



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΣΧΟΛΗ: ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**  
**ΤΟΜΕΑΣ: ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ**

**Συνεργασία Αιολικού πάρκου και αντλησιοταμίευσης σε καθεστώς  
απελευθερωμένης αγοράς**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΓΕΩΡΓΙΟΣ Β. ΚΑΡΑΜΑΛΤΙΔΗΣ**

**Επιβλέπων: Νικόλαος Χατζηαργυρίου , Καθηγητής Ε.Μ.Π**

Αθήνα, Ιούλιος ,2022





**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΣΧΟΛΗ: ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**  
**ΤΟΜΕΑΣ: ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ**

**Συνεργασία Αιολικού πάρκου και αντλησιοταμίευσης σε καθεστώς  
απελευθερωμένης αγοράς**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΓΕΩΡΓΙΟΣ Β. ΚΑΡΑΜΑΛΤΙΔΗΣ**

**Επιβλέπων:** Νικόλαος Χατζηαργυρίου, Καθηγητής Ε.Μ.Π

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 12 Ιουλίου 2022

.....

.....

.....

Χατζηαργυρίου Νικόλαος

Παπαθανασίου Σταύρος

Γεωργιλάκης Παύλος

Καθηγητής Ε.Μ.Π

Καθηγητής Ε.Μ.Π

Καθηγητής Ε.Μ.Π

Αθήνα , Ιούλιος ,2022



.....

Γεώργιος Β. Καραμαλτίδης

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π

Copyright © Γεώργιος Β. Καραμαλτίδης , 2022

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας σε πολλές χώρες έχουν πρόσφατα υποστεί σημαντική μετάβαση προς τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και τις πηγές παραγωγής χωρίς εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Οι πηγές αυτές θέτουν νέες προκλήσεις για τη λειτουργία του δικτύου λόγω της διαλείψεως και της αβεβαιότητάς τους. Κατά συνέπεια, απαιτούνται προηγμένες στρατηγικές πολιτικής και τεχνολογίες που προσφέρουν νέες λύσεις ευελιξίας στην ανελαστική πλευρά της ζήτησης για τη διατήρηση της αξιοπιστίας των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας. Δεδομένης της αβεβαιότητας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας των Αιολικών παραγωγών καθώς και της αβεβαιότητας των τιμών της αγοράς ,το παρόν άρθρο εξετάζει μία συνεργασία ενός Αιολικού πάρκου και μίας μονάδας αντλησιοταμίευσης . Με αυτήν την συνεργασία γίνεται μείωση του κινδύνου του αιολικού παραγωγού στην αγορά ενέργειας με την μονάδα αντλησιοταμίευσης να καλύπτει την ζήτηση ενέργειας όταν ο αιολικός παραγωγός αδυνατεί να καλύψει και αποθηκεύοντας την περίσσεια ενέργεια παραγωγής του αιολικού παραγωγού όταν αυτή υπάρχει σε χρονικές στιγμές χαμηλής ζήτησης .Τέλος γίνεται σύγκριση δύο μεθόδων επίλυσης , γραμμικού προγραμματισμού και μεικτού ακέραιου γραμμικού προγραμματισμού.

## ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

Αιολικό πάρκο , Αντλησιοταμίευση , Συνεργασία , Αγορά Ενέργειας ,Αγορά Επόμενης ημέρας , Ενδοημερήσια αγορά Ενέργειας , Αβεβαιότητα , Γραμμικός προγραμματισμός , Μεικτός Ακέραιος Γραμμικός προγραμματισμός ,GAMS , Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας.





## **ABSTRACT**

Power systems in many countries have recently undergone a significant transition towards renewable and carbon-free generation sources. Those sources pose new challenges to the grid operation due to their intermittency and uncertainty. Consequently, advanced policy strategies and technologies offering new flexibility solutions on the inelastic demand side are required to maintain the reliability of power systems.

Given the uncertainty of the electricity production of the Wind producers as well as the uncertainty of the market prices, this article examines a cooperation of a Wind farm and a pumped storage unit. With this cooperation, the risk of the wind producer in the energy market is reduced with the pumped storage unit covering the energy demand when the wind producer is unable to cover and by storing the excess production energy of the wind producer when it exists in times of low demand. comparison of two solution methods, linear programming and mixed integer linear programming.

## **KEY WORDS**

Wind Farm , Pumped storage unit , Cooperation , Energy Market , Day Ahead Market , Intraday Market , Uncertainty , Linear programming , Mixed Integer Linear Programming, GAMS, Renewable Energy Sources.



### Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε κατά το ακαδημαϊκό έτος 2021-2022 υπό την επίβλεψη του Κύριου Ν. Χατζηαργυρίου , καθηγητή τη σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Ε.Μ.Π , τον οποίο οφείλω ιδιαίτερες ευχαριστίες για την ανάθεση της , δίνοντας μου την ευκαιρία να ασχοληθώ με ένα ενδιαφέρον θέμα .

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω θερμά τον ερευνητή Κύριο Άρη Δημέα , για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση που μου παρείχε κατά την εκπόνηση της εργασίας .

Τέλος , θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και ιδιαίτερα τους γονείς μου για την στήριξη και την δύναμη που μου παρείχαν και μου παρέχουν σε κάθε στάδιο της ζωής μου .



## Περιεχόμενα

<b><u>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</u></b> .....	<b>7</b>
<b><u>ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ</u></b> .....	<b>7</b>
<b><u>ABSTRACT</u></b> .....	<b>9</b>
<b><u>KEY WORDS</u></b> .....	<b>9</b>
<b><u>Ευχαριστίες</u></b> .....	<b>11</b>
<b><u>Συντομογραφίες :</u></b> .....	<b>15</b>
<b><u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ</u></b> .....	<b>16</b>
1.1 Εισαγωγή .....	16
1.2 Στόχος και Δομή Διπλωματικής .....	20
<b><u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΑΓΟΡΕΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ</u></b> .....	<b>21</b>
2.1 Εισαγωγή .....	21
2.2 Αγορά Επόμενης ημέρας (Day ahead market) .....	22
2.2.1 Δομή της αγοράς για την επόμενη μέρα .....	22
2.3 Ενδο-ημερήσια αγορά (Intra-day market) .....	23
2.3.1 Ο όρος "ενδοημερήσια διαπραγμάτευση" .....	25
2.3.2 Ενδοημερήσια ανάπτυξη ανταλλαγής .....	25
2.4 Αγορά εξισορρόπησης (Balanced market) .....	26
<b><u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ</u></b> .....	<b>28</b>
3.1 Εισαγωγή .....	28
3.1.1 Οι Α.Π.Ε στην Ελλάδα .....	30
3.2 Αιολική ενέργεια .....	32
3.2.1 Εισαγωγή .....	32
3.2.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της αιολικής ενέργειας .....	33
3.2.3. Χαρακτηριστικά ανεμογεννητριών .....	36
3.3.3. Η αιολική ενέργεια στην Ελλάδα .....	42
<b><u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ</u></b> .....	<b>45</b>
4.1 Η Υδροηλεκτρική Ενέργεια .....	45
4.1.1 Η υδροηλεκτρική ενέργεια στην Ελλάδα .....	46

4.1.2 Υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις .....	47
4.1.3 Τύποι υδροστροβίλων .....	49
4.1.4. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.....	52
4.2 Αναστρέψιμη υδροηλεκτρική ενέργεια και η περίπτωση της Ελλάδας .....	58

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Αποθηκευτικές μέθοδοι στις Α.Π.Ε ..... 60**

5.1 Ειδή αποθηκευτικών διατάξεων .....	61
5.1.1 Αντλησιοταμίευση .....	61
5.1.2 Ηλεκτροχημική αποθήκευση ενέργειας .....	64
5.1.3 Αποθήκευση συμπιεσμένου αέρα .....	68

## **Κεφάλαιο 6: Υβριδικό Μοντέλο Αιολικού πάρκου και Μονάδας Αντλησιοταμίευσης ..... 72**

6.1 Εισαγωγή .....	72
6.2 Η Αιολική Ενέργεια στην αγορά .....	73
6.2.1 Αντιστάθμιση κινδύνου με προσθήκη μονάδας αντλησιοταμίευσης .....	73
6.3 Μοντελοποίηση μονάδας αντλησιοταμίευσης .....	74
6.4 Λειτουργίες υπό μελέτη .....	74
6.4.1 UO (uncoordinated operation) .....	74
6.4.2 JOSB (Joint operation selling and buying) .....	74
6.5 Μαθηματικό μοντέλο των περιπτώσεων .....	75
6.5.1 UO – MILP Μαθηματικό Μοντέλο.....	78
6.5.2 UO – LP Μαθηματικό Μοντέλο .....	81
6.5.3 Joint Operation, Selling and Buying:(JO-SB) LP μαθηματικό μοντέλο : .....	83
6.6 Πρόγραμμα επίλυσης μαθηματικών προβλημάτων.....	84
6.6.1 Κώδικες που δημιουργήθηκαν για την επίλυση των μαθηματικών μοντέλων.....	84
6.7 Παράδειγμα Ελλάδας .....	94
6.8 Αποτελέσματα:.....	96
6.7.1 Διαγράμματα Κερδών : .....	98
6.9 Συμπεράσματα:.....	102

## **Βιβλιογραφία: .....103**

## **Παράρτημα Α: .....106**

## **Παράρτημα Β:.....108**

## **Παράρτημα Γ: .....110**

### Συντομογραφίες :

Συντομογραφία	Επεξήγηση
<b>DSO</b>	Distribution System Operator (Διαχειριστής Συστήματος Διανομής)
<b>DER</b>	Distributed Energy Resources (Κατανεμημένοι Ενεργειακοί Πόροι)
<b>TSO</b>	Transmission System Operator (Διαχειριστής Συστήματος Μεταφοράς)
<b>DR</b>	Demand Response
<b>BRP</b>	Balanced Responsible Parties
<b>CEER</b>	Council Of European Energy Regulators (Συμβούλιο των Ευρωπαϊκών Ρυθμιστικών Αρχών Ενέργειας )
<b>ENTSO-E</b>	European Network Of Transmission System Operators For Electricity (Ευρωπαϊκό Δίκτυο Διαχειριστών Συστημάτων Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας )
<b>EPEX Spot</b>	European Power Exchange Spot Market
<b>ΟΟΣΑ</b>	Οργανισμός Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης
<b>ΔΣΔ</b>	Διαχειριστές Συστήματος Διανομής
<b>ΔΣΜ</b>	Διαχειριστές Συστήματος Μεταφοράς

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

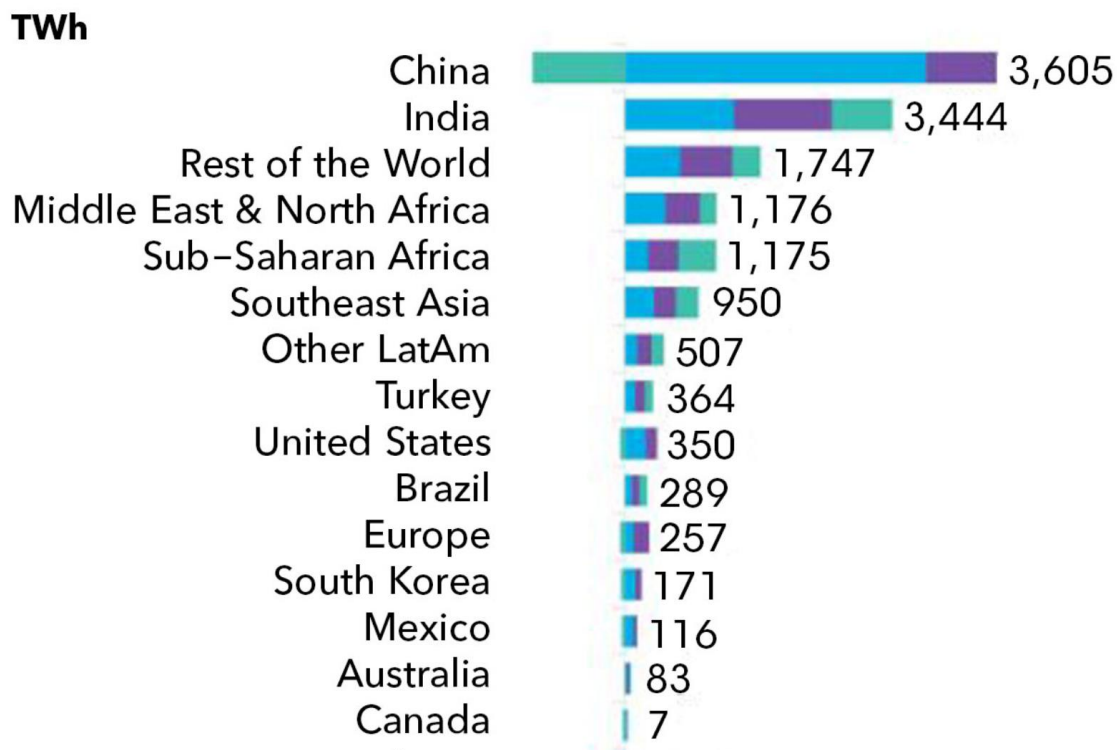
## 1.1 Εισαγωγή

Τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας βιώνουν βαθιές αλλαγές καθώς μεταβαίνουν σε πιο φιλικές προς το περιβάλλον, απαλλαγμένες από τις ανθρακούχες εκπομπές και αποδοτικές διαδικασίες παραγωγής και κατανάλωσης ενέργειας. Αυτό το μεταβαλλόμενο περιβάλλον φαίνεται από τις αυξανόμενες επενδύσεις σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και κατανεμημένους ενεργειακούς πόρους (DERs), οι οποίοι τοποθετούνται τόσο στα δίκτυα μεταφοράς όσο και στα δίκτυα διανομής. Οι πηγές αυτές προσθέτουν νέες προκλήσεις στη λειτουργία τόσο του δικτύου μεταφοράς, όπου απαιτούνται νέες υπηρεσίες εξισορρόπησης και συχνότητας για να διασφαλιστεί η διαθεσιμότητα της ράμπας, όσο και του δικτύου διανομής, όπου απαιτούνται νέες υπηρεσίες ευελιξίας και επενδύσεις από τους διαχειριστές συστημάτων διανομής (DSOs) για να χειριστούν τις αντίστροφες ροές ισχύος, καθώς και νέα ζητήματα συμφόρησης και τάσης [1]. Σε αυτό το πλαίσιο, και προκειμένου να μεγιστοποιηθεί η χρήση των πόρων και στα δύο συστήματα, η συνεργασία μεταξύ των διαχειριστών συστημάτων μεταφοράς (TSO) και των διαχειριστών συστημάτων διανομής (DSO) καθίσταται κρίσιμη. Ταυτόχρονα, οι ΔΣΔ θα πρέπει να προσανατολίζονται σε καθήκοντα μακροπρόθεσμου σχεδιασμού καθώς και σε βραχυπρόθεσμα καθήκοντα λειτουργίας του δικτύου. Οι ΔΣΔ αναζητούν τεχνολογίες και μηχανισμούς αγοράς που θα τους επιτρέψουν να προχωρήσουν σε πιο ενεργή διαχείριση και έλεγχο του συστήματος, προκειμένου να αντιμετωπίσουν αυτές τις ανησυχίες [2].

Η ευελιξία ορίζεται συνήθως ως η ικανότητα μεταβολής των διαμορφώσεων παραγωγής και/ή κατανάλωσης σε απόκριση σε εξωτερικά σήματα (σήματα τιμών ή ενεργοποίησης), προκειμένου να συμβάλει στη σταθερότητα και την ασφάλεια του ενεργειακού συστήματος μέσω της σχέσης κόστους-αποτελεσματικότητας [1]. Οι τυπικές μετρικές για την περιγραφή της ευελιξίας περιλαμβάνουν το ποσό της διαμόρφωσης ισχύος, τη διάρκεια, το ρυθμό αλλαγής, το χρόνο απόκρισης και την τοποθεσία. Ιστορικά, οι ΔΣΜ αγόραζαν υπηρεσίες ευελιξίας μέσω της χρήσης σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (τόσο συμβατικών θερμικών όσο και υδροηλεκτρικών), διασυνδέσεων δικτύου ή προγραμμάτων απόκρισης ζήτησης (DR) μεγάλων πελατών [3]. Επί του παρόντος, η προμήθεια ευελιξίας περιλαμβάνει μια ποικιλία ενδιαφερομένων, συμπεριλαμβανομένων των TSO, των DSO, των υπεύθυνων για την εξισορρόπηση του ισοζυγίου (BRP) για την εξισορρόπηση του χαρτοφυλακίου [4], των αντιπροσώπων από την πλευρά των



καταναλωτών και των παρόχων DER, καθένας από τους οποίους αντιμετωπίζει μια ποικιλία λειτουργικών ζητημάτων σε επίπεδο μεταφοράς ή διανομής . Οι ΔΣΜ προσφέρουν κυρίως προϊόντα ευελιξίας με σκοπό την εξισορρόπηση ισχύος και τη ρύθμιση της συχνότητας, ενώ οι ΔΣΜ είναι υπεύθυνοι για τη διαχείριση του δικτύου (τάσεις ή συμφόρηση) και την εξισορρόπηση του τοπικού δικτύου. Η ενσωμάτωση της διασκορπισμένης παραγωγής και της μεταβλητής ζήτησης απαιτεί νέες λύσεις και ένα νομικό πλαίσιο που να ανταποκρίνεται στην κατάσταση. Στην Ευρώπη, η ευελιξία από την πλευρά της ζήτησης (DSF) αναγνωρίζεται ως εργαλείο για τη βελτιστοποίηση της χρήσης των υφιστάμενων δικτύων διανομής και, στη συνέχεια, για τη βελτιστοποίηση της κατανομής των πόρων για επενδύσεις στο δίκτυο.



Εικόνα 1: Παγκόσμια Ζήτηση Ηλεκτρικής Ενέργειας

Η δέσμη μέτρων για την καθαρή ενέργεια [5] για όλους τους Ευρωπαίους, η πρόσφατη διαβούλευση του Συμβουλίου Ευρωπαϊκών Ρυθμιστικών Αρχών Ενέργειας (CEER) [6] και η έκθεση TSODSO που δημοσιεύθηκε ως κοινή εργασία για την ενεργό διαχείριση του συστήματος από το Ευρωπαϊκό Δίκτυο Διαχειριστών Συστημάτων Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ENTSO-E) και τις ευρωπαϊκές ενώσεις που εκπροσωπούν τους ΔΣΜ υπογραμμίζουν τη σημασία της προμήθειας ευελιξίας δικτύου. Μια ξεχωριστή συνιστώσα της δέσμης μέτρων για την καθαρή

ενέργεια [5] αποσκοπεί στην ανάπτυξη μιας σύγχρονης αρχιτεκτονικής για την αγορά ενέργειας της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ), μιας αρχιτεκτονικής που θα είναι πιο προσαρμόσιμη στη νέα —πιο ευέλικτη, πιο προσανατολισμένη στην αγορά— πραγματικότητα της αγοράς. Πιο συγκεκριμένα, η οδηγία σχετικά με τους ενιαίους κανόνες για την εσωτερική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας ενσωματώνει νέες διατάξεις που επιτρέπουν στους πελάτες να συμμετέχουν ενεργά σε όλες τις αγορές, είτε μεμονωμένα είτε μέσω ομάδων πολιτών για την ενέργεια. Η κοινοτική ενέργεια προσφέρει πλέον μια εναλλακτική λύση χωρίς αποκλεισμούς για τη διευκόλυνση της υιοθέτησης νέων τεχνολογιών και προτύπων κατανάλωσης, όπως τα έξυπνα δίκτυα διανομής και η ανταπόκριση στη ζήτηση, με ολοκληρωμένο τρόπο που μεγιστοποιεί την ευελιξία του δικτύου. Παρά τη διαθεσιμότητα ενός ολοκληρωμένου ευρωπαϊκού πλαισίου ενεργειακής πολιτικής, η πρόοδος όσον αφορά στην ενεργοποίηση υπηρεσιών ευελιξίας στο δίκτυο διανομής και τη λειτουργία των αγορών ευελιξίας διαφέρει σημαντικά μεταξύ των κρατών μελών της Ευρώπης. Αυτό καθορίζεται κυρίως από την εγχώρια νομοθεσία και τα ρυθμιστικά πλαίσια. Οι υπάρχουσες εργασίες στη βιβλιογραφία που εξετάζουν τα εργαλεία της αγοράς για τη δυνατότητα ενεργότερης διαχείρισης και ελέγχου του συστήματος μέσω της ευελιξίας είτε επικεντρώνονται σε συγκεκριμένες λύσεις ευελιξίας (π.χ. τοπικές αγορές, μικροδίκτυα, ηλεκτρικά οχήματα, ομότιμες συναλλαγές και συσσωρευτές) είτε σε σχέδια αγοράς που προτείνονται θεωρητικά αλλά δεν εφαρμόζονται στην πράξη. Για παράδειγμα, οι συγγραφείς του συζητούν διάφορες έννοιες, διαδικασίες και μεθόδους εκκαθάρισης της αγοράς για την ανταλλαγή ευελιξίας μεταξύ διαχειριστών συστημάτων διανομής και άλλων παικτών (π.χ. συγκεντρωτές). Ωστόσο, η έμφαση δίνεται σε θεωρητικά μελλοντικά σχέδια που έχουν εντοπιστεί στη βιβλιογραφία και όχι σε πραγματικές νομοθετικές προσπάθειες.

Επιπλέον, η ανάλυση επικεντρώνεται αποκλειστικά στις επιλογές που παρέχονται ρητά από τις τοπικές αγορές ευελιξίας και αγνοεί τις ευρύτερες πιθανές λύσεις για την ενίσχυση της ευελιξίας του συστήματος. Ομοίως, οι [7] επιχειρούν να ταξινομήσουν και να εξετάσουν τα προϊόντα ευελιξίας, καθώς και να συνοψίσουν τις κύριες προσεγγίσεις για το σχεδιασμό και την εφαρμογή αγορών ευελιξίας, από θεωρητική άποψη και με βάση λύσεις που έχουν βρεθεί στη βιβλιογραφία και όχι σε πραγματικές εφαρμογές σε χώρες. Άλλα έγγραφα εξετάζουν ρητά είτε τις ευκαιρίες, είτε τα εμπόδια, είτε τις συστάσεις για να επιτραπεί η είσοδος νέων παικτών στην αγορά, αλλά καλύπτουν μόνο ένα μέρος της ανάλυσης που παρουσιάζεται στο παρόν έγγραφο και δεν προσδιορίζουν στοχευμένα εμπόδια και συστάσεις για συγκεκριμένες χώρες, όπως κάνει το παρόν

έγγραφο. Μια παρόμοια έρευνα , η οποία διερευνά τις αγορές και τις μεθόδους ρύθμισης της συχνότητας προκειμένου να εντοπιστούν τα εμπόδια εισόδου για τους συγκεντρωτές και οι πιθανές λύσεις. Οι συγγραφείς πραγματοποιούν μια μελέτη περίπτωσης για να απεικονίσουν την κατάσταση τεσσάρων από τις μεγαλύτερες αγορές ρύθμισης συχνότητας στην Ευρώπη το 2016 (Γαλλία, Γερμανία, Δανία και Ηνωμένο Βασίλειο).

Άλλες κοινές εκτιμήσεις στη βιβλιογραφία διερευνούν το δυναμικό ευελιξίας από την πλευρά της ζήτησης σε ευρωπαϊκό επίπεδο και όχι ανά χώρα. Ένα αξιοσημείωτο παράδειγμα είναι το [8], το οποίο εξετάζει τις μεταρρυθμίσεις που απαιτούνται για την εφαρμογή του ευρωπαϊκού πλαισίου ενεργειακής πολιτικής, εντοπίζει τα σημαντικότερα εμπόδια για τη δέσμευση των καταναλωτών και παρουσιάζει διάφορες λύσεις πολιτικής. Ο [8] συζητά επίσης τα αναδυόμενα δημιουργικά σχέδια της αγοράς για αποκεντρωμένη ευελιξία από μια ευρύτερη ευρωπαϊκή άποψη. Όσον αφορά μελέτες σχετικά με τους σχεδιασμούς συγκεκριμένων χωρών για την ευελιξία από την πλευρά της ζήτησης, υπάρχουν μερικές αναφορές [8], αλλά περιορίζονται σε συγκεκριμένα τμήματα της αγοράς (π.χ. αγορές εξισορρόπησης, τοπικοί διαγωνισμοί ευελιξίας [9] και λύσεις που επιτρέπουν τη συμμετοχή της ζήτησης (π.χ. πλατφόρμες εμπορίας ευελιξίας, απόκριση ζήτησης, ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας από οικιακούς καταναλωτές) και δεν παρουσιάζονται ως ολοκληρωμένη ανάλυση. Στο πλαίσιο αυτού του παραδείγματος, το άρθρο [2] πραγματοποιεί μια λεπτομερή ανάλυση —αν και ακόμη περιορισμένη σε έκταση— τεσσάρων πρωτοποριακών πλατφορμών που είναι οι πιο προηγμένες στην Ευρώπη όσον αφορά τη δημιουργία αγορών ευελιξίας. Αυτά τα προγράμματα ανά χώρα, τα οποία βρίσκονται στο Ηνωμένο Βασίλειο, τη Γερμανία, τις σκανδιναβικές χώρες και τις Κάτω Χώρες, βρίσκονται ακόμη σε πιλοτικό στάδιο και κανένα από αυτά δεν έχει ενσωματωθεί πλήρως στην τρέχουσα αλληλουχία των αγορών ηλεκτρικής ενέργειας της ΕΕ. συζητούνται σχετικές πρωτοβουλίες σχετικά με τα σχέδια πιλοτικών αγορών και τις εμπορικές πλατφόρμες για υπηρεσίες ευελιξίας.

