



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

### **ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

Διερεύνηση δυνατοτήτων αποθήκευσης περίσσειας ενέργειας από  
ανανεώσιμες πηγές στο διασυνδεδεμένο δίκτυο της Ελλάδας



**ΠΑΛΗΑΡΟΥΤΑ ΔΕΣΠΟΙΝΑ-ΛΗΤΩ**

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:  
ΑΝΑΓΝΩΣΤΟΠΟΥΛΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2011

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η υψηλή διείσδυση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (κυρίως αιολική και ηλιακή) σε ηλεκτρικά αυτόνομα συστήματα αντιμετωπίζει σημαντικά τεχνικά προβλήματα και περιορισμούς που οφείλονται στις δυσμενείς επιπτώσεις της κυμαινόμενης και διακοπτόμενης παραγωγής ΑΠΕ προκειμένου να επιτευχθεί η σταθερότητα και η αξιοπιστία του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. Η αποθήκευση ενέργειας αποτελεί έναν αποτελεσματικό τρόπο για τη διαχείριση πλεονάζουσας παραγωγής ΑΠΕ, ενώ η αντλήσιοταμίευση αποτελεί την πιο κατάλληλη και λιγότερο δαπανηρή λύση για την μαζική αποθήκευση ενέργειας.

Η παρούσα μελέτη έχει ως στόχο να διερευνήσει τις επιδόσεις ενός συστήματος αποθήκευσης που θα εισαχθεί σε κάποιους συμβατικούς ΥΗΣ στην Ελλάδα. Αρχικά, με την βοήθεια ενός υπολογιστικού κώδικα γλώσσας Fortran, εκτιμάται η απόρριψη της παραγωγής ΑΠΕ ανάλογα με την εγκατεστημένη ισχύ, μέσω ενεργειακών δεδομένων όπως αυτά δίνονται από την ΔΕΗ Α.Ε για ένα έτος αναφοράς(2008). Στη συνέχεια, μελετάται ένα συγκρότημα αντλιοστασίων το οποίο τροφοδοτείται από την απορριφθείσα ενέργεια και αυξάνει το νερό από μια χαμηλότερη δεξαμενή στην άνω κύρια δεξαμενή του. Η πρόσθετη υδραυλική ενέργεια που αποθηκεύεται στο σύστημα μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί για την παραγωγή σταθερής και ελεγχόμενης ηλεκτρικής ενέργειας.

Προκειμένου να καταλήξουμε σε αξιόπιστα συμπεράσματα, μελετώνται διάφορα σενάρια σχετικά με το ποσοστό της ενέργειας που αξιοποιείται από κάθε πιθανή αναστρέψιμη μονάδα. Η λειτουργία του συνδυασμένου συστήματος προσομοιώνεται με λεπτομέρεια και τα ενεργειακά αποτελέσματα αναλύονται εκτενώς. Επιπλέον, γίνεται οικονομοτεχνική αξιολόγηση των αντλητικών συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας η οποία πραγματοποιείται με βάση τις τρέχουσες οικονομικές συνθήκες της Ελλάδας. Όλα τα παραπάνω προκύπτουν με την βοήθεια ενός δεύτερου υπολογιστικού κώδικα γλώσσας Fortran. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ένα σημαντικό ποσό της παραγωγής ΑΠΕ μπορούν να αποθηκεύονται και να αξιοποιούνται, αυξάνοντας την ετήσια παραγωγή ενέργειας αλλά και εξασφαλίζοντας την οικονομική βιωσιμότητα μιας τέτοιας επένδυσης, η οποία εξαρτάται από κρίσιμες παραμέτρους, ορισμένες από τις οποίες εντοπίστηκαν, όπως η εγκατεστημένη αιολική ισχύς, οι ώρες λειτουργίας των σταθμών και η σειρά κατασκευής τους.

## ABSTRACT

The high penetration of Renewable Energy Sources (mainly wind and solar) into electricity grid systems faces significant technical problems and limitations due to the adverse effects of fluctuating and intermittent Renewable Energy Sources production to achieve stability and reliability of the electricity system. Energy storage is an effective way to manage excess RES, and the pumped storage is the most appropriate and least expensive solution for mass energy storage. This study aims to investigate the performance of a storage system to be introduced to some conventional HPP in Greece. Initially, with the help of a computer code (named Fortran), rejections of RES are estimated according to the installed power through energy data as given by the PPC for a base year (2008). Then, pumping power system which is powered by the rejected energy and increases the water from a lower reservoir to the upper main tank achievements is investigated. The additional hydraulic energy stored in the system can be reused for the production of stable and controlled power. In order to reach reliable conclusions, various scenarios are examined on the amount of energy utilized in any possible reversible unit. The operation of the combined system is simulated in detail and energy results are analyzed extensively. Moreover, an economic evaluation of the pumped energy storage systems is carried out based on current economic conditions in Greece. All these results obtained with the help of a second computer code. The results showed that a significant amount of RES can be stored and used, increasing the annual energy production and ensuring the financial viability of such an investment, which depends on critical parameters, some of which were identified as the installed wind power, the hours of the stations' operation and the series of their construction.

Σ' αυτό το σημείο θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον καθηγητή κ.Ι.Αναγνωστόπουλο αφού χωρίς την καθοδήγηση και την πολύτιμη βοήθεια του, δε θα ήταν δυνατή η εκπόνηση αυτής της Διπλωματικής εργασίας.Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών Ε.Μ.Π. για τη σημαντική συμβολή τους στην επιστημονική μου κατάρτιση.

Αθήνα, Ιούλιος 2011

Παληαρούτα Δέσποινα-Λητώ

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	2
1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	8
1.2 Ενεργειακό πρόβλημα .....	8
1.2 Φαινόμενο Θερμοκηπίου .....	11
1.3 Σκοπός της εργασίας .....	17
1.4 Διάρθρωση της εργασίας.....	17
2. ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	19
2.1 Εισαγωγή.....	19
2.2 Οι Κύριες Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας .....	23
2.3 Πλεονεκτήματα των ΑΠΕ.....	31
2.4 ΑΠΕ στην Ελλάδα.....	32
3. ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ .....	34
3.1 Η ανάγκη της αποθήκευσης ενέργειας.....	34
3.2 Τρόποι αποθήκευσης ενέργειας .....	39
3.2.1.Μπαταρίες μολύβδου – οξέος .....	43
3.2.2. Μπαταρίες νικελίου – καδμίου .....	43
3.2.3 Μπαταρίες λιθίου – ιόντος .....	43
3.2.4 Λοιπές μπαταρίες .....	43
3.2.5 Στρεφόμενες μάζες-Σφόνδυλοι .....	44
3.2.6 Υπέρ - πυκνωτής (supercapacitor) και Υπεραγώγιμα πηνία (SMES).....	45
3.2.7 Αντλησιοταμίευση (Pump – hydro storage).....	45
3.2.8 Σύστημα συμπίεσης αέρα (CAES).....	46
4.ΑΝΑΣΤΡΕΨΙΜΑ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΕΡΓΑ.....	48
4.1 Υδροηλεκτρική Ενέργεια .....	48
4.2 Σύστημα αντλησιοταμίευσης-Τρόπος λειτουργίας .....	49
4.2 Αντλησιοταμίευση σε παγκόσμιο επίπεδο .....	52
4.3 Έργα αντλησιοταμίευσης .....	52
4.4 Αναστρέψιμα υδροηλεκτρικά έργα .....	54
4.5 Τα συμβατικά αναστρέψιμα ΥΗΕ.....	55
4.6 Αναστρέψιμα ΥΗΕ για την απορρόφηση περίσσειας παραγωγής από ΑΠΕ.....	56
4.6.1 Γενικά.....	56
4.6.2 Τρόποι διασύνδεσης υβριδικού σταθμού με το ενεργειακό δίκτυο .....	57
4.6.3 Άντληση νερού.....	58
4.7 Δυνατότητες εγκατάστασης αναστρέψιμων υδροηλεκτρικών έργων στην Ελλάδα .....	59
4.7.1 Ιστορική αναδρομή στην ανάπτυξη-εξέλιξη των υδροηλεκτρικών σταθμών της ΔΕΗ από το 1950 μέχρι σήμερα .....	59

4.7.2	Σύντομη Περιγραφή ΥΗΣ.....	61
4.7.3	Δημιουργία νέων αναστρέψιμων υδροηλεκτρικών σταθμών στην ηπειρωτική Ελλάδα.....	63
5.	ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΗ ΝΕΟΥ ΣΧΗΜΑΤΟΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΕ .....	67
5.1	Ποταμός Αχελώος.....	67
5.2	Υδροηλεκτρικό έργο Καστρακίου .....	69
5.3	Υδροηλεκτρικό Έργο Στράτου Ι και ΙΙ .....	71
5.4	Επιδίωξη της μελέτης.....	72
6.	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	78
6.1	Περιγραφή του προτεινόμενου σχήματος .....	78
6.2	Ετήσια παραγωγή ενέργειας.....	83
6.2	Ετήσια απορριπτόμενη αιολική ενέργεια από το δίκτυο.....	85
6.3	ΣΕΝΑΡΙΟ 1: Ένταξη των υδροστροβίλων των αναστρέψιμων σταθμών μόνο σε διάστημα 8 ωρών ημερησίως (ώρες αιχμής, δηλαδή 11:00π.μ-15:00μ.μ και 19:00μ.μ-23:00μ.μ).....	87
6.4	ΣΕΝΑΡΙΟ 2:Αλλαγή της σειράς ένταξης των αναστρέψιμων σταθμών.Πρώτη να εντάσσεται η μονάδα 8.....	96
6.4	ΣΕΝΑΡΙΟ 3: Ένταξη των υδροστροβίλων των αναστρέψιμων σταθμών σε διάστημα 14 ωρών ημερησίως (δηλαδή 9:00π.μ-23:00μ.μ).....	102
6.5	Τελικά αποτελέσματα.....	107
6.5.1	Τελικά αποτελέσματα του Σεναρίου 1 .....	107
6.5.2	Τελικά αποτελέσματα Σεναρίου 2.....	108
6.5.3	Τελικά αποτελέσματα Σεναρίου 3.....	109
6.5.4	Τελικά διαγράμματα.....	110
7.	ΤΕΧΝΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ .....	115
7.1	Εισαγωγή.....	115
7.2	Σενάριο 1: 4 ώρες λειτουργίας των αναστρέψιμων μονάδων ημερησίως.....	116
7.3	Σενάριο 2: 8 ώρες λειτουργίας των αναστρέψιμων μονάδων ημερησίως.....	118
7.3.1	Κατασκευή των αναστρέψιμων σταθμών ανάλογα με το κόστος κατασκευής τους.....	119
7.3.2	Κατασκευή των αναστρέψιμων σταθμών ανάλογα με το κόστος κατασκευής των σταθμών και τις ώρες λειτουργίας τους .....	120
7.4	Σενάριο 3: 12 ώρες λειτουργίας των αναστρέψιμων μονάδων ημερησίως.....	122
7.4.1	Κατασκευή των αναστρέψιμων σταθμών ανάλογα με το κόστος κατασκευής τους.....	122
7.4.2	Κατασκευή των αναστρέψιμων σταθμών ανάλογα με το κόστος κατασκευής των σταθμών και τις ώρες λειτουργίας τους .....	124
7.5	Επίδραση του $R_{w-s}$ στον εσωτερικό βαθμό απόδοσης IRR.....	125
8.	Συμπεράσματα και προτάσεις για περαιτέρω έρευνα .....	128

8.1 Συμπεράσματα.....	128
8.2Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.....	128
ΑΝΑΦΟΡΕΣ .....	129

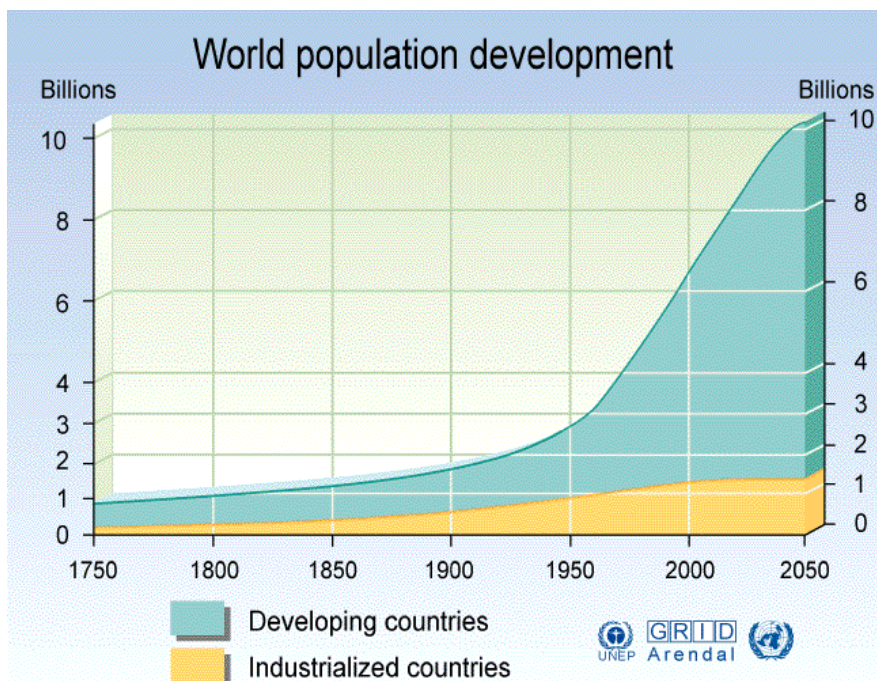
# 1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1.2 Ενεργειακό πρόβλημα

Οι τελευταίοι αιώνες της παγκόσμιας ιστορίας χαρακτηρίστηκαν από πρωτοφανή ανάπτυξη σε πολλούς τομείς της ανθρώπινης δραστηριότητας. Η παραγωγή και διαχείριση της ενέργειας ήταν και θα παραμείνει βασικό χαρακτηριστικό του μοντέλου βιώσιμης ανάπτυξης, στόχος του οποίου αποτελεί η οικονομική ανάπτυξη των κρατών και η ευημερία των πολιτών του κόσμου. Η ανάγκη για αξιοποίηση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) γίνεται ολοένα και εντονότερη, τόσο σε παγκόσμιο, όσο και σε ευρωπαϊκό επίπεδο. Σύμφωνα με πρόσφατη έκθεση του Υπουργείου Ενέργειας των ΗΠΑ, εάν οι τρέχουσες νομοθεσίες και πολιτικές παραμείνουν αμετάβλητες στις επόμενες δεκαετίες, η παγκόσμια απαίτηση σε ενέργεια θα αυξηθεί κατά 50% από την τιμή του 2005 μέχρι το 2030.

Το ενεργειακό πρόβλημα ήταν πάντα στην επικαιρότητα τις τελευταίες δεκαετίες και πολλές φορές υπήρξε το αίτιο (ως διεκδικούμενος φυσικός πόρος ή ως πηγή ισχύος) για μεγάλες στρατιωτικο-πολιτικο-οικονομικές ανακατατάξεις στον παγκόσμιο χάρτη. Τα τελευταία χρόνια μάλιστα και με δεδομένο ότι κάποιοι από τους φυσικούς πόρους είναι πεπερασμένοι (άνθρακας, πετρέλαιο, φυσικό αέριο) ο ανταγωνισμός για τον έλεγχο της αγοράς ενέργειας έχει γίνει ακόμα πιο έντονος. [9]

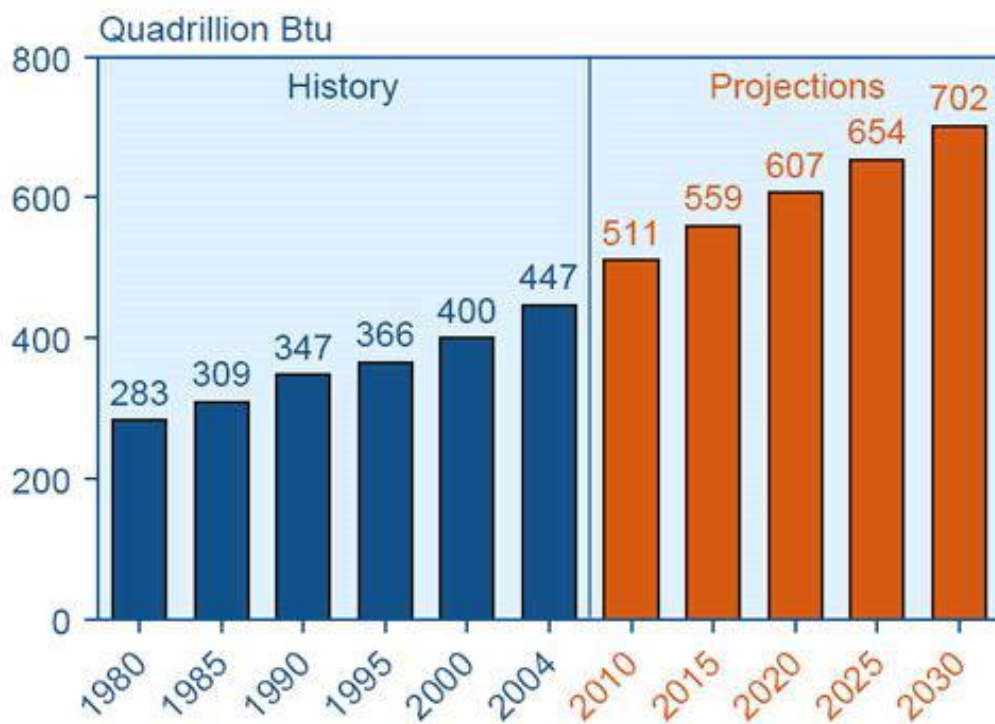
Ο πληθυσμός της γης έχει φτάσει πια τα 7 δισεκατομμύρια. Οι άνθρωποι χρειάζονται την ενέργεια για να βελτιώσουν το επίπεδο της διαβίωσης τους. Πολλοί επιστήμονες μάλιστα συσχετίζουν την ποιότητα διαβίωσης με την κατανάλωση ενέργειας .



**Εικόνα 1.1:** Αύξηση του πληθυσμού της γης σε δισεκατομμύρια ανθρώπους

(<http://www.treehugger.com/World-Population-Growth-2050.JPG>)





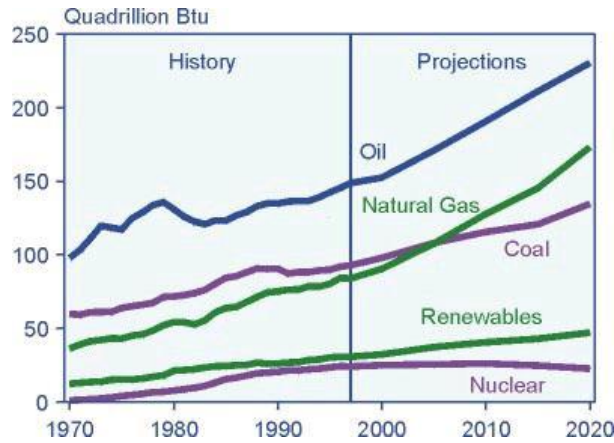
**Εικόνα 1.2:** Αύξηση της παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας

(<http://www.solarcentral.org/drupal/files/images/worldenergyconsumption.jpg>)

Σημείωση: 1 quadrillion btu =  $1,05505 \times 10^{18}$  joules

Πολλές αναπτυσσόμενες χώρες αυξάνουν ραγδαία την εγκατεστημένη ισχύ τους, γεγονός που οφείλεται κυρίως στο αυξανόμενο βιοτικό τους επίπεδο. Στην Δημοκρατία της Κίνας το 1997 κατασκευάζονταν μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με ρυθμό 300MW / εβδομάδα. Η κατανάλωση ενέργειας γίνεται παγκοσμίως ολοένα και μεγαλύτερη. Το 2007, η παγκόσμια ενεργειακή κατανάλωση έφτασε στα 11.433,9 Mtoes ισοδύναμου πετρελαίου (132.952 δισεκατομμύρια KWh)[16]

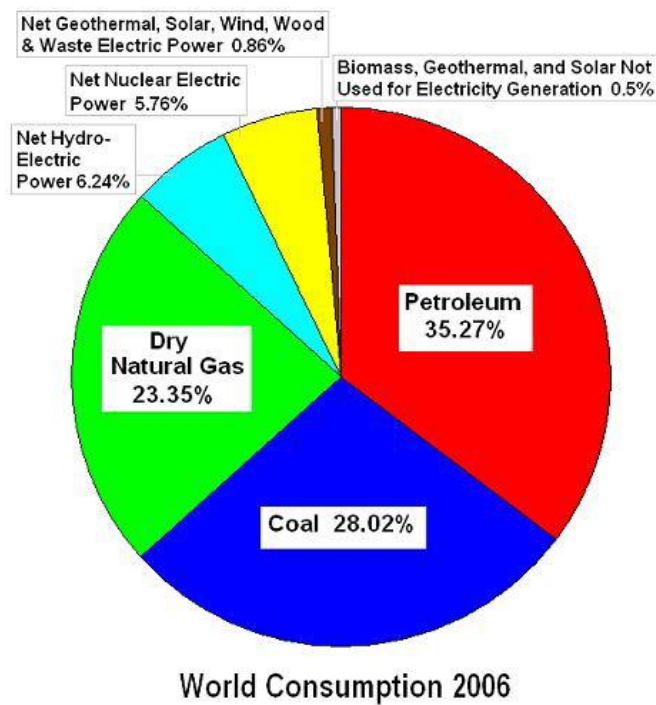
Σημείωση: 1 toe =  $41,86 \times 10^9$  Joule =  $10^{10}$  cal = 11.627,9 KWh



**Εικόνα 1.3:** Παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας ανά είδος καυσίμου σε quadrillion BTU

(<http://telstar.ote.cmu.edu/environ/m3/s3/10use.shtml>)

Κατά προσέγγιση, το 86,6 % της παγκόσμιας ζήτησης σε ενέργεια καλύπτεται με τη χρήση ορυκτών καυσίμων(πετρέλαιο: 35,27 % γαιάνθρακες: 28,02 % φυσικό αέριο: 23,35 % ) [10]



**Εικόνα 1.4:** Παγκόσμια κατανάλωση καυσίμου ανά είδος καυσίμου το 2006

(<http://edro.wordpress.com/energy/286w/>)

Όμως η χρήση των συμβατικών καυσίμων για την παραγωγή ενέργειας παρουσιάζει δύο βασικά μειονεκτήματα:

- Την εξάρτηση από εξαντλήσιμες πηγές ενέργειας αφού οι ποσότητες των συμβατικών καυσίμων είναι περιορισμένες.
- Την ρύπανση του περιβάλλοντος δεδομένου ότι η ραγδαία αύξηση των ενεργειακών απαιτήσεων έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των εκπομπών, και συνεπακόλουθα των συγκεντρώσεων CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα. Η αύξηση αυτή συνδέεται με το λεγόμενο «φαινόμενο του θερμοκηπίου» και την επαπειλούμενη κλιματική αλλαγή. Πιο αναλυτικά, οι συγκεντρώσεις του CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα αυξάνονται με ρυθμό 0,6% ετησίως τα τελευταία χρόνια και αυτός ο ρυθμός τείνει να αυξηθεί. Συνεπώς, περιμένουμε ότι στο μέσο του 21ου αιώνα η συγκέντρωση του CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα θα είναι διπλάσια των επιπέδων της προ-βιομηχανικής εποχής.[15]

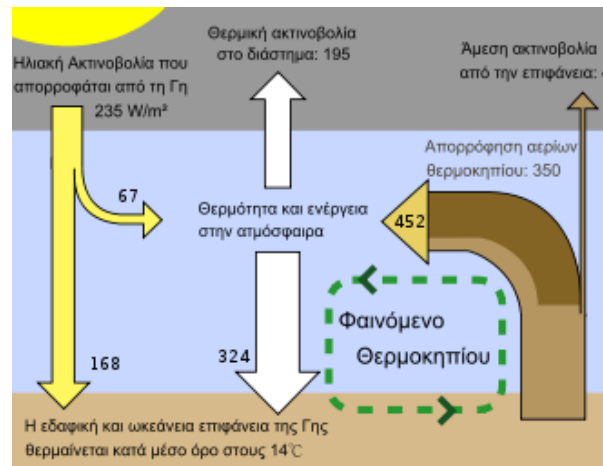


**Εικόνα 1.5:** Μόλυνση του περιβάλλοντος

## ***1.2 Φαινόμενο Θερμοκηπίου***

Ως Φαινόμενο του θερμοκηπίου χαρακτηρίζεται το φαινόμενο της θέρμανσης που παρατηρείται στα θερμοκήπια. Από εκεί άλλωστε έχει πάρει και την ονομασία του. Κατά το φαινόμενο αυτό η γυάλινη υπερκατασκευή ή θόλος είναι διάφανη για τη φωτεινή ακτινοβολία, η οποία εισέρχεται στο στεγασμένο χώρο, απορροφάται εν μέρει, διαχέεται και επανεκπέμπεται. Η κατασκευή όμως είναι αδιαφανής για την δευτερογενή αυτή ακτινοβολία η οποία επανεκπέμπεται, με αποτέλεσμα να "παγιδεύεται" στον χώρο και τελικά να μετατρέπεται σε θερμότητα (αρχή του θερμοκηπίου). Με τον τρόπο αυτό θερμαίνει το εσωτερικό του θερμοκηπίου με αποτέλεσμα να διατηρούνται οι καλλιέργειες πάντα σε κατάλληλη και σχετικά σταθερή θερμοκρασία.

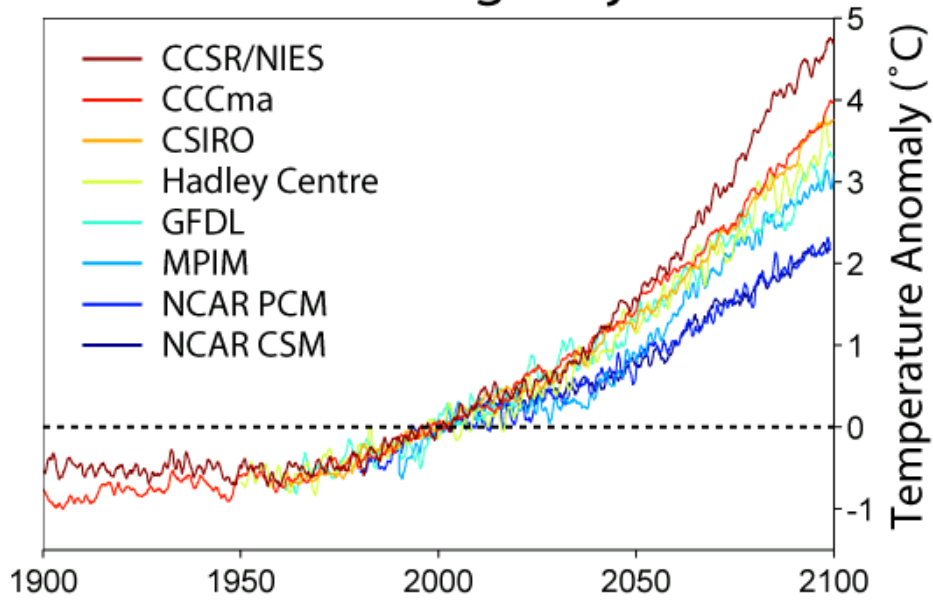
Το ίδιο φαινόμενο παρατηρείται και στη Φύση κατά την οποία η ατμόσφαιρα ενός πλανήτη συμβάλλει στη θέρμανσή του. Ανακαλύφθηκε για πρώτη φορά από τον Γάλλο μαθηματικό, αστρολόγο και φυσικό Ζοζέφ Φουριέ, το 1824, ενώ διερευνήθηκε συστηματικά από τον Σβάντε Αρρένιους το 1896. Τα τελευταία χρόνια, ο όρος συνδέεται με την παγκόσμια θέρμανση (global warming), ενώ θεωρείται πως το φαινόμενο έχει ενισχυθεί σημαντικά από ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Το φαινόμενο παρατηρείται σε όλους τους πλανήτες που διαθέτουν ατμόσφαιρα.



**Εικόνα 1.6:** Φαινόμενο του θερμοκηπίου

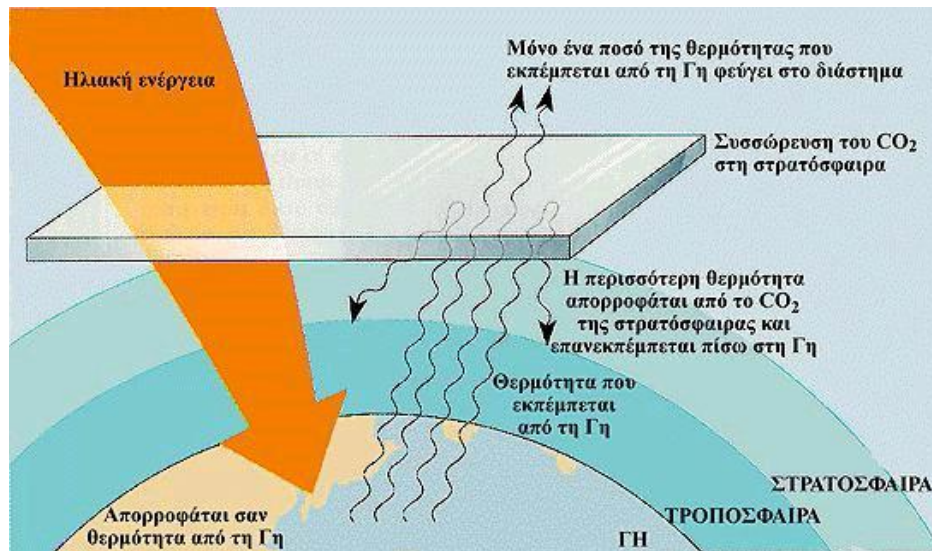
Η ενίσχυση του φαινομένου από τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες αποτελεί το σημαντικότερο περιβαλλοντικό πρόβλημα. Η παγκόσμια θερμοκρασία ενδέχεται να αυξηθεί έως και 4 βαθμούς Κελσίου έως τα μέσα της δεκαετίας του 2050 εάν συνεχισθούν οι σημερινές εκπομπές αερίων  $\text{CO}_2$ . Το φαινόμενο αυτό, της αύξησης της συνολικής θερμοκρασίας του πλανήτη, μπορεί να έχει ανυπολόγιστες συνέπειες για τους ζωντανούς οργανισμούς. Οι συνέπειες αυτές μπορεί να είναι άμεσες (εμφάνιση ακραίων θερμοκρασιών, ερημοποίηση «πράσινων» περιοχών) ή μελλοντικές (συνολική αλλαγή του κλίματος, λιώσιμο των πάγων, άνοδος του επιπέδου της θάλασσας, καταποντισμός παράκτιων περιοχών) [17]

# Global Warming Projections



Εικόνα 1.7: Προβλέψεις σχετικά με την αύξηση της θερμοκρασίας στην γη

(<http://www.sema.go.th/files/Content/science/k4/0029/Global%20warming/p31.html>)



Εικόνα 1.8: Παγίδευση της ακτινοβολίας από στρώμα διοξειδίου του άνθρακα

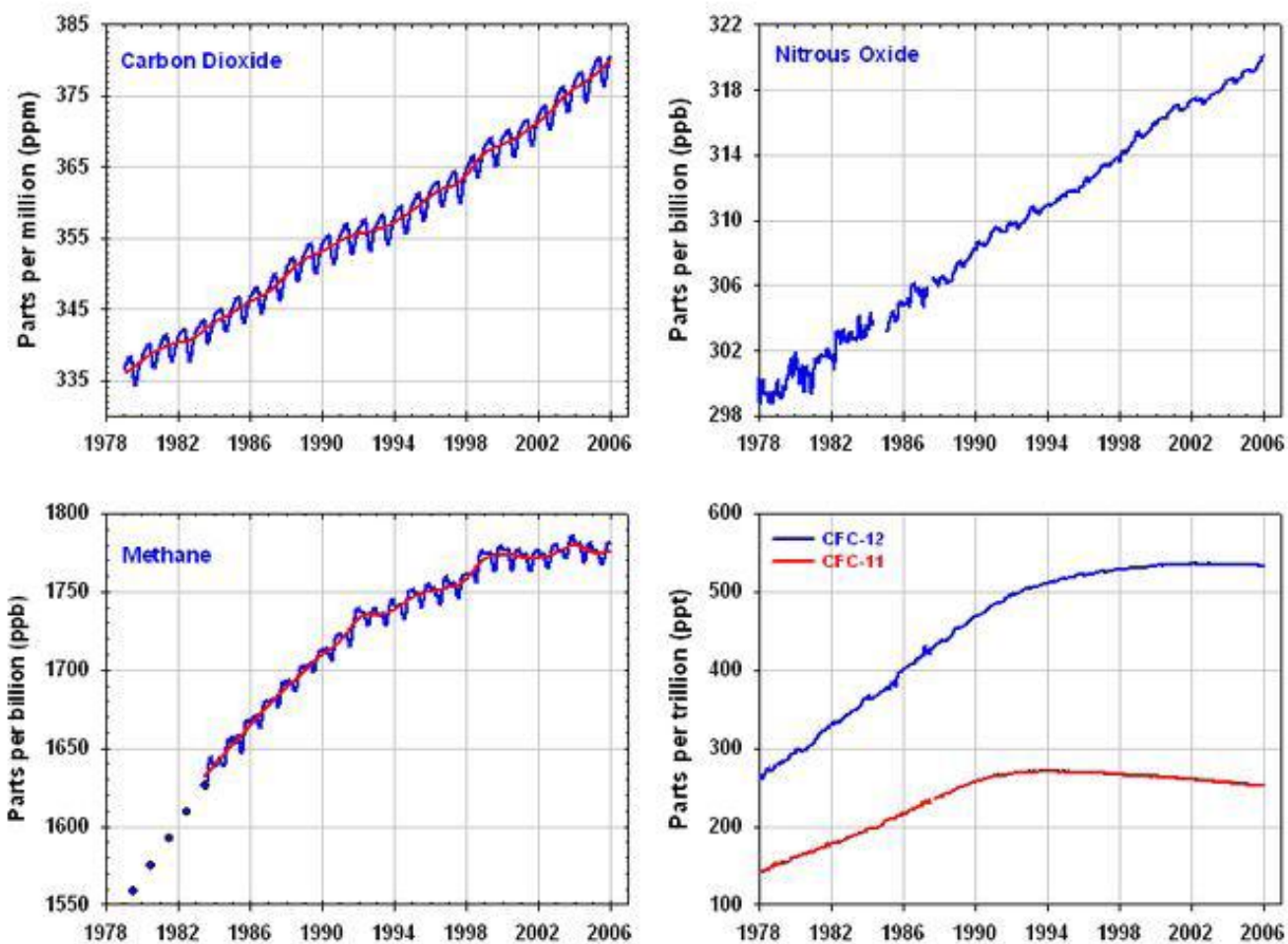
(<http://users.att.sch.gr/xtsamis/images/TherDiox.JPG>)

Στον πίνακα που ακολουθεί (ΠΙΝΑΚΑΣ 1.1) εμφανίζονται τα αέρια που συμμετέχουν ενεργά στο Φαινόμενο Θερμοκηπίου, οι συγκεντρώσεις τους στην ατμόσφαιρα σε μέρη ανά εκατομμύριο(ppm) ή μέρη ανά δισεκατομμύριο (ppb) κατά το έτος 1750 και σήμερα, καθώς και η προέλευσή τους, φυσική ή ανθρωπογενής.

ΑΕΡΙΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ	ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΤΟ ΕΤΟΣ 1975	ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΣΗΜΕΡΑ	ΠΟΣΟΣΤΟ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ	ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ
Διοξείδιο άνθρακα	280ppm	360ppm	29%	Οργανική αποσύνθεση, Πυρκαγιές δασών, Ηφαίστεια, Καύσιμα Αποδασώσεις, κ.λ.π.
Μεθάνιο	0.70ppm	1.70ppm	143%	Υγρότοποι, Οργανική αποσύνθεση, Τερμίτες, Φυσικό αέριο – πετρελαιοπηγές, Καύση βιομάζας, Ρυζοκαλλιέργειες, Κτήνη, Σκουπιδότοποι
Οξείδια του αζώτου	280ppb	310ppb	11%	Δάση, Λιβάδια, Ωκεανοί, Απορρίμματα, Καλλιέργειες, Λιπάσματα, Καύση Βιομάζας, Καύσιμα
Χλωροφθοράνθρακες	0	900ppt	-	Ψυγεία, Ψεκασμοί,  Αεριοθούμενα, Απορρυπαντικά
Όζον	Άγνωστο	Ποικίλει	-	Δράση ηλιακής ακτινοβολίας επί μορίων οξυγόνου και τεχνητή παραγωγή διά μέσου της φωτοχημικής αιθαλομίχλης

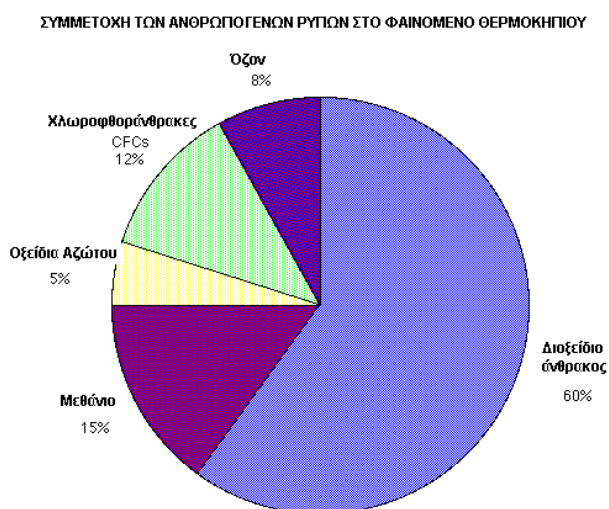
**Πίνακας 1.1** Αέρια που συμμετέχουν ενεργά στο Φαινόμενο Θερμοκηπίου





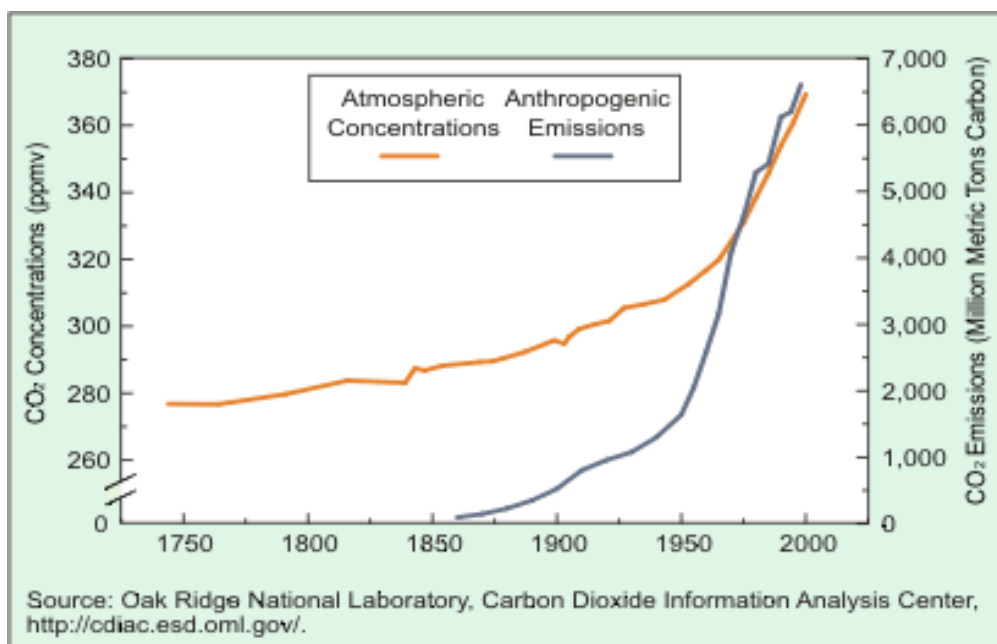
Εικόνα 1.8: Αύξηση των αερίων του θερμοκηπίου

(<http://bioage.typepad.com/photos/uncategorized/noaaaigg.png>)



Εικόνα 1.9: Συμμετοχή των ανθρωπογενών ρύπων στο φαινόμενο του θερμοκηπίου

(<http://users.att.sch.gr/xtsamis/OkosmosMas/FainThermoKip.htm>)



**Εικόνα 1.10:** Αύξηση του CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα

(<http://www.eia.doe.gov/oiaf/1605/ggcebro/chapter1.html>)



Οι πιο συζητημένες επιπτώσεις του φαινομένου είναι η ανύψωση της στάθμης των θαλασσών λόγω τήξεως των πάγων των πόλων και η ερημοποίηση εκτεταμένων περιοχών της εύκρατης ζώνης με μετακίνηση των ζωνών βροχόπτωσης από τον ισημερινό προς βορρά. Η σημαντική ανύψωση της στάθμης των θαλασσών (μερικά μοντέλα την εκτιμούν στα 65 εκατοστά μέχρι το τέλος του αιώνα) αυτονόητο είναι ότι θα οδηγήσει σε καταβύθιση ολόκληρων παράκτιων περιοχών συμπαρασύροντας και ολόκληρες πόλεις. Η ερημοποίηση, όπως και η λέξη

δηλώνει, θα καταστήσει το έδαφος ακατοίκητο, αφού η λειψυδρία θα είναι φοβερή. Πέραν αυτών όμως οι επιπτώσεις της παγκόσμιας θέρμανσης ενδεχομένως θα είναι απρόβλεπτες τόσο στις κλιματικές επιπτώσεις όσο και στην ανακατανομή της ποιότητας των εδαφών. Άγνωστος επίσης είναι και ο τρόπος και βαθμός προσαρμογής του ζωικού και φυτικού βασιλείου στις νέες συνθήκες. Όλα αυτά βεβαίως θα οδηγήσουν σε αλυσιδωτά προβλήματα που θα αφορούν όλους τους τομείς της ανθρώπινης δραστηριότητας αφού όλα είναι συνυφασμένα με το περιβάλλον, το οποίο θα αλλάξει δραστικά. Η λύση του προβλήματος είναι οι 'ΗΠΙΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ', δηλαδή η χρήση της ηλιακής, της γεωθερμικής, της αιολικής, της βιομάζας αλλά και της πυρηνικής ενέργειας. Η αντικατάσταση των συμβατικών καυσίμων και η καθιέρωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι εφικτή στις μέρες μας, αφού η απαραίτητη τεχνολογία και τεχνογνωσία υπάρχουν.[13]



### **1.3 Σκοπός της εργασίας**

Η παρούσα διπλωματική εργασία σημαντικό κομμάτι της οποίας έχει ήδη πραγματοποιηθεί στα πλαίσια του ερευνητικού έργου «Διερεύνηση της δυνατότητας κατασκευής έργων αποταμίευσης ενέργειας μέσω άντλησης σε περιοχές του Ελληνικού Διασυνδεδεμένου Συστήματος Ηλεκτρικής ενέργειας» που διενεργήθηκε από το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο για λογαριασμό της Ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας (2010), έχει ως στόχο να συμβάλλει στον ενεργειακό σχεδιασμό της Ελλάδας για τα επόμενα χρόνια, μέσω της μελέτης δυνατότητας προσθήκης αντλητικών συγκροτημάτων-αναστρέψιμων υδροηλεκτρικών έργων σε υπάρχοντες ταμιευτήρες και συγκεκριμένα στους ταμιευτήρες του υδροηλεκτρικού συγκροτήματος του ποταμού Αχελώου. Ένα τέτοιο έργο θα βοηθούσε να αντιμετωπιστούν τα προβλήματα που προκύπτουν από τη διείδυση της αιολικής ενέργειας στο δίκτυο.

Είναι αναμφίβολο ότι τα υδροηλεκτρικά έργα όχι τόσο από ενεργειακής άποψης αλλά κυρίως λόγω των υπόλοιπων χαρακτηριστικών τους, δίνουν τη δυνατότητα καλύτερης εκμετάλλευσης όλου του πάρκου μονάδων παραγωγής και των γραμμών μεταφοράς και ταυτόχρονα αυξάνουν την ελαστικότητα της παραγωγής και την αξιοπιστία του δικτύου. Εκτός από τα ενεργειακά αποτελέσματα σύμφωνα με τα οποία θα δημιουργηθεί μια εικόνα για το ποσοστό της απορριφθείσας αιολικής ενέργειας, η οποία μέσω της μετατροπής των υδροηλεκτρικών σταθμών σε αναστρέψιμους, θα επαναποδίδεται στο δίκτυο και δεν θα μένει αναξιοποίητη, γίνεται και οικονομοτεχνική διερεύνηση της μετατροπής του υδροηλεκτρικού αυτού συστήματος προκειμένου να είναι η επένδυση βιώσιμη. Πιο αναλυτικά, επειδή το συγκρότημα αποτελείται από 8 πιθανές αναστρέψιμες μονάδες και οι επτά από αυτές έχουν υψηλό κόστος κατασκευής, πρέπει να υπολογιστούν τόσο η σειρά κατασκευής των μονάδων όσο και οι ώρες λειτουργίας τους, για να επιτυγχάνεται υψηλή απόδοση της επένδυσης.

Παρ'όλα αυτά τα μεγέθη αυτά δεν αποτελούν όλες τις βασικές παραμέτρους που πρέπει να παρθούν προκειμένου να εφαρμοστεί τελικά το έργο. Είναι απαραίτητη και η περαιτέρω έρευνα, για να βρεθεί η βέλτιστη λύση τόσο από ενεργειακής άποψης, όσο και από οικονομικής. Συνεπώς είναι αναγκαία η εφαρμογή ενός κώδικα βελτιστοποίησης ο οποίος θα βρίσκει την «χρυσή τομή» ανάμεσα στην μέγιστη δυνατή εκμετάλλευση της απορριφθείσας αιολικής ενέργειας και στην μέγιστη δυνατή απόδοση της επένδυσης.

### **1.4 Διάρθρωση της εργασίας**

Στο πρώτο κεφάλαιο της εργασίας αναφέρεται το ενεργειακό πρόβλημα που αντιμετωπίζει η παγκόσμια κοινότητα και το φαινόμενο του θερμοκηπίου το οποίο γίνεται ολοένα και εντονότερο. Συνεπώς, κρίνεται αναγκαία η προσπάθεια για αύξηση της συμμετοχής των ΑΠΕ στην παραγωγή ενέργειας. Οι διάφορες πηγές ενέργειας αλλά και η συμμετοχή τους τόσο στον παγκόσμιο όσο και στον εγχώριο ενεργειακό χάρτη, καθώς και τα οφέλη τους αναλύονται στο αμέσως επόμενο κεφάλαιο. Στη συνέχεια (κεφάλαιο 3) αναφέρονται τα προβλήματα διείδυσης της αιολικής ενέργειας στο δίκτυο και τονίζεται η ανάγκη αποθήκευσης της ενέργειας. Στο ίδιο κεφάλαιο αναλύονται οι τρόποι αποθήκευσης της ενέργειας και τονίζεται ότι ο καλύτερος τρόπος αποθήκευσης μεγάλων ποσοτήτων απορριφθείσας ενέργειας από το δίκτυο είναι η αντλησιοταμίευση.

Στο τέταρτο κεφάλαιο, γίνεται εκτενής αναφορά στα αναστρέψιμα υδροηλεκτρικά έργα. Στην Ελλάδα λειτουργούν ήδη δύο αναστρέψιμα υδροηλεκτρικά έργα, της Σφηκιάς και του Πουρναρίου, με σκοπό την αξιοποίηση της περίσσειας ενέργειας που προκύπτει λόγω των τεχνικών ελαχίστων στη λειτουργία των θερμοηλεκτρικών σταθμών. Επιπλέον, αναλύεται ο τρόπος λειτουργίας τους.

Στην Ελλάδα υπάρχουν ήδη αρκετοί υδροηλεκτρικοί σταθμοί, οι οποίοι είναι πιθανό να συμφέρει τόσο από ενεργειακής όσο και από οικονομικής άποψης να μετατραπούν σε αναστρέψιμοι. Στον ποταμό Αχελώο βρίσκονται σε λειτουργία οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί των Κρεμαστών, του Καστρακίου και του Στράτου. Στα πλαίσια του πέμπτου κεφαλαίου, διερευνάται η δυνατότητα κατασκευής αναστρέψιμων υδροηλεκτρικών έργων στις όχθες του ταμειυτήρα Καστρακίου.

Στο έκτο κεφάλαιο, γίνεται η προσωμοίωση μετατροπής του υδροηλεκτρικού συγκροτήματος σε αναστρέψιμο και εξετάζεται κυρίως σε ενεργειακό επίπεδο. Αυτό επιτυγχάνεται με την βοήθεια δύο υπολογιστικών προγραμμάτων γλώσσας Fortran. Ο πρώτος κώδικας υπολογίζει αρχικά την παραγωγή ενέργειας από διάφορες πηγές και έπειτα τις απορρίψεις της αιολικής ενέργειας από το δίκτυο για ένα έτος αναφοράς(2008). Σκοπός μας είναι να εξετάσουμε το ποσοστό αυτών των απορρίψεων που μπορούν να αποθηκευτούν στο πιθανό αναστρέψιμο έργο και στη συνέχεια να επαναποδοθούν στο δίκτυο. Τα ποσοστά της αιολικής ενέργειας που αποθηκεύονται μέσω των αντλητικών μονάδων στους ταμειυτήρες αλλά και της μετέπειτα παραγωγής της υδροηλεκτρικής ενέργειας μέσω των υδροστροβίλων των σταθμών, υπολογίζονται μέσω του δεύτερου υπολογιστικού κώδικα τόσο για κάθε μονάδα ξεχωριστά όσο και για ολόκληρο το έργο. Επιπλέον, φαίνεται ο βαθμός αξιοποίησης των μονάδων, οι ώρες λειτουργίας τους μέσα στον χρόνο και οι ώρες άντλησης και παραγωγής ενέργειας, μεγέθη τα οποία προκύπτουν για διάφορες τιμές εγκατεστημένης αιολικής ισχύος αλλά και κάποιων περιορισμών που αναλύονται στο αντίστοιχο κεφάλαιο. Όλα τα αποτελέσματα προκύπτουν από την υπόθεση τριών σεναρίων. Στη συνέχεια γίνεται οικονομοτεχνική διερεύνηση μιας τέτοιας επένδυσης διότι από ενεργειακής άποψης είναι πολύ πιθανό ένα τέτοιο έργο να συμφέρει αλλά να είναι τόσο υψηλό το κόστος κατασκευής του που η επένδυση να μην είναι βιώσιμη. Αυτή η μελέτη γίνεται αναλυτικά στο τελευταίο κεφάλαιο με τη βοήθεια του δεύτερου υπολογιστικού προγράμματος, πέρνοντας υπ'οψιν μας σημαντικές παραμέτρους όπως οι ώρες λειτουργίας των μονάδων αλλά και η σειρά κατασκευής τους ανάλογα με το κόστος τους. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν σχολιάζονται λεπτομερώς και τελικά συμπεραίνεται ότι υπάρχουν κατασκευάσιμες λύσεις που μπορούν να υλοποιηθούν.

## 2. ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

### 2.1 Εισαγωγή

Η παγκοσμία επιτροπή για το περιβάλλον και την ανάπτυξη διατύπωσαν την εξής έννοια της βιώσιμης ανάπτυξης «βιώσιμη είναι η ανάπτυξη η οποία ικανοποιεί τις ανάγκες της σημερινής γενιάς χωρίς να χειροτερεύει την ικανότητα των μελλοντικών γενεών να ικανοποιήσουν τις δίκες τους ανάγκες». Η δυνατότητα της βιώσιμης ανάπτυξης είναι υπαρκτή όσο υπάρχουν ανανεώσιμοι πόροι -συμπεριλαμβανομένων και των ανανεώσιμων ενεργειακών πηγών- που αξιοποιούνται στο μέγιστο δυνατό βαθμό. Η ευρύτερη έννοια των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας αναφέρεται σε κάθε πηγή που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και ανανεώνεται μέσω φυσικών φαινομένων μόνιμου κύκλου. Πρόκειται για "καθαρές" μορφές ενέργειας,πολύ φιλικές στο περιβάλλον, που δεν αποδεσμεύουν υδρογονάνθρακες, διοξείδιο του άνθρακα ή τοξικά και ραδιενεργά απόβλητα, όπως οι υπόλοιπες πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούνται σε μεγάλη κλίμακα. Ταυτόχρονα για την εκμετάλλευση τους δεν απαιτείται κάποια ενεργητική παρέμβαση όπως εξόρυξη, άντληση καύση αλλά απλώς η εκμετάλλευση της ήδη υπάρχουσας ροής ενέργειας στην φύση. Αυτό σημαίνει πως πρόκειται για ανεξάντλητες πηγές ενέργειας που βασίζονται σε διάφορες φυσικές διαδικασίες όπως: ο ήλιος, ο άνεμος, οι υδατοπτώσεις, η ενέργεια των κυμάτων, των ρευμάτων,των ωκεανών, η βιομάζα, η γεωθερμία.

Οι ΑΠΕ μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε άμεσα (κυρίως για θέρμανση), είτε μετατρέπόμενες σε άλλες μορφές ενέργειας (κυρίως ηλεκτρισμό ή μηχανική ενέργεια).Υπολογίζεται ότι το τεχνικά εκμεταλλεύσιμο ενεργειακό δυναμικό από τις Α.Π.Ε. είναι πολλαπλάσιο της παγκόσμιας συνολικής κατανάλωσης ενέργειας. Η υψηλή όμως μέχρι πρόσφατα, τιμή των νέων ενεργειακών εφαρμογών, τα τεχνικά προβλήματα εφαρμογής, καθώς και οι πολιτικές και οικονομικές σκοπιμότητες που συνδέονται με τη διατήρηση του παρόντος επιπέδου ανάπτυξης στον ενεργειακό τομέα, εμπόδισαν την εκμετάλλευση έστω και μέρους αυτού του δυναμικού.

Το ενδιαφέρον για την ευρύτερη αξιοποίηση των ΑΠΕ, καθώς και για την ανάπτυξη αξιόπιστων και οικονομικά αποδοτικών τεχνολογιών που δεσμεύουν το δυναμικό τους, παρουσιάστηκε αρχικά μετά την πρώτη πετρελαϊκή χρήση του 1979 ως αποτέλεσμα κυρίως των απαντών πετρελαϊκών κρίσεων της εποχής, και παγιώθηκε την τελευταία δεκαετία, μετά τη συνειδητοποίηση των παγκόσμιων περιβαλλοντικών προβλημάτων από την χρήση κλασικών πηγών ενέργειας.[14]

Ιδιαίτερα ακριβές στην αρχή,ξεκίνησαν σαν πειραματικές εφαρμογές. Σήμερα όμως λαμβάνονται υπόψη στους επίσημους σχεδιασμούς των ανεπτυγμένων κρατών για την ενέργεια, λόγω της εξέλιξης των τεχνολογιών τους και της διεύρυνσης της παραγωγικής βάσης τεχνολογίας σε αναπτυσσόμενες χώρες, με αντίστοιχη μείωση του κόστους επένδυσης και παραγωγής. Αποτελούν επίσης για τα κράτη στρατηγική επιλογή, αφού έχουν ωριμάσει και είναι ασφαλείς, ανταγωνιστικές και ελκυστικές σε ιδιώτες και επενδυτές. Ενώ η εφαρμογή τους συμβάλλει στη βελτίωση των περιβαλλοντικών δεικτών και ειδικότερα στη μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> και στην απεξάρτηση από το εισαγόμενο πετρέλαιο.

Οι ΑΠΕ μπορούν να απαντήσουν αποτελεσματικά στο τρίπτυχο των προβλημάτων που απασχολούν τον τομέα της ενέργειας:

A) Επάρκεια αποθεμάτων

B) ασφάλεια ανεφοδιασμού

Γ) προστασία του περιβάλλοντος.

