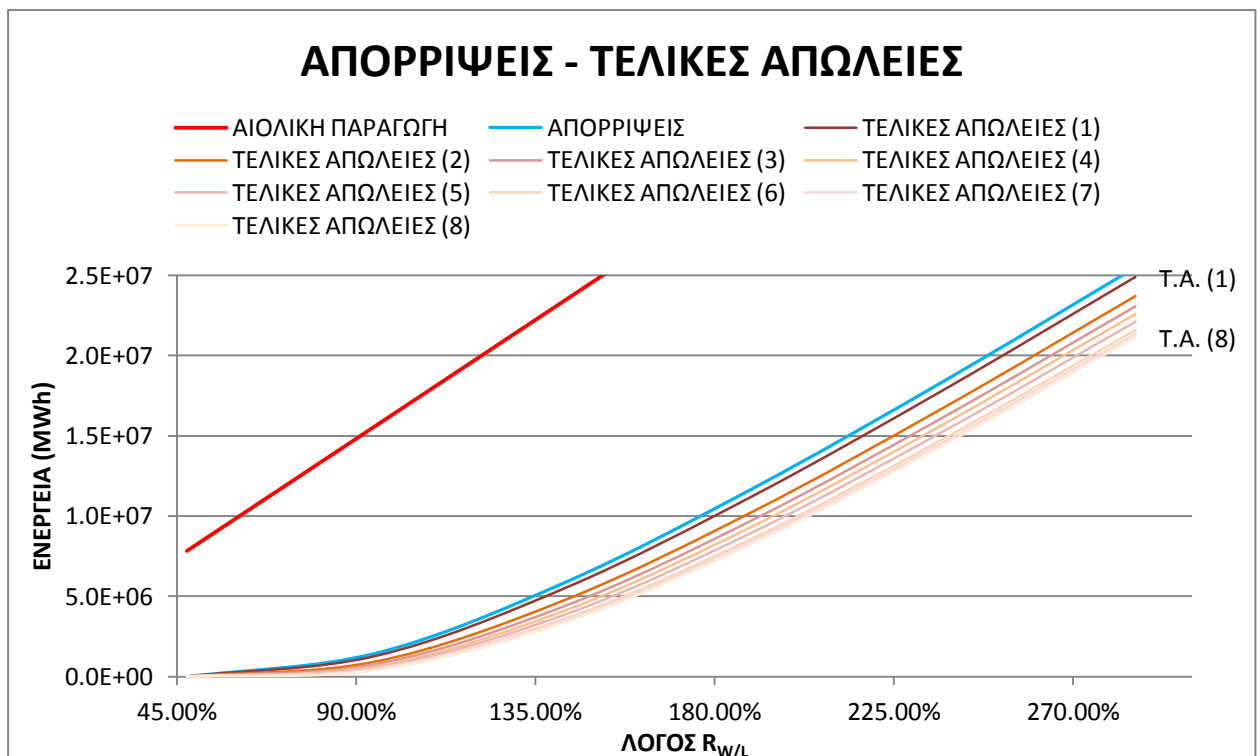
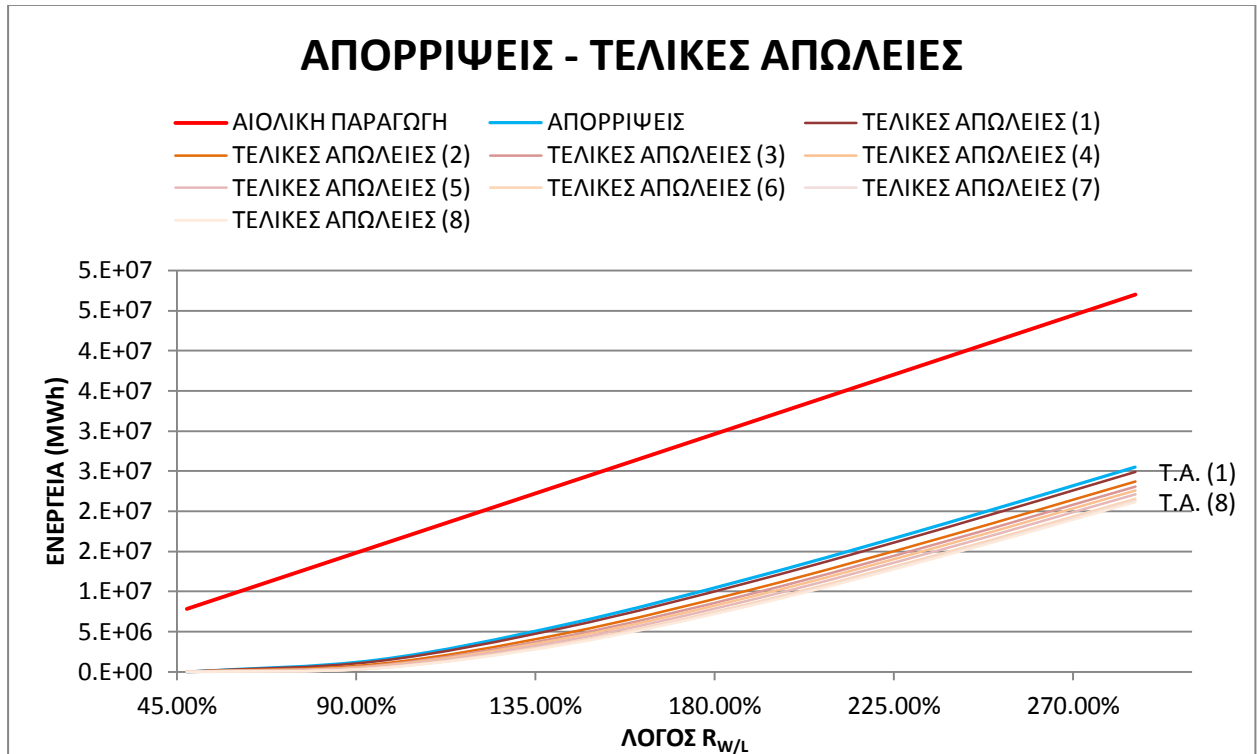
R _{w/L}	238.10%							
ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΕΣ	1	2	3	4	5	6	7	8
ΑΙΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ (GWh)	39,161.24							
ΑΠΟΡΡΙΨΕΙΣ (GWh)	18,469.81							
ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΠΟΡΡΙΨΕΩΝ (%)	47.16%							
ΤΕΛΙΚΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ (GWh)	17,944.12	16,842.61	16,248.87	15,809.08	15,351.16	14,903.46	14,672.39	14,513.23
ΠΟΣΟΣΤΟ ΤΕΛΙΚΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ (%)	45.82	43.01	41.49	40.37	39.20	38.06	37.47	37.06
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΑΝΤΛΗΣΗ (GWh)	525.68	1,627.19	2,220.93	2,660.72	3,118.64	3,566.34	3,797.42	3,956.57
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ (GWh)	381.11	1,121.64	1,548.17	1,853.67	2,160.02	2,466.74	2,629.11	2,742.36
ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (%)	2.85	8.81	12.02	14.41	16.89	19.31	20.56	21.42
ΒΑΘΜΟΣ ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (%)	54.40	46.10	44.18	38.22	42.04	41.10	35.55	34.84
ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΕΣΟΔΑ (Εκατ. €)	19.71	74.92	152.01	244.25	351.10	472.95	602.95	738.71
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ (Εκατ.€)	40.00	268.75	406.25	524.55	632.45	751.45	829.45	884.95
ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΣ ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ (%)	39.10	16.00	14.70	13.50	12.90	12.30	11.80	11.50