Τα έγγραφα [10] σχετικά με την επισκόπηση της πολιτικής διαχείρισης της ζήτησης στο Ηνωμένο Βασίλειο και [11] σχετικά με τη συμμετοχή της DR στις αγορές της Φινλανδίας, της Ισπανίας, του Ηνωμένου Βασιλείου, της Γαλλίας και των Κάτω Χωρών καλύπτουν τμήματα των θεμάτων που εξετάζονται στο παρόν έγγραφο και παρουσιάζουν την κατάσταση σε συγκεκριμένες χώρες και τα προηγούμενα έτη.

Οι [9] εξετάζουν τους κανονισμούς της αγοράς που διέπουν τους τοπικούς διαγωνισμούς ευελιξίας για τη συμμετοχή DER και την προμήθεια ευελιξίας από τους DSOs στο Ηνωμένο Βασίλειο και τη Γαλλία, ενώ η [11] εξετάζει τις προσπάθειες και τις πολιτικές DR στο Ηνωμένο Βασίλειο, την Ιταλία και την Ισπανία. Μια πιο σχετική έρευνα είναι η [11] η οποία εξετάζει τα εμπόδια και τους παράγοντες διευκόλυνσης της συμμετοχής της ζήτησης σε τέσσερις ευρωπαϊκές αγορές ηλεκτρικής ενέργειας, συμπεριλαμβανομένων της Φινλανδίας, της Γαλλίας, του Βελγίου και του Ηνωμένου Βασιλείου. Η έρευνα, ωστόσο, περιορίζεται στην ισορροπία της αγοράς και προσανατολίζεται στη συγκέντρωση της ζήτησης. Τέλος, υπάρχουν ορισμένες αξιολογήσεις σε επίπεδο χώρας που προσανατολίζονται σε άλλα ευρωπαϊκά έθνη [12] ή στον κόσμο γενικότερα, οι οποίες δεν λαμβάνουν υπόψη τις συνθήκες στις χώρες που εξετάζονται στην παρούσα εργασία. Αναφερόμαστε για μια ανασκόπηση των παραγόντων και των μέσων για την αύξηση της ευελιξίας των φινλανδικών ενεργειακών συστημάτων, [12] για πληροφορίες σχετικά με την ευελιξία του ολλανδικού συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, [12] για πληροφορίες σχετικά με τα επιχειρηματικά μοντέλα DR στη Σερβία και [12] για μια ολοκληρωμένη ανασκόπηση της βιβλιογραφίας σχετικά με τη ζήτηση αποθήκευσης, τις απαιτήσεις ευελιξίας και το δυναμικό πόρων στα μελλοντικά συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρώπη, ιδίως στη Γερμανία.. Οι μελέτες παρέχουν μια παγκόσμια προοπτική σχετικά με τις προκλήσεις και τις ευκαιρίες που συνδέονται με τη διαχείριση της ζήτησης και τις αποκεντρωμένες ενεργειακές τεχνολογίες, υπογραμμίζοντας ειδικότερα τους κανονισμούς, τις πολιτικές και τις δυναμικές δυνατότητες στη Βραζιλία, καθώς και τα προγράμματα δυναμικής τιμολόγησης και τις αγορές DER στις Ηνωμένες Πολιτείες.

## 1.2 Στόχος και Δομή Διπλωματικής

Ο στόχος της παρούσας εργασίας είναι να παρουσιάσει εκτενώς το φάσμα των διαφόρων δομών που σχετίζονται με την παραγωγή, διανομή και αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας. Αναλυτικά, στο 2<sup>ο</sup> Κεφάλαιο αναλύεται η αγορά ηλεκτρικής ενέργειας και εξηγούνται βασικές της έννοιες, ενώ στο 3<sup>ο</sup> Κεφάλαιο εισαγόμαστε στην έννοια των Ανενεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Α.Π.Ε.) και πραγματοποιείται εκτενής ανάλυση αυτών. Στο 4<sup>ο</sup> Κεφάλαιο γίνεται αναφορά στην παραγωγή, διανομή και αποθήκευση της υδροηλεκτρικής ενέργειας, τις μορφές της αλλά και τους διάφορους τύπους υδροστροβίλων. Το τέλος του θεωρητικού μέρους της εργασίας πραγματοποιείται με την παρουσίαση των μεθόδων αποθήκευσης της ενέργειας.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΑΓΟΡΕΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

### 2.1 Εισαγωγή

Η ηλεκτρική ενέργεια, από οικονομική άποψη, είναι ένα εμπόρευμα που μπορεί να αγοραστεί, να πωληθεί και να ανταλλαχθεί. Μια αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, που μερικές φορές ονομάζεται ανταλλαγή ισχύος ή PX, είναι ένας μηχανισμός που επιτρέπει στις αγορές μέσω προσφορών να αγοράζουν και να πωλούν με προσφορές για πώληση. Οι προσφορές βασίζονται σε παράγοντες προσφοράς και ζήτησης. Οι μακροπρόθεσμες συμβάσεις, συμπεριλαμβανομένων των συμφωνιών αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, θεωρούνται ιδιωτικές διμερείς συναλλαγές μεταξύ αντισυμβαλλομένων [13].

Συνήθως, οι συναλλαγές χονδρικής ηλεκτρικής ενέργειας εκκαθαρίζονται και διακανονίζονται από τον διαχειριστή της αγοράς ή από μια εξειδικευμένη ανεξάρτητη εταιρεία στην οποία έχει ανατεθεί μόνο αυτή η εργασία. Ενώ οι φορείς της αγοράς δεν συνάπτουν συμφωνίες, συχνά απαιτούν γνώση αυτών για να εξασφαλίσουν την ισορροπία παραγωγής και φορτίου. Τα εμπορεύματα που διαπραγματεύονται σε μια αγορά ηλεκτρικής ενέργειας ταξινομούνται συχνά σε δύο κατηγορίες: ενέργεια και ισχύς [14]. Ο όρος "ισχύς" αναφέρεται στον μετρούμενο καθαρό ρυθμό μετάδοσης ηλεκτρικής ενέργειας σε οποιαδήποτε συγκεκριμένη στιγμή, ο οποίος εκφράζεται σε μεγαβάτ (MW). Η ενέργεια ορίζεται ως η ροή ενέργειας μέσω ενός μετρημένου σημείου κατά τη διάρκεια μιας ορισμένης χρονικής περιόδου και ποσοτικοποιείται σε μεγαβατώρες (MWh).

Οι αγορές ενεργειακών εμπορευμάτων ανταλλάσσουν την καθαρή παραγωγή παραγωγής σε διάφορα χρονικά διαστήματα, συχνά σε προσαυξήσεις των 5, 15 και 60 λεπτών. Οι αγορές για εμπορεύματα που σχετίζονται με την ενέργεια που απαιτούνται και διαχειρίζονται οι φορείς της αγοράς (και πληρώνονται από αυτούς) για να διασφαλιστεί η αξιοπιστία αναφέρονται ως βοηθητικές υπηρεσίες. Περιλαμβάνουν αποθεματικό περιστροφής, εφεδρικό μη περιστρεφόμενο, αποθεματικά λειτουργίας, αποθεματικό απόκρισης, ρύθμιση προς τα πάνω, ρύθμιση προς τα κάτω και εγκατεστημένη χωρητικότητα [13].

Επιπλέον, για την πλειονότητα των μεγάλων φορέων εκμετάλλευσης, υπάρχουν ενεργά διαπραγματεύσιμες αγορές για συμφόρηση μεταφοράς και ηλεκτρικά παράγωγα, όπως συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης και δικαιώματα προαίρεσης ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτές οι αγορές

προέκυψαν ως αποτέλεσμα της παγκόσμιας αναδιοργάνωσης των υποδομών ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτή η διαδικασία συμβαίνει συχνά μαζί με την αναδιάρθρωση της αγοράς φυσικού αερίου.

## 2.2 Αγορά Επόμενης ημέρας(Day ahead market)

Αυτή η αγορά βασίζεται στην ενέργεια που δημοπρατείται μέσω ενός μηχανισμού ανταλλαγής ή συγκέντρωσης. Αυτό το σύστημα αγοράς προορίζεται να είναι είτε κεντρικού είτε διμερούς χαρακτήρα, με την ισχύ να ρέει και προς τις δύο κατευθύνσεις. Οι προσφορές υπολογίζονται με στόχο τη μεγιστοποίηση του συνολικού πλεονάσματος. Όταν εγχέεται δωρεάν ενέργεια σε πολλά μέρη, η τιμή τοποθεσίας της ενέργειας καθορίζεται ώστε να ισούται με την οριακή μεταβολή στο συνολικό πλεόνασμα. Τρία σετ κριτηρίων εμφυτεύονται πριν από κάθε δημοπρασία: συστάσεις για υποβολή προσφορών, οδηγίες για αποδοχή προσφορών και απαιτήσεις διακανονισμού [14]. Η συγκέντρωση ισχύος έκανε χρήση της μεθόδου προσφοράς πολλαπλών μερών. Τις περισσότερες φορές, μια αποτελεσματική δημοπρασία διεξάγεται χρησιμοποιώντας μια δημοπρασία μιας ημέρας μπροστά.

### 2.2.1 Δομή της αγοράς για την επόμενη μέρα

Οι αγορές της επόμενης ημέρας χρησιμοποιούν δύο διακριτές μεθοδολογίες τιμολόγησης: κεντρική κομβική και διμερή τιμολόγηση. Για συναλλαγές στην αγορά, η τιμή καθορίζεται αναλύοντας όλες τις προσφορές «προσφοράς» και ζήτησης και στη συνέχεια επιλέγοντας την προσφορά από την υψηλότερη προσφορά «προσφοράς» και τη ζήτηση από τη χαμηλότερη προσφορά ζήτησης. Ο προσδιορισμός της τιμής λαμβάνει υπόψη το οριακό πλεόνασμα, το οποίο είναι η διακύμανση του συνολικού πλεονάσματος που προκαλείται από την προσθήκη μιας μονάδας χωρίς κόστος προσφοράς [14].

Οι αγορές χωρίς περιορισμούς παρουσιάζουν συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, όπως η διαθεσιμότητα μονάδων προσφοράς χωρίς κόστος, οι οποίες θα μετατόπιζαν ολόκληρη την καμπύλη προσφοράς προς τα αριστερά, διατηρώντας τα ίδια επίπεδα ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται και καταναλώνεται. Έτσι, εάν η οριακή υπέρβαση είναι  $P$ , η τελική εξοικονόμηση κόστους στην κατασκευή θα είναι  $P1 \text{ kW}$ . Εάν το κόστος της γεννήτριας είναι απαγορευτικά

υψηλό, πρέπει να περιορίσουμε τη χρήση ενέργειας. Ωστόσο, με την προσθήκη μονάδας 1 kW, η κατανάλωση μπορεί να αυξηθεί [14]. Σε αυτήν την κατάσταση, το κόστος παραγωγής δεν αλλάζει. παραμένει σταθερό. Μόνο η κατανάλωση θα αυξηθεί σε P1 kW, αυξάνοντας το συνολικό πλεόνασμα κατά το ίδιο ποσό. Και στις δύο περιπτώσεις, η οριακή υπέρβαση ισούται με την τιμή.

Τα χαρακτηριστικά των περιορισμένων αγορών είναι κάπως διακριτά. Και οι δύο συμμετέχοντες στην αγορά, ο πάροχος και ο καταναλωτής, βρίσκονται σε αντίθετες πλευρές της πλατφόρμας της αγοράς σε αυτήν τη ρύθμιση αγοράς. Οι προμηθευτές είναι από τη μια, ενώ οι αγοραστές από την άλλη. Τα επιπλέον κιλοβάτ παροχής μπορούν να προστεθούν και στις δύο πλευρές της πλατφόρμας. Για την κατανάλωση και τη διαθεσιμότητα ηλεκτρικής ενέργειας, το οριακό πλεόνασμα εξαρτάται τόσο από την πλευρά του καταναλωτή όσο και από την πλευρά του παρόχου. Μια αύξηση kW από την πλευρά του καταναλωτή θα είχε ως αποτέλεσμα αύξηση της ζήτησης ισχύος, ενώ μια αύξηση kW από την πλευρά του προμηθευτή θα είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση του συνολικού κόστους εφοδιασμού [13]. Ο διαχειριστής του συστήματος συλλαμβάνει ένα ποσοστό του συνολικού πλεονάσματος, το οποίο είναι περαιτέρω συγκρίσιμο με το ακαθάριστο οριακό πλεόνασμα, ως αποτέλεσμα των μεταβολών των τιμών ανά τύπο αγοράς. Σε αυτό το στάδιο, μπορούμε να ισχυριστούμε ότι η ανταγωνιστική τιμή της αγοράς καθορίζεται μόνο με βάση το οριακό πλεόνασμα, προκαλώντας αποτελεσματική απόδοση. Η εκκαθάριση της αγοράς γίνεται σε αυτές τις προσιτές τιμές και η διαπραγμάτευση γίνεται σε αυτά τα επίπεδα.

### 2.3 Ενδο-ημερήσια αγορά (Intra-day market)

Ενδοημερήσια διαπραγμάτευση ηλεκτρικής ενέργειας είναι η συνεχής αγορά και πώληση ηλεκτρικής ενέργειας σε χρηματιστήριο ηλεκτρικής ενέργειας την ίδια ημέρα που παραδίδεται η ηλεκτρική ενέργεια. Το EPEX Spot (European Power Exchange Spot Market) στο Παρίσι και το Nord Pool είναι τα σημαντικότερα χρηματιστήρια ενέργειας εντός της ημέρας της Ευρώπης. Μπορεί επίσης να συμβεί σε μια συμφωνία εξωχρηματιστηριακής (over the counter), η οποία αναφέρεται σε συμβάσεις εκτός αγοράς που συνάπτονται μεταξύ μεγάλων αγοραστών και πωλητών. Αυτό μερικές φορές αναφέρεται ως βραχυπρόθεσμη χονδρική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, σε αντίθεση με τη μακροπρόθεσμη αγορά μελλοντικής εκπλήρωσης ενέργειας [14].

#### **Διαδικασίες ενδοημερήσιας διαπραγμάτευσης και χρόνοι παράδοσης**

Οι χρόνοι παράδοσης ενδοημερήσιων συναλλαγών έχουν μειωθεί σημαντικά με τα χρόνια. Για παράδειγμα, στις 16 Ιουλίου 2015, ο χρόνος παράδοσης για κάθε μεσοδιάστημα τετάρτου στη Γερμανία μειώθηκε από 45 σε 30 λεπτά. Στη Γερμανία, αυτό μειώθηκε σε μόλις πέντε λεπτά. Στην Αυστρία, οι χρόνοι παράδοσης έχουν μειωθεί κατά 75 λεπτά, σε 30 λεπτά πριν από την παράδοση [14]. Σύμφωνα με την αγορά spot EPEX, αυτό οφείλεται στην αυξημένη τροφοδοσία από κυμαινόμενες πηγές ενέργειας, γεγονός που καθιστά πιο δύσκολη την πρόβλεψη τροφοδοσίας. Για να απλοποιηθεί η διαχείριση χαρτοφυλακίου, οι power traders έχουν πλέον τη δυνατότητα να συναλλάσσονται με μικρότερες περιόδους δυνάμεων.

Η ενδοημερήσια διαπραγμάτευση στο EPEX Spot ξεκινά την προηγούμενη ημέρα στις 3 μ.μ. Αυτό σηματοδοτεί την έναρξη της συνεχούς ωριαίας διαπραγμάτευσης και, από τις 9 Δεκεμβρίου 2014, την έναρξη της δημοπρασίας ανοίγματος για είδη τριμήνου. Τα είδη τριμήνου για την επόμενη μέρα μπορούν να ανταλλάσσονται συνεχώς από τις 4 μ.μ. μετά την ολοκλήρωση της δημοπρασίας. Η μικρότερη μονάδα διαπραγμάτευσης της ενδοημερήσιας αγοράς είναι 0,1 MW, ίδια με τη μικρότερη μονάδα της αγοράς της επόμενης ημέρας. Μια μεγαβατώρα μπορεί να κοστίζει μεταξύ -9.999 και 9.999 ευρώ. Οι ενδοημερήσιες συναλλαγές, όπως και οι επόμενες ημέρες, είναι ανώνυμες και πραγματοποιούνται κάθε μέρα του χρόνου. Οι συμβατικές και οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας πωλούνται χωρίς πιστοποιητικά προέλευσης [14].

Μια σημαντική διαφορά από τις συναλλαγές της επόμενης ημέρας είναι η δομή των τιμών της ενδοημερήσιας αγοράς. Ενώ οι συναλλαγές για την επόμενη ημέρα βασίζονται σε αρχές τιμολόγησης εκκαθάρισης της αγοράς, στις οποίες η πιο πρόσφατη αποδεκτή προσφορά καθορίζει την τιμή για όλες τις συναλλαγές, οι τιμές ενδοημερήσιας διαπραγμάτευσης καθορίζονται χρησιμοποιώντας τη διαδικασία "πληρωμή ως προσφορά". Αυτό σημαίνει ότι οι τιμές καθορίζονται σε πραγματικό χρόνο όταν εκτελούνται οι συναλλαγές. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο, στις ενδοημερήσιες συναλλαγές, χρησιμοποιούνται συχνά οι τιμές προσφοράς. Ως αποτέλεσμα, δεν υπάρχουν καθορισμένες τιμές στην ενδοημερήσια αγορά για είδη. Είναι πολύ πιο χαρακτηριστικό για το ίδιο εμπόρευμα να έχει ποικίλη τιμολόγηση με βάση την ώρα διαπραγμάτευσης [8]. Οι τετράωρες διαπραγματεύονται στο EPEX Spot από τον Ιούλιο του 2018. Σύμφωνα με το EPEX Spot, οι έμποροι επικροτούν την εισαγωγή εντολών μπλοκ, καθώς προβλέπουν δυνατότητες αρμπιτράζ μεταξύ των ενδοημερήσιων και των επόμενων δημοπρασιών. Είναι θεωρητικά εφικτό



τα σκληρά μπλοκ να γίνουν πιο ευέλικτα στο μέλλον, επιτρέποντας μεγαλύτερα και πιο έξυπνα κατασκευασμένα μπλοκ.

### 2.3.1 Ο όρος "ενδοημερήσια διαπραγμάτευση"

Οι ενδοημερήσιες συναλλαγές πραγματοποιούνται στον βαθμό που είναι εφικτό για τη διαχείριση των ελλείψεων ή των πλεονασμάτων στον εξισορροπητικό όμιλο μιας οικονομικής οντότητας μέσω της βραχυπρόθεσμης, αυθημερόν, συναλλακτικής δραστηριότητας. Αυτό βοηθά στην τήρηση των δεσμεύσεων πρόβλεψης για την εξισορρόπηση των συμβάσεων του ομίλου και ελαχιστοποιεί το κόστος πιθανών ανισορροπιών [8]. Τα περιουσιακά στοιχεία ηλεκτρικής ενέργειας γίνονται πιο προσαρμόσιμα και η ημερήσια συναλλαγή τους επιτρέπει να χρησιμοποιούνται για την ταχεία παραγωγή ενέργειας ως απάντηση στη ζήτηση. Αυτό μεγιστοποιεί επίσης το κέρδος και τη σταθερότητα του συστήματος.

Οι ενδοημερήσιες συναλλαγές είναι ιδιαίτερα ωφέλιμες για την προσαρμογή σε απροσδόκητες διακυμάνσεις της παραγωγής ισχύος και της ζήτησης, χρησιμοποιώντας μηχανισμούς της αγοράς πριν από την ανάγκη για αποθέματα ελέγχου. Αυτό δίνει τη δυνατότητα σε έναν χειριστή ενός σταθμού ηλεκτροπαραγωγής που βιώνει ξαφνική απώλεια παραγωγής σε ένα μόνο μπλοκ να αγοράσει επιπλέον ηλεκτρική ενέργεια από άλλους παράγοντες της αγοράς και να διατηρήσει την ομάδα εξισορρόπησης. Ως εκ τούτου, η ενδοημερήσια διαπραγμάτευση είναι κρίσιμη για την απευθείας πώληση παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, όταν οι ταχέως μεταβαλλόμενες καιρικές προβλέψεις οδηγούν σε απροσδόκητο έλλειμμα ή πλεόνασμα ηλιακής ή αιολικής ενέργειας.

### 2.3.2 Ενδοημερήσια ανάπτυξη ανταλλαγής

Από το 2010, οι επεκτάσεις των χρηματιστηρίων σημαίνουν ότι οι συναλλαγές δεν περιορίζονται πλέον σε ένα μόνο έθνος. Αντίθετα, μπορούν να πραγματοποιηθούν μεταξύ των χωρών της Αυστρίας, του Βελγίου, της Γαλλίας, της Γερμανίας, της Ολλανδίας, της Ελβετίας και του Ηνωμένου Βασιλείου [13]. Το 2015, οι ενδοημερήσιες αγορές στο EPEX Spot διαπραγματεύθηκαν σε συνολικό όγκο 59 TWh. 37,5 TWh του συνόλου διακινήθηκαν στη γερμανική και την αυστριακή αγορά.

Έκτοτε, οι όγκοι συναλλαγών της αγοράς EPEX Spot την ίδια ημέρα αυξάνονται συνεχώς. Τον Οκτώβριο του 2016, διαπραγματεύτηκαν 5,18 TWh εντός της ημέρας. 3,35 TWh του συνόλου αναφέρθηκαν στη Γερμανία και την Αυστρία. Τα συμβόλαια ωρών αποτελούν το μεγαλύτερο μέρος του όγκου συναλλαγών, αντιπροσωπεύοντας 2,5 TWh. Οι συναλλαγές τριμήνου ανέρχονται συνολικά σε 671 GWh αυτή τη στιγμή, συμπεριλαμβανομένων των ενδοημερήσιων δημοπρασιών και των συνεχιζόμενων ενδοημερήσιων συναλλαγών. Συνολικά, αυτό είναι ένα μικρό ποσό, αλλά η τάση δείχνει αύξηση.

Τον Οκτώβριο του 2016, η μέση τιμή ωριαίων συμβολαίων στον τομέα βασικού φορτίου ήταν 37,51 ευρώ ανά MWh (ο μηνιαίος μέσος όρος των ωριαίων προϊόντων στην ενδοημερήσια διαπραγμάτευση) [14]. Μεταξύ 8 π.μ. και 8 μ.μ. τις εργάσιμες ημέρες, η μέση τιμή αιχμής ήταν 45,24 ευρώ ανά MWh.

## 2.4 Αγορά εξισορρόπησης (Balanced market)

Η αγορά εξισορρόπησης είναι το τελευταίο βήμα της διαπραγμάτευσης ενέργειας. Είναι κρίσιμο, καθώς τα επίπεδα παραγωγής και κατανάλωσης των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας πρέπει να ισορροπούν. Αυτό είναι ένα κρίσιμο χαρακτηριστικό, λαμβάνοντας υπόψη την άβολη οικονομία της αποθήκευσης τεράστιων ποσοτήτων ηλεκτρικής ενέργειας εκείνη τη στιγμή [8].

Οι αγορές εξισορρόπησης είναι συνήθως αγορές μιας περιόδου, δηλαδή, κάθε περίοδος διαπραγμάτευσης έχει τη δική της σύνοδο. Επιτρέπουν τη συναλλαγή εκτός από τις βοηθητικές υπηρεσίες ηλεκτρικής ενέργειας (π.χ. διαχείριση τάσης) που απαιτούνται για τη διατήρηση της σταθερότητας του ηλεκτρικού συστήματος.

Γενικά, οι συμβατικοί παραγωγοί συμμετέχουν στην αγορά εξισορρόπησης για να παρέχουν ρυθμιστική αρχή, τόσο προς τα πάνω (δηλαδή, αύξηση της παραγωγής) όσο και προς τα κάτω (δηλαδή, μείωση της παραγωγής). Αντίθετα, οι στοχαστικοί παραγωγοί χρησιμοποιούν το βήμα εξισορρόπησης για να επιλύσουν τις διακυμάνσεις της παραγωγής από τα επίπεδα συμβάσεων. Αυτές οι διακυμάνσεις αποτιμώνται διαφορετικά σύμφωνα με τον μηχανισμό ανισορροπίας τιμολόγησης της αγοράς. Μπορούμε να διακρίνουμε μεταξύ συστημάτων με μία ανισορροπία τιμής και εκείνων με δύο ανισορροπίες τιμών.