Εξάλλου, στην προώθηση των ΑΠΕ στην παγκόσμια ενεργειακή αγορά συνέβαλε το γεγονός ότι μπορούν να συμβάλλουν στην ενεργειακή αυτόνομη μικρών και αναπτυσσόμενων χωρών, αποτελώντας την εναλλακτική πρόταση σε σχέση με την οικονομία του πετρελαίου. Είναι προφανές ότι χώρες με μεγάλα αποθέματα στις πρωταρχικές μορφές ενέργειας έχουν συνήθως την τάση να χρησιμοποιούν αυτό το πλεονέκτημα ως μέσο για πολιτικό και οικονομικό έλεγχο των υπολοίπων. Παράδειγμα τέτοιων συνεπειών είναι η πολιτική και οικονομική κατάσταση που έχει εδραιωθεί στη Μέση Ανατολή. Οι ΑΠΕ όμως, αποτελούν ευέλικτες εφαρμογές που μπορούν να παράγουν ενέργεια ανάλογη με τις ανάγκες του επί τόπου πληθυσμού, καταργώντας παράλληλα την ανάγκη για τεράστιες μονάδες ενεργειακής παραγωγής, αλλά και για μεταφορά της ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις. Ταυτόχρονα, υποβοηθείται η αποκέντρωση και η ανάπτυξη της τοπικής οικονομίας σε κάθε περιοχή όπου εγκαθίστανται τέτοιου είδους μονάδες.

Ένα ακόμα πολύ σημαντικό όφελος από αυτά που μπορούν να προσφέρουν σε μια οικονομία σχετίζεται με την βελτίωση της απασχόλησης. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας παρουσιάζουν καταπληκτικό δυναμικό ως προς την δημιουργία και διαφύλαξη θέσεων εργασίας. Μελέτη του WWF για τη Βιομάζα «Biomass Study» εντοπίζει ένα δυναμικό απασχόλησης της τάξεως των 170.000-290.000 θέσεων εργασίας πλήρους απασχόλησης στις χώρες του ΟΟΣΑ μόνο και μόνο από αυτή την συγκεκριμένη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Οι εν λόγω θέσεις εργασίας υπολογίζεται ότι θα δημιουργηθούν κυρίως σε αγροτικές, αδύναμες από πλευράς υποδομών, περιοχές και θα είναι ως εκ τούτου εξαιρετικά σημαντικές.

Ένα επιπρόσθετο πλεονέκτημα είναι ο απλός στην κατασκευή και τη συντήρηση εξοπλισμός τους. Εξάλλου, το μηδενικό κόστος πρώτης ύλης, σε συνδυασμό με τις μικρές έως ελάχιστες απαιτήσεις συντήρησης που εμφανίζουν, συνεπάγεται περιορισμένο κόστος λειτουργίας. Έτσι, αντισταθμίζεται σε μεγάλο βαθμό το μέχρι σήμερα μειονέκτημα του αυξημένου κόστους που απαιτείται για την εγκατάσταση των μονάδων εκμετάλλευσής τους. Επιπρόσθετα, στα τεχνικά πλεονεκτήματα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας περιλαμβάνονται: Η δυνατότητα διαφοροποίησης των ενεργειακών φορέων, τεχνολογιών και υποδομών παραγωγής θερμότητας, καυσίμων και ηλεκτρισμού και η αύξηση της ευελιξίας των συστημάτων ηλεκτροπαραγωγής, ώστε να ανταποκρίνονται στη μεταβαλλόμενη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας.

Για κάθε χώρα η επιλογή μεταξύ των διάφορων διαθέσιμων ενεργειακών πόρων εξαρτάται έντονα από τους φυσικούς περιορισμούς που τίθενται για κάθε τύπο πόρου (υδατικό δυναμικό, αιολικό δυναμικό ανά περιοχή, μέγιστη μέση ηλιακή έκθεση ανά μονάδα επιφάνειας κλπ) . Για κάθε πόρο λοιπόν υπάρχει ένα κατώφλι της βέλτιστης απόδοσης.

Είναι χαρακτηριστικό ότι ο μόνος δυνατός τρόπος που διαφαίνεται για να μπορέσει η Ευρωπαϊκή Ένωση να ανταποκριθεί στο φιλόδοξο στόχο του περιορισμού των ρύπων του διοξειδίου του άνθρακα είναι να επιταχύνει την ανάπτυξη των ΑΠΕ.

Ο κύριος στρατηγικός στόχος της ευρωπαϊκής πολιτικής συνοψίζεται στα «τρία 20 ως το 2020», δηλαδή στη μείωση των εκπομπών των αερίων θερμοκηπίου κατά 20%, στη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης κατά 20% και στην αύξηση του ποσοστού διείσδυσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) στο 20% της τελικής κατανάλωσης. Μέχρι το 2020 προβλέπεται επίσης συμμετοχή των βιοκαυσίμων στις μεταφορές σε ποσοστό 10%.

Από το 1997 που επεγράφη το Πρωτόκολλο του Κιότο, οι επενδύσεις σε ανανεώσιμες πηγές αυξάνονται διαρκώς με ταχείς ρυθμούς. Η εγκατεστημένη ισχύς σε ανεμογεννήτριες αυξάνεται κατά 25-30% ετησίως, τα φωτοβολταϊκα κατά 50-60% ετησίως, οι ηλιακοί συλλέκτες για θέρμανση νερού κατά 15-20% ετησίως (εγκατεστημένοι σε 50 εκατομμύρια νοικοκυριά παγκοσμίως το 2007) και η παραγωγή και χρήση βιοκαυσίμων κατά 15-20% ετησίως.

Παγκοσμίως ολοένα και περισσότερες χώρες στοχεύουν να αυξήσουν την παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, διαμορφώνοντας τα θεσμικά πλαίσια για την προσέλκυση επενδύσεων. 58 χώρες έχουν σήμερα θέσει στόχους για την χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο ενεργειακό τους ισοζύγιο συμπεριλαμβανομένων και αναπτυσσόμενων χωρών αλλά και πολιτειών/περιφερειών των ΗΠΑ και του Καναδά, και η πλειοψηφία αυτών έχει διαμορφώσει συγκεκριμένες πολιτικές και κίνητρα για την χρήση ΑΠΕ. Την πρωτοπορία στον κλάδο διαθέτει η Ευρώπη, έχοντας άνω του 35% του παγκόσμιου δυναμικού σε παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες. Σήμερα πάνω από 70 χώρες έχουν αιολική ενέργεια, μεταξύ τους και αναπτυσσόμενες χώρες όπως η Κίνα, Αίγυπτος, Μεξικό, Ιράν, Βραζιλία κ.α.

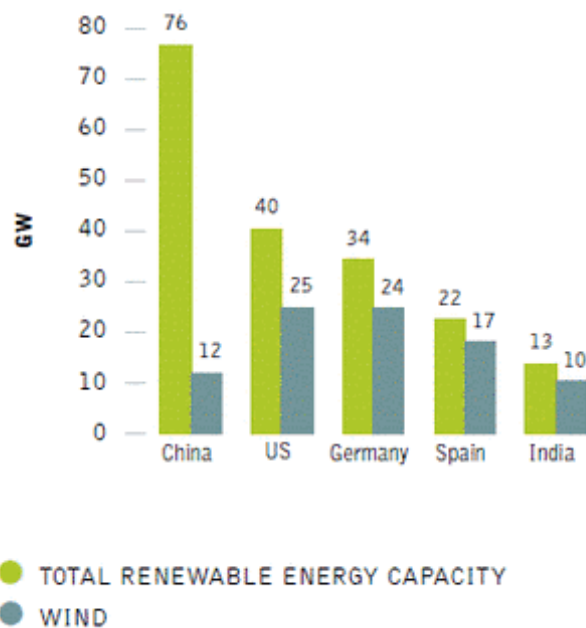
Η Ινδία και η Κίνα έχουν πολύ μεγάλη ισχύ σε αιολική ενέργεια, κατέχοντας 4η και 6η θέση αντίστοιχα (με τη Γερμανία και την Ισπανία να κατέχουν την 1η και 2η) στη παγκόσμια κατάταξη το 2006 όσο αφορά εγκατεστημένη ισχύ αιολικών πάρκων.

Χώρες όπως η Γερμανία κατάφεραν να χρησιμοποιήσουν με τέτοιο τρόπο τις εναλλακτικές μορφές ενέργειας ώστε εκτός από τα πρωτεύοντα αποτελέσματα να αποκτήσουν οφέλη σε επίπεδο τεχνολογίας και κατασκευαστικής δραστηριότητας. Ο εξοπλισμός και οι κατασκευές στον τομέα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας αποτελούν μεγάλο κομμάτι της βιομηχανικής παραγωγής της Γερμανίας, μαζί με τη βιομηχανική παραγωγή σε αυτοκίνητα και μηχανικά εργαλεία. Ο μεγαλύτερος κατασκευαστής φωτοβολταϊκών κύψελων στον κόσμο που χρησιμοποιούνται στους ηλιακούς συλλέκτες για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκα συστήματα είναι η εταιρία Q-CELLS και βρίσκεται στο wolfen της Γερμανίας σε μια χώρα που δεν φημίζεται για την ηλιοφάνεια της. Παρόλα αυτά είναι η πρώτη στην παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές και είναι η τρίτη μεγαλύτερη παραγωγός ηλιακών συλλεκτών μετά την Κινά και την Ιαπωνία. Σε μια άλλη περιοχή της Ευρώπης στην Σκοτία οι σημαντικότερες οικονομικές δραστηριότητες τα τελευταία χρόνια προέρχονται από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Εκεί έχει πραγματοποιηθεί ένα σπουδαίο επίτευγμα με 1,5 εκατομμύριο νοικοκυριά να έχουν ρεύμα από ανανεώσιμες πηγές. Το 2007 στην γιορτή της Πράσινης Ενέργειας ανακοίνωσαν ότι ήταν η ημέρα κατά την οποία οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ξεπέρασαν σε ικανότητα παραγωγής την πυρηνική ενέργεια.

Ακόμη και σε αυτήν την περίοδο της οικονομικής κρίσης η Σκοτία διαθέτει ανεβασμένους οικονομικούς δείκτες πράγμα που αποδεικνύει την σημαντική συμβολή των ανανεώσιμων πηγών στην οικονομία της χώρας. Ανάλογα οικονομικά οφέλη απολαμβάνει και η Δανία όπου περισσότεροι από 15.000 άνθρωποι ζουν από την αιολική ενέργεια, σχεδιάζοντας και κατασκευάζοντας ανεμογεννήτριες η τμήματα εξοπλισμού, ή προσφέροντας συμβουλευτικές υπηρεσίες καθώς και υπηρεσίες κατασκευών έργων. Σήμερα η απασχόληση ανθρωπίνου

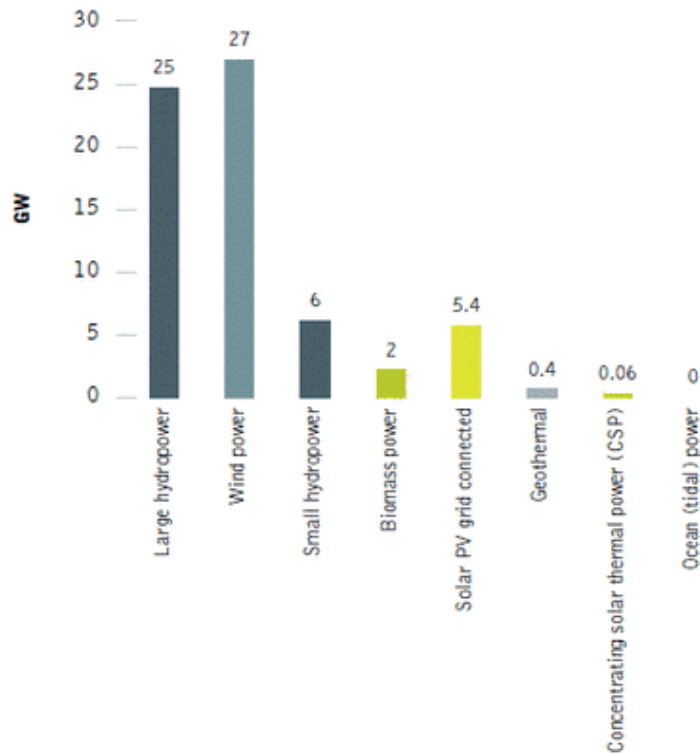
δυναμικού στη Δανέζικη βιομηχανία αιολικής ενέργειας είναι μεγαλύτερη από ότι η αντίστοιχη απασχόληση στην ιχθυοβιομηχανία. Η παραγωγή ανεμογεννητριών στη χώρα αυτή συνδυάζεται με την πρόσφορα 5.000 επιπλέον θέσεων εργασίας σε άλλες χώρες όπου ανεγείρονται ή κατασκευάζονται μέρη του εξοπλισμού των ανεμογεννητριών όπως οι γεννήτριες και τα κιβώτια ταχυτήτων.

Παρακάτω παραθέτονται διαγράμματα τα οποία δείχνουν τις πρώτες χώρες στην εγκατάσταση ΑΠΕ τα τελευταία χρόνια.



**Εικόνα 2.1:** Οι 5 πρώτες χώρες στην εγκατάσταση ανανεώσιμων πηγών ενεργείας το 2008 (<http://www.energyblueprint.info/966.0.html>)

Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο τέλος του 2008 ήταν 1.128 GW. Τα μεγάλης υδροηλεκτρικής ισχύος έργα αποτελούν περίπου τα τρία τέταρτα του συνόλου και τα αιολικά περίπου το 11% (Εικόνα 2.1). Το νέο εγκατεστημένο δυναμικό ανανεώσιμων πηγών ενέργειας το 2008, ήταν τουλάχιστον 40 GW (εξαιρουμένων των μεγάλης υδροηλεκτρικής ενέργειας έργα) , με την υψηλότερη αύξηση στην αιολική ενέργεια.(Εικόνα 2.2)



**Εικόνα 2.2:** Νέες εγκαταστάσεις ανανεώσιμων πηγών ενέργειας παγκοσμίως το 2008 σε GW  
<http://www.energyblueprint.info/966.0.html>

## 2.2 Οι Κύριες Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Τα κυριότερα είδη των Α.Π.Ε. είναι τα ακόλουθα:

Αιολική ενέργεια

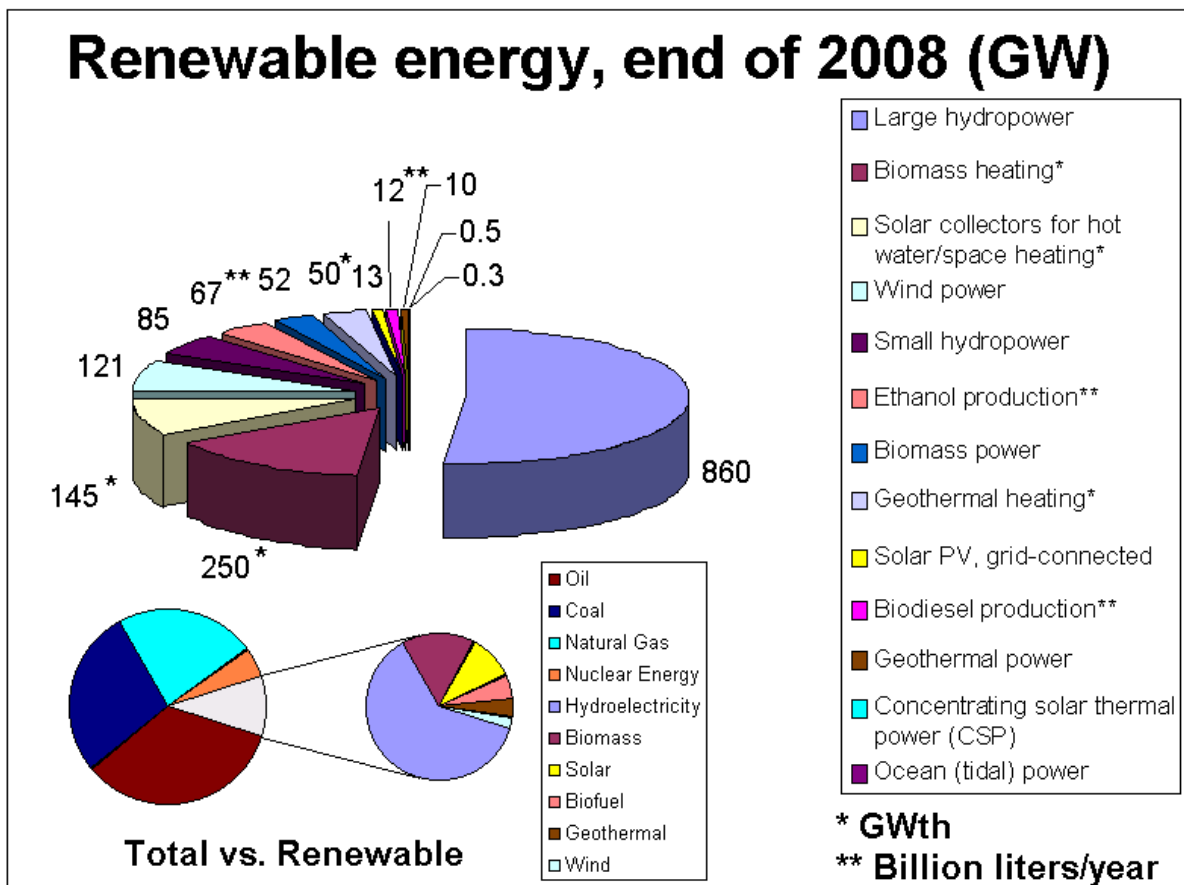
Ηλιακή ενέργεια

Υδροηλεκτρική ενέργεια

Βιομάζα

Γεωθερμική ενέργεια

Κυματική ενέργεια



**Εικόνα 2.3:** Παγκόσμια εγκατεστημένη ισχύς ΑΠΕ σε GW στο τέλος του 2008

(<http://e-nergyworld.com/3.html>)

Πιο αναλυτικά:

### A. Αιολική Ενέργεια

Η αιολική ενέργεια γίνεται όλο και πιο δημοφιλής αφού το κόστος παραγωγής πέφτει ραγδαία – γεγονός που την καθιστά ολοένα πιο ανταγωνιστική έναντι της παραγωγής ενέργειας από ορυκτά καύσιμα. Ως εκ τούτου η βιομηχανία της αιολικής ενέργειας έχει παρουσιάσει ραγδαία άνθηση τα τελευταία χρόνια. Έτσι ενώ το παγκόσμιο εγκατεστημένο δυναμικό αιολικής ενέργειας ανερχόταν σε λίγο περισσότερο από 10.000 MW συνολικά το 1998, το 2005 είχε ήδη φθάσει τα 60.000 MW. Το νούμερο αυτό αναμένεται να ανέβει στα 150.000 MW μέχρι το 2012. Η βασική αιτία αυτής της ραγδαίας ανάπτυξης είναι το σχετικά χαμηλό κόστος της αιολικής ενέργειας σε σχέση με τις άλλες ανανεώσιμες μορφές ενέργειας. Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας ενός αιολικού πάρκου δεν εκπέμπεται διοξείδιο του άνθρακα ή άλλα αέρια που ρυπαίνουν την ατμόσφαιρα (μονοξείδιο του άνθρακα, διοξείδιο του θείου, καρκινογόνα μικροσωματίδια κ.α.), όπως συμβαίνει με τους συμβατικούς σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Σε όλη τη διάρκεια της χρήσης της, μία και μόνο ανεμογεννήτρια 1,5 MW μπορεί να εξοικονομήσει περί τους 80.000 τόνους ορυκτού άνθρακα (brown coal). Αυτό σημαίνει ότι όχι μόνο δεν εντείνεται το φαινόμενο του θερμοκηπίου, αλλά δεν υπάρχουν και αρνητικές συνέπειες στη δημόσια υγεία από την ατμοσφαιρική ρύπανση.[10]





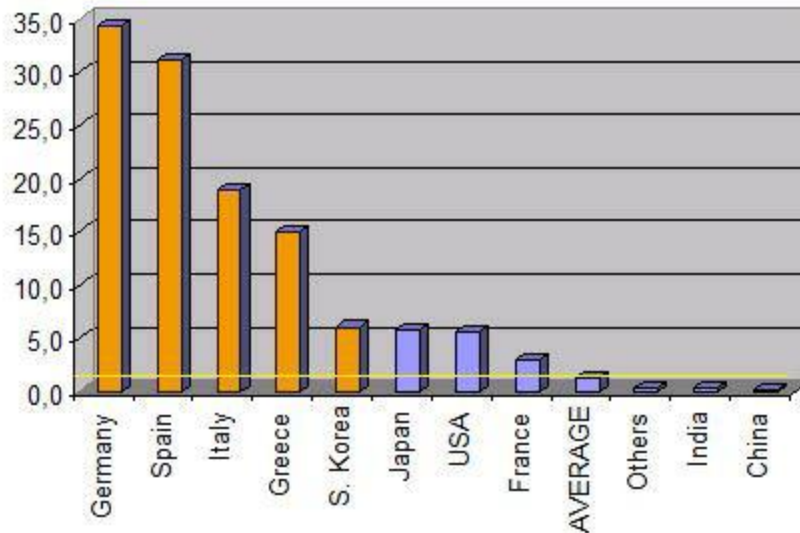
**Εικόνα 2.4:** Παγκόσμια εγκατεστημένη ισχύς αιολικής ενέργειας σε MW

([http://www.wwindea.org/home/index.php?option=com\\_content&task=view&id=266&Itemid=43](http://www.wwindea.org/home/index.php?option=com_content&task=view&id=266&Itemid=43))

## Β.Ηλιακή ενέργεια

Υπάρχουν πολλά διαφορετικά συστήματα τα οποία επωφελούνται από την ενέργεια, η οποία παράγεται από τον ήλιο. Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία απευθείας σε ηλεκτρική ενέργεια. Τέτοια στοιχεία συχνά ενσωματώνονται στις στέγες. Τα φωτοβολταϊκά προσφέρουν το πρόσθετο πλεονέκτημα να μπορούν να προμηθεύσουν ενέργεια σε αραιοκατοικημένες περιοχές, οι οποίες δεν καλύπτονται από τα δίκτυα ηλεκτροδότησης, βελτιώνοντας έτσι την ποιότητα ζωής και προωθώντας την αιεφόρο ανάπτυξη. Οι σταθμοί ηλιακής θερμικής ενέργειας αξιοποιούν την θερμότητα του ήλιου, πρώτα συγκεντρώνοντας την ηλιακή ακτινοβολία με τη βοήθεια κατόπτρων για να θερμάνουν νερό ή κάποιο άλλο μέσο και μετά μετατρέποντας τον ατμό σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω μιας γεννήτριας. Η ηλιακή θερμική ενέργεια είναι πολλά υποσχόμενη για τις πόλεις, όπου η ατμοσφαιρική ρύπανση τείνει να είναι μεγάλο πρόβλημα. Οι σταθμοί ηλιακής θερμικής ενέργειας ανοίγουν προοπτικές για μελλοντικές μεταφορές ενέργειας από θερμές αναπτυσσόμενες σε ψυχρές ανεπτυγμένες χώρες. Μία σχετικά απλή μέθοδος επίσης είναι το να χρησιμοποιούμε την ενέργεια από τον ήλιο για να θερμαίνουμε το νερό. Οι ηλιακοί θερμικοί συλλέκτες χρησιμοποιούν την ηλιακή ακτινοβολία που πέφτει πάνω τους για να ζεστάνουν το νερό της βρύσης (και, σε μικρότερη έκταση, για να ζεστάνουν νερό για τη θέρμανση χώρων). Η ηλιακή ενέργεια σήμερα είναι 90% φθηνότερη από ότι στην δεκαετία του 1970. Στα σπίτια που διαθέτουν ηλιακή οροφή μπορεί να παράγεται περισσότερη ενέργεια από όση χρειάζονται ορισμένες ώρες της ημέρας, η οποία δυνητικά θα μπορούσε να μεταπωλείται στις τοπικές εταιρείες ηλεκτρισμού.[10]

Solar Watts per capita in 2010  
(conservative scenario)



**Εικόνα 2.5:** Εγκατεστημένη ισχύς φωτοβολταϊκών σε watt ανά πληθυσμό χώρας

(<http://www.windenergy.gr/index-07-08-2008.php>)

Όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα στην Γερμανία, την Ισπανία, την Ιταλία και την Ελλάδα θα παραχθεί από τη ηλιακή ενέργεια άνω των 0,1KWh ανά ημέρα για κάθε πολίτη: είναι αρκετό για το φωτισμό των σπιτιών και των κτηρίων, με την κατάλληλη οικονομία ενέργειας και την χρησιμοποίηση μη ενεργοβόρων συσκευών φωτισμού και κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας.

### Γ. Υδροηλεκτρική Ενέργεια

Η Υδροηλεκτρική Ενέργεια είναι η ενέργεια η οποία στηρίζεται στην εκμετάλλευση της μηχανικής ενέργειας του νερού των ποταμών και της μετατροπής της σε ηλεκτρική ενέργεια με τη βοήθεια στροβίλων 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.[19] Η υδροηλεκτρική ενέργεια, είναι η πιο σημαντική και ευρεία χρησιμοποιούμενη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Αντιπροσωπεύει το 19% της παγκόσμιας παραγωγής ηλεκτρισμού και το 6% της παγκόσμιας παραγωγής ενέργειας. Σε όλο τον κόσμο υπάρχουν σήμερα περίπου 45.000 μεγάλα υδροηλεκτρικά φράγματα σε λειτουργία. Η χώρα με τη μεγαλύτερη παραγωγή υδροηλεκτρισμού είναι ο Καναδάς και ακολουθούν οι Η.Π.Α. και η Βραζιλία.[10]

#### Δ. Γεωθερμική ενέργεια

Η γεωθερμική ενέργεια, έχει να κάνει με τη χρήση της θερμότητας της Γης για την παραγωγή ενέργειας. Οι αντλίες γεωθερμικής ενέργειας μπορούν να χρησιμοποιηθούν σχεδόν παντού. Η τεχνολογία για την άντληση γεωθερμικής ενέργειας διαφοροποιείται σε ρηχή γεωθερμική σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες και σε βαθιά γεωθερμική στις υψηλότερες θερμοκρασίες. Η σχετικά σταθερή θερμοκρασία των ανώτερων 15 μέτρων της επιφάνειας της Γης (ή των υπογείων υδάτων), που τυπικά είναι γνωστή ως αβαθής γεωθερμική ενέργεια, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για θέρμανση ή ψύξη κτιρίων. Η αντλία θερμότητας χρησιμοποιεί μία σειρά από σωλήνες για να κυκλοφορεί υγρό μέσω του θερμού εδάφους. Το χειμώνα, που το έδαφος είναι θερμότερο από τα κτίρια στην επιφάνεια, το υγρό απορροφά αυτή την θερμότητα η οποία εν συνεχεία συμπυκνώνεται μέσω γεωεναλλακτών ή συλλεκτών θερμότητας, και μεταφέρεται στα κτίρια. Το καλοκαίρι, που το έδαφος είναι δροσερότερο, γίνεται η αντίστροφη διαδικασία, δηλαδή η αντλία μεταφέρει θερμότητα από τα κτίρια στο έδαφος.[10]

Η άντληση της ενέργειας από τα βαθύτερα στρώματα της Γης, η λεγόμενη βαθιά γεωθερμική ενέργεια, απαιτεί τη διάνοιξη πηγαδιών σε μεγάλο βάθος. Εάν διαθέτουμε θερμά υπόγεια ύδατα, μπορούμε να τα χρησιμοποιήσουμε απευθείας σε σταθμούς υδροθερμικής ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας. Εάν δε διαθέτουμε, το νερό μπορεί να αντληθεί μεταξύ καντών στρωμάτων βράχου και μετά να το επαναφέρουμε στην επιφάνεια σε υψηλή θερμοκρασία μέσω μιας δεύτερης διάνοιξης πηγαδιού.

Με τη χρήση γεωθερμικής ενέργειας, δεν απαιτείται καμία καύση ορυκτών καυσίμων. Οι σταθμοί παραγωγής γεωθερμικής ενέργειας εκπέμπουν μόνο περίσσεια ατμού και πολύ λίγα ίχνη αερίων.

#### Ε. Η ενέργεια από βιομάζα.

Βιομάζα ονομάζουμε οποιαδήποτε σχετικά νέα οργανική ύλη η οποία προέρχεται από τα φυτά ως αποτέλεσμα της διαδικασίας της φωτοσύνθεσης. Η ενέργεια από βιομάζα αντλείται από φυτικό και ζωικό υλικό, όπως το ξύλο από τα δάση, τα υπολείμματα από τις γεωργικές και δασικές διαδικασίες, και τα βιομηχανικά, ανθρώπινα ή ζωικά απόβλητα. Η βιομάζα μπορεί να χωριστεί σε δύο κατηγορίες :

Παραδοσιακή βιομάζα που γενικά περιορίζεται στις αναπτυσσόμενες χώρες και σε χρήσεις μικρής κλίμακας. Περιλαμβάνει τα καυσόξυλα και το κάρβουνο για οικιακή χρήση, την ήρα του ρυζιού, άλλα φυτικά υπολείμματα και την κοπριά ζώων. Η παραδοσιακή βιομάζα που χρησιμοποιείται σε ανοιχτά τζάκια για μαγείρεμα και για θέρμανση εξακολουθεί να είναι πολύ σημαντική στις αναπτυσσόμενες χώρες λόγω της έλλειψης εναλλακτικών λύσεων.

Σύγχρονη βιομάζα που συνήθως αφορά χρήσεις μεγάλης κλίμακας και σκοπό να υποκαταστήσει τις συμβατικές ενεργειακές πηγές των ορυκτών καυσίμων. Περιλαμβάνει ξερά κλαδιά από το δάσος και τα γεωργικά υπολείμματα, τα οικιακά απόβλητα, τα βιοαέρια και τα βιοκαύσιμα από ενεργειακές καλλιέργειες (όπως έλαια από φυτά ή/και φυτά που περιέχουν άμυλο και σάκχαρα). Η σύγχρονη βιομάζα χρησιμοποιείται για την παραγωγή ενέργειας και θερμότητας σε εγκαταστάσεις μεγάλης κλίμακας. Η βιομάζα σε όλες τις εφαρμογές της (παραγωγή ενέργειας, θέρμανση, καύσιμα) συμβάλλει σημαντικά στην προστασία του περιβάλλοντος και τη διαφύλαξη των φυσικών πόρων, ανεξάρτητα αν χρησιμοποιούνται απόβλητα ή ειδικές καλλιέργειες.[10]

## ΣΤ. Κυματική ενέργεια

Ο θαλάσσιος κυματισμός είναι, όπως όλες οι μορφές ΑΠΕ, μία ανεξάντλητη πηγή ενέργειας. Επιπρόσθετα παρουσιάζει μεταξύ των ΑΠΕ την υψηλότερη ενεργειακή πυκνότητα, η οποία μπορεί να φτάσει μέχρι και τα 1000 kW/m μετώπου κύματος. Υπολογίζεται ότι η αξιοποίηση του 1% του κυματικού δυναμικού του πλανήτη μας θα κάλυπτε περίπου στο τετραπλάσιο την παγκόσμια ενεργειακή ζήτηση.

Η ιδέα για την εκμετάλλευση του θαλάσσιου κυματισμού δεν είναι νέα. Η πρώτη ευρεσιτεχνία χρονολογείται στα 1799, ενώ πλήθος άλλων τεχνολογιών επινοήθηκε και λειτούργησε σε μικρή κλίμακα μέχρι τα μέσα του περασμένου αιώνα. Η συντονισμένη έρευνα όμως στον τομέα αυτό ξεκίνησε στις αρχές της δεκαετίας του '70, μετά την μεγάλη πετρελαϊκή κρίση, όταν διάφορες χώρες της Δυτ. Ευρώπης με ακτές προς τον Αν. Ατλαντικό, όπου εντοπίζονται ιδιαίτερα υψηλά επίπεδα κυματικού δυναμικού, ξεκίνησαν εντατικές έρευνες για την ανάπτυξη τεχνολογιών εκμετάλλευσης της ενέργειας των κυμάτων.

Το αντίξοο περιβάλλον στο οποίο καλούνται να λειτουργήσουν οι διάφορες τεχνολογίες επέδρασε στο παρελθόν ανασταλτικά στις προσπάθειες αυτές. Οι τεράστιες καταπονήσεις σε ακραίες καιρικές συνθήκες απαιτούν υψηλούς δείκτες μηχανικής αντοχής, με αποτέλεσμα μεγάλο κατασκευαστικό κόστος. Η μεγάλη απόσταση από την ακτή για τεχνολογίες πλωτής εγκατάστασης συνεπάγεται υψηλό κόστος διασύνδεσης και λειτουργίας.

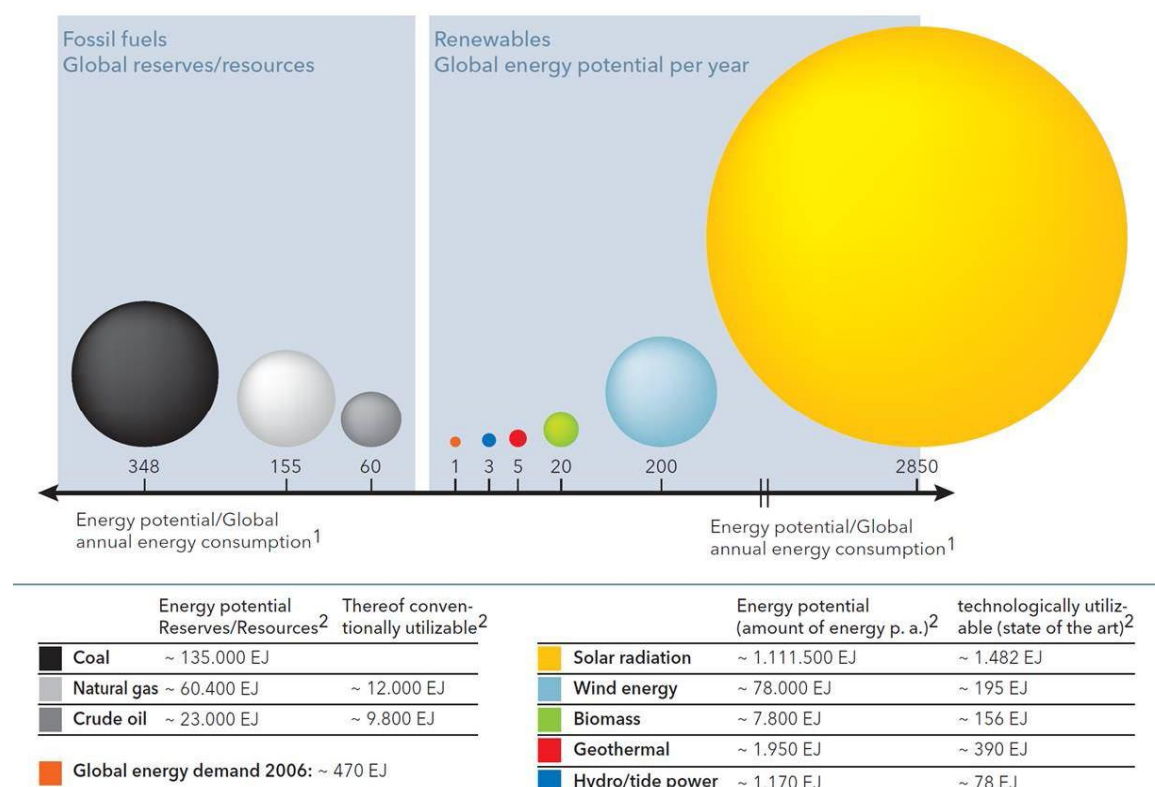
Το υψηλό κόστος των τεχνολογιών μπορεί να αντισταθμισθεί μόνον με βέλτιστη εκμετάλλευση της υψηλής ενεργειακής πυκνότητας των κυμάτων, δηλ. υψηλούς δείκτες απόδοσης. Προς αυτή την κατεύθυνση εξελίσσονται οι διάφορες τεχνολογίες και σήμερα τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους έχουν βελτιωθεί σημαντικά. Σαν αποτέλεσμα, το ενεργειακό κόστος, το οποίο την δεκαετία του '80 έφτανε μέχρι και τις 100 δρχ/kWh, έχει μειωθεί σήμερα στις 20-30 δρχ/kWh. Η συνεχιζόμενη βελτίωση των δεικτών απόδοσης των τεχνολογιών κυματικής ενέργειας αναμένεται να τις καταστήσει σύντομα βιομηχανικά εκμεταλλεύσιμες. [32]

ΕΤΟΣ	2007	2008	2009
Οι επενδύσεις σε νέες ανανεώσιμες ικανότητες (ετήσια-σε δισεκατομμύρια δολάρια)	104	130	150
Μικρά υδροηλεκτρικά έργα(GW)	210	250	305
Όλα τα υδροηλεκτρικά(GW)	1.085	1.150	1.230
Υδροηλεκτρική ενέργεια(GW)	920	950	980
Αιολική ενέργεια (υπάρχουσα) (GW)	94	121	159
Φωτοβολταϊκά συστήματα(υφιστάμενα)(GW)	7,6	13,5	21
Φωτοβολταϊκά συστήματα(ετήσια) (GW)	3,7	6,9	10,7
Ηλιακό ζεστό νερό(GWth)	125	149	180
Παραγωγή αιθανόλης(δισεκατομμύρια λίτρα)	53	69	76
Παραγωγή βιοντίζελ(δισεκατομμύρια λίτρα)	10	15	17

**Πίνακας 2.1** :Στοιχεία για την εκμετάλλευση των ΑΠΕ σε παγκόσμιο επίπεδο

Από τεχνικής πλευράς, το δυναμικό των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (δηλ. η ποσότητα ενέργειας που μπορεί να αντληθεί από την φυσική προσφορά των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας με χρήση υπαρχουσών τεχνολογιών) είναι πολύ μεγαλύτερο από την παγκόσμια ενεργειακή κατανάλωση. Η ηλιακή ακτινοβολία που δέχεται η Γη είναι σχεδόν 7.000 φορές περισσότερη από την τρέχουσα παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας. Θεωρητικά, η τρέχουσα παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας θα μπορούσε να καλυφθεί με την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών σε συνολική περιοχή επιφάνειας 700χλμ. x 700χλμ.[10] Το παγκόσμιο δυναμικό αιολικής ενέργειας είναι επίσης τεράστιο. Μόνο το θεωρητικό δυναμικό σε τοποθεσίες με μέση ταχύτητα ανέμου τουλάχιστον 5 m/s σε ύψος 10 μέτρων, ανέρχεται σε σύνολο τουλάχιστον 500.000 TWh ηλεκτρικής ενέργειας ανά έτος. Αυτό ισοδυναμεί σε 35 φορές περισσότερη ενέργεια από την παγκόσμια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σήμερα. Ωστόσο, τόσο το θεωρητικό δυναμικό όσο και τεχνολογικό δυναμικό δεν αντιστοιχούν στο οικονομικά διαθέσιμο δυναμικό από τη στιγμή που θα ληφθούν υπόψη τεχνολογικοί, περιβαλλοντικοί και οικονομικοί παράγοντες αντίστοιχα. Επίσης τεράστιο είναι και το δυναμικό παραγωγής ενέργειας από βιομάζα. Σε παγκόσμιο επίπεδο, η βιομάζα θα μπορούσε να καλύψει το 24% των ενεργειακών αναγκών μέχρι το 2020.[20]

Τέλος το χαμηλότερο όριο του παγκόσμιου δυναμικού της γεωθερμικής ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας υπολογίζεται στα 50 GWe περίπου και η αντίστοιχη τιμή για τις άμεσες χρήσεις σε 1 TWth.



**Εικόνα 2.6:** Διαθέσιμη ενέργεια , ανά είδος καυσίμου , προς ετήσια παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας

([http://www.nanowerk.com/spotlight/id7424\\_2.jpg](http://www.nanowerk.com/spotlight/id7424_2.jpg))

## 2.3 Πλεονεκτήματα των ΑΠΕ

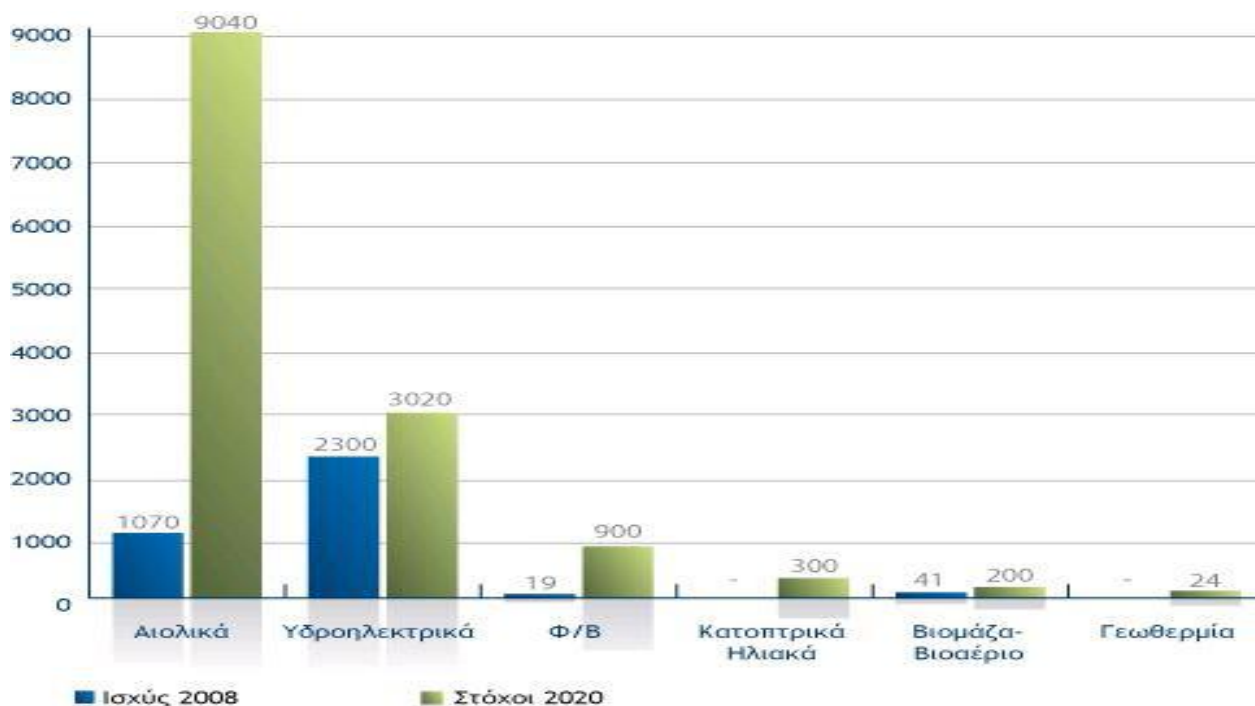
Τα βασικά πλεονεκτήματα της χρήσης ΑΠΕ είναι τα εξής:

- Είναι πρακτικά ανεξάντλητες πηγές ενέργειας (ήλιος, άνεμος, ποτάμια, οργανική ύλη, κ.α.) και συμβάλλουν στη μείωση της εξάρτησης από εξαντλήσιμους συμβατικούς ενεργειακούς πόρους, όπως είναι το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο, ο άνθρακας, κλπ.
- Είναι φιλικές προς το περιβάλλον και τον άνθρωπο, γι' αυτό και η αξιοποίησή τους είναι γενικά αποδεκτή από το ευρύ κοινό.
- Αποτελούν (μαζί με την εξοικονόμηση ενέργειας) την κατ' εξοχήν περιβαλλοντικά φιλική λύση για τον περιορισμό των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα και την αντιμετώπιση του φαινομένου του θερμοκηπίου. Επιπλέον, υποκαθιστώντας τους σταθμούς παραγωγής ενέργειας από συμβατικές πηγές οδηγούν σε μείωση των εκπομπών και από άλλους ρυπαντές, όπως είναι π.χ. τα οξείδια του θείου που προκαλούν την όξινη βροχή, τα οξείδια του αζώτου που προκαλούν το φωτοχημικό νέφος, τα αιωρούμενα σωματίδια, κ.α.
- Είναι εγχώριες πηγές ενέργειας και συνεισφέρουν στην ενίσχυση της ενεργειακής ανεξαρτησίας και της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού σε εθνικό επίπεδο.
- Είναι διάσπαρτες γεωγραφικά και συμβάλλουν στην αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος, δίνοντας τη δυνατότητα κάλυψης των ενεργειακών αναγκών σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο, ανακουφίζοντας έτσι τα συστήματα υποδομής (δίκτυα, δρόμοι, κλπ.) και μειώνοντας τις απώλειες από τη μεταφορά ενέργειας.
- Προσφέρουν τη δυνατότητα ορθολογικής αξιοποίησης των ενεργειακών πόρων, καλύπτοντας ένα ευρύ φάσμα ενεργειακών αναγκών των χρηστών (π.χ. ηλιακή ενέργεια για θερμότητα χαμηλών θερμοκρασιών, αιολική ενέργεια για ηλεκτροπαραγωγή, κ.α.).
- Έχουν συνήθως χαμηλό λειτουργικό κόστος που δεν επηρεάζεται από τις διακυμάνσεις της διεθνούς οικονομίας και ειδικότερα των τιμών των συμβατικών καυσίμων.
- Οι εγκαταστάσεις εκμετάλλευσης των ΑΠΕ σχεδιάζονται συνήθως για να καλύπτουν τις συγκεκριμένες ανάγκες των χρηστών, τόσο σε μικρή όσο και σε μεγάλη κλίμακα εφαρμογών, και έχουν μικρό σχετικά χρόνο κατασκευής, επιτρέποντας έτσι τη γρήγορη ανταπόκριση της προσφοράς προς τη ζήτηση ενέργειας.
- Οι επενδύσεις των ΑΠΕ δημιουργούν σημαντικό αριθμό νέων θέσεων εργασίας, ιδιαίτερα σε τοπικό επίπεδο.
- Μπορούν να αποτελέσουν σε πολλές περιπτώσεις πυρήνα για την αναζωογόνηση οικονομικά και κοινωνικά υποβαθμισμένων περιοχών και πόλο για την τοπική ανάπτυξη, με την προώθηση ανάλογων επενδύσεων (π.χ. καλλιέργειες θερμοκηπίου με τη χρήση γεωθερμικής ενέργειας, τηλεθέρμανση οικισμών ή και μικρών πόλεων με ατμό ή ζεστό νερό που προέρχεται από την ενεργειακή αξιοποίηση γεωργικής και δασικής βιομάζας, κ.α.).[11]



## 2.4 ΑΠΕ στην Ελλάδα

Η Ελλάδα αποτελεί ιδανικό τόπο για ευρεία χρήση των ΑΠΕ. Τα ιδιαίτερα φυσικά τοπιολογικά χαρακτηριστικά της σε συνδυασμό με τα ποικιλόμορφα κλιματολογικά στοιχεία της ικανοποιούν την αναγκαία συνθήκη για την ανάπτυξη κάθε εφαρμογής των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.[21] Η χώρα μας βρίσκεται σε μια περιοχή εξαιρετικά ηλιόλουστη, όπου υπάρχουν πλούσιοι υδάτινοι πόροι και πνέουν συχνά ισχυροί άνεμοι. Η Ελλάδα διαθέτει σχεδόν ανεξάντλητο δυναμικό κάθε μορφής ΑΠΕ. Ενδεικτικά, σύμφωνα με μελέτη για τις ανανεώσιμες πηγές στη Μεσόγειο, η οικονομικά εκμεταλλεύσιμη παραγωγή ηλεκτρισμού στην Ελλάδα από κάθε μορφής ΑΠΕ ανέρχεται σε 55.000 GWh το χρόνο, ενώ το τεχνικά εκμεταλλεύσιμο δυναμικό υπερβαίνει τις 218.000 GWh.[10]



**Εικόνα 2.7:** Εγκατεστημένη ισχύς σε MW ανανεώσιμων πηγών ενεργείας στην Ελλάδα και στόχος για το 2020

(<http://www.investingreece.gov.gr/default.asp?pid=36&sectorID=51&la=2>)

Η γεωγραφική της θέση (γεωγρ. πλάτος 33°) εξασφαλίζει μια εκτεταμένη περίοδο ηλιοφάνειας, προσφέροντας την δυνατότητα μιας ουσιαστικής αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας. Στο μεγαλύτερο τμήμα της χώρας η ηλιοφάνεια διαρκεί περισσότερο από 2700 ώρες τον χρόνο. Στην Δυτική Μακεδονία και στην Ήπειρο εμφανίζει τις μικρότερες τιμές της κυμαινόμενη από 2200 έως 2300 ώρες, ενώ στη Ρόδο και στη νότια Κρήτη ξεπερνά τις 3100 ώρες ετησίως. Ο συνδυασμός του γεωγραφικού πλάτους της Ελλάδας και της υψηλής ηλιοφάνειάς της έχει ως αποτέλεσμα να προσπίπτουν ημερησίως κατά μέσο όρο 4,3 kWh ηλιακής ενέργειας ανά τετραγωνικό μέτρο οριζόντιας επιφάνειας. Αυτό συντελεί στο να είναι δυνατή σε ολόκληρη της επικράτεια η οικονομικά επωφελής εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας σε ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών.



Εκτιμάται ότι η ηλιακή ενέργεια μπορεί να καλύψει το ένα τρίτο των αναγκών της χώρας σε ηλεκτρισμό. (Η κατανάλωση ηλεκτρισμού αντιστοιχούσε σε 58,7 TWh το 2005). Επίσης, η διάσπαρτη παρουσία μιας πλειάδας μικρών αλλά ορμητικών ποταμών, λόγω του έντονου τοπογραφικού της ανάγλυφου, επιτρέπει την αξιοποίηση της διαθέσιμης υδραυλικής ενέργειας ως συνέπεια της φυσικής ροής του ύδατος προς κατώτερα υψομετρικά επίπεδα.

Εκτιμάται ότι το σύνολο του οικονομικά εκμεταλλεύσιμου υδροδυναμικού της Ελλάδας είναι 10.000 GWh/έτος (με θεωρητικό επιφανειακό υδροδυναμικό 80.000 GWh και τεχνικά εκμεταλλεύσιμο 21.500 GWh). Το 10% περίπου του δυναμικού αυτού (1.000 GWh) θεωρείται ότι είναι δυνατό να αξιοποιηθεί μέσω μικρών υδροηλεκτρικών έργων (μέχρι 5 MW). Ακόμα, η συνύπαρξη ηπειρωτικού – νησιωτικού τοπίου προσφέρει φυσικές διόδους στην νομοτελειακή μετακίνηση μεγάλων αέριων μαζών, διαμορφώνοντας ένα ιδιαίτερα αξιόλογο αιολικό δυναμικό κυρίως στις παράκτιες περιοχές. Το εκμεταλλεύσιμο αιολικό δυναμικό εκτιμάται ότι αντιπροσωπεύει το 13,6% του συνόλου των ηλεκτρικών αναγκών της χώρας. Επιπλέον η “πράσινη” ενέργεια από τα έγκατα της γης, δηλαδή η παραγωγή ενέργειας από το πλήθος των θερμών πηγών που υπάρχουν διάσπαρτες στις χερσαίες αλλά και στις νησιώτικες περιοχές της χώρας. Σύμφωνα με τα μέχρι σήμερα γνωστά στοιχεία, το ενεργειακό απόθεμα που υπάρχει κάτω από τη γη με τη μορφή ζεστού νερού αντιστοιχεί σε πάνω από 1.000 θερμικά MW ετησίως. Το άμεσα αξιοποιήσιμο δυναμικό ξεπερνά σε ισχύ τα 200 MWt και μπορεί να αντικαταστήσει 160.000 τόνους ισοδύναμου πετρελαίου ανά έτος. Τέλος η βιομάζα. Στην Ελλάδα, τα κατ’ έτος διαθέσιμα γεωργικά και δασικά υπολείμματα ισοδυναμούν ενεργειακά με 3-4 εκατ. τόνους πετρελαίου, ενώ το δυναμικό των ενεργειακών καλλιεργειών μπορεί, με τα σημερινά δεδομένα, να ξεπεράσει άνετα εκείνο των γεωργικών και δασικών υπολειμμάτων. Το ποσό αυτό αντιστοιχεί ενεργειακά στο 30-40% της ποσότητας του πετρελαίου που καταναλώνεται ετησίως στη χώρα μας. Σημειώνεται ότι 1 τόνος βιομάζας ισοδυναμεί με περίπου 0,4 τόνους πετρελαίου. Εντούτοις, με τα σημερινά δεδομένα, καλύπτεται μόλις το 3% περίπου των ενεργειακών αναγκών της με τη χρήση της διαθέσιμης βιομάζας. Έτσι ο νέος νόμος για τις ΑΠΕ, που ψηφίστηκε στις 25 Μαΐου 2010 από το Ελληνικό Κοινοβούλιο, καθορίζει ως εθνικό δεσμευτικό στόχο το 20%, για τη συμμετοχή των ΑΠΕ στην κάλυψη της τελικής κατανάλωσης ενέργειας το 2020 και το 40% για τον ηλεκτρισμό. Επίσης προβλέπει ακόμη ότι έως τις 31 Δεκ 2019, όλα τα νέα κτίρια θα πρέπει να καλύπτουν το σύνολο της ενεργειακής τους κατανάλωσης με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας, συστήματα τηλεθέρμανσης σε κλίμακα περιοχής ή οικοδομικού τετραγώνου, καθώς και σε αντλίες θερμότητας. Για τα κτίρια του Δημοσίου η υποχρέωση αυτή θα τεθεί σε ισχύ πέντε χρόνια νωρίτερα, δηλαδή το 2014.

## 3. ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

### 3.1 Η ανάγκη της αποθήκευσης ενέργειας

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. 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 πρόλεξης της παραγωγής από τα αιολικά πάρκα.

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.

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 διεύθυνση 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.

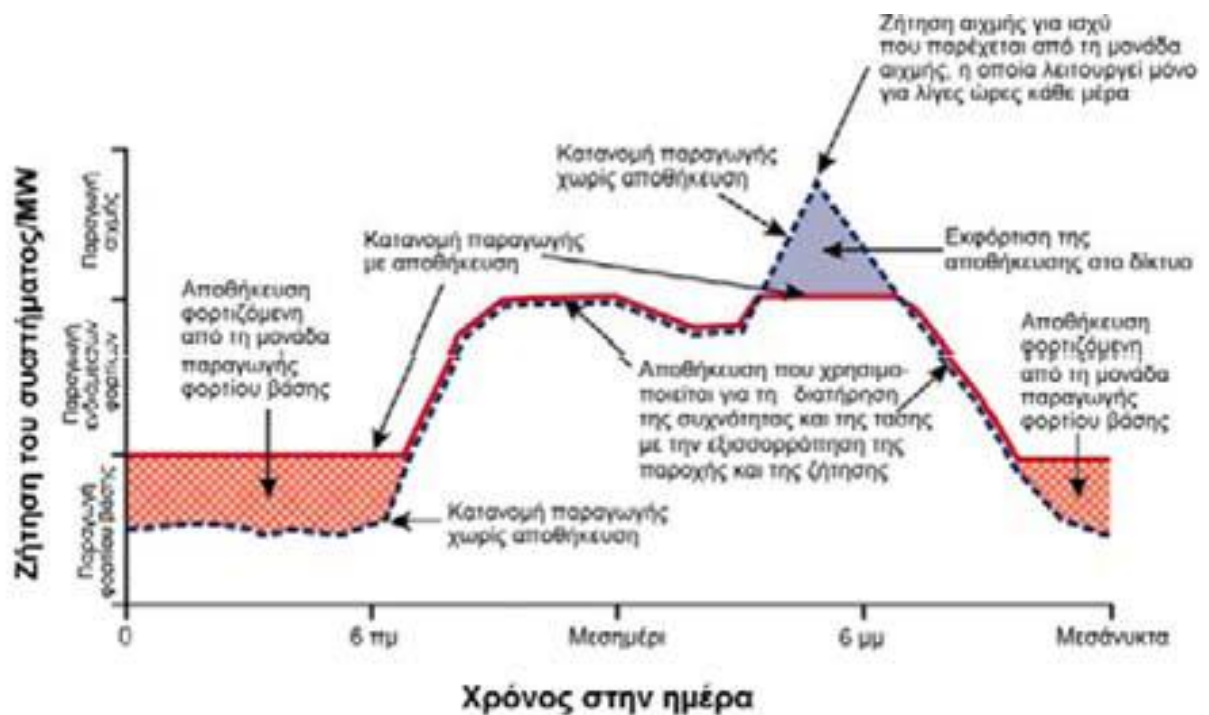
Στην Γερμανία με συνολική εγκατεστημένη ισχύ περί τις 120.000 MW η ισχύς των αιολικών πάρκων είναι ήδη 22.000 MW.