Πίνακας 7.5 Αποτελέσματα για $R_{wL}=238.10\%$

$R_{w/L}$	285.71%							
ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΕΣ	1	2	3	4	5	6	7	8
ΑΙΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ (GWh)	46,993.49							
ΑΠΟΡΡΙΨΕΙΣ (GWh)	25,471.51							
ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΠΟΡΡΙΨΕΩΝ (%)	54.20%							
ΤΕΛΙΚΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ (GWh)	24,909.36	23,722.60	23,076.72	22,592.72	22,088.62	21,594.47	21,336.66	21,158.33
ΠΟΣΟΣΤΟ ΤΕΛΙΚΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ (%)	53.01	50.48	49.11	48.08	47.00	45.95	45.40	45.02
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΑΝΤΛΗΣΗ (GWh)	562.15	1,748.91	2,394.79	2,878.79	3,382.90	3,877.04	4,134.85	4,313.19
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ (GWh)	407.56	1,205.36	1,669.37	2,005.59	2,342.76	2,681.24	2,862.40	2,989.29
ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (%)	2.21	6.87	9.40	11.30	13.28	15.22	16.23	16.93
ΒΑΘΜΟΣ ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (%)	58.18	49.67	48.06	42.06	46.28	45.37	39.66	39.04
ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΕΣΟΔΑ (Εκατ. €)	21.08	80.40	163.52	263.32	379.20	511.63	653.15	801.11
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ (Εκατ.€)	40.00	268.75	406.25	524.55	632.45	751.45	829.45	884.95
ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΣ ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ (%)	41.80	17.20	15.90	14.70	14.10	13.50	13.00	12.70