Σε ένα σύστημα με ανισορροπία ενιαίας τιμής, οι αποκλίσεις επιλύονται σε τιμές αγοράς, ανεξάρτητα από το πρόσημο των ανισορροπιών του παραγωγού (δηλαδή, υπέρβαση ή έλλειψη παραγωγής). Κατά γενικό κανόνα, η τιμή εξισορρόπησης είναι υψηλότερη/χαμηλότερη από την τιμή αγοράς της επόμενης ημέρας όταν το σύστημα βρίσκεται σε ανοδική/καθοδική ρύθμιση, δηλαδή όταν η παραγωγή ενέργειας είναι ανεπαρκής/υπερβολική. Αυτός ο μηχανισμός καθορισμού τιμών δημιουργεί δυνατότητες αρμπιτράζ για τους παραγωγούς ηλεκτρικής ενέργειας. Για παράδειγμα, όταν ο παραγωγός και η ανισορροπία του συστήματος έχουν το αντίθετο πρόσημο (δηλαδή, όταν η απόκλιση παραγωγού ενέργειας συμβάλλει στη μείωση της συνολικής ανισορροπίας του συστήματος), ο παραγωγός αποζημιώνεται για την απόκλιση. Αντίθετα, όταν και οι δύο ανισορροπίες είναι προς την ίδια κατεύθυνση, ο παραγωγός τιμωρείται [13]. Η ευκαιρία αρμπιτράζ απεικονίζεται στο Σχ. 10.1α ως συνάρτηση της ανισορροπίας του παραγωγού και της συνθήκης του συστήματος (πάνω- ή προς τα κάτω ρύθμιση).

Σε ένα σύστημα με ανισορροπία διπλής τιμής, οι αποκλίσεις από το σχέδιο παραγωγής ανταλλάσσονται σε διαφορετικές τιμές ανάλογα με το πρόσημο της ανισορροπίας. Όταν η απόκλιση του παραγωγού και η ανισορροπία του συστήματος σχετίζονται αντιστρόφως (δηλαδή, όταν ο παραγωγός συμβάλλει στη μείωση της ανισορροπίας του συστήματος), η απόκλιση του παραγωγού πωλείται στην τιμή αγοράς της επόμενης ημέρας, εξαλείφοντας τυχόν μπόνους. Αντίθετα, όταν και οι δύο ανισορροπίες είναι προς την ίδια κατεύθυνση, η απόκλιση του παραγωγού αποτιμάται στην εξισορροπητική τιμή της αγοράς.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

### 3.1 Εισαγωγή

Τα κύρια οφέλη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας έναντι των παραδοσιακών είναι τα εξής:

Είναι σχεδόν απεριόριστες πηγές ενέργειας (ήλιος, άνεμος, ποτάμια και οργανική ύλη, για παράδειγμα) και συμβάλλουν στη μείωση της εξάρτησης από την εξάντληση των συμβατικών πηγών ενέργειας όπως το πετρέλαιο, φυσικό αέριο και άνθρακα. Είναι τόσο οικολογικά όσο και ανθρώπινα, και ως εκ τούτου η χρήση τους υποστηρίζεται ευρέως από τον γενικό πληθυσμό. Αποτελούν την πιο οικολογικά ωφέλιμη μέθοδο (μαζί με την εξοικονόμηση ενέργειας) για τη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα και τον μετριασμό του φαινομένου του θερμοκηπίου [15]. Επιπλέον, η αντικατάσταση των παραδοσιακών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση των εκπομπών πρόσθετων ρύπων, συμπεριλαμβανομένων των οξειδίων του θείου που συμβάλλουν στην όξινη βροχή, των οξειδίων του αζώτου που συμβάλλουν στο σχηματισμό φωτοχημικών νεφών και των αιωρούμενων σωματιδίων. Είναι εγχώριες πηγές ενέργειας που συμβάλλουν στην ενεργειακή ανεξαρτησία της χώρας και στην ασφάλεια του εφοδιασμού. Είναι γεωγραφικά κατανομημένα και συμβάλλουν στην αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος επιτρέποντας την τοπική και περιφερειακή κάλυψη των ενεργειακών αναγκών, ανακουφίζοντας τα συστήματα υποδομής (δίκτυα, δρόμοι κ.λπ.) και μειώνοντας τις απώλειες μετάδοσης ενέργειας. Επιτρέπουν την έξυπνη χρήση των ενεργειακών πόρων καλύπτοντας ένα ευρύ φάσμα ενεργειακών απαιτήσεων των καταναλωτών (π.χ. ηλιακή ενέργεια για θερμότητα χαμηλής θερμοκρασίας, αιολική ενέργεια για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας κ.λπ.). Συχνά έχουν ελάχιστα λειτουργικά έξοδα που δεν επηρεάζονται από τις παγκόσμιες οικονομικές διακυμάνσεις, κυρίως την τιμή των συμβατικών καυσίμων [15]. Οι εγκαταστάσεις ΑΠΕ κατασκευάζονται συχνά για να ικανοποιούν τις μοναδικές απαιτήσεις των καταναλωτών, τόσο σε μικρή όσο και σε μεγάλη κλίμακα, και έχουν σχετικά γρήγορη περίοδο κατασκευής, επιτρέποντας την ταχεία ανταπόκριση της προσφοράς ενέργειας στη ζήτηση. Μια επένδυση ΑΠΕ δημιουργεί σημαντικό αριθμό νέων θέσεων εργασίας, ιδιαίτερα σε τοπικό επίπεδο, και μπορεί συχνά να χρησιμεύσει ως καταλύτης για την αναζωογόνηση των οικονομικά και κοινωνικά μειονεκτούντων περιοχών και ένα κομβικό σημείο για την τοπική ανάπτυξη με την

προώθηση παρόμοιων επενδύσεων (π.χ. θερμοκηπιακές καλλιέργειες που χρησιμοποιούν γεωθερμία ενέργειας, τηλεθέρμανσης οικισμών, μικρών πόλεων κ.λπ. με ατμό/ζεστό νερό που παράγεται από γεωργική και δασική ενεργειακή χρήση βιομάζας κ.λπ.) [15].

Ακολουθούν τα μειονεκτήματα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και πώς να τα ξεπεράσετε:

ΑΠΕ: έχουν σχετικά χαμηλό ποσοστό απόδοσης 30% ή λιγότερο. Αυτό ουσιαστικά σημαίνει ότι είναι απαραίτητος ένας τεράστιος αριθμός εγκαταστάσεων, με αποτέλεσμα ένα σχετικά υψηλό αρχικό κόστος εφαρμογής σε μια τεράστια έκταση γης. Ως αποτέλεσμα, έχουν χρησιμοποιηθεί ιστορικά ως συμπληρωματικές πηγές ενέργειας αντί για την κάλυψη των ενεργειακών απαιτήσεων των μεγάλων μητροπολιτικών κέντρων. Το μειονέκτημα κόστους περιορίζεται συχνά σε κάποια μορφή κρατικής επιχορήγησης, όπως πίεση στις εταιρείες ηλεκτρικής ενέργειας να αγοράζουν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας σε εγγυημένη τιμή που δεν καθορίζεται από την πραγματική τιμή της ενέργειας, αλλά μάλλον από το κόστος της διαδικασίας παραγωγής του σταθμού ανανεώσιμων πηγών ενέργειας [15]. Κανονισμοί αυτού του είδους θα οδηγήσουν σε γενική αύξηση της τιμής της ενέργειας, με όλους τους χρήστες να πληρώνουν το πρόσθετο κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, εκτός εάν οι εταιρείες ηλεκτρικής ενέργειας είναι σε θέση να προσφέρουν αυτήν την ενέργεια σε εξαιρετική τιμή όπως η πράσινη ενέργεια. Ένα άλλο παράδειγμα είναι οι επιδοτήσεις που δίνονται στους παραγωγούς, οι οποίοι μοιράζονται το βάρος τους που σχετίζεται με τις ΑΠΕ με όλους τους φορολογούμενους. Μια άλλη επιλογή για την επίλυση αυτού του ζητήματος είναι η αύξηση της εισφοράς στη συμβατική ηλεκτροπαραγωγή. Αυτό αυξάνει το κόστος παραγωγής τους και απλοποιεί το ανταγωνιστικό τοπίο για ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Για την Ευρώπη ειδικότερα, τα μέτρα στήριξης των κρατών μελών περιλαμβάνουν επιδότηση για φορολογικές απαλλαγές, αλλά η κύρια πηγή βοήθειας είναι η άμεση στήριξη της τιμής της ενέργειας που καταβάλλεται στους παραγωγούς ανανεώσιμων πηγών ενέργειας [15]. Επιπλέον, η ποσότητα και η απόδοση της αιολικής, της υδροηλεκτρικής και της ηλιακής ενέργειας εξαρτώνται από την εποχή, καθώς και το γεωγραφικό πλάτος και το κλίμα. Για παράδειγμα, τα φωτοβολταϊκά πάνελ παράγουν περισσότερη ή λιγότερη ενέργεια ανάλογα με την ποσότητα του ηλιακού φωτός που λαμβάνεται κατά τη διάρκεια της ημέρας. Αντίθετα, οι ανεμογεννήτριες παρέχουν ισχύ καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας, αν και εξαρτάται από την ταχύτητα του ανέμου. Οι ανεμογεννήτριες, από την άλλη πλευρά, θεωρείται ότι έχουν αισθητικό αντίκτυπο στο περιβάλλον και προκαλούν θόρυβο και θάνατο από πτηνά. Ωστόσο, με την πρόοδο

της τεχνολογίας τους και την πιο σκόπιμη επιλογή των τοποθεσιών εγκατάστασης (για παράδειγμα, σε υπεράκτιες πλατφόρμες), αυτά τα ζητήματα έχουν σχεδόν επιλυθεί. Επιπλέον, η μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται εξαιρετικά δύσκολη, αφενός λόγω του αυξημένου κόστους και της πολυπλοκότητας του συστήματος μεταφοράς ως αποτέλεσμα των μεγάλων αποστάσεων και αφετέρου λόγω του γεγονότος ότι σε ορισμένες περιπτώσεις πρέπει να υπάρχουν πολιτικά ασταθείς περιοχές. διέσχισαν, θέτοντας τον κίνδυνο δολιοφθοράς της γραμμής μεταφοράς. Εξάλλου, η κατασκευή φραγμάτων και τεχνητών λιμνών για υδροηλεκτρικούς σταθμούς έχει συχνά ως αποτέλεσμα την καταστροφή των τοπικών οικοσυστημάτων και μπορεί να αναγκάσει τους πληθυσμούς να μετεγκατασταθούν. Οι υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις πιστεύεται επίσης ότι συμβάλλουν στον αντίκτυπο του θερμοκηπίου απελευθερώνοντας μεθάνιο από την αποσύνθεση της βυθισμένης βλάστησης. Έτσι, ενώ οι μεγάλες υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις υπερέχουν των θερμικών και πυρηνικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής όσον αφορά τις εκπομπές και τα αποθέματα, παρουσιάζουν πρόσθετες προκλήσεις, ιδιαίτερα στον περιβαλλοντικό τομέα [15].

### 3.1.1 Οι Α.Π.Ε στην Ελλάδα

Οι αριθμοί είναι πάντα σωστοί και αποδεικνύουν για πρώτη φορά στην Ελλάδα ότι οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) ήταν η κύρια πηγή ενέργειας το πρώτο τρίμηνο του 2021, ξεπερνώντας το ορυκτό αέριο και τον λιγνίτη. Η αιολική και η ηλιακή ενέργεια, μαζί με την υδροηλεκτρική ενέργεια, κατάφεραν να κυριαρχήσουν στο μείγμα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας της χώρας σε ποσοστό 49,13% (Eurostat, 2018).

Υπήρχαν κάποιες αμυδρά στοιχεία την προηγούμενη χρονιά, όταν στις 8 Ιουνίου 2020, δεν χρησιμοποιήθηκε ούτε μια κιλοβατώρα που παράγεται από την καύση του λιγνίτη, δίνοντας τέλος σε 70 χρόνια κυριαρχίας «κάρβουνου» στην ηλεκτροπαραγωγή της Ελλάδας. Είχε προηγηθεί μια ημέρα χωρίς λιγνίτη στις 20 Μαΐου 2020, στη μεγάλη ενεργειακή περιοχή της χώρας, τη Δυτική Μακεδονία [16]. Λίγους μήνες αργότερα, στις 14 Σεπτεμβρίου 2020, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (αιολική και ηλιακή) κάλυψαν το 51% της ημερήσιας ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας και το 57% της ημερήσιας ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας όταν συνδυάζονται με τεράστια υδροηλεκτρικά.

Η δραματική αλλαγή στο τοπίο της ηλεκτροπαραγωγής φαίνεται στις διαφορές μεταξύ του πρώτου τριμήνου του 2021 και του ίδιου χρόνου το 2020. Σύμφωνα με μελέτη των στοιχείων του ΑΔΜΗΕ

που διεξήχθη από το περιβαλλοντικό think tank «The GreenTank», η παραγωγή ενέργειας από λιγνίτη μειώνεται κατά 22%, από φυσικό αέριο κατά 4%, και οι καθαρές εισαγωγές μειώνονται κατά 71%. Σε σύγκριση με την ίδια περίοδο του 2020, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αυξήθηκε κατά 22% και από τη μεγάλη υδροηλεκτρική ενέργεια κατά 249% τους πρώτους τρεις μήνες του 2021 (Eurostat, 2018).

«Τα στοιχεία του ΑΔΜΗΕ καταδεικνύουν ξεκάθαρα ότι οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μπορούν να αντισταθμίσουν επιτυχώς την ταχεία πτώση του λιγνίτη χωρίς να αυξήσουν τη συμβολή του ορυκτού αερίου και, μάλιστα, με σημαντική μείωση των καθαρών εισαγωγών ηλεκτρικής ενέργειας», γράφει ο πολιτικός αναλυτής και συν-συγγραφέας κ. Νίκος Μάντζαρης, στο "Economic Post" του GreenTank. «Υπό το πρίσμα του νέου πανευρωπαϊκού κλιματικού στόχου για το 2030, είναι καιρός να αξιολογήσουμε το Εθνικό Σχέδιο Ενέργειας και Κλίματος - ΕΣΕΚ - και τις προτάσεις για επτά νέες εγκαταστάσεις ορυκτών αερίων», συνέχισε.

Όπως καταδεικνύουν τα στατιστικά στοιχεία, η πράσινη ενέργεια έχει τη δυνατότητα να διατηρήσει το ενεργειακό σύστημα της χώρας, ενώ παράλληλα αναπτύσσει υποδομές αποθήκευσης ενέργειας για τον μετριασμό της αστάθειας των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Δεν είναι τυχαίο ότι η Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας έχει λάβει 98 αιτήσεις για αποθηκευτικές τεχνολογίες (μπαταρίες, αντλίες αποθήκευσης και υβρίδια) συνολικής ισχύος 8.213 MW (μεγαβάτ), οι οποίες σε συνδυασμό με τη λειτουργία της αντλιοταποθήκης στην Αμφιλοχία ανέρχονται συνολικά σε 8.893 MW. , όπως δήλωσε ο Πρόεδρος της Αρχής, κ. Αθανάσιος Δαγούμας, σε εκδήλωση του Ινστιτούτου Ενέργειας Νοτιοανατολικής Ευρώπης (IENE). Πράγματι, η επιχείρηση έχει εξασφαλίσει την Τελική Επενδυτική Απόφαση και η οικοδόμηση του έργου έχει προγραμματιστεί να ξεκινήσει τον ερχόμενο Οκτώβριο με αναμενόμενη ημερομηνία ολοκλήρωσης το 2025 [16].

Η ΡΑΕ έχει εγκρίνει 65 άδειες για αποθηκευτικά έργα συνολικής ισχύος 4,4 GW (γιγαβάτ), ενώ για άλλες 34 άδειες συνολικής ισχύος 4,5 GW εκκρεμεί η έγκριση. Σε κάθε περίπτωση, η Αρχή θα πρέπει να προχωρήσει στην ακύρωση των έργων, όπως έκανε και με την υπερχειλίση αιτήσεων για νέα έργα ΑΠΕ, καθώς το ενεργειακό δίκτυο δεν μπορεί να τα φιλοξενήσει όλα.

## 3.2 Αιολική ενέργεια

### 3.2.1 Εισαγωγή

Η αιολική ενέργεια είναι η ενέργεια που παράγεται από τη χρήση του ανέμου. Αυτή η ενέργεια αναφέρεται ως «ήπια ενέργεια» και περιλαμβάνεται στις «καθαρές» πηγές, γνωστές και ως μη ρυπογόνες ή μη ρυπογόνες πηγές ενέργειας [17]. Η παλαιότερη μέθοδος αξιοποίησης της αιολικής ενέργειας ήταν μέσω των πανιών των πρώτων ιστιοφόρων και, πολύ αργότερα, μέσω των χερσαίων ανεμόμυλων. Ονομάζεται αιολικός από την ελληνική θεότητα του ανέμου, τον Αίολο.

Η αιολική ενέργεια είναι μια ανανεώσιμη και βιώσιμη πηγή ενέργειας που έχει σημαντικά μικρότερη περιβαλλοντική επίδραση από την καύση ορυκτών καυσίμων, καθιστώντας την μια ολοένα πιο βιώσιμη λύση στο πρόβλημα της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Τα «καύσιμα» του είναι άφθονα, αποκεντρωμένα και απεριόριστα [18]. Δεν απορρίπτονται αέρια ή άλλοι ρύποι και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις είναι αμελητέες σε σύγκριση με τους παραδοσιακούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής. Επιπλέον, τα οικονομικά πλεονεκτήματα ενός τόπου από την ανάπτυξη του αιολικού τομέα είναι εκπληκτικά.

Η αιολική ενέργεια είναι μια διακοπτόμενη μορφή ενέργειας που δεν μπορεί να δημιουργήσει ή να μεταδώσει ισχύ κατά παραγγελία. Επιπλέον, παρέχει μεταβλητή ισχύ, η οποία είναι σταθερή από έτος σε έτος, δηλαδή χωρίς αξιοσημείωτες διακυμάνσεις, αλλά παρουσιάζει διακυμάνσεις σε μικρότερες χρονικές περιόδους. Ως αποτέλεσμα, πρέπει να χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με άλλες πηγές ενέργειας ή να αποθηκευτεί για να εξασφαλιστεί μια συνεπής και σταθερή τροφοδοσία. Όταν η αναλογία της αιολικής ενέργειας σε μια περιοχή αυξάνεται, οι συμβατικές πηγές ενέργειας απαιτούνται για την παροχή εφεδρικής ενέργειας (όπως η ενέργεια από ορυκτά καύσιμα και η πυρηνική ενέργεια). Ωστόσο, για να λειτουργήσει σωστά αυτό το δίκτυο, ίσως χρειαστεί να ενημερωθεί. Αυτή η βελτίωση μπορεί να επιτευχθεί με μια ποικιλία προσεγγίσεων διαχείρισης ενέργειας, συμπεριλαμβανομένης της παροχής ενέργειας, της υδροηλεκτρικής ενέργειας, της πλεονάζουσας χωρητικότητας, των γεωγραφικά διασκορπισμένων στροβίλων, της παραγωγής και της εισροής ενέργειας, της αποθήκευσης ενέργειας, ακόμη και της μείωσης της ζήτησης. όταν η παραγωγή αιολικής ενέργειας είναι ανεπαρκής. Οι μετεωρολογικές προβλέψεις διαδραματίζουν



κρίσιμο ρόλο στην προετοιμασία του ηλεκτρικού δικτύου για τις προβλεπόμενες μεταβολές στην παραγωγή [17].

### 3.2.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της αιολικής ενέργειας

#### Οφέλη της Αιολικής Ενέργειας

Η αιολική ενέργεια παρέχει μια σειρά από πλεονεκτήματα και είναι μια αποτελεσματική εναλλακτική λύση για πολλά διαφορετικά μέρη του κόσμου, καθώς δεν απαιτεί άμεση έκθεση στον ήλιο, όπως η ηλιακή ενέργεια [17].

##### 1) Δωρεάν καύσιμο

Οι ανεμογεννήτριες λειτουργούν εξ ολοκλήρου με την ηλεκτρική ενέργεια που παρέχεται από τον άνεμο, εξαλείφοντας την ανάγκη για καύσιμα. Μόλις ολοκληρωθεί και αναπτυχθεί, ο στρόβιλος είναι αυτοσυντηρούμενος και δεν απαιτεί καύσιμο ή ηλεκτρισμό για να λειτουργήσει. Επιπλέον, αυτό μειώνει το συνολικό κόστος λειτουργίας αιολικών πάρκων μεγάλης κλίμακας σε σύγκριση με άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, οι οποίες ενδέχεται να απαιτούν ορισμένες ενεργειακές επενδύσεις.

##### 2) Μία από τις πιο φιλικές προς το περιβάλλον Πηγές Ενέργειας

Η αιολική ενέργεια δεν συμβάλλει στην κλιματική αλλαγή παράγοντας αέρια θερμοκηπίου κατά τη διάρκεια της παραγωγής ενέργειας, επειδή δεν βασίζεται σε ορυκτά καύσιμα για την τροφοδοσία των στρόβιλων. Η αιολική ενέργεια εκπέμπει αέρια θερμοκηπίου έμμεσα μόνο κατά την παραγωγή και μεταφορά ανεμογεννητριών, καθώς και κατά τη διαδικασία εγκατάστασης. Η αιολική ενέργεια στις Ηνωμένες Πολιτείες παρέχει απεριόριστη παροχή ηλεκτρικής ενέργειας σε σπίτια και επιχειρήσεις.

##### 3) Τεχνολογικές εξελίξεις

Οι πρόσφατες τεχνολογικές εξελίξεις έχουν μετατρέψει τις πρώιμες ιδέες των ανεμογεννητριών σε απίστευτα αποδοτικές μηχανές συγκομιδής ενέργειας. Οι τουρμπίνες διατίθενται σε διάφορα μεγέθη, γεγονός που επεκτείνει την αγορά σε μια ποικιλία από διάφορα είδη επιχειρήσεων και ανθρώπων για χρήση σε μεγαλύτερα οικόπεδα. Καθώς η τεχνολογία προχωρά, αυξάνονται και οι

δυνατότητες της δομής, με αποτέλεσμα σχέδια που παράγουν περισσότερη ισχύ, χρειάζονται λιγότερη συντήρηση και λειτουργούν πιο αθόρυβα και με ασφάλεια.

#### 4) Δεν παρεμβαίνει στις λειτουργίες γεωργικών εκτάσεων

Οι εταιρείες ενέργειας μπορούν να ανεγείρουν ανεμογεννήτριες σε προϋπάρχουσες γεωργικές εκτάσεις και να αποζημιώσουν τους ιδιοκτήτες αγροκτημάτων μέσω συμβάσεων ή μισθώσεων. Αυτό είναι μια τεράστια ώθηση για τους αγρότες που μπορεί να χρειαστούν περισσότερα έσοδα, καθώς τα αποτυπώματα της ανεμογεννήτριας καταλαμβάνουν πολύ μικρή επιφάνεια, διασφαλίζοντας ότι δεν παρεμποδίζει την παραγωγικότητα της φάρμας τους. Οι εγκαταστάσεις αιολικής ενέργειας αντιπροσωπεύουν τώρα λιγότερο από το 1,5 τοις εκατό της συνεχόμενης χερσαίας έκτασης των Ηνωμένων Πολιτειών. Ωστόσο, λαμβάνοντας υπόψη την αφθονία των πεδιάδων και των βοοειδών στην καρδιά της χώρας, υπάρχει μεγάλο περιθώριο ανάπτυξης εάν οι ιδιοκτήτες γης και οι κυβερνητικοί διαχειριστές γης είναι πρόθυμοι.

#### 5) Μειώνει την εξάρτησή μας από τα ορυκτά καύσιμα

Όχι μόνο η ενέργεια που παρέχεται από τα ορυκτά καύσιμα συμβάλλει στην κλιματική αλλαγή, αλλά τελικά θα εξαντληθεί. Όσο ο ήλιος θερμαίνει την υδρόγειο, ο άνεμος θα υπάρχει επ' αόριστο. Επιπλέον, η δημιουργία και η επένδυση σε τεχνολογία που βασίζεται σε έναν πεπερασμένο πόρο – έναν πόρο που μπορεί να εξαντλήσουμε κατά τη διάρκεια της ζωής μας– είναι μια κολοσσιαία σπατάλη ανθρώπινου κεφαλαίου, ιδιωτικού κεφαλαίου και φορολογικών δολαρίων.

### **Μειονεκτήματα της Αιολικής Ενέργειας**

Αν και η αιολική ενέργεια είναι μια βιώσιμη και φιλική προς το περιβάλλον πηγή ηλεκτρικής ενέργειας, έχει ορισμένα μειονεκτήματα και περιορισμούς [17].

#### 1) Επιβλαβές για ορισμένα άγρια ζώα

Οι ανεμογεννήτριες είναι καλά τεκμηριωμένες ως επικίνδυνες για τα ζώα. Τα ιπτάμενα πτηνά και οι νυχτερίδες που περνούν από τους οικοτόπους ή τα μεταναστευτικά μονοπάτια των ανεμογεννητριών κινδυνεύουν να τραυματιστούν ή να σκοτωθούν εάν συγκρουστούν με τα πτερύγια που περιστρέφουν τη δομή που μοιάζει με ανεμιστήρα των ανεμογεννητριών όταν περιστρέφονται. Οι θάνατοι από πτηνά και νυχτερίδες είναι ένα επίμαχο ζήτημα σε τοποθεσίες

αιολικών πάρκων, εγείροντας ανησυχίες μεταξύ των ομάδων διατήρησης ψαριών και ζώων. Εκτός από την άγρια ζωή που πετάει στον αέρα, τα ζώα στο έδαφος μπορεί να βλάψουν την ηχορύπανση που προκαλείται από τις στροβιλιζόμενες λεπίδες. Ενώ οι ανεμογεννήτριες μπορούν να αποτελέσουν απειλή για τα ζώα, άλλες κατασκευές όπως οι ουρανοξύστες και τα τεράστια παράθυρα αποτελούν συγκρίσιμο κίνδυνο και συνεχίζουν να ανεγείρονται χωρίς διαμάχες ή παρόμοια οργή.