Στην Ελλάδα σήμερα με εγκατεστημένη ισχύ περί τα 14.000 MW, η ισχύς των αιολικών πάρκων είναι περί τα 900 MW (από αυτά τα 700 MW τροφοδοτούν το διασυνδεδεμένο δίκτυο).

Για το 2020 ο στόχος είναι να έχουν εγκατασταθεί 5.000-8.000 MW αιολικών πάρκων οπότε θα αρχίσουμε να έχουμε πρόβλημα διεύθυνσης.

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.



**Εικόνα 3.1** Η αρχή της ενεργειακής αποθήκευσης.  
[http://www.cres.gr/kape/education/ODHGOS\\_TERESs.pdf](http://www.cres.gr/kape/education/ODHGOS_TERESs.pdf)

Συνοψίζοντας πιθανές εφαρμογές που μπορούν να έχουν οι αποθηκευτικές διατάξεις, κάποιες από τις οποίες μπορούν να εξυπηρετούνται από την ίδια αποθηκευτική διάταξη είτε ταυτόχρονα είτε σε διαφορετικές περιόδους:

- Χρήση αποθηκευμένης ενέργειας λόγω έλλειψης ικανότητας παραγωγής των διαθέσιμων μονάδων.
- Αποθήκευση ενέργειας για αποφυγή παραβίασης τεχνικών ελαχίστων θερμικών μονάδων.
- Χρήση αποθηκευτικής διάταξης για εξομάλυνση της παραγόμενης ενέργειας από ΑΠΕ και αποδοτικότερης συμμετοχής τους στις αγορές ηλεκτρικής ενέργειας, αποθηκεύοντας στις ώρες χαμηλού κόστους και χρησιμοποιώντας την στις ώρες υψηλού κόστους εκμεταλλευόμενοι τη διαφορά τιμών
- Περιορισμός αποκοπτόμενης ενέργειας από ΑΠΕ, αποθήκευση ενέργειας για χρήση σε επόμενο χρονικό διάστημα οπότε και δεν θα υπάρχει διαθέσιμη παραγωγή. Είναι η συνηθισμένη πρακτική σε μικρά αυτόνομα και απομονωμένα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας
- Για εκμετάλλευση της διαφοράς κόστους παραγωγής από τις συμβατικές μονάδες είτε χωρίς αλλαγή του προγράμματος ένταξης μονάδων (μόνο οικονομική κατανομή), είτε μεταβάλλοντας κάπως το πρόγραμμα ένταξης μονάδων.
- Παροχή στρεφόμενης εφεδρείας, παροχή ισχύος σε έκτακτη χρονική στιγμή
- Περιορισμός απωλειών δικτύου λόγω της παροχής ισχύος σε πολύ τοπικό επίπεδο

- Αποφυγή ή μετάθεση επενδύσεων ενίσχυσης δικτύου, διανομής ειδικά αν υπάρχει συνδυασμός της διάταξης αποθήκευσης με κάποιας μορφής παραγωγής από ΑΠΕ, αν έχουν επιλεγεί οι κατάλληλες θέσεις για την εγκατάστασή της.
- Διαχείριση ζητημάτων ποιότητας ισχύος λόγω της γρήγορης απόκρισης των μονάδων αυτών
- Αδιάλειπτη παροχή ισχύος
- Εκκίνηση μετά από σφάλμα Black start
- Υποστήριξη τάσης και συχνότητας
- Παραγωγή άλλου αγαθού και αποθήκευσής του π.χ θερμότητας, σε ώρες στις οποίες το κόστος είναι χαμηλό για την αποφυγή κατανάλωσης ενέργειας σε ώρες υψηλού φορτίου

Οι χρονικοί ορίζοντες για τη χρήση των αποθηκευτικών διατάξεων για μία από τις παραπάνω δυνατές εφαρμογές τους χωρίζουν τις διατάξεις αποθήκευσης σε διατάξεις:

**Βραχυπρόθεσμης αποθήκευσης.** Πρόκειται για τις διατάξεις αποθήκευσης που μπορούν να προσφέρουν ή να απορροφήσουν ενέργεια για πολύ μικρό χρονικό διάστημα (λίγα δευτερόλεπτα έως μερικά λεπτά). Τυπικές εφαρμογές αυτού του είδους είναι η παροχή αδιάλειπτης παροχής ισχύος και ευστάθειας λειτουργίας των Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας(ΣΗΕ).

**Μεσοπρόθεσμης αποθήκευσης.** Αφορά διατάξεις που χρησιμοποιούνται για χρονικούς ορίζοντες από μερικά λεπτά ως μερικές ώρες. Αυτού του είδους οι εφαρμογές απασχολούν κυρίως την παρούσα διδακτορική διατριβή. Τέτοιου είδους εφαρμογές είναι η διαχείριση ΑΠΕ, η ενίσχυση της παροχής στρεφόμενης εφεδρείας και η διαχείριση παρεχόμενης ισχύος στους καταναλωτές.

**Μακροπρόθεσμης αποθήκευσης.** Αφορά διατάξεις αποθήκευσης από αρκετές ώρες μέχρι βδομάδα και μήνες. Κυρίως χρησιμοποιείται για την εξομάλυνση της ζήτησης μεταξύ ωρών αιχμής και μη αιχμής ή την ικανοποίηση ζήτησης αιχμής έχοντας αποθηκεύσει ενέργεια σε περιόδους χαμηλής ζήτησης

Χαρακτηριστικές εφαρμογές αποθήκευσης στα ΣΗΕ ανάλογα με την απαιτούμενη χρονική διάρκεια παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.1.

Ομάδα Εφαρμογών	Εφαρμογές	Διάρκεια κύκλου φόρτισης/εκφόρτισης
Διαχείριση μονάδων ΑΠΕ	Εξασφάλιση ισχύος από τις μονάδες ΑΠΕ Συμβόλαια ανάλογα με την ώρα παράδοσης της παραγωγής από ΑΠΕ.	4-10 ώρες
Χειρισμοί συστήματος μεταφοράς ή διανομής	Υποστήριξη συστημάτων μεταφοράς	2-5 sec
	Μείωση των απαιτήσεων για εγκατεστημένη ισχύ συστήματος μεταφοράς	4-6 ώρες
	Υποκατάσταση κεντρικών μονάδων παραγωγής	2-6 ώρες
	Μείωση της συμφόρησης δικτύων	2-6 ώρες
Σχέσεις εταιριών ηλεκτρισμού και πελατών	Αναβολή επενδύσεων σε συστήματα μεταφοράς και διανομής	1-5 ώρες
	Παροχή βοηθητικών υπηρεσιών	1-10 ώρες
	Χρήση για εξομάλυνση των τιμών αγοράς	1-10 ώρες
Σχέσεις εταιριών ηλεκτρισμού και πελατών	Παροχή υπηρεσιών ποιότητας ισχύος (PQ)	10sec-1min
	Παροχή υπηρεσιών για εφαρμογές αξιοπιστίας (PR)	15min-5 ώρες
	Διαχείριση μεταβολής ζήτησης	4-12 ώρες
	Διαχείριση για τη χρήση τιμολογίων χρέωση ανάλογα με την ώρα κατανάλωσης (time of use rates)	2-(εξαρτώμενο από το σύστημα τιμολογίων)

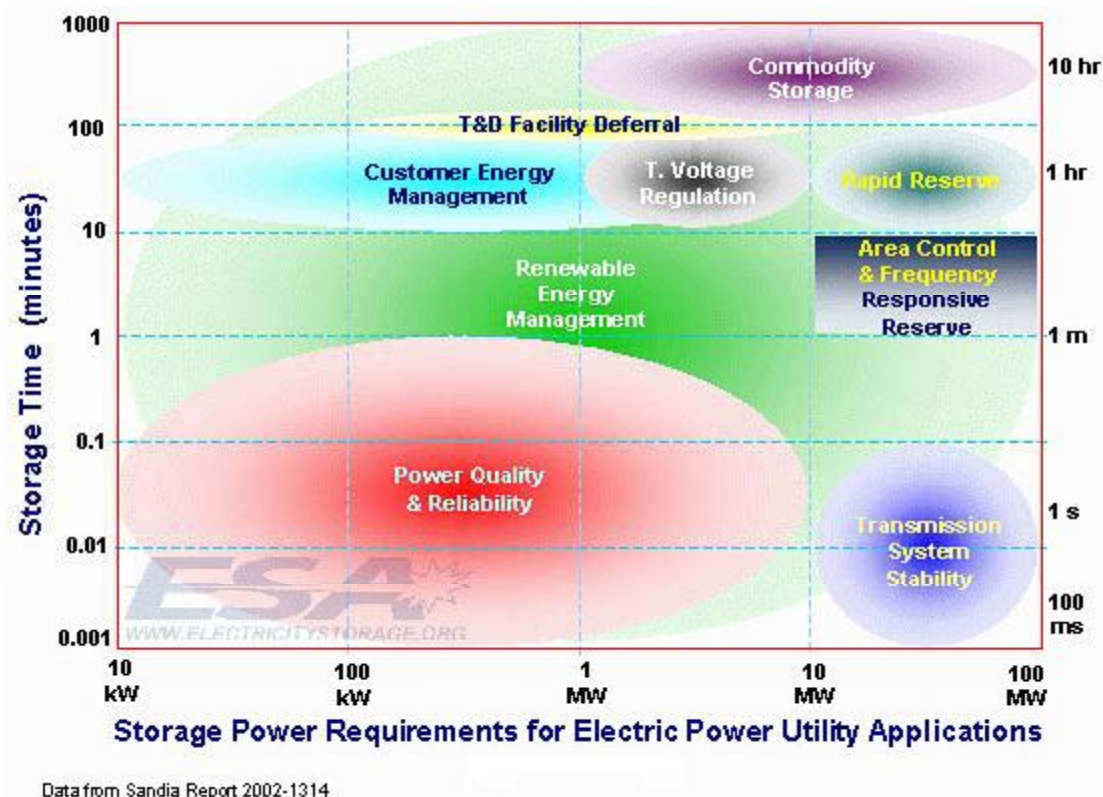
**Πίνακας 3.1** Τυπικές εφαρμογές μονάδων αποθήκευσης ανάλογα με τον κύκλο λειτουργίας τους

Εναλλακτικές λύσεις για τα παραπάνω ζητήματα σε σχέση με τη λειτουργία των μονάδων αποθήκευσης δίνονται στον παρακάτω Πίνακα:

Ομάδα Εφαρμογών	Εφαρμογές	Εναλλακτικές μέθοδοι
Διαχείριση Μονάδων ΑΠΕ	Εξασφάλιση ισχύος από τις μονάδες ΑΠΕ	Μερική φόρτιση της κεντρικής παραγωγής, έλεγχος φορτίων με μεθόδους DLC, αφοσιωμένη παραγωγή κοντά στα φορτία.
	Συμβόλαια ανάλογα με την ώρα παράδοση για την παραγωγή από ΑΠΕ	Χρήση υβριδικών συστημάτων ΑΠΕ και κατανεμομένων πηγών με χρήση ανανεώσιμων καυσίμων (γεωθερμία, βιοαέριο)
Χειρισμοί συστήματος μεταφοράς ή διανομής	Υποστηρίξη συστημάτων μεταφοράς	Ενίσχυση του δικτύου μεταφοράς ή εγκατάσταση διεσπαρμένης παραγωγής
	Μείωση των απαιτήσεων για εγκατεστημένη ισχύ συστήματος μεταφοράς	Ευφυή συστήματα χρέωσης, αναβάθμιση συστημάτων μεταφοράς, έλεγχος φορτίου, αύξηση της ενεργειακής απόδοσης και διεσπαρμένη παραγωγή
	Μείωση της συμφόρησης δικτύων	
	Αναβολή επενδύσεων σε συστήματα μεταφοράς και διανομής	
	Παροχή βοηθητικών υπηρεσιών	Διατήρηση στρεφόμενης εφεδρείας και φόρτιση κεντρικής παραγωγής στο μερικό φορτίο και διεσπαρμένη παραγωγή
	Υποκατάσταση κεντρικών μονάδων παραγωγής	Φόρτιση κεντρικής παραγωγής στο μερικό φορτίο, απευθείας έλεγχος φορτίου, εμπορία με γειτονικές αγορές
	Χρήση για εξομάλυνση των τιμών αγοράς	Διαχείριση για τη χρήση τιμολογίων χρέωση ανάλογα με την ώρα κατανάλωσης (time of use rates)
Σχέσεις εταιριών ηλεκτρισμού/πελατών	Παροχή υπηρεσιών ποιότητας ισχύος (PQ)	Φίλτρα και διατάξεις βελτίωσης ποιότητας ισχύος και παροχή άεργου ισχύος
	Παροχή υπηρεσιών για εφαρμογές αξιοπιστίας (PR)	Διεσπαρμένη παραγωγή, ενίσχυση δικτύου διανομής
	Διαχείριση μεταβολής ζήτησης	Μείωση κατανάλωσης και αύξηση απόδοσης

**Πίνακας 3.2** Χρονικός ορίζοντας και ισχύς που απαιτείται για τις διάφορες ομάδες εφαρμογών αποθήκευσης ενέργειας

Η Εικόνα 3.2 παρουσιάζει το χρονικό ορίζοντα και την ισχύ που απαιτείται για τις διάφορες ομάδες εφαρμογών αποθήκευσης ενέργειας συνοψίζοντας τα περιεχόμενα των παραπάνω πινάκων.



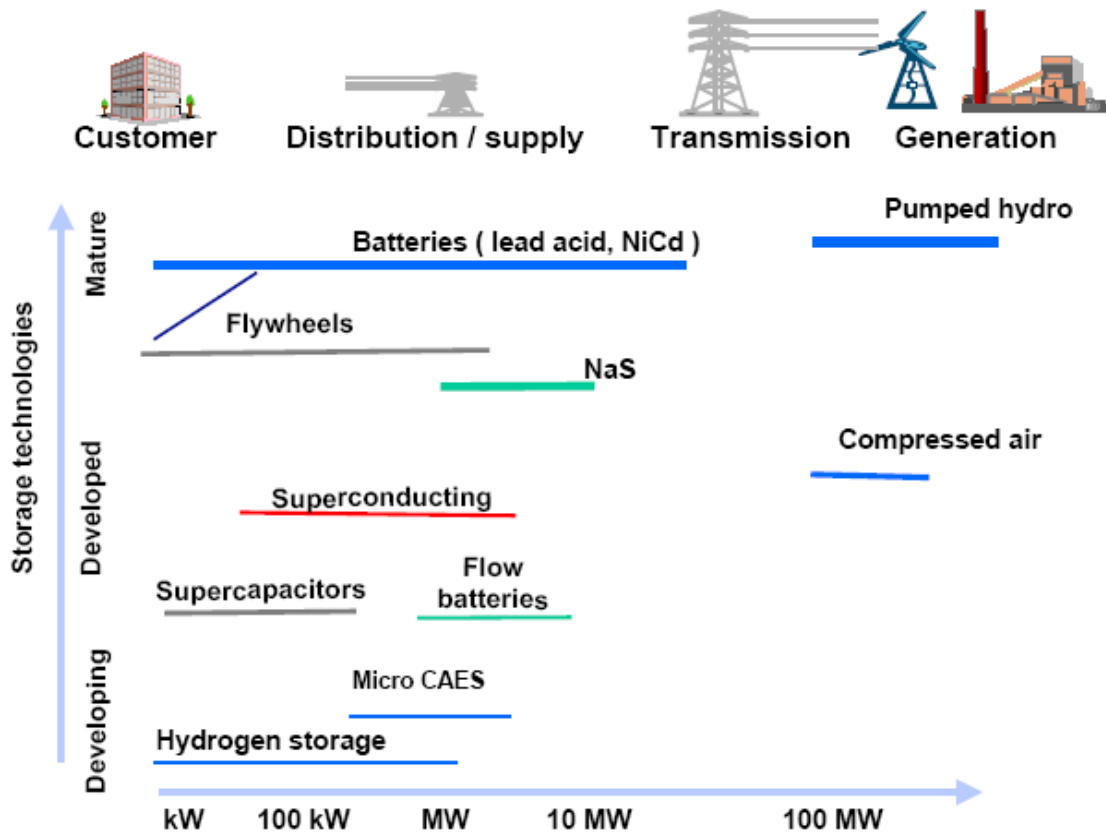
**Εικόνα 3.2** Απαιτήσεις ισχύος και χρονικής διάρκειας αποθήκευσης για διάφορες εφαρμογές των ΣΗΕ.

### 3.2 Τρόποι αποθήκευσης ενέργειας

Η ενέργεια μπορεί να αποθηκευθεί με διάφορες μορφές όπως:

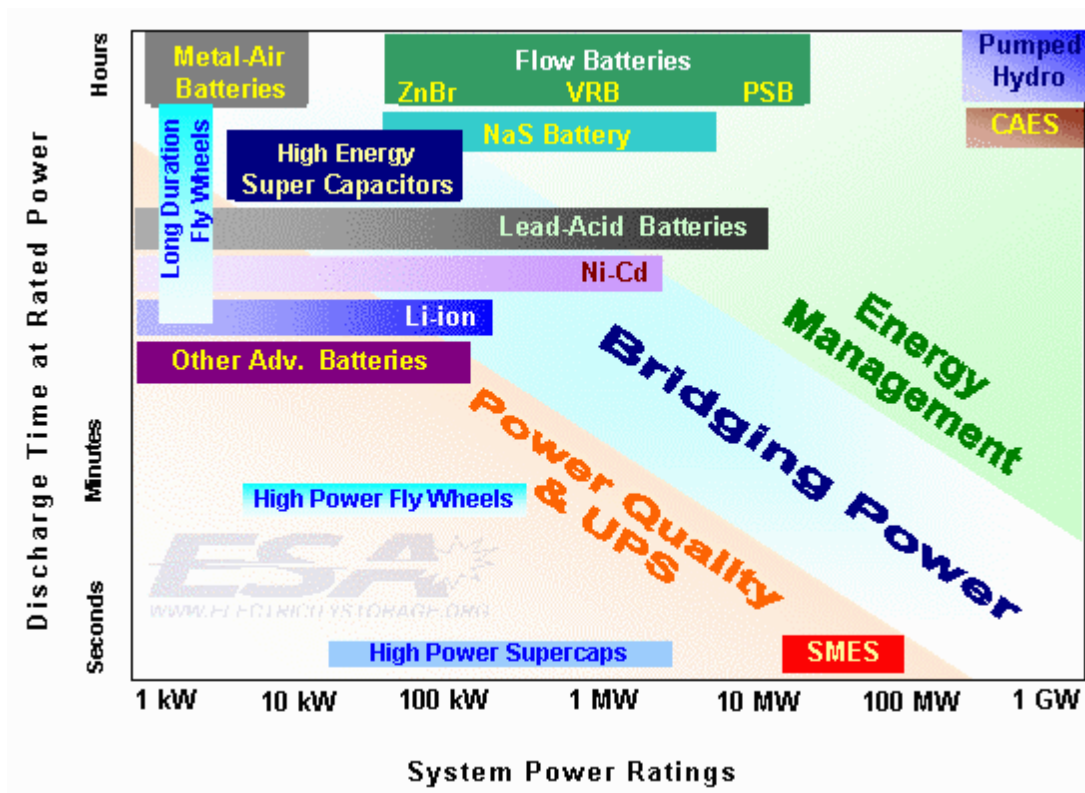
- σε ηλεκτρική μορφή συνεχούς ρεύματος σε μία συστοιχία ηλεκτρικών συσσωρευτών (μπαταρίες)
- σε μηχανική μορφή υπό την μορφή κινητικής ενέργειας σε σφόνδυλο
- υπό μορφή πεπιεσμένου αέρα ή αερίου γενικότερα σε αεροφυλάκιο
- σε υδραυλική μορφή υπό την μορφή ποσότητας νερού που αντλείται από μία χαμηλότερη στάθμη σε μία υψηλότερη
- υπό μορφή ηλεκτροστατικού πεδίου, λόγω διαφορετικού ηλεκτρικού φορτίου στους οπλισμούς (υπερ-πυκνωτές).
- υπό μορφή μαγνητικού πεδίου (υπεραγωγίμο μαγνητικό σύστημα ενεργειακής αποθήκευσης).
- υπό μορφή υδρογόνου (κυψέλες καυσίμου).

Ένα σχετικό διάγραμμα για τα τυπικά μεγέθη των αποθηκευτικών διατάξεων, τις τυπικές εφαρμογές τους και την ωριμότητα τους παρουσιάζεται στην Εικόνα 3.3, ενώ η Εικόνα 3.4 παρουσιάζει το χρονικό ορίζοντα χρήσης των διαφόρων αποθηκευτικών διατάξεων. Ο Πίνακας 3.3, παρουσιάζει συνοπτικά την καταλληλότητα των διαφόρων αποθηκευτικών μέσων, όσο αφορά εφαρμογές ισχύος και ενέργειας αλλά και τις συνηθισμένες τους εφαρμογές.



**Εικόνα 3.3** Μέγεθος, εφαρμογές και τεχνολογική ωριμότητα των διαφόρων πηγών αποθήκευσης

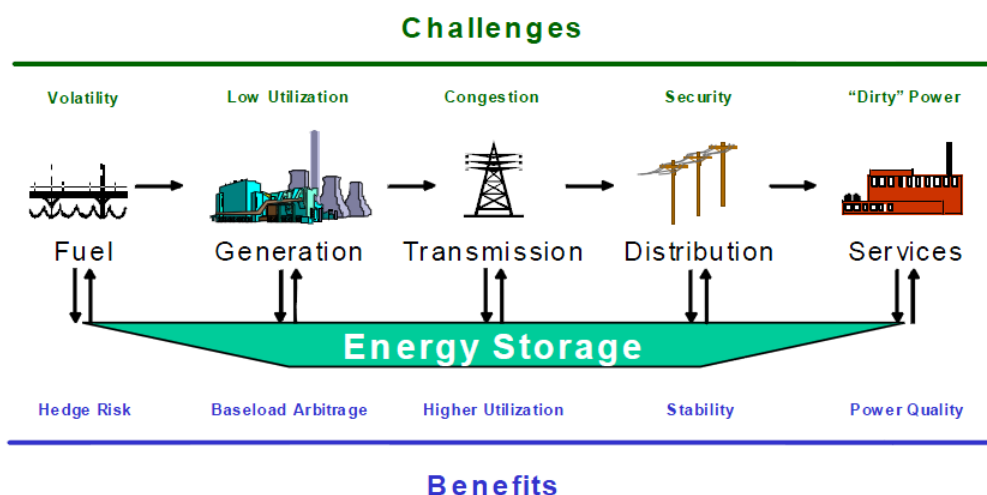




Εικόνα 3.4 Καταλληλότητα διαφόρων διατάξεων αποθήκευσης ανάλογα με το χρονικό ορίζοντα και την ισχύ τους

## Benefits of Energy Storage

Along the Electricity Value Chain



Εικόνα 3.5 Οφέλη ενεργειακής αποθήκευσης.  
( [www.energystoragecouncil.org](http://www.energystoragecouncil.org) )

Αποθηκευτική Διάταξη	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα	Εφαρμογές Ισχύος	Εφαρμογες Ενέργειας	Συνήθης εφαρμογή
Μπαταρίες ροής (flow): PSB, VRBr, ZnBr	Υψηλή χωρητικότητα, ανεξάρτητη εκτίμηση ισχύος - ενέργειας	Χαμηλή πυκνότητα ενέργειας	+		Εξομάλυνση ζήτησης λίγων ωρών
Μολύβδου – οξέος	Χαμηλό αρχικό κόστος	Περιορισμένος κύκλος ζωής σε βαθιά εκφόρτιση	+		Εξομάλυνση αιχμών
Ni – Cd	Υψηλή πυκνότητα ενέργειας και ισχύος, απόδοση		+		Εξομάλυνση ζήτησης λίγων ωρών-λεπτών
Li – ion	Υψηλή πυκνότητα ισχύος και ενέργειας, υψηλή απόδοση	Υψηλό κόστος παραγωγής, απαιτεί ειδικό κύκλωμα φόρτισης	+		Κινητή τηλεφωνία, υποσταθμοί ενέργειας
NaS	Υψηλή πυκνότητα ισχύος και ενέργειας, υψηλή απόδοση	Κόστος παραγωγής, μέτρα ασφαλείας (λόγω σχεδιασμού)	+		Εξομάλυνση ζήτησης λίγων ωρών-λεπτών
Σφόνδυλοι (flywheels)	Υψηλή ισχύς	Χαμηλή πυκνότητα ενέργειας, υψηλό κόστος παραγωγής	+		Εξομάλυνση ισχύος για λίγα λεπτά
SMES (Υπεραγώγιμη Μαγνητική Αποθήκευση),	Υψηλή ισχύς	Χαμηλή πυκνότητα ενέργειας, υψηλό κόστος παραγωγής	+		Εφαρμογές ποιότητας ισχύος, διανομή
E.C Capacitors[22]	Μεγάλος κύκλος ζωής, υψηλή απόδοση	Χαμηλή πυκνότητα ενέργειας	+		Εφαρμογές ποιότητας ισχύος, διανομή
Αντλησιοταμίευση (pumped storage)	Υψηλή χωρητικότητα, χαμηλό κόστος	Απαιτεί ειδική τοποθεσία			Εξομάλυνση ζήτησης σε μεγάλο χρονικό διάστημα
Ενεργειακή Αποθήκευση Συμπιεσμένου αέρα CAES	Υψηλή χωρητικότητα, χαμηλό κόστος	Απαιτεί ειδική τοποθεσία για τις χρησιμοποιούμενες κοιλότητες			Εξομάλυνση ζήτησης σε μεγάλο χρονικό διάστημα

**Πίνακας 3.3** Χαρακτηριστικά μονάδων αποθήκευσης

Λίγο πιο εκτενείς πληροφορίες για τις διατάξεις αποθήκευσης παρατίθενται στα παρακάτω:

### **3.2.1.Μπαταρίες μολύβδου – οξέος**

Οι μπαταρίες αυτές είναι οι πιο διαδεδομένες παγκοσμίως. Για το ένα τρίτο του πληθυσμού της γης που ακόμη δεν είναι συνδεδεμένο με ένα δίκτυο παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, η μπαταρία παραμένει ο βασικός φορέας ενεργειακής αποθήκευσης. Ο περιορισμένος κύκλος ζωής των μπαταριών αυτών (ειδικά σε συνθήκες βαθιάς εκφόρτισης), εξισορροπείται από το χαμηλό κόστους τους, αν και καταβάλλονται σημαντικές ερευνητικές προσπάθειες για την κατανόηση των μηχανισμών γήρανσης τους και την πρόταση τεχνικών αντιμετώπισής της. Τα συστήματα μολύβδου – οξέος βελτιώνονται σταδιακά και με διάφορους τρόπους. Μια από τις βελτιώσεις είναι η χρήση ηλεκτρολυτών σε μορφή gel, αντί για υγρό, είχε ως αποτέλεσμα να μπορούν οι μπαταρίες να χρησιμοποιηθούν σε οποιαδήποτε θέση χωρίς να χρειαστεί να ανεφοδιαστούν, και να είναι ανθεκτικές σε κραδασμούς. Στις ρυθμιζόμενες από βαλβίδα, μπαταρίες μολύβδου – οξέος (VRLA) η διαφυγή αερίου ρυθμίζεται από ευαίσθητες βαλβίδες πίεσης. Η απόδοση και ο χρόνος ζωής βελτιώνονται από τις καινοτόμες τεχνικές φόρτισης, όπως οι παλμικές μέθοδοι φόρτισης.

### **3.2.2. Μπαταρίες νικελίου – καδμίου**

Οι μπαταρίες νικελίου – καδμίου παρόλο που είναι ακριβότερες από τις μολύβδου – οξέος, έχουν διπλάσιο χρόνο ζωής και επειδή δεν απαιτείται παρακολούθηση κατά τη λειτουργία τους μπορούν να τοποθετηθούν σε απομακρυσμένες περιοχές με δυσμενείς κλιματολογικές συνθήκες και στην κυριολεξία να ξεχαστούν. Στα μειονεκτήματά τους εκτός από το κόστος ανήκουν και η μεγάλη διάρκεια ζωής των τοξικών αποβλήτων (ύστερα από τη χρήση της μπαταρίας) καθώς και η πεπερασμένη ποσότητα καδμίου στον πλανήτη. Η πιο χαρακτηριστική εγκατάσταση αυτού του είδους μπαταριών είναι στην Αλάσκα για μια τοπική εταιρία και η οποία περιλαμβάνει 13760 μπαταρίες νικελίου – καδμίου (Ni-Cd) και μπορεί να παρέχει 27 MW για 15 λεπτά και 46MW για 4 μόλις λεπτά, και η οποία κατασκευάστηκε από τη σύμπραξη ABB και SAFT Batteries. Μόνο για το 2006 η συνεισφορά της συγκεκριμένης εγκατάστασης ήταν η αποφυγή συνολικά 82 περιπτώσεων διακοπών ηλεκτρισμού που αν πραγματοποιούνταν θα επηρέαζαν έως και 310000 καταναλωτές με συνολική διάρκεια διακοπών 725 λεπτά. Ως εναλλακτική πρόταση για αυτές τις μπαταρίες είναι οι μπαταρίες Ni-MH (nickelmetal Hybride) οι οποίες έχουν λιγότερο τοξική συμπεριφορά, μεγάλη πυκνότητα ενέργειας και μεγάλο χρόνο ζωής

### **3.2.3 Μπαταρίες λιθίου – ιόντος**

Οι μπαταρίες αυτές έχουν μεγάλη πυκνότητα ενέργειας (300-400 kWh/m<sup>3</sup> λιθίου), υψηλότερη απόδοση μετατροπής και μεγάλο κύκλο ζωής (περίπου 3000 κύκλοι για βάθος εκφόρτισης 80%). Επειδή το λίθιο είναι το ελαφρύτερο στερεό στοιχείο, οι μπαταρίες που βασίζονται σε αυτό μπορούν να είναι κατά πολύ ελαφρύτερες από τις συνηθισμένες. Γι' αυτό το λόγο και λόγω της μεγάλης απόδοσής τους, βρίσκουν πολλές εφαρμογές στα κινητά τηλέφωνα και στους φορητούς υπολογιστές. Πρόσφατα έχει αρχίσει και η δυνατότητα επέκτασης χρήσης μπαταριών Li-Ion και σε εφαρμογές συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας με μία πρώτη εγκατάσταση στη χώρα μας στην πειραματική εγκατάσταση συμπαράγωγής του Ε.Μ.Π και της Ε.Π.Α Αττικής.

### **3.2.4 Λοιπές μπαταρίες**

Οι μπαταρίες NaS έχουν πολύ μεγαλύτερη ενεργειακή πυκνότητα, 4.2 φορές κατ' όγκο και 5.8 φορές κατά βάρος, από τις μπαταρίες μολύβδου-οξέος με μικρότερες ανάγκες συντήρησης. Η πιο σημαντική εγκατάσταση τέτοιων μπαταριών αφορά εγκαταστάσεις ενίσχυσης αέργου ισχύος σε υποσταθμούς παρέχοντας όμως και τη δυνατότητα κυκλικής λειτουργίας. Οι μπαταρίες Metal-air, αν και συμπαγείς και οικονομικές δεν μπορούν να

φορτιστούν και να εκφορτιστούν με σημαντική απόδοση. Λοιπές μπαταρίες περισσότερο ή λιγότερο έτοιμες για εμπορική αξιοποίηση είναι οι ZnBr, ZnCl<sub>2</sub> οι νικελίου-ψευδαργύρου, οι ψευδαργύρου-άνθρακα κτλ.

### 3.2.5 Στρεφόμενες μάζες-Σφόνδυλοι

Οι στρεφόμενες μάζες ή σφόνδυλοι flywheels, αναμένεται να έχουν εφαρμογές παροχής ισχύος και ενέργειας για μικρά χρονικά διαστήματα και κυρίως για την παροχή εφεδρείας και όχι τόσο για την παροχή ενέργειας. Η ενέργεια που αποθηκεύεται με την περιστροφή μίας στρεφόμενης μάζας σε υψηλή ταχύτητα μπορεί να μετατραπεί ξανά ηλεκτρική ισχύ με τη σύνδεση της μάζας σε μια γεννήτρια. Το ποσό ενέργειας που μπορεί να αποθηκευτεί στη στρεφόμενη μάζα είναι ανάλογο της μάζας του τροφέα και ανάλογο του τετραγώνου της ταχύτητας του τροφέα (σύμφωνα με την εξίσωση  $k=(mv^2)/2$  όπου  $k$ = κινητική ενέργεια,  $m$ = μάζα και  $v$ = ταχύτητα). Τα τελευταία χρόνια στο σχεδιασμό των στρεφόμενων μαζών η έμφαση έχει μετατοπιστεί από το σχεδιασμό της γεωμετρίας της μάζας στην προσπάθεια να επιτευχθούν υψηλές περιστροφικές ταχύτητες. Ταχύτητες μέχρι 40000rpm έχουν ήδη επιτευχθεί, ενώ μέχρι 60000rpm προβλέπονται για τις μελλοντικές γενεές. Σχηματικά μία τέτοια μονάδα παριστάνεται στην Εικ.22. Ο χρόνος εκφόρτισης αυτών των διατάξεων κυμαίνεται μεταξύ λίγων sec και μέχρι 15-30 min, βοηθώντας περισσότερο από τις μπαταρίες σε εφαρμογές ισχύος παρά ενέργειας. Αντίθετα από τις μπαταρίες, τα συστήματα στρεφόμενων μαζών δεν είναι ευαίσθητα στη θερμοκρασία και η απόδοσή τους μπορεί να φτάσει ως και 80-90% χωρίς ιδιαίτερη πτώση της απόδοσής τους με το χρόνο ζωής τους ο οποίος φτάνει τα 15 – 20 χρόνια (για χρήση σε υψηλές συχνότητες) με μικρή συντήρηση και εγκατάσταση.



Εικόνα 3.6 Μονάδα στρεφόμενης μάζας

Οι στρεφόμενες μάζες μπορούν να συμπληρώσουν τις μπαταρίες στα ΣΗΕ με υψηλή διεύθυνση μονάδων ΑΠΕ εξισορροπώντας τις απότομες και γρήγορες μεταβολές στο φορτίο. Οι μεταβολές αυτού του είδους θα έφθειραν γρήγορα τις μπαταρίες λόγω των περιορισμένων κύκλων ζωής που έχουν.

### 3.2.6 Υπέρ - πυκνωτής (supercapacitor) και Υπεραγωγία πηνία (SMES)

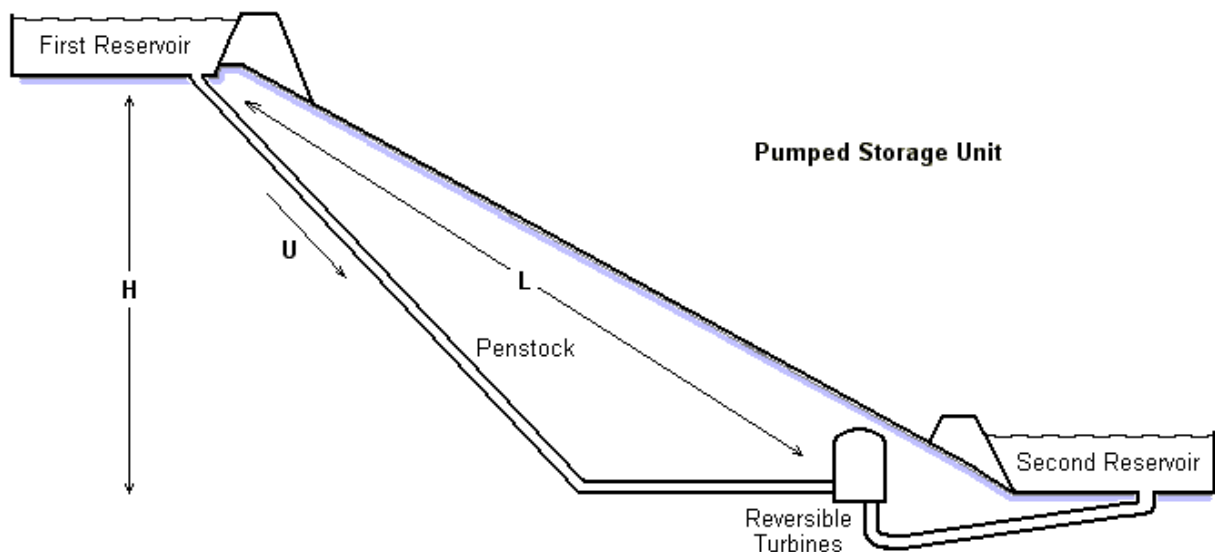
Οι μονάδες υπέρ- πυκνωτών έχουν χωρητικότητα ισχύος και ενέργειας χιλιάδες φορές μεγαλύτερη από αυτή των συμβατικών πυκνωτών και είναι ικανοί να παρέχουν ισχύ της τάξης των 100kW, ενώ η ενέργειά τους είναι δυνατό να διοχετευτεί μέσα σε κλάσματα του δευτερολέπτου ως και μέσα σε ένα λεπτό. Οι κυριότερες εφαρμογές τους αφορούν υποστήριξη τάσης, βελτίωση του συντελεστή ισχύος και υποστήριξη ενεργού και αέργου ισχύος. Οι διατάξεις SMES στηρίζουν τη λειτουργία τους στη χρήση της τεχνολογίας των υπεραγωγίων υλικών γι' αυτό και απαιτούν σημαντικές ποσότητες ψύξης. Αυτές οι διατάξεις, μπορούν να διαθέσουν έως και 2MW μέσα σε λίγους κύκλους του εναλλασσόμενου ρεύματος.

Και οι δύο τύπου διατάξεις και ειδικά οι συσκευές SMES αποτελούν μια αποτελεσματική λύση σε παροχή ποιότητας ισχύος στα δίκτυα διανομής. Μάλιστα υπάρχουν εταιρίες στις ΗΠΑ οι οποίες διαθέτουν τέτοιου είδους μεταφερόμενες μονάδες σε containers για την εφαρμογή τους σε διάφορες περιοχές του δικτύου διανομής.

### 3.2.7 Αντλησιοταμίευση (Pump – hydro storage)

Η πιο διαδεδομένη ιδέα για τη μαζική αποθήκευση ενέργειας είναι η χρήση μονάδων αντλησιοταμίευσης. Η γενική ιδέα της αντλησιοταμίευσης είναι η εξής: σε μία δεξαμενή βρίσκεται αποθηκευμένη μία ποσότητα νερού. Όταν ζητηθεί ισχύς το νερό μπορεί να πέσει σε μία χαμηλότερα τοποθετημένη (δεύτερη) δεξαμενή με τη βοήθεια υδροστρόβιλου, ενώ όταν δεν υπάρχει πια ζήτηση ισχύος μπορεί με αντλίες να οδηγηθεί ξανά πίσω στην πρώτη (ψηλότερη) δεξαμενή.

Ένα σύστημα αντλησιοταμίευσης αποτελείται από τα εξής μέρη: μία ανώτερη δεξαμενή (First Reservoir), αγωγοί νερού (Penstock), αντλία, υδροστρόβιλος, ή σε συνδυασμό με τον στρόβιλο αντιστρέψιμης φοράς Reversible Turbines και μία κατώτερη, δεύτερη δεξαμενή (Second Reservoir) η οποία μπορεί να είναι ακόμη και η θάλασσα. Σχηματική αναπαράσταση παρουσιάζεται παρακάτω:



Εικόνα 3.7 Σύστημα αντλησιοταμίευσης

Παρόλο όμως που η αντλησιοταμίευση μπορεί να δώσει υψηλή χωρητικότητα ενέργειας σε χαμηλό κόστος δεν χρησιμοποιείται όσο θα ήταν αναμενόμενο. Ο λόγος είναι αφενός η εξειδικευμένη περιοχή που χρειάζεται για να κατασκευαστεί η εγκατάσταση και αφετέρου ο χρόνος που χρειάζεται για να πραγματοποιηθεί η διαδικασία και να απελευθερωθεί η αποθηκευμένη ενέργεια, αφού αν η αντλία δεν λειτουργεί ήδη χρειάζεται χρόνος ένταξης. Για αυτό ως επί το πλείστον χρησιμοποιείται σε εγκαταστάσεις ενέργειας μεγάλης κλίμακας. Παγκοσμίως είναι διαθέσιμα πάνω από 90GW ισχύος από αντλησιοταμίευση και σε μερικές περιπτώσεις σε συνδυασμό με Φράγματα.

Στη χώρα μας 2 τέτοιους είδους σταθμοί υπάρχουν στη Σφηκιά και στον ΥΗΣ Θησαυρού.

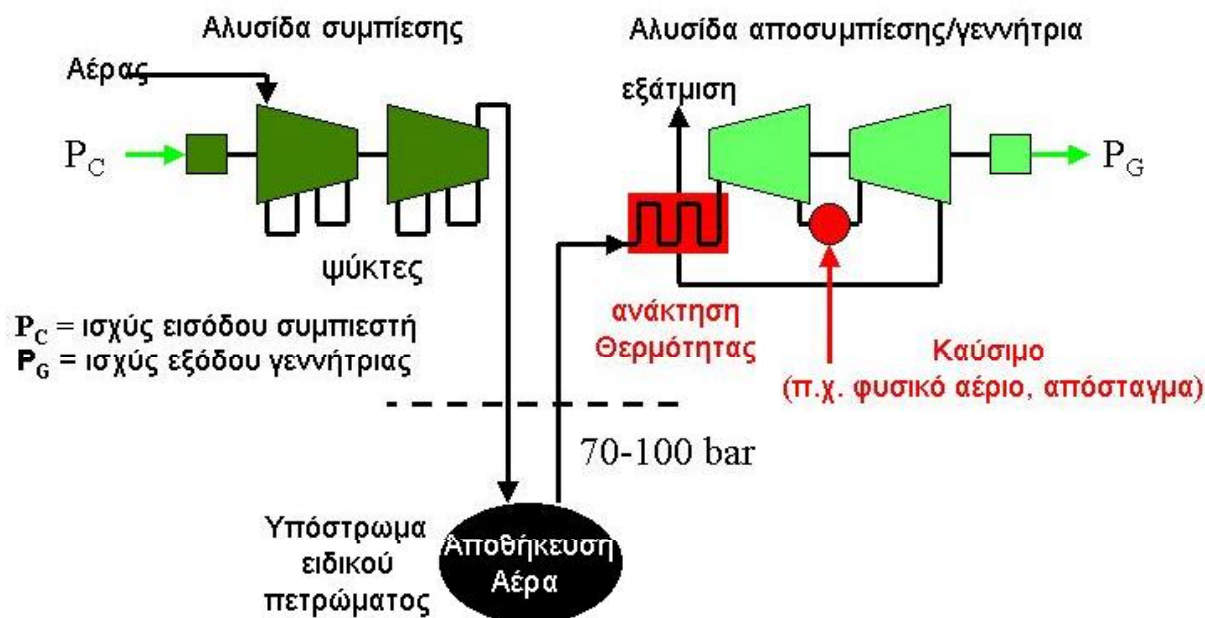
Αριθμός αντλιών	
Ενεργός Ισχύς ανά αντλία	kW
Συντελεστής Ισχύος	Cosφ
Χωρητικότητα άνω δεξαμενής	m <sup>3</sup>
Χωρητικότητα κάτω δεξαμενής	m <sup>3</sup>
Ικανότητα άντλησης	m <sup>3</sup> /s
Μήκος αγωγού-ών	M

### Πίνακας 3.4 Χαρακτηριστικά αντλιών και ταμιευτήρων

#### 3.2.8 Σύστημα συμπίεσης αέρα (CAES)

Η βασική ιδέα της μεθόδου είναι ότι αέρας μπορεί να συμπιεστεί στα 800 ως 1600psi σε ειδικές γεωλογικές δομές και να αποσυμπιεστεί ώστε, κινώντας αεριοστρόβιλο, να παράγει ηλεκτρισμό. 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, μόνο δύο τέτοιες εγκαταστάσεις υπάρχουν παγκοσμίως, η μία στις ΗΠΑ και η άλλη στη Γερμανία στο Huntorf. Η αρχήλειτουργίας του συστήματος παρουσιάζεται σε γενικές γραμμές στην Εικόνα 27. 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.

## Σύστημα συμπίεσης αέρα (CAES)



Εικόνα 3.8 Διάγραμμα λειτουργίας μονάδας CAES

Τεχνολογία	Ολικός βαθμός απόδοσης (%)	Μέγεθος(MWh)
Υδραυλικός Ταμιευτήρας	-75	0-20.000
Πεπιεσμένος Αέρας	70	250-2.200
Σφόνδυλος	90+	0,1-20
Ηλεκτρικός Συσσωρευτής	70-84	17-40

Ως βαθμός απόδοσης του συστήματος αποθήκευσης ορίζεται ο λόγος της ενέργειας που αποδίδεται προς την ενέργεια που αποθηκεύεται.

Από όλες τις μεθόδους αποθήκευσης ενέργειας, μόνο η αποθήκευση της σε μορφή υδραυλικής ενέργειας και υπό μορφή πεπιεσμένου αέρα 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

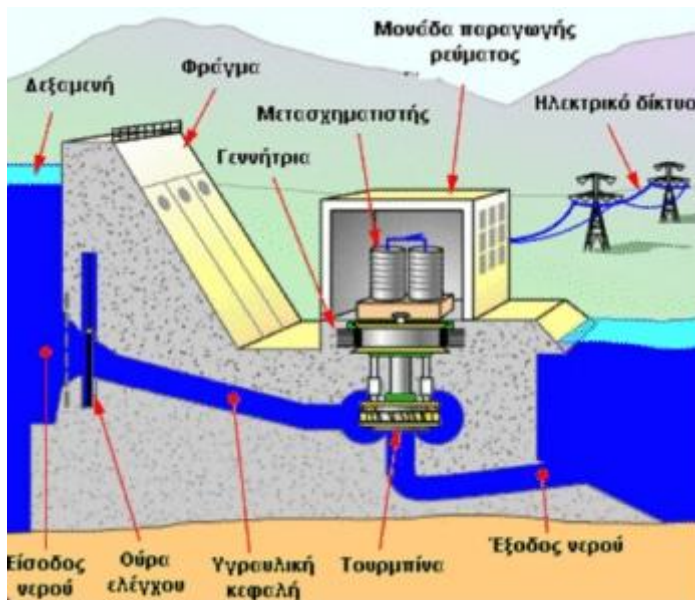


## 4. ΑΝΑΣΤΡΕΨΙΜΑ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΕΡΓΑ

### 4.1 Υδροηλεκτρική Ενέργεια

Η Ελλάδα κατά το πλείστον ορεινή χώρα (πάνω από 80%), συγκεντρώνει τα περισσότερα βουνά της στο βορειοδυτικό της μέρος, το οποίο, ως επί το πλείστον, προσφέρεται για υδροηλεκτρική ανάπτυξη.

- Το ετήσιο θεωρητικό υδροδυναμικό της ανέρχεται σε περίπου: 80Twh
- Το οικονομικά εκμεταλλεύσιμο υδροδυναμικό φτάνει τις: 12Twh
- Μέχρι σήμερα έχει αναπτυχθεί περίπου το: 40%



Η μετατροπή της ενέργειας των υδατοπτώσεων με τη χρήση υδροηλεκτρικών έργων (υδατοταμιευτήρας, φράγμα, κλειστός αγωγός πτώσεως, υδροστρόβιλος, ηλεκτρογεννήτρια, διώρυγα φυγής) παράγει την υδροηλεκτρική ενέργεια. Οι υδροηλεκτρικές μονάδες εκμεταλλεύονται τη φυσική διαδικασία του κύκλου του νερού. Κάθε μέρα ο πλανήτης μας αποβάλλει μια μικρή ποσότητα νερού καθώς η υπερϊώδης ακτινοβολία διασπά τα μόρια του νερού σε ιόντα. Ταυτόχρονα νέες ποσότητες νερού εμφανίζονται λόγω της ηφαιστειακής δραστηριότητας, έτσι ώστε η συνολική ποσότητα του νερού να διατηρείται περίπου σταθερή.

Η λειτουργία των υδροηλεκτρικών μονάδων βασίζεται στην κίνηση του νερού λόγω διαφοράς μανομετρικού ύψους μεταξύ των σημείων εισόδου και εξόδου. Για το σκοπό αυτό κατασκευάζεται ένα φράγμα που συγκρατεί την απαιτούμενη ποσότητα νερού στον δημιουργούμενο ταμιευτήρα. Κατά τη διέλευσή του από τον αγωγό πτώσεως κινεί έναν στρόβιλο ο οποίος θέτει σε λειτουργία τη γεννήτρια. Μία τουρμπίνα που είναι εγκατεστημένη σε μεγάλη μονάδα μπορεί να ζυγίζει μέχρι 172 τόνους και να περιστρέφεται με 90 rpm. Η ποσότητα του ηλεκτρισμού που παράγεται καθορίζεται από αρκετούς παράγοντες. Δύο από τους σημαντικότερους είναι ο όγκος του νερού που ρέει και η διαφορά μανομετρικού ύψους μεταξύ της ελεύθερης επιφάνειας του ταμιευτήρα και του στροβίλου. Η ποσότητα ηλεκτρισμού που παράγεται είναι ανάλογη των δύο αυτών μεγεθών. Συνεπώς, ο παραγόμενος ηλεκτρισμός εξαρτάται από την ποσότητα του νερού του ταμιευτήρα. Για το λόγο αυτόν μόνο σε περιοχές με σημαντικές βροχοπτώσεις, πλούσιες πηγές και κατάλληλη γεωλογική διαμόρφωση είναι δυνατόν να κατασκευαστούν υδροηλεκτρικά έργα. Συνήθως η ενέργεια που τελικώς παράγεται, χρησιμοποιείται μόνο συμπληρωματικά ως προς άλλες συμβατικές πηγές ενέργειας, καλύπτοντας φορτία αιχμής. Στη χώρα μας η υδροηλεκτρική ενέργεια ικανοποιεί περίπου το 9% των ενεργειακών μας αναγκών σε ηλεκτρισμό.



Τα υδροηλεκτρικά έργα ταξινομούνται σε μεγάλης και μικρής κλίμακας. Τα μικρής κλίμακας υδροηλεκτρικά έργα διαφέρουν σημαντικά από της μεγάλης κλίμακας σε ότι αφορά τις επιπτώσεις τους στο περιβάλλον. Οι μεγάλης κλίμακας υδροηλεκτρικές μονάδες απαιτούν τη δημιουργία φραγμάτων και τεράστιων δεξαμενών με σημαντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Η κατασκευή φραγμάτων περιορίζει τη μετακίνηση των ψαριών, της άγριας ζωής και επηρεάζει ολόκληρο το οικοσύστημα καθώς μεταβάλλει ριζικά τη μορφολογία της περιοχής. Αντίθετα, τα μικρής κλίμακας υδροηλεκτρικά εγκαθίστανται δίπλα σε ποτάμια ή κανάλια και η λειτουργία τους παρουσιάζει πολύ μικρότερη περιβαλλοντική όχληση. Για το λόγο αυτό, οι υδροηλεκτρικές μονάδες μικρότερης δυναμικότητας των 30 MW χαρακτηρίζονται ως μικρής κλίμακας υδροηλεκτρικά έργα και συμπεριλαμβάνονται μεταξύ των εγκαταστάσεων παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Κατά τη λειτουργία τους, μέρος της ροής ενός ποταμού οδηγείται σε στρόβιλο για την παραγωγή μηχανικής ενέργειας και συνακόλουθα ηλεκτρικής μέσω της γεννήτριας. Η χρησιμοποιούμενη ποσότητα νερού κατόπιν επιστρέφει στο φυσικό ταμιευτήρα ακολουθώντας τη φυσική της ροή.

Τα κύρια πλεονεκτήματα της υδροηλεκτρικής ενέργειας που προέρχεται από μονάδες μικρής και μεγάλης κλίμακας είναι:

- Οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί είναι δυνατό να τεθούν σε λειτουργία αμέσως μόλις απαιτηθεί, σε αντίθεση με τους θερμικούς σταθμούς που απαιτούν σημαντικό χρόνο προετοιμασίας,
- Είναι μία "καθαρή" και ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, με τα προαναφερθέντα συνακόλουθα οφέλη (εξοικονόμηση συναλλάγματος, φυσικών πόρων, προστασία περιβάλλοντος),
- Μέσω των υδατοταμιευτήρων δίνεται η δυνατότητα να ικανοποιηθούν και άλλες ανάγκες, όπως ύδρευση, άρδευση, ανάσχεση χειμάρρων, δημιουργία υγροτόπων, περιοχών αναψυχής και αθλητισμού.
- Σε αντίθεση με τους συμβατικούς υδροηλεκτρικούς σταθμούς, οι σταθμοί αποθήκευσης με άντληση (σταθμοί άντλησης-ταμίευσης ή αντλησιοταμίευσης) επαναχρησιμοποιούν το νερό.

## **4.2 Σύστημα αντλησιοταμίευσης-Τρόπος λειτουργίας**

Η αντλησιοταμίευση προκύπτει από την ανάγκη της αποθήκευσης μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας, όταν αυτά διατίθενται με κάποιο τρόπο μία δεδομένη χρονική στιγμή, κατά την οποία δεν μπορούν να απορροφηθούν. Τα αποθηκευμένα ποσά ενέργειας μπορούν να χρησιμοποιηθούν μία άλλη χρονική στιγμή, όταν προκύψει σχετική ανάγκη για παροχή ενέργειας. Ένα σύστημα αντλησιοταμίευσης αποτελείται από τα παρακάτω μέρη:

1. Μία αντλία ή ένα σύνολο παράλληλα συνδεδεμένων αντλιών
2. Ένα υδροστρόβιλο ή ένα σύνολο παράλληλα συνδεδεμένων υδροστροβίλων
3. Δύο δεξαμενές νερού οι οποίες βρίσκονται σε ικανή υψομετρική διαφορά μεταξύ τους
4. Ένα σύνολο σωληνώσεων για την άντληση του νερού από την κάτω δεξαμενή προς την άνω
5. Ένα σύνολο σωληνώσεων για την προσαγωγή του νερού από την άνω δεξαμενή προς την κάτω μέσω του υδροστροβίλου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

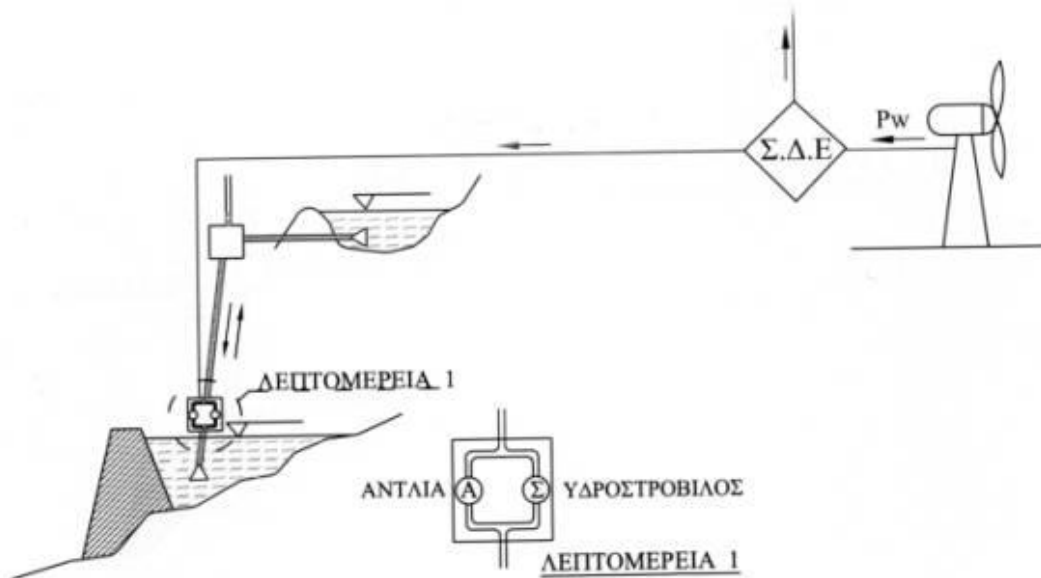
Η φιλοσοφία λειτουργίας του συστήματος αντλησιοταμίευσης είναι απλή. Η περίσσεια ενέργειας τροφοδοτεί τις αντλίες, μέσω των οποίων το εργαζόμενο μέσο (νερό) ανυψώνεται διά των σωληνώσεων ανόδου από την κάτω δεξαμενή στην άνω, δίνοντάς μας έτσι τη δυνατότητα αποθήκευσης της περίσσειας ενέργειας με τη μορφή δυναμικής ενέργειας. Όταν κάποια άλλη χρονική στιγμή χρειαζόμαστε ενέργεια, το νερό από την πάνω δεξαμενή αφήνεται να οδεύσει μέσω των σωληνώσεων καθόδου προς την κάτω δεξαμενή, διερχόμενο δε μέσω των υδροστροβίλων παράγει την επιθυμητή ενέργεια. Οι διαστασιολογήσεις των δύο δεξαμενών είναι τέτοιες που να εξασφαλίζουν ότι μόνο ένα μικρό ποσοστό από τον όγκο του αποθηκευμένου νερού θα χρησιμοποιείται και θα είναι ικανό για τις μετατροπές τις διατιθέμενης ενέργειας σε δυναμική και αντίστροφα, αποκλείοντας το ενδεχόμενο κάποια από τις δύο δεξαμενές να αδειάσει εντελώς.