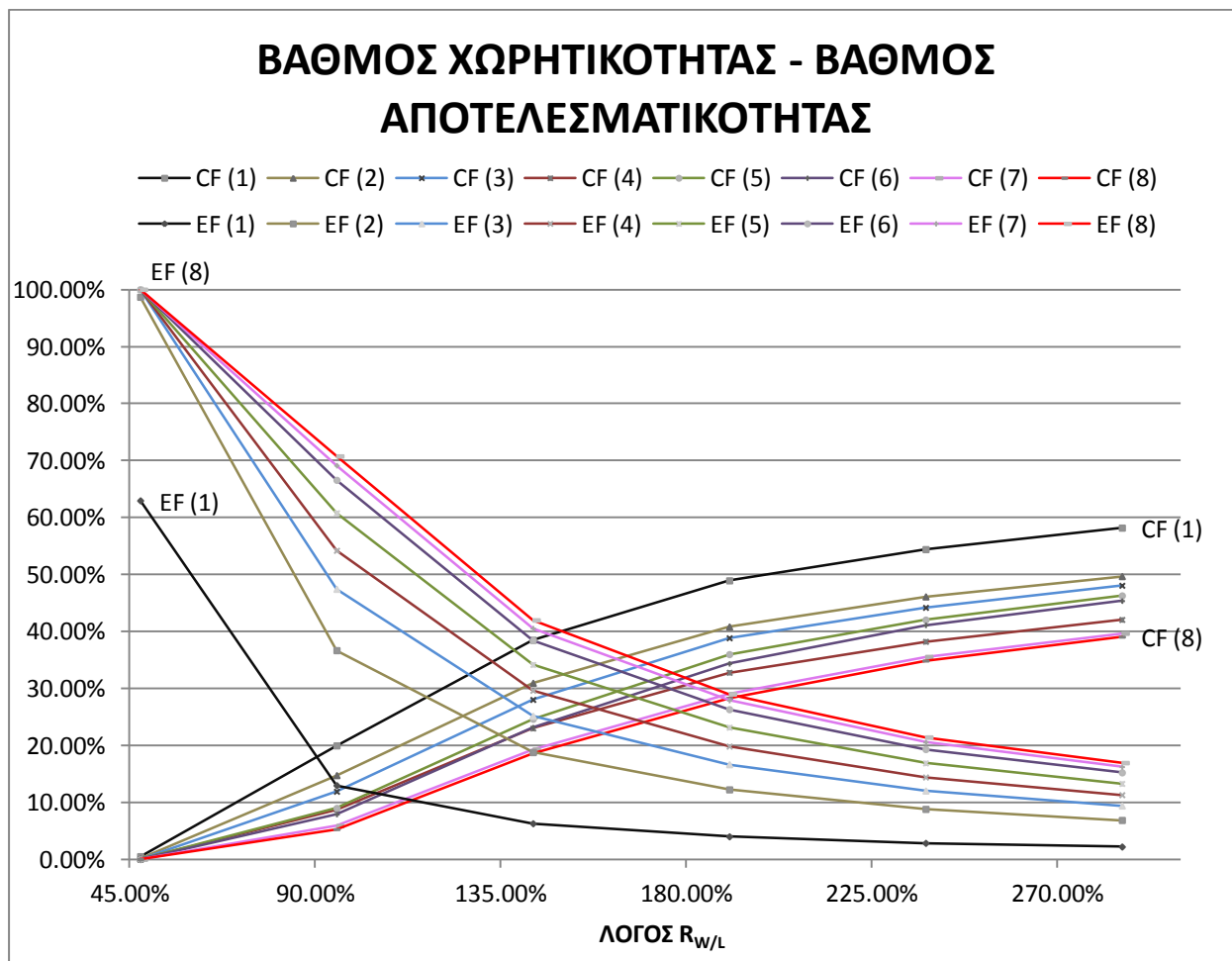
Πίνακας 7.6 Αποτελέσματα για $R_{w/L}=285.71\%$

Από τους πίνακες αυτούς προκύπτουν και τα παρακάτω διαγράμματα 7.1 έως 7.3.



Σχήμα 7.1α,β Αιολική Παραγωγή, Απορρίψεις και Τελικές Απώλειες συναρτήσει του $R_{W/L}$