## 2) Ενοχλητική

Οι ανεμογεννήτριες μπορεί να είναι μάλλον θορυβώδεις, γι' αυτό και βρίσκονται συνήθως σε απομακρυσμένα μέρη με λίγα άτομα. Ο θόρυβος δεν προκαλεί ανησυχία εάν ο στρόβιλος βρίσκεται στην ανοικτή θάλασσα. Τα νεότερα σχέδια έχουν αποδειχθεί ότι μειώνουν τα προβλήματα θορύβου και έχουν πολύ πιο αθόρυβη παρουσία ως αποτέλεσμα των τεχνολογικών εξελίξεων.

## 3) Ακριβή αρχική επένδυση

Όπως μπορείτε να περιμένετε, αυτά τα τερατώδη κτίρια είναι συχνά εκατοντάδες πόδια ψηλά και απαιτούν μια σημαντική αρχική επένδυση. Η τοποθέτηση ανεμογεννητριών σε αγροτικές τοποθεσίες απαιτεί πρόσθετες επενδύσεις σε υπόγειες γραμμές ηλεκτρικής ενέργειας για τη μεταφορά ενέργειας σε πιο πυκνοκατοικημένες περιοχές, όπως πόλεις. Τα πρώτα στάδια εγκατάστασης και κατασκευής είναι τα πιο ακριβά, αλλά η αιολική ενέργεια δημιουργεί άπειρη παροχή ηλεκτρικής ενέργειας, εφόσον υπάρχει άνεμος.

## 4) Αβεβαιότητα/Απρόβλεπτη

Η αιολική ενέργεια υπόκειται σε αυτό που είναι γνωστό ως διαλείπουσα, η οποία είναι μια διαταραχή που προκαλείται από την ασυνέπεια του ανέμου. Λόγω της μεταβλητής ταχύτητας του ανέμου, είναι δύσκολο να προβλεφθεί η ποσότητα ενέργειας που μπορεί να συλλάβει σε οποιαδήποτε συγκεκριμένη στιγμή. Αυτό σημαίνει ότι οι πάροχοι και οι πόλεις πρέπει να διαθέτουν απόθεμα ενέργειας ή άλλες πηγές ηλεκτρικής ενέργειας σε περίπτωση που οι άνεμοι σβήσουν για μεγάλο χρονικό διάστημα.

### 3.2.3. Χαρακτηριστικά ανεμογεννητριών

Η ανεμογεννήτρια είναι μια συσκευή που αξιοποιεί την κινητική ενέργεια του ανέμου και τη μετατρέπει σε ηλεκτρική ενέργεια. Εκατοντάδες χιλιάδες μεγάλες ανεμογεννήτριες που είναι εγκατεστημένες σε γνωστά αιολικά πάρκα παράγουν σήμερα περισσότερους από 650 γιγατόνους ηλεκτρικής ενέργειας, με 60 GW να προστίθενται κάθε χρόνο. Αποτελούν μια αυξανόμενη πηγή διακοπτόμενης ανανεώσιμης ενέργειας και χρησιμοποιούνται σε πολλά έθνη για να ελαχιστοποιήσουν τις τιμές της ενέργειας και την εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα. Σύμφωνα με μια έρευνα, ο άνεμος είχε τις «χαμηλότερες σχετικές εκπομπές αερίων θερμοκηπίου, τις χαμηλότερες απαιτήσεις κατανάλωσης νερού και... τις πιο ευεργετικές κοινωνικές συνέπειες» το 2009, σε σύγκριση με τα φωτοβολταϊκά, τα υδροηλεκτρικά, τη γεωθερμία, τον άνθρακα και το φυσικό αέριο.

Μικρότερες ανεμογεννήτριες χρησιμοποιούνται για τη φόρτιση μπαταριών για συμπληρωματική ισχύ σε σκάφη και τροχόσπιτα, καθώς και για την τροφοδοσία προειδοποιητικών πινακίδων κυκλοφορίας. Οι μεγαλύτεροι στρόβιλοι μπορούν να συμβάλουν στην εγχώρια παραγωγή ενέργειας, ενώ μεταπωλούν την πλεονάζουσα ενέργεια στον πάροχο υπηρεσιών κοινής ωφελείας μέσω του ηλεκτρικού δικτύου.

Οι ανεμογεννήτριες διατίθενται σε διάφορα μεγέθη και έχουν είτε οριζόντιους είτε κάθετους άξονες [18].

#### **Αποδοτικότητα**

Λόγω της αρχής της διατήρησης της μάζας, η ποσότητα αέρα που εισέρχεται και εξέρχεται από έναν στρόβιλο πρέπει να είναι ίση. Σύμφωνα με τον κανόνα του Betz, η μέγιστη ποσότητα αιολικής ενέργειας που μπορεί να εξαγάγει μια ανεμογεννήτρια είναι 1627 (59,3 τοις εκατό) του ρυθμού με τον οποίο η κινητική ενέργεια του αέρα φτάνει στην τουρμπίνα [19]

Έτσι, η μέγιστη δυναμική παραγωγή ισχύος μιας ανεμογεννήτριας είναι 1627 φορές ο ρυθμός με τον οποίο η κινητική ενέργεια του αέρα φτάνει στην ενεργό περιοχή δίσκου της μηχανής.

Η απόδοση ανέμου σε ρότορα (η οποία περιλαμβάνει την τριβή και την οπισθέλκουσα των πτερυγίων του ρότορα) είναι μία από τις παραμέτρους που επηρεάζουν το τελικό κόστος της αιολικής ενέργειας.

Πρόσθετες ανεπάρκειες, όπως απώλειες κιβωτίου ταχυτήτων, απώλειες γεννήτριας και μετατροπέα, συμβάλλουν στη μείωση της ισχύος εξόδου μιας ανεμογεννήτριας. Για να αποφευχθεί η περιττή φθορά των εξαρτημάτων, η εξαγόμενη ισχύς διατηρείται σταθερή στην ονομαστική ταχύτητα εργασίας καθώς η θεωρητική ισχύς αυξάνεται ανάλογα με την ταχύτητα του ανέμου, μειώνοντας έτσι τη θεωρητική απόδοση. Το 2001, οι εμπορικές ανεμογεννήτριες συνδεδεμένες με επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας παρήγαγαν μεταξύ 75% και 80% του ορίου Betz εξόρυξης αιολικής ενέργειας με ονομαστική ταχύτητα λειτουργίας.

Η απόδοση μπορεί να μειωθεί κάπως με την πάροδο του χρόνου για διάφορες αιτίες, μία από τις οποίες είναι η σκόνη και τα πτώματα εντόμων στα πτερύγια, τα οποία τροποποιούν το αεροδυναμικό προφίλ και ως εκ τούτου επηρεάζουν την αναλογία ανύψωσης προς έλξη της αεροτομής. Στη Δανία, μια ανάλυση 3128 ανεμογεννητριών παλαιότερων των δέκα ετών αποκάλυψε ότι οι μισές από τις ανεμογεννήτριες δεν παρήγαγαν τίποτα, ενώ οι άλλες μισές παρήγαγαν με ρυθμό 1,2 τοις εκατό κάθε χρόνο [19].

Γενικά, οι πιο σταθερές και σταθερές καιρικές συνθήκες (κυρίως η ταχύτητα του ανέμου) έχουν ως αποτέλεσμα κατά μέσο όρο 15% μεγαλύτερη απόδοση από τις μεταβλητές καιρικές συνθήκες, επιτρέποντας έως και 7% αύξηση της ταχύτητας του ανέμου. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η υψηλότερη ατμοσφαιρική σταθερότητα έχει ως αποτέλεσμα γρηγορότερη αφύπνιση ανάκτησης και μεγαλύτερη συμπαρασυρόμενη ροή. Οι αφυπνίσεις των ανεμογεννητριών, από την άλλη πλευρά, έχει παρατηρηθεί ότι ανακάμπτουν πιο γρήγορα σε ασταθείς ατμοσφαιρικές συνθήκες παρά σε σταθερό περιβάλλον.

Πολυάριθμες μελέτες έχουν αποκαλύψει ότι διάφορα υλικά έχουν ποικίλες επιπτώσεις στην απόδοση των ανεμογεννητριών. Τρεις ανεμογεννήτριες (η καθεμία με τρία πτερύγια διαμέτρου ενός μέτρου) δημιουργήθηκαν στο Πανεπιστήμιο Ege χρησιμοποιώντας πτερύγια που αποτελούνται από διάφορα υλικά: γυαλί και γυαλί/εποξειδικό άνθρακα, γυαλί/άνθρακα και γυαλί/πολυεστέρας. Κατά τη δοκιμή, ανακαλύφθηκε ότι τα υλικά με μεγαλύτερη συνολική μάζα είχαν μεγαλύτερη ροπή τριβής, με αποτέλεσμα χαμηλότερο συντελεστή ισχύος [19].

Η ταχύτητα του αέρα παίζει σημαντικό ρόλο στην απόδοση του στροβίλου. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο είναι σημαντικό να επιλέξετε την κατάλληλη τοποθεσία. Λόγω της ισχυρής ταχύτητας του ανέμου κατά μήκος της παραλίας λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ ξηράς και θάλασσας, μια άλλη δυνατότητα είναι να εντοπιστεί σε βουνοπλαγιές. Όσο μεγαλύτερο είναι το

ύψος της ανεμογεννήτριας, τόσο μεγαλύτερη είναι η μέση ταχύτητα του ανέμου. Επιπλέον, ένας ανεμοφράκτης μπορεί να αυξήσει την ταχύτητα του ανέμου κοντά στην τουρμπίνα.

### **Τύποι**

Οι ανεμογεννήτριες μπορούν να περιστρέφονται σε οριζόντιο ή κάθετο άξονα, με τον πρώτο να είναι ο πιο συχνός και παλαιότερος [19].

Μπορεί επίσης να έχουν λεπίδες ή να είναι εντελώς χωρίς λεπίδες.

Τα κάθετα σχέδια παράγουν λιγότερη ενέργεια και επομένως είναι λιγότερο συχνά.

### **Οριζόντιος άξονας**

Ανύψωση στη θέση των εξαρτημάτων μιας ανεμογεννήτριας οριζόντιου άξονα (κιβώτιο ταχυτήτων, άξονας ρότορα και διάταξη πέδησης) [19].

Σήμερα, ο τεράστιος όγκος της αιολικής ενέργειας παράγεται από μεγάλες ανεμογεννήτριες με τρία πτερύγια οριζόντιου άξονα (HAWT) με τα πτερύγια στραμμένα προς τον άνεμο του πύργου. Αυτοί οι στρόβιλοι έχουν τον πρωτεύοντα άξονα του ρότορα και τη γεννήτρια στην κορυφή ενός πύργου και πρέπει να είναι προσανατολισμένοι στον άνεμο. Οι μικρότερες ανεμογεννήτριες συνήθως οδηγούνται από έναν απλό ανεμοδείκτη, αλλά οι μεγαλύτερες ανεμογεννήτριες συχνά καθοδηγούνται από έναν αισθητήρα ανέμου και έναν μηχανισμό εκτροπής. Τα περισσότερα περιλαμβάνουν κιβώτιο ταχυτήτων που μετατρέπει την αργή περιστροφή των λεπίδων σε ταχύτερη περιστροφή κατάλληλη για οδήγηση ηλεκτρικής γεννήτριας. Ορισμένοι στρόβιλοι χρησιμοποιούν έναν συγκεκριμένο τύπο γεννήτριας που είναι καλύτερα κατάλληλος για χαμηλότερες ταχύτητες περιστροφής. Αυτά δεν απαιτούν κιβώτιο ταχυτήτων και αναφέρονται ως direct-drive, καθώς συνδέουν τον ρότορα απευθείας με τη γεννήτρια, εξαλείφοντας την ανάγκη για κιβώτιο ταχυτήτων. Ενώ οι γεννήτριες μόνιμου μαγνήτη άμεσης μετάδοσης κίνησης είναι πιο ακριβές λόγω των υλικών σπάνιων γαιών που χρησιμοποιούνται, μερικές φορές προτιμώνται από τις γεννήτριες κιβωτίου ταχυτήτων επειδή "εξαλείφουν τον αυξητή ταχύτητας μετάδοσης, ο οποίος είναι ευαίσθητος σε σημαντική συσσωρευμένη φόρτιση ροπής κόπωσης, σχετικά προβλήματα αξιοπιστίας και έξοδα συντήρησης." Επιπλέον, υπάρχει το σύστημα ψευδοάμεσης μετάδοσης

κίνησης, το οποίο έχει πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με τη μέθοδο άμεσης μετάδοσης μόνιμου μαγνήτη [19].

Οι ρότορες της πλειονότητας των στροβίλων οριζόντιου άξονα κοιτούν μακριά από τον πύργο στήριξης. Οι μηχανές καθόδου έχουν αναπτυχθεί επειδή δεν απαιτούν επιπλέον μηχανισμό για να διατηρήσουν τον προσανατολισμό τους σε σχέση με τον άνεμο. Επιπλέον, σε ισχυρές ριπές, οι λεπίδες μπορούν να λυγίσουν, μειώνοντας την περιοχή σάρωσης και συνεπώς την αντίσταση στον αέρα. Παρά τα πλεονεκτήματα αυτά, ευνοούνται τα σχέδια κατά τον άνεμο, καθώς η μετατόπιση της φόρτισης του ανέμου που προκαλείται από κάθε πτερύγιο που περνά πίσω από τον πύργο στήριξης μπορεί να προκαλέσει βλάβη στον στρόβιλο.

Οι ανεμογεννήτριες που χρησιμοποιούνται σε εμπορικά αιολικά πάρκα είναι συνήθως με τρία πτερύγια. Αυτά διαθέτουν έναν ελάχιστο κυματισμό ροπής, που προσθέτει στην αξιοπιστία τους. Οι λεπίδες βάζονται συχνά λευκές για τη βελτίωση της ορατότητας του αεροσκάφους κατά τη διάρκεια της ημέρας και έχουν μήκος από 20 έως 80 μέτρα (66 έως 262 πόδια). Οι τουρμπίνες συνεχίζουν να αυξάνονται σε μέγεθος και ύψος χρόνο με το χρόνο. Οι υπεράκτιες ανεμογεννήτριες μπορούν τώρα να ανεγερθούν με χωρητικότητα έως 8 MW και μήκος πτερυγίων έως 80 μέτρα (260 πόδια). Το 2018, αναπτύχθηκαν σχέδια που κυμαίνονταν από 10 έως 12 MW και ένα πρωτότυπο «15 MW+» με τρεις λεπίδες μήκους 118 μέτρων (387 πόδια) έχει προγραμματιστεί να κατασκευαστεί το 2022 [19]. Σωληνοειδείς πύργοι από χάλυβα με ύψος από 70 m έως 120 m και σε σοβαρές περιπτώσεις έως 160 m είναι τυπικά για τουρμπίνες πολλαπλών μεγαβάτ.

### **Κάθετος άξονας**

Οι ανεμογεννήτριες κάθετου άξονα (ή VAWT) διαθέτουν έναν κατακόρυφα προσανατολισμένο άξονα πρωτεύοντος ρότορα. Ένα πλεονέκτημα αυτής της διαμόρφωσης είναι ότι η τουρμπίνα δεν χρειάζεται να προσανατολίζεται απευθείας στον άνεμο για να είναι λειτουργική, κάτι που είναι πλεονεκτικό σε μια τοποθεσία με σημαντικά μεταβαλλόμενη κατεύθυνση ανέμου. Επιπλέον, όταν ο στρόβιλος ενσωματώνεται σε μια δομή, αυτό είναι ένα πλεονέκτημα δεδομένου ότι ο στρόβιλος είναι εγγενώς λιγότερο κατευθυνόμενος. Επιπλέον, η γεννήτρια και το κιβώτιο ταχυτήτων μπορούν να βρίσκονται κοντά στο έδαφος μέσω μιας απευθείας μετάδοσης κίνησης από το συγκρότημα του ρότορα στο επίγειο κιβώτιο ταχυτήτων, γεγονός που βελτιώνει την προσβασιμότητα στη συντήρηση. Ωστόσο, αυτά τα σχέδια δημιουργούν πολύ λιγότερη ενέργεια με την πάροδο του χρόνου, κάτι που αποτελεί σημαντικό μειονέκτημα [19].

Τα κύρια μειονεκτήματα είναι η χαμηλή ταχύτητα περιστροφής, η οποία έχει ως αποτέλεσμα αυξημένη ροπή και συνεπώς αυξημένο κόστος του συστήματος μετάδοσης κίνησης, ο εγγενώς χαμηλότερος συντελεστής ισχύος, η περιστροφή 360 μοιρών της αεροτομής εντός της ροής ανέμου κατά τη διάρκεια κάθε κύκλου, που έχει ως αποτέλεσμα σε εξαιρετικά δυναμική φόρτιση στο περύγιο, τη παλμική ροπή που δημιουργείται από ορισμένα σχέδια ρότορα στο σύστημα μετάδοσης κίνησης και τη δυσκολία ακριβούς μοντελοποίησης της ροής του ανέμου, που έχει ως αποτέλεσμα τις προκλήσεις ενός ηλεκτροκινητήρα. Γενικά, όταν μια τουρμπίνα τοποθετείται σε μια ταράτσα, το κτίριο ανακατευθύνει τον άνεμο πάνω από την οροφή, γεγονός που μπορεί να τετραπλασιάσει την ταχύτητα του ανέμου στον στρόβιλο. Όταν ένας πύργος τουρμπίνας τοποθετημένος στην ταράτσα είναι περίπου το 50% του ύψους του κτιρίου, είναι κοντά στο βέλτιστο ύψος για μέγιστη αιολική ενέργεια και μικρή αναταράξεις ανέμου. Ενώ οι ταχύτητες του ανέμου είναι συχνά σημαντικά χαμηλότερες στο ανεπτυγμένο περιβάλλον από ό,τι σε απροστάτευτες αγροτικές περιοχές. Ο θόρυβος μπορεί να είναι ένα πρόβλημα και μια υπάρχουσα κατασκευή μπορεί να μην μπορεί να αντέξει το πρόσθετο φορτίο.

Οι υποτύποι σχεδίασης κάθετου άξονα περιλαμβάνουν τα ακόλουθα:

### **Ανεμογεννήτρια Darrieus**

Είναι εξαιρετικά αποδοτικά, αλλά δημιουργούν σημαντική κυματισμό ροπής και κυκλική πίεση στον πύργο, συμβάλλοντας στη χαμηλή αξιοπιστία του. Επιπλέον, συχνά απαιτούν μια εξωτερική πηγή ισχύος ή έναν επιπλέον ρότορα Savonius για την έναρξη της περιστροφής, λόγω της χαμηλής ροπής εκκίνησης. Ο κυματισμός της ροπής μειώνεται με τη χρήση τριών ή περισσότερων λεπίδων, γεγονός που αυξάνει τη σταθερότητα του ρότορα. Η περιοχή της λεπίδας διαιρούμενη με την περιοχή του ρότορα χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της στερεότητας. Οι σύγχρονοι στρόβιλοι Darrieus δεν υποστηρίζονται από καλώδια τύπου guy, αλλά διαθέτουν μια εξωτερική υπερκατασκευή συνδεδεμένη στο επάνω ρουλεμάν [19].



## **Giromill**

Μια παραλλαγή του στρόβιλου Darrieus με ίσια πτερύγια και όχι κυρτά πτερύγια. Ο κυκλοστρόβιλος αυτοεκκινείται και διαθέτει μεταβλητό βήμα για να αποτρέπει τους παλμούς της ροπής. Το μεταβλητό βήμα προσφέρει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα: αυξημένη ροπή έναρξης, μια ευρεία, σχετικά επίπεδη καμπύλη ροπής, μεγαλύτερος συντελεστής απόδοσης, πιο αποτελεσματική λειτουργία σε τυρβώδεις ανέμους, και χαμηλότερη αναλογία ταχύτητας λεπίδας, η οποία μειώνει τις τάσεις κάμψης της λεπίδας. Οι λεπίδες μπορεί να είναι ίσιες, σε σχήμα V ή κυρτές.

## **Ανεμογεννήτρια Savonius**

Πρόκειται για συσκευές τύπου έλξης με δύο (ή περισσότερες) σέσουλες που βρίσκονται στα ανεμόμετρα, αεραγωγούς Flettner (που βρίσκονται συχνά σε οροφές λεωφορείων και φορτηγών) και διάφορους υψηλής αξιοπιστίας, χαμηλής απόδοσης τουρμπίνες ισχύος. Πάντα ξεκινούν από μόνοι τους, εφόσον υπάρχουν τουλάχιστον τρεις μεζούρες.

Το Twisted Savonius είναι ένα savonius που έχει τροποποιηθεί ώστε να περιλαμβάνει μακριές ελικοειδείς σέσουλες για να δίνει ομαλή ροπή. Αυτός ο τύπος ανεμογεννήτριας χρησιμοποιείται συχνά ως ανεμογεννήτρια στον τελευταίο όροφο και έχει μετατραπεί ακόμη και για χρήση σε πλοία.

## **Παράλληλοι**

Οι παράλληλοι στρόβιλοι είναι συγκρίσιμοι με τους ανεμιστήρες εγκάρσιας ροής ή φυγόκεντρους. Εκμεταλλεύεται το αποτέλεσμα γείωσης. Οι στρόβιλοι κάθετου άξονα αυτού του είδους έχουν δοκιμαστεί για πολλά χρόνια: ο ισραηλινός πρωτοπόρος της αιολικής ενέργειας Bruce Brill παρήγαγε μια συσκευή 10 kW τη δεκαετία του 1980.

### 3.3.3. Η αιολική ενέργεια στην Ελλάδα

Η ισχύς της αιολικής ενέργειας της Ελλάδας θα φτάσει τα 4.000 MW το δεύτερο εξάμηνο του 2020. Αυτό το συμπέρασμα προκύπτει από την Ελληνική Επιστημονική Εταιρεία Αιολικής Ενέργειας 2020 Στατιστικές Αιολικής Ενέργειας στην Ελλάδα (ΕΛΕΤΑΕΝ). Το όριο των 4.000 MW επιτεύχθηκε με τη θέση σε λειτουργία ανεμογεννήτριας σε αιολικό πάρκο ΤΕΡΝΑ Ενεργειακή στον δήμο Καρύστου νότιας Εύβοιας. (Eurostat, 2018)

Σύμφωνα με τα στατιστικά στοιχεία, το δίκτυο θα συνδεθεί με 200 επιπλέον ανεμογεννήτριες συνολικής ισχύος 517,5 MW το 2020. Πρόκειται για αύξηση 14,4 τοις εκατό σε σχέση με την ίδια περίοδο πέρυσι. Στο τέλος του 2020, υπήρχαν 4.113,5 MW αιολικών πάρκων σε εμπορική ή δοκιμαστική λειτουργία.

Ωστόσο, τα ρεκόρ για το 2020 δεν τελειώνουν εδώ. Το έτος 2020:

- Την Παρασκευή, 6.11.2020, σημειώθηκε η μεγαλύτερη ωριαία διείσδυση αιολικής ενέργειας που έχει μετρηθεί ποτέ στο Διασυνδεδεμένο Σύστημα της χώρας, στο 68,8 τοις εκατό (03:00 – 04:00 CET)
- Η διείσδυση της αιολικής ενέργειας ήταν μεγαλύτερη από 30% για συνολικά 1235 ώρες
- Η μεταβλητή διείσδυση ΑΠΕ ήταν μεγαλύτερη από 30% για συνολικά 2865 ώρες και μεγαλύτερη από 50% για 429 ώρες
- Το βράδυ της Τετάρτης, 9.12.2020, το Διασυνδεδεμένο Σύστημα κατέγραψε την υψηλότερη αιολική του παραγωγή (20:00 – 21:00 CET)
- Το Εθνικό Διασυνδεδεμένο Σύστημα της χώρας απάντησε χωρίς προβλήματα σε αυτές της σημαντικές διεισδύσεις. Επιπλέον, τα ρεκόρ για το 2020 περιλαμβάνουν την εγκατάσταση των μεγαλύτερων πτερυγίων της Ελλάδας: Στη Βοιωτία, η Rokas Iberdrola εγκατέστησε τέσσερις ανεμογεννήτριες Vestas V-150 / 4,0 MW.

## Γεωγραφική κατανομή

Σε περιφερειακό επίπεδο συνεχίζει να πρωτοστατεί η Στερεά Ελλάδα με 1678 MW (41%), ακολουθούμενη από την Πελοπόννησο με 619 MW (15%) και την Ανατολική Μακεδονία – Θράκη με 485 MW (12%).