Σύστημα  
αντλησιοταμίευσης  
ονομαστικής ισχύος 612  
MW στο Salem της Νότιας  
Καρολίνας, Η.Π.Α.

Λόγω των βαθμών απόδοσης αντλιών και υδροστροβίλων αλλά και των τριβών διαμέσω των σωληνώσεων, από την αρχική διατιθέμενη προς αποθήκευση ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας μόνο ένα μέρος αυτής τελικά παίρνουμε πίσω, μέσω της παραγωγής του υδροστροβίλου, το οποίο, στην καλύτερη ανέρχεται στο 80% (για τις μεγάλες μονάδες) του αρχικού ποσού. Τούτο καταδεικνύει τον ορθολογισμό χρήσης της αντλησιοταμίευσης μόνο ως αποθηκευτικού μέσου περισσευμάτων ενέργειας.

Τα συστήματα αντλησιοταμίευσης μπορούν να λειτουργήσουν εξαιρετικά συνδυαζόμενα με αιολικά πάρκα, ή με θερμικά συστήματα, αποθηκεύοντας πάντα περίσσεια παραγόμενης ενέργειας ή ενέργειας που δεν μπορεί να απορροφηθεί. Σχηματικά, ένα σύστημα αντλησιοταμίευσης συνδυαζόμενο με αιολικά πάρκα φαίνεται παρακάτω:



**Εικόνα 4.1** Σχηματική απεικόνιση διάταξης συστήματος αντλησιοταμίευσης

Η ανεμογεννήτρια παριστάνει το αιολικό πάρκο, από το οποίο προέρχεται όλη η ενέργεια που παράγει το σύστημα. Το αιολικό πάρκο τροφοδοτεί το σύστημα με ηλεκτρική ισχύ  $P_w$ . Το σύστημα διαχείρισης ενέργειας (Σ.Δ.Ε) ελέγχει αν η παρεχόμενη ηλεκτρική ισχύς από το αιολικό πάρκο είναι μεγαλύτερη από τη στιγμιαία ζήτηση  $P_\phi$ . Διακρίνουμε τις εξής περιπτώσεις:

α. Αν  $P_w > P_\phi$ , τότε το αιολικό πάρκο καλύπτει εξ' ολοκλήρου τη στιγμιαία ζήτηση φορτίου και η περίσσεια της παρεχόμενης από αυτό ενέργειας τροφοδοτεί την αντλία του υδροηλεκτρικού συστήματος προκειμένου να αποταμιευτεί μέσω της ανύψωσης του νερού από την κάτω στην άνω δεξαμενή. Αν υποθέσουμε ότι η πάνω δεξαμενή είναι γεμάτη, τότε είτε απορρίπτουμε την περίσσεια της παρεχόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, είτε την αξιοποιούμε με κάποιο άλλο τρόπο (π.χ. αφαλάτωση), είτε μειώνου με την παραγόμενη ισχύ από το αιολικό πάρκο.

β. Αν  $P_w < P_\phi$ , τότε όλη η ενέργεια που παράγεται από το αιολικό πάρκο διοχετεύεται στην κατανάλωση, ενώ παράλληλα παράγεται ένα επιπλέον ποσό ενέργειας από τον υδροστρόβιλο για την κάλυψη της ζητούμενης ισχύος.

Ιδιαίτερα ελκυστικά μεγέθη εξάγονται επίσης από το συνδυασμό συστημάτων αντλησιοταμίευσης με θερμικά συστήματα για εξοικονόμησης σε περιπτώσεις λειτουργίας του συστήματος σε ισχείς μεγαλύτερες από τις απαιτούμενες, λόγω τεχνικών ελαχίστων. Αποδεικνύεται ότι μπορεί να επιτευχθεί σημαντική εξοικονόμηση καυσίμου και γρήγορη απόσβεση των αρχικών κεφαλαίων επένδυσης με τη χρήση συστήματος αντλησιοταμίευσης.

## 4.2 Αντλησιοταμίευση σε παγκόσμιο επίπεδο

Η τεχνολογία της αντλησιοταμίευσης χαρακτηρίζεται από μεγάλη τεχνική και οικονομική αξιοπιστία, είναι απόλυτα φιλική με το περιβάλλον και εύκολα εγκαταστάσιμη σε περιοχές που η τοπογραφία και η διαθεσιμότητα νερού τα επιτρέπει.

Με τη χρήση της αντλησιοταμίευσης επιδιώκεται:

- Να μειωθεί το κόστος της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας .
- Να αυξηθεί η διείσδυση στο Δίκτυο της ΔΕΗ Αιολικών Πάρκων. Εκτιμάται ότι με την εισαγωγή αντλησιοταμιευτήρων, το σύστημα παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας θα μπορέσει να απορροφήσει ισχύ Αιολικών Μονάδων της τάξης των εκατοντάδων MW με προφανή μείωση της κατανάλωσης πετρελαίου στοελάχιστο τεχνικά δυνατό. Τα οικονομικά δεδομένα μιας τέτοιας ενέργειας αναμένονται εντυπωσιακά ελκυστικά.
- Να βελτιωθεί η ποιότητα της ενέργειας (σταθεροποίηση της τάσης και της συχνότητας του δικτύου).
- Να δημιουργηθούν πολλές θέσεις εργασίας για ντόπιο επιστημονικό, τεχνικό και εργατικό δυναμικό το οποίο θα μελετήσει, θα κατασκευάσει και θα συντηρήσει τα έργα. Η τεχνογνωσία που θα αποκτηθεί θα μπορέσει να διαχυθεί στο εξωτερικό όπου οι συνθήκες το επιτρέπουνε.
- Να βοηθηθεί συνδυασμένη διαχείριση του υδάτινου και του Αιολικού δυναμικού προσφέροντας νερό για άρδευση και ηλεκτρική ενέργεια.

## 4.3 Έργα αντλησιοταμίευσης

Τα πρώτα έργα αντλησιοταμίευσης κατασκευάστηκαν για τις κατασκευαστικές βιομηχανίες της Ιταλίας και Ελβετίας κατά το 1890. Σκοπός ήταν να αποθηκευτεί η ενέργεια που παραγόταν κατά τις βραδινές ώρες ώστε να την χρησιμοποιήσουν κατά τη διάρκεια της ημέρας όπου οι ανάγκες για παροχή ηλεκτρικής ενέργειας ήταν μεγαλύτερες.

Το πρώτο έργο αντλησιοταμίευσης χρησιμοποιούσε διαφορετικό συγκρότημα για την άντληση και διαφορετική μονάδα στρόβιλου. Κατά το έτος 1929 όπου ξεκινούσε τη λειτουργία του υδροηλεκτρικού σταθμού με αντλησιοταμίευση στο ROCKY RIVER, ΗΠΑ, ήταν πια αναγνωρισμένο ότι οι εγκατεστημένες αντλίες θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν και ως στρόβιλοι με μειωμένη απόδοση. Την ίδια χρονική περίοδο η ανάπτυξη και οι σχεδιαστικές βελτιώσεις στον αναστρέψιμο στρόβιλο τύπου Francis τον κατέστησαν κατάλληλο για χρήση σε τέτοιο σύστημα αντλησιοταμίευσης και από την δεκαετία του 1950 ήταν η ξεκάθαρη λύση.

Η πρώτη εφαρμογή μεγάλης κλίμακας αναφέρεται το 1929 στην Γερμανία.

Τα αναστρέψιμα υδροηλεκτρικά έργα που λειτουργούν σήμερα 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. Στην Ελλάδα λειτουργούν 2 αναστρέψιμα υδροηλεκτρικά έργα: της Σφηκιάς στον ποταμό Αλιάκμονα (1985) με 3 αναστρέψιμες μονάδες ισχύος  $3 \times 10^5 = 315$  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  $565 \cdot 106 \text{ m}^3$

Η ΗΠΑ, Ιαπωνία, Ιταλία, Γερμανία Γαλλία και Ισπανία είναι οι χώρες με την μεγαλύτερη εγκατεστημένη δυναμικότητα σε έργα αντλησιοταμίευσης παγκοσμίως συμπεριλαμβανομένου και των έργων υπό κατασκευή. Για χώρες όπου γεωλογικές συνθήκες του εδάφους και η τοπογραφία είναι κατάλληλες για έργα αντλησιοταμίευσης, ένα μέτρο για το μέγεθος της δυναμικότητας του συστήματος είναι το ποσοστό της συνολικής ηλεκτρικής παραγωγής που σχεδιάζεται να παρέχεται από το σύστημα αντλησιοταμίευσης.

Η Αυστρία έχει το υψηλότερο ποσοστό χρήσης των συστημάτων αντλησιοταμίευσης με 17% στο ηλεκτρικό της σύστημα. Η Αυστρία ακολουθείται από την Ελβετία, Ισπανία, Ιταλία και Ιαπωνία όλες με σχεδόν 10% χρήση των συστημάτων αντλησιοταμίευσης στο σύστημα τους παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η ΗΠΑ υπολείπεται με μόνο 2,5% της συνολικής της παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας να προέρχεται από αντλησιοταμίευση. Η Ιαπωνία έχει την μεγαλύτερη ανάπτυξη και το μεγαλύτερο εύρος χρήσης, όπου κάποια έργα αντλησιοταμίευσης να λειτουργούν 24 ώρες το 24ωρο. Η χρήση μονάδων μεταβλητών στροφών στην Ιαπωνία παρέχει ικανότητα ανύψωσης σε σχέση με το φορτίο κατά τη λειτουργία άντλησης και συνεισφέρει στην αποδοτική λειτουργία του συστήματος αντλησιοταμίευσης.

Στον πίνακα 4.1 παρουσιάζονται έργα αντλησιοταμίευσης σε όλο τον κόσμο.

<b>ΧΩΡΑ</b>	<b>ΔΥΝΑΜΙΚΟΤΗΤΑ ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΣΤΗ ΧΩΡΑ(MW)</b>	<b>ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ (MW)</b>
<b>ΑΥΣΤΡΑΛΙΑ</b>	2564	TUMUT THREE(1500)
<b>ΑΥΣΤΡΙΑ</b>	2877	MALTA HAUPTSTUFE(730)
<b>ΚΙΝΑ</b>	4200	GUANGZHOU(2400)
<b>ΓΑΛΛΙΑ</b>	4520	GRAND MAISON(1070)
<b>ΓΕΡΜΑΝΙΑ</b>	3803	GOLDSTHAL(1060)
<b>ΙΝΔΙΑ</b>	6894	SARDAR SAROVAR GUJARAT(1200)
<b>ΙΤΑΛΙΑ</b>	4244	CHIOTAS(1332)
<b>ΙΑΠΩΝΙΑ</b>	15606	KANNAGAWA(2700)
<b>ΝΟΤΙΑ ΚΟΡΕΑ</b>	4700	YANGYANG(1000)
<b>ΝΟΤΙΑ ΑΦΡΙΚΗ</b>	3000	INGULA(1332)
<b>ΙΣΠΑΝΙΑ</b>	3272	VILLARINO(SALAMANCA)(810)
<b>ΕΛΒΕΤΙΑ</b>	6000	CLEUSON DIXENCE VS (2099)
<b>ΑΓΓΛΙΑ</b>	2833	DINORWIG WALES (1728)
<b>ΟΥΚΡΑΝΙΑ</b>	5600	DNIESTR HPSP (2268)
<b>ΗΠΑ</b>	25000	BATH COUNTY,(LARGEST)(2710)

**Πίνακας 4.1** Έργα αντλησιοταμίευσης παγκοσμίως



TUMUT THREE



BATH COUNTY VIRGINIA USA

#### ***4.4 Αναστρέψιμα υδροηλεκτρικά έργα***

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. 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 πρόλεξης της παραγωγής από τα αιολικά πάρκα.

Η αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος των αιολικών πάρκων που αποτελεί ένα στόχο-υποχρέωση και για την Ελλάδα δημιουργεί παρενέργειες στην διαχείριση του διασυνδεδεμένου συστήματος λόγω της έντονης ανομοιομορφίας που παρουσιάζει η αιολική παραγωγή. Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίζεται ήδη Ευρωπαϊκές χώρες όπως:

- στη Γερμανία με τον νέο αναστρέψιμο ΥΗΕ Goldisthal ισχύος  $4 \times 265 \text{ MW} = 1.060,0 \text{ MW}$  και
- στην Πορτογαλία με νέα αναστρέψιμα ισχύος  $2.000,0 \text{ MW}$

Στα επόμενα χρόνια θα πρέπει να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα και στην Ελλάδα. Για τον λόγο αυτό υπάρχει μία σχετική κινητικότητα σε επίπεδο μελετών για την έγκαιρη προετοιμασία.

Συνολικά σε ένα πλήρη κύκλο, και ανάλογα με τον εξοπλισμό (αντλίες, υδροστρόβιλοι 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.

#### ***4.5 Τα συμβατικά αναστρέψιμα ΥΗΕ***

Τα συμβατικά αναστρέψιμα υδροηλεκτρικά έργα μεγάλης σχετικά ισχύος λειτουργούν από το 1922 περίπου καλύπτοντας την ανάγκη απορρόφησης της ισχύος των μεγάλων θερμικών σταθμών κατά τις ώρες χαμηλής ζήτησης επειδή ακριβώς οι σταθμοί αυτοί δεν μπορούν να λειτουργήσουν παράγοντας ισχύ μικρότερη από τα τεχνικά τους ελάχιστα.

Η λειτουργία απορρόφησης της ενέργειας αποτελεί μία μέθοδο αποταμίευσης της ενέργειας και μετατροπής της σε υδραυλική ενέργεια και συνδυάζεται με την λειτουργία μετατροπής της και πάλι σε ηλεκτρική τροφοδοτώντας το δίκτυο τις ώρες ή τις περιόδους αιχμής.

Ο κύκλος αυτός λειτουργίας, αν και παρουσιάζει απώλειες (ηλεκτρικές, υδραυλικές κα) είναι οικονομοτεχνικά πολύ αποδοτικός λόγω της δυνατότητας που έχει για εναλλαγή μεγάλων ποσοτήτων ισχύος και ενέργειας αλλά κυρίως για την δυνατότητα πολύ γρήγορης απόκρισης που έχουν τα υδροηλεκτρικά έργα και της δυνατότητας παροχής δευτερευουσών υπηρεσιών στο δίκτυο.

Ενδεικτικό της δυνατότητας αποθήκευσης μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας είναι το ότι η μεταβολή της στάθμης του ταμιευτήρα του Καστρακίου κατά:  $\delta h = 0,20 \text{ m}$  με υψομετρική διαφορά  $h = 112 \text{ m}$  αντιστοιχεί σε ενέργεια:  $E = 1040 \text{ MWh}$ , δηλ. λειτουργία αντλησης ονομαστικής ισχύος  $150 \text{ MW}$  επί 7 ώρες

Χάρη στα αναμφισβήτητα αυτά πλεονεκτήματα τα αναστρέψιμα υδροηλεκτρικά έργα είναι απαραίτητα στα ηλεκτρικά δίκτυα, εξελίχθηκαν τεχνολογικά, αναπτύχθηκαν σημαντικά και ήδη στην Ελλάδα λειτουργούν δύο (της Σφηκιάς και του Θησαυρού).

Η λειτουργία των έργων αυτών είναι προγραμματισμένη καθώς είναι γνωστές (με μικρές αποκλίσεις) οι αναμενόμενες αιχμές στην ζήτηση και η προς απορρόφηση ισχύς των θερμικών σταθμών. Για τον λόγο αυτό σε όλες τις συμβατικές περιπτώσεις αναστρέψιμων υδροηλεκτρικών έργων η αντλία λειτουργεί με σταθερή ταχύτητα περιστροφής απορροφώντας- αποταμιεύοντας συγκεκριμένη ποσότητα ισχύος.



Σημειώνεται εδώ ότι οι υδροστρόβιλοι όλων των τύπων έχουν την δυνατότητα εύκολης και γρήγορης μεταβολής της ισχύος που απορροφούν μέσω του οργάνου ρύθμισης (στεφάνη ρυθμιστικών περυγίων ή μετακίνηση της βελόνης σε υδροστρόβιλο Pelton).

Οι αντλίες δεν μπορούν να μεταβάλουν την ισχύ που απορροφούν επειδή (κατά την λειτουργία ως αντλίας) η στεφάνη βρίσκεται κατάντι του δρομέα και δεν μπορεί να μεταβάλει την δράση του δρομέα.

Άρα ένα αναστρέψιμο έργο που είναι εξοπλισμένο με ένα, μικρό κατά κανόνα πλήθος μηχανών, θα έχει την δυνατότητα βηματικής μόνο μεταβολής της ισχύος που απορροφά.

## **4.6 Αναστρέψιμο ΥΗΕ για την απορρόφηση περίσσειας παραγωγής από ΑΠΕ**

### **4.6.1 Γενικά**

Με την αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος αιολικών πάρκων στο διασυνδεδεμένο δίκτυο, δηλ. ενέργειας που χαρακτηρίζεται από έντονη αστάθεια προκύπτει η ανάγκη ‘εξομάλυνσης’ μέσω αποταμίευσης με μορφή υδραυλικής ενέργειας, δηλ. με άντληση, οπότε τα νέα αναστρέψιμα υδραυλικά έργα που θα κληθούν να απορροφήσουν την έντονα κυμαινόμενη παραγωγή από τα αιολικά πάρκα θα έχουν σημαντικό πλεονέκτημα εάν είναι δυνατή η συνεχής ρύθμιση της ισχύος που απορροφούν. Η μόνη μέθοδος συνεχούς μεταβολής του σημείου λειτουργίας αντλίας και άρα της απορροφούμενης ισχύος και μάλιστα με καλό βαθμό απόδοσης είναι η συνεχής μεταβολή της ταχύτητας περιστροφής, λύση που έγινε τεχνικά και οικονομικά εφικτή για μηχανές μεγάλης ισχύος τα τελευταία χρόνια με την ανάπτυξη του απαραίτητου εξοπλισμού, όπως είναι οι cycloconverters ισχύος της τάξεως των 250-350MW. Μέσω της δυνατότητας μεταβολής της ταχύτητας περιστροφής είναι δυνατή η συνεχής ρύθμιση της απορροφούμενης ισχύος από το 65-70% έως το 100% της ονομαστικής ισχύος, ανάλογα με τα υδραυλικά χαρακτηριστικά της εγκατάστασης, επιτυγχάνοντας με το τρόπο αυτό την καλύτερη παρακολούθηση των διακυμάνσεων της ισχύος των αιολικών πάρκων με πολύ γρήγορη απόκριση και λειτουργώντας με καλό βαθμό απόδοσης.

Μια άλλη ιδιαιτερότητα που προκύπτει για την σχεδίαση των αναστρέψιμων υδραυλικών έργων που θα κατασκευασθούν για την απορρόφηση ισχύος που προέρχεται από αιολικά πάρκα είναι η ανάγκη για ταυτόχρονη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας υψηλής ποιότητας και άμεσα ελέγξιμης που προέρχεται από την λειτουργία υδροστρόβιλων για την κάλυψη αιχμών του δικτύου και απορρόφησης ενέργειας από τα αιολικά πάρκα. Η ανάγκη αυτή προκύπτει από το γεγονός ότι κατά κανόνα όταν υπάρχει μεγάλη παραγωγή από τα αιολικά πάρκα αυτό συμβαίνει τις πρωινές μέχρι τις πρώτες απογευματινές ώρες που είναι και οι ώρες αιχμής της ζήτησης. Για την κάλυψη αυτής της δυνατότητας ταυτόχρονης λειτουργίας άντλησης και παραγωγής ενέργειας θα πρέπει το αναστρέψιμο υδροηλεκτρικό έργο να είναι εφοδιασμένο με ζυγό αριθμό μονάδων (2 ή 4) και να έχουν η κάθε μία τον δικό της αγωγό. Για να είναι οικονομικά βιώσιμη η διαμόρφωση του αναστρέψιμου υδροηλεκτρικού έργου στο οποίο η κάθε υδραυλική μηχανή έχει τον δικό της αγωγό θα πρέπει το μήκος του αγωγού να είναι μικρό, δηλ. η απόσταση μεταξύ άνω και κάτω ταμιευτήρα να είναι κατά το δυνατό μικρή γεγονός που προϋποθέτει την κατάλληλη επιλογή της θέσης ή συνήθως την διαμόρφωση τεχνητής δεξαμενής.

Στα πλαίσια αυτής της εργασίας μελετάται ένα υβριδικό σύστημα. Ειδικότερα, εξετάζεται ένα υβριδικό σύστημα αιολικής ενέργειας με αντλησιοταμίευση (αναστρέψιμο υδροηλεκτρικό έργο). Με τον όρο αναστρέψιμο υδροηλεκτρικό έργο (ΥΗΕ) ή υδροηλεκτρικό έργο αποταμίευσης εννοείται το υδροηλεκτρικό έργο που έχει τη δυνατότητα λειτουργίας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (λειτουργία υδροστρόβιλου) καθώς και τη δυνατότητα



άντλησης (ή αποταμίευσης) του νερού από τον κάτω ταμιευτήρα στον πάνω. Με την άντληση νερού βελτιώνεται η αξιοποίηση του στροβίλου του αναστρέψιμου υδροηλεκτρικού έργου και της χρησιμοποιούμενης δεξαμενής και εξασφαλίζεται η παροχή εγγυημένης ενέργειας.

#### **4.6.2 Τρόποι διασύνδεσης υβριδικού σταθμού με το ενεργειακό δίκτυο**

Σχετικά με τους τρόπους διασύνδεσης του υβριδικού σταθμού με το ενεργειακό δίκτυο, διακρίνονται δύο βασικές εναλλακτικές περιπτώσεις. Στην πρώτη περίπτωση, που χαρακτηρίζεται ως άμεση σύνδεση, το αναστρέψιμο υδροηλεκτρικό συνδέεται με τα αιολικά πάρκα που θα συνεισφέρουν στην άντληση με γραμμή μεταφοράς ανεξάρτητη του δικτύου. Η δεύτερη περίπτωση που χαρακτηρίζεται ως έμμεση σύνδεση, θεωρεί ότι το αναστρέψιμο υδροηλεκτρικό συνδέεται με τα αιολικά του πάρκα μέσω του κεντρικού δικτύου (Γ. Κάραλης, 2008).

Σε αυτό το σημείο παρουσιάζονται συνοπτικά οι τρόποι σύνδεσης της μονάδας αντλησιοταμίευσης με τα αιολικά πάρκα εντός του υβριδικού συστήματος για να γίνουν πιο κατανοητά τα μεγέθη της ενέργειας που εξετάζονται.

- Άμεση σύνδεση της μονάδας αντλησιοταμίευσης με τα αιολικά πάρκα

Η περίπτωση της άμεσης σύνδεσης μπορεί να συναντηθεί μονάχα σε νησιά μικρού ή το πολύ μεσαίου μεγέθους. Σε κάθε περίπτωση η απόσταση μεταξύ των αιολικών πάρκων και της μονάδας αντλησιοταμίευσης είναι αυτή που κάνει την ανεξάρτητη σύνδεση εφικτή ή ανέφικτη. Σε μεγάλο μεγέθους νησί, η σύνδεση αυτή είναι αμφίβολο αν μπορεί να πραγματοποιηθεί λόγω απόστασης, κόστους διασύνδεσης και τοπικών αντιδράσεων για τις γραμμές μεταφοράς. Επιπλέον, είναι φανερό ότι η χωροθέτηση των αιολικών πάρκων, εξυπηρετεί άλλους σκοπούς από αυτούς της χωροθέτησης του συστήματος αποθήκευσης (αναστρέψιμο υδροηλεκτρικό), και είναι πιθανό οι θέσεις των πρώτων να διαφέρουν και να απέχουν σημαντικά από θέση του δεύτερου, καθιστώντας προβληματική και δαπανηρή την άμεση σύνδεση τους μέσω ιδιωτικού δικτύου.

Η ύπαρξη άμεσης ανεξάρτητης σύνδεσης δίνει τη δυνατότητα στα αιολικά πάρκα να παρέχουν την απορριπτόμενη αιολική ισχύ στο αναστρέψιμο υδροηλεκτρικό. Εάν από τον σχεδιασμό του συστήματος προβλέπεται συμπληρωματικά η χρήση ισχύος από το δίκτυο και συνεπώς υπάρχει και διασύνδεση μεταξύ μονάδας αντλησιοταμίευσης και κεντρικού δικτύου, τότε σε περίπτωση απώλειας των αιολικών οι αντλίες θα συνεχίσουν να λειτουργούν τραβώντας ισχύ από το κυρίως δίκτυο. Για να μην συμβεί αυτό χρειάζεται ένα εξελιγμένο σύστημα ελέγχου της λειτουργίας του συστήματος, το οποίο θα παρακολουθεί και θα προσαρμόζει κάθε στιγμή την κατανάλωση ισχύος των αντλιών, στη διαθέσιμη αιολική ισχύ. Δηλαδή, δεν αποτελεί η επιμέρους διασύνδεση, εγγύηση για την ασφάλεια του συστήματος.

- Έμμεση σύνδεση της μονάδας αντλησιοταμίευσης με τα αιολικά πάρκα.

Η περίπτωση αυτή μπορεί να θεωρηθεί ως πιο γενική και συνηθισμένη και αυτή εξετάζεται στη συγκεκριμένη μελέτη. Σύμφωνα με την έμμεση σύνδεση, υπάρχουν στο νησί εγκατεστημένα αιολικά πάρκα -εκτός υβριδικού- και ο υβριδικός σταθμός, που αποτελείται από τη μονάδα αποθήκευσης (αντλίες, στροβίλος και δεξαμενές) και αιολικά πάρκα. Τα αιολικά πάρκα εντός υβριδικού, μέσω του κεντρικού ηλεκτρικού δικτύου, μπορούν να δώσουν ενέργεια στις αντλίες ή να καλύψουν μέρος της ζήτησης.

Οι μονάδες παραγωγής βάσεως, ιδιαίτερα οι μεγάλου μεγέθους θερμικές μονάδες, δεν έχουν τη δυνατότητα γρήγορης μεταβολής του φορτίου τους, έτσι ώστε η παραγόμενη από αυτές ηλεκτρική ισχύς να παρακολουθεί την καμπύλη της ζήτησης του ηλεκτρικού δικτύου, η οποία

παρουσιάζει έντονες μεταβολές από ώρα σε ώρα και από ημέρα σε ημέρα. Κατά συνέπεια κατά τη διάρκεια μιας ημέρας θα υπάρχουν ώρες κατά τις οποίες η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τις μονάδες βάσεως είναι μεγαλύτερη από τη ζήτηση (π.χ. κατά τις μεταμεσονύκτιες ώρες ή τις αργίες), οπότε με την περίσσεια αυτή του δικτύου πραγματοποιείται η άντληση στα αναστρέψιμα υδροηλεκτρικά έργα. Επίσης υπάρχουν διαστήματα που θα συμβαίνει το αντίθετο η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας είναι μεγαλύτερη από την παραγωγή των μονάδων βάσεως, ιδιαίτερα τις ώρες αιχμής. Με αυτόν τον τρόπο, τα αναστρέψιμα ΥΗΕ έχουν διπλό όφελος απορροφούν την περίσσεια ενέργειας κατά τις ώρες χαμηλής ζήτησης μετατρέποντάς την σε υδραυλική ενέργεια (και η οποία αποθηκεύεται στον άνω ταμιευτήρα) και αποδίδουν στο δίκτυο κατά τις ώρες αιχμής την ενέργεια που έχουν αποταμιεύσει ενώ, στις περισσότερες περιπτώσεις, παράγουν και πρωτογενή ενέργεια από την αξιοποίηση των φυσικών εισροών στον άνω ταμιευτήρα.

#### 4.6.3 Άντληση νερού

Οι τρόποι με τους οποίους μπορεί να πραγματοποιηθεί η άντληση νερού στην άνω δεξαμενή είναι οι εξής:

- άντληση με χρήση συμβατικής ενέργειας κατά τις ώρες χαμηλής ζήτησης,
- άντληση με χρήση συμβατικής ενέργειας σύμφωνα με την επιπλέον δυναμικότητα των ενταγμένων συμβατικών μονάδων και
- άντληση με χρήση συμβατικής ενέργειας, όποτε χρειαστεί.

Η διαθέσιμη από τις συμβατικές μονάδες για άντληση ισχύς εξαρτάται τελικά αν θα χρησιμοποιηθεί από:

- τη διαθέσιμη αιολική ισχύ για άντληση τη συγκεκριμένη στιγμή, δηλαδή προφανώς η αιολική ισχύς έχει προτεραιότητα στην άντληση,
- την ανάγκη για μετακίνηση νερού από την κάτω στην άνω δεξαμενή, δηλαδή αν η άνω δεξαμενή είναι σχετικά γεμάτη, αποφεύγεται η αγορά ενέργειας από το δίκτυο.

Παράλληλα, δίνεται το περιθώριο εάν τις επόμενες ώρες προκύψει διαθέσιμη αιολική ισχύς για άντληση, να μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Επομένως εισάγεται ένας έλεγχος που σχετίζεται με τη στάθμη του νερού στην άνω δεξαμενή, και ορίζει κάτω από ποια στάθμη ασφαλείας χρησιμοποιείται η διαθέσιμη από το δίκτυο ισχύς για άντληση. Η ένταξη συστημάτων αιολικής ενέργειας με αντλησιοταμίευση, στοχεύει να αυξήσει τη συμβολή της αιολικής ενέργειας σε ένα ενεργειακό σύστημα. Επομένως, ο σχεδιασμός της συνδυασμένης χρήσης αιολικής ενέργειας με αντλησιοταμίευση πρέπει να στοχεύει:

- στη μείωση του λειτουργικού κόστους,
- στην παροχή εγγυημένης ισχύος και στη βελτίωση της αξιοπιστίας του ηλεκτρικού συστήματος,
- στη ρύθμιση της παραγόμενης ισχύος σε επίπεδο δευτερογενούς, ημερήσιου και εβδομαδιαίου ελέγχου και
- στην αύξηση της αιολικής διείσδυσης.

## **4.7 Δυνατότητες εγκατάστασης αναστρέψιμων υδροηλεκτρικών έργων στην Ελλάδα**

### **4.7.1 Ιστορική αναδρομή στην ανάπτυξη-εξέλιξη των υδροηλεκτρικών σταθμών της ΔΕΗ από το 1950 μέχρι σήμερα**

Η ανάπτυξη του Υδροδυναμικού της Ελλάδας ουσιαστικά συμπίπτει με την ίδρυση της ΔΕΗ Δημόσιας Επιχείρησης Κοινής Ωφέλειας το 1950.

Πριν από την ίδρυση της ΔΕΗ (1950), είχαν τεθεί σε λειτουργία πολύ μικρά Υδροηλεκτρικά Εργοστάσια την περίοδο 1927 – 1931 (Γλαύκος, Βέρμιο, Αγία Χανίων, Αγ. Ιωάννης Σερρών), συνολικής εγκατεστημένης ισχύος περίπου 6MW.

Την περίοδο 1950 – 1975 κατασκευάστηκαν οκτώ Μεγάλοι Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί (Άγρας, Λάδωνας, Λούρος, Ταυρωπός/Πλαστήρας, Κρεμαστά, Καστράκι, Εδεσσαίος και Πολύφυτο), συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 1.410MW. Μεταξύ αυτών συμπεριλαμβάνονται και οι τρεις (3) μεγαλύτεροι: Κρεμαστά, Καστράκι, Πολύφυτο.

Από το 1976 μέχρι σήμερα κατασκευάστηκαν 8 μεγάλοι και 3 μικροί ΥΗΣ (Πουρνάρι Ι και ΙΙ, Σφηκιά, Ασώματα, Στράτος Ι, Στράτος ΙΙ, Πηγές Αώου, Θησαυρός, Πλατανόβρυση, Γκιώνα και Μακροχώρι), συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 1.630MW. Μεταξύ αυτών περιλαμβάνονται και δύο αναστρέψιμοι Αντλητικοί Σταθμοί (Σφηκιά και Θησαυρός).



Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς των Υδροηλεκτρικών Σταθμών της ΔΕΗ Α.Ε. ανέρχεται σε 3.060MW. (16 μεγάλοι και 8 μικροί σταθμοί).

Η συνολική μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας είναι περίπου 5000Gwh.

Οι Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί σήμερα κατατάσσονται σε τέσσερα (4) κυρίως Συγκροτήματα, σε δύο Ανεξάρτητους ΥΗΣ και σε άλλους μικρούς.

	ΥΗΣ	Συνολική εγκατεστημένη ισχύς (MW)
Συγκρότημα Αχελώου:	Κρεμαστά, Καστράκι, Στράτος I, Στράτος II, Γκιάνα, Γλαύκος	925,6
Συγκρότημα Αλιάκμονα:	Πολύφυτο, Σφηκιά, Ασώματα, Μακροχώρι, Άγρας, Εδεσσαίος, Βέρμιο	879,3
Συγκρότημα Αράχθου:	Πηγές Αώου, Πουρνάρι I, Πουρνάρι II, Λούρος	553,9
Ανεξάρτητος ΥΗΣ:	N. Πλαστήρας	129,9
Ανεξάρτητος ΥΗΣ:	Λάδωνας	70
Λοιποί μικροί ΥΗΣ:	Αγ. Ιωάννης Σερρών, Αγιά, Αλμυρός	1,3

**Πίνακας 4.2** Υδροηλεκτρικοί σταθμοί στην Ελλάδα

Η Υδροηλεκτρική Ισχύς σήμερα των 3.060MW καλύπτει το 28% της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος των Συμβατικών Σταθμών η οποία ανέρχεται σε 11.079MW.

Η Μέση Ετήσια Υδροηλεκτρική Παραγωγή, ανάλογα με την υδραυλικότητα του έτους καλύπτει το 9÷10% της παραγωγής της ΔΕΗ.

Ειδικά για το 2006, έτος υψηλής υδραυλικότητας, η Υδραυλική Παραγωγή ανήλθε σε 6.270Gwh δηλαδή κάλυψε το 13% της συνολικής παραγωγής της ΔΕΗ. Η Σημερινή Οργάνωση της αρμόδιας Διεύθυνσης Εκμετάλλευσης των Υδροηλεκτρικών Σταθμών της ΔΕΗ Α.Ε. αποτελείται από τις κεντρικές Υπηρεσίες, τα τέσσερα Συγκροτήματα που προαναφέρθηκαν και τους δύο ανεξάρτητους ΥΗΣ.

#### **4.7.2 Σύντομη Περιγραφή ΥΗΣ**

##### **ΑΧΕΛΩΟΣ**

- Κρεμαστών: Απέχει 60km από το Αγρίνιο, τέθηκε σε λειτουργία το 1965. Έχει μεγάλο χωμάτινο φράγμα, με μεγάλο ταμιευτήρα υπερετήσιας ρύθμισης. Συνολική Ισχύς 437MW.
- Καστρακίου: Μετά τα Κρεμαστά, τέθηκε σε λειτουργία το 1970, με χωμάτινο φράγμα και λίμνη ημερήσιας ρύθμισης. Συνολική Ισχύς 320MW.
- Στράτου I: Μετά το Καστράκι, τέθηκε σε λειτουργία το 1988. Έχει συνολική εγκατεστημένη ισχύ 150MW.
- Στράτου II: Μικρός ΥΗΣ, έχει συνολική εγκατεστημένη ισχύ 6,2MW.

Οι ΥΗΣ Αχελώου είναι πολύ σημαντικοί για το Σύστημα Παραγωγής γιατί συμμετέχουν περίπου στο 35 - 40% της Συνολικής Υδροηλεκτρικής Παραγωγής.

##### **ΑΛΙΑΚΜΟΝΑΣ**

- Πολύφυτου: Κοντά στα Σέρβια Κοζάνης, τέθηκε σε λειτουργία το 1974. Έχει χωμάτινο φράγμα και ταμιευτήρα υπερετήσιας ρύθμισης. Έχει συνολική εγκατεστημένη ισχύ 360MW. Είναι ο κύριος ταμιευτήρας, που εξασφαλίζει νερό στην Μακεδονία.
- Σφηκιάς: Κατάντη του Πολυφύτου, 25km από την πόλη της Βέροιας, με χωμάτινο φράγμα τέθηκε σε λειτουργία το 1985. Έχει συνολική εγκατεστημένη ισχύ 315MW. Ο Σταθμός είναι αναστρέψιμος δηλαδή λειτουργεί και ως αντλητικός.
- Ασωμάτων: Κατάντη της Σφηκιάς τέθηκε σε λειτουργία το 1985 και έχει συνολική εγκατεστημένη ισχύ 108MW.
- Μακροχωρίου: κατάντη του ΥΗΣ Ασωμάτων. Είναι μικρός Σταθμός ροής εγκατεστημένης στην διώρυγα απαγωγής των νερών από τα Ασώματα. Τέθηκε σε λειτουργία το 1992 και έχει εγκατεστημένη ισχύ 10,8MW.

## **ΑΡΑΧΘΟΣ**

- Πηγών Αώου: Απέχει 45km από τα Ιωάννινα, εκτρέπει μικρό μέρος των νερών του ποταμού Αώου προς τον Αραχθο. Τέθηκε σε λειτουργία το 1990 και έχει εγκατεστημένη ισχύ 210MW.
- Πουρναρίου I: Απέχει 4km από την πόλη της Άρτας στον ποταμό Αραχθο, τέθηκε σε λειτουργία το 1981. Διαθέτει χωμάτινο φράγμα και ταμειυτήρα υπερετήσιας ρύθμισης και έχει εγκατεστημένη ισχύ 300MW.
- Πουρναρίου II: Ευρίσκεται αμέσως κατάντη του ΥΗΣ Πουρναρίου I επί του ποταμού Αράχθου. Τέθηκε σε λειτουργία το 2000 και έχει εγκατεστημένη ισχύ 31,5MW.

## **ΝΕΣΤΟΣ**

- Θησαυρού: Ευρίσκεται σε απόσταση 60km από την πόλη της Δράμας κοντά στο χωριό Παρανέστι. Τέθηκε σε λειτουργία το 1997. Ο Θησαυρός είναι ο δεύτερος μεγάλος αναστρέψιμος (αντλητικός) σταθμός στην Ελλάδα με εγκατεστημένη ισχύ 384MW. Το φράγμα είναι γεώφραγμα και είναι το υψηλότερο στην Ελλάδα.
- Πλατανοβρύσης: Ευρίσκεται κατάντη του Θησαυρού στον ποταμό Νέστο με εγκατεστημένη ισχύ 116MW. Το φράγμα του έχει κατασκευασθεί από κυλινδρούμενο Σκυρόδεμα (RCC), μια τεχνολογία που χρησιμοποιεί την ιπτάμενη τέφρα, παραπροϊόν των λιγνιτικών Σταθμών ως πρόσμιξη. Τέθηκε σε λειτουργία το 1999.

## **ΆΛΛΟΙ ΥΗΣ ΣΤΑΘΜΟΙ:**

- Λάδωνας: Ο ΥΗΣ Λάδωνα βρίσκεται κοντά στην Αρχαία Ολυμπία, στον ποταμό Λάδωνα. Τέθηκε σε λειτουργία το 1956 και έχει εγκατεστημένη ισχύ 70MW. Το φράγμα είναι τσιμεντένιο. Ο Σταθμός είναι μεν μικρός, αλλά πολύ παραγωγικός.
- Ταυρωπός: Ο ΥΗΣ Ν. Πλαστήρα αποτελεί την πρώτη μερική εκτροπή του Αχελώου προς το Θεσσαλικό κάμπο. Κατασκευασμένος επί του ποταμού Ταυρωπού, παραπόταμου του Αχελώου, διαθέτει Φράγμα τσιμεντένιο, τοξωτό. Ευρίσκεται σε απόσταση 40km από την πόλη της Καρδίτσας και τέθηκε σε λειτουργία από το 1962. Έχει εγκατεστημένη ισχύ 129,9MW. Αποτελεί τυπικό παράδειγμα Σταθμού Πολλαπλής Χρήσης.
- Λούρος: Ο ΥΗΣ Λούρος στον Λούρο ποταμό βρίσκεται κοντά στην Φιλιπιάδα με φράγμα τσιμεντένιο – βαρύτητας. Τέθηκε σε λειτουργία το 1954 και έχει ισχύ 10,5MW. Είναι πολύ παραγωγικός και λειτουργεί ως σταθμός ροής.
- Μόρνος: Ο ΥΗΣ Γκιώνας βρίσκεται κοντά στην Άμφισσα και έχει κατασκευασθεί στο κανάλι προσαγωγής νερού από Μόρνο προς την ύδρευση της Αθήνας. Λειτουργεί από το 1988 και έχει εγκατεστημένη ισχύ περί τα 9,6MW.

## **ΕΔΕΣΣΑΙΟΣ (ΒΟΛΑΣ)**

- ΥΗΣ ΑΓΡΑΣ: Βρίσκεται σε απόσταση 2km από την πόλη της Έδεσσας και τέθηκε σε λειτουργία το 1956. Έχει εγκατεστημένη ισχύ 50MW.
- ΥΗΣ ΕΔΕΣΣΑΙΟΥ: Βρίσκεται στην Έδεσσα κατάντη των καταρρακτών της Έδεσσας. Τέθηκε σε λειτουργία το 1969 και διαθέτει εγκατεστημένη ισχύ 19MW.

- Τέλος υπάρχει μια ομάδα πολύ μικρών, ιστορικής σημασίας (πολύ παλαιών) ΥΗΣ με μικρή εγκατεστημένη ισχύ και παραγωγή:
- Αλμυρός και Αγιά στην Κρήτη.
- Γλαύκος στην Πάτρα (Πελοπόννησος).
- Βέρμιο στην πόλη της Βέροιας.
- Αγ. Ιωάννης κοντά στην πόλη των Σερρών.

Ορισμένοι Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί της ΔΕΗ Α.Ε. όπως ο ΥΗΣ Σφηκιάς και ο ΥΗΣ Θησαυρού λειτουργούν και ως αναστρέψιμοι – αντλητικοί Σταθμοί. Πιο συγκεκριμένα, ο ΥΗΣ της Σφηκιάς στον ποταμό Αλιάκμονα(1985), έχει 3 αναστρέψιμες μονάδες ισχύος  $3 \cdot 105 = 315 \text{ MW}$  και ο ΥΗΣ του Θησαυρού στον ποταμό Νέστο(1998) έχει 3 αναστρέψιμες μονάδες ισχύος  $3 \cdot 127 = 381 \text{ MW}$ , διαθέσιμη υδραυλική πτώση  $H = 154 \text{ m}$  και ταμιευτήρα χωρητικότητας  $565 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ . Με τη λειτουργία τους αυτή αποθηκεύουν νερό στους άνω ταμιευτήρες με άντληση κατά τις ώρες χαμηλού φορτίου χρησιμοποιώντας ενέργεια χαμηλού κόστους και την αποδίδουν σε ώρες αιχμής συμβάλλοντας έτσι στην εξομάλυνση των αιχμών της ημερήσιας καμπύλης φορτίου με αποτέλεσμα αφ' ενός τη δυνατότητα κάλυψης αυξημένων ενεργειακών αναγκών τις συγκεκριμένες ώρες, αφ' ετέρου και την μείωση του κόστους παραγωγής (βελτιστοποίηση ενεργειακού ισοζυγίου).

#### **4.7.3 Δημιουργία νέων αναστρέψιμων υδροηλεκτρικών σταθμών στην ηπειρωτική Ελλάδα**

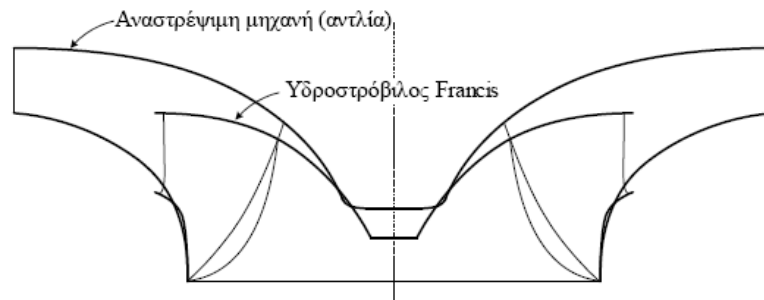
Είναι γνωστό ότι η πλειοψηφία των μεγάλων υδροηλεκτρικών έργων στην Ελλάδα έχουν ήδη κατασκευαστεί από τη ΔΕΗ Α.Ε. Επομένως, δεν υπάρχουν σημαντικά περιθώρια για τη δημιουργία νέων σταθμών που θα μπορούσαν να έχουν διπλή λειτουργία. Συνεπώς, η πιο λογική λύση που θα μπορούσε να δοθεί στο πρόβλημα αυτό είναι η μετατροπή των ήδη εγκατεστημένων μεγάλων υδροηλεκτρικών σταθμών που διαθέτουν και τους απαραίτητους ανάντη και κατόντη ταμιευτήρες για τη διπλή λειτουργία. [2]

Ο υδροηλεκτρικός σταθμός παραγωγής επιλέγεται να παραμείνει ανεπηρέαστος, δηλαδή η εγκατάσταση θα μετατραπεί σε αναστρέψιμη δημιουργώντας ένα νέο συγκρότημα άντλησης, το οποίο θα είναι τελείως ξεχωριστό από τον ΥΗΣ παραγωγής. Αυτή η επιλογή σχετίζεται με οικονομικούς και τεχνικούς λόγους. Πιο συγκεκριμένα στην περίπτωση που επιλέγαμε να μετατρέψουμε την αρχική εγκατάσταση θα είχε ως συνέπεια να θέσει εκτός παραγωγής και για μεγάλο χρονικό διάστημα μία παραγωγική μονάδα, η οποία είναι απαραίτητη για το ηλεκτρικό δίκτυο και δεν έχει αποσβεσθεί οικονομικά ακόμα.

Παράλληλα θα απαιτούνταν μετατροπές πολύ μεγάλης κλίμακας, ακόμα για έργα που διαθέτουν έτοιμους τους δύο ταμιευτήρες. Ενώ ακόμα και στην περίπτωση που επιλέγαμε να διατηρήσουμε την αρχική κτιριακή εγκατάσταση και να αντικαταστήσουμε μόνο τους υδροστροβίλους με αντίστοιχους αναστρέψιμους, αυτό κρίνεται απαγορευτικό για τους εξής λόγους:

- Στην περίπτωση που έχουμε υδροστροβίλους τύπου Francis, οι υδροστρόβιλοι αυτοί έχουν πολύ μεγάλη διαφορά μεγέθους με τους αντίστοιχους αναστρέψιμους. Συνεπώς αυτή η μετατροπή κρίνεται αδύνατη από την άποψη αυτή, ενώ δημιουργούνται και προβλήματα σπηλαίωσης γιατί η λειτουργία ως αντλία απαιτεί σημαντικά μεγαλύτερη βύθιση της μηχανής.
- Ενώ στη περίπτωση που έχουμε υδροστροβίλους τύπου Pelton, οι υδροστρόβιλοι αυτοί δε μπορούν να λειτουργήσουν με διπλή λειτουργία, λόγω της φύσης του σχεδιασμού τους.

Για την επιβεβαίωση των όσων αναφέρθηκαν για τη μετατροπή ενός υδροστροβίλου τύπου Francis, δίνεται το επόμενο Σχήμα που παρουσιάζει τη μεσημβρινή τομή του δρομέα του υδροστροβίλου Francis και του ισοδύναμου αναστρέψιμου υδροστροβίλου, για την ίδια ονομαστική ισχύ (50 MW), την ίδια υδραυλική πτώση και την ίδια βύθιση:



**Εικόνα 4.3** Διαφορά μεγέθους ανάμεσα στη μεσημβρινή τομή υδροστροβίλου Francis και ισοδύναμου αναστρέψιμου υδροστροβίλου (50 MW)[2]

Παρατηρούμε ξεκάθαρα τη διαφορά μεγέθους ανάμεσα στις δύο μηχανές, που στο συγκεκριμένο παράδειγμα προκύπτει αύξηση των ολικών διαστάσεων της μηχανής κατά 67%. Επομένως σύμφωνα με τα όσα αναφέρθηκαν, κρίνεται ως μονόδρομος η επιλογή της δημιουργίας ξεχωριστής αντλητικής εγκατάστασης, η οποία δε θα επηρεάσει καθόλου τη λειτουργία του ήδη υπάρχοντος ΥΗΣ κατά τη διάρκεια της κατασκευής της.

Αυτό όμως που έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον και πρέπει να τονιστεί είναι ότι υπάρχει η δυνατότητα προσθήκης συγκροτημάτων άντλησης-ταμείωσης-παραγωγής σε υπάρχοντες ταμειυτήρες Υδροηλεκτρικών έργων(σε υπάρχοντα ζεύγη ΥΗΣ ή σε μεμονωμένους ΥΗΣ) ή σε υπάρχοντες ταμειυτήρες άλλων χρήσεων. Προκειμένου να διερευνηθεί αυτή η δυνατότητα τα έργα αυτά έχουν χωριστεί σε 3 φάσεις ενός ερευνητικού προγράμματος.[30]

Πιο συγκεκριμένα: ΦΑΣΗ Α: Υδροηλεκτρικά έργα σε σειρά  
 ΦΑΣΗ Β: Μεμονωμένα υδροηλεκτρικά έργα  
 ΦΑΣΗ Γ: Λοιποί μεγάλοι ταμειυτήρες άλλων χρήσεων σε συνδυασμό με δεύτερο άνω ή κάτω ταμειυτήρα



Στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζονται έργα τα οποία ανήκουν στην Α και Β φάση του ερευνητικού έργου και πιο συγκεκριμένα μελετάται η μετατροπή του ζεύγους Καστρακίου-Στράτου (υδροηλεκτρικό έργο σε σειρά) σε αναστρέψιμο, αλλά και των υπολοίπων 7 μονάδων που είναι μεμονωμένα υδροηλεκτρικά έργα.

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΦΑΣΗΣ Α	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΦΑΣΗΣ Β
1. Γίνεται αξιοποίηση ήδη λειτουργούντων Υδροηλεκτρικών Έργων.	1. Αξιοποίηση ενός ήδη λειτουργούντος ταμιευτήρα ως κάτω ταμιευτήρα άντλησης.
2. Γίνεται αξιοποίηση ήδη λειτουργούντων Υδροηλεκτρικών Έργων.	2. Θα πρέπει να κατασκευαστεί άνω ταμιευτήρας ή δεξαμενή.
3. Υπάρχει ήδη σταθμός παραγωγής αλλά θα πρέπει να κατασκευαστεί αντλιοστάσιο.	3. Δεν έχουμε χρήση του υπάρχοντος σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας-ελάχιστη επίδραση στη λειτουργία του υπάρχοντος έργου.
4. Γίνεται χρήση και αξιοποίηση εκκενωτών πυθμένα, αγωγών προσαγωγής και υδροληψιών.	4. Γίνονται παρεμβάσεις στο φυσικό περιβάλλον του έργου.
5. Οι παρεμβάσεις είναι ελάχιστες.	5. Θα πρέπει να κατασκευαστούν οι εγκαταστάσεις του αναστρέψιμου έργου
6. Βελτίωση λειτουργίας υπάρχοντων έργων	

#### Πίνακας 4.3 Χαρακτηριστικά φάσεων Α και Β

Συνεπώς προσδιορίζονται οι θέσεις που έχουν ήδη υπάρχοντα ταμιευτήρα για την χωροθέτηση του νέου άνω ταμιευτήρα και του αναστρέψιμου σταθμού παραγωγής και ταυτόχρονα επιδιώκεται η μεγαλύτερη δυνατή υψομετρική διαφορά μεταξύ του υπάρχοντος και του νέου ταμιευτήρα, με το μικρότερο δυνατό μήκος των αγωγών προσαγωγής και τον μεγαλύτερο δυνατό ωφέλιμο όγκο του νέου άνω ταμιευτήρα με το μικρό ύψος φράγματος ή τοίχου δεξαμενής.

Τα βασικά κριτήρια για την επιλογή των κατάντη ταμιευτήρων από τους υπάρχοντες ταμιευτήρες υδροηλεκτρικών σταθμών είναι τα ακόλουθα:

- Κατάλληλη μορφολογία για την κατασκευή έργου αντλησιοταμίευσης(φράγματος-λιμνοδεξάμενης)στην περιοχή γύρω από τον ταμιευτήρα σε απόσταση μικρότερη των 2 km από τις όχθες του
- Μικρή διακύμανση της στάθμης λειτουργίας του ταμιευτήρα (μικρότερη των 10m)
- Επάρκεια όγκου νερού ταμιευτήρα

Μέσω της άντλησης γίνεται μία ανακύκλωση κάποιου όγκου νερού μεταξύ του κατάντη και του ανάντη ταμιευτήρα. Κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας ένα μέρος των νερών του κατάντη ταμιευτήρα ανγκαστικά δεσμεύεται και άρα δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί από το υδροηλεκτρικό. Θα πρέπει λοιπόν, να συνδυάζεται η άντληση με την παραγωγή στο ανάντη έργο με τέποιο τρόπο ώστε η επίδραση στην παραγωγή ενέργειας και στις λοιπές χρήσεις του κατάντη έργου να είναι η μικρότερη δυνατή.

Σε ορισμένα έργα υπάρχει δυνατότητα αύξησης του ωφέλιμου όγκου του υπάρχοντος ταμιευτήρα με την τοποθέτηση ανατρεπόμενων θυροφραγμάτων απο υπερχειλιστή, πράγμα το οποίο μπορεί να συντελέσει στην σημαντική αύξηση των αντλούμενων όγκων, αφού δίνει θα δίνει μεγαλύτερη ανεξαρτησία στη λειτουργία των σταθμών παραγωγής.

Τα κυριότερα υδραυλικά έργα αξιοποίησης των επιφανειακών υδάτικών πόρων και κατά συνέπεια και αυτά που χρησιμοποιούνται ως ταμιευτήρες στις περιπτώσεις αναστρέψιμων υδροηλεκτρικών έργων είναι τα φράγματα και οι λιμνοδεξαμενες.[34]

Τα φράγματα είναι μεγάλα υδραυλικά τεχνικά έργα που εμποδίζουν τη φυσική ροή του νερού μιας κοιλάδας. Συνήθως κατασκευάζονται στις κοίτες φυσικών ρευμάτων, σε κατάλληλα επιλεγμένες θέσεις, με τον άξονα του φράγματος να τοποθετηθεί κάθετα προς τη ροή του νερού. Οι λιμνοδεξαμενές από την άλλη είναι ουσιαστικά ταμιευτήρες έξω από την κοίτη του ποταμού, σε κατάλληλες φυσικές κοιλότητες που διαμορφώνονται κατά τον καλύτερο τεχνοοικονομικό τρόπο, ώστε να επιτυγχάνεται η μεγαλύτερη συγκέντρωση νερού με το μικρότερο κόστος και με τις λιγότερες επιπτώσεις στο περιβάλλον. Οι δεξαμενές αυτές μπορούν να κατασκευαστούν και σε περιοχές που παρουσιάζουν διαπερατότητα, διότι στην περίπτωση αυτή η στεγανότητα εξασφαλίζεται με επένδυση της λίμνης με ειδική στεγανωτική μεμβράνη. Λιμνοδεξαμενές όμως μπορούν να κατασκευαστούν και σε περιοχές όπου δεν υπάρχουν φυσικές κοιλότητες αλλά και η μορφολογία του εδάφους είναι τέτοια η οποία επιτρέπει την κατασκευή δεξαμενής με φυσικά υλικά ή εξολοκλήρου από σκυρόδεμα, με τις λιγότερες δυνατές εκσκαφές και συνεπώς το μικρότερο δυνατό κόστος. Τέτοιες είναι οι δεξαμενές που μελετήθηκαν στα πλαίσια του ερευνητικού έργου «Διερεύνηση της δυνατότητας κατασκευής του Ελληνικού Διασυνδεδεμένου Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας», μέρος του οποίου χρησιμοποιείται στην παρούσα διπλωματική εργασία, αλλά και προηγούμενης διπλωματικής εργασίας, της φοιτήτριας Αποστολοπούλου Άννας, με τίτλο «Αξιοποίηση υπαρχουσων λιμνών για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με άντληση-ταμίευση για αντιμετώπιση διείσδυσης Αιολικών Πάρκων στο δίκτυο», κάποια αποτελέσματα της οποίας πάρθηκαν σαν δεδομένα στην συγκεκριμένη διπλωματική εργασία.