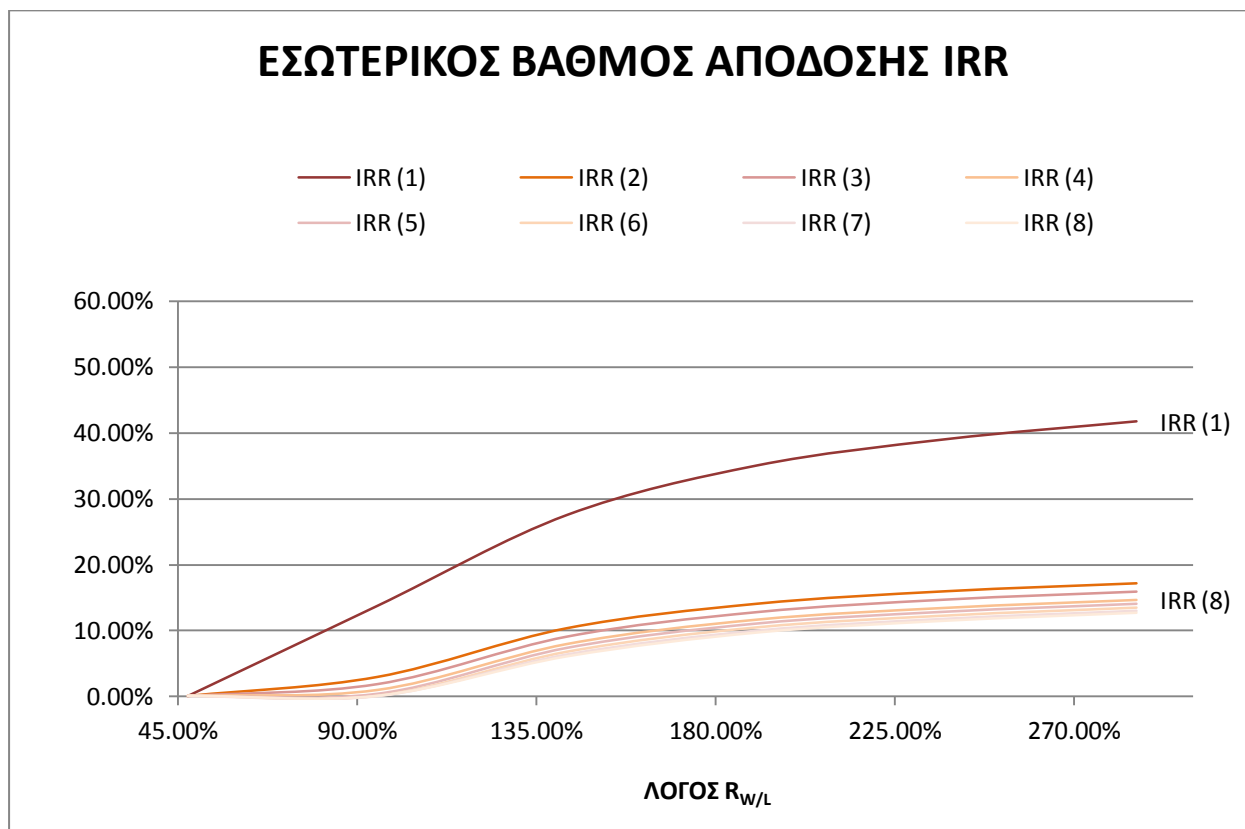
Από το παραπάνω διάγραμμα αυτά προκύπτουν σχόλια που σε μικρό ή μεγάλο βαθμό έχουν παρατηρηθεί και σε προηγούμενα κεφάλαια. Αυξανόμενου του $R_{w/L}$ οι απορρίψεις αυξάνονται έντονα και καταλήγουν να αποτελούν παραπάνω από τη μισή αιολική παραγωγή. Το ποσοστό αυτό βελτιώνεται με τη λειτουργία του συστήματος αντλησιοταμίευσης, κυρίως από την ένταξη της δεύτερης μονάδας κι έπειτα, αλλά είναι προφανές ότι απαιτείται εγκατάσταση και άλλων συστημάτων αντλησιοταμίευσης για να επιτευχθεί ακόμα μικρότερο ποσοστό τελικών απωλειών σε σχέση με τη συνολική παραγωγή ενέργειας από αιολικά πάρκα.



Σχήμα 7.2 Βαθμός χωρητικότητας και αποτελεσματικότητας συναρτήσει του $R_{w/L}$

Σε αυτό το διάγραμμα φαίνεται πάλι ότι η πρώτη μονάδα δε δύναται να καλύψει μεγάλο ποσοστό από την απορριφθείσα ενέργεια καθώς από $R_{w/L}=95\%$ κι έπειτα ο βαθμός αποτελεσματικότητας πέφτει κάτω από 10%. Πέραν της δεύτερης μονάδας που ξεχωρίζει οι υπόλοιπες μονάδες είναι σχεδόν το ίδιο αποτελεσματικές, με μια ελαφρώς φθίνουσα τάση με τη σειρά προτεραιότητας που έχει τεθεί. Από την άλλη, η άλλη καμπύλη υποδεικνύει ότι το σύστημα λειτουργεί σχεδόν το 50% του συνολικού χρόνου για $R_{w/L}=190\%$, ποσοστό που μειώνεται με την ένταξη περισσότερων μονάδων στο σύστημα. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην πολύ έντονη διακύμανση που χαρακτηρίζει τις θεωρητικές χρονοσειρές της μελλοντικής αιολικής παραγωγής, άρα και της απορριφθείσας ενέργειας που ακολουθεί παρεμφερή κατανομή. Πάντως είναι προφανές ότι όσο αυξάνονται οι απώλειες μειώνεται η

αποτελεσματικότητα, καθώς όλο και λιγότερο ποσοστό ενέργειας επί των απωλειών μπορεί να εκμεταλλευτεί, ενώ αυξάνεται ο βαθμός χωρητικότητας καθώς όλο και περισσότερο διάστημα βρίσκεται σε λειτουργία το σύστημα αντλησιοταμίευσης.