## Επενδυτές

Οι Top-5 επιχειρηματικοί όμιλοι είναι οι εξής:

- ΤΕΡΝΑ Ενεργειακή (665 MW) (16,2 τοις εκατό )
- ΕΛΛΑΚΤΩΡ, με ισχύ MW 482 (11,7 τοις εκατό )
- ENEL Green Power με ισχύ 368 MW (8,9 τοις εκατό)
- Iberdrola Rokas με 271 MW (6,9 τοις εκατό) και
- EREN με 283 MW (6,9 τοις εκατό) (6,6 τοις εκατό)

Τα κυριότερα σημεία του 2020 περιλαμβάνουν την ολοκλήρωση αιολικών πάρκων από περισσότερους από 20 διαφορετικούς βιομηχανικούς οργανισμούς. Αυτή η πολλαπλότητα καταδεικνύει τη ζωτικότητα και την ανθεκτικότητα του κλάδου. Η ΤΕΡΝΑ Ενεργειακή (111MW, 21,5%) και η ΕΛΛΑΚΤΩΡ ολοκλήρωσαν την πλειοψηφία των εγκαταστάσεων του 2020 (89,6MW, 17,3%).

## Οι παραγωγοί

Για της κατασκευαστές ανεμογεννητριών, η εικόνα είναι η εξής:

- Η Vestas συνεισέφερε το 45,5% της συνολικής αιολικής ενέργειας που παραδόθηκε στην Ελλάδα. Ακολουθούν η Enercon (26,2%), η Siemens Gamesa (16,1%), η Nordex (7,3%) και η GE Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (3,7%).

Συγκεκριμένα για το 2020, η Vestas παρείχε 41,2 τοις εκατό (213 MW), η Enercon παρείχε το 28,4 τοις εκατό (147 MW), η Nordex παρείχε το 21,4 τοις εκατό (111 MW), η Siemens Gamesa παρείχε 5,4 τοις εκατό (28 MW), η GE1 τοις εκατό (147 MW), η GE1 τοις εκατό (147 MW), η GE1 τοις εκατό (111 MW), η Siemens Gamesa παρείχαν 5,4 τοις εκατό (28 MW). ), και η EWT παρείχε 0,5 τοις εκατό (2,5 MW).

Αξίζει να σημειωθεί ότι όλα τα παραπάνω στοιχεία αφορούν την αιολική ενέργεια που αποδίδεται στο δίκτυο.

Με αφορμή την ανακοίνωση της Στατιστικής, ο Πρόεδρος της ΕΛΕΤΑΕΝ Παναγιώτης Λαδακάκος σημείωσε: «Η ανάπτυξη των αιολικών επενδύσεων το 2020 είναι μεγάλη επιτυχία χάρη της προσπάθειας των επιχειρήσεων και των στελεχών της που εργάζονται στην Ελλάδα».

Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι κατάφεραν να δημιουργήσουν και να αδειοδοτήσουν μια κρίσιμη μάζα πρωτοβουλιών που εκτελούνται επί του παρόντος, παρά το πολύ ασταθές και περίπλοκο ρυθμιστικό περιβάλλον. Σε αυτές της δυσκολίες πρέπει να προστεθούν οι αυστηροί περιορισμοί που επιβλήθηκαν ως απάντηση στην επιδημία, οι οποίοι εμποδίζουν την αδειοδότηση και την κατασκευή αιολικών πάρκων σε όλη τη χώρα.

Το 2020 αναμένεται να είναι η δεύτερη μεγαλύτερη χρονιά για την αιολική ενέργεια στην Ελλάδα, μετά τη χρονιά ρεκόρ του 2019. Ο αριθμός των εγκαταστάσεων είναι υπερδιπλάσιος από τον κανόνα των 10 ετών. Πρόκειται για μια εξαιρετικά θετική εξέλιξη. Επιπλέον, το 2020 θα μείνει στη μνήμη της ως το έτος κατά το οποίο το Ηλεκτρικό της Σύστημα απέδειξε την ικανότητά του να προσαρμόζεται ομαλά σε εξαιρετικά μεγάλες διεισδύσεις αιολικής ενέργειας έως και 70% σε ωριαία βάση, κάτι που προηγουμένως θεωρείτο αδιανόητο. Ωστόσο, αυτά τα επιτεύγματα δεν πρέπει να συγκαλύπτουν της μελλοντικές προκλήσεις: μένει να γίνει σημαντική δουλειά για την επίτευξη των ενεργειακών και κλιματικών στόχων της χώρας».

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

### 4.1 Η Υδροηλεκτρική Ενέργεια

Η υδροηλεκτρική ενέργεια είναι η διαδικασία αξιοποίησης της μηχανικής ενέργειας του ρέοντος νερού με πρωταρχικό στόχο την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Από αρχαιοτάτων χρόνων, η υδραυλική ενέργεια, που προέρχεται από πολλούς τύπους νερόμυλων, χρησιμοποιείται για άρδευση και λειτουργία διαφόρων μηχανικών συσκευών, όπως μύλοι, πριονιστήρια, υφαντουργεία, γερανογέφυρες και οικιακούς ανελκυστήρες. Θεωρείται ανανεώσιμη πηγή ενέργειας λόγω της συνεχούς ανανέωσης του κύκλου του νερού από τον ήλιο [20].

Στις αρχές του δέκατου ένατου αιώνα, ένα σημαντικό βήμα πραγματοποιήθηκε όταν η υδροηλεκτρική ενέργεια έγινε βιώσιμη πηγή ενέργειας. Το 1878, το Cragside στο Northumberland έγινε το πρώτο υδροηλεκτρικό σπίτι. Το 1879, οι καταρράκτες του Νιαγάρα είδε την κατασκευή του πρώτου εμπορικού υδροηλεκτρικού σταθμού στον κόσμο. Το 1881, η υδροηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιήθηκε για το άναμμα των λαμπτήρων στους καταρράκτες του Νιαγάρα.

Διεθνείς οργανισμοί όπως η Παγκόσμια Τράπεζα θεωρούν την υδροηλεκτρική ενέργεια ως πηγή οικονομικής ανάπτυξης με χαμηλές εκπομπές άνθρακα. Τα φράγματα, από την άλλη πλευρά, μπορεί να έχουν σημαντικές αρνητικές κοινωνικές και περιβαλλοντικές συνέπειες, οι οποίες θα περιγραφούν λεπτομερέστερα παρακάτω.

Οι τουρμπίνες και οι γεννήτριες χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ενέργειας σε σύγχρονες υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις. Ο ρότορας της τουρμπίνας περιστρέφεται από τη μηχανική ενέργεια που παράγεται από το νερό που ρέει. Η τουρμπίνα συνδέεται με μια ηλεκτρομαγνητική γεννήτρια, η οποία δημιουργεί ενέργεια καθώς ο στρόβιλος περιστρέφεται [20].

Η υδροηλεκτρική ενέργεια είναι μια σημαντική πηγή ενέργειας, η οποία παράγει σχεδόν 1 TW, ή το 16,5 τοις εκατό (3400 TWh) της συνολικής παγκόσμιας προσφοράς. Η υδροηλεκτρική ενέργεια παράγει περισσότερο από το 90% της ηλεκτρικής ενέργειας σε περισσότερες από είκοσι χώρες. Η πλειονότητα των νέων εγκαταστάσεων υδροηλεκτρικής ενέργειας κατασκευάζεται στην Ασία (κυρίως Κίνα) και στη Λατινική Αμερική (κυρίως στη Βραζιλία). Η Κίνα έχει πλέον την μεγαλύτερη εγκατεστημένη ισχύ (210 GW) και επιδιώκει ενεργά πρόσθετα έργα. Η υδροηλεκτρική ενέργεια παράγει περίπου το 8% της ηλεκτρικής ενέργειας των ΗΠΑ, η οποία, αν και δεν

εντυπωσιάζει, εξακολουθεί να είναι πολύ μεγαλύτερη από τη συνολική παραγωγή όλων των άλλων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, αποδεικνύοντας τη χρησιμότητα αυτής της ανανεώσιμης πηγής ενέργειας. Στις Ηνωμένες Πολιτείες και σε άλλα έθνη του ΟΟΣΑ, όπου οι καλύτερες τοποθεσίες έχουν ήδη αναπτυχθεί, η έμφαση έχει απομακρυνθεί από νέα μέρη και προς τη βελτίωση των υφιστάμενων εγκαταστάσεων, συμπεριλαμβανομένης της αύξησης της χωρητικότητας σε υπάρχοντα φράγματα που δεν έχουν ακόμη ολοκληρωθεί σταθμοί παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας [20]. Ενώ η υδροηλεκτρική ενέργεια είναι μια ώριμη τεχνολογία, υπάρχει συνεχές ενδιαφέρον για τη δημιουργία πιο προσιτών και ανώτερων μεθόδων για εφαρμογές χαμηλής ισχύος και χαμηλής πτώσης.

Η υδροηλεκτρική ενέργεια έχει ένα σαφές πλεονέκτημα σε σχέση με την πλειονότητα των άλλων τεχνολογιών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας: είναι μια πολύ πιο ευέλικτη πηγή ενέργειας. Είναι ικανό να παρέχει βασικό φορτίο, φορτίο αιχμής, περιστρεφόμενο εφεδρικό και αποθήκευση ενέργειας. Μπορεί να ανταποκρίνεται πιο γρήγορα και με μεγαλύτερη εμβέλεια και ευελιξία στις διακυμάνσεις της ζήτησης λεπτό προς λεπτό από τις παραδοσιακές μονάδες παραγωγής ενέργειας. Όσον αφορά την αποθήκευση, είναι ένα εξαιρετικό συμπλήρωμα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που είναι εγγενώς ασταθείς και απρόβλεπτες.

#### 4.1.1 Η υδροηλεκτρική ενέργεια στην Ελλάδα

Η Ελλάδα έχει εξαιρετικό αιολικό δυναμικό, με το μεγαλύτερο μέρος του να συγκεντρώνεται στο Αιγαίο. Η έρευνα και οι προσπάθειες για την αξιοποίηση αυτής της δυνατότητας ξεκίνησαν στα τέλη της δεκαετίας του 1970. Το αρχικό βήμα περιελάμβανε τη μέτρηση του αιολικού δυναμικού των πιο πλεονεκτικών σημείων και την ανάπτυξη της έρευνας ΑΙΟΛΟΣ σε συνεργασία με τις Εναλλακτικές Μορφές Ενέργειας (ΕΜΕ), τα Ηνωμένα Έθνη και εθνικούς φορείς. Από το 1982 έως το 1994 εγκαταστάθηκαν ανεμογεννήτριες σε Άνδρο, Ψαρά, Σάμο, Χίο, Κρήτη, Εύβοια, Σαμοθράκη, Ικαρία, Κάρπαθο, Λήμνο, Κύθνο και Σκύρο, οι οποίες παράγουν συνολικά 27 MW. Το πρώτο αιολικό πάρκο κατασκευάστηκε στην Κύθνο και άρχισε να λειτουργεί το 1982. Αποτελούνταν από πέντε ανεμογεννήτριες αρχικής ισχύος 20 KW και αργότερα αυξήθηκαν σε 33 KW. Μέχρι το 1994, τα νησιά του Αιγαίου είχαν φιλοξενήσει συνολικά 13 αιολικά πάρκα. Το Αιγαίο θεωρείται ένα θαλάσσιο αιολικό πάρκο, ικανό να παράγει έως και 40% περισσότερη

ενέργεια ετησίως από ένα αιολικό πάρκο στην ηπειρωτική χώρα. Τα υπεράκτια αιολικά πάρκα φαίνεται να είναι το μέλλον της αιολικής ενέργειας.

Υδροηλεκτρικά έργα έχουν κατασκευαστεί εκτενώς στη χώρα μας, τουλάχιστον σε περιοχές με σημαντικές δυνατότητες. Ως αποτέλεσμα της εγκατάστασης υδροηλεκτρικών μονάδων συνολικής ισχύος 3.052,4 MW , τα μικρά υδροηλεκτρικά έργα δημιουργούν επί του παρόντος σημαντικό ενδιαφέρον και δραστηριότητα. Η πρόσφατη νομοθεσία, από την άλλη πλευρά, επιτρέπει στον ιδιωτικό τομέα να παράγει ενέργεια και στοχεύει να αυξήσει σημαντικά το ενδιαφέρον των επενδυτών στον τομέα της υδροηλεκτρικής ενέργειας. Πολλοί δήμοι και ιδιώτες έχουν δείξει ενδιαφέρον για την ανάπτυξη και τη διαχείριση μικρών υδροηλεκτρικών εγκαταστάσεων. Επιπρόσθετα, τέτοια έργα συχνά επιχορηγούνται και συγχρηματοδοτούνται από την ελληνική κυβέρνηση και την Ευρωπαϊκή Ένωση, με τον αναπτυξιακό νόμο 2601 του 1998 να κατανέμει το 40% του συνολικού κόστους του έργου στο ελληνικό δημόσιο. Ωστόσο, ένα σημαντικό μέρος του υδροηλεκτρικού δυναμικού της χώρας παραμένει αναξιοποίητο, με το μεγαλύτερο μέρος του να συγκεντρώνεται στην ηπειρωτική Ελλάδα. Σύμφωνα με συντηρητικές εκτιμήσεις, η περιοχή αυτή έχει το 30% των συνολικών δυνατοτήτων της χώρας. Αυτό το δυναμικό μπορεί να αντιπροσωπεύει ένα σημαντικό ποσοστό της συνολικής χρήσης ενέργειας. Όλα τα ποτάμια της Ηπείρου πηγάζουν από την οροσειρά της Πίνδου. Η οροσειρά της Πίνδου δέχεται μεγάλες βροχοπτώσεις και έχει γόνιμο έδαφος, επιτρέποντάς μας να αξιοποιήσουμε το υδάτινο δυναμικό που δημιουργείται από τεράστιες υψομετρικές διακυμάνσεις. Από την άλλη πλευρά, το έδαφος της οροσειράς ευνοεί την ανάπτυξη τεχνητών λιμνών και δεξαμενών νερού.

#### 4.1.2 Υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις

Στη Δυτική και Βόρεια Ελλάδα υπάρχει ιδιαίτερα πλούσιο δυναμικό για καταρράκτες, λόγω του σχηματισμού λεκανών απορροής ποταμών με απότομες κλίσεις και σημαντικές βροχοπτώσεις [20].

- Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς είναι 3060 MW.
- Η μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας είναι 4000-5000 GWh.
- Η μέση συνεισφορά στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι 8-10%. Η ενέργεια που προέρχεται από ΥΗΣ καλύπτει τα ηλεκτρικά φορτία αιχμής.

Τα τρία μεγαλύτερα υδροηλεκτρικά έργα είναι στα Κρεμαστικά (437 MW), στον Θησαυρό (384 MW) και στο Πολύφυτο (375 MW). Υπάρχουν μεγάλες δυνατότητες για περαιτέρω ανάπτυξη των υδροηλεκτρικών σταθμών.

25 υδροηλεκτρικά έργα της ΔΕΗ σε λειτουργία 16

ΜΕΓΑΛΑ ΕΡΓΑ (έτος ολοκλήρωσης-χρήσιμος όγκος ταμιευτήρα hm<sup>3</sup>)

- ΛΟΥΡΟΣ (1954-0.035)
- ΑΓΡΑΣ (1954- 3.8)
- ΚΡΕΜΑΣΤΑ (1966- 2805)
- ΚΑΣΤΡΑΚΗ (1969- 53)
- ΕΔΕΣΣΑΙΟΣ (1969- 0,46)
- ΠΟΛΥΦΥΤΩ (1974- 1020)
- ΠΟΥΡΝΑΡΗ (1981- 303)
- ΑΣΩΜΑΤΑ (1985 -1)
- ΣΤΡΑΤΟΣ (1989-11)
- ΠΗΓΕΣ ΑΟΥ (1990-145)
- ΘΗΣΑΥΡΟΣ (1997-570)
- ΠΟΥΡΝΑΡΗ ΙΙ (1999- 3,6)
- ΠΛΑΤΑΝΟΒΡΥΣΗ (1999- 12)

11 ΜΙΚΡΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ

- ΑΓΙΑ ΚΡΗΤΗΣ (1929)
- ΑΛΜΥΡΟΣ ΚΡΗΤΗΣ (1931)



- ΑΓΙΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ ΣΕΡΡΩΝ (1931)
- ΓΚΙΩΝΑ (1988)
- ΣΤΡΑΤΟΣ ΙΙ (1988)
- ΜΑΚΡΟΧΩΡΙ (1992)

#### 4.1.3 Τύποι υδροστροβίλων

Ενώ υπάρχουν αρκετές υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις, όλες χρησιμοποιούν τουρμπίνες/γεννήτριες για να μετατρέψουν την κινητική ενέργεια του ρέοντος νερού σε ηλεκτρική ενέργεια για σπίτια, εταιρείες και βιομηχανία. Σε υδροηλεκτρικούς σταθμούς, χρησιμοποιούνται αρκετοί τύποι στροβίλων, ο καθένας με τα δικά του πλεονεκτήματα και περιορισμούς [21].

Οι στρόβιλοι που χρησιμοποιούνται σε εγκαταστάσεις υδροηλεκτρικής ενέργειας ταξινομούνται ως τουρμπίνες ώθησης ή αντίδρασης. Οι στρόβιλοι Pelton και διασταυρούμενης ροής είναι παραδείγματα στροβίλων που βασίζονται σε παλμούς. Οι στρόβιλοι Francis, οι στρόβιλοι με έλικα (τουρμπίνα με βολβό, τύπους στροβίλου Straflo και Kaplan) και κινητικές τουρμπίνες είναι όλοι στρόβιλοι που βασίζονται στην αντίδραση.

Τύποι στροβίλου: Παρόρμηση έναντι αντίδρασης

Οι δύο κύριες διακρίσεις μεταξύ στροβίλων ώθησης και αντίδρασης είναι ο αριθμός των σταδίων της τουρμπίνας και η μέγιστη ταχύτητα ατμού. Ενώ οι τουρμπίνες παλμών συλλέγουν ενέργεια σε ένα μόνο σημείο όπου προσκρούει ο πίδακας νερού, οι τουρμπίνες απόκρισης συλλέγουν ενέργεια σε ολόκληρο τον τροχό ταυτόχρονα, γεγονός που αυξάνει την απόδοση παραγωγής ενέργειας τους. Ως αποτέλεσμα, τοποθεσίες με υψηλή κεφαλή και χαμηλή ροή θα πρέπει πάντα να ευνοούν τους παλμικούς στροβίλους έναντι των στροβίλων αντίδρασης [21].

#### **Τύποι Impulse Turbines**

Turbine Pelton

Σε έναν στρόβιλο Pelton, τα πεπιεσμένα ρεύματα νερού κατευθύνονται με ακροφύσια σε μια διαδοχή παλμικών λεπίδων σχήματος κουταλιού, γνωστές επίσης ως κάδοι, και διαχωριστές που

χωρίζουν τον πίδακα νερού σε δύο ρεύματα. Στη συνέχεια, αυτά τα ρεύματα ακολουθούν την εσωτερική καμπύλη των κάδων και βγαίνουν προς την αντίθετη κατεύθυνση από αυτή που εισήλθαν [21].

Αυτό παρέχει μια ώθηση στα πτερύγια της τουρμπίνας, η οποία δημιουργεί ροπή και σπινάρισμα. Οι τουρμπίνες Pelton χρησιμοποιούνται συχνά σε τοποθεσίες με ύψος πάνω από 985 πόδια και μια υπέργεια δεξαμενή νερού.

### Στρόβιλος με Cross-Flow

Ο στρόβιλος εγκάρσιας ροής, επίσης γνωστός ως στρόβιλος Ossberger, έχει σχήμα τυμπάνου. Έχει παρόμοια κατασκευή με έναν τροχό νερού. Το νερό ρέει προς τα μέσα καθώς εισέρχεται στην τουρμπίνα στην άκρη. Στη συνέχεια χύνεται μέσα από τον δρομέα και βγαίνει από την άλλη πλευρά.

Λόγω του γεγονότος ότι το νερό ρέει μέσα από τα πτερύγια του στροβίλου δύο φορές, αυξάνει την απόδοση και αυτοκαθαρίζει τον στρόβιλο από μικροσκοπικά σωματίδια και υπολείμματα. Λόγω της μορφής του στροβίλου διασταυρούμενης ροής, είναι ένα μηχάνημα χαμηλής ταχύτητας που ταιριάζει καλύτερα σε εφαρμογές χαμηλής κεφαλής και υψηλής ροής.

### Στροβίλοι τύπου αντίδρασης

Στροβίλοι που αντιδρούν προς τα μέσα έναντι τουρμπίνων που αντιδρούν προς τα έξω.

Όλοι οι στρόβιλοι αντίδρασης ταξινομούνται ως προς τα μέσα ή προς τα έξω ανάλογα με την κατεύθυνση της ροής του νερού. Εάν το νερό εισέρχεται στον δρομέα από το εξωτερικό προς τα μέσα, ο στρόβιλος αναφέρεται ως στρόβιλος αντίδρασης προς τα μέσα. Από την άλλη πλευρά, οι στρόβιλοι αντίδρασης προς τα έξω χρησιμοποιούν το νερό που ρέει από το εσωτερικό προς το εξωτερικό του δρομέα.

## **Στρόβιλος Francis**

Ο στρόβιλος Francis είναι το πιο συχνά χρησιμοποιούμενο είδος τουρμπίνας σε εγκαταστάσεις υδροηλεκτρικής ενέργειας και σε άλλες εφαρμογές που απαιτούν υψηλή στάθμη νερού (130 έως 2.000 πόδια). Επιπλέον, αυτός ο τύπος στροβίλου έχει καλή απόδοση τόσο σε οριζόντια όσο και σε κάθετη διαμόρφωση. Η τουρμπίνα Francis δέχεται νερό ακτινικά και ρέει προς τα μέσα δηλαδή προς το κέντρο. Αφού περάσει από τον στρόβιλο, το νερό εξέρχεται παράλληλα με τον άξονα περιστροφής. Λόγω του μεγάλου εύρους κεφαλής και της μεγάλης απόδοσης, ο τύπος στροβίλου Francis έγινε γρήγορα ο ηγέτης της βιομηχανίας υδροηλεκτρικής ενέργειας.

Ο στρόβιλος Francis δέχεται νερό υψηλής πίεσης μέσω ενός περιβλήματος από κέλυφος σαλιγκαριού που ονομάζεται σπειροειδής. Αυτό μειώνει την πίεση του νερού, αλλά διατηρεί την ταχύτητά του πριν έρθει σε επαφή με πτερύγια οδήγησης. Ως αποτέλεσμα, τα πτερύγια οδήγησης κατευθύνουν τη ροή του νερού με βέλτιστη γωνία προς τα σταθερά πτερύγια του δρομέα, με αποτέλεσμα το νερό να εκτρέπεται ελαφρά πλευρικά και αξονικά. Τέλος, το νερό εκκενώνεται μέσω του σωλήνα έλξης και στην ουρά. Ως συνέπεια του νερού που χτυπά και εκτρέπει τα πτερύγια του δρομέα, δημιουργείται μια δύναμη που ωθεί τα πτερύγια προς την αντίθετη κατεύθυνση, στρέφοντας τον δρομέα και μεταφέροντας ενέργεια από το νερό στον άξονα του στροβίλου για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

## **Στρόβιλος με έλικα**

Ο στρόβιλος έλικας είναι ένας τύπος στροβίλου αντίδρασης προς την εσωτερική ροή με δρομέα που μοιάζει με έλικα πλοίου ή υποβρυχίου. Διατίθεται με σταθερές ή ρυθμιζόμενες λεπίδες. Ρυθμιζόμενα πτερύγια οδήγησης ελέγχουν τη ροή του νερού στον στρόβιλο της έλικας (wicket gates). Το νερό ωθείται μέσω του δρομέα από τα πτερύγια, τα οποία αντιδρούν με τις λεπίδες. Οι στροβίλοι έλικας χρησιμοποιούνται συχνά σε τοποθεσίες υψηλής ροής [21]. Υπάρχουν διάφορες ποικιλίες ανεμογεννητριών στην αγορά, συμπεριλαμβανομένων των εξής:

## **Στρόβιλος με βολβό**

Ο στρόβιλος βολβού είναι ένας μικρός στρόβιλος με έλικα με στεγανό περίβλημα που φιλοξενεί μια οριζόντια προσανατολισμένη γεννήτρια. Το κύριο πλεονέκτημα του στρόβιλου με βολβό είναι η συμπαγής κατασκευή του, καθώς ο στρόβιλος και η γεννήτρια είναι ενσωματωμένα σε μία σφραγισμένη μονάδα. Αυτό, ωστόσο, καθιστά δύσκολη τη συντήρηση του στρόβιλου. Επιπλέον, χρειάζεται ορισμένες συνθήκες θερμοκρασίας και κυκλοφορίας αέρα.

## **Στρόβιλος Straflo**

Οι τουρμπίνες Straflo είναι μικροί στρόβιλοι με έλικα με γεννήτρια ενσωματωμένη στο χείλος του δρομέα του στρόβιλου. Οι στρόβιλοι Straflo επιτρέπουν στη μονάδα να λειτουργεί με χαμηλή στάθμη, ενώ κρατούν την πλειονότητα των εξαρτημάτων παραγωγής εκτός νερού.

## **Στρόβιλος Kaplan**

Ο στρόβιλος Kaplan είναι ένας στρόβιλος έλικας μεταβλητής λεπίδας με αυτόματα ρυθμιζόμενες πύλες αυλακώσεων. Παρέχει στους καταναλωτές μια ευρεία ποικιλία ρυθμίσεων κεφαλής/ροής. Επιπλέον, ο στρόβιλος Kaplan είναι πιο αποδοτικός σε συνθήκες χαμηλής κεφαλής/υψηλής ροής, γεγονός που τον διακρίνει από τον στρόβιλο Francis.