## **5. ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΗ ΝΕΟΥ ΣΧΗΜΑΤΟΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΕ**

### **5.1 Ποταμός Αχελώος**

Ο Αχελώος ή Ασπροπόταμος είναι ένα από τα μεγαλύτερα ποτάμια της Ελλάδος. Πηγάζει στην Ήπειρο, στις νότιες πλαγιές του όρους Περιστέρι (νότια της Πίνδου) διασχίζει τον κάμπο του Αγρινίου και διανύοντας μία διαδρομή 200 χλμ. χύνεται εκεί που ο Πατραϊκός κόλπος συναντά το Ιόνιο πέλαγος. Είναι ο δεύτερος σε μήκος ποταμός της Ελλάδας. Η λεκάνη απορροής του καλύπτει έκταση 5.572 km<sup>2</sup>, το ύψος της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης είναι 1.620 mm, ο μέσος ετήσιος όγκος νετού 8.860 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>, η δε μέση ετήσια απορροή του εκτιμάται σε 7.800 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> νερού. Από τα νερά του ποταμού αρδεύονται περί τα 370.000 στρέμματα γεωργικής γης.

Τροφοδοτείται από τα νερά των ρεμάτων και ποταμών Άσπρος, Λεπενίτσα, Ξεροπλατάνια, Κομναϊτικό, Βακαριώτη, Βασαλάκα, Καπραλία, Νέγκρη, Κούτσουρο, Καλή Πηγή, Παφρώνη, Βατακιάδα, Καμπουργιανίτικο, Πλατανιάς, Αγραφιώτη, Μέγδοβα, Λεπιανίτη, Γρανιτσιώτη, Ζαμπατορέματος, Ίναχο, που διαβρώνουν το έδαφος της Ευρυτανίας και μέσω της διώρυγας Διμήκου δέχεται τα πλεονάζοντα νερά των λιμνών Τριχωνίδας και Λυσιμαχίας. Έχει υποστεί ουσιαστικές αλλοιώσεις από την κατασκευή των 4 Υδροηλεκτρικών φραγμάτων για την παραγωγή ενέργειας.

Το υδροηλεκτρικό συγκρότημα του Αχελώου είναι ένα από τα μεγαλύτερα και ισχυρότερα της Ευρώπης και βοηθά σημαντικά στην ενεργειακή αυτοδυναμία της Ελλάδος.



Στον ποταμό Αχελώο, βρίσκονται σε σειρά τα φράγματα των Κρεμαστών, Καστρακίου και Στράτου Ι και ΙΙ. Υπό κατασκευή βρίσκονται τα φράγματα της Συκιάς και της Δαφνοζωνάρας, Ενώ το φράγμα της Μεσοχώρας έχει ολοκληρωθεί αλλά δεν έχει τεθεί σε λειτουργία.

Ο ταμιευτήρας του έργου Κρεμαστών είναι ο μεγαλύτερος της χώρας και έχει συνολική ωφέλιμη χωρητικότητα 3,30δισ  $m^3$ . Σκοπός του έργου είναι η υδροηλεκτρική παραγωγή και η αντιπλημμυρική προστασία της περιοχής.

Ο σταθμός του Καστρακίου, εκμεταλλεύεται τις εκροές του Υδροηλεκτρικού Σταθμού των Κρεμαστών καθώς επίσης και τα νερά του παραπόταμου Ινάχου, ο οποίος εκβάλλει μέσα στον ταμιευτήρα του έργου, ωφέλιμη χωρητικότητας 53 εκ.  $m^3$ . Ο σκοπός του έργου, πέραν της υδροηλεκτρικής παραγωγής, είναι η άρδευση & ύδρευση του Δήμου Αγρινίου και των γειτονικών δήμων.

Οι ΥΗΣ Στράτου Ι και ΙΙ, με ταμιευτήρα ωφέλιμης χωρητικότητα 13 εκ. m<sup>3</sup>, είναι έργα διπλού σκοπού, που παράγουν ενέργεια και αποθηκεύουν νερό για ρύθμιση των αρδεύσεων σε ημερήσια βάση, ικανοποιώντας έτσι τις αρδευτικές ανάγκες της εύφορης πεδιάδας του Κάτω Αχελώου.

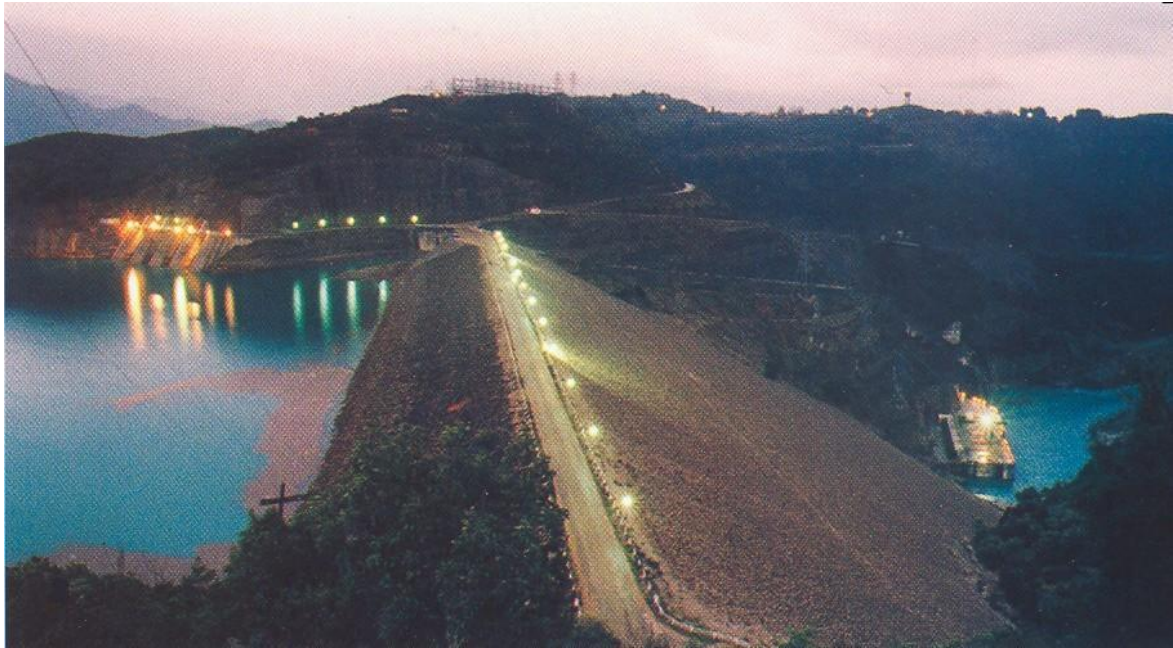
## **5.2 Υδροηλεκτρικό έργο Καστρακίου**

Το υδροηλεκτρικό έργο Καστρακίου βρίσκεται σε απόσταση 35km κατάντη του φράγματος Κρεμαστών και βόρεια της πόλης του Αγρινίου. Ανήκει, εξ ολοκλήρου, στο νομό Αιτωλοακαρνανίας και είναι έργο διπλής σκοπιμότητας: Παραγωγής ενέργειας και άρδευσης-ύδρευσης της ευρύτερης περιοχής του Αγρινίου. Η κατασκευή του έργου ξεκίνησε το Μάιο του 1966 και ο σταθμός εντάχθηκε στο σύστημα το Μάιο του 1969.

Αποτελείται από μία σήραγγα εκτροπής μήκους 393 , ένα χωμάτινο φράγμα με αργιλικό πυρήνα και φίλτρα από αμμοχάλικο, ύψους 96 m και ολικού όγκου 5,2 εκ. m<sup>3</sup>, εκχειλιστή χωρίς θυροφράγματα με κεκλιμένη διώρυγα από οπλισμένο σκυρόδεμα και έργο αναπήδησης για αποτόνωση της ενέργειας, μια κατακόρυφη υδροληψία με τέσσερα ανοίγματα, τέσσερις ελεύθερους αγωγούς πτώσης και έναν ημι-υπαίθριο σταθμό παραγωγής εξοπλισμένο με τέσσερις μονάδες τύπου Francis, κατακόρυφου άξονα, εγκατεστημένης ισχύος 80MW η κάθε μια.

Ο σταθμός του Καστρακίου, εκμεταλλεύεται τις εκροές του Υδροηλεκτρικού Σταθμού των Κρεμαστών και τα νερά του παραπόταμου Ινάχου, ο οποίος εκβάλλει μέσα στον ταμιευτήρα του έργου. Ο ταμιευτήρας του έργου έχει ωφέλιμη χωρητικότητα 53 εκ. m<sup>3</sup> και η μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας του έργου είναι 598 GWh. Η λεκάνη απορροής του ταμιευτήρα ανέρχεται σε 4.118 km<sup>2</sup>.

Τον Ιούνιο του 2010 τοποθετήθηκαν από την ΔΕΗ ανατρεπόμενα θυροφράγματα ύψους 1,80m στην στέψη του υπερχειλιστή του έργου, με αποτέλεσμα να ανέβει η στάθμη λειτουργίας του ταμιευτήρα από τα 144,20 m στα 146,00 m και συνεπώς να διπλασιαστεί σχεδόν ο ωφέλιμος όγκος του ταμιευτήρα από τα 53•10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> στα 97•10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>. Η σημαντική αυτή αύξηση στον ωφέλιμο όγκο του ταμιευτήρα, σε συνδυασμό με την σχετικά μικρή διακύμανση στάθμης και το ευνοϊκό του περί τον ταμιευτήρα τοπογραφικό ανάγλυφο (απότομες ορεινές περιοχές με δυνατότητα διαμόρφωσης ταμιευτήρων σε υψηλό υψόμετρο), δίνει την δυνατότητα εγκατάστασης πολλών αναστρέψιμων έργων.



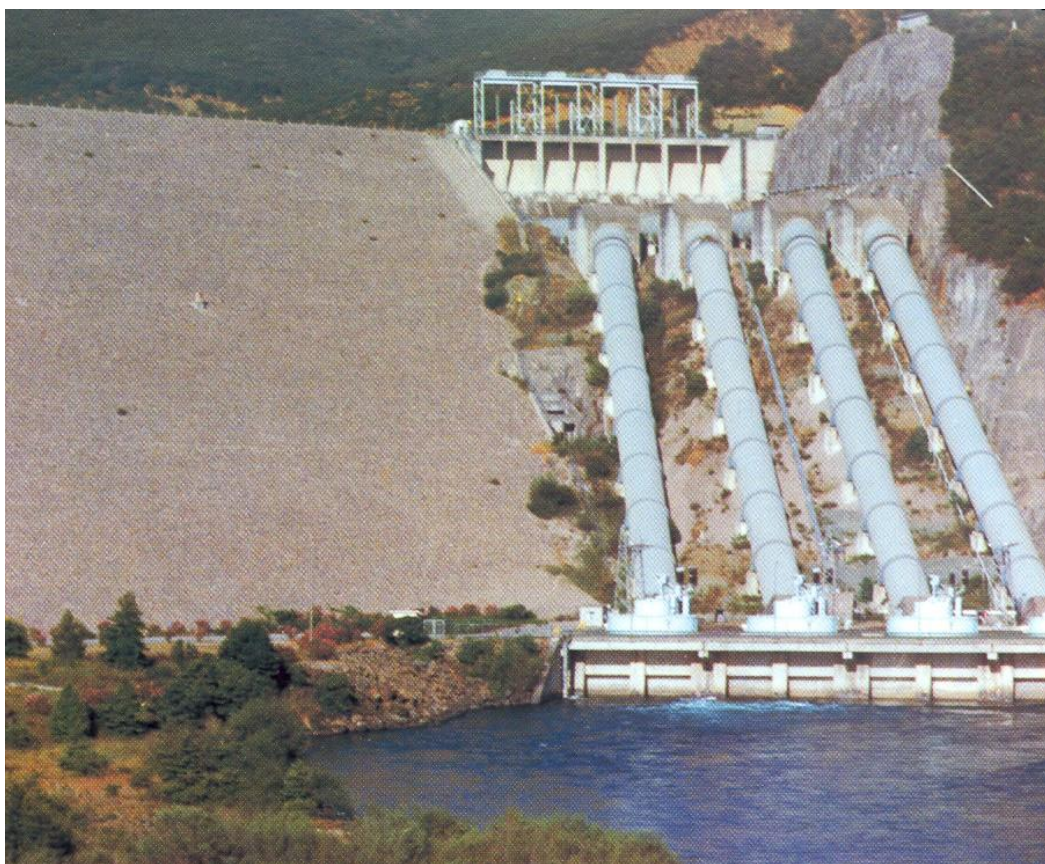
**Εικόνα 5.1** Υδροηλεκτρικό έργο Καστρακίου-Στράτου



**Εικόνα 5.2** Υδροηλεκτρικό έργο Καστρακίου-Στράτου

([http://library.tee.gr/digital/m2380/m2380\\_argirakis.pdf](http://library.tee.gr/digital/m2380/m2380_argirakis.pdf))





**Εικόνα 5.3** Υδροηλεκτρικό έργο Καστρακίου-Στράτου

### ***5.3 Υδροηλεκτρικό Έργο Στράτου I και II***

Ο ΥΗΣ Στράτου βρίσκεται στον Κάτω Αχελώο κοντά στην πόλη του Αγρινίου, 8 km κατάντη του ΥΗΣ Καστρακίου, 285 km από την Αθήνα και τροφοδοτείται κυρίως από τις εκροές του ΥΗΣ Καστρακίου. Αποτελείται από ένα χωμάτινο φράγμα με κεντρικό αργιλικό πυρήνα, 1900 m μήκους και 26 m ύψους, ολικού όγκου 2,8 εκ m<sup>3</sup>, δύο κεκλιμένες υδροληψίες, δύο σήραγγες προσαγωγής μέσα στο δεξιό αντέρεισμα του φράγματος, μήκους 74,5 m η κάθεμία, έναν εκχειλιστή προσαγωγής με θυροφράγματα, κεκλιμένη διώρυγα και λεκάνη ηρεμίας μέγιστης παροχετευτικότητας 4000m<sup>3</sup>/s, έναν υπόγειο σταθμό παραγωγής και μια διώρυγα φυγής μήκους 7km. Ο σταθμός είναι εξοπλισμένος με δυο μονάδες τύπου Francis κατακόρυφου άξονα, εγκατεστημένης ισχύος 75 MW η κάθεμία. Η κατασκευή του έργου ξεκίνησε το 1981 και ο σταθμός εντάχθηκε στο σύστημα το 1989.

Ο μικρός υδροηλεκτρικός σταθμός Στράτου II είναι συνδεδεμένος με την είσοδο του εκχειλιστή του κυρίως έργου και αξιοποιεί την παροχή του νερού που διαφορετικά θα διοχετευόταν από τον εκχειλιστή απευθείας για άρδευση, στη διάρκεια της αρδευτικής περιόδου. Έτσι μια μέση ποσότητα νερού της τάξης των 335 εκ m<sup>3</sup> διατίθεται ετήσια για άρδευση, τροφοδοτώντας τις δύο μικρές υδροηλεκτρικές μονάδες. Ο μικρός υδροηλεκτρικός σταθμός είναι εξοπλισμένος με δύο σωληνοειδής μονάδες, εγκατεστημένης ισχύος 3 MW η κάθεμία, καθαρού ύψους πτώσης 16,8 m. Ο σταθμός λειτουργεί σε 24ωρη βάση την αρδευτική περίοδο.



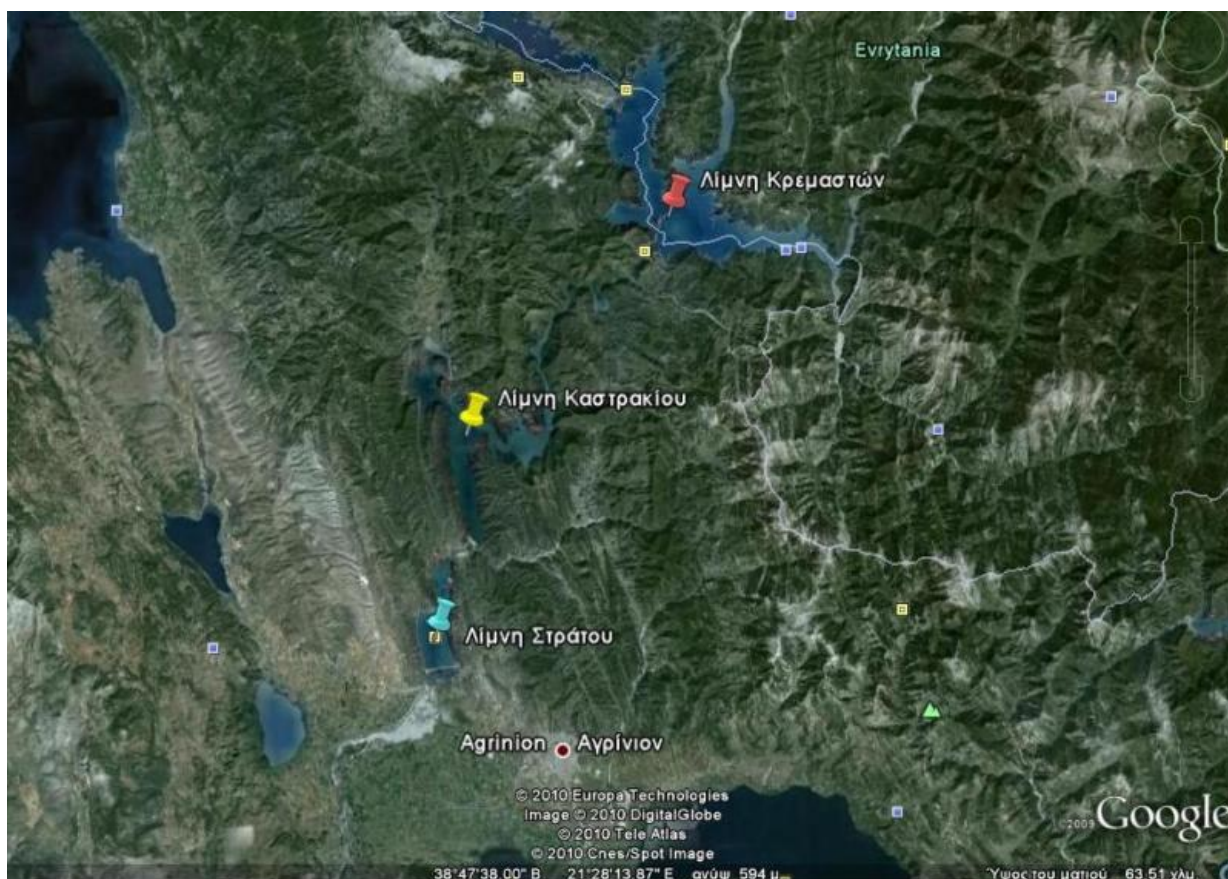
**Εικόνα 5.5** Υδροηλεκτρικό έργο Στράτου

#### ***5.4*** ***Επιδίωξη της μελέτης***

Ο ταμιευτήρας του ΥΗΣ Καστρακίου μπορεί να αποτελέσει σημαντικό εφαλτήριο δημιουργίας αναστρέψιμων έργων. Με βάση συγκεκριμένα κριτήρια αναζήτησης κατάλληλων θέσεων για την δημιουργία έργων αντλιοσταμίου βρέθηκαν αρκετές πιθανές θέσεις(και συγκεκριμένα επτά οι οποίες αναφέρονται παρακάτω) δημιουργίας αναστρέψιμων σταθμών με άντληση από τον ταμιευτήρα Καστρακίου. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η εύρεση των επτά κατάλληλων αυτών θέσεων καθώς επίσης και αναλυτική μελέτη αυτών, προηγήθηκε στην διπλωματική εργασία της φοιτήτριας .....

Στην παρούσα εργασία μελετώνται οι επτά θέσεις αυτές και πιο συγκεκριμένα τέσσερις θέσεις φραγμάτων(τοποθεσίες Αλευράδα, Σομπόρρεμα, Δαιμονοπύργια,Πετούλια)και τρεις θέσεις λιμνοδεξαμενών(τοποθεσίες Τσουγκάρια,Φίλος, Μέγας Κάμπος). Επιπλέον μελετάται η μετατροπή του ίδιου του υδροηλεκτρικού σταθμου Καστρακίου σε αναστρέψιμο, με προσθήκη αντλιοστασίου από τον Στράτο στο Καστράκι.Όλα τα στοιχεία τα οποία παίρνονται σαν δεδομένα, στην συγκεκριμένη εργασία είναι τα αποτελέσματα της διπλωματικής εργασίας που αναφέρθηκε παραπάνω.





**Εικόνα 5.4** Εικόνα από δορυφόρο της λίμνης Καστρακίου  
([http://2.bp.blogspot.com/\\_GFWovZnEdCk/S79xJizCSCI/AAAAAAAAABNE/CAVwBUqZkM8/s1600/satellite.jpg](http://2.bp.blogspot.com/_GFWovZnEdCk/S79xJizCSCI/AAAAAAAAABNE/CAVwBUqZkM8/s1600/satellite.jpg))

Για να γίνει κατασκευή των αναστρέψιμων μεμονωμένων υδροηλεκτρικών έργων (επτά μονάδες), θα πρέπει να αξιοποιηθεί ο ταμιευτήρας που ήδη λειτουργεί (ταμιευτήρας Καστρακίου)ως κάτω ταμιευτήρας, να χρησιμοποιηθούν ως άνω ταμιευτήρες τα φράγματα ή οι λιμνοδεξαμενές που παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.1 και στη συνέχεια να κατασκευαστούν οι εγκαταστάσεις του αναστρέψιμου έργου(κατασκευή αντλητικού συγκροτήματος μέσω του οποίου αντλείται το νερό από έναν κάτω ταμιευτήρα προς έναν πάνω ταμιευτήρα μέσω ενός καταθλιπτικού αγωγού, κατασκευή υδροστροβίλου ή υδροστροβίλων για την μετατροπή της υδραυλικής ενέργειας σε ηλεκτρική, λειτουργία που συνοδεύεται με την μεταφορά νερού από τον πάνω ταμιευτήρα προς τον κάτω ταμιευτήρα), ενώ για να μετατραπεί το ζεύγος Καστρακίου-Στράτου σε αναστρέψιμο απαιτείται μόνο η κατασκευή αντλιοστασίου και όχι υδροστροβίλου γι' αυτό το κόστος κατασκευής του θα είναι πολύ μικρότερο. Τα χαρακτηριστικά των θέσεων παρουσιάζονται παρακάτω και είναι τα αποτελέσματα από την μελέτη που έχει ήδη γίνει στην διπλωματική εργασία της φοιτήτριας Αποστολοπούλου Άννας, με τίτλο «Αξιοποίηση υπαρχουσων λιμνών για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με άντληση-ταμίευση για αντιμετώπιση διεύθυνσης Αιολικών Πάρκων στο δίκτυο».

<b>Κάτω δεξαμενή</b>	<b>Τύπος άνω δεξαμενής</b>	<b>Μέγιστη ισχύς άντλησης(MW)</b>	<b>Μέγιστη παραγόμενη ισχύς(MW)</b>	<b>Ώρες λειτουργίας</b>
Καστράκι	Φράγμα Αλευράδα	272	183	24,0
Καστράκι	Φράγμα Σομπόρρεμα	153	110	12,1
Καστράκι	Δεξαμενή Τσουγκάρια	52	37	12,1
Καστράκι	Δεξαμενή Φίλος	131	91	5,8
Καστράκι	Φράγμα Δαιμονοπύργια	124	83	5,9
Καστράκι	Φράγμα Πετούλια	124	85	12,0
Καστράκι	Δεξαμενή Μέγας Κάμπος	74	52	12,0
Στράτος	Δεξαμενή Καστρακίου	117	80	5,9

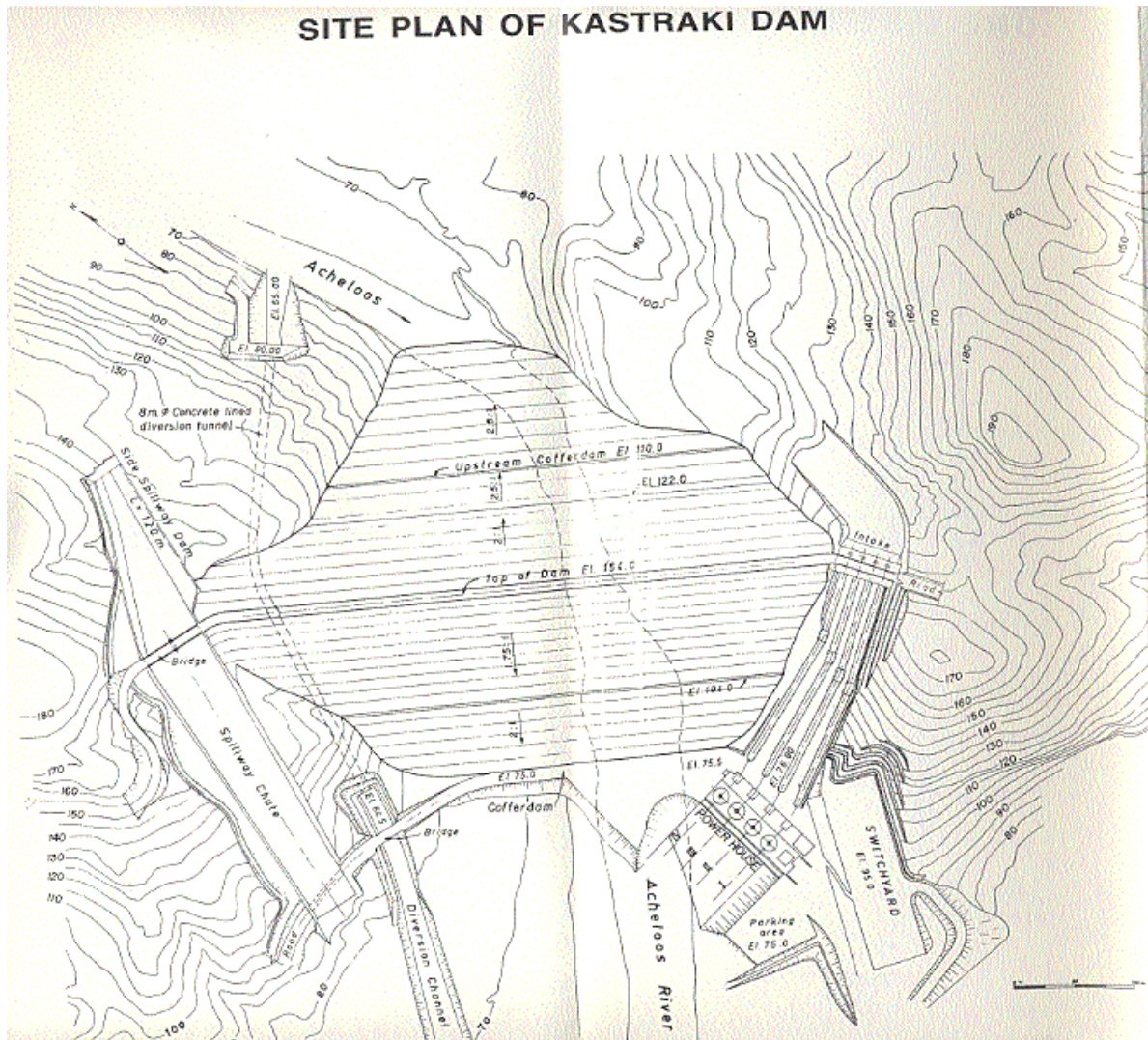
**Πίνακας 5.1** Οι 8 πιθανές αναστρέψιμες μονάδες



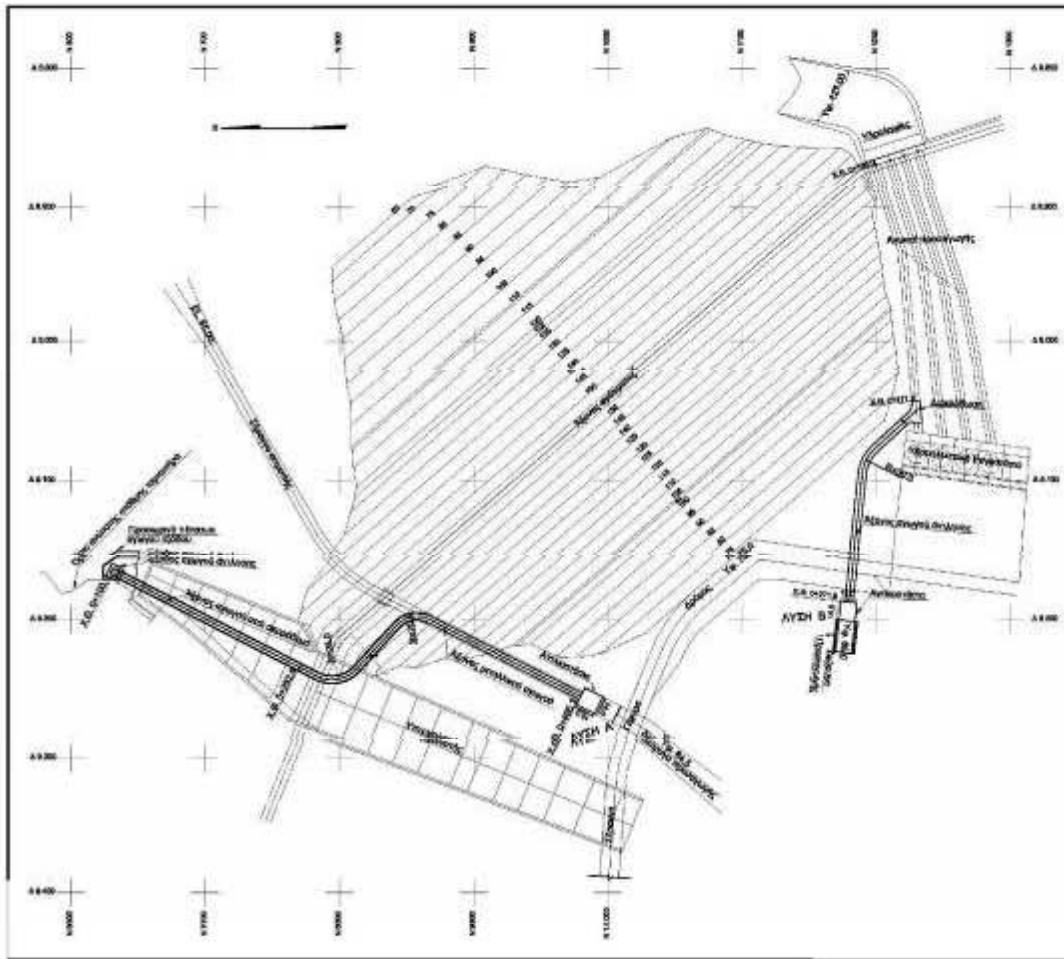
**Εικόνα 5.4** Θέσεις των οκτώ πιθανών αναστρέψιμων μονάδων

Σκοπός της εργασίας είναι να βρεθούν συγκεκριμένες λύσεις εφαρμογής των παραπάνω πιθανών αναστρέψιμων μονάδων, με στόχο την ενεργή συμβολή τους στην ανάγκη αποθήκευσης, ηλεκτρικής ενέργειας του δικτύου και αξιοποίησης της σε χρονικές στιγμές που το δίκτυο θα το απαιτεί. Είναι φυσικό ότι αυτή η μελέτη θα μπορούσε να ενταχθεί στο γενικότερο ενεργειακό σχεδιασμό της Ελλάδας, καθώς όχι μόνο θα συνέβαλε στη σταθερότητα του ηλεκτρικού δικτύου και στη χρήση ενέργειας που δεν αξιοποιείται αλλά θα προωθούσε και τη μεγαλύτερη διείσδυση ΑΠΕ(και πιο συγκεκριμένα αιολικής ενέργειας)στον ελληνικό χώρο.





Εικόνα 5.5 Κάτοψη υδροηλεκτρικού ζεύγους Καστρακίου-Στράτου



Εικόνα 5.6 Προσθήκη αντλιοστασίου Καστράκι -Στράτος  
[http://library.tee.gr/digital/m2483/m2483\\_stefanakos.pdf](http://library.tee.gr/digital/m2483/m2483_stefanakos.pdf)

## 6.ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

### 6.1 Περιγραφή του προτεινόμενου σχήματος

Όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο ο ΥΗΣ Καστρακίου-Στράτου θα μελετηθεί προκειμένου να μετατραπεί σε αναστρέψιμος ο ίδιος όσο και να κατασκευαστούν ανστρέψιμες μονάδες που βρίσκονται σε κατάλληλες θέσεις(για την ακρίβεια επτά) γύρω από αυτόν και θα αντλούν νερό από τον ταμιευτήρα του συγκεκριμένου ΥΗΣ. Στόχος της μελέτης αυτής είναι η συμβολή στην αντιμετώπιση των ενεργειακών προβλημάτων που αναφέρθηκαν στα αρχικά κεφάλαια της εργασίας. Για τον σταθμό αυτό διατίθενται όλα τα ενεργειακά στοιχεία για ένα έτος αναφοράς(2008).Στο παρόν κεφάλαιο θα εξεταστεί η αξιοποίηση της απορριπτόμενης αιολικής ενέργειας από το δίκτυο μέσω αποθήκευσης από τις αντλητικές μονάδες του έργου και η μετέπειτα παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας από τους υδροστροβίλους των αναστρέψιμων σταθμών.

Αρχικά για τον υπολογισμό της συνολικής παραγωγής ενέργειας από διάφορες πηγές για το έτος 2008 και το μετέπειτα υπολογισμό των απορρίψεων της αιολικής ενέργειας από το δίκτυο χρησιμοποιείται ένας υπολογιστικός κώδικας γλώσσας Fortran, στον οποίο εισάγονται όλα τα ενεργειακά δεδομένα από τη ΔΕΗ Α.Ε. σε μορφή αρχείου κειμένου(δηλαδή txt.)και προκύπτουν αποτελέσματα τα οποία μας δείχνουν την ωριαία παραγωγή ενέργειας από διάφορες πηγές ενέργειας για ολόκληρο το έτος. Στη συνέχεια, υπολογίζονται μέσω του ίδιου κώδικα οι απορρίψεις αέρα ανά ώρα για ολόκληρο το έτος αλλά και το ποσοστό της απορριφθείσας ενέργειας σε σχέση με την αιολική ενέργεια που παράγεται.

Προκειμένου να υπολογίσουμε το ποσοστό της απορριφθείσας αιολικής ενέργειας, εισάγουμε κάθε φορά ένα ποσοστό εγκατεστημένης αιολικής ισχύος σε σχέση με το μέσο ετήσιο φορτίο του έτους, το οποίο είναι 6338MW.

Ο πρώτος αυτός κώδικας περιλαμβάνει στα δεδομένα εισόδου του:

- Την ωριαία χρονοσειρά παραγόμενης ενέργειας από θερμικές μονάδες (αεριοστροβιλικές, πετρελαϊκές, λιγνιτικές)
- Την ωριαία χρονοσειρά παραγόμενης ενέργειας από διάφορες μονάδες(ΑΠΕ, μικρά υδροηλεκτρικά έργα, κ.α)
- Την ωριαία χρονοσειρά παραγόμενης ενέργεια από υδροηλεκτρικές μονάδες
- Την ωριαία χρονοσειρά παραγόμενης ενέργειας από εισαγωγές από γειτονικές χώρες
- Ένας παράγοντας τον οποίο ορίζει ο χρήστης και σύμφωνα με τον οποίο υπολογίζεται το ποσοστό της εγκατεστημένης αιολικής ισχύος σε σχέση με το μέσο ετήσιο φορτίο

Ενώ στην έξοδό του υπολογίζονται τα εξής μεγέθη:

- Συνολική παραγωγή ενέργειας για το έτος αναφοράς
- Το ποσοστό της εγκατεστημένης αιολικής ισχύος
- Οι απορρίψεις αιολικής ενέργειας
- Η παραγωγή της αιολικής ενέργειας

Όλα τα αποτελέσματα του πρώτου κώδικα απεικονίζονται σε διαγράμματα και αναλύονται στην ενότητα 6.2 του παρόντος κεφαλαίου.

Στη συνέχεια χρησιμοποιείται ένας δεύτερος υπολογιστικός κώδικας γλώσσας Fortran ο οποίος υπολογίζει την αξιοποίηση της ενέργειας που απορρίπτεται από το δίκτυο, τόσο στο σύνολό της όσο και από κάθε μονάδα ξεχωριστά.

Είναι ξεκάθαρο όμως ότι οι υπολογισμοί αυτοί θα εξαρτηθούν από μεγέθη τα οποία δεν είναι σταθερά και συγκεκριμένα, όπως η σειρά ένταξης των αναστρέψιμων σταθμών αλλά και το πλήθος των ωρών λειτουργίας των αντλιοστασίων κατά την διάρκεια ενός 24ώρου. Συνεπώς κρίνεται επιτακτική η ανάγκη διάκρισης περιπτώσεων.

Στην παρούσα εργασία εξετάζονται 3 σενάρια. Πιο συγκεκριμένα:

ΣΕΝΑΡΙΟ 1: Ένταξη των υδροστροβίλων των αναστρέψιμων σταθμών μόνο σε διάστημα 8 ωρών ημερησίως (ώρες αιχμής, δηλαδή 11:00π.μ-15:00μ.μ και 19:00μ.μ-23:00μ.μ)

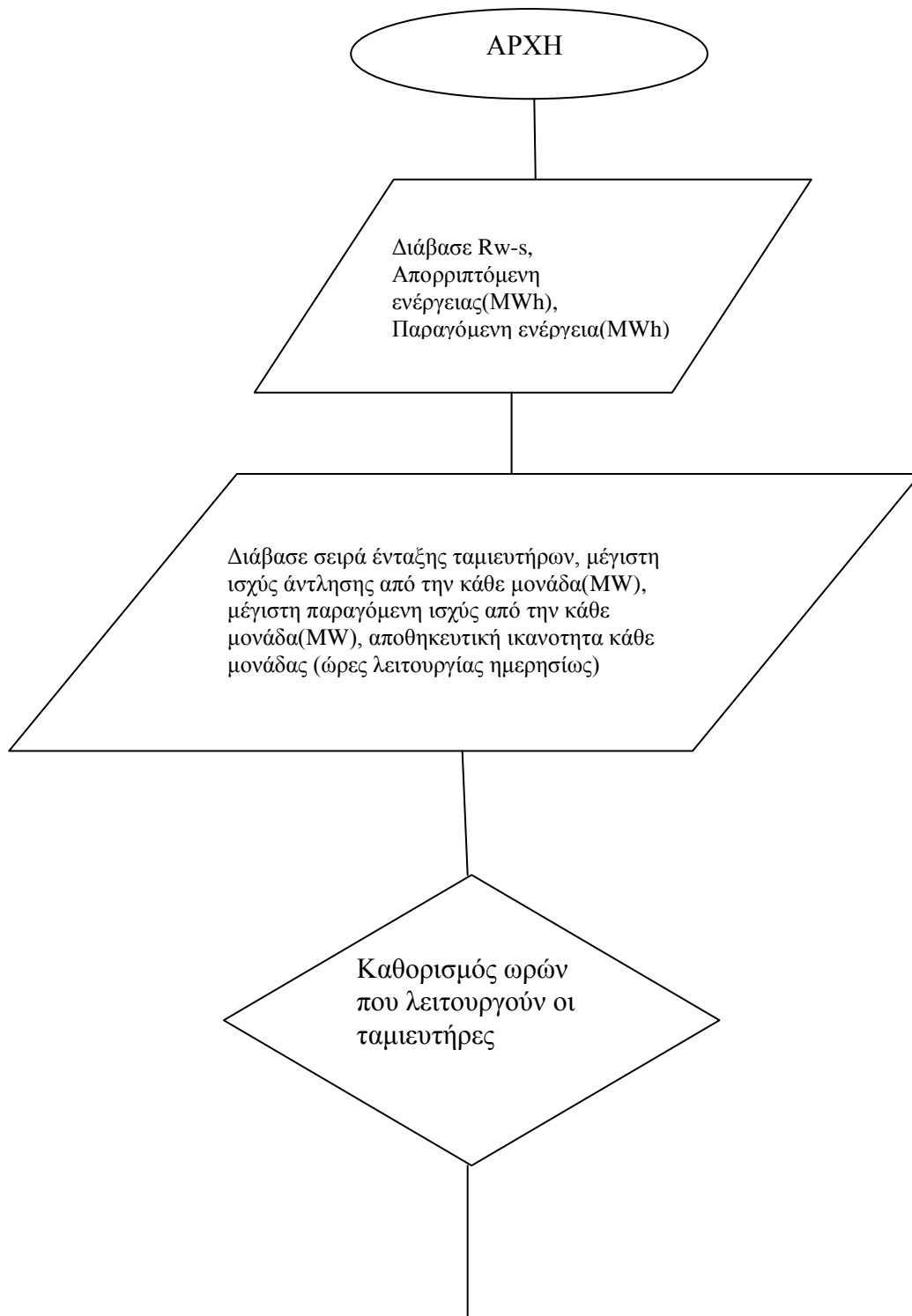
ΣΕΝΑΡΙΟ 2: Αλλαγή της σειράς ένταξης των αναστρέψιμων σταθμών. Πρώτη να εντάσσεται η μονάδα 8.

ΣΕΝΑΡΙΟ 3: Ένταξη των υδροστροβίλων των αναστρέψιμων σταθμών σε διάστημα 14 ωρών ημερησίως (9:00 π.μ-23:00 μ.μ)

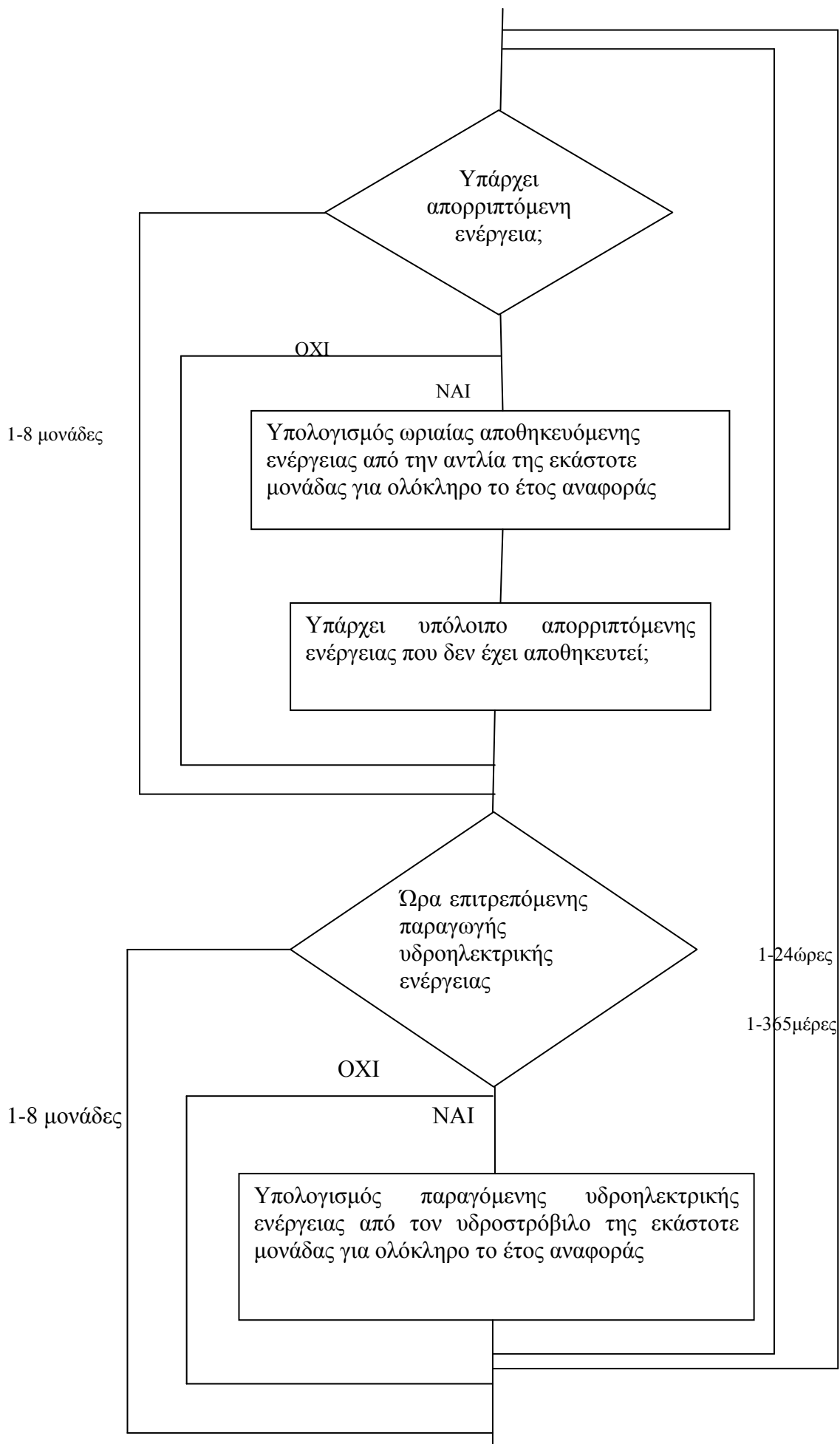
Παρακάτω παρουσιάζονται τα βασικά στοιχεία του δεύτερου αλγορίθμου που χρησιμοποιείται για τους υπολογισμούς:

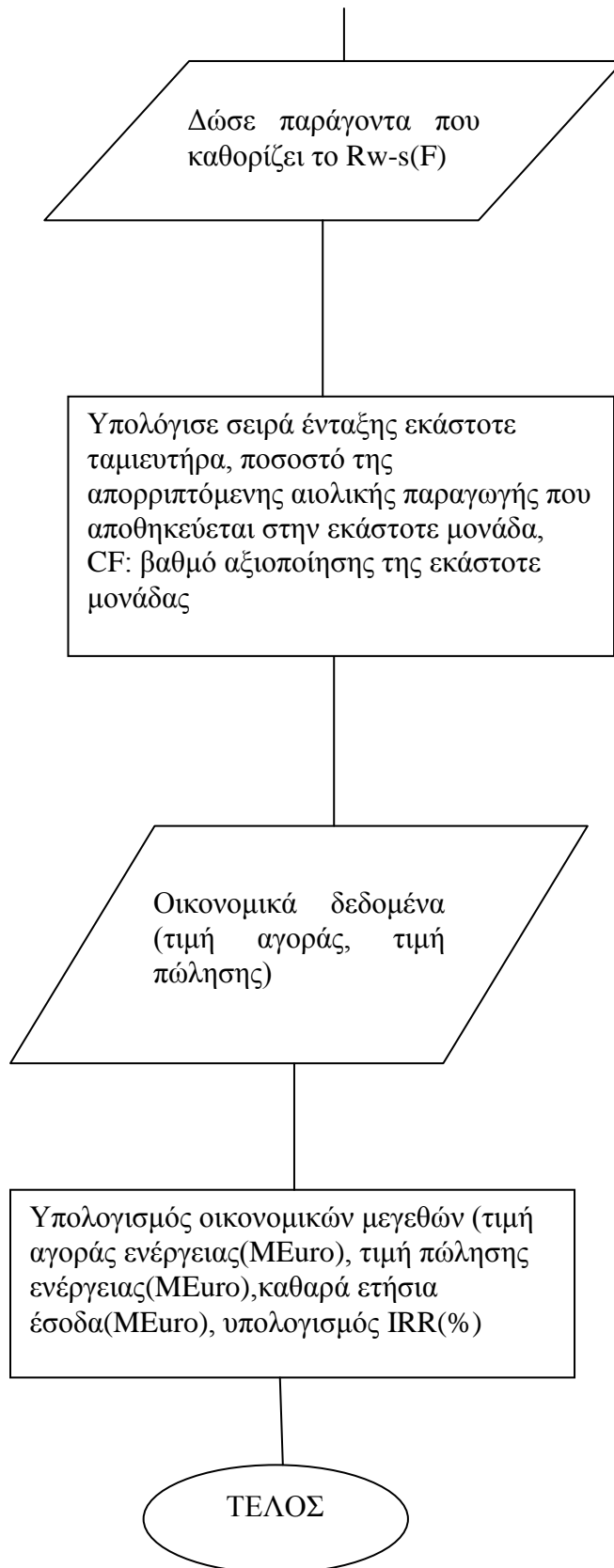
- Καθορισμός σειράς ένταξης των αναστρέψιμων σταθμών.
- Απορρόφηση απορριπτόμενης αιολικής παραγωγής από τις αντλητικές μονάδες των σταθμών, κατά σειρά ένταξης του αντίστοιχου ταμιευτήρα.
- Τελευταία εντάσσεται η μονάδα 8 (ΥΗΣ Καστρακίου)
- Πλήθος ωρών λειτουργίας των αναστρέψιμων σταθμών
- Σενάριο 1
- Σενάριο 2
- Σενάριο 3
- Όχι δυνατότητα ταυτόχρονης άντλησης και παραγωγής (διότι χρησιμοποιείται μονός αγωγός για την άντληση και την παραγωγή ενέργειας προκειμένου να μειωθεί το κόστος κατασκευής στο μικρότερο δυνατό)
- Τελικός υπολογισμός φόρτισης αντλιοστασίων και παραγωγής υδροστροβίλων όλων των σταθμών, καθώς και του βαθμού αξιοποίησης τους (Capacity Factor, CF)
- Υπολογισμός ετήσιων ενεργειακών μεγεθών (συνολική αποθήκευση αιολικής ενέργειας και παραγωγής υδροστροβίλων)

Το λογικό διάγραμμα του δεύτερου υπολογιστικού κώδικα παρουσιάζεται αμέσως μετά:



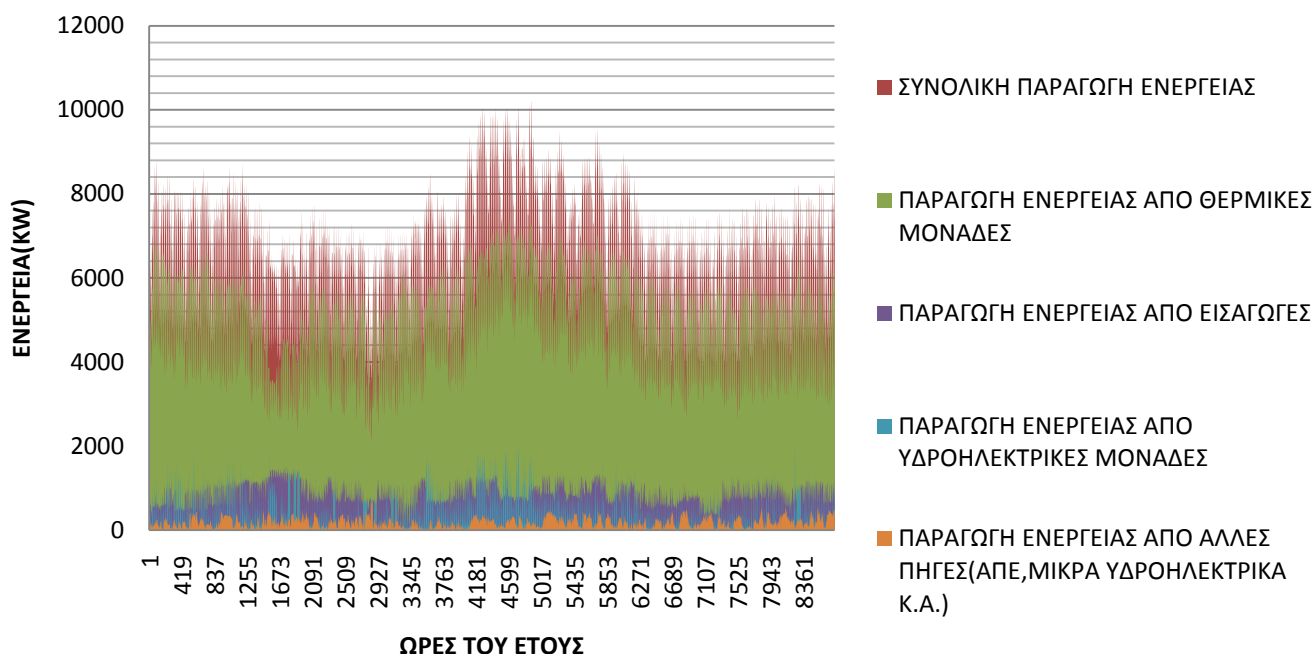




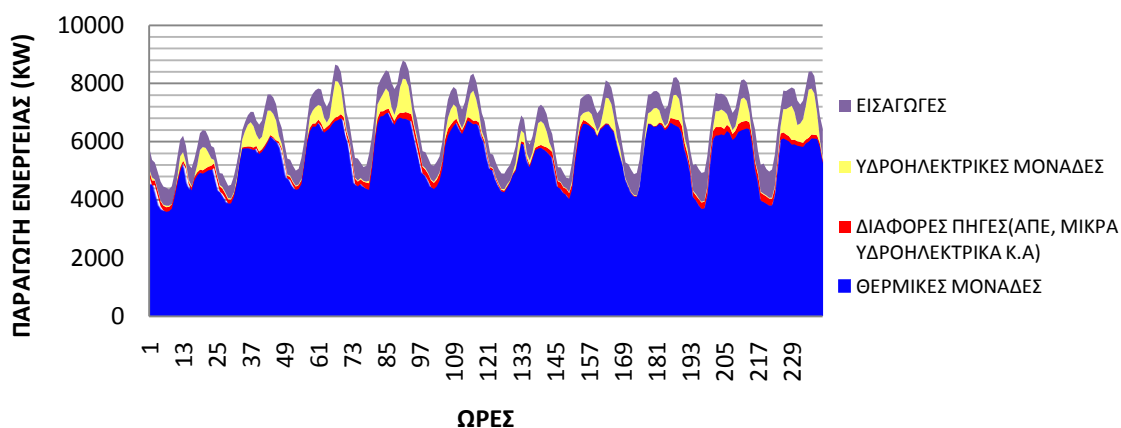


## 6.2 Ετήσια παραγωγή ενέργειας

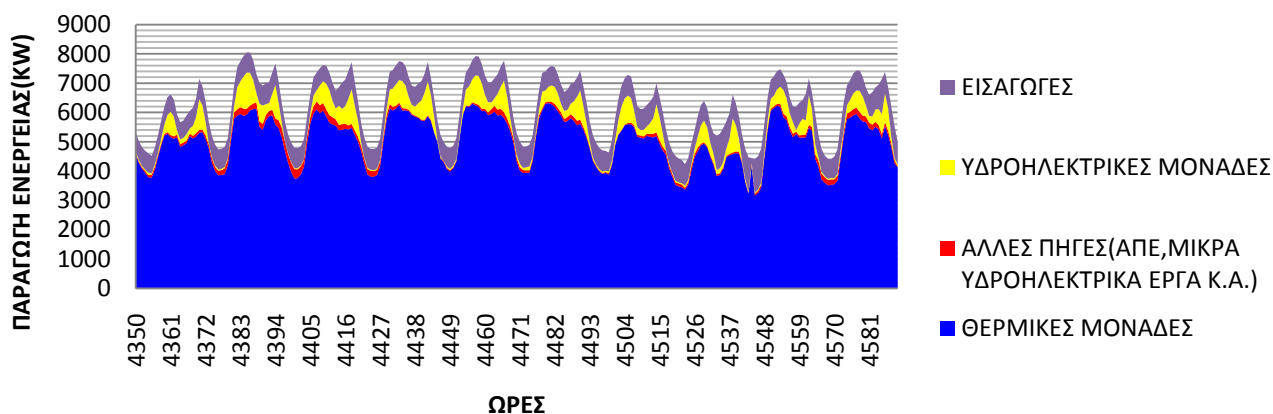
Τα ενεργειακά αποτελέσματα που προκύπτουν από τον πρώτο υπολογιστικό κώδικα παρουσιάζονται παρακάτω:



Διάγραμμα 6.1 Ωριαία χρονοσειρά παραγόμενης ενέργειας για ένα έτος(2008)

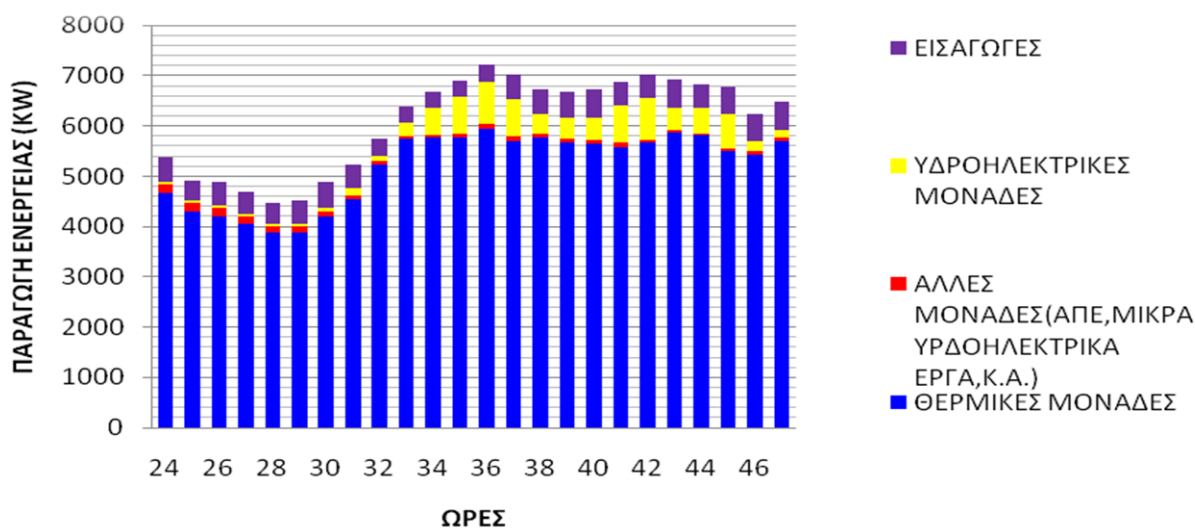


Διάγραμμα 6.2α Ωριαία χρονοσειρά παραγόμενης ενέργεια για ένα χειμερινό 10ήμερο



**Διάγραμμα 6.2β** Ωριαία χρονοσειρά παραγόμενης ενέργειας για ένα θερινό 10ήμερο

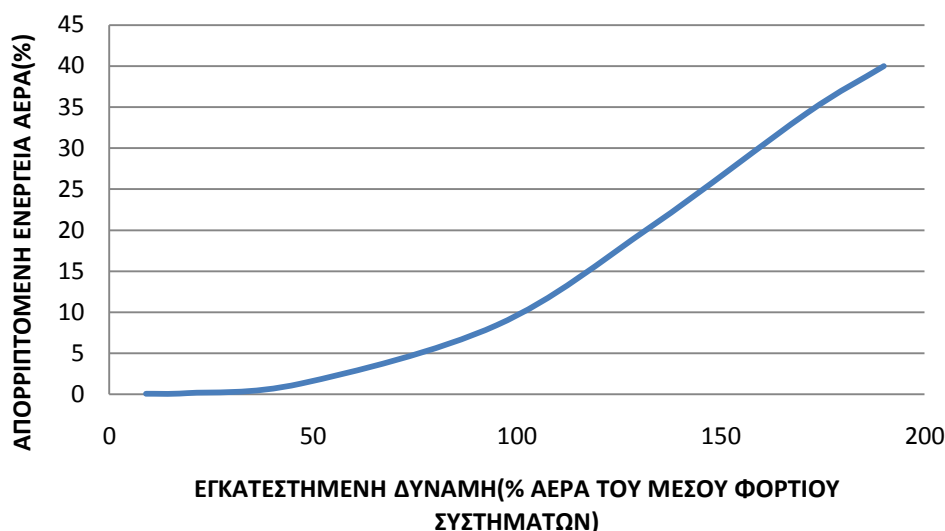
Από τα στοιχεία των διαγραμμάτων παρατηρείται μεγαλύτερη παραγωγή ενέργειας κατά τους θερινούς μήνες του έτους, με τιμές που φτάνουν και τα 10000KW ανά ώρα ενώ όπως είναι εμφανές το μεγαλύτερο ποσοστό ενέργειας παράγεται από θερμικές μονάδες καθ'όλη τη διάρκεια του έτους. Κατά τη διάρκεια ενός 24ώρου μεγαλύτερη παραγωγή παρατηρείται κατά την διάρκεια της ημέρας.