Σχήμα 7.3 Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης συναρτήσει του $R_{W/L}$

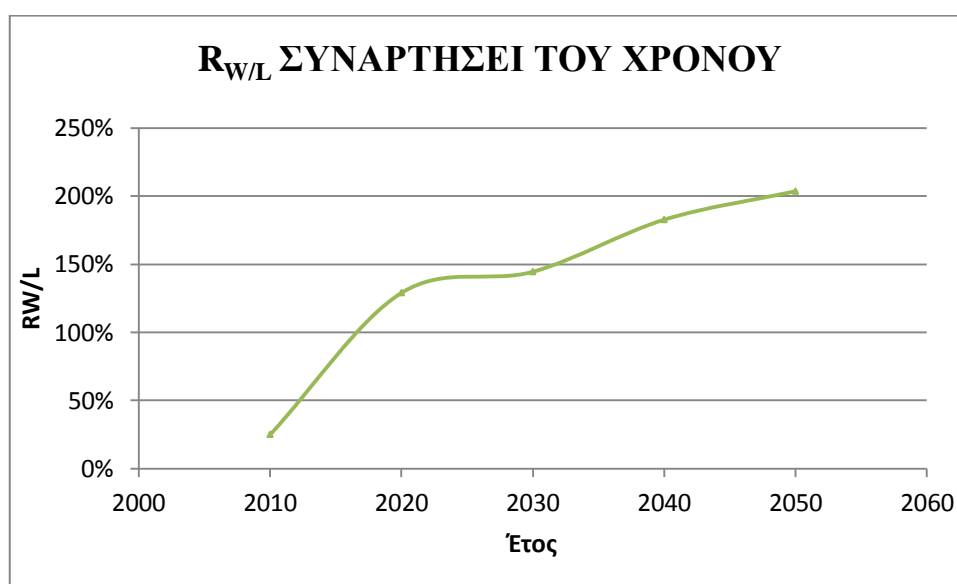
Η εμφανής και εύλογη παρατήρηση που προκύπτει από το παραπάνω διάγραμμα είναι ότι όσο αυξάνεται ο λόγος $R_{W/L}$ αυξάνεται και ο IRR καθώς αυξάνεται η παραγόμενη ενέργεια άρα και τα έσοδα της επένδυσης. Ενώ λοιπόν διαπιστώθηκε ότι ενεργειακά η πρώτη μονάδα δεν αξιοποιεί μεγάλο μέρος από την απορριφθείσα ενέργεια λόγω της μικρής ισχύος άντλησης, παρατηρείται ότι είναι η μόνη που οικονομικά συμφέρει στο άμεσο μέλλον και αυτό λόγω του αισθητά χαμηλότερου κόστους εγκατάστασής της. Για την ένταξη και των υπόλοιπων μονάδων στο σύστημα θα πρέπει ο λόγος $R_{W/L}$ να ξεπεράσει το 135% και σταδιακά για την τελευταία μονάδα το 180%.

7.3 Συσχέτιση αποτελεσμάτων με βάση το χρόνο

Για να γίνει μια εκτίμηση σχετικά με το χρονικό ορίζοντα που αναμένονται αυτές οι τιμές για τους λόγους $R_{W/L}$ χρησιμοποιούνται τα διαγράμματα 2.33α,β. Τα διαγράμματα αυτά, όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 2.5, αναφέρονται στην έκθεση του Εθνικού Ενεργειακού Σχεδιασμού έως το 2050 (Απρίλιος 2012) και αποτελούν εκτιμήσεις της εξέλιξης της ηλεκτροπαραγωγής και της αντίστοιχης εγκατεστημένης ισχύος μέχρι το 2050 ακολουθώντας διάφορα πιθανά σενάρια πολιτικής και οικονομικής στρατηγικής σχετικά με την ενέργεια. Με βάση αυτά τα διαγράμματα και λαμβάνοντας ενδεικτικά σαν σενάριο αυτό της στρατηγικής ελαχιστοποίησης του κόστους (2^η στήλη) μπορεί να υπολογιστεί για τα έτη 2020 έως 2050 η εκτιμώμενη εγκατεστημένη ισχύς αιολικών και ηλιακών σταθμών WS_{INST} , καθώς και προσεγγιστικά το μέσο φορτίο κατανάλωσης L_{MEAN} . Τα αποτελέσματα φαίνονται στον Πίνακα 7.7 και το αντίστοιχο διάγραμμα 7.4.