## **Στρόβιλος, Kinetic**

Η κινητική τουρμπίνα είναι ένας τύπος στρόβιλου ελεύθερης ροής που δημιουργεί ισχύ αξιοποιώντας την κινητική ενέργεια του ρέοντος νερού μέσω της χρήσης μιας αποδοτικής έλικας αξονικής ροής και βελτιωμένων χειριστηρίων. Ακολουθεί τη φυσική ροή του νερού και δεν απαιτεί την εκτροπή του νερού μέσω σωλήνων, τεχνητών καναλιών ή κοίτης ποταμών, καθιστώντας το μικρό και απλό στην εγκατάσταση.

### **4.1.4. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα**

Η υδροηλεκτρική ενέργεια έχει μια σειρά από πλεονεκτήματα, όπως ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, μηδενικές εκπομπές ρύπων και ευκαιρίες αναψυχής. Η υδροηλεκτρική ενέργεια μπορεί ακόμη και να είναι ένα ευχάριστο και συναρπαστικό θέμα μελέτης. Εξετάστε τα ακόλουθα πλεονεκτήματα της υδροηλεκτρικής ενέργειας.

## **1. Είναι ωφέλιμο για το περιβάλλον**

Ενώ η υδροηλεκτρική ενέργεια έχει ορισμένα μειονεκτήματα, είναι μια από τις πιο οικολογικά ευνοϊκές πηγές ενέργειας που είναι προσβάσιμες σήμερα. Δεν καταναλώνει ορυκτά καύσιμα και δεν εκπέμπει επικίνδυνους ρύπους, ενώ ταυτόχρονα παρέχει μια σταθερή πηγή καθαρής ενέργειας. Ενώ τα φράγματα μπορούν να έχουν σημαντική επίδραση στο περιβάλλον, η μόνη ρύπανση που δημιουργείται από αυτές τις κατασκευές είναι κατά την κατασκευή τους. Η παραγωγή ενέργειας από μόνη της δεν εκπέμπει διοξείδιο του άνθρακα.

## **2. Είναι ένας βιοδιασπώμενος πόρος**

«Υπάρχει νερό παντού, αλλά δεν υπάρχει ούτε μια σταγόνα να πιείς». Ενώ είναι απίθανο να πιείτε απευθείας από ένα ποτάμι (ή ωκεανό) σύντομα, ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα της υδροηλεκτρικής ενέργειας είναι ότι το νερό είναι άφθονο και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας. Λόγω του κύκλου του νερού, είναι ένας μη εξαντλητικός ανανεώσιμος πόρος που μας δίνει τη δυνατότητα να εξοικονομήσουμε σπάνιους και μη ανανεώσιμους πόρους για άλλη χρήση.

Η υδροηλεκτρική ενέργεια είναι επίσης πολύτιμος πόρος, διότι δίνει τη δυνατότητα στις χώρες να επιτύχουν μεγαλύτερη ενεργειακή ανεξαρτησία. Η μειωμένη εξάρτηση από ξένες πηγές καυσίμων μπορεί να συμβάλει στην άμβλυνση των συγκρούσεων και στη βελτίωση των οικονομικών συνθηκών σε χώρες που εξαρτώνται από τις διεθνείς προμήθειες καυσίμων. Αντί για αυτό, μπορούν να χρησιμοποιούν υδροηλεκτρική ενέργεια για να παράγουν καθαρή, οικιακή ηλεκτρική ενέργεια.

## **3. Είναι αξιόπιστο και εξαιρετικά αποτελεσματικό**

Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της υδροηλεκτρικής ενέργειας είναι ότι είναι μια από τις πιο αποδοτικές μορφές ενέργειας στον πλανήτη. Σκεφτείτε ότι η ηλιακή ηλεκτρική ενέργεια είναι μόνο περίπου 30% έως 36% αποδοτική, η αιολική ενέργεια είναι μόνο περίπου 25% έως 45% αποδοτική και η ενέργεια από άνθρακα είναι μόνο περίπου 33% έως 40% αποδοτική. Όλες αυτές οι προσεγγίσεις είναι ωχρές σε αντίθεση με την υδροηλεκτρική ενέργεια, η οποία μετατρέπει το νερό σε ηλεκτρική ενέργεια με ποσοστό απόδοσης έως και 90%.

Επιπλέον, η υδροηλεκτρική ενέργεια έχει το πλεονέκτημα ότι απαιτεί ελάχιστο έως καθόλου χρόνο διακοπής λειτουργίας, καθώς η ροή του νερού διακόπτεται μόνο για συνήθεις επισκευές,

συντήρηση και βελτιώσεις. Η ηλιακή ενέργεια, από την άλλη πλευρά, μειώνεται στην παραγωγή κάθε βράδυ όταν δύει ο ήλιος.

#### **4. Είναι ευέλικτο**

Σε αντίθεση με άλλα είδη ενέργειας όπως η ηλιακή, η αιολική ή ο άνθρακας, η υδροηλεκτρική ενέργεια παρέχει μια σταθερή πηγή ενέργειας. Η ροή του νερού που χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί εύκολα να αλλάξει για να καλύψει τη ζήτηση. Αυτό δίνει τη δυνατότητα πρόσβασης στην ηλεκτρική ενέργεια ακριβώς όταν απαιτείται, μειώνοντας έτσι τη σπατάλη ενέργειας.

#### **5. Είναι ασφαλές**

Σε σύγκριση με πολλές άλλες πηγές παραγωγής ενέργειας, τα υδροηλεκτρικά φράγματα ήταν ιστορικά αρκετά ασφαλή. Η πλειονότητα των βλαβών ή προβλημάτων είναι συνέπεια της κακής κατασκευής και των χαλαρών κανονισμών ασφαλείας σε παλαιότερα φράγματα. Ένα άλλο πλεονέκτημα της υδροηλεκτρικής ενέργειας σε αυτό το σενάριο είναι η απουσία εύφλεκτου καυσίμου, το οποίο μετριάζει τους κινδύνους που συνδέονται με τα ορυκτά καύσιμα ή την πυρηνική ενέργεια.

#### **6. Είναι οικονομικά αποδοτικό**

Αν και η αρχική επένδυση μπορεί να είναι σημαντική, από τη στιγμή που το φράγμα τεθεί σε λειτουργία, το κόστος συντήρησης και η αποζημίωση του προσωπικού είναι συγκριτικά ελάχιστα. Επιπλέον, το κόστος του νερού δεν αλλάζει όπως τα παραδοσιακά ορυκτά καύσιμα και τα εισαγόμενα καύσιμα. Οι χώρες που βασίζονται στην υδροηλεκτρική ενέργεια μπορούν να εξοικονομήσουν σημαντικά χρηματικά ποσά, και ορισμένες χώρες, όπως η Παραγουάη, βασίζονται σε υδροηλεκτρικά φράγματα για σχεδόν όλη την ενέργειά τους.

## **7. Είναι εξαιρετικό για ψυχαγωγικούς σκοπούς**

Τέλος, τα φράγματα συχνά καταλήγουν στη δημιουργία ταμιευτήρων. Εάν ζείτε κοντά σε μια δεξαμενή ή την έχετε επισκεφθεί ποτέ, πιθανότατα γνωρίζετε ότι είναι ουσιαστικά μια τεχνητή λίμνη όπου οι άνθρωποι μπορούν να απολαύσουν το ψάρεμα, τη βαρκάδα, το κολύμπι, το windsurfing και πολλά άλλα.

Η υδροηλεκτρική ενέργεια εκτός από αυτά τα πλεονεκτήματα έχει μια σειρά από μειονεκτήματα. Η στάθμιση των πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων της υδροηλεκτρικής ενέργειας είναι κρίσιμη γιατί πρέπει επίσης να λάβουμε υπόψη την επιρροή των δραστηριοτήτων μας κατά την ανάπτυξη βιώσιμων ενεργειακών λύσεων. Τα ακόλουθα είναι μερικά από τα κύρια μειονεκτήματα της υδροηλεκτρικής ενέργειας.

### **1. Έχει αρνητικό αντίκτυπο στο περιβάλλον**

Ίσως το πιο σημαντικό μειονέκτημα της υδροηλεκτρικής ενέργειας είναι η περιβαλλοντική επίδραση. Τα φράγματα μπορούν να προκαλέσουν βλάβη ή να έχουν δυσμενείς επιπτώσεις στο περιβάλλον καθ' όλη τη φάση κατασκευής του φράγματος. Για να κατασκευαστεί ένα φράγμα, πρέπει να ανεγερθούν νέοι δρόμοι και ηλεκτρικές γραμμές, προκαλώντας περιβαλλοντική διαταραχή. Επιπλέον, τα φράγματα συχνά δημιουργούν ταμιευτήρες που κατακλύζουν μεγάλες περιοχές και απαλλάσσουν τα φυσικά οικοσυστήματα. Όταν τα φράγματα πλημμυρίζουν περιοχές, δημιουργούν περιοχές με ακίνητο ή στάσιμο νερό, το οποίο σκοτώνει τη χλωρίδα και απελευθερώνει αέρια του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα καθώς σαπίζει. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα σε υγρά ή τροπικά κλίματα.

Η παρεμπόδιση της ροής του νερού μπορεί επίσης να έχει σημαντική επίδραση στη μετανάστευση των ψαριών, ιδιαίτερα για είδη όπως ο σολομός που γεννούν στα ποτάμια. Τα φράγματα μπορούν ακόμη και να διαταράξουν τις βιολογικές ενδείξεις που καθοδηγούν τα ψάρια πού να μεταναστεύσουν. Ορισμένα φράγματα προσπάθησαν να αντιμετωπίσουν αυτό το μειονέκτημα της υδροηλεκτρικής ενέργειας κατασκευάζοντας ιχθυόσκαλες ή ανελκυστήρες για να βοηθήσουν τα μεταναστευτικά ψάρια να φτάσουν στις περιοχές αναπαραγωγής τους.

Η ποιότητα του νερού είναι το τελευταίο περιβαλλοντικό μειονέκτημα της υδροηλεκτρικής ενέργειας στη λίστα μας. Όταν κατασκευάζονται φράγματα, περιορίζουν την κίνηση του νερού, κάτι που έχει επίδραση στα επίπεδα οξυγόνου στο νερό. Τα μειωμένα επίπεδα οξυγόνου πίσω από

το φράγμα μπορεί επίσης να έχουν ως αποτέλεσμα μειωμένα επίπεδα οξυγόνου κατάντη. Όταν υπάρχει λιγότερο οξυγόνο στο νερό, ορισμένα είδη ψαριών δυσκολεύονται να επιβιώσουν, γεγονός που έχει επίδραση στα οικοσυστήματα των ποταμών.

## **2. Εκτοπίζει τα άτομα**

Οι δεξαμενές απομακρύνουν όχι μόνο ζώα από τα ενδιαιτήματά τους, αλλά και ανθρώπους. Αυτό το μειονέκτημα της υδροηλεκτρικής ενέργειας έχει τη δυνατότητα να έχει σημαντικό αντίκτυπο στις κοινότητες. Άτομα που έχουν ζήσει σε μια περιοχή ολόκληρη τη ζωή τους μπορεί να αναγκαστούν να μετεγκατασταθούν και, ενώ συχνά αποζημιώνονται για τη μετεγκατάστασή τους, δεν μπορεί να αντισταθμίσει την απώλεια.

Τα φράγματα έχουν εξαλείψει πόλεις, κωμοπόλεις και χωριά, εκτοπίζοντας τους αυτόχθονες πολιτισμούς. Εάν οι κάτοικοι αρνούνται να μετεγκατασταθούν λόγω κατασκευής, κατά καιρούς έχουν εκδιωχθεί από τα σπίτια τους υπό τον φόβο της βίας.

Το 1982, ένα περιστατικό στη Γουατεμάλα είχε ως αποτέλεσμα τη δολοφονία 369 Μάγια που αρνήθηκαν να εγκαταλείψουν τα χωριά τους για να ανοίξουν τον δρόμο για την ανάπτυξη του φράγματος Chixoy. Τα φράγματα έχουν εκτοπίσει εκατομμύρια ανθρώπους όλα αυτά τα χρόνια, αναγκάζοντάς τους να ξεριζώσουν τα σπίτια και τις οικογένειές τους.

Η κατασκευή του υδροηλεκτρικού εργοστασίου αυξάνει επίσης τον κίνδυνο πλημμυρών σε χαμηλότερα υψόμετρα. Εάν εκκενωθούν ρεύματα βαρέως νερού από το φράγμα, οι κάτοικοι που ζουν σε χαμηλότερα υψόμετρα μπορεί να βιώσουν σημαντικές, αν όχι μόνιμες, αλλαγές στον τρόπο ζωής τους.

## **3. Το κόστος είναι υπέρογκο**

Ένα άλλο μειονέκτημα της υδροηλεκτρικής ενέργειας είναι το αρχικό κόστος κατασκευής ενός φράγματος. Παρόλο που είναι πολύ φθηνά στη λειτουργία τους, ο χρόνος που απαιτείται για να πληρώσει ένα φράγμα για τον εαυτό του ποικίλλει σημαντικά. Ενώ ορισμένα φράγματα χρειάζονται από δύο έως πέντε χρόνια για να κατασκευαστούν, άλλα, όπως το φράγμα Itaipu στη Βραζιλία και την Παραγουάη, ενδέχεται να διαρκέσουν πολύ περισσότερο, με αποτέλεσμα πρόσθετα έξοδα. Το φράγμα Itaipu χρειάστηκε 18 χρόνια και συνολικά 18 δισεκατομμύρια δολάρια για να ολοκληρωθεί.



Από τη δεκαετία του 1950, εκτιμάται ότι έχουν δαπανηθεί 2.000 δισεκατομμύρια δολάρια για την κατασκευή φραγμάτων παγκοσμίως, με μέσες καθυστερήσεις κατασκευής 44% και υπερβάσεις κόστους έως και 96%. Οι υπερβολικές δαπάνες και οι καθυστερήσεις επιδεινώνουν τη δυσκολία απόκτησης απόδοσης για τα χρήματα που δαπανήθηκαν για την κατασκευή του φράγματος.

#### **4. Οι δεξαμενές είναι περιορισμένες**

Ενώ το νερό είναι ένας άπειρος πόρος, οι συνθήκες για την κατασκευή φράγματος είναι περιορισμένες. Αυτό είναι ένα μειονέκτημα της υδροηλεκτρικής ενέργειας, καθώς υπονοεί ότι τα φράγματα δεν μπορούν να κατασκευαστούν οπουδήποτε. Πράγματι, η πλειονότητα των χώρων κατάλληλων για την κατασκευή υδροηλεκτρικού φράγματος έχουν ήδη χρησιμοποιηθεί για το σκοπό αυτό. Ένα άλλο σημείο που πρέπει να ληφθεί υπόψη είναι ότι ακόμη και αν μια τοποθεσία είναι κατάλληλη για υδροηλεκτρικό φράγμα, το έργο μπορεί να μην παράγει αρκετά έσοδα για να δικαιολογήσει την επένδυση.

#### **5. Εμφανίζονται ξηρασίες**

Κατά την αξιολόγηση των πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων της υδροηλεκτρικής ηλεκτρικής ενέργειας, είναι σημαντικό να έχετε κατά νου ότι το νερό μπορεί και βιώνει κύκλους περισσειας και ξηρασίας. Τα επίπεδα νερού που είναι χαμηλότερα από τα κανονικά μπορούν να έχουν σημαντική επίδραση στην παραγωγή ενέργειας, η οποία είναι μειονέκτημα της υδροηλεκτρικής ενέργειας.

Εκτός από την επίδραση της ξηρασίας, η παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να συμβάλει σε συνθήκες ξηρασίας κατάντη, εάν δεν επιτρέπει επαρκή ροή νερού. Αυτό είναι ιδιαίτερα προβληματικό εάν το φράγμα τοποθετηθεί κατά μήκος ενός ποταμού ή μιας δεξαμενής που επιτρέπει στο νερό να ρέει σε άλλο έθνος. Η μια χώρα μπορεί κατά λάθος ή σκόπιμα να προκαλέσει ξηρασία στη γειτονική χώρα.

#### **6. Η ασφάλεια δεν είναι πάντα εγγυημένη**

Παρά την απουσία εύφλεκτων καυσίμων, τα φράγματα ενέχουν τους δικούς τους κινδύνους. Τα ατυχήματα στην εργασία, καθώς και η κατάρρευση του φράγματος, μπορεί να οδηγήσουν σε σοβαρό τραυματισμό ή θάνατο. Το φράγμα Hoover στοίχισε τη ζωή σε έως και 112 ζώες κατά τη

διάρκεια της κατασκευής, ενώ μία από τις πιο θανατηφόρες καταστροφές συνέβη το 1975, όταν μια καταγίδα κατέστρεψε το φράγμα Banqiao Reservoir Dam στην Κίνα.

Η επακόλουθη αστοχία του φράγματος Banqiao είχε ως αποτέλεσμα τον θάνατο περίπου 171.000 ανθρώπων. Ευτυχώς, τα φράγματα που κατασκευάζονται τώρα τηρούν αυστηρότερους κανονισμούς ασφαλείας από τα φράγματα που δημιουργήθηκαν στο παρελθόν.

#### 4.2 Αναστρέψιμη υδροηλεκτρική ενέργεια και η περίπτωση της Ελλάδας

Το τελευταίο διάστημα έχει γίνει αρκετή συζήτηση για το ενδεχόμενο σύνδεσης των ελληνικών νησιών. Ο απώτερος στόχος όλων των μερών (κυβέρνηση, διαχειριστές συστημάτων) είναι να διασφαλίσουν την ασφάλεια και τη σταθερότητα των νησιωτικών συστημάτων, ενώ παράλληλα μειώνουν το κόστος παραγωγής. Ωστόσο, όπως απέδειξαν τα διασυνδεδεμένα νησιωτικά συστήματα της Ευρώπης, η συνδεσιμότητα από μόνη της δεν μπορεί να προσφέρει ενεργειακή ασφάλεια. Βλάβες υποθαλάσσιων καλωδίων διασύνδεσης στην Ελλάδα (Κάσος - Κάρπαθος, Τήλος - Κως) και στο εξωτερικό (Culatra - Πορτογαλία, Νήσοι Αράν - Ιρλανδία) είχαν ως αποτέλεσμα πολυήμερες διακοπές ρεύματος [15].

Ως αποτέλεσμα, όταν συνδέονται νησιωτικά συστήματα, είναι απαραίτητο να διατηρηθεί η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η διατήρηση των υφιστάμενων θερμοηλεκτρικών σταθμών, από την άλλη πλευρά, υποδηλώνει παράταση της εξάρτησης των νησιωτικών συστημάτων από ακριβές, εισαγόμενες πηγές ενέργειας. Επιπρόσθετα, δεν επιτυγχάνεται εξοικονόμηση κόστους, τουλάχιστον όχι στο αναμενόμενο επίπεδο, διότι δεν αποφεύγονται τα υφιστάμενα πάγια έξοδα παραγωγής (συντήρηση μονάδας, αποσβέσεις εξοπλισμού κ.λπ.).

Η μόνη τεχνικά εφικτή απάντηση είναι η κατασκευή κεντρικών μονάδων αποθήκευσης ενέργειας και εξελιγμένων συστημάτων διαχείρισης ζήτησης ενέργειας σε κρίσιμες θέσεις σε όλο το διασυνδεδεμένο νησιωτικό δίκτυο. Η πιο αποδεδειγμένη και καθιερωμένη μέθοδος αποθήκευσης ισχύος με τεράστια χωρητικότητα (στην κλίμακα GWh) είναι η αναστρέψιμη υδροηλεκτρική ενέργεια. Λόγω της ακραίας φυσικής ανακούφισης της νησιωτικής Ελλάδας, κάθε νησί έχει τουλάχιστον μία τοποθεσία κατάλληλη για την ανάπτυξη ενός αναστρέψιμου υδροηλεκτρικού σταθμού. Ακόμη και με έλλειψη γλυκού νερού, μπορούν να λειτουργήσουν αξιοποιώντας το θαλασσινό νερό.

Ταυτόχρονα, η εισαγωγή τεχνικών έξυπνης διαχείρισης ενέργειας στα νησιωτικά συστήματα, κυρίως μέσω της διάσπαρτης παραγωγής και αποθήκευσης, καθώς και μέτρα εξοικονόμησης καταναλωτών και διαχείρισης της ζήτησης, μπορεί να ανακουφίσει το σύστημα παραγωγής, κυρίως με τη μείωση της αιχμής ισχύος, με αποτέλεσμα χαμηλότερο κόστος παραγωγής και αύξηση ασφάλεια συστήματος. Παρόμοιο έργο έχει αναληφθεί στο παρελθόν στην Τήλο στο πλαίσιο ευρωπαϊκής χρηματοδοτικής πρωτοβουλίας και ο ΔΕΔΔΗΕ έχει προτείνει συγκρίσιμα έργα για την Κύθνο, την Αστυπάλαια, τη Σύμη και το Καστελόριζο.

Τέλος, ο στόχος της ενίσχυσης της ενεργειακής ασφάλειας και της μείωσης του κόστους παραγωγής στα ελληνικά νησιά μπορεί να επιτευχθεί μόνο με το συνδυασμό των προαναφερθέντων έργων (διασυνδέσεις, κεντρικοί σταθμοί αποθήκευσης και έξυπνα δίκτυα) με παράλληλη βελτιστοποίηση των κοινωνικών, οικονομικών και περιβαλλοντικών οφελών σε αποκεντρωμένα και εθνικά επίπεδο.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Αποθηκευτικές μέθοδοι στις Α.Π.Ε

Η αποθήκευση ενέργειας με βάση το δίκτυο επιλύει άμεσα μια από τις κύριες προκλήσεις που αντιμετωπίζει η ανανεώσιμη ενέργεια: τη διακοπτόμενη πρόσβαση σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Το φως του ήλιου δεν λάμπει πάντα. Ο άνεμος δεν φυσάει πάντα προς την ίδια κατεύθυνση (Aitken, 2010).

Οι τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας επιτρέπουν την αποθήκευση ενέργειας σε περιόδους ηλιοφάνειας και ανέμου και την απελευθέρωσή της όταν χρειάζεται. Αν και αυτό μπορεί να φαίνεται σαν μια απλή ιδέα, υπάρχουν διάφοροι τρόποι για να επιτευχθεί η αποθήκευση ενέργειας.

### 1) Αποθήκευση Πεπιεσμένου Αέρα

Όταν χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με ένα αιολικό πάρκο, ένα σύστημα αποθήκευσης ενέργειας πεπιεσμένου αέρα αναρροφά αέρα σε μια σειρά από τεράστιους υπόγειους θαλάμους, σχηματίζοντας ένα σύστημα υψηλής πίεσης. Όταν μειώνονται οι ταχύτητες του ανέμου ή αυξάνεται η ζήτηση ισχύος, ο πεπιεσμένος αέρας απελευθερώνεται σε ανεμογεννήτριες .

### 2) Αντλησιοταμίευση

Η υδροηλεκτρική ενέργεια με αντλία αποθήκευσης είναι ένας κοινός τύπος αποθήκευσης ενέργειας. Χρησιμοποιείται συνήθως για την αποθήκευση πλεονάζουσας ενέργειας από το δίκτυο. Όταν η ζήτηση για ενέργεια υπολείπεται της προσφοράς, η ηλεκτρική ενέργεια από το δίκτυο χρησιμοποιείται για την άντληση νερού σε μια δεξαμενή ή λίμνη. Όταν η ζήτηση αυξάνεται, το νερό αφήνεται να ρέει από την επάνω δεξαμενή σε μια κάτω δεξαμενή. Καθώς το νερό ταξιδεύει κατηφορικά, περνά μέσα από τουρμπίνες, δημιουργώντας ενέργεια.

### 3) Αποθήκευση Ενέργειας μέσω Βολάν

Μετατρέποντας την ηλεκτρική ενέργεια σε κινητική ενέργεια με τη μορφή περιστρεφόμενων τροχών, τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας σφονδύλου αποθηκεύουν ενέργεια στο δίκτυο. Για να αποφευχθεί η απώλεια ενέργειας, οι τροχοί διατηρούνται σε κενό χωρίς τριβές από ένα μαγνητικό πεδίο και όταν απαιτείται ισχύς, η περιστροφή μπορεί να επιβραδυνθεί με τρόπο που δημιουργεί ηλεκτρισμό.

Αυτό το σύστημα έχει μια σειρά από πλεονεκτήματα σε σχέση με άλλες μορφές αποθήκευσης ενέργειας, όπως η φθινή συντήρηση, η μεγάλη διάρκεια ζωής και η χαμηλή περιβαλλοντική επίδραση.

#### 4) Lithium- Li

Πιθανώς η πιο απλή ιδέα για να γίνει κατανοητή, οι ειδικοί και οι υπεύθυνοι χάραξης πολιτικής επενδύουν εκτενώς στην κατασκευή τεράστιων μπαταριών ιόντων λιθίου για την αποθήκευση ενέργειας για περιόδους που η προσφορά ηλεκτρικής ενέργειας υπερβαίνει τη ζήτηση.