**Διάγραμμα 6.3** Ωριαία χρονοσειρά παραγόμενης ενέργειας κατά τη διάρκεια ενός 24ώρου

## 6.2 Ετήσια απορριπτόμενη αιολική ενέργεια από το δίκτυο

Όπως ήδη αναφέρθηκε, αυτό κύριος σκοπός της μελέτης του συγκροτήματος είναι η αποθήκευση της απορριπτόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο και η διάθεσή της στο δίκτυο σε χρονικές περιόδους όπου αυτό καθίσταται απαραίτητο. Οι απορρίψεις αιολικής ενέργειας μεταβάλλονται ανάλογα με την εγκατεστημένη ισχύ αιολικών.



**Διάγραμμα 6.4** Ετήσια ενεργειακή απόρριψη αέρα συναρτήσει της εγκατεστημένης αιολικής ισχύος

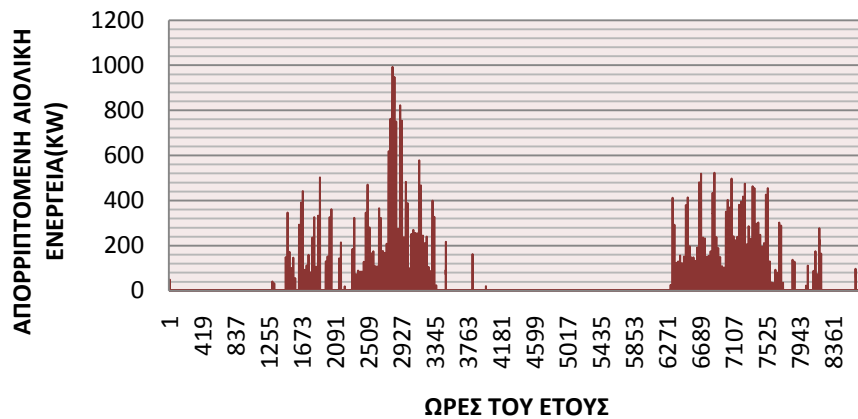
Σύμφωνα με το διάγραμμα οι απορρίψεις αέρα γίνονται αισθητές, όταν η εγκατεστημένη ισχύς αιολικής ενέργειας φτάνει περίπου το 50% του μέσου ετήσιου φορτίου του συστήματος (ίσο με 6338 MW για το έτος αναφοράς). Ενώ όσο αυξάνει η εγκατεστημένη αιολική ισχύς, οι απορρίψεις αέρα γίνονται όλο και μεγαλύτερες.

Το ποσοστό των απορρίψεων αιολικής ενέργειας για διάφορες εγκατεστημένες ισχύεις αιολικών παρουσιάζεται διαγραμματικά παρακάτω:

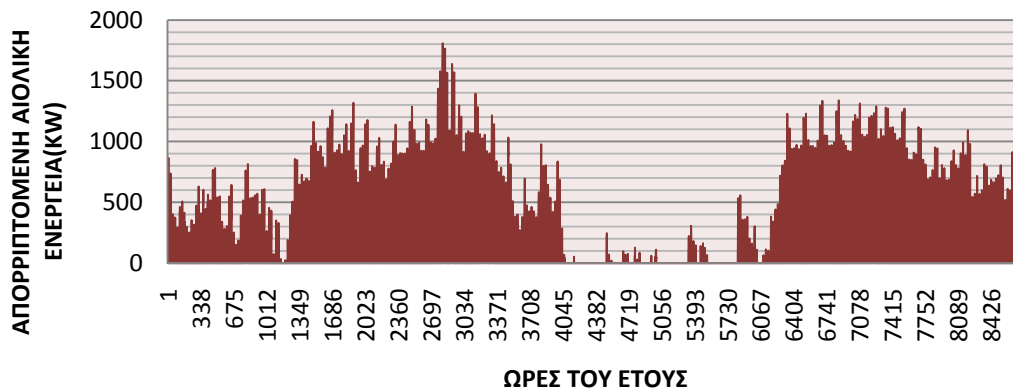
Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι οι λόγοι της εγκατεστημένης αιολικής ενέργειας σε σχέση με το μέσο ετήσιο φορτίο, υπολογίζονται με βάση πραγματικά παροντικά και μελλοντικά δεδομένα, δηλαδή για το έτος 2008 ο λόγος της εγκατεστημένης αιολικής ενέργειας (περίπου 1200 MW) σε σχέση με το μέσο ετήσιο φορτίο (6338 MW) είναι περίπου ίσος με 0,2, δηλαδή  $R_{w-s}=0,2$ . Ο λόγος αυτός όμως ανάλογα με τον ενεργειακό στόχο της Ελλάδας (όπως έχει αναλυθεί στα εισαγωγικά κεφάλαια), εκτιμάται ως εξής:

Ενεργειακός στόχος για εγκατεστημένη ισχύς (MW)	Έτος	Εκτίμηση τιμής του $R_{w-s}$
8000	2020	1,1
10000-11000	2030	1,5
>15000	2050	2

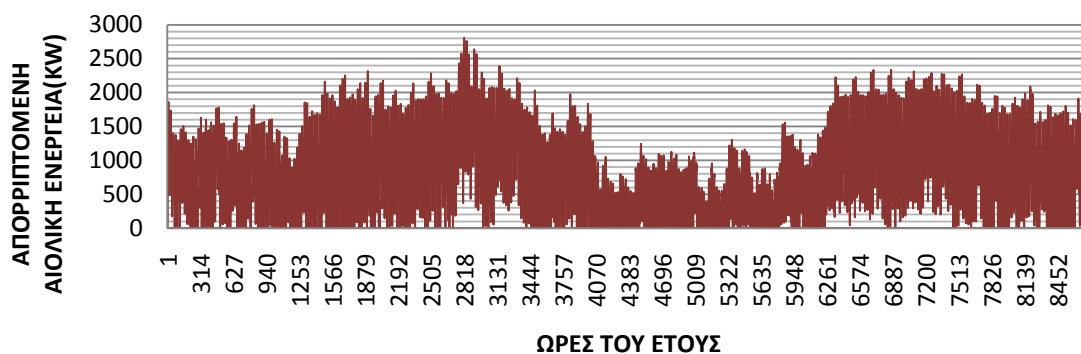
Για εγκατεστημένη ισχύ αιολικών μισή του μέσου ετήσιου φορτίου( $R_{w-s}=0,5$ ):



Για εγκατεστημένη ισχύ αιολικών ίση με το μέσο ετήσιο φορτίο( $R_{w-s}=1$ ):



Για εγκατεστημένη ισχύ αιολικών 50% μεγαλύτερη από το μέσο ετήσιο φορτίο ( $R_{w-s}=1,5$ ):



**Διάγραμμα 6.5** Ωριαία χρονοσειρά απορριπτόμενης ενέργειας για διάφορες εγκατεστημένες ισχύεις αιολικών

Είναι εμφανές ότι στην πρώτη περίπτωση ( $R_{w-s}=0,5$ ) υπάρχουν αρκετές περίοδοι όπου οι απορρίψεις είναι μηδενικές τόσο το χειμώνα όσο και το καλοκαίρι. Στο διάγραμμα 6.5, για  $R_{w-s}=1$  υπάρχουν ορισμένες περιόδους (εμφανώς λιγότερες από την προηγούμενη περίπτωση) όπου οι απορρίψεις είναι μηδενικές και ειδικότερα το καλοκαίρι. Στο παραπάνω διάγραμμα (υψηλότερες εγκαταστάσεις,  $R_{w-s}=1,5$ ) δεν υπάρχουν περίοδοι όπου οι απορρίψεις να είναι μηδενικές. Παρατηρείται ανομοιόμορφη κατανομή των απορρίψεων καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, ενώ την άνοιξη και το φθινόπωρο το ποσοστό των απορρίψεων γίνεται σημαντικό ακόμα και κατά την διάρκεια της ημέρας.

### **6.3 ΣΕΝΑΡΙΟ 1: Ένταξη των υδροστροβίλων των αναστρέψιμων σταθμών μόνο σε διάστημα 8 ωρών ημερησίως (ώρες αιχμής, δηλαδή 11:00π.μ-15:00μ.μ και 19:00μ.μ-23:00μ.μ)**

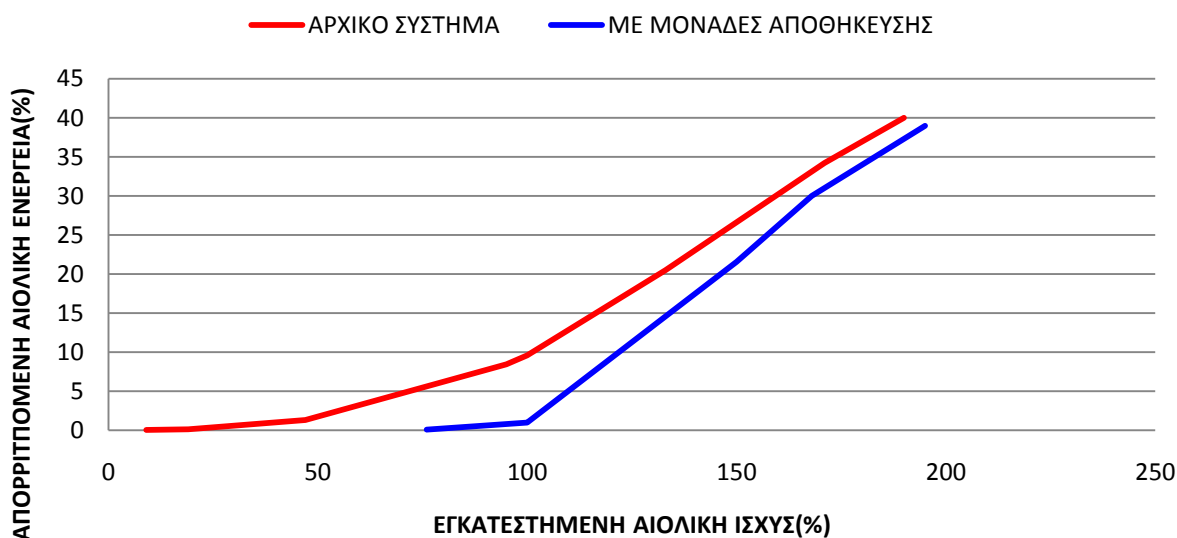
Στη συγκεκριμένη περίπτωση οι αναστρέψιμες μονάδες λειτουργούν μόνο τις ώρες αιχμής και η σειρά ένταξης τους είναι καθορισμένη. Τα κύρια χαρακτηριστικά των πιθανών αναστρέψιμων σταθμών παρουσιάζονται αμέσως μετά:

Σειρά Ένταξης	Κάτω δεξαμενή	Τύπος άνω δεξαμενής	Μέγιστη ισχύς άντλησης(MW)	Μέγιστη παραγόμενη ισχύς(MW)	Ώρες λειτουργίας
1	Καστράκι	Φράγμα Αλευράδα	272	183	24,0
2	Καστράκι	Φράγμα Σομπόρρεμα	153	110	12,1
3	Καστράκι	Δεξαμενή Τσουγκάρια	52	37	12,1
4	Καστράκι	Δεξαμενή Φίλος	131	91	5,8
5	Καστράκι	Φράγμα Δαιμονοπύργια	124	83	5,9
6	Καστράκι	Φράγμα Πετούλια	124	85	12,0
7	Καστράκι	Δεξαμενή Μέγας Κάμπος	74	52	12,0
8	Στράτος	Δεξαμενή Καστρακίου	117	80	5,9

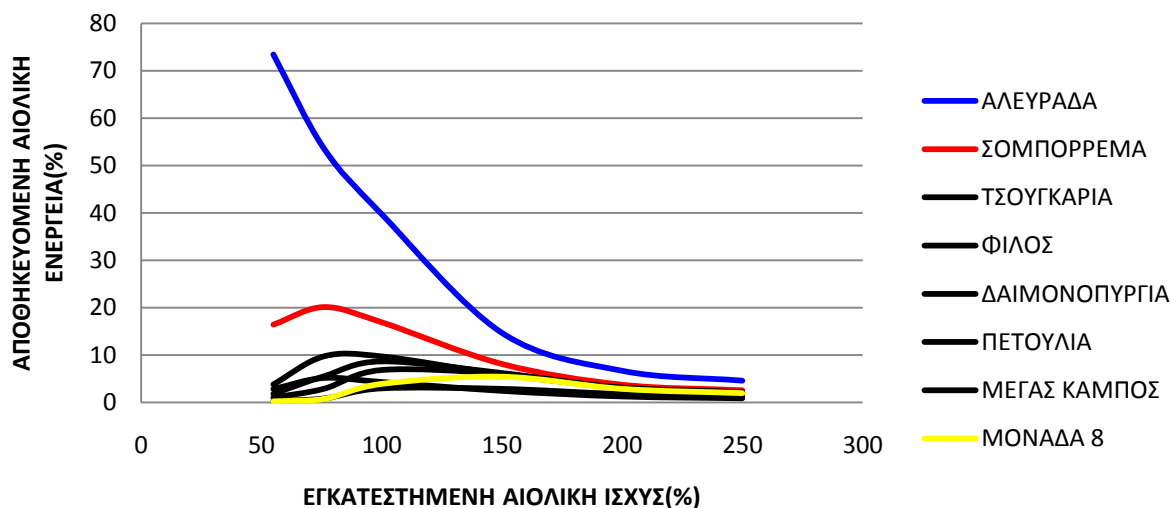
**ΠΙΝΑΚΑΣ 6.1** Κύρια χαρακτηριστικά των πιθανών αναστρέψιμων σταθμών



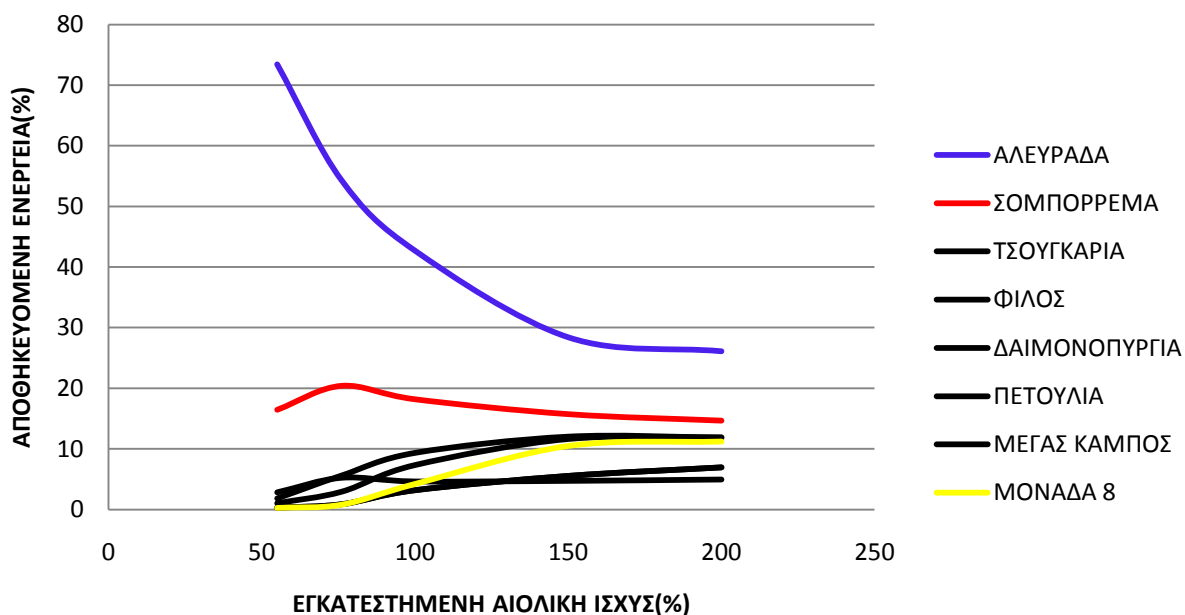
Τα αποτελέσματα σε διαγράμματα έτσι όπως προέκυψαν από τον κώδικα είναι :



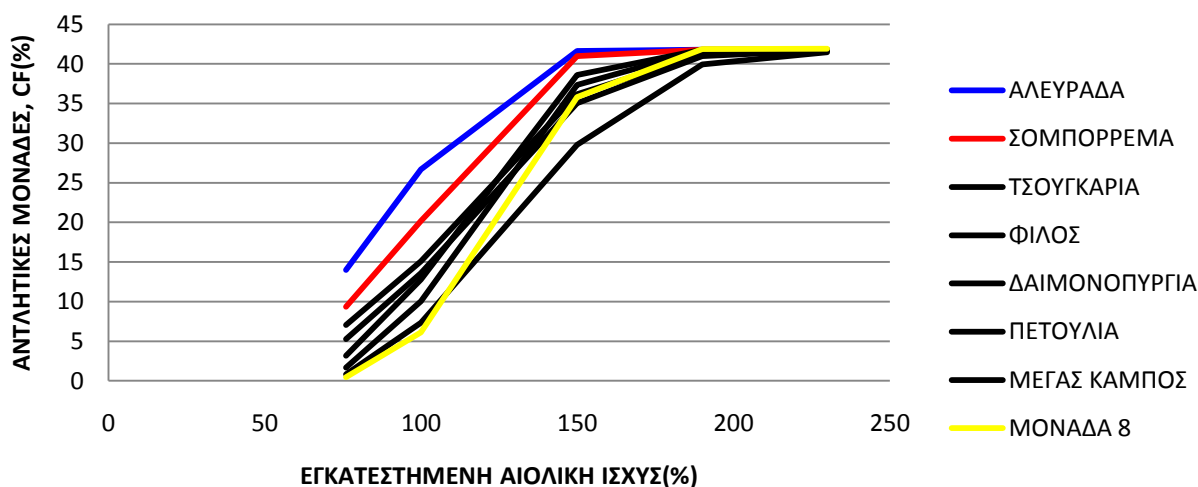
**Διάγραμμα 6.6** Ποσοστό απορριπτόμενης αιολικής παραγωγής, ως συνάρτηση της εγκατεστημένης αιολικής ισχύος, ως ποσοστό % της μέσης ετήσιας ζήτησης φορτίου του δικτύου.



**Διάγραμμα 6.7α** Ποσοστό της απορριπτόμενης αιολικής παραγωγής που αποθηκεύεται από κάθε αναστρέψιμη μονάδα, ως συνάρτηση της εγκατεστημένης αιολικής ισχύος.



**Διάγραμμα 6.7β** Ποσοστό της απορριπτόμενης αιολικής παραγωγής που αποθηκεύεται από κάθε αναστρέψιμη μονάδα προς τη συνολική αποθηκευόμενη ενέργεια, ως συνάρτηση της εγκατεστημένης αιολικής ισχύος.



**Διάγραμμα 6.8** Βαθμός αξιοποίησης (capacity factor) των αντλιών των αναστρέψιμων μονάδων του Καστρακίου, ως συνάρτηση της εγκατεστημένης αιολικής ισχύος.

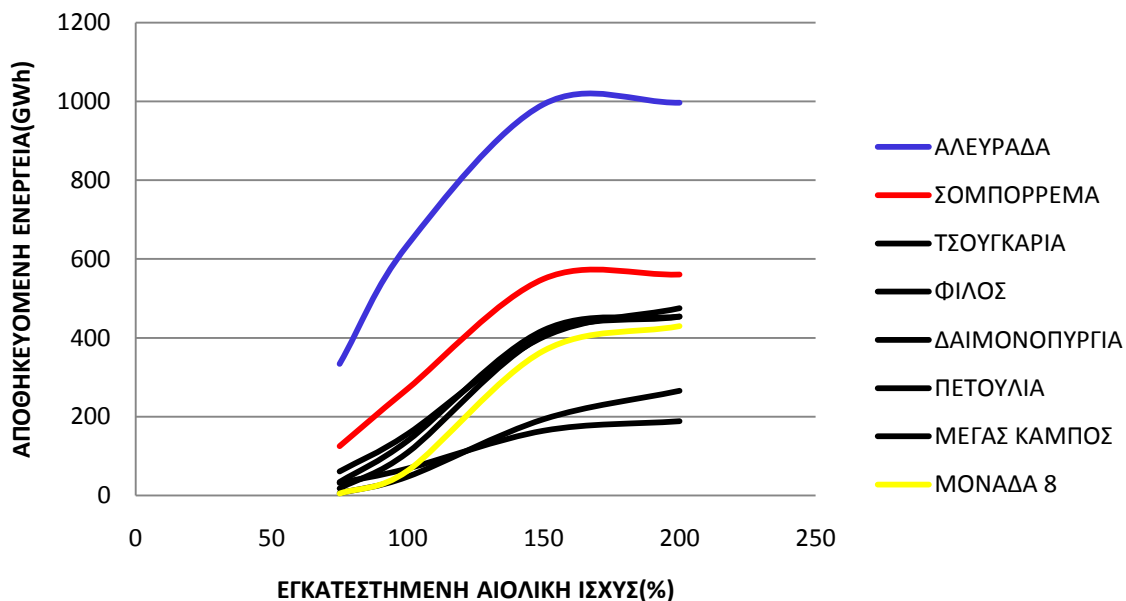
Το διάγραμμα 6.6 δείχνει σημαντική μείωση των απορρίψεων αιολικής παραγωγής με χρήση των αναστρέψιμων σταθμών αποθήκευσης ενέργειας, σε όλο το εύρος εγκατεστημένης αιολικής ισχύος. Επιπλέον παρατηρείται από το ίδιο διάγραμμα ότι μέχρι και για εγκατεστημένη ισχύ ίση με το μέσο ετήσιο φορτίο αξιοποιείται όλη η απορριπτόμενη ενέργεια. Στη συνέχεια αυξάνεται η αξιοποίηση της απορριπτομενης αιολικής ενέργειας μέχρι να γίνουν παράλληλες οι 2 καμπύλες(δηλαδή για ποσοστό περίπου 180%)όπου φτάνει το συγκρότημα στο όριο αποθήκευσης και δεν απορροφάει άλλη απορριπτόμενη αιολική ενέργεια.

Το επόμενο διάγραμμα(διάγραμμα 6.7α) παρουσιάζει το ποσοστό της αποθηκευόμενης ενέργειας ως προς την συνολική ενέργεια που απορρίπτεται και παρατηρείται ότι οι για σχετικά μικρή ισχύ εγκατεστημένων αιολικών η αναστρέψιμη μονάδα που εντάσσεται πρώτη απορροφά το μεγαλύτερο ποσοστό των απορρίψεων. Γενικά για όλες τις εγκατεστημένες ισχύεις οι αναστρέψιμες μονάδες που απορροφούν το μεγαλύτερο μέρος των απορρίψεων είναι οι δύο πρώτες. Σε μεγάλη εγκατεστημένη ισχύ αιολικών, η συνεισφορά όλων των μονάδων τείνει να γίνει ανάλογη της αποθηκευτικής τους ικανότητας. Το αμέσως επόμενο διάγραμμα (διάγραμμα 6.7β), που εκφράζει πάλι το ποσοστό της αποθηκευόμενης ενέργειας ως προς το σύνολο όμως της ενέργειας που αποθηκεύεται από όλες τις μονάδες και όχι ως προς το σύνολο της απορριφθείσας αιολικής ενέργειας, δείχνει ότι για μικρό ποσοστό εγκατεστημένης αιολικής ισχύος, το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας αποθηκεύεται από την πρώτη μονάδα, ενώ όσο αυξάνεται η εγκατεστημένη αιολική ισχύς, εκμεταλλευόμαστε όλες τις αναστρέψιμες μονάδες και οι καμπύλες γίνονται παράλληλες. Δηλαδή οι μονάδες φτάνουν στην μέγιστη αποθηκευτική τους ικανότητα. Αυτό συμβαίνει γιατί για υψηλά ποσοστά εγκατεστημένης αιολικής ισχύος, έχουμε και μεγάλες απορρίψεις αέρα και συνεπώς από κάποιο σημείο και μετά οι μονάδες δεν μπορούν να αποθηκεύσουν μεγαλύτερο ποσοστό ενέργειας.

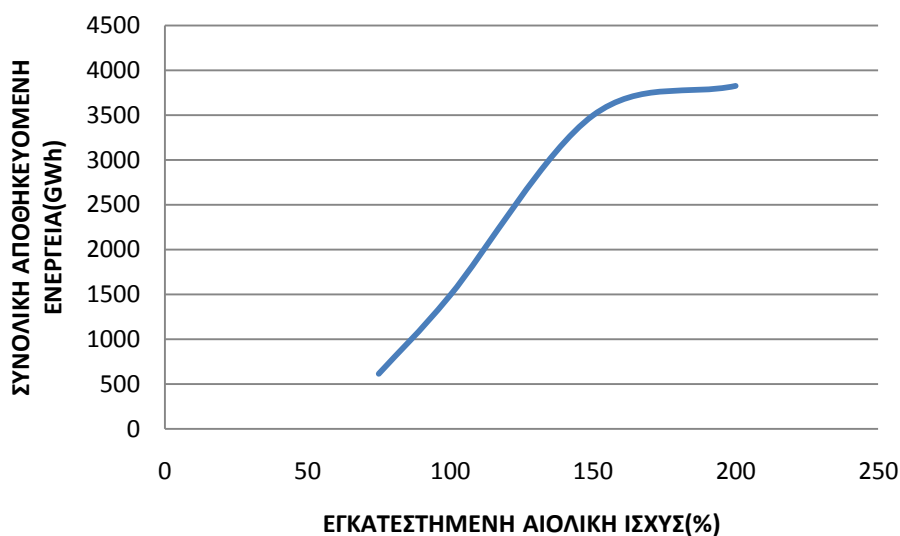
Το διάγραμμα 6.8 δείχνει ότι οι δύο πρώτες αναστρέψιμες μονάδες αξιοποιούνται καλύτερα, σε μεσαίες κυρίως τιμές της εγκατεστημένης ισχύος αιολικών. Ο βαθμός αξιοποίησης των μονάδων(capacity factor) δεν ξεπερνά το 43%. Αυτό συμβαίνει διότι όσο αυξάνεται η εγκατεστημένη αιολική ισχύς τόσο οι μονάδες φτάνουν στο μέγιστο ποσοστό που μπορούν να αξιοποιηθούν.

Η τελευταία μονάδα εμφανίζει μια προοδευτικά αυξανόμενη αξιοποίηση, πλησιάζοντας τις υπόλοιπες και μάλιστα για σχετικά υψηλή ισχύ αιολικών ξεπερνάει κάποιες από αυτές. Γενικά για υψηλή εγκατεστημένη ισχύ το CF όλων των μονάδων μεγαλώνει αισθητά, ενώ για εγκατεστημένη αιολική ισχύ διπλάσια και μεγαλύτερη του μέσου ετήσιου φορτίου παραμένει σταθερό. Στην περίπτωση αυτή υπάρχουν πολλές ώρες και μέρες του έτους κατά τις οποίες η απορριπτόμενη αιολική ενέργεια απορροφάται όσο το δυνατόν περισσότερο γίνεται από το συγκρότημα δηλαδή υπάρχει μέγιστη εκμετάλλευση της αναξιοποίητης αιολικής ενέργειας. Από ενεργειακής άποψης αυτό είναι και το ζητούμενο μιας τέτοιας εγκατάστασης. Συμπεραίνεται από το σχήμα ότι το όριο της αποθηκευτικής ικανότητας του συγκροτήματος είναι για  $R_{w,s}=1,8$  περίπου, δηλαδή για εγκατεστημένη ισχύ η οποία θα φτάνει τις 11500MW και πάνω οι αναστρέψιμες μονάδες θα πετύχουν τον ενεργειακό τους στόχο, αποθηκεύοντας το μέγιστο ποσοστό απορριφθείσας αιολικής ενέργειας.

Στη συνέχεια απεικονίζεται διαγραμματικά η απορριπτόμενη ενέργεια που αποθηκεύεται στην εκάστοτε αναστρέψιμη μονάδα σε GWh. Παρατηρούμε ότι, όπως ήταν αναμενόμενο, η μονάδα που εντάσσεται πρώτη στο σύστημα αποθηκεύει το μεγαλύτερο ποσοστό της αναξιοποίητης ενέργειας αέρα. Ουσιαστικά το διάγραμμα αυτό, επιβεβαιώνει τα αποτελέσματα που σχολιάστηκαν παραπάνω δίνοντας ακριβώς τα ποσά ενέργειας που αποθηκεύει η κάθε μονάδα ξεχωριστά, συναρτήσει του λόγου της εγκατεστημένης αιολικής ισχύος.



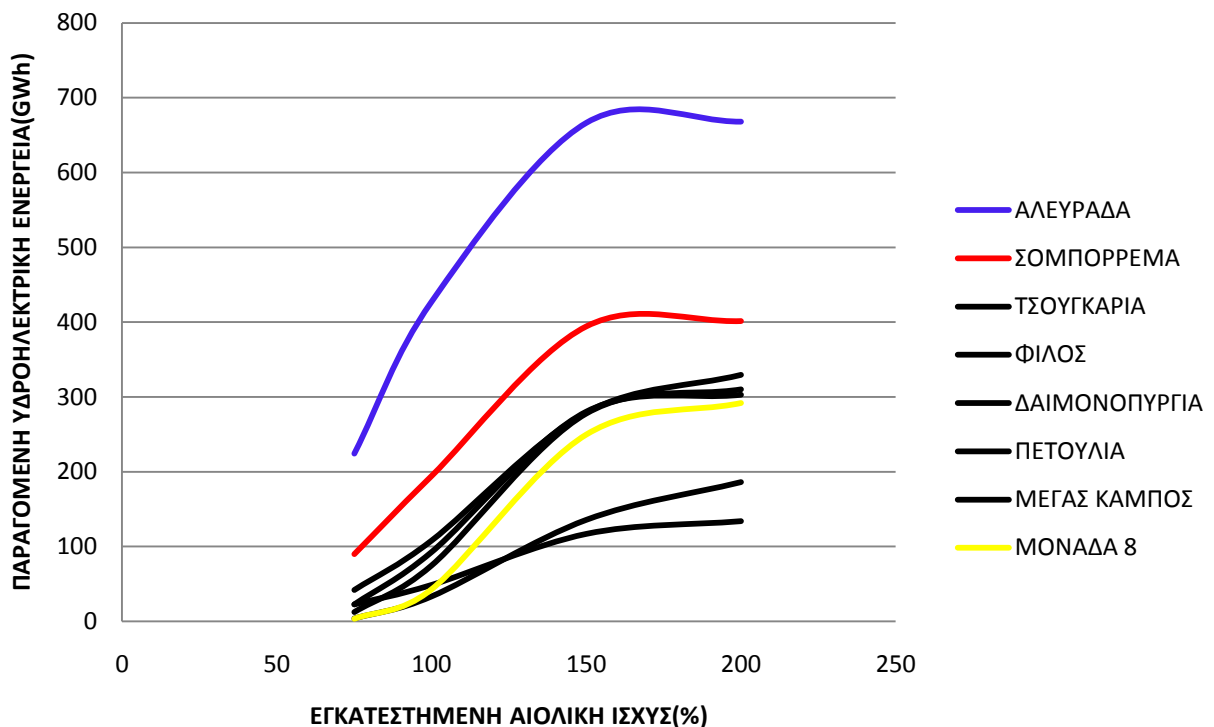
**Διάγραμμα 6.10** Απορριπτόμενη ενέργεια που αποθηκεύεται σε κάθε μονάδα συναρτήσει της εγκατεστημένης αιολικής ισχύος



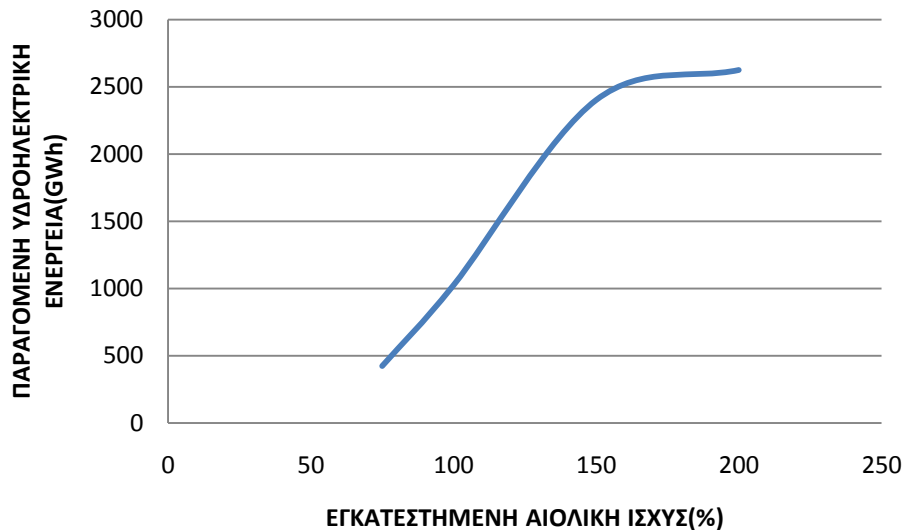
**Διάγραμμα 6.11** Συνολική απορριπτόμενη ενέργεια που αποθηκεύεται από το συγκρότημα συναρτήσει της εγκατεστημένης αιολικής ισχύος.

Συμπερασματικά, η απορριπτόμενη αιολική ενέργεια η οποία αποθηκεύεται από τις αναστρέψιμες μονάδες που εντάσσονται πρώτες είναι αρκετά μεγαλύτερη από αυτή που αποθηκεύεται στις υπόλοιπες μονάδες. Στον πρώτο αναστρέψιμο σταθμό(Καστράκι-Φράγμα Αλευράδα) αποθηκεύεται το μεγαλύτερο ποσοστό της απορριπτόμενης αιολικής ενέργειας για κάθε εγκατεστημένη ισχύ μέχρι που ξεπερνά τις 1000GWh ετησίως για περίπου  $R_{w-s}=1,5$ , ενώ για  $R_{w-s}$  ίσο και μεγαλύτερο του 2, η αποθηκευόμενη ενέργεια παραμένει σταθερή και ίση με 1000GWh. Γενικά παρατηρείται ότι όλες οι μονάδες όσο αυξάνεται η εγκατεστημένη αιολική ισχύς αποθηκεύουν και περισσότερη απορριπτόμενη ενέργεια και ομοίως με την πρώτη μονάδα για υψηλά ποσοστά εγκατεστημένης ισχύος η απορριπτόμενη ενέργεια παραμένει σταθερή. Αυτό συμβαίνει διότι από κάποια τιμή εγκατεστημένης ισχύος αιολικών και πάνω οι αντλητικές μονάδες αποθηκεύουν το μέγιστο που μπορούν ακόμα και αν οι απορρίψεις μεγαλώνουν. Στο σύνολό της η απορριπτόμενη αιολική ενέργεια που αποθηκεύεται παρουσιάζει την ίδια εικόνα, όπως είναι φυσικό, και φτάνει να αποθηκευονται συνολικά 3833,98 GWh ετησίως για υψηλές εγκατεστημένες ισχύεις αιολικών.(μέγιστο ποσό ενέργειας που μπορεί να αποθηκευτεί από το συγκρότημα)

Με τον ίδιο τρόπο γίνεται και η παραγωγή ενέργειας από τους υδροστροβίλους των αναστρέψιμων μονάδων.



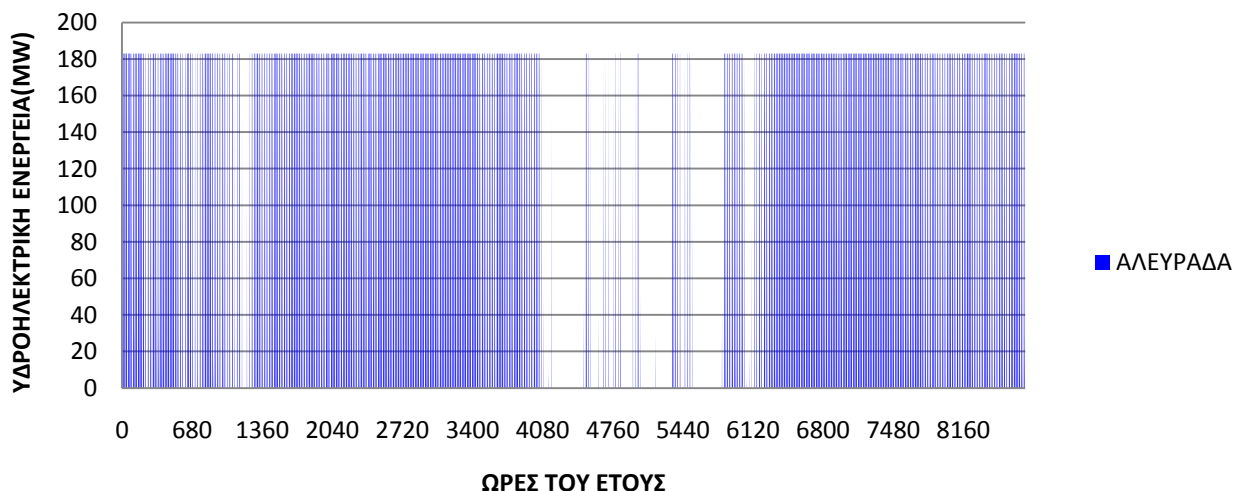
**Διάγραμμα 6.12** Παραγόμενη υδροηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από κάθε μονάδα συναρτήσεως της εγκατεστημένης αιολικής ισχύος

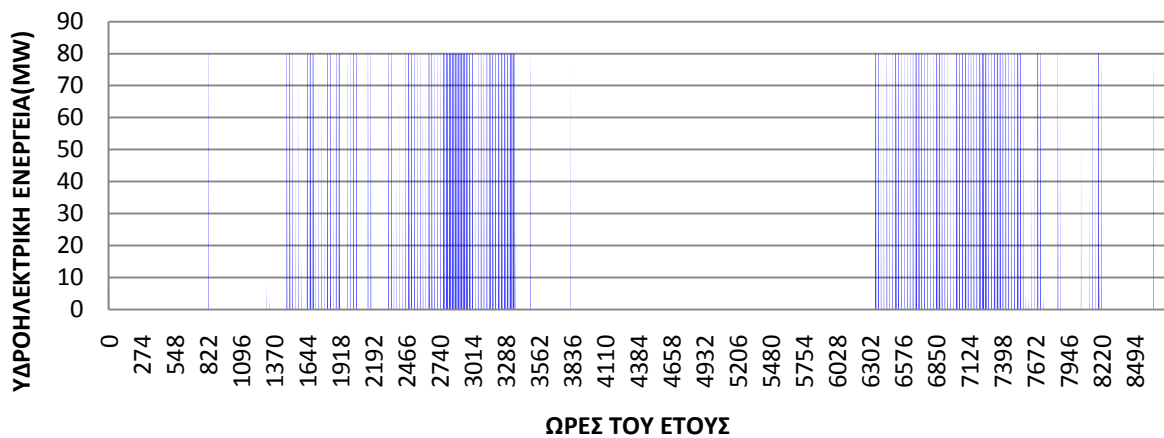


**Διάγραμμα 6.13** Συνολική παραγόμενη υδροηλεκτρική ενέργεια του συγκροτήματος που παράγεται συναρτήσει της εγκατεστημένης αιολικής ισχύος

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα 6.12, οι μονάδες οι οποίες εντάσσονται πρώτες παράγουν περισσότερη υδροηλεκτρική ενέργεια κατά την διάρκεια του έτους για κάθε εγκατεστημένη ισχύ αιολικών. Όπως είναι αναμενόμενο η ενέργεια που παράγεται από κάθε μονάδα είναι μικρότερη της ενέργειας που αποθηκεύεται σ' αυτήν διότι η διαδικασία αποθήκευσης της ενέργειας και στην συνέχεια της επαναπόδοσής της στην κατανάλωση γίνεται με την ανάπτυξη απωλειών με αποτέλεσμα η ενέργεια που αποδίδεται να είναι μικρότερη από την ενέργεια που αποθηκεύεται. Ως βαθμός απόδοσης του συστήματος αποθήκευσης ορίζεται ο λόγος της ενέργειας που αποδίδεται προς την ενέργεια που αποθηκεύεται. Η συνολική υδροηλεκτρική ενέργεια που παράγεται για εγκατεστημένη ισχύ μεγαλύτερη από διπλάσια του μέσου ετήσιου φορτίου και για υψηλές εγκατεστημένες ισχύεις αιολικών είναι 2631,65 GWh. (διάγραμμα 6.13). Άρα ο βαθμός απόδοσης του συγκροτήματος θα είναι  $2631,65/3834=0,68$ .

Ενδεικτικά παρουσιάζονται παρακάτω οι χρονοσειρές παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας για  $R_{w-s}=1$  για την πρώτη μονάδα αλλά και για τον αναστρέψιμο σταθμό Καστρακίου-Στράτου:





■ ΜΟΝΑΔΑ 8

**Διάγραμμα 6.12** Ωριαία χρονοσειρά παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας από 2 αναστρέψιμες μονάδες για  $R_{w-s}=1$

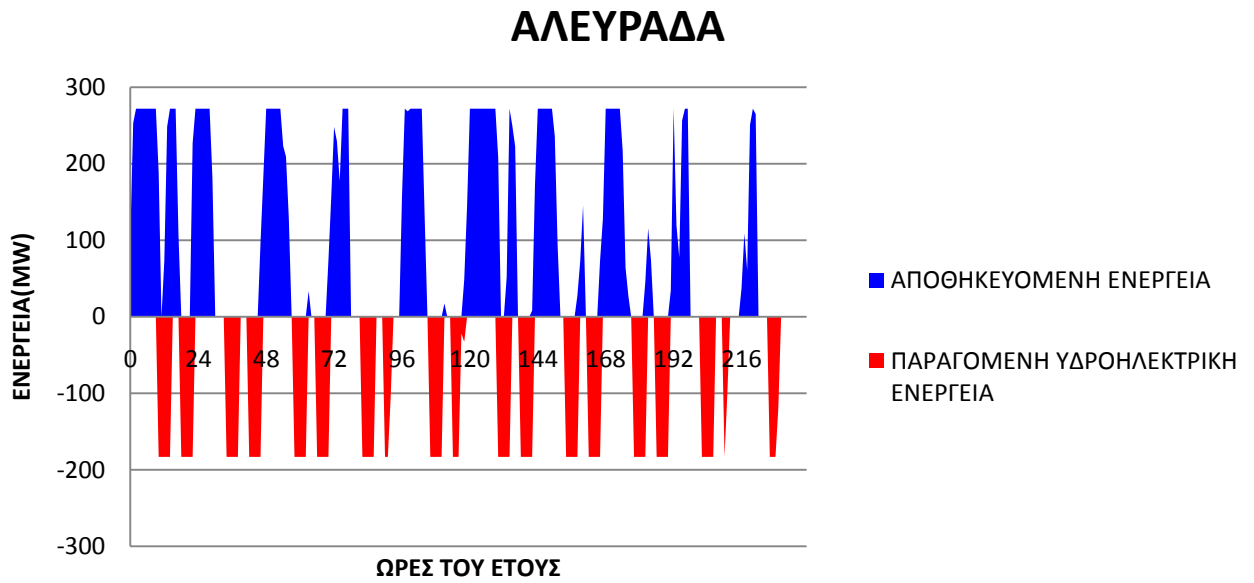
Για μεγαλύτερη εγκατεστημένη ισχύ οι μονάδες θα παρήγαγαν ενέργεια καθ'όλη την διάρκεια του έτους και μάλιστα όχι μόνο αυτή που εντάσσεται πρώτη αλλά οι περισσότερες από τις μονάδες του συγκροτήματος.

Παρ'όλα αυτά ακόμα και για τη μονάδα που εντάσσεται πρώτη στο σύστημα, κατά την διάρκεια της θερινής περιόδου παρατηρείται μηδενική σχεδόν παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας για την συγκεκριμένη εγκατεστημένη ισχύ αιολικών κάτι το οποίο ήταν αναμενόμενο καθώς από το σχήμα 5.5 φαίνεται ότι για  $R_{w-s}=1$  δεν έχουμε απορρίψεις κατά τη διάρκεια της συγκεκριμένης περιόδου.

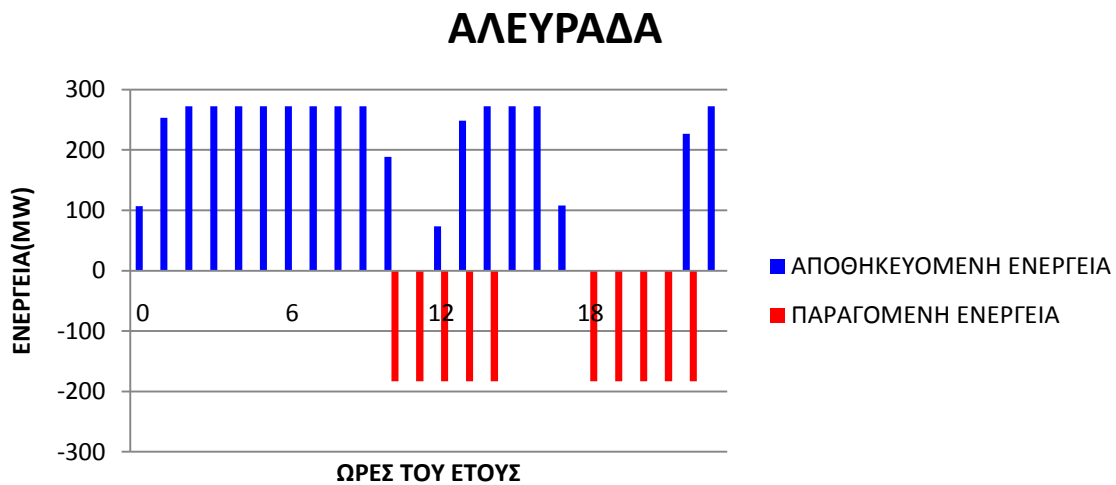
Για υψηλή εγκατεστημένη ισχύ ίση με 12676 MWh δηλαδή διπλάσια του μέσου ετήσιου φορτίου συμπεραίνεται ότι όλες οι μονάδες παράγουν υδροηλεκτρική ενέργεια καθ'όλη σχεδόν την διάρκεια του έτους. Είναι αναμενόμενο όσο μεγαλύτερη εγκατεστημένη ισχύ αιολικών έχουμε τόσο περισσότερη ενέργεια παράγεται μέχρι να πάρει σταθερή τιμή για ένα συγκεκριμένο υψηλό ποσοστό εγκατεστημένης ισχύος και πάνω. Αυτό συμβαίνει γιατί οι μονάδες φτάνουν στην μέγιστη παραγωγική τους ικανότητα μετά από μια συγκεκριμένη εγκατεστημένη ισχύ αιολικών ( $R_{w-s} \geq 2$ ).

Τέλος παρουσιάζονται διαγράμματα τα οποία δείχνουν σε μικρότερα χρονικά διαστήματα την άντληση και την παραγωγή ενέργειας από την πρώτη (Φράγμα Αλευράδα) αναστρέψιμη μονάδα αντίστοιχα για  $R_{w-s}=1$ :





**Διάγραμμα 6.13** Ωριαία χρονοσειρά αποθηκευόμενης και παραγόμενης ενέργειας κατά τη διάρκεια ενός 10ημέρου για  $R_{w-s}=1$



**Διάγραμμα 6.14** Ωριαία χρονοσειρά αποθηκευόμενης και παραγόμενης ενέργειας κατά τη διάρκεια ενός 24ώρου για  $R_{w-s}=1$

Παρατηρείται ότι η άντληση ενέργειας και η παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας όπως αναφέρεται και στα βασικά στοιχεία του αλγορίθμου δεν γίνεται ταυτόχρονα ενώ παράγεται υδροηλεκτρική ενέργεια τις ώρες αιχμής.

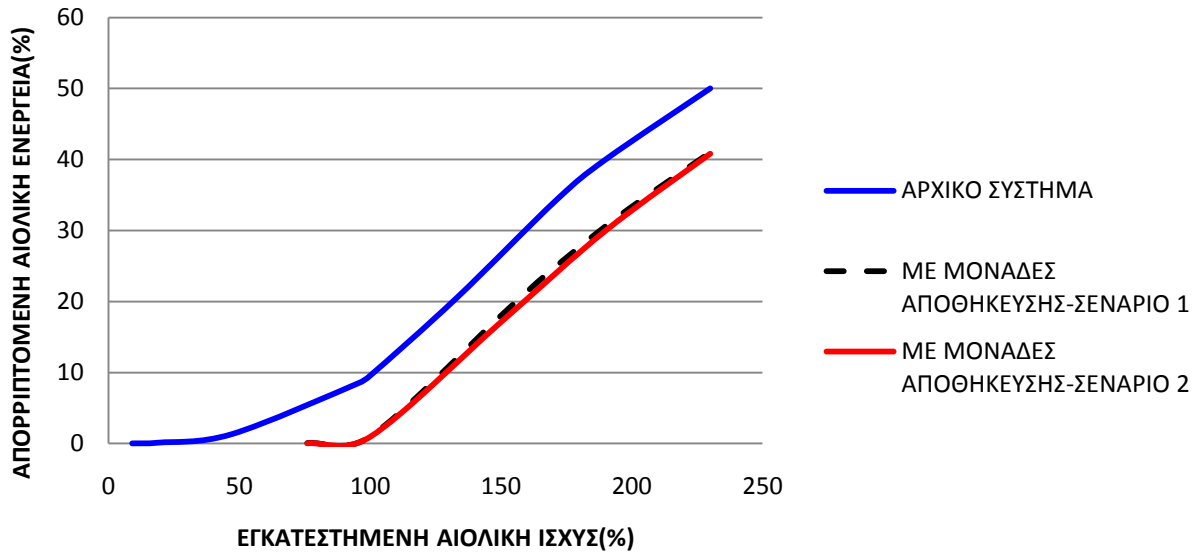
#### **6.4 ΣΕΝΑΡΙΟ 2:Αλλαγή της σειράς ένταξης των αναστρέψιμων σταθμών.Πρώτη να εντάσσεται η μονάδα 8.**

Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται ακριβώς η ίδια μελέτη με το προηγούμενο με διαφορετική σειρά ένταξης των αναστρέψιμων σταθμών. Επειδή οι αναστρέψιμες μονάδες είναι αρκετές σε πλήθος και θα μπορούσε η σειρά ένταξης τους να ποικίλλει επιλέξαμε να εντάσσεται πρώτος ο αναστρέψιμος σταθμός του Καστρακίου, ο οποίος αντλεί νερό από τον ταμιευτήρα του Στράτου. Οι υπόλοιπες μονάδες παραμένουν στη ίδια σειρά όπως παρουσιάζεται παρακάτω:

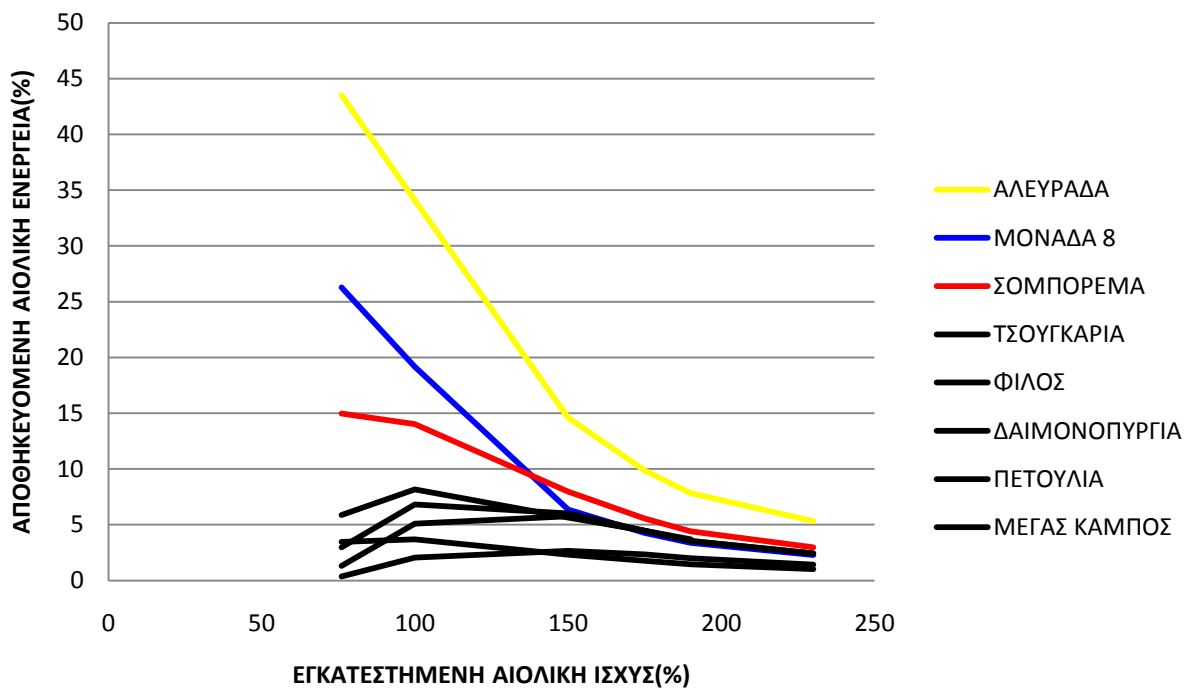
	<b>Κάτω δεξαμενή</b>	<b>Τύπος άνω δεξαμενής</b>
1	Στράτος	Δεξαμενή Καστρακίου
2	Καστράκι	Φράγμα Αλευράδα
3	Καστράκι	Φράγμα Σομπόρρεμα
4	Καστράκι	Δεξαμενή Τσουγκάρια
5	Καστράκι	Δεξαμενή Δαιμονοπύργια
6	Καστράκι	Φράγμα Δαιμονοπύργια
7	Καστράκι	Φράγμα Πετούλια
8	Καστράκι	Δεξαμενή Μέγας Κάμπος

Είναι σημαντικό να υπογραμμιστεί ότι οι υδροστροβίλοι των αναστρέψιμων σταθμών εξακολουθούν να λειτουργούν μόνο τις ώρες αιχμής.