ΕΤΟΣ	WS_{INST} (GW)	L_{MEAN} (GW)	$R_{W/L}$
2010	1.7	6.8	25.00%
2020	10	7.75	129.03%
2030	13	9	144.44%
2040	19	10.4	182.69%
2050	23	11.3	203.54%

Πίνακας 7.7 Λόγος $R_{W/L}$ συναρτήσει του έτους



Σχήμα 7.4 Λόγος $R_{W/L}$ συναρτήσει του έτους

Από αυτό το διάγραμμα λαμβάνοντας υπόψη και το Σχ. 7.3 συμπεραίνουμε ότι η πρώτη μονάδα μπορεί να κατασκευαστεί στο πολύ άμεσο μέλλον καθώς ο λόγος $R_{w/L}=90\%$ που την καθιστά επικερδή ($IRR>10$) αναμένεται να επιτευχθεί ως το 2015. Η δεύτερη μονάδα θα πρέπει να κατασκευαστεί περί το έτος 2020, η τρίτη περί το 2030 ενώ οι υπόλοιπες τη δεκαετία 2040-2050. Σταδιακή λοιπόν κατασκευή των μονάδων ανάλογα με την ανάπτυξη των αιολικών και ηλιακών σταθμών είναι η βέλτιστη λύση για τη βιωσιμότητα της συγκεκριμένης επένδυσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8^ο - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ

8.1 Συμπεράσματα

Συνοψίζοντας, στην παρούσα εργασία μελετήθηκε η αναγκαιότητα ύπαρξης συστημάτων αποταμίευσης ενέργειας και βιώσιμων επενδυτικών σχεδίων ανάπτυξής τους. Πιο συγκεκριμένα διερευνήθηκαν τα ενεργειακά και οικονομικά οφέλη που αποκομίζονται από την κατασκευή συστήματος αντλησιοταμίευσης σε υφιστάμενο σύστημα παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας, το οποίο θα εκμεταλλεύεται την παραγωγή από Α.Π.Ε. που θα απορρίπτεται από το ηλεκτρικό δίκτυο με δεδομένη την έντονη τάση αύξησης της εγκατεστημένου ισχύος ηλιακής και αιολικής ισχύος στο εγγύς μέλλον. Η διερεύνηση έγινε με προσομοίωση του συστήματος μέσω υπολογιστικού κώδικα που λαμβάνει υπόψη τεχνικές, λειτουργικές και χρηματοοικονομικές παραμέτρους, καθώς και πραγματικά ενεργειακά δεδομένα βασιζόμενα στο έτος 2008 με προεκβολή στις επόμενες δεκαετίες και υπολογίζει τα ποσά των απορρίψεων ενέργειας, το ποσοστό αποθήκευσής της και τα ποσά της παραγόμενης, από το σύστημα αντλησιοταμίευσης, ηλεκτρικής ενέργειας σε ωριαία και ετήσια βάση. Επίσης, διενεργεί οικονομοτεχνική μελέτη που εξετάζει τη βιωσιμότητα της συγκεκριμένης επένδυσης σε βάθος 25ετίας εντάσσοντας μία μία τις μονάδες στο σύστημα.

Τα συμπεράσματα που εξάγονται είναι τα εξής:

- ❖ Με την όλο και μεγαλύτερη διείσδυση των Α.Π.Ε. και ιδιαίτερα των ηλιακών και αιολικών πάρκων στο εθνικό σύστημα ηλεκτροπαραγωγής ανάλογα αυξάνεται και το μέρος της παραγόμενης από αυτά ενέργειας που το ηλεκτρικό δίκτυο δεν μπορεί να απορροφήσει και απορρίπτει, καθιστώντας επιτακτική την εύρεση τρόπου αποτελεσματικής αξιοποίησης αυτής της ενέργειας.
- ❖ Με την αύξηση των απορρίψεων, μειώνεται ο βαθμός αποτελεσματικότητας του συστήματος αντλησιοταμίευσης, καθώς μειώνεται το ποσοστό της αποθηκεύσιμης ενέργειας ως προς το σύνολο των απορρίψεων, ενώ από την άλλη πλευρά αυξάνεται ο βαθμός χωρητικότητάς του, επειδή όλες οι μονάδες λειτουργούν περισσότερο χρόνο μέσα στο έτος.
- ❖ Από ενεργειακή σκοπιά, όσο αυξάνονται οι απορρίψεις του δικτύου το σύστημα αντλησιοταμίευσης αποταμιεύει και αξιοποιεί περισσότερη ενέργεια, το ποσοστό ωστόσο της αξιοποίησης αυτής αυξάνεται με πολύ αργό ρυθμό. Έτσι, στο άμεσο μέλλον το σύστημα απορροφά ικανοποιητικά όλες ή σημαντικό μέρος των απορρίψεων βοηθώντας με αυτόν τον τρόπο στην περαιτέρω ανάπτυξη των Α.Π.Ε. στη χώρα μας. Προφανώς, όταν η εγκατεστημένη αιολική και ηλιακή ισχύ φτάσουν σε πολύ υψηλά

επίπεδα (εκτιμάται ήδη από το 2020), δε θα αρκεί μόνο αυτό το σύστημα, αλλά θα χρειαστεί είτε η βελτιστοποίηση του σχεδιασμού των μονάδων του υπό μελέτη συστήματος (εάν αυτό είναι τεχνικά δυνατό) ώστε να αυξηθεί η αποταμιευτική τους δυνατότητα, είτε η κατασκευή και λειτουργία και άλλων αντίστοιχων αποταμιευτικών συστημάτων που θα λαμβάνουν μερίδιο από το σύνολο των πολύ αυξημένων πλέον απωλειών της αιολικής ενέργειας.