Οι μπαταρίες λιθίου δεν σχεδιάστηκαν για βιομηχανική χρήση και η ευρεία υιοθέτησή τους με βάση το δίκτυο αντιμετωπίζει τρία βασικά εμπόδια: κόστος, τη δυνατότητα για κινδύνους για την ασφάλεια και τη σύντομη διάρκεια ζωής τους.

#### 5) Ηλεκτρική αποθήκευση για αντλούμενη θερμότητα

Το Pumped Heat Electrical Storage συσσωρεύει ηλεκτρισμό χρησιμοποιώντας το για να τροφοδοτήσει μια αντλία θερμότητας που μεταφέρει θερμότητα από μια "ψυχρή αποθήκη" σε μια "θερμή αποθήκευση", όπως κάνει ένα ψυγείο. Για την ανάκτηση ενέργειας, η αντλία θερμότητας ενεργοποιείται, μεταφέροντας θερμότητα από τη θερμή αποθήκη στην ψυχρή αποθήκη. Αυτό παράγει μηχανικό έργο, το οποίο χρησιμοποιείται για την τροφοδοσία μιας γεννήτριας.

Ένα από τα πλεονεκτήματα αυτού του συστήματος έναντι άλλων είναι ο σημαντικά ταχύτερος χρόνος αντίδρασής του, ο οποίος μετράται σε λεπτά.

## 5.1 Ειδή αποθηκευτικών διατάξεων

### 5.1.1 Αντλησιοταμίευση

Το σύννηθες πρόβλημα που παρατηρούμε και συμβαίνει είναι η αβεβαιότητα της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τα συστήματα των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ). Αυτό συμβαίνει γιατί ο ήλιος, για τα ηλιακά πάρκα, ο άνεμος, για τα αιολικά πάρκα, καθώς και οι άλλοι παράγοντες των ΑΠΕ είναι μεταβλητοί και αβέβαιοι. Με αυτές τις συνθήκες υπάρχει πιθανότητα κάποια χρονική στιγμή να έχουμε είτε πλεόνασμα σε παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας διότι είχαμε

ισχυρούς ανέμους για παράδειγμα, είτε ότι είχαμε έλλειμα γιατί τα αιολικά πάρκα σημείωσαν μηδενική παραγωγή.

Σε αυτό το σημείο η μέθοδος της αντλησιοταμίευση παίρνει τον ρόλο της αντιστάθμισης της ζήτησης ή της αποθήκευσης του πλεονάσματος. Η αντλησιοταμίευση είναι η πιο αξιόπιστη μέθοδος αποθήκευσης μεγάλης κλίμακας ενέργειας (έως και 5000MW) .

Το σύστημα της αντλησιοταμίευσης αποτελείται από :

Δυο ταμιευτήρες, τον άνω ταμιευτήρα και τον κάτω ταμιευτήρα οι οποίοι έχουν ικανή υψομετρική διαφορά για την παραγωγή, ένα πλήθος από υδροτροβίλους με αντίστοιχες ηλεκτρικές γεννήτριες –ένα πλήθος αντλιών με τους αντίστοιχους ηλεκτρικούς κινητήρες, αγωγούς και ένα σύστημα ελέγχου.

#### **5.1.1.1 Οφέλη αντλησιοταμίευσης**

Τα συστήματα αντλιοταμίευσης έχουν αρκετά οφέλη . Τα δύο πιο σημαντικά είναι:

- 1) Κατά τις ώρες χαμηλής ζήτησης ή αυξημένης παραγωγής απορροφούν ηλεκτρική ενέργεια και την αποθηκεύουν σε μορφή δυναμικής ενέργειας στον άνω ταμιευτήρα
- 2) Κατά τις ώρες αιχμής-αυξημένης ζήτησης, χρησιμοποιούν είτε την αποθηκευμένη ενέργεια είτε την ενέργεια όπου δόθηκε λόγω φυσικών εισροών και παράγουν ηλεκτρική ενέργεια την οποία αποδίδουν στο δίκτυο για αντιστάθμιση της ζήτησης.

Όταν περιλαμβάνονται οι απώλειες εξάτμισης από την εκτεθειμένη επιφάνεια του νερού και οι απώλειες μετατροπής, είναι δυνατή η ανάκτηση ενέργειας 70–80 τοις εκατό ή μεγαλύτερη. Ενώ αυτή η προσέγγιση είναι πλέον η πιο οικονομικά αποδοτική μέθοδος αποθήκευσης τεράστιων ποσοτήτων ηλεκτρικής ενέργειας, οι κεφαλαιουχικές δαπάνες και η διαθεσιμότητα κατάλληλης γεωλογίας αποτελούν σημαντικά ζητήματα για τον εντοπισμό σταθμών αντλίας αποθήκευσης.

Λόγω της χαμηλής ενεργειακής πυκνότητας των αντληθέντων συστημάτων αποθήκευσης, απαιτούνται σημαντικές ροές ή/και σημαντικές διαφορές ύψους μεταξύ των δεξαμενών. Η μόνη μέθοδος για την αποθήκευση σημαντικής ποσότητας ενέργειας είναι να έχουμε ένα τεράστιο σώμα νερού σχετικά κοντά, αλλά ανυψωμένο πάνω από ένα άλλο σώμα νερού. Αυτό συμβαίνει φυσικά σε ορισμένες τοποθεσίες, αλλά σε άλλες, το ένα ή και τα δύο υδάτινα σώματα είναι ανθρωπογενή.

Τα συστήματα κλειστού βρόχου είναι εκείνα στα οποία και οι δύο δεξαμενές είναι τεχνητές και καμία δεξαμενή δεν δέχεται φυσικές εισροές.

Αυτά τα συστήματα μπορεί να είναι οικονομικά αποδοτικά επειδή εξομαλύνουν τις διακυμάνσεις φορτίου στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, επιτρέποντας σε θερμοηλεκτρικούς σταθμούς βασικού φορτίου, όπως σταθμούς παραγωγής ενέργειας με καύση άνθρακα και πυρηνικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής, να λειτουργούν με μέγιστη απόδοση, ενώ μειώνουν την ανάγκη για σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής "αιχμής" χρησιμοποιούν τα ίδια καύσιμα με πολλούς θερμοηλεκτρικούς σταθμούς βασικού φορτίου, φυσικό αέριο και πετρέλαιο, αλλά έχουν σχεδιαστεί για ευελιξία και όχι για μέγιστη απόδοση. Έτσι, όταν συντονίζονται μεγάλες ομάδες διαφορετικών γεννητριών, τα συστήματα αντλούμενης αποθήκευσης είναι κρίσιμα. Οι κεφαλαιουχικές δαπάνες για συστήματα άντλησης αποθήκευσης είναι μάλλον δαπανηρές, ωστόσο αυτό αντισταθμίζεται εν μέρει από την αποδεδειγμένη μεγάλη διάρκεια ζωής τους για δεκαετίες - και σε ορισμένες περιπτώσεις πάνω από έναν αιώνα, η οποία είναι τρεις έως πέντε φορές μεγαλύτερη από αυτή της χρησιμότητας - μπαταρίες κλίμακας. Όταν οι τιμές του ηλεκτρικού ρεύματος πέφτουν κάτω από το μηδέν, οι φορείς εκμετάλλευσης υδροηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να κερδίζουν δύο φορές - μία όταν «αγοράζουν» ισχύ για να αντλούν νερό στην υψηλότερη δεξαμενή με αρνητικές τιμές spot και ξανά όταν πωλούν την ηλεκτρική ενέργεια σε μεταγενέστερη ημερομηνία, όταν οι τιμές είναι υψηλές.

Μαζί με τη διαχείριση ενέργειας, οι συσκευές αποθήκευσης με αντλία βοηθούν στον έλεγχο συχνότητας και στη δημιουργία αποθεμάτων. Οι θερμοηλεκτρικοί σταθμοί είναι πολύ λιγότερο ικανοί να ανταποκριθούν σε απότομες διακυμάνσεις της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, που μπορεί να οδηγήσει σε αστάθεια συχνότητας και τάσης. Όπως και με άλλες υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις, οι μονάδες αποθήκευσης με αντλία μπορούν να προσαρμοστούν άμεσα στις διακυμάνσεις του φορτίου.

Ενώ η αντλία αποθήκευσης έχει χρησιμοποιηθεί ιστορικά για την εξισορρόπηση των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας βασικού φορτίου, μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την εξομάλυνση της παραγωγής διακοπόμενων πηγών ενέργειας. Η αντλούμενη αποθήκευση προσφέρει φορτίο σε περιόδους υψηλής παραγωγής ενέργειας και χαμηλής ζήτησης ισχύος, επιτρέποντας την προσθήκη μέγιστης χωρητικότητας στο σύστημα. Σε ορισμένες δικαιοδοσίες, το ενεργειακό κόστος μπορεί να είναι κοντά στο μηδέν ή ακόμη και αρνητικό σε σπάνιες περιπτώσεις όταν υπάρχει περισσότερη διαθέσιμη ηλεκτρική παροχή από το φορτίο για την απορρόφησή της.

Αν και αυτό συμβαίνει σπάνια τώρα, η αυξανόμενη αιολική και ηλιακή παραγωγή θα αυξήσει την πιθανότητα τέτοιων περιστατικών. [απαιτείται αναφορά] Η αποθήκευση με αντλία αναμένεται ιδιαίτερα να γίνει κρίσιμη ως εξισορρόπηση για εξαιρετικά μεγάλης κλίμακας ηλιακή ενέργεια. Η επέκταση της υποδομής μεταφοράς μεγάλων αποστάσεων σε συνδυασμό με την εκτεταμένη αποθήκευση ενέργειας θα είναι κρίσιμη για τον έλεγχο οποιασδήποτε μεγάλης κλίμακας ανάπτυξης διακοπτόμενων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Σε ορισμένα μέρη, η υψηλή διείσδυση μη σταθερών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας παρέχει το 40% της ετήσιας παραγωγής, αλλά το 60% μπορεί να ληφθεί χωρίς επιπλέον αποθήκευση. Μικρής κλίμακας εγκαταστάσεις

Ενώ οι μικρότερες εγκαταστάσεις αποθήκευσης με αντλία δεν μπορούν να επιτύχουν τις ίδιες οικονομίες κλίμακας με τις μεγαλύτερες, υπάρχουν, ιδίως μια 13 MW στη Γερμανία που ολοκληρώθηκε πρόσφατα. Η Shell Energy έχει προτείνει ένα έργο 5 μεγαβάτ (MW) στην πολιτεία της Ουάσιγκτον. Ορισμένα άτομα έχουν προτείνει μικροσκοπικές εγκαταστάσεις αποθήκευσης με αντλία μέσα σε κτίρια, αλλά δεν είναι ακόμη οικονομικά βιώσιμες. Επιπλέον, είναι δύσκολο να ενσωματωθούν μεγάλες δεξαμενές σε μητροπολιτικά τοπία. Ωστόσο, άλλοι συγγραφείς υποστηρίζουν ότι η τεχνική απλότητα και η ασφάλεια της παροχής νερού είναι σημαντικές εξωτερικές επιδράσεις [22].

### 5.1.2 Ηλεκτροχημική αποθήκευση ενέργειας

Η ηλεκτροχημική αποθήκευση ενέργειας είναι ένας ευρύς όρος που περιλαμβάνει όλες τις μορφές δευτερογενών μπαταριών. Οι μπαταρίες χρησιμοποιούν μια ηλεκτροχημική αντίστροφη διαδικασία οξείδωσης-μείωσης για να μεταφέρουν τη χημική ενέργεια που είναι αποθηκευμένη στα ενεργά συστατικά τους σε ηλεκτρική ενέργεια.

Αυτή τη στιγμή, οι μπαταρίες κατασκευάζονται σε διάφορα μεγέθη για να ταιριάζουν σε μια μεγάλη ποικιλία χρήσεων. Η παρεχόμενη ισχύς κυμαίνεται από μερικά watt έως εκατοντάδες κιλοβάτ (συγκρίνετε μπαταρία για τροφοδοσία βηματοδότη και μπαταρία για βαρέα μηχανοκίνητα οχήματα ή για σταθμό παραγωγής ενέργειας).



Σύμφωνα με το ηλεκτροχημικό σύστημα που χρησιμοποιείται, οι κοινές δευτερεύουσες μπαταρίες που διατίθενται στο εμπόριο μπορούν να ταξινομηθούν ως εξής: τυπικές μπαταρίες (οξέος μολύβδου, νικέλιο-κάδμιο), σύγχρονες μπαταρίες (Ni-MH, ιόντων λιθίου, λιθίου-πολυμερούς), ειδικές μπαταρίες (Ag- Zn, Ni-H<sub>2</sub>), μπαταρίες ροής (Br<sub>2</sub>-Zn, οξειδοαναγωγή βαναδίου) και μπαταρίες υψηλής θερμοκρασίας (Na-S, νάτριο-μεταλλικό) (Lovins, 2011).

#### 5.1.2.1 Μπαταρίες Ιόντων λιθίου (Li-Ion)

Μια μπαταρία ιόντων λιθίου, με συντομογραφία μπαταρία ιόντων λιθίου, είναι μια μορφή επαναφορτιζόμενης μπαταρίας στην οποία τα ιόντα λιθίου πηγαίνουν από το αρνητικό ηλεκτρόδιο στο θετικό ηλεκτρόδιο μέσω ενός ηλεκτρολύτη κατά την εκφόρτιση και ξανά κατά τη φόρτιση. Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου έχουν ένα θετικό ηλεκτρόδιο κατασκευασμένο από μια παρεμβalλόμενη ένωση λιθίου και ένα αρνητικό ηλεκτρόδιο από γενικά γραφίτη.

Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου έχουν υψηλή ενεργειακή πυκνότητα, μικρό αποτέλεσμα μνήμης (με εξαίρεση τις κυψέλες LFP) και χαμηλό ρυθμό αυτοεκφόρτισης. Οι κυψέλες μπορούν να σχεδιαστούν για να ευνοούν είτε την ενέργεια είτε την πυκνότητα ισχύος. Μπορούν, ωστόσο, να αποτελέσουν κίνδυνο για την ασφάλεια, καθώς περιέχουν εύφλεκτους ηλεκτρολύτες και, εάν σπάσουν ή φορτιστούν λανθασμένα, μπορούν να προκαλέσουν εκρήξεις και πυρκαγιές.

Ο Akira Yoshino παρήγαγε μια πρωτότυπη μπαταρία ιόντων λιθίου το 1985, βασιζόμενη σε προηγούμενη έρευνα που διεξήχθη από τους John Goodenough, M. Stanley Whittingham, Rachid Yazami και Koichi Mizushima κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1970-1980 (Lovins, 2011).

Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο σε στρατιωτικές και αεροδιαστημικές εφαρμογές εκτός από φορητές συσκευές και ηλεκτρικά αυτοκίνητα.

Οι πτυχές της χημείας, της απόδοσης, του κόστους και της ασφάλειας των μπαταριών ιόντων λιθίου ποικίλλουν σημαντικά. Οι φορητές συσκευές τροφοδοτούνται συχνά από μπαταρίες πολυμερούς λιθίου (με ηλεκτρολύτη πολυμερούς γέλης), υλικά καθόδου οξειδίου του κοβαλτίου λιθίου (LiCoO<sub>2</sub>) και ανόδους γραφίτη, τα οποία συνδυάζονται για να παρέχουν υψηλή ενεργειακή πυκνότητα. Φωσφορικό σίδηρο λίθιο (LiFePO<sub>4</sub>), οξείδιο του μαγγανίου λιθίου (LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub> σπινέλιο ή Li<sub>2</sub>MnO<sub>3</sub> με βάση το λίθιο πλούσια σε στρώματα υλικά, LMR-NMC) και οξείδιο του νικελίου λιθίου μαγγανίου κοβαλτίου (LiMnOMn) μπορεί όλα να παρέχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής και δυνατότητα υψηλότερου ρυθμού. Αυτές οι μπαταρίες χρησιμοποιούνται συχνά σε ηλεκτρικά

εργαλεία, ιατρικό εξοπλισμό και σε διάφορες άλλες εφαρμογές. Στα ηλεκτρικά αυτοκίνητα, το NMC και οι παραλλαγές του χρησιμοποιούνται συχνά.

Μεταξύ των πεδίων έρευνας για τις μπαταρίες ιόντων λιθίου περιλαμβάνεται η παράταση της διάρκειας ζωής τους, η αύξηση της ενεργειακής τους πυκνότητας, η ενίσχυση της ασφάλειάς τους, η μείωση του κόστους τους και η αύξηση της ταχύτητας φόρτισής τους. Με βάση την ευφλεκτότητα και την πτητικότητα των οργανικών διαλυτών που χρησιμοποιούνται σε έναν συμβατικό ηλεκτρολύτη, έχει διεξαχθεί έρευνα στον τομέα των μη εύφλεκτων ηλεκτρολυτών ως μέσο αύξησης της ασφάλειας. Υδατικές μπαταρίες ιόντων λιθίου, κεραμικοί στερεοί ηλεκτρολύτες, ηλεκτρολύτες πολυμερών, ιοντικά υγρά και ισχυρά φθοριούχα συστήματα είναι όλα παραδείγματα στρατηγικών (Lovins, 2011).

## Σχέδιο

Συνήθως, το αρνητικό ηλεκτρόδιο μιας μπαταρίας ιόντων λιθίου είναι κατασκευασμένο από άνθρακα. Συνήθως, το θετικό ηλεκτρόδιο είναι κατασκευασμένο από οξείδιο μετάλλου. Ο ηλεκτρολύτης είναι ένα διάλυμα χλωριούχου λιθίου και ενός οργανικού διαλύτη. Οι ηλεκτροχημικές λειτουργίες των ηλεκτροδίων αντιστρέφονται μεταξύ ανόδου και καθόδου, ανάλογα με την κατεύθυνση της ροής του ρεύματος στο στοιχείο.

Το πιο συχνά χρησιμοποιούμενο υλικό ανόδου (αρνητικού ηλεκτροδίου) του εμπορίου είναι ο γραφίτης, ο οποίος έχει μέγιστη χωρητικότητα 372 mAh/g όταν λιθώνεται πλήρως χρησιμοποιώντας LiC<sub>6</sub>.

Το θετικό ηλεκτρόδιο αποτελείται συχνά από ένα από τα τρία υλικά: πολυστρωματικά οξείδια (για παράδειγμα, οξείδιο του κοβαλτίου λιθίου), ενώσεις πολυανιόντων (για παράδειγμα, φωσφορικό λίθιο σιδήρου) ή σπινέλιο (όπως το οξείδιο του μαγγανίου λιθίου). Τα ηλεκτρόδια που περιέχουν γραφένιο είναι ένα άλλο πειραματικό υλικό, αν και απέχουν ακόμα πολύ από το να είναι εφικτά λόγω του υψηλού κόστους τους.

Όπως το καθαρό λίθιο, ο λιθωμένος γραφίτης αντιδρά βίαια με το νερό και παράγει υδροξείδιο του λιθίου (LiOH) και αέριο υδρογόνο. Έτσι, χρησιμοποιείται συνήθως ένας μη υδατικός ηλεκτρολύτης και ένα αυστηρά σφραγισμένο δοχείο απομονώνει πλήρως το πακέτο μπαταριών από την υγρασία.

Τυπικά, ο μη υδατικός ηλεκτρολύτης είναι ένας συνδυασμός οργανικών ανθρακικών όπως το ανθρακικό αιθυλένιο ή ο ανθρακικός διαιθυλεστέρας που περιέχει σύμπλοκα ιόντων λιθίου. Σχεδόν συχνά, το άλας είναι εξαφθοροφωσφορικό λίθιο (LiPF<sub>6</sub>), το οποίο παρουσιάζει εξαιρετική ιοντική αγωγιμότητα ενώ παραμένει χημικά και ηλεκτροχημικά σταθερό. Άλλα άλατα όπως το υπερχλωρικό λίθιο, το τετραφθοροβορικό λίθιο (LiBF<sub>4</sub>) και το δις(τριφθορομεθανοσουλφονυλ)ιμίδιο λιθίου χρησιμοποιούνται συχνά στην έρευνα για λόγους κόστους και ευκολίας, αλλά είναι ασύμβατα με εμπορικά κύτταρα.

Η τάση, η ενεργειακή πυκνότητα, η μακροζωία και η ασφάλεια μιας μπαταρίας ιόντων λιθίου μπορεί να διαφέρουν σημαντικά ανάλογα με τα υλικά που χρησιμοποιούνται. Η τρέχουσα έρευνα εστιάζει στην αξιοποίηση των καινοτόμων αρχιτεκτονικών ενισχύεται από τη νανοτεχνολογία με τις επιδόσεις ώθηση. Νανοκλίμακα υλικά ηλεκτροδίων και τα νέα αρχιτεκτονικές ηλεκτροδίου είναι ιδιαίτερου ενδιαφέροντος [23].

Οι πωλητές και οι ερευνητές έχουν επικεντρώσει τις προσπάθειές τους στη βελτίωση της ενεργειακής πυκνότητας, της θερμοκρασίας λειτουργίας, της ασφάλειας, της ανθεκτικότητας, του χρόνου φόρτισης, της ισχύος εξόδου, της αφαίρεσης των απαιτήσεων κοβαλτίου και του κόστους της τεχνολογίας μπαταριών ιόντων λιθίου.

### **5.1.2.2 Μπαταρίες μολύβδου**

Η μπαταρία μολύβδου-οξέος είναι ένας τύπος επαναφορτιζόμενη μπαταρία που σχεδιάστηκε το 1859 από τον Gaston Plante, μια γαλλική επιστήμονα. Είναι η πρώτη επαναφορτιζόμενη μπαταρία στον κόσμο. Οι μπαταρίες μολύβδου-οξέος έχουν χαμηλή ενεργειακή πυκνότητα σε σύγκριση με τις τρέχουσες επαναφορτιζόμενες μπαταρίες. Παρόλα αυτά, η ικανότητα των κυψελών να παρέχουν ισχυρά ρεύματα υπέρτασης έχει ως αποτέλεσμα μια σχετικά υψηλή αναλογία ισχύος προς βάρος. Αυτά τα χαρακτηριστικά, μαζί με το χαμηλό τους κόστος, τα καθιστούν μια ελκυστική επιλογή για την παροχή του υψηλού ρεύματος που απαιτείται από την εκκίνηση των κινητήρων σε μηχανοκίνητα οχήματα.

Οι μπαταρίες μολύβδου-οξέος χρησιμοποιούνται συνήθως επειδή είναι λιγότερο δαπανηρές από τις νεότερες τεχνολογίες, ακόμη και όταν δεν απαιτείται ρεύμα υπέρτασης και τα εναλλακτικά σχέδια παρέχουν μεγαλύτερη ενεργειακή πυκνότητα. Το 1999, οι πωλήσεις μπαταριών μολύβδου-οξέος

αντιπροσώπευαν το 40%-50% της αξίας των μπαταριών που πωλήθηκαν παγκοσμίως (εξαιρουμένης της Κίνας και της Ρωσίας) ή σχεδόν 15 δισεκατομμύρια δολάρια σε αξία μεταποίησης στην αγορά. Οι μπαταρίες μολύβδου-οξέος μεγάλου μεγέθους χρησιμοποιούνται συχνά για εφεδρική παροχή ρεύματος σε πύργους κινητής τηλεφωνίας, περιβάλλοντα υψηλής διαθεσιμότητας όπως νοσοκομεία και αυτόνομα συστήματα τροφοδοσίας. Τροποποιημένες εκδόσεις της κανονικής κυψέλης μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε διάφορους ρόλους για τη βελτίωση των χρόνων αποθήκευσης και την ελαχιστοποίηση των απαιτήσεων συντήρησης. Σε αυτές τις λειτουργίες χρησιμοποιούνται συχνά μπαταρίες κυψελών gel και απορροφημένων γυάλινων ματ, που συνήθως αναφέρονται ως μπαταρίες VRLA (ρυθμιζόμενες με βαλβίδες μολύβδου-οξέος).

Η χημική ενέργεια που αποθηκεύεται στη μπαταρία κατά τη διάρκεια της φορτισμένης κατάστασης αποθηκεύεται στη διαφορά δυναμικού μεταξύ του καθαρού μολύβδου στην αρνητική πλευρά και του PbO<sub>2</sub> στη θετική πλευρά, συν το υδατικό θειικό οξύ. Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από μια μπαταρία μολύβδου-οξέος που εκφορτώνει είναι αποτέλεσμα της ενέργειας που απελευθερώνεται όταν σχηματίζονται ισχυροί χημικοί δεσμοί μορίων νερού (H<sub>2</sub>O) μεταξύ των ιόντων H<sup>+</sup> του οξέος και των ιόντων O<sub>2</sub> του PbO<sub>2</sub>. Από την άλλη πλευρά, όταν η μπαταρία φορτίζεται, χρησιμεύει ως μηχανισμός διαχωρισμού νερού.