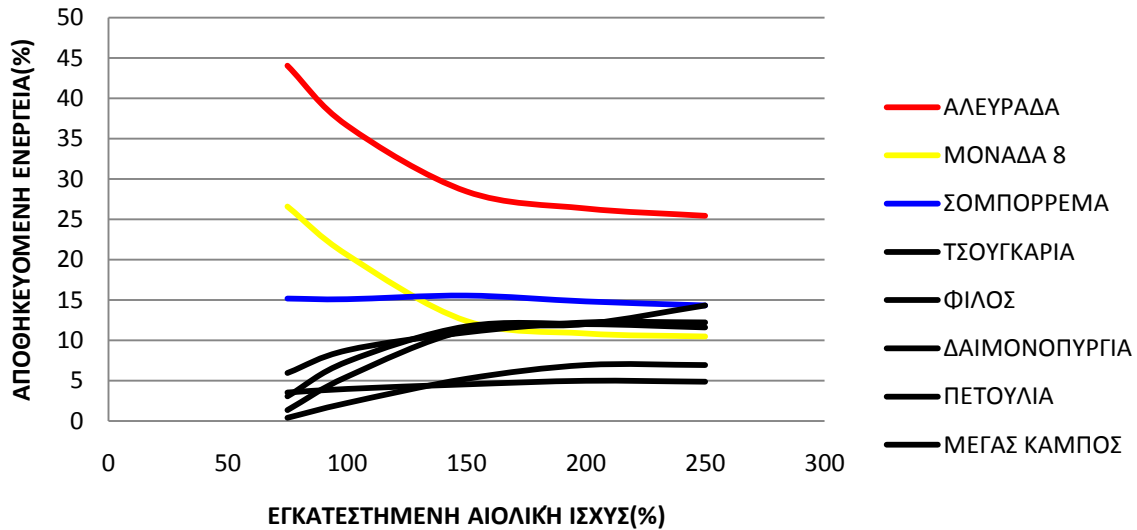
Τα αντίστοιχα διαγράμματα για την αποθήκευση ενέργειας από τις αντλίες των αναστρέψιμων σταθμών απεικονίζονται αμέσως μετά:



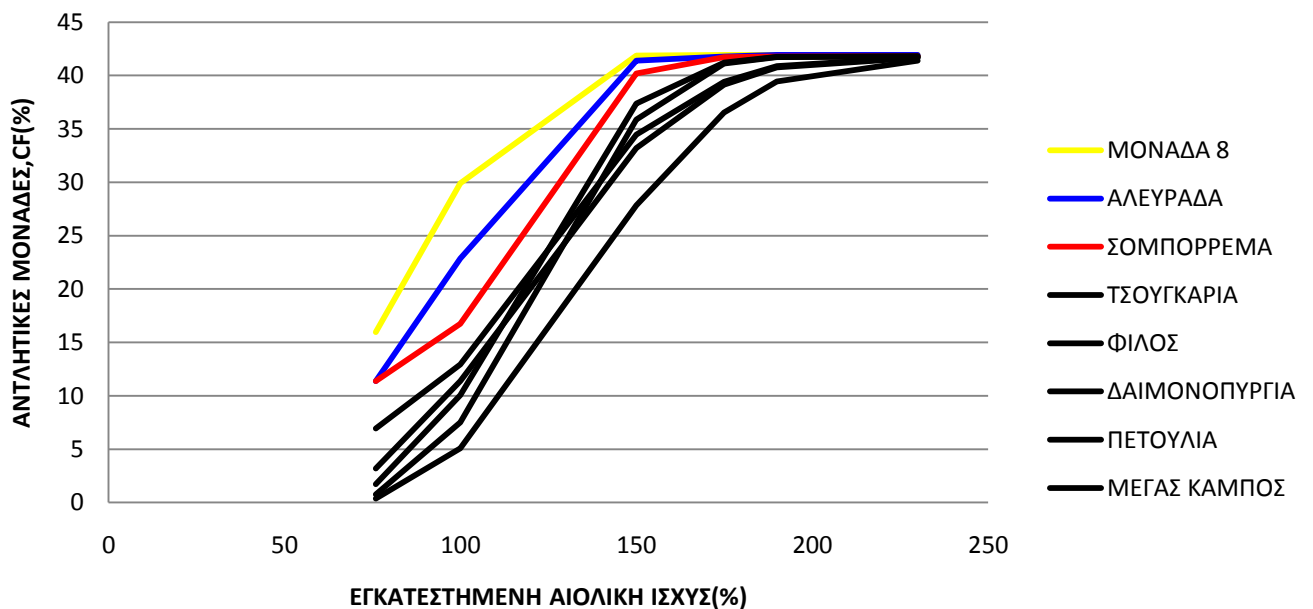
**Διάγραμμα 6.15** Ποσοστό απορριπτόμενης αιολικής παραγωγής, ως συνάρτηση της εγκατεστημένης αιολικής ισχύος, ως ποσοστό % της μέσης ετήσιας ζήτησης φορτίου του δικτύου.



**Διάγραμμα 6.16α** Ποσοστό της απορριπτόμενης αιολικής παραγωγής που αποθηκεύεται από κάθε αναστρέψιμη μονάδα, ως συνάρτηση της εγκατεστημένης αιολικής ισχύος.



**Διάγραμμα 6.16β** Ποσοστό της απορριπτόμενης αιολικής παραγωγής που αποθηκεύεται από κάθε αναστρέψιμη μονάδα προς τη συνολική αποθηκευόμενη ενέργεια, ως συνάρτηση της εγκατεστημένης αιολικής ισχύος.



**Διάγραμμα 6.17** Βαθμός αξιοποίησης (capacity factor) των αντλιών των αναστρέψιμων μονάδων του Καστρακίου, ως συνάρτηση της εγκατεστημένης αιολικής ισχύος.

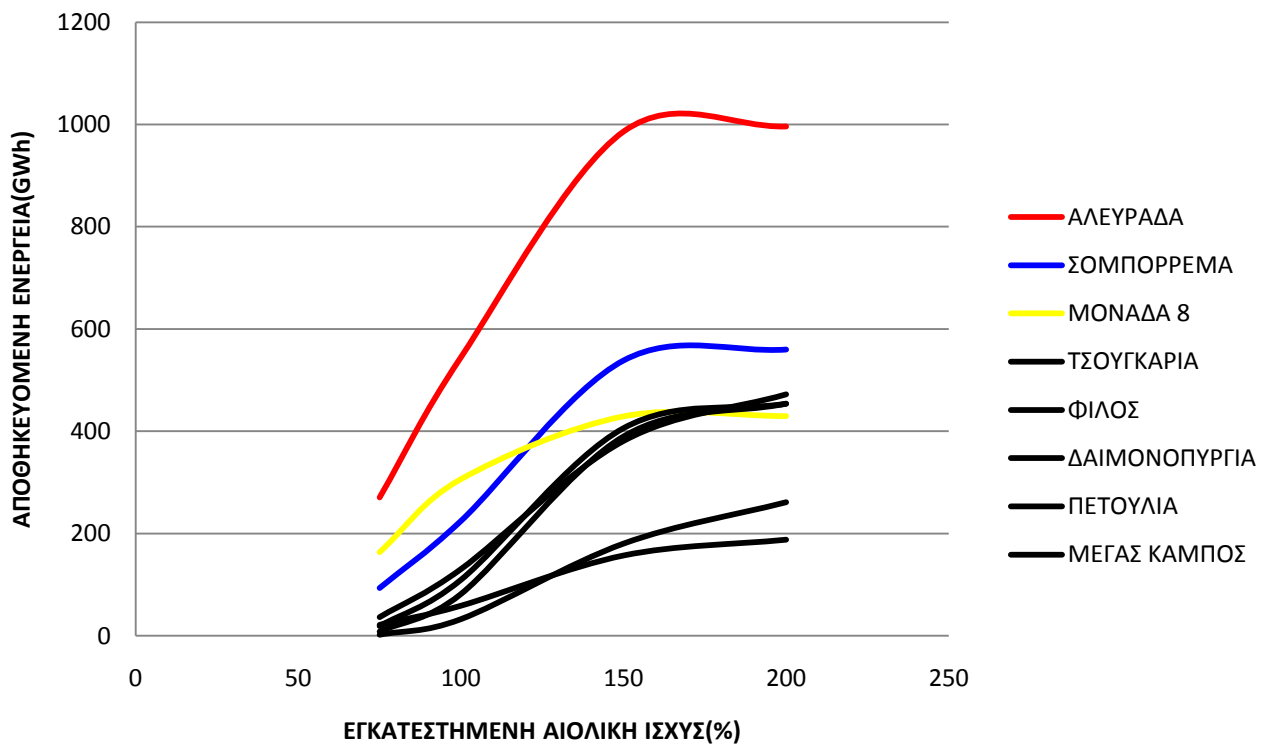
Στο διάγραμμα 6.15 φαίνεται ότι όταν η πρώτη μονάδα που εντάσσεται είναι η μονάδα 8, παρατηρείται η ίδια μείωση των απορρίψεων αιολικής παραγωγής με χρήση των

αναστρέψιμων σταθμών αποθήκευσης ενέργειας, σε σχέση με την μείωση που παρατηρήθηκε στο προηγούμενο σενάριο.

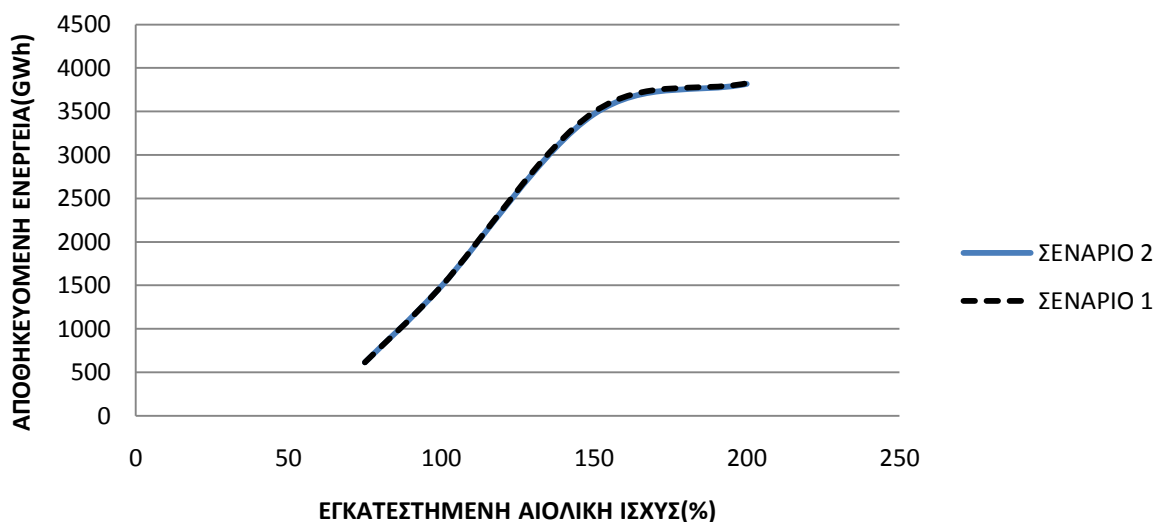
Στο επόμενο διάγραμμα(6.16) φαίνεται ομοίως με το προηγούμενο σενάριο ότι για σχετικά μικρή ισχύ εγκατεστημένων αιολικών η αναστρέψιμη μονάδα που εντάσσεται πρώτη(η μονάδα 8) απορροφά αισθητά μεγαλύτερο ποσοστό απορρίψεων σε σχέση με το προηγούμενο σενάριο, σύμφωνα με το οποίο η μονάδα αυτή εντασσόταν στο σύστημα τελευταία.

Το τελευταίο σχήμα δείχνει ότι οι τρεις πρώτες αναστρέψιμες μονάδες αξιοποιούνται καλύτερα, σε μεσαίες κυρίως τιμές της εγκατεστημένης ισχύος αιολικών. Ο βαθμός αξιοποίησης των μονάδων(capacity factor) και σε αυτήν την περίπτωση δεν ξεπερνά το 43%. Ο βαθμός αξιοποίησης της μονάδας 8 στο παρόν σενάριο είναι αρκετά μεγαλύτερο για όλο το εύρος των εγκατεστημένων αιολικών ισχύων που εξετάζονται λόγω της διαφορετικής σειράς ένταξής του στο σύστημα.

Η παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας από τους υδροστροβίλους των αναστρέψιμων σταθμών απεικονίζονται στη συνέχεια:



**Διάγραμμα 6.18** Απορριπτόμενη ενέργεια που αποθηκεύεται σε κάθε μονάδα συναρτήσει της εγκατεστημένης αιολικής ισχύος



**Διάγραμμα 6.19** Συνολική απορριπτόμενη ενέργεια που αποθηκεύεται από το συγκρότημα συναρτήσει της εγκατεστημένης αιολικής ισχύος.

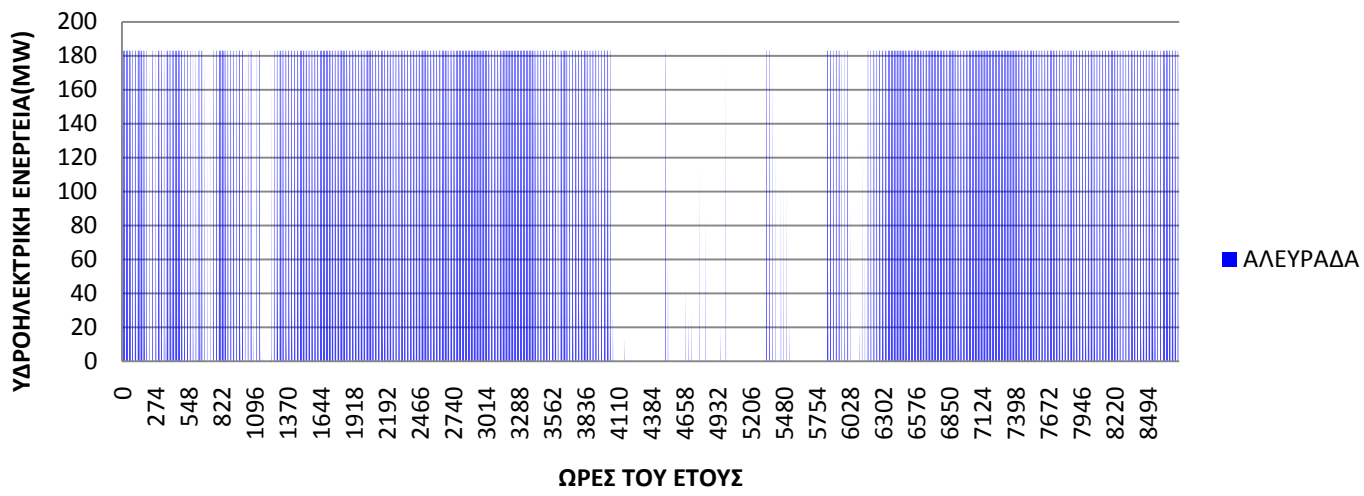
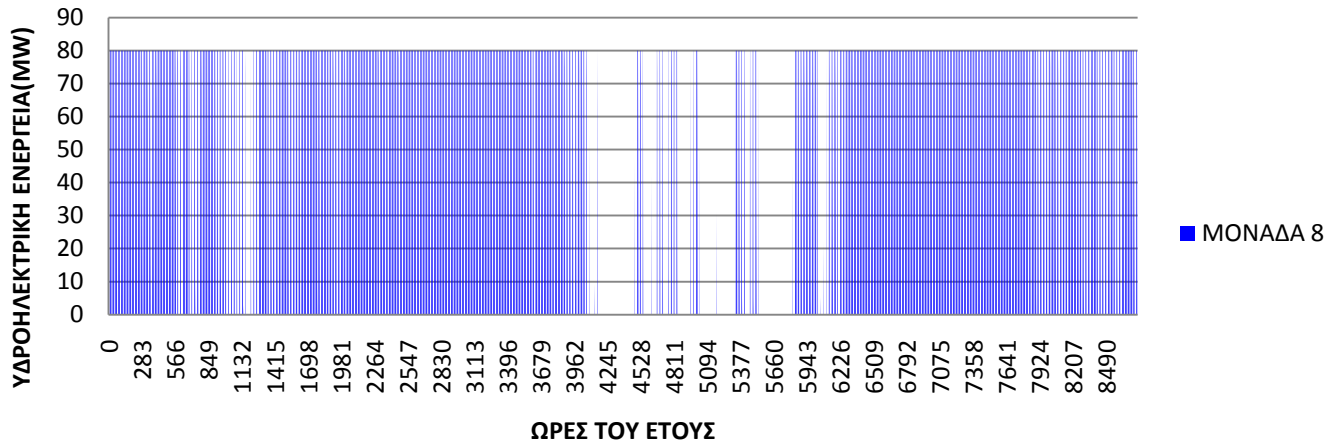
Όπως φαίνεται στο πρώτο από τα 2 διαγράμματα(6.18) το Φράγμα Αλευράδα εξακολουθεί να αποθηκεύει περισσότερη απορριπτόμενη ενέργεια από τις υπόλοιπες μονάδες,έχοντας μεγαλύτερη αποθηκευτική ικανότητα), ενώ και το Φράγμα Σομπόρρεμα, που εντάσσεται τρίτο για  $R_{w-s} \geq 1,2$  περίπου αποθηκεύει περισσότερη απορριπτόμενη ενέργεια από την μονάδα 8 αλλά και από τις υπόλοιπες 5 μονάδες για τον ίδιο λόγο. Η μονάδα 8, η οποία στο συγκεκριμένο σενάριο εντάσσεται πρώτη, για  $R_{w-s} \leq 1,5$  αποθηκεύει ενέργεια περισσότερη από τις 5 υπολλειπόμενες μονάδες,ενώ αρχικά αποθηκεύει περισσότερη απορριπτόμενη ενέργεια από αυτή στο σενάριο 1 για ίδια εγκατεστημένη αιολική ισχύς.

Στο διάγραμμα 6.19 παρατηρείται ότι για εγκατεστημένη ισχύ μέχρι και διπλάσια του μέσου ετήσιου φορτίου και όταν η μονάδα που εντάσσεται πρώτη είναι η μονάδα 8, η ενέργεια που αποθηκεύεται στο συγκρότημα είναι περίπου ίση με την περίπτωση που η μονάδα 8 εντάσσεται τελευταία. Για παράδειγμα, για υψηλό ποσοστό εγκατεστημένης αιολικής ισχύος αποθηκεύεται σχεδόν η ίδια απορριπτόμενη ενέργεια από το συγκρότημα και πιο συγκεκριμένα αποθηκεύονται 3940,2009 GWh ετησίως έναντι 3833,9867GWh του σεναρίου 1.

Η υδροηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τους υδροστοβίλους των αναστρέψιμων σταθμών παρουσιάζει ανοδική πορεία όσο αυξάνεται η εγκατεστημένη δύναμη αέρα συναρτήσει του μέσου ετήσιου φορτίου. (ίδια εικόνα με προηγούμενο σενάριο)

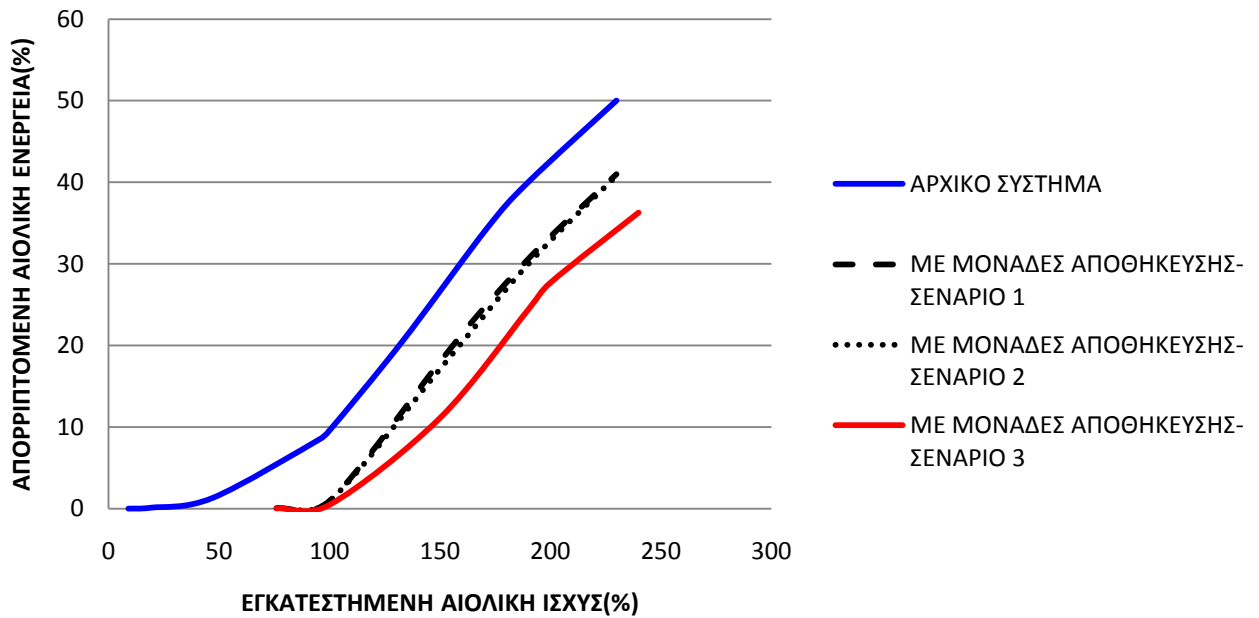
Η παραγόμενη υδροηλεκτρική ενέργεια για πού υψηλό ποσοστό εγκατεστημένης ισχύος αιολικών είναι ίση με 6972,9GWh δηλαδή ελάχιστα μεγαλύτερη από αυτήν που παράγεται στο παραπάνω σενάριο(2631,65 GWh)

Οι χρονοσειρές παραγωγής ενέργειας από τους υδροστροβίλους των αναστρέψιμων σταθμών είναι όμοιες με του σεναρίου 1 και ενδεικτικά παρουσιάζονται παρακάτω της μονάδας 8 αλλά και του Φράγματος Αλευράδα:

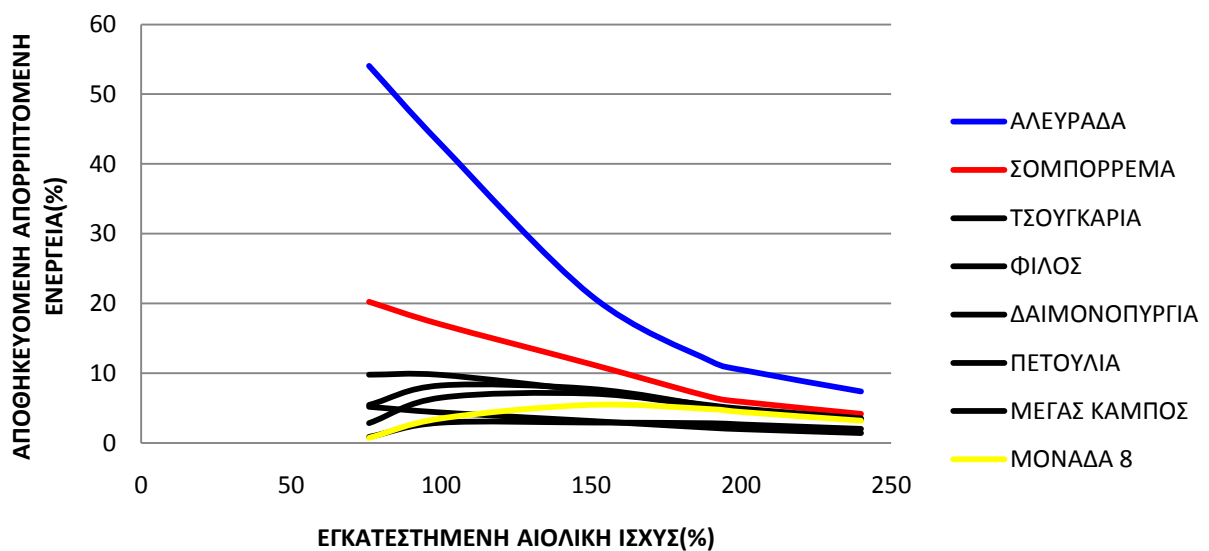


**Διάγραμμα 6.20** Ωριαία χρονοσειρά παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας από 2 αναστρέψιμες μονάδες για  $R_{w,s}=1$

**6.4 ΣΕΝΑΡΙΟ 3: Ένταξη των υδροτροβίλων των αναστρέψιμων σταθμών σε διάστημα 14 ωρών ημερησίως (δηλαδή 9:00π.μ-23:00μ.μ)**

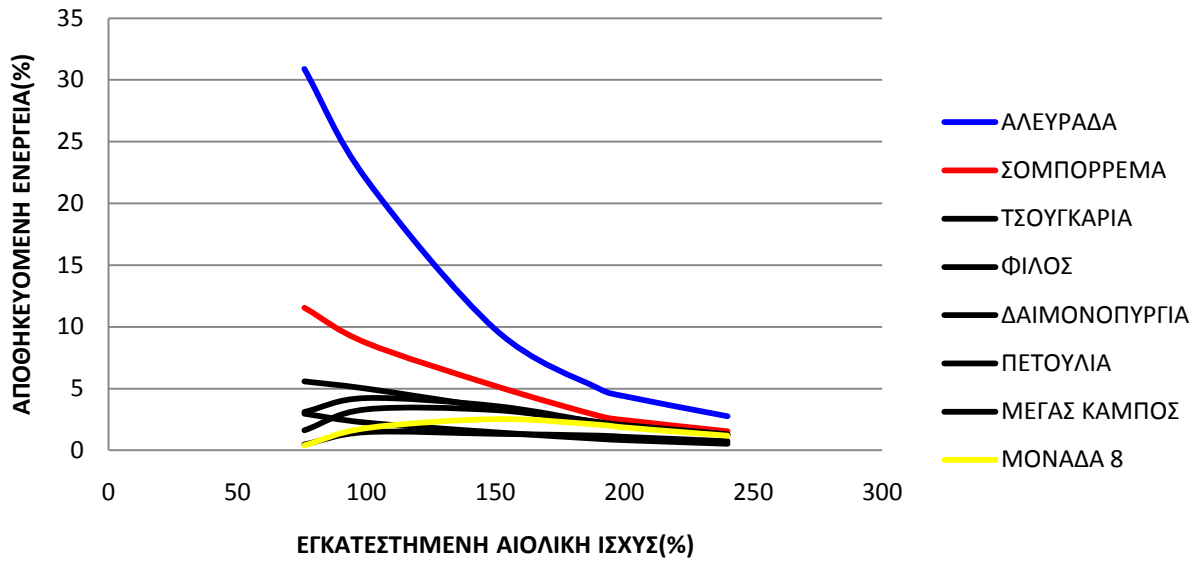


**Διάγραμμα 6.21** Ποσοστό απορριπτόμενης αιολικής παραγωγής, ως συνάρτηση της εγκατεστημένης αιολικής ισχύος, ως ποσοστό % της μέσης ετήσιας ζήτησης φορτίου του δικτύου.

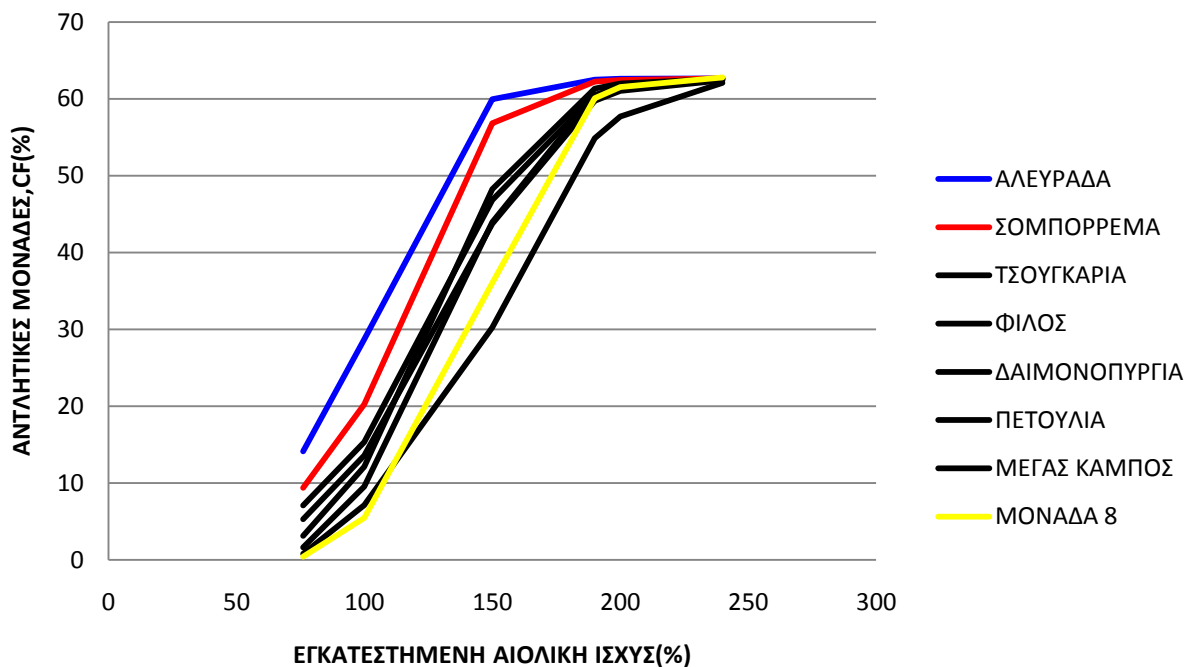


**Διάγραμμα 6.22α** Ποσοστό της απορριπτόμενης αιολικής παραγωγής που αποθηκεύεται από κάθε αναστρέψιμη μονάδα, ως συνάρτηση της εγκατεστημένης αιολικής ισχύος.



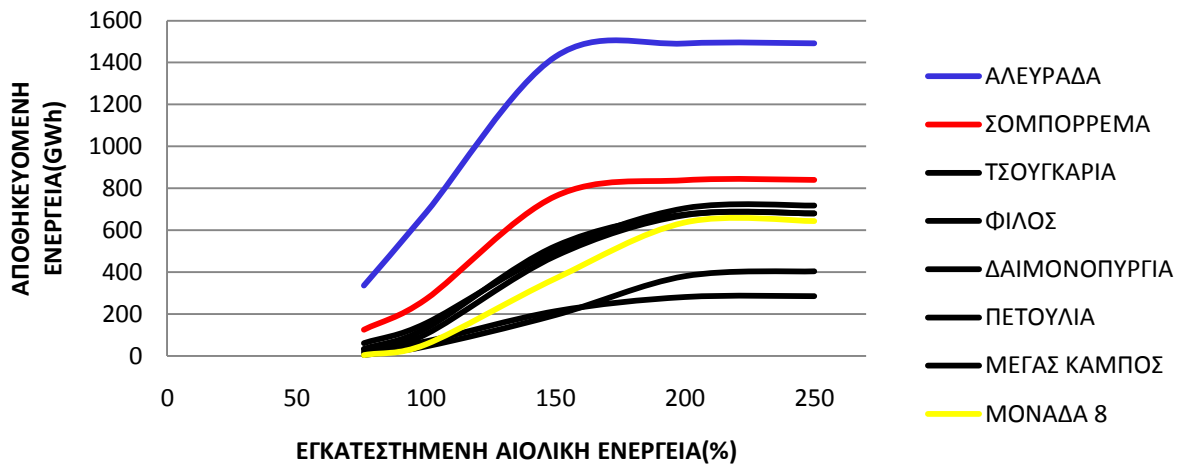


**Διάγραμμα 6.22β** Ποσοστό της απορριπτόμενης αιολικής παραγωγής που αποθηκεύεται από κάθε αναστρέψιμη μονάδα προς τη συνολική αποθηκευόμενη ενέργεια, ως συνάρτηση της εγκατεστημένης αιολικής ισχύος.

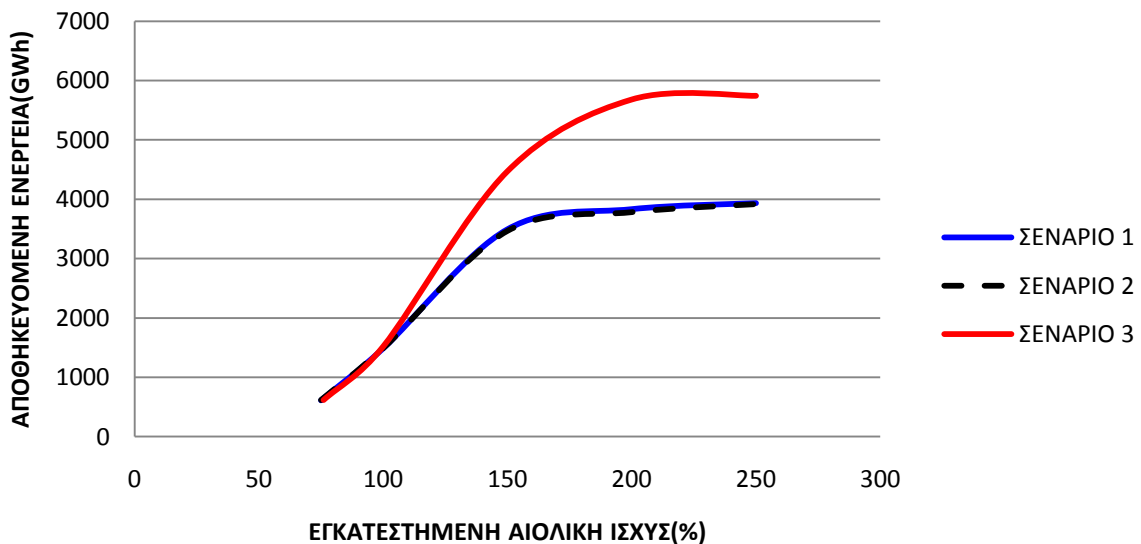


**Διάγραμμα 6.23** Βαθμός αξιοποίησης (capacity factor) των αντλιών των αναστρέψιμων μονάδων του Καστρακίου, ως συνάρτηση της εγκατεστημένης αιολικής ισχύος.

Από τα διαγράμματα που παρατίθενται παραπάνω είναι εμφανές ότι το ποσοστό της απορριπτόμενης ενέργειας που αποθηκεύεται στο σύστημα όταν αυτό λειτουργεί από τις 09:00π.μ μέχρι τις 23:00μ.μ (δηλαδή 14 ώρες ημερησίως) είναι αισθητά μεγαλύτερο από αυτό που αποθηκεύεται στα δύο προηγούμενα σενάρια. Ο παράγοντας αξιοποίησης των αντλητικών μονάδων(CF) φτάνει το 63% , ποσοστό πολύ μεγαλύτερο από το 43% των δύο προηγούμενων περιπτώσεων.

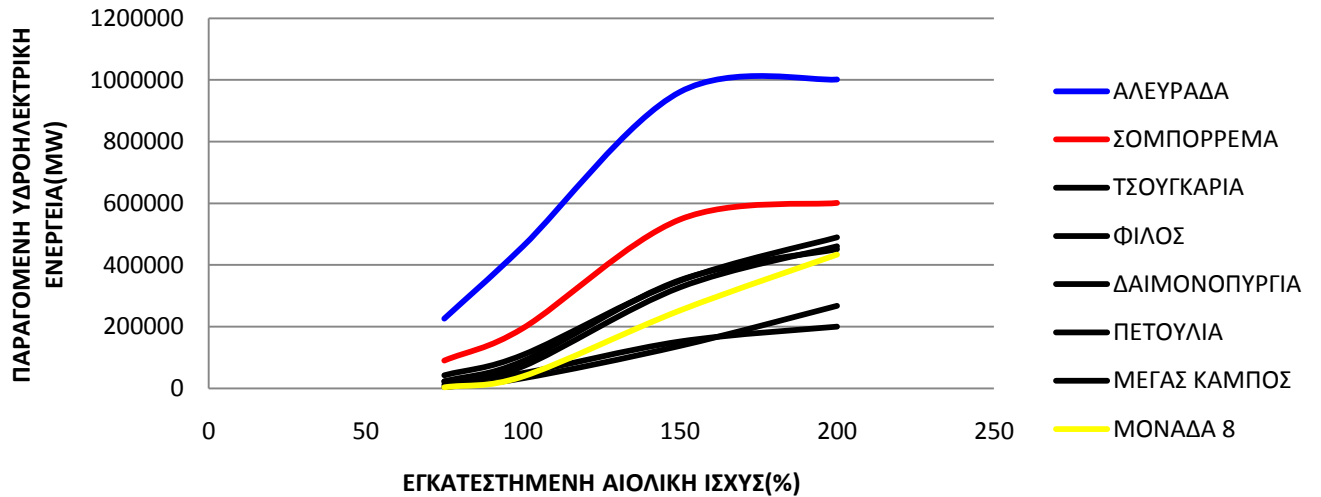


**Διάγραμμα 6.24** Απορριπτόμενη ενέργεια που αποθηκεύεται σε κάθε μονάδα συναρτήσει της εγκατεστημένης αιολικής ισχύος.

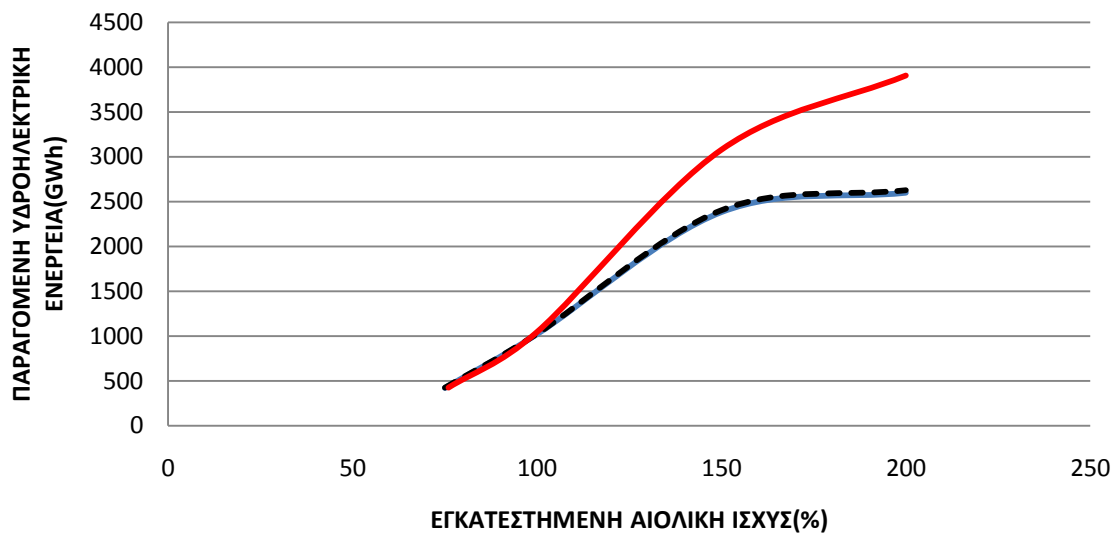


**Διάγραμμα 6.25** Συνολική απορριπτόμενη ενέργεια που αποθηκεύεται από το συγκρότημα συναρτήσει της εγκατεστημένης αιολικής ισχύος.

Η παραγόμενη υδροηλεκτρική ενέργεια παίρνει σαφώς μεγαλύτερες τιμές στο τρίτο σενάριο λόγω λειτουργίας των σταθμών αρκετά περισσότερων ωρών. Το συμπέρασμα υπό προκύπτει από την μέλετη των ακόλουθων διαγραμμάτων:

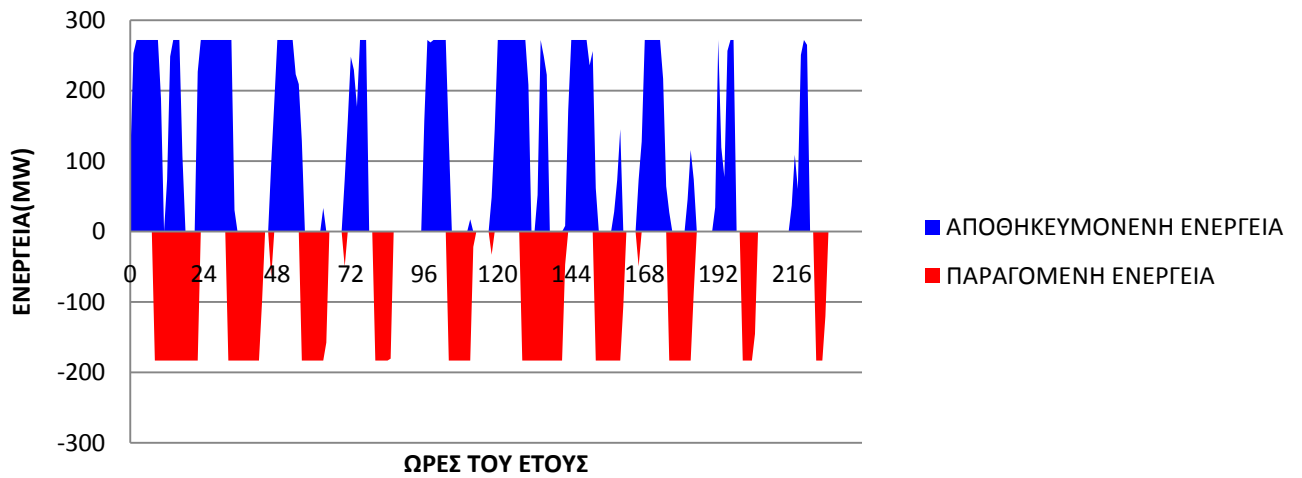


**Διάγραμμα 6.26** Παραγόμενη υδροηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από κάθε μονάδα συναρτήσει της εγκατεστημένης αιολικής ισχύος.



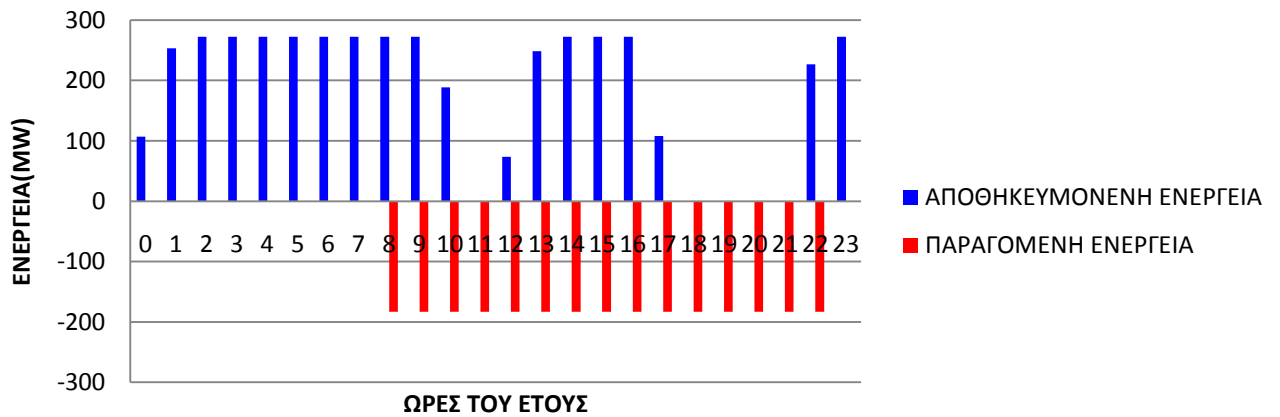
**Διάγραμμα 6.27** Συνολική παραγόμενη υδροηλεκτρική ενέργεια του συγκροτήματος που παράγεται συναρτήσει της εγκατεστημένης αιολικής ισχύος

## ΑΛΕΥΡΑΔΑ



**Διάγραμμα 28** Ωριαία χρονοσειρά αποθηκευόμενης και παραγόμενης ενέργειας κατά τη διάρκεια ενός 10ημερου για  $R_{w,s}=1$

## ΑΛΕΥΡΑΔΑ



**Διάγραμμα 29** Ωριαία χρονοσειρά αποθηκευόμενης και παραγόμενης ενέργειας κατά τη διάρκεια ενός 24ώρου για  $R_{w,s}=1$

Στα σχήματα 28 και 29 παρατηρείται ότι για ένταξη των υδροστροβίλων των αναστρέψιμων σταθμών σε διάστημα 14 ωρών ημερησίως (δηλαδή 9:00π.μ-23:00μ.μ), παράγεται υδροηλεκτρική ενέργεια περισσότερες ώρες ημερησίως. Επιπλέον φαίνεται ότι το ποσό της απορριπτόμενης ενέργειας το οποίο αποθηκεύεται δεν φτάνει το μέγιστο(272 MW) για κάθε ώρα άντλησης.

## 6.5 Τελικά αποτελέσματα

### 6.5.1 Τελικά αποτελέσματα του Σεναρίου 1

ΑΠΟΘΗΚΕΥΟΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ(GWh)									
	1.Αλευράδα	2.Σομπόρρεμα	3.Γσουγκαριά	4.Φίλος	5.Δαίμονοπύργια	6.Πετούλια	7.Μέγας Κάμπος	8.Μονάδα 8	Σύνολο
<b>R<sub>w</sub></b>									
<b>0,75</b>	333,621	125,2153	32,09472	60,63192	34,28019	18,08877	5,390489	4,822524	614,1449
<b>1</b>	635,5059	270,5993	68,74206	155,7889	138,7963	190,154	47,46186	62,64695	1488,695
<b>1,5</b>	992,1302	549,2008	164,7376	402,4092	419,1175	405,828	193,2438	366,8429	2102,84
<b>2</b>	996,0912	560,301	188,8862	475,1495	453,84	453,84	265,3861	429,6207	3823,115
<b>2,5</b>	996,0912	560,3013	190,1016	478,9229	454,088	454,088	270,5366	429,858	3833,988
<b>3</b>	996,0912	560,3013	190,1016	478,4229	454,088	454,088	270,5366	429,858	3833,98

**ΠΙΝΑΚΑΣ 6.5.1** Απορριπτόμενη ενέργεια που αποθηκεύεται σε κάθε αναστρέψιμη μονάδα

### ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ(GWh)

	1.Αλευράδα	2.Σομπόρρεμα	3.Τσουγκαριά	4.Φίλος	5.Δαιμονοπύργια	6.Πετούλια	7.Μέγας Κάμπος	8.Μονάδα 8	Σύνολο
<b>R<sub>w-s</sub></b>									
<b>0,75</b>	224,4582	90,02406	22,83663	42,11836	22,94561	12,39956	3,787911	3,297453	421,8678
<b>1</b>	427,5646	194,5485	48,91262	108,2198	92,90398	74,82334	33,35158	42,83552	1023,16
<b>1,5</b>	666,4274	394,3993	117,1802	279,4807	280,3723	278,0186	135,7929	249,8438	2401,515
<b>2</b>	667,95	401,5	134,2217	329,6848	302,95	310,25	186,2847	292	2624,841
<b>2,5</b>	667,95	401,5	135,05	332,15	302,95	310,25	189,8	292	2631,65
<b>3</b>	667,95	401,5	135,05	332,15	302,95	310,25	189,8	292	2631,65

**ΠΙΝΑΚΑ 5.5.2** Παραγόμενη υδροηλεκτρική ενέργεια από κάθε αναστρέψιμη μονάδα

### 6.5.2 Τελικά αποτελέσματα Σεναρίου 2

### ΑΠΟΘΗΚΕΥΟΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ(GWh)

	1.Μονάδα 8	2.Αλευράδα	3.Σομπόρρεμα	4.Τσουγκαριά	5. Φίλος	6.Δαιμονοπύργια	7. Πετούλια	8.Μέγας Κάμπος	Σύνολο
<b>R<sub>w-s</sub></b>									
<b>0,75</b>	163,6043	270,9217	93,25122	21,64411	36,60442	18,64921	8,257446	2,336274	615,3436
<b>1</b>	306,4727	544,8686	224,4642	58,95156	130,476	109,2349	81,56725	32,85599	1488,991
<b>1,5</b>	429,3143	986,1098	538,6457	156,954	381,0299	406,0986	389,6117	180,466	3814,881
<b>2</b>	429,858	996,0419	560,0348	187,8557	472,0996	453,84	453,8247	261,3262	3833,115
<b>2,5</b>	429,858	996,0912	560,3013	190,1016	478,9229	454,088	560,3013	270,5366	3940,201
<b>3</b>	429,858	996,0912	560,3013	190,1016	478,9229	454,088	560,3013	270,5366	3940,201

**ΠΙΝΑΚΑΣ 6.5.3** Απορριπτόμενη ενέργεια που αποθηκεύεται σε κάθε αναστρέψιμη μονάδα

### ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ(GWh)

	1.Μονάδα 8	2.Αλευράδα	3.Σομπόρρεμα	4.Τσουγκαριά	5. Φύλος	6.Δαιμονοπύργια	7.Πετούλια	8.Μέγας Κάμπος	Σύνολο
<b>R<sub>w-s</sub></b>									
<b>0,75</b>	111,8662	182,2745	67,04336	15,40062	25,4275	12,48294	5,660345	1,641706	421,7972
<b>1</b>	209,554	366,5844	161,3795	41,9463	90,63599	73,11688	55,91304	23,08799	1022,218
<b>1,5</b>	292	6662,6409	386,8891	111,6683	264,6849	271,658	266,9903	126,814	2383,346
<b>2</b>	292	667,95	401,5	133,5259	327,5922	302,95	310,25	183,5251	2619,293
<b>2,5</b>	292	667,95	401,5	135,05	332,15	302,95	351,5	189,8	2672,9
<b>3</b>	292	667,95	401,5	135,05	332,15	302,95	351,5	189,8	2672,9

**ΠΙΝΑΚΑΣ 6.5.4** Παραγόμενη υδροηλεκτρική ενέργεια από κάθε αναστρέψιμη μονάδα

### 6.5.3 Τελικά αποτελέσματα Σεναρίου 3

### ΑΠΟΘΗΚΕΥΟΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ(GWh)

	1.Αλευράδα	2.Σομπόρρεμα	3.Τσουγκαριά	4.Φύλος	5.Δαιμονοπύργια	6.Πετούλια	7.Μέγας Κάμπος	8.Μονάδα 8	Σύνολο
<b>R<sub>w-s</sub></b>									
<b>0,75</b>	336,6198	125,9362	32,33392	60,99142	33,86452	17,73321	5,233857	4,435471	617,1484
<b>1</b>	684,3601	271,5289	69,91753	156,131	131,8679	103,622	46,17519	56,13327	1519,736
<b>1,5</b>	1428,757	761,814	213,3356	501,9275	524,0096	477,2962	195,9723	369,5113	4472,623
<b>2</b>	1491,75	838,144	280,9332	705,0079	675,0517	672,2206	381,285	636,7308	5681,124
<b>2,5</b>	1492,491	839,5263	285,0016	717,9979	680,388	680,388	404,5566	643,383	5743,733
<b>3</b>	1492,491	839,5263	285,0016	717,9979	680,388	680,388	404,5566	643,383	5743,733

**ΠΙΝΑΚΑΣ 6.5.5** Απορριπτόμενη ενέργεια που αποθηκεύεται σε κάθε αναστρέψιμη μονάδα



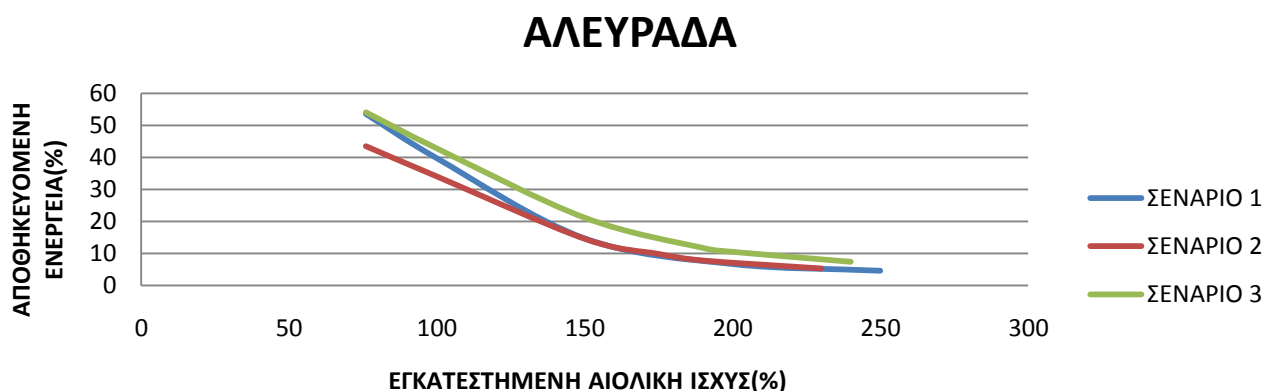
## ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ(GWh)

	1.Αλευράδα	2.Σομπόρρεμα	3.Τσουγκαριά	4.Φίλος	5.Δαίμονοπόργια	6.Πετούλια	7.Μέγας Κάμπος	8.Μονάδα 8	Σύνολο
<b>R<sub>w-s</sub></b>									
<b>0,75</b>	226,4758	90,54233	23,00683	42,36809	22,66738	12,15583	3,677864	3,0328	423,927
<b>1</b>	460,4335	195,2168	49,74901	108,4574	88,2664	71,03124	32,44743	38,38173	1043,983
<b>1,5</b>	960,9784	547,5994	151,7595	348,6118	350,7484	327,1789	137,7103	252,6573	3077,244
<b>2</b>	1001,427	601,2562	199,7261	489,4485	451,1021	460,2298	267,878	434,0709	3905,138
<b>2,5</b>	1001,925	602,25	202,575	498,225	454,425	465,375	283,9762	438	3946,751
<b>3</b>	1001,925	602,25	202,575	498,225	454,425	465,375	284,7	438	3947,575

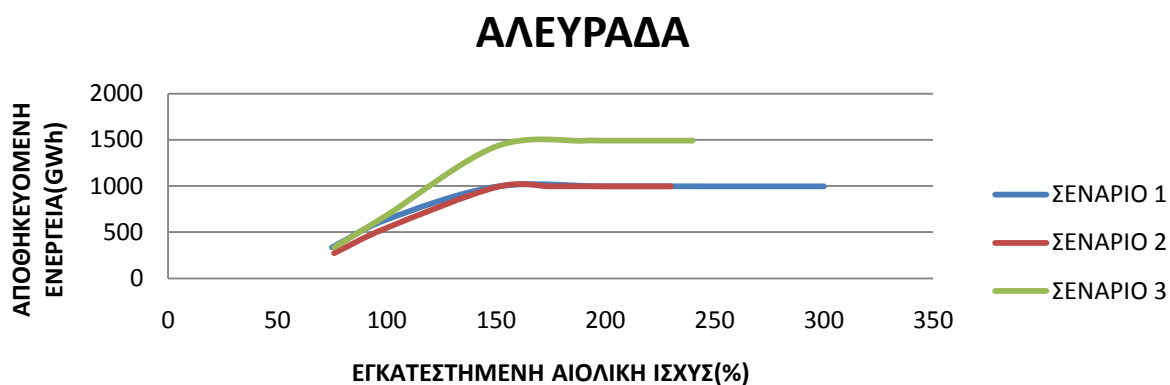
**ΠΙΝΑΚΑΣ 6.5.6** Παραγόμενη υδροηλεκτρική ενέργεια από κάθε αναστρέψιμη μονάδα

### 6.5.4 Τελικά διαγράμματα

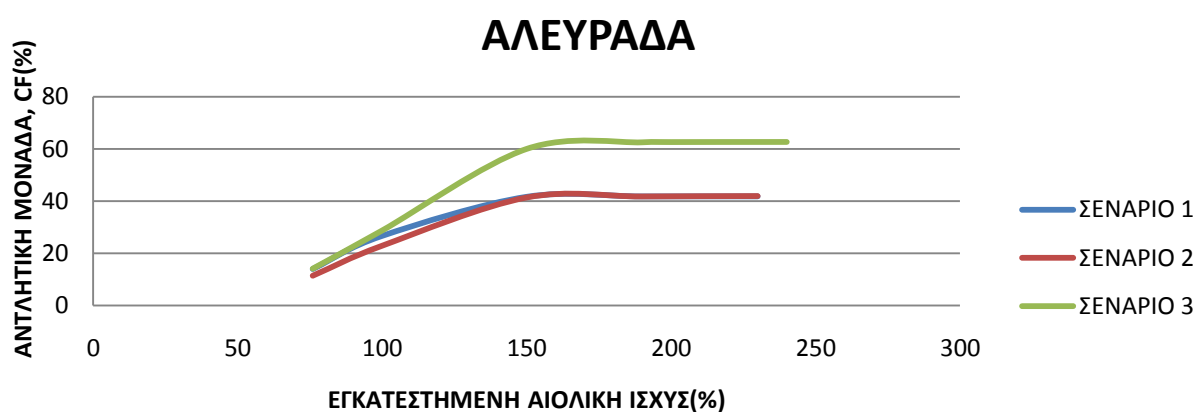
Τέλος απεικονίζονται τα συνολικά αποτελέσματα (για όλα τα σενάρια) ενδεικτικά για τρεις αναστρέψιμες μονάδες(Φράγμα Αλευράδα, Φράγμα Σομπόρρεμα και αναστρέψιμο έργο Καστρακίου-Στράτου).