❖ Από οικονομική σκοπιά, με την αύξηση της εγκατεστημένης αιολικής και ηλιακής ισχύος, η επένδυση γίνεται όλο και περισσότερο βιώσιμη, αφού αυξάνεται ο χρηματοοικονομικός της δείκτης IRR. Η πρώτη μονάδα μπορεί να κατασκευαστεί στο πολύ άμεσο μέλλον καθώς καθίσταται επικερδής επένδυση περί το 2015. Ωστόσο, η δεύτερη μονάδα θα πρέπει να κατασκευαστεί περί το έτος 2020, η τρίτη περί το 2030 ενώ οι υπόλοιπες τη δεκαετία 2040-2050. Σταδιακή λοιπόν κατασκευή των μονάδων ανάλογα με την ανάπτυξη των αιολικών και ηλιακών σταθμών είναι η βέλτιστη λύση για τη βιωσιμότητα της συγκεκριμένης επένδυσης.

8.2 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Ολοκληρώνοντας αυτή την μελέτη, παρουσιάζονται παρακάτω ορισμένες προτάσεις, οι οποίες θα μπορούσαν να επεκτείνουν την έρευνα στην περιοχή αυτή:

- ❖ Ενσωμάτωση περισσότερων Α.Π.Ε. στο σύστημα, με προσθήκη σεναρίου αυξημένης εκμετάλλευσης ηλιακής ενέργειας με χρήση φωτοβολταϊκών πάνελ.
- ❖ Εκπόνηση σχεδίου συνεργασίας περισσότερων του ενός συστημάτων αντλησιοταμίευσης για απορρόφηση ακόμη μεγαλύτερου μεριδίου εκ των απορρίψεων του ηλεκτρικού συστήματος όταν αυτές θα έχουν φτάσει σε πολύ υψηλά επίπεδα.
- ❖ Διερεύνηση βέλτιστης αναλογίας εγκατεστημένης ισχύος αιολικών και Φ/Β σταθμών τα προσεχή έτη, έτσι ώστε να υπάρχει όφελος τόσο για τους παραγωγούς αιολικής ενέργειας, όσο και για τους παραγωγούς ηλιακής ενέργειας, ενώ ταυτόχρονα να ελαχιστοποιούνται οι απορρίψεις και να μεγιστοποιείται η δυνατότητα αποθήκευσής τους.
- ❖ Επέκταση της μελέτης προς την κατεύθυνση των έξυπνων δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας μετά την παραγωγή (δηλαδή διανομή, αποθήκευση, χρήση).
- ❖ Παραμετρική ανάλυση και μελέτη βελτιστοποίησης του συστήματος αντλησιοταμίευσης, κάνοντας χρήση κατάλληλου λογισμικού.
- ❖ Ανάπτυξη και βελτίωση του υπολογιστικού κώδικα σε γραφικό περιβάλλον με δυνατότητα άμεσης οπτικοποίησης των αποτελεσμάτων και των διαγραμμάτων λειτουργίας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Anagnostopoulos J.S., Papantonis D.E., «*Combined Conventional Hydropower Plants and Pumped Storage units to support Large Wind Penetration in Electric grids*», 2011
2. Anagnostopoulos J.S., Papantonis D.E., «*Energy storage to support large RES integration in Greece: Current policy, legislation, and investment prospects*», 2012
3. L. Bartram, J. Rodgers and K. Muise. «*Chasing the negawatt: Visualization for Sustainable Living*» IEEE Computer Graphics and Applications, 2010
4. ΔΑΦΝΗ – Δίκτυο Αειφόρων Νήσων Αιγαίου
<http://www.dafni.net.gr/gr/archives/isle-smart.htm>
5. ΔΕΣΜΗΕ, «*Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας & ΣΗΘΥΑ, Συνοπτικό Πληροφοριακό Δελτίο*», Δεκέμβριος 2011
6. Εθνικός Ενεργειακός Σχεδιασμός, «*Οδικός Χάρτης για το 2050*», Μάρτιος 2012
7. Ενεργειακό Γραφείο Ίου-Αιγαίου
<http://www.aegean-energy.gr/gr/home.htm>
8. Ευρωπαϊκό – Διαμεσογειακό Συνέδριο, «*Το σύμφωνο των νησιών και ο ρόλος των νησιωτικών αρχών στον αειφόρο ενεργειακό σχεδιασμό*», Σύρος, 2011
9. European Commission, 2001
10. European Commission, «*Energy Roadmap 2050*», 2012
11. Europe in figures – Eurostat yearbook 2009
12. Ζερβός Α., «*Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας*», Ε.Μ.Π., 2007
13. International Energy Outlook 2010,
www.eia.gov/oiaf/ieo/index.html
14. Kaburlasos VG, Kehagias A, «*Novel analysis and design of fuzzy inference systems based on lattice theory*», 2004
15. ΚΑΠΕ
<http://www.cres.gr/>