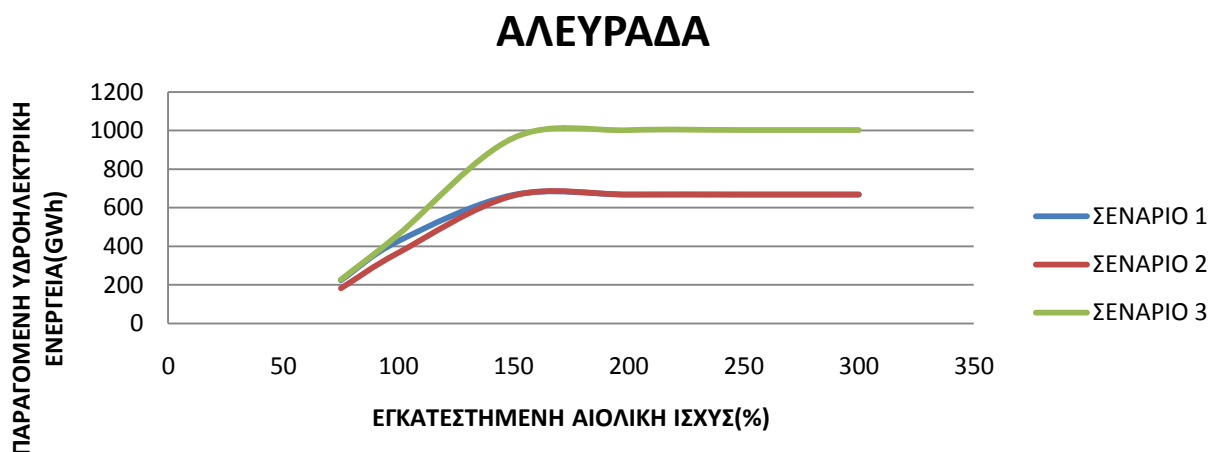
**Διάγραμμα 6.30α** Ποσοστό της απορριπτόμενης αιολικής παραγωγής που αποθηκεύεται, ως συνάρτηση της εγκατεστημένης αιολικής ισχύος.



**Διάγραμμα 6. 30β** Απορριπτόμενη ενέργεια που αποθηκεύεται, συναρτήσει της εγκατεστημένης αιολικής ισχύος.



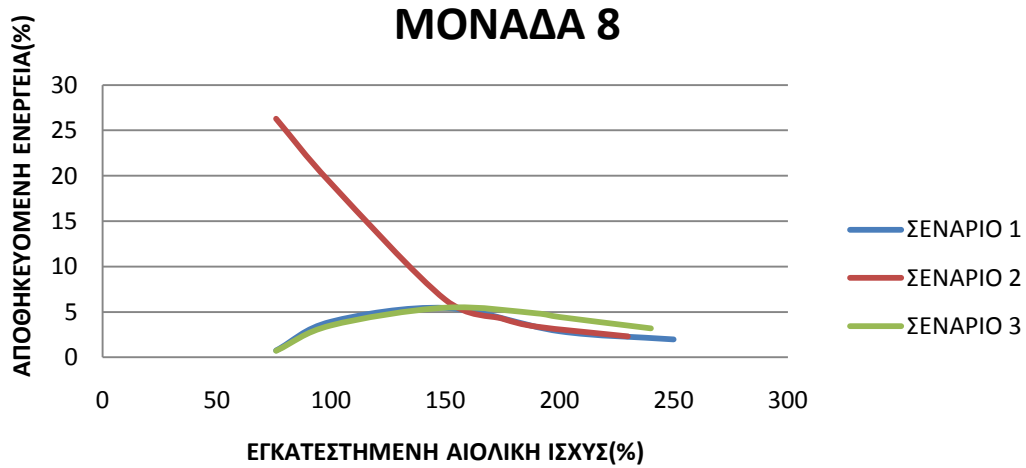
**Διάγραμμα 6.30γ** Βαθμός αξιοποίησης (capacity factor) των αντλιών, ως συνάρτηση της εγκατεστημένης αιολικής ισχύος.



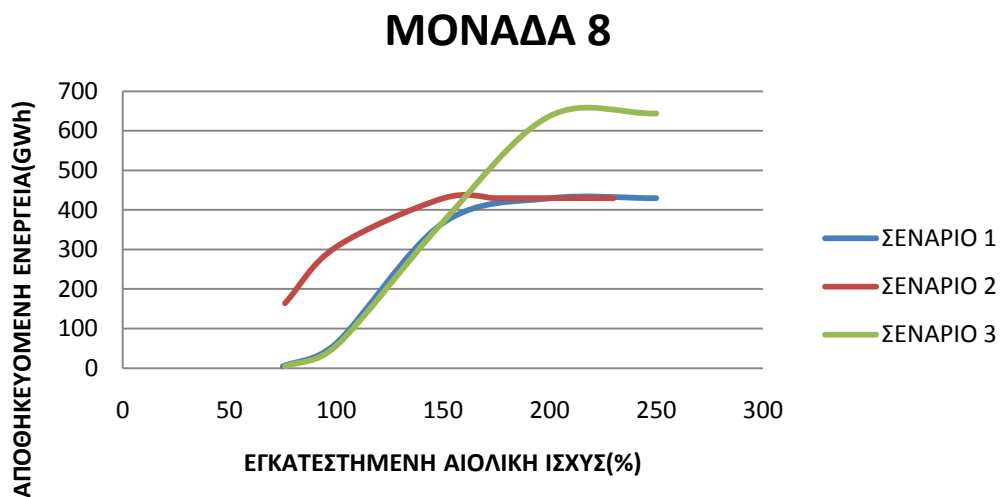
**Διάγραμμα 6.30δ** Παραγόμενη υδροηλεκτρική ενέργεια ,συναρτήσεϊ της εγκατεστημένης αιολικής ισχύος

Όπως παρατηρείται από τα διαγράμματα που προηγούνται για την αναστρέψιμη μονάδα Καστράκι-Φράγμα Αλευράδα, στα 2 πρώτα σενάρια αποθηκεύονται και παράγονται ίσα σχεδόν ποσά ενέργειας. (αποθηκεύεται και παράγεται ελάχιστο μεγαλύτερο ποσό ενέργειας στο πρώτο σενάριο καθώς η συγκεκριμένη μονάδα εντάσσεται πρώτη στο σύστημα, σε σχέση με το δεύτερο σενάριο στο οποίο εντάσσεται δεύτερη). Στο τρίτο όμως σενάριο ο αναστρέψιμος σταθμός αντλεί και παράγει μεγαλύτερα ποσοστά ενέργειας, κάτι το οποίο είναι αναμενόμενο καθώς λειτουργεί περισσότερες ώρες μέσα στην ημέρα.

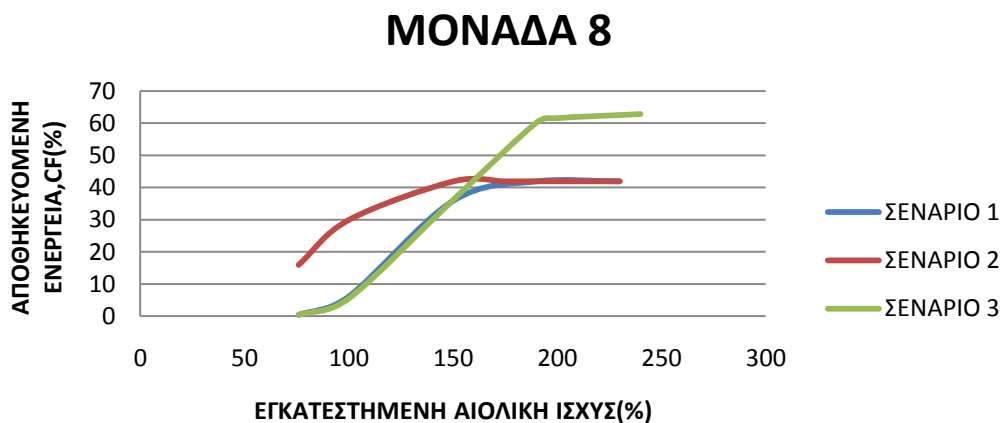
Ίδια περίπου συμπεριφορά με την πρώτη παρουσιάζει και αυτή η αναστρέψιμη μονάδα.



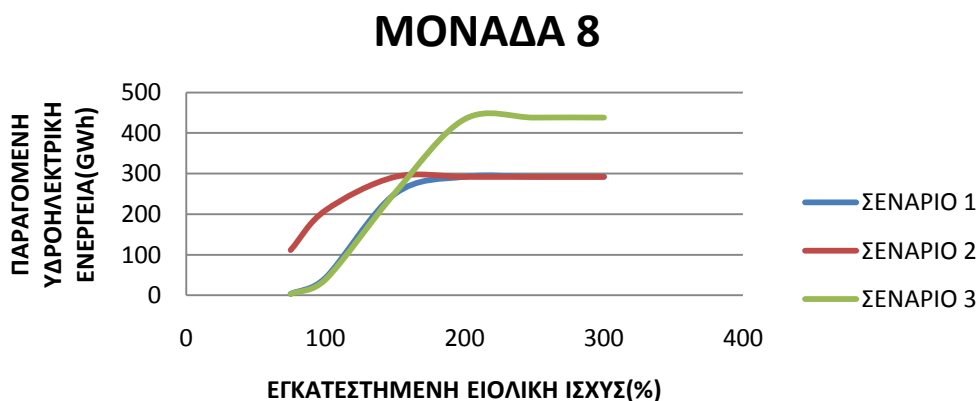
**Διάγραμμα 6.31α** Ποσοστό της απορριπτόμενης αιολικής παραγωγής που αποθηκεύεται, ως συνάρτηση της εγκατεστημένης αιολικής ισχύος.



**Διάγραμμα 6.31β** Απορριπτόμενη ενέργεια που αποθηκεύεται, συναρτήσει της εγκατεστημένης αιολικής ισχύος.



**Διάγραμμα 6.31γ** Βαθμός αξιοποίησης (capacity factor) των αντλιών, ως συνάρτηση της εγκατεστημένης αιολικής ισχύος.



**Διάγραμμα 6.31δ** Παραγόμενη υδροηλεκτρική ενέργεια, συναρτήσει της εγκατεστημένης αιολικής ισχύος

Όσον αφορούν στην μονάδα 8, αποθηκεύει και παράγει αισθητά μεγαλύτερο ποσό ενέργειας με την εφαρμογή του δεύτερου σεναρίου και για  $Rw-s \leq 1,5$  καθώς από τελευταία (σενάριο 1), εντάσσεται πρώτη στο σύστημα. Αντιθέτως για υψηλό ποσοστό εγκατεστημένης αιολικής ισχύος σε σχέση με το μέσο ετήσιο φορτίο, η καμπύλη της ενέργειας που αντλείται αλλά και της υδροηλεκτρικής ενέργεια που παράγεται ταυτίζονται καθώς ο σταθμός έχει αποθηκεύσει και συνεπώς παράγει το μέγιστο δυνατό ποσό ενέργειας. Αν εφαρμοστεί το σενάριο 3, και μονάδα 8 εμφανίζει μεγαλύτερα ποσοστά αποθήκευσης και παραγωγής ενέργειας, όπως άλλωστε είναι και το αναμενόμενο.

## 7.ΤΕΧΝΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

### 7.1 Εισαγωγή

Αυτό το οποίο παρουσιάζει το μεγαλύτερο ενδιαφέρον στην μελέτη της πιθανής αναστρέψιμης υδροηλεκτρικής εγκατάστασης που εξετάζουμε είναι αν τελικά είναι οικονομικά συμφέρουσα. Το μέγεθος το οποίο θα ορίσει την απόδοση του επενδυτικού προγράμματος είναι ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης, IRR. Μέσω του υπολογιστικού κώδικα Fortran και αρχικά για ένα συγκεκριμένο ποσοστό εγκατεστημένης αιολικής ισχύος ( $Rw-s=2$ ), υπολογίζεται η σειρά με την οποία μας ωφελεί να εγκαταστήσουμε τις αναστρέψιμες μονάδες αλλά και οι ώρες λειτουργίας τους ημερησίως. Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι ο αναστρέψιμος σταθμός ο οποίος θα εγκατασταθεί πρώτος είναι ο ΥΗΣ Καστρακίου. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ο σταθμός αυτός ανήκει στην φάση Α της μελέτης του Ι.Στεφανάκου, ανάλυση της οποίας έχει γίνει στα αρχικά κεφάλαια της εργασίας.

Στην μελέτη που γίνεται στην παρούσα διπλωματική εργασία υπάρχει ένας ΥΗΣ (ζεύγος Καστράκι-Στράτος) που ανήκει στην φάση Α όπως ήδη αναφέρθηκε ενώ τα υπόλοιπα υδροηλεκτρικά έργα είναι μεμονωμένα δηλαδή ανήκουν στην φάση Β. Τα χαρακτηριστικά των δύο αυτών φάσεων απεικονίζονται στον Πίνακα 5 .1, σε προηγούμενο κεφάλαιο.

Συμπεραίνεται λοιπόν, από τα χαρακτηριστικά των δύο φάσεων, στις οποίες ανήκουν οι μονάδες μας, ότι ο ΥΗΣ Καστρακίου θα έχει πολύ μικρότερο κόστος κατασκευής από τους υπόλοιπους 7. Παρ'όλα αυτά προκειμένου να κατασκευάσουμε τους πιθανούς αναστρέψιμους σταθμούς με μια σειρά εξετάζουμε τις ώρες λειτουργίας τους(ανάλογα με την αποθηκευτική ικανότητα των σταθμών) αλλά και την ισχύ παραγωγής τους, στοιχεία που δίνονται στον Πίνακα 7.1[34]:

Ονομασία έργου	αναστρέψιμο	Ισχύς παραγωγής(MW)	Ώρες λειτουργίας
1.Καστράκι		80	24,0
2.Αλευράδα		183	12,1
3.Σομπόρρεμα		110	12,1
4.Τσουγκάρια		37	5,8
5.Φίλος		91	5,9
6. Δαιμονοπύργια		83	12,0
7.Πετούλια		85	12,0
8.Μέγας Κάμπος		52	5,9

**Πίνακας 7.1:** Χαρακτηριστικά αναστρέψιμων σταθμών

Έπειτα, στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 7.2) υπολογίζεται η ενέργεια που παράγει κάθε μονάδα ημερησίως πολλαπλασιάζοντας την ισχύ παραγωγής της με τις ώρες λειτουργίας της.

Όνομασία αναστρέψιμου έργου	Παραγόμενη ενέργεια (MWh)
1.Καστράκι	1920
2.Αλευράδα	2214,3
3.Σομπόρρεμα	1331
4.Τσουγκάρια	214,6
5.Φίλος	536,9
6.Δαιμονοπύργια	996
7.Πετούλια	1020
8.Μέγας Κάμπος	306,8

**Πίνακας 7.2:** Ενέργεια που παράγεται ημερησίως από κάθε σταθμό

Προκειμένου να βρεθεί η αποδοτικότερη επένδυση, στην επόμενη ενότητα εφαρμόζονται 3 σενάρια ανάλογα με τις ώρες λειτουργίας των αναστρέψιμων μονάδων. Η εγκατεστημένη αιολική ισχύς θεωρείται διπλάσια του μέσου ετήσιου φορτίου. Αυτή η τιμή της εγκατεστημένης αιολικής ισχύος είναι κατάλληλη για την μελέτη διότι είναι ενδεικτική τιμή για τον ενεργειακό στόχο της Ελλάδας τα επομένα χρόνια. Είναι επίσης σημαντικό να σημειωθεί ότι το υδροηλεκτρικό έργο που κατασκευάζεται πάντα πρώτο είναι το ζεύγος Στράτος-Καστράκι διότι έχει το μικρότερο κόστος κατασκευής.

## **7.2 Σενάριο 1: 4 ώρες λειτουργίας των αναστρέψιμων μονάδων ημερησίως**

Στην πρώτη περίπτωση θεωρούμε ότι οι υδροστρόβιλοι των αναστρέψιμων σταθμών λειτουργούν 4 ώρες ημερησίως και πιο συγκεκριμένα 12:00π.μ -14:00μ.μ το μεσημέρι και 20:00-22:00 το βράδυ, ώρες δηλαδή υψηλής ζήτησης. Όπως ήδη αναφέρθηκε η μελέτη γίνεται για  $Rw-s=2$  και πρώτο σε κατάταξη μπαίνει το αναστρέψιμο έργο Στράτου-Καστρακίου. Οι υπόλοιπες μονάδες εγκαθίστανται κατά αύξουσα σειρά παραγόμενης υδροηλεκτρικής ενέργειας ημερησίως δηλαδή:

Σειρά εγκατάστασης αναστρέψιμου έργου	Παραγόμενη υδροηλεκτρική ενέργεια (MWh)
1.Καστράκι	1920
2.Τσουγκάρια	214,6
3.Μέγας Κάμπος	306,8
4.Φίλος	536,9
5.Δαιμονοπύργια	996
6.Πετούλια	1020
7.Σομπόρρεμα	1331
8.Αλευράδα	2214,3

**Πίνακας 7.3** Σειρά κατασκευής υδροηλεκτρικών έργων σεναρίου 1

Όπως είναι λογικό, είναι πιθανό οι σταθμοί που έχουν μικρότερη αποθηκευτική ικανότητα και συνεπώς παράγουν μικρότερα ποσά υδροηλεκτρικής ενέργειας κατά τη διάρκεια της ημέρας, θα έχουν και μικρότερο κόστος κατασκευής. Γι' αυτόν τον λόγο, προκειμένου να υπολογιστεί το IRR της επένδυσης εισάγουμε σαν δεδομένο στον υπολογιστικό κώδικα την σειρά κατάταξης των σταθμών όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 7.4. Επιπλέον, το πρόγραμμα διαβάζει στην είσοδό του κάποια ακόμα δεδομένα για να υπολογίσει τα παρακάτω μεγέθη και πιο συγκεκριμένα υποθέτουμε τιμή αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας ίση με 20€/MWh και τιμή πώλησης της ενέργειας ίση με 80€/MWh. Τα κόστη κατασκευής των σταθμών θεωρούνται ίσα με 500€/KW για την μονάδα που εγκαθίσταται πρώτη(ΥΗΣ Καστρακίου) και 1500€/KW για όλες τις υπόλοιπες μονάδες. Στη συνέχεια παρατίθενται τα αποτελέσματα για τον εσωτερικό συντελεστή απόδοσης της επένδυσης, έτσι όπως υπολογίστηκαν μέσω του υπολογιστικού κώδικα και με την προϋπόθεση ότι κάθε φορά εγκαθίσταται και ένας ακόμη υδροηλεκτρικός σταθμός. Πιο αναλυτικά παρουσιάζονται τα αποτελέσματα στον Πίνακα 7.4:



Εγκατεστημένοι αναστρέψιμοι σταθμοί	Τιμή αγοράς (MEeuro)	Τιμή πώλησης (MEeuro)	Καθαρά ετήσια έσοδα (MEeuro)	IRR(%)
Καστράκι	5,18	14,02	8,83	<b>11,3</b>
Καστράκι, Τσουγκάρια	7,46	20,49	13,03	5,99
Καστράκι, Τσουγκάρια, Μέγας Κάμπος	10,71	29,61	18,89	3,89
Καστράκι, Τσουγκάρια, Μέγας Κάμπος, Φίλος	16,46	45,55	29,08	2,6
Καστράκι, Τσουγκάρια, Μέγας Κάμπος, Φίλος, Δαιμονοπύργια	21,93	60,09	38,16	2,0
Καστράκι, Τσουγκάρια, Μέγας Κάμπος, Φίλος, Δαιμονοπύργια, Πετούλια	27,39	74,98	47,59	1,7
Καστράκι, Τσουγκάρια, Μέγας Κάμπος, Φίλος, Δαιμονοπύργια, Πετούλια, Σομπόρρεμα	34,123	94,25	60,13	1,5
Καστράκι, Τσουγκάρια, Μέγας Κάμπος, Φίλος, Δαιμονοπύργια, Πετούλια, Σομπόρρεμα, Αλευράδα	46,11	126,32	80,21	1,2

**Πίνακας 7.4:** Οικονομικά αποτελέσματα σεναρίου 1

Παρατηρείται ότι τα IRR είναι σχετικά μικρά. Μόνο στην περίπτωση που είναι εγκατεστημένος μόνο ο πρώτος σταθμός παρατηρείται IRR το οποίο ξεπερνάει το 10%. Άρα είναι εμφανές ότι για εγκατεστημένη αιολική ισχύ διπλάσια του μέσου ετήσιου φορτίου, δεν μας συμφέρει να επενδύσουμε στην κατασκευή παραπάνω από ενός σταθμού για 4 ώρες λειτουργίας ημερησίως και πόσο μάλλον στην κατασκευή ολόκληρου του υδροηλεκτρικού συγκροτήματος (δηλαδή και των 8 μονάδων).

### **7.3 Σενάριο 2: 8 ώρες λειτουργίας των αναστρέψιμων μονάδων ημερησίως**

Στο σενάριο αυτό θα διακρίνουμε 2 περιπτώσεις κατάταξης των σταθμών: α) ανάλογα με το κόστος κατασκευή τους (κατά αύξουσα σειρά) και β) ανάλογα την αποθηκευτική τους ικανότητα, σε συνδυασμό με το κόστος κατασκευής τους (δηλαδή πρώτα κατατάσσονται οι σταθμοί που λειτουργούν περισσότερες ώρες ημερησίως και όσοι λειτουργούν τις ίδιες ώρες τοποθετούνται ομοίως με την περίπτωση α )

Οι σταθμοί θα λειτουργούν τις ώρες αιχμής δηλαδή 11:00π.μ-15:00μ.μ και 19:00π.μ-23:00μ.μ. Τα δεδομένα που εισάγονται στο πρόγραμμα είναι τα ίδια σε όλα τα σενάρια, δηλαδή υποθέτουμε τιμή αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας ίση με 20€/MWh και τιμή πώλησης της ενέργειας ίση με 80€/MWh. Τα κόστη κατασκευής των σταθμών θεωρούνται ίσα με 500€/KW για την μονάδα που εγκαθίσταται πρώτη(ΥΗΣ Καστρακίου) και 1500€/KW για όλες τις υπόλοιπες μονάδες. Τέλος ισχύει ότι  $Rw-s=2$ .

### 7.3.1 Κατασκευή των αναστρέψιμων σταθμών ανάλογα με το κόστος κατασκευής τους.

Στην πρώτη περίπτωση του σεναρίου 2 οι σταθμοί κατασκευάζονται ανάλογα με την υδροηλεκτρική ενέργεια που παράγουν και συνεπώς το κόστος εγκατάστασης τους, δηλαδή η σειρά κατασκευής τους είναι ίδια με αυτή του Πίνακα 7.3 του σεναρίου 1. Τα αποτελέσματα του κώδικα για λειτουργία των σταθμών 8 ώρες ημερησίως παρουσιάζονται παρακάτω:

Εγκατεστημένοι αναστρέψιμοι σταθμοί	Τιμή αγοράς (MEuro)	Τιμή πώλησης (MEuro)	Καθαρά ετήσια έσοδα (MEuro)	IRR(%)
Καστράκι	8,59	23,36	14,76	<b>19,8</b>
Καστράκι, Τσουγκάρια	12,39	34,16	21,76	<b>12,0</b>
Καστράκι, Τσουγκάρια, Μέγας Κάμπος	17,89	49,35	31,54	<b>9,1</b>
Καστράκι, Τσουγκάρια, Μέγας Κάμπος, Φίλος	27,38	75,92	48,53	7,39
Καστράκι, Τσουγκάρια, Μέγας Κάμπος, Φίλος, Δαιμονοπύργια	36,47	100,16	63,68	6,59
Καστράκι, Τσουγκάρια, Μέγας Κάμπος, Φίλος, Δαιμονοπύργια, Πετούλια	45,55	124,97	79,42	6,19
Καστράκι, Τσουγκάρια, Μέγας Κάμπος, Φίλος, Δαιμονοπύργια, Πετούλια, Σομπόρρεμα	56,76	157,09	100,34	5,99
Καστράκι, Τσουγκάρια, Μέγας Κάμπος, Φίλος, Δαιμονοπύργια, Πετούλια, Σομπόρρεμα, Αλευράδα	76,68	210,53	133,85	5,59

**Πίνακας 7.5** Οικονομικά αποτελέσματα σεναρίου 2, περίπτωση α

Παρατηρείται ότι αν οι σταθμοί λειτουργούν 8 ώρες ημερησίως ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης της επένδυσης, IRR, μεγαλώνει αισθητά για όλες τις αναστρέψιμες μονάδες, άρα η επένδυση σύμφερε περισσότερο. Παρ'όλα αυτά ικανοποιητικός βαθμός απόδοσης IRR (πάνω από 8%) παρατηρείται για την κατασκευή των τριών πρώτων σταθμών.

### 7.3.2 Κατασκευή των αναστρέψιμων σταθμών ανάλογα με το κόστος κατασκευής των σταθμών και τις ώρες λειτουργίας τους

Στη περίπτωση αυτή αλλάζει η σειρά κατασκευής των σταθμών. Πρώτος κατασκευάζεται όπως και στα προηγούμενα σενάρια ο ΥΗΣ Καστρακίου. Όμως στη συνέχεια κατασκευάζονται οι σταθμοί οι οποίοι λειτουργούν έχουν μεγαλύτερη αποθηκευτική ικανότητα και συνεπώς λειτουργούν περισσότερες ώρες ημερησίως (όσοι λειτουργούν ίδιες ώρες περίπου, δηλαδή ακριβώς ίδιες ώρες ή με την αμελητέα διαφορά των 6 λεπτών ημερησίως -1/10 της ώρας-, κατατάσσονται κατά αύξουσα σειρά παραγόμενης υδροηλεκτρικής ενέργειας). Η σειρά κατασκευής των σταθμών παρουσιάζεται στο Πίνακα 7.6:

Όνομασία αναστρέψιμου έργου	Ισχύς παραγωγής(MW)	Ώρες λειτουργίας	Παραγόμενη υδροηλεκτρική ενέργεια (MWh)
1.Καστράκι	80	24,0	1920
2. Δαιμονοπύργια	83	12,0	996
3.Πετούλια	85	12,0	1020
4.Σομπόρρεμα	110	12,1	1331
5.Αλευράδα	183	12,1	2214,3
6.Τσουγκάρια	37	5,8	214,6
7.Μέγας Κάμπος	52	5,9	306,8
8.Φίλος	91	5,9	536,9

**Πίνακας 7.6:** Σειρά κατασκευής σεναρίου 2, περίπτωση β

Τα αποτελέσματα όπως προέκυψαν από τον υπολογιστικό κώδικα δίνονται αμέσως μετά:

Εγκατεστημένοι αναστρέψιμοι σταθμοί	Τιμή αγοράς (MEeuro)	Τιμή πώλησης (MEeuro)	Καθαρά ετήσια έσοδα (MEeuro)	IRR(%)
Καστράκι	8,59	23,36	14,76	<b>19,8</b>
Καστράκι, Δαιμονοπύργια	17,67	47,59	29,91	<b>8,69</b>
Καστράκι, Δαιμονοπύργια, Πετούλια	26,76	72,41	45,65	7,09
Καστράκι, Δαιμονοπύργια, Πετούλια, Σομπόρρεμα	37,96	104,53	66,56	6,59
Καστράκι, Δαιμονοπύργια, Πετούλια, Σομπόρρεμα, Αλευράδα	57,88	157,97	100,08	5,79
Καστράκι, Δαιμονοπύργια, Πετούλια, Σομπόρρεμα, Αλευράδα, Τσουγκάρια	61,69	168,77	107,08	5,79
Καστράκι, Δαιμονοπύργια, Πετούλια, Σομπόρρεμα, Αλευράδα, Τσουγκάρια, Μέγας Κάμπος	67,11	183,96	116,85	5,69
Καστράκι, Δαιμονοπύργια, Πετούλια, Σομπόρρεμα, Αλευράδα, Τσουγκάρια, Μέγας Κάμπος, Φίλος	76,67	210,53	133,85	5,59

**Πίνακας 7.7** Οικονομικά αποτελέσματα σεναρίου 2, περίπτωση β

Στην περίπτωση αυτή παρατηρείται μείωση του εσωτερικού βαθμού απόδοσης για την κατασκευή όλων των μονάδων (εκτός της πρώτης) σε σχέση με την περίπτωση α του ίδιου σεναρίου. Το IRR είναι πάνω από 10 % μόνο για την πρώτη μονάδα, στη συνέχεια μειώνεται στο 8,69% με την κατασκευή και της δεύτερης μονάδας και συνεχίζει να μειώνεται. Για την κατασκευή των τεσσάρων τελευταίων μονάδων το IRR είναι περίπου ίδιο, δηλαδή κοντά στο 6%. Αυτό συμβαίνει διότι παρ'όλο που τοποθετήσαμε πρώτους τους σταθμούς που δουλεύουν περισσότερες ώρες ημερησίως ανάλογα με την αποθηκευτική τους ικανότητα, όλοι αυτοί οι σταθμοί είναι μεγάλης χωρητικότητας και συνεπώς έχουν μεγαλύτερο κόστος κατασκευής. Γι αυτό μειώνεται ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης της επένδυσης.

### **7.4 Σενάριο 3: 12 ώρες λειτουργίας των αναστρέψιμων μονάδων ημερησίως**

Στο σενάριο αυτό θα διακρίνουμε όπως και στο προηγούμενο τις ίδιες 2 περιπτώσεις κατάταξης των σταθμών, δηλαδή: α) ανάλογα με το κόστος κατασκευή τους (κατά αύξουσα σειρά) και β) ανάλογα με την αποθηκευτική τους ικανότητα, σε συνδυασμό με το κόστος κατασκευής τους (δηλαδή πρώτα κατατάσσονται οι σταθμοί που λειτουργούν περισσότερες ώρες ημερησίως και όσοι λειτουργούν τις ίδιες ώρες τοποθετούνται ομοίως με την περίπτωση α.)

Οι σταθμοί θα λειτουργούν από τις 9:00π.μ. έως τις 21:00μ.μ. Τα δεδομένα που εισάγονται στο πρόγραμμα όπως έχει ήδη τονιστεί, είναι τα ίδια σε όλα τα σενάρια (τιμή αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας ίση με 20€/MWh και τιμή πώλησης της ενέργειας ίση με 80€/MWh. Τα κόστη κατασκευής των σταθμών θεωρούνται ίσα με 500€/KW για την μονάδα που εγκαθίσταται πρώτη (ΥΗΣ Καστρακίου) και 1500€/KW για όλες τις υπόλοιπες μονάδες. Τέλος ισχύει ότι  $Rw-s=2$ ).

#### **7.4.1 Κατασκευή των αναστρέψιμων σταθμών ανάλογα με το κόστος κατασκευής τους.**

Στην πρώτη περίπτωση του σεναρίου 2 οι σταθμοί κατασκευάζονται ανάλογα με την υδροηλεκτρική ενέργεια που παράγουν και συνεπώς το κόστος εγκατάστασης τους, δηλαδή η σειρά κατασκευής τους είναι ίδια με αυτή του Πίνακα 7.3 του σεναρίου 1 όπως και στην περίπτωση α του σεναρίου 2. Τα αποτελέσματα του κώδικα για 12 ώρες ημερησίως παρουσιάζονται παρακάτω:

Εγκατεστημένοι αναστρέψιμοι σταθμοί	Τιμή αγοράς (MEeuro)	Τιμή πώλησης (MEeuro)	Καθαρά ετήσια έσοδα (MEeuro)	IRR(%)
Καστράκι	11,16	30,368	19,21	<b>26</b>
Καστράκι, Τσουγκάρια	16,10	44,41	28,31	<b>16,1</b>
Καστράκι, Τσουγκάρια, Μέγας Κάμπος	23,13	64,15	41,02	<b>12,6</b>
Καστράκι, Τσουγκάρια, Μέγας Κάμπος, Φίλος	35,57	98,69	63,12	<b>10,5</b>
Καστράκι, Τσουγκάρια, Μέγας Κάμπος, Φίλος, Δαιμονοπύργια	47,37	130,20	82,83	<b>9,8</b>
Καστράκι, Τσουγκάρια, Μέγας Κάμπος, Φίλος, Δαιμονοπύργια, Πετούλια	59,17	162,47	103,29	<b>9,5</b>
Καστράκι, Τσουγκάρια, Μέγας Κάμπος, Φίλος, Δαιμονοπύργια, Πετούλια, Σομπόρρεμα	73,73	204,22	130,49	<b>9</b>
Καστράκι, Τσουγκάρια, Μέγας Κάμπος, Φίλος, Δαιμονοπύργια, Πετούλια, Σομπόρρεμα, Αλευράδα	99,61	273,69	174,08	<b>8,5</b>

**Πίνακας 7.8** Οικονομικά αποτελέσματα σεναρίου 3, περίπτωση α

Είναι εμφανές ότι αν οι σταθμοί λειτουργούν 12 ώρες ημερησίως ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης της επένδυσης, IRR, μεγαλώνει ακόμη περισσότερο για όλες τις αναστρέψιμες μονάδες, άρα η επένδυση συμφερει περισσότερο. Είναι επιπλέον σημαντικό το ότι το IRR ξεπερνάει το 8% κατασκευάζοντας ακόμα και τους 8 αναστρέψιμους σταθμούς ενώ το 10%(το οποίο πολλοί επενδυτές θεωρούν ικανοποιητικό για να προχωρήσουν σε μια επένδυση)με την κατασκευή τεσσάρων από τους οκτώ σταθμούς. Συνεπώς είναι πολύ πιθανό μια τέτοιου είδους επένδυση να συμφέρει οικονομικά.

#### 7.4.2 Κατασκευή των αναστρέψιμων σταθμών ανάλογα με το κόστος κατασκευής των σταθμών και τις ώρες λειτουργίας τους

Στη περίπτωση αυτή αλλάζει η σειρά κατασκευής των σταθμών και είναι ίδια με αυτή που παρουσιάζεται στον Πίνακα 7.7. Πιο αναλυτικά, πρώτος κατασκευάζεται όπως και στα προηγούμενα σενάρια ο ΥΗΣ Καστρακίου. Όμως στη συνέχεια κατασκευάζονται οι σταθμοί οι οποίοι λειτουργούν περισσότερες ώρες ημερησίως (όσοι λειτουργούν ίδιες ώρες περίπου, δηλαδή ακριβώς ίδιες ώρες ή με την αμελητέα διαφορά των 6 λεπτών ημερησίως - 1/10 της ώρας-, κατατάσσονται κατά αύξουσα σειρά παραγόμενης υδροηλεκτρικής ενέργειας). Τα οικονομικά αποτελέσματα όπως προέκυψαν από τον υπολογιστικό κώδικα γλώσσας Fortran φαίνονται αναλυτικά στον Πίνακα 7.9:

Εγκατεστημένοι αναστρέψιμοι σταθμοί	Τιμή αγοράς (MEeuro)	Τιμή πώλησης (MEeuro)	Καθαρά ετήσια έσοδα (MEeuro)	IRR(%)
Καστράκι	11,15	30,36	19,29	<b>26</b>
Καστράκι, Δαιμονοπύργια	16,06	44,32	28,25	<b>16,1</b>
Καστράκι, Δαιμονοπύργια, Πετούλια	23,04	63,90	40,86	<b>12,5</b>
Καστράκι, Δαιμονοπύργια, Πετούλια, Σομπόρρεμα	35,37	98,12	62,75	<b>10,4</b>
Καστράκι, Δαιμονοπύργια, Πετούλια, Σομπόρρεμα, Αλευράδα	47,15	129,57	82,43	<b>9,5</b>
Καστράκι, Δαιμονοπύργια, Πετούλια, Σομπόρρεμα, Αλευράδα, Τσουγκάρια	58,92	161,76	102,84	<b>9</b>
Καστράκι, Δαιμονοπύργια, Πετούλια, Σομπόρρεμα, Αλευράδα, Τσουγκάρια, Μέγας Κάμπος	73,42	203,36	129,94	<b>8,79</b>
Καστράκι, Δαιμονοπύργια, Πετούλια, Σομπόρρεμα, Αλευράδα, Τσουγκάρια, Μέγας Κάμπος, Φίλος	99,04	272,21	173,17	<b>8,39</b>

**Πίνακας 7.9** Οικονομικά αποτελέσματα σεναρίου 3, περίπτωση β

Από τα οικονομικά αποτελέσματα έτσι όπως παρουσιάζονται στον παραπάνω πίνακα προκύπτει ότι και στην περίπτωση αυτή το IRR είναι ικανοποιητικό για την κατασκευή και των 8 αναστρέψιμων μονάδων. Η διαφορά με την περίπτωση α του ίδιου σεναρίου είναι αμελητέα. Συνεπώς με όποια σειρά και να κατασκευαστούν οι αναστρέψιμες μονάδες, αν λειτουργούν 12 ώρες ημερησίως, τα αποτελέσματα που προκύπτουν είναι παρόμοια.

### 7.5 Επίδραση του $R_{w-s}$ στον εσωτερικό βαθμό απόδοσης IRR

Όλα τα σενάρια που αναλύονται παραπάνω αφορούν εγκατεστημένη αιολική ισχύ διπλάσια του μέσου ετήσιου φορτίου (6338MW). Κατά την διάρκεια του έτους 2010, η εγκατεστημένη αιολική ισχύς είναι 1200MW περίπου, ενώ ο στόχος της Ελλάδας για το 2020 είναι 5000-8000MW. Είναι εμφανές ότι ο λόγος  $R_{w-s}$  είναι μικρότερος της μονάδας, ενώ ακόμα και το 2020 δεν θα ξεπερνά το 1,2. Συνεπώς θα γίνει έλεγχος της επίδρασης του λόγου εγκατεστημένης αιολικής ισχύος προς το μέσο ετήσιο φορτίο στον εσωτερικό βαθμό απόδοσης, δηλαδή πόσο αυξάνεται το IRR με την αύξηση του  $R_{w-s}$ . Ενδεικτικά θα επιλέξουμε να λειτουργεί αρχικά 1 αναστρέψιμη μονάδα (Καστράκι- Στράτος), έπειτα 2 αναστρέψιμες μονάδες(Καστράκι-Στράτος και Τσουγκάρια-Καστράκι) και τέλος 8 αναστρέψιμες μονάδες που θα λειτουργούν 12 ώρες ημερησίως.

- Υποθέτουμε ότι έχει κατασκευαστεί μόνο ο αναστρέψιμος ΥΗΣ Καστρακίου:

$R_{w-s}$	IRR(%)
0,5	0,1
0,7	4,7
0,8	7,69
1	15,2
1,5	25,9
2	26

**Πίνακας 7.10** Επίδραση  $R_{w-s}$  στο IRR για μία αναστρέψιμη μονάδα



- Υποθέτουμε ότι έχουν κατασκευαστεί δύο αναστρέψιμες μονάδες(Καστράκι-Στράτος και Τσουγκάρια-Καστράκι):

<b>R<sub>w-s</sub></b>	<b>IRR(%)</b>
0,5	0,1
0,7	0,5
0,8	2,7
1	7,5
1,5	15,5
2	16,065

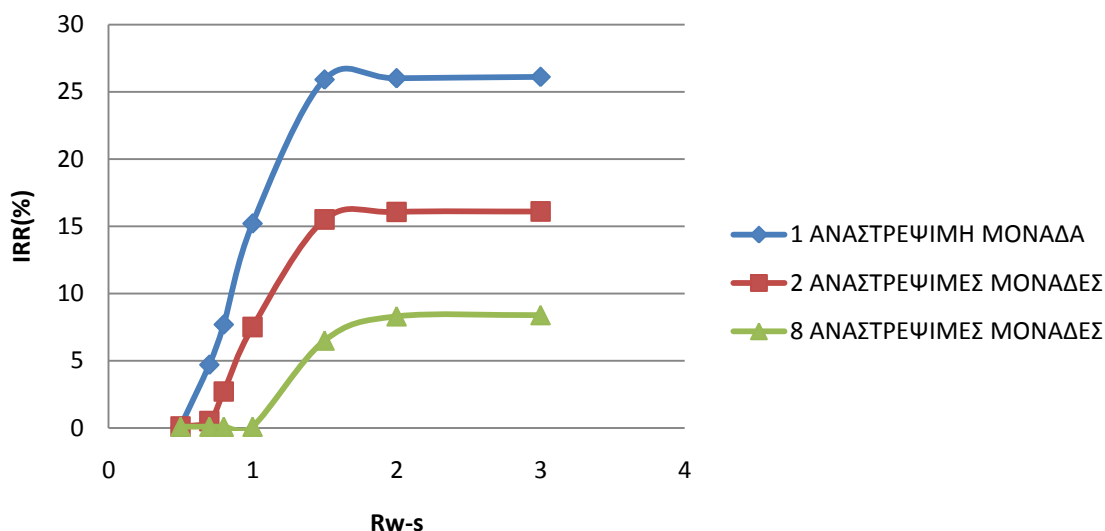
**Πίνακας 7.11** Επίδραση R<sub>w-s</sub> στο IRR για δύο αναστρέψιμες μονάδες

- Υποθέτουμε ότι έχουν κατασκευαστεί και τα 8 αναστρέψιμα έργα:

<b>R<sub>w-s</sub></b>	<b>IRR(%)</b>
0,5	0,1
0,7	0,1
0,8	0,1
1	0,1
1,5	6,5
2	8,39

**Πίνακας 7.12** Επίδραση R<sub>w-s</sub> στο IRR και για τις 8 αναστρέψιμες μονάδες

Τα αποτελέσματα των πινάκων απεικονίζονται διαγραμματικά αμέσως μετά:



**Διάγραμμα 7.1 :** Συνολικά αποτελέσματα μεταβολής του IRR(%) συναρτήσει του R<sub>w-s</sub>.

Από τα παραπάνω στοιχεία συμπεραίνεται ότι όσο αυξάνεται η εγκατεστημένη αιολική ισχύς τόσο αυξάνεται και ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης. Όπως ήταν αναμενόμενο, όσο περισσότεροι σταθμοί κατασκευαστούν τόσο μικρότερο θα είναι το IRR. Αυτό συμβαίνει γιατί το κόστος κατασκευής των σταθμών θα είναι πολύ μεγαλύτερο, ακόμα και αν τα καθαρά ετήσια κέρδη αυξάνονται με αυτόν τον τρόπο.

Συνεπώς είναι κατανοητό ότι αν τελικά αποφασιστεί να γίνει το παραπάνω έργο, η κατασκευή όλων των μονάδων δεν πρέπει να γίνει την ίδια χρονική στιγμή, αλλά σταδιακά. Δηλαδή, ανάλογα με την εγκατεστημένη ισχύ αιολικών που θα παρατηρείται κατά την διάρκεια ενός έτους(ενεργειακός στόχος της Ελλάδας), θα πρέπει να κατασκευάζονται και οι αντίστοιχοι σταθμοί έτσι ώστε να γίνεται καλή ενεργειακή αξιοποίηση αλλά και η επένδυση να είναι βιώσιμη.

## 8. Συμπεράσματα και προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Στην παρούσα εργασία, όπως ήδη έχει τονιστεί πολλές φορές, διερευνάται η έννοια της ανάπτυξης συστημάτων αποθήκευσης σε υφιστάμενους υδροηλεκτρικούς σταθμούς, ώστε να υποστηρίζεται η υψηλή διείσδυση ΑΠΕ στα ηλεκτρικά δίκτυα. Αυτό επιτυγχάνεται με την αριθμητική προσομοίωση και ανάλυση μίας ενδεχόμενης εγκατάστασης τέτοιων συστημάτων σε ένα συγκρότημα υφιστάμενων υδροηλεκτρικών μονάδων παραγωγής ενέργειας στην Ελλάδα, με στόχο την ανάκτηση της απόρριψης της αιολικής ενέργειας στο σύστημα. Η μελέτη προσδιορίζει μερικές από τις πιο κρίσιμες παραμέτρους για την αξιοποίηση της απορριφθείσας ενέργειας αλλά και για την βιωσιμότητα της επένδυσης, οι οποίες είναι η συνολική εγκατεστημένη ισχύς αιολικής ενέργειας, οι ώρες λειτουργίας των πιθανών αναστρέψιμων σταθμών και η σειρά κατασκευής τους ανάλογα με το κόστος τους. Μια γενικότερη έκβαση του έργου αυτού είναι ότι αυτό το είδος των επενδύσεων θα γίνουν πιο ελκυστικές και η κερδοφόρες κατά τις επόμενες δεκαετίες, όταν ο άνεμος και άλλες εγκαταστάσεις ΑΠΕ μπορούν να αυξηθούν πολύ πάνω από το μέσο επίπεδο της ζήτησης του συστήματος. Για να μεγιστοποιηθεί η ενεργειακή και οικονομική αποδοτικότητα του συστήματος πρέπει η απορριπτόμενη αιολική ενέργεια να είναι αρκετά υψηλή.

### 8.1 Συμπεράσματα

1. Για να είναι βιώσιμη η επένδυση απαιτείται:
  - Υψηλό ποσοστό εγκατεστημένης αιολικής ισχύος ( $Rw-s \geq 2$ )
  - Αρκετές ώρες λειτουργίας των μονάδων ημερησίως (ώρες λειτουργίας μονάδων  $\geq 12$ )
  - Σειρά κατασκευής των αναστρέψιμων μονάδων κατά αύξουσα σειρά κόστους κατασκευής τους
2. Για μικρότερα ποσοστά εγκατεστημένης αιολικής ισχύος, χρειάζεται σταδιακή κατασκευή του συγκροτήματος
3. Η μετατροπή του ζεύγους υδροηλεκτρικών σταθμών Καστρακίου-Στράτου συμφέρει να μετατραπεί σε αναστρέψιμη μονάδα σε κάθε περίπτωση.
4. Συμπεραίνεται ότι καλύτερη επιλογή ίσως να είναι η μετατροπή ήδη υπάρχοντων ΥΗΣ σε σειρά σε αναστρέψιμους παρά η προσθήκη αναστρέψιμων μονάδων σε μεμονωμένους ΥΗΣ.

### 8.2 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

1. Εύρεση βέλτιστης λύσης με την χρήση αλγόριθμου βελτιστοποίησης (μέγιστη δυνατή ενεργειακή και οικονομική απόδοση).
2. Μελέτη του έργου για περισσότερα χρόνια
3. Παραμετρική μελέτη τιμολόγησης

## ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] ΔΕΗ Ανανεώσιμες Α.Ε. (<http://www.ppcr.gr/Home.aspx?C=2>)
- [2] Παπαντώνης Δ., Νέες προοπτικές για την Ανάπτυξη της αντλιοταμίευσης στην Ελλάδα Τεχνολογία και Τεχνολογικοί Περιορισμοί, Βιβλιοθήκη ΤΕΕ, Ιωάννινα 2009
- [3] Παπαντώνης Δ., Υδροδυναμικές Μηχανές Αντλίες – Υδροστρόβιλοι, Εκδόσεις Συμεών, Έκδοση 2η, Αθήνα 2004
- [4] Παπαντώνης Δ., Υδροδυναμικές Εγκαταστάσεις, Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα 1998
- [5] Παπαντώνης Δ., Μικρά Υδροηλεκτρικά Έργα, Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα 2008
- [6] Τσαγγάρης Σ., Μηχανική των Ρευστών, Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα 2005
- [7] Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας & Κλιματικής Αλλαγής (<http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=277>)
- [8] Εταιρεία windenergy, (<http://www.windenergy.gr/>)
- [9] Εταιρεία Heliosystems, (<http://www.selasenergy.gr/index.php>)
- [10] WWF Ελλάδα, (<http://climate.wwf.gr/>)
- [11] Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, ([www.cres.gr](http://www.cres.gr)  
[http://www.cres.gr/kape/publications/pdf/pdf/4\\_Benou.pdf](http://www.cres.gr/kape/publications/pdf/pdf/4_Benou.pdf)  
[http://www.cres.gr/kape/publications/pdf/EUBIONET/B2\\_EUBIONET\\_Voulgaraki\\_22.4.pdf](http://www.cres.gr/kape/publications/pdf/EUBIONET/B2_EUBIONET_Voulgaraki_22.4.pdf)  
[http://www.cres.gr/energy-saving/images/pdf/biomass\\_guide.pdf](http://www.cres.gr/energy-saving/images/pdf/biomass_guide.pdf))
- [12] Εθνικό Κέντρο Έρευνας και Τεχνολογικής Ανάπτυξης, (<http://www.certh.gr/>)
- [13] Φαινόμενο Θερμοκηπίου, (<http://users.sch.gr/xtsamis/OkosmosMas/FainThermoKip.htm>)
- [14] Site για την οικολογία, (<http://www.oikologio.gr/>)
- [15] Εθνικό Κέντρο Έρευνας και Τεχνολογικής Ανάπτυξης, (<http://www.certh.gr/>)
- [16] Διεθνής Υπηρεσία Ενέργειας, (<http://www.iea.org/>)
- [17] Portal για το Περιβάλλον, (<http://www.ecofinder.gr/αρχική>)
- [18] Site για την οικολογία, (<http://www.oikologio.gr/>)
- [19] Portal Ινστιτούτου Κοινωνικής Οικονομίας για την Εναλλακτική Ενέργεια, (<http://www.oikoenergeia.gr/>)
- [20] Ενέργεια και Περιβάλλον, Εφημερίδα Έθνος, (<http://www.ethnos.gr/article.asp?catid=13122&subid=2&pubid=149130>)
- [21] Εταιρεία RETD AE (Renewable Energy Technology & Development) (<http://www.retd.gr/index.php?cat=2&page=4&language=gr>)

[22] Ηλεκτρονική Ενημερωτική Πλατφόρμα για Θέματα Περιβάλλοντος και Διαχείρισης Ενέργειας" του Π.Ε.Π. Δυτικής Μακεδονίας, (<http://www.allaboutenergy.gr/>)

[23] Greenpeace, (<http://www.greenpeace.org/raw/content/greece/press/118523/32557.pdf>)

[24] Πηγές Ενέργειας και Μετατροπή τους σε Ηλεκτρική Ενέργεια, Ιωάννης Βούλγαρης, Θεσσαλονίκη 2005, ([http://vivliothmy.ee.auth.gr/248/1/%CE%94%CE%99%CE%A0%CE%9B%CE%9F%CE%9C\\_%CE%99\\_%CE%92%CE%9F%CE%A5%CE%9B%CE%93%CE%91%CE%A1%CE%97.pdf](http://vivliothmy.ee.auth.gr/248/1/%CE%94%CE%99%CE%A0%CE%9B%CE%9F%CE%9C_%CE%99_%CE%92%CE%9F%CE%A5%CE%9B%CE%93%CE%91%CE%A1%CE%97.pdf))

[25] Τεχνοοικονομική Μελέτη Εγκατάστασης Φωτοβολταϊκών Συστημάτων στα Κτίρια του Ξενία, Αικατερίνη Πολυχρονιάδου, Μυτιλήνη 2004, (<http://www.srcosmos.gr/srcosmos/showpub.aspx?aa=9355>)

[26] Εταιρεία windenergy, (<http://www.windenergy.gr/>)

[27] Energystorage\_greek.pdf

[28] Διαχείριση υδάτων ΔΕΗ Α.Ε, (<http://www.dei.gr/Documents/imeranerou.pdf> )

[29] Γ.Λέρης, Αντιμετώπιση πλημμύρων στα φράγματα της ΔΕΗ Α.Ε. στους ποταμούς Αχελώο, Άραχθο και Νέστο, Δεκέμβριος 2005

[30] Ι.Στεφανάκος, Τεχνική Έκθεση 3<sup>ου</sup> παραδοτέου προς ΡΑΕ ερευνητικού έργου «Διερεύνηση της δυνατότητας κατασκευής έργων αποταμίευσης ενέργειας μέσω άντλησης σε περιοχές του Ελληνικού Διασυνδεδεμένου Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας», 2010

[31] ΕΠΑ.Σ Αμαρουσίου, (<http://epas-amarous.att.sch.gr/>)

[32] Κυματική εβέργεια στην Ευρώπη, Εθνικές δραστηριότητες και προοπτικές αξιοποίησης ([http://vergina.eng.auth.gr/IHT/B%20Tomos/B03%20-%20YDROHLEKTRIKA%20-%20ENERGEIA%20KYMMATWN/03-Lemonis\\_KYMATIKH%20ENERGEIA%20.pdf](http://vergina.eng.auth.gr/IHT/B%20Tomos/B03%20-%20YDROHLEKTRIKA%20-%20ENERGEIA%20KYMMATWN/03-Lemonis_KYMATIKH%20ENERGEIA%20.pdf))

[33] Τελική έκθεση παραδοτέου προς ΡΑΕ έργου με τίτλο «Διερεύνηση της δυνατότητας κατασκευής έργων αποταμίευσης ενέργειας μέσω άντλησης σε περιοχές του Ελληνικού Διασυνδεδεμένου Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας», 2010(Ι. Αναγνωστόπουλος, Μουτάφης, Παπαντώνης, Ι.Στεφανάκος), ([http://www.rae.gr/site/file/categories\\_new/about\\_rae/activity/research/report8?p=files&i=0](http://www.rae.gr/site/file/categories_new/about_rae/activity/research/report8?p=files&i=0))

[34] Διπλωματική εργασία Αννας Αποστολοπούλου «Αξιοποίηση υπάρχουσων λιμνών για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με άντληση-ταμίευση για αντιμετώπιση διεύθυνσης αιολικών πάρκων στο δίκτυο».