Βιβλιογραφία

16. Κάπρος Π., «*Το ειδικό τέλος ΑΠΕ – Ανάλυση και προβλέψεις*», Εργαστήριο ενεργειακής οικονομίας ΕΜΠ, 2011
17. Kusko Alexander, «*Power Quality in Electrical Systems*», 2007
18. Makansi J, Van der Linden S, Schien K, «*Energy Storage Options for central Illinois*», 2003
19. Μικεδής Μ., «*Δυνατότητες Αύξησης της Απορρόφησης Αιολικής Παράγωγης στο Διασυνδεδεμένο Ηλεκτρικό Δίκτυο της Ελλάδας με Ανάπτυξη Μονάδων Αντλησιοταμίευσης*», Διπλωματική Εργασία, 2011
20. Μιχαλακόπουλος Α., «*Ενεργειακή Προσομοίωση και Τεχνοοικονομική Μελέτη Υβριδικού Υδροηλεκτρικού Συστήματος Αφαλάτωσης και Παραγωγής Υδρογόνου*», Διπλωματική Εργασία, 2010
21. Μπεργελές Γ., «*Ανεμοκινητήρες*», Εκδόσεις Συμείων, 2005
22. Μπουλαζής Ν., «*Η Διείσδυση των ΑΠΕ στο Ηλεκτρικό Δίκτυο και οι Εθνικοί Στόχοι για το 2020*», IENE, 2009
23. Naish, T., Powell, R., Levy, R., Florindo, F., Harwood, D., Kuhn, G., Niessen, F., Talarico, F., Wilson, G., «*A record of Antarctic climate and ice sheet history recovered*», 2007
24. Παληαρούτα Δέσποινα, «*Διερεύνηση δυνατοτήτων αποθήκευσης περίσσειας ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές στο διασυνδεδεμένο δίκτυο της Ελλάδας*», Διπλωματική Εργασία, 2011
25. Παπαντώνης Δ., «*Υδροδυναμικές Μηχανές, Αντλίες – Υδροστρόβιλοι*», Εκδόσεις Συμείων, 2004
26. Παπαντώνης Δ., «*Μικρά Υδροηλεκτρικά Έργα*», Εκδόσεις Συμείων, 2007
27. Παπαντώνης Δ., «*Νέες προοπτικές για την Ανάπτυξη της αντλησιοταμίευσης στην Ελλάδα - Τεχνολογία και Τεχνολογικοί Περιορισμοί*», Ιωάννινα, 2009
28. Panwara N.L., Kaushikb S.C., Surendra Kotharia, «*Role of renewable energy sources in environmental protection: A review*» Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2011
29. E.S. Ribeiro, L.E. Dias, V.H. Alvarez. V., J.W.V. Mello, W.L. Daniels, «*Dynamics of Sulfur Fractions in Brazilian Soils Submitted to Consecutive Harvests of Sorghum*», 2001
30. Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας
http://www.rae.gr/site/categories_new/consumers/know_about/electricity/production.csp
31. Σαμόλη Α., «*Υπολογιστική Διερεύνηση των Δυνατοτήτων Αποθήκευσης Ενέργειας με Αντλησιοταμίευση στο Διασυνδεδεμένο Ηλεκτρικό Δίκτυο της Χώρας, για την Εξυπηρέτηση του Στόχου Υψηλής Διείσδυσης των ΑΠΕ με Χρονικό Ορίζοντα έως το 2050*», Διπλωματική Εργασία, 2012

Βιβλιογραφία

32. Stefanakos J., “*Investigation of the Possibilities of Constructing Pumped Storage Plants in Regions of the Greek Interconnected System of Electricity*”. Technical Chamber of Greece Meeting; Chalkida, Greece, April 10-11, 2009
33. ΤΑ ΝΕΑ, «*Σχέδιο για αρχιπέλαγος καθαρής ενέργειας*», Οκτώβριος 2009
<http://www.tanea.gr/news/greece/article/4543698/?iid=2>
34. Χατζηβασιλειάδης Γ., «*Εξυπνα Ηλεκτρικά Δίκτυα για Μεγάλη Διείσδυση ΑΠΕ*», ΙΕΝΕ, 2009