### 5.1.3 Αποθήκευση συμπιεσμένου αέρα

Η αποθήκευση ενέργειας πεπιεσμένου αέρα (CAES) είναι μια τεχνική για την αποθήκευση ενέργειας σε πεπιεσμένο αέρα για μελλοντική χρήση. Σε επίπεδο χρησιμότητας, η ενέργεια που δημιουργείται σε περιόδους χαμηλής ζήτησης μπορεί να απελευθερωθεί κατά τις περιόδους αιχμής φορτίου. Το πρώτο έργο CAES σε κλίμακα χρησιμότητας αναπτύχθηκε και εκτελείται επί του παρόντος στο Huntorf της Γερμανίας. Ενώ το εργοστάσιο Huntorf CAES σχεδιάστηκε αρχικά για να λειτουργεί ως εξισορροπητής φορτίου για ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από ορυκτά καύσιμα, η παγκόσμια στροφή προς τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έχει αναζωπυρώσει το ενδιαφέρον για τα συστήματα CAES, που μπορούν να βοηθήσουν εξαιρετικά διακοπτόμενες πηγές ενέργειας όπως τα φωτοβολταϊκά και του ανέμου για την κάλυψη των κυμαινόμενων απαιτήσεων ηλεκτρικής ενέργειας [23].

Μια επίμονη δυσκολία στον σχεδιασμό CAES μεγάλης κλίμακας είναι η διαχείριση της θερμικής ενέργειας, καθώς η συμπίεση του αέρα οδηγεί σε ανεπιθύμητη αύξηση της θερμοκρασίας, η οποία όχι μόνο επηρεάζει την απόδοση λειτουργίας αλλά έχει επίσης τη δυνατότητα να προκαλέσει ζημιά. Η κύρια διάκριση μεταξύ των διαφόρων συστημάτων CAES είναι στον θερμικό σχεδιασμό τους. Από την άλλη πλευρά, συστήματα μικρής κλίμακας έχουν χρησιμοποιηθεί για την τροφοδοσία τρένων εξόρυξης για αιώνες. Τα συστήματα CAES, σε σύγκριση με τις τυπικές μπαταρίες, μπορούν να αποθηκεύσουν ενέργεια για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα και απαιτούν λιγότερη συντήρηση.

### Τύποι

Η συμπίεση του αέρα παράγει θερμότητα. ο πεπιεσμένος αέρας είναι πιο ζεστός. Η διαστολή διαχέει τη θερμότητα. Εάν δεν παρέχεται περισσότερη θερμότητα, ο διογκωμένος αέρας θα είναι πολύ πιο ψυχρός. Εάν η θερμότητα που δημιουργείται κατά τη συμπίεση μπορεί να εξοικονομηθεί και να χρησιμοποιηθεί κατά τη διάρκεια της διαστολής, η αποθήκευση γίνεται σημαντικά πιο αποτελεσματική. Ένα σύστημα CAES μπορεί να αντιμετωπίσει τη θερμότητα με διάφορους τρόπους. Είναι δυνατή η αδιαβατική, διαβατική, ισόθερμη ή σχεδόν ισοθερμική αποθήκευση αέρα.

### Αδιαβατικός

Η αδιαβατική αποθήκευση διατηρεί την ενέργεια που αποθηκεύεται κατά τη συμπίεση και την επιστρέφει στον αέρα κατά τη διάρκεια της διαστολής για τη δημιουργία ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό αποτελεί αντικείμενο συνεχούς έρευνας, καθώς δεν υπάρχουν εγκαταστάσεις σε κλίμακα χρησιμότητας σε λειτουργία από το 2015. Αν και η θεωρητική απόδοση της αδιαβατικής αποθήκευσης φτάνει το 100% με τέλεια μόνωση, η απόδοση μετ' επιστροφής προβλέπεται να είναι περίπου 70% στην πράξη. Η θερμότητα μπορεί να διατηρηθεί σε ένα στερεό, όπως σκυρόδεμα ή πέτρα, ή σε ρευστό, όπως καυτό λάδι (έως 300 βαθμούς Κελσίου) ή διαλύματα λιωμένου αλατιού (600 βαθμοί Κελσίου).

Οι μονάδες θερμικής αποθήκευσης για συστήματα A-CAES έχουν προταθεί ως συσκευασμένα στρώματα. Χρησιμοποιώντας αποθήκευση θερμικής ενέργειας σε συσκευασμένη κλίνη, μια έρευνα μοντελοποίησε αριθμητικά ένα αδιαβατικό σύστημα αποθήκευσης ενέργειας πεπιεσμένου αέρα. Η απόδοση συνεχούς λειτουργίας του προσομοιωμένου συστήματος προσδιορίστηκε μεταξύ 70,5 και 71%.

### Διαβατικό

Η διαβατική αποθήκευση σπαταλά μεγάλο μέρος της θερμότητας που παράγεται από τη συμπίεση μέσω ενδοψύκτη (προσεγγίζοντας την ισοθερμική συμπίεση), χάνοντας βασικά την ενέργεια που χρησιμοποιείται για να γίνει η δουλειά της συμπίεσης. Όταν ο πεπιεσμένος αέρας αφαιρείται από την αποθήκευση, η θερμοκρασία του αέρα είναι το μόνο μέτρο της ποσότητας της αποθηκευμένης ενέργειας που παραμένει σε αυτόν. Ως αποτέλεσμα, εάν η θερμοκρασία αέρα είναι πολύ χαμηλή για τη διαδικασία ανάκτησης ενέργειας, ο αέρας πρέπει να είναι σημαντικά εκ νέου θερμαίνεται πριν από την έκταση στην τουρμπίνα ότι αρμοδιοτήτων η γεννήτρια. Αυτή η αύξηση της θερμοκρασίας μπορεί να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας ένα φυσικό καυστήρα αερίου ή ένα θερμαινόμενο μεταλλικό μάζα για την αποθήκευση χρησιμότητα-βαθμού. Όπως ανάκτηση συχνά απαιτείται όταν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι αδρανείς, το καύσιμο πρέπει να είναι καμένο για να αντισταθμίσει την απώλεια θερμότητας. Αυτό μειώνει την αποτελεσματικότητα του κύκλου αποθήκευσης ανάκτησης του. Ενώ αυτό είναι ένα λογικά απλή λύση, καιόμενο καύσιμο αυξάνει το κόστος των ανακτηθέντων ηλεκτρικής ενέργειας και αναιρεί τα οικολογικά οφέλη που συνδέονται με την πλειονότητα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Παρ 'όλα αυτά, αυτή είναι η μόνη οικονομικά βιώσιμη μέθοδος μέχρι σήμερα.

Τα φυτικά καταναλώνει McIntosh, Αλαμπάμα CAES 2.5 MJ της ηλεκτρικής ενέργειας και 1.2 MJ του αερίου με χαμηλότερη τιμή θέρμανσης (LHV), καταλήγοντας σε μία αποδοτικότητα ανάκτηση ενέργειας από περίπου 27%.

[Μια μονάδα συνδυασμένου κύκλου 7FA 2x1 της General Electric, ένας από τους πιο αποδοτικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής φυσικού αερίου που υπάρχουν, καταναλώνει 1,85 MJ (LHV) αερίου για κάθε παραγόμενο MJ, με θερμική απόδοση 54 τοις εκατό.

## Ισόθερμος

Ισοθερμικές τεχνικές συμπίεσης και εκτόνωσης στοχεύουν στη διατήρηση της σταθερής θερμοκρασίας λειτουργίας μέσω συνεχούς ανταλλαγής θερμότητας με τον περιβάλλοντα χώρο. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί κατά ένα παλινδρομικό συμπιεστή χρησιμοποιώντας ένα πτερύγιο εμβόλου και τα χαμηλά ποσοστά κύκλου. Λόγω των υφιστάμενων περιορισμών στην ανάπτυξη αποτελεσματικών εναλλάκτες θερμότητας, είναι βιώσιμα μόνο σε χαμηλά επίπεδα ισχύος. Ισοθερμικές αποθήκευσης ενέργειας έχει μια θεωρητική απόδοση του κοντά στο 100% για τέλεια μετάδοση θερμότητας προς το περιβάλλον. Στην πραγματικότητα, κανένα από αυτά τα ιδανικά

θερμοδυναμικών κύκλων είναι δυνατό, δεδομένου ότι ορισμένες θερμικές απώλειες είναι αναπόφευκτες, με αποτέλεσμα ένα σχεδόν ισοθερμική διαδικασία.

#### Σχεδόν ισοθερμικό

Η σχεδόν ισοθερμική συμπίεση (και διαστολή) αναφέρεται στη συμπίεση ενός αερίου σε κοντινή απόσταση από μια μεγάλη ασυμπίεστη θερμική μάζα, όπως μια δομή απορρόφησης και απελευθέρωσης θερμότητας (HARS) ή ένα ψεκασμό νερού.

Συνήθως, ένα HARS αποτελείται από μια σειρά από παράλληλα πτερύγια. Καθώς συμπιέζεται το αέριο, η θερμότητα της συμπίεσης είναι αμέσως μεταφέρεται στο θερμική μάζα, ως εκ τούτου, τη σταθεροποίηση της θερμοκρασίας του αερίου. Μετά συνέχεια, ένα εξωτερικό κύκλωμα ψύξης χρησιμοποιείται για να διατηρήσει τη θερμοκρασία του θερμική μάζα του. Η αποτελεσματικότητα ισοθερμική ( $Z$ ) υποδεικνύει το σημείο στο οποίο ένας διεργασία μεταβάσεις από αδιαβατική σε ισοθερμική [23]. Αν η απόδοση είναι μηδέν, το σύστημα είναι εντελώς αδιαβατική? αν η απόδοση είναι εκατό τοις εκατό, το σύστημα είναι εντελώς ισοθερμικό. Τυπικά, μία ισοθερμική αποδοτικότητα των 90-95 τοις εκατό μπορεί να επιτευχθεί για μια σχεδόν-ισόθερμη διαδικασία.

#### Άλλα

Σε μία εφαρμογή της ισόθερμης CAES, οι έμβολα σειρά με υψηλή, μέση, και χαμηλές πιέσεις που χρησιμοποιούνται. Ανάμεσα σε κάθε στάδιο επέκτασης, μια ριπή αέρα βεντούρι αντλία αναρροφά αέρα του περιβάλλοντος κατά μήκος ενός εναλλάκτη θερμότητας αέρα-αέρα (ή αέρος-θαλασσινό νερό). Νωρίτερα έννοιες για τορπίλες πεπιεσμένο αέρα ακολούθησε παρόμοια πορεία, υποκαθιστώντας αλμυρού νερού για τον αέρα. Το βεντούρι θερμαίνει καυσαερίων προηγούμενο στάδιο και παραδέχεται αυτό το καυτό αέρα στο επόμενο στάδιο. Αυτή η έννοια εφαρμόστηκε ευρέως σε μία ποικιλία οχημάτων πεπιεσμένου αέρα, συμπεριλαμβανομένων των μηχανών έλξης εξόρυξης και τραμ που κατασκευάζεται από HK Porter, Inc. Η συμπίεση θερμότητα αποτελεσματικά πραγματοποιήθηκε στην ατμόσφαιρα (ή θάλασσα) και επανεισάγονται αργότερα [23].

## Κεφάλαιο 6: Υβριδικό Μοντέλο Αιολικού πάρκου και Μονάδας Αντλησιοταμίευσης

### 6.1 Εισαγωγή

Ένα μείζον πρόβλημα που αντιμετωπίζουν οι παραγωγοί αιολικής ενέργειας είναι η αβεβαιότητα της παραγωγής. Αυτή η αβεβαιότητα θέτει τους παραγωγούς σε δύο βασικούς κινδύνους: τον κίνδυνο ‘ποσότητας’, που αφορά στην αβεβαιότητα της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από το αιολικό σύστημα και τον κίνδυνο ‘τιμής’, που αφορά στην αβεβαιότητα των ωριαίων τιμών της αγοράς[24].

Έχουν γίνει αρκετές μελέτες για την αντιμετώπιση της αβεβαιότητας και της μεταβλητότητας της αιολικής ενέργειας. Οι περισσότερες —και η περίπτωση που θα μελετήσουμε— βασίζονται στη μετατροπή της αιολικής ενέργειας σε άλλη μορφή ενέργειας που είναι ικανή να αποθηκευτεί (σύστημα αποθήκευσης μπαταριών, συστήματα αποθήκευσης συμπιεσμένου αέρα, σύστημα αντλησιοταμίευσης κλπ.) ώστε να γίνει μελλοντική χρήση της όταν αυτό είναι επιθυμητό.

Στο πλαίσιο της εργασίας μελετάμε μια στρατηγική αντιστάθμισης κινδύνου που βασίζεται στη συνεργασία του αιολικού πάρκου με μια απομονωμένη μονάδα αντλησιοταμίευσης. Αυτή η συνεργασία των δύο μονάδων κάνει εφικτή την μείωση των ωριαίων αποκλίσεων ενεργείας, προσαρμόζοντας τη λειτουργία της μονάδας αντλησιοταμίευσης βάσει της μεταβλητότητας της παραγωγής του αιολικού πάρκου.

Για να δημιουργηθούν οι καλύτερες δυνατές προσφορές για την αγορά της επομένης ημέρας (DAM), ο υπεύθυνος λήψης αποφάσεων αποφασίζει για τις προσφορές που θα υποβληθούν ταυτόχρονα για τις είκοσι τέσσερις ώρες της επομένης ημέρας.

Στο συγκεκριμένο μοντέλο εισάγεται η αρχή της μη πρόβλεψης, μέσω μιας προσέγγισης στοχαστικής βελτιστοποίησης δύο σταδίων, όπου ο γραμμικός προγραμματισμός μεικτού ακέραιου αριθμού (MILP) χρησιμοποιείται για να θέσει τους περιορισμούς λειτουργίας της μονάδας αντλησιοταμίευσης. Στο πλαίσιο της εργασίας μελετάμε μια εναλλακτική διατύπωση, με βάση τον γραμμικό προγραμματισμό (LP) και συγκρίνουμε τα αποτελέσματα βέλτιστων προσφορών, τη λειτουργία μονάδας αντλησιοταμίευσης και τα αναμενόμενα κέρδη[24].



## 6.2 Η Αιολική Ενέργεια στην αγορά

Οι αιολικοί παραγωγοί που συμμετέχουν στην αγορά της επόμενης ημέρας, πρέπει να προβλέψουν την παραγωγή τους και να υποβάλουν τις προσφορές τους για κάθε ώρα της επόμενης μέρας, περίπου 14-38 ώρες νωρίτερα. Οπότε οι προσφορές αυτές πρέπει να υποβάλλονται κάτω από ένα μεγάλο επίπεδο αβεβαιότητας, όσον αφορά στην τελική ισχύ παραγωγής, με τυπικό σφάλμα 30-50% [25].

Εκτός από αβεβαιότητα στην παραγωγή υπάρχει και αβεβαιότητα στην τιμή της αγοράς. Μόλις φτάσει στη χρονική στιγμή πριν την πρώτη ωριαία της προσφοράς, ο παράγωγος είναι σε θέση να ενημερώσει για τις προβλέψεις της παραγωγής του. Οι νέες προβλέψεις διαφέρουν από τις προβλέψεις που είχε για την αγορά της επομένης ημέρας. Έχει τη δυνατότητα να συμμετάσχει στις αγορές εξισορρόπησης για να πουλήσει ή να αγοράσει τις θετικές ή αρνητικές διαφορές αντίστοιχα μεταξύ της αναμενομένης και της πραγματικής παραγωγής. Επειδή και πάλι πρέπει να υποβάλλει τις προσφορές του κάποιο χρονικό διάστημα πριν, υπάρχει σφάλμα πρόβλεψης της τάξεως των 12-25%. Εν ολίγοις, τόσο στην αγορά της επόμενης ημέρας όσο και στις αγορές εξισορρόπησης, ο αιολικός παραγωγός έχει να αντιμετωπίσει έναν —όχι αμελητέο— βαθμό αβεβαιότητας στις προβλέψεις του και στην τιμή της αγοράς.

### 6.2.1 Αντιστάθμιση κινδύνου με προσθήκη μονάδας αντλησιοταμίευσης

Με τη συμμετοχή μιας μονάδας αντλησιοταμίευσης δίνεται ευελιξία στον αιολικό παραγωγό, έτσι ώστε να ανταποκριθεί στις δεσμεύσεις που έχει με την αγορά. Αυτή η κοινή λειτουργία των δύο μονάδων θέτει στην εταιρία παραγωγής δύο προκλήσεις:

1. Με ποιον τρόπο να επιλέξει τις βέλτιστες προσφορές για την αγορά της επομένης ημέρας λαμβάνοντας υπόψη τη μονάδα αντλησιοταμίευσης,
2. Πώς να σχεδιάσει τη λειτουργία της μονάδας αντλησιοταμίευσης όταν ελαττωθεί η αβεβαιότητα της αιολικής παραγωγής, καθώς φτάνει σε λειτουργία πραγματικού χρόνου. Και οι δυο αυτές ερωτήσεις-προκλήσεις μπορούν να απαντηθούν με ένα στοχαστικό προγραμματισμό δυο σταδίων. Στην περίπτωση που μελετάμε, οι αποφάσεις πρώτου σταδίου είναι οι ωριαίες προσφορές της επομένης ημέρας που πρέπει να υποβάλλει ο παράγωγος και οι αποφάσεις δεύτερου σταδίου που σχετίζονται με τη λειτουργία της μονάδας αντλησιοταμίευσης για κάθε πιθανή υλοποίηση μεταβλητών (πχ παραγωγή από αιολικό σύστημα, τιμές της αγοράς).

### 6.3 Μοντελοποίηση μονάδας αντλησιοταμίευσης

Η μονάδα αντλησιοταμίευσης που μελετάμε αποτελείται από δυο δεξαμενές, μια άνω και μια κάτω δεξαμενή, και από μια/έναν αντλία/στρόβιλο ή σύστημα πολλών αντλιών/στροβίλων. Με το σύστημα αυτό, όταν υπάρχει περίσσεια παραγωγή ενέργειας κάποια χρονική στιγμή, η μονάδα αντλεί νερό από την κάτω δεξαμενή προς την πάνω δεξαμενή, αποθηκεύοντας έτσι ενέργεια. Όταν λοιπόν υπάρχει ζήτηση ενέργειας, γίνεται χρήση αυτής της αποθηκευμένης ενέργειας και μέσω των στροβίλων (υδροηλεκτρική ενέργεια) δίνεται στο σύστημα ηλεκτρική ενέργεια για την κάλυψη των αναγκών της συγκεκριμένης χρονική στιγμής[24].

### 6.4 Λειτουργίες υπό μελέτη

Στη συγκεκριμένη εργασία μελετάμε τρεις περιπτώσεις λειτουργίας του συστήματος «αιολικό πάρκο-μονάδα αντλησιοταμίευσης»:

#### 6.4.1 UO (uncoordinated operation)

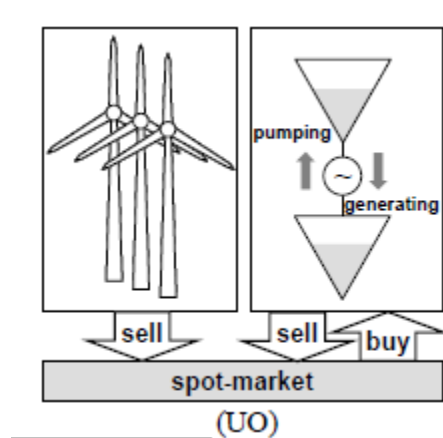
1. UO (uncoordinated operation): μη συντονισμένη λειτουργία

Σε αυτήν την περίπτωση η μονάδα αντλησιοταμίευσης και η μονάδα του αιολικού πάρκου λειτουργούν ανεξάρτητα και θα χρησιμοποιηθούν ως σημείο αναφοράς για συγκρίσεις.

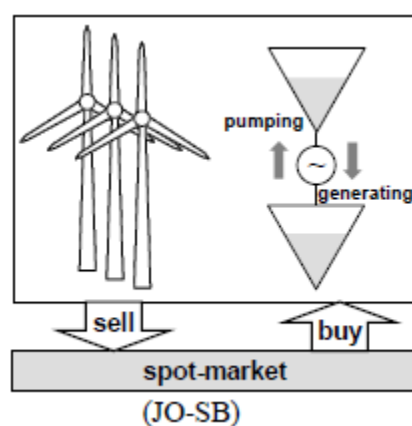
#### 6.4.2 JOSB (Joint operation selling and buying)

2. JOSB (Joint operation selling and buying): συντονισμένη λειτουργίας αγοράς και πώλησης ισχύος στην αγορά

Στην περίπτωση αυτή καθώς και στην επόμενη η μονάδα του αιολικού πάρκου και της αντλησιοταμίευσης λειτουργούν σαν ένα σύστημα. Συγκεκριμένα υπάρχει η δυνατότητα αγοράς ισχύος και αποθήκευσης της στην άνω δεξαμενή για μεταγενέστερη χρήση, όταν αυτό είναι κερδοφόρο για το σύστημα. Επίσης, γίνεται αποθήκευση ενέργειας στην άνω δεξαμενή όταν υπάρχει περίσσεια παραγωγή από το αιολικό πάρκο και τέλος γίνεται πώληση ενέργειας από κοινού, δηλαδή και από το αιολικό πάρκο και από την μονάδα αντλησιοταμίευσης.



Εικόνα 2 : Μη συντονισμένη Λειτουργία [24]



Εικόνα 3 : Συντονισμένη Λειτουργία [24]

## 6.5 Μαθηματικό μοντέλο των περιπτώσεων

Παρακάτω θα δοθεί λεπτομερώς το μαθηματικό μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε σε κάθε λειτουργία. Στο μαθηματικό μοντέλο υπάρχουν μεταβλητές, παράμετροι και δείκτες. Η διατύπωση του μοντέλου έγινε στο πρόγραμμα 'GAMS studio'.

<b>A. Sets and indexes:</b>	<b>(symbol)</b>	<b>meaning</b>
<b>S,s</b>	s	Set and index of scenarios
<b>H,h</b>	h	Set and index of hourly periods

<b>B. Parameters and constants:</b>	<b>(symbol)</b>	<b>meaning</b>	<b>Εξήγηση</b>
$\Pi_{sh}$	$pDATA(s,h)$	Expected market price in scenario $s$ in period $h$ [Eur/MWh]	Αναμενόμενη τιμή αγοράς στο σενάριο της περιόδου $h$
$W_{sh}$	$wDATA(s,h)$	Wind generation forecast in scenario $s$ in period $h$ [MW]	Πρόγνωση παραγωγής ανέμου στο σενάριο της περιόδου $h$
$N$	$N$	Number of identical pumped-storage units associated in the same pond	Αριθμός πανομοιότυπων μονάδων αντλίας-αποθήκευσης που συνδέονται στην ίδια λίμνη
$\omega$	pen	Penalty factor over the market price for energy imbalances [p.u]	Συντελεστής κυρώσεων έναντι της αγοραίας τιμής για ενεργειακές ανισορροπίες [p.u]
$\rho_s$	$prob(s)$	Probability of scenario $s$ [p.u]:	Πιθανότητα σεναρίου $s$ [p.u]
$\eta$	efi	Efficiency of the pump-turbine cycle [p.u]	αποτελεσματικότητα του κύκλου αντλίας-στροβίλου [p.u]
$g^p$	$gpmax$	Generation power limit for each pumped-storage unit [MW]	Όριο ισχύος παραγωγής για κάθε αντλητική μονάδα αποθήκευσης [MW]
$d_-^p, d^p$	$dpmin, dpmax$	Pumping power limits for each pumped-storage unit [MW]	Όρια ισχύος άντλησης για κάθε αντλητική μονάδα αποθήκευσης [MW]
$g^w$	$gmaxw$	Maximum installed power of the wind farm [MW]	Μέγιστη εγκατεστημένη ισχύς του αιολικού πάρκου [MW]
$u_-^u, u^u$	$uupmax, uupmin$	Capacity limits of the upper reservoir [MWh]	Όρια χωρητικότητας της άνω δεξαμενής [MWh]
$u_-^l, u^l$	$ulomax, ulomin$	Capacity limits of the lower reservoir [MWh]	Όρια χωρητικότητας της κάτω δεξαμενής [MWh]
$uo^u, uf^u$	$uou, ufu$	Initial and final levels in the upper reservoir [MWh]	Αρχικά και τελικά επίπεδα στην άνω δεξαμενή [MWh]
$uo^l, uf^l$	$uol, ufl$	Initial and final levels in the lower reservoir [MWh]	Αρχικά και τελικά επίπεδα στην κάτω δεξαμενή [MWh]
$c^{su}, c^{sd}$	$csu, csd$	Start-up and shut-down costs of pumping units [Eur]	Κόστος εκκίνησης και παύσης λειτουργίας των αντλιοστασίων [Eur]

<b>C. Variables:</b>	<b>(symbol)</b>	<b>meaning</b>	<b>Εξήγηση</b>
$u_{sh}^u$	$uu(s,h)$	Energy stored in the upper reservoir in scenario $s$ at the end of period $h$ [MWh]	Ενέργεια αποθηκευμένη στην άνω δεξαμενή στο σενάριο $s$ στο τέλος της περιόδου $h$ [MWh]
$u_{sh}^l$	$ul(s,h)$	Energy stored in the lower reservoir in scenario $s$ at the end of period $h$ [MWh]	Ενέργεια αποθηκευμένη στην κάτωδεξαμενή στο σενάριο $s$ στο τέλος της περιόδου $h$ [MWh]
$g_{sh}^p$	$gp(s,h)$	Discharge power output of the pumped-storage plant in scenario $s$ in period $h$ [MW]	Εκροή ισχύος εξόδου της αντλίας αποθήκευσης στο σενάριο $s$ στην περίοδο $h$ [MW]
$d_{sh}^p$	$dp(s,h)$	Pumping power input of the pumped-storage plant in scenario $s$ in period $h$ [MW]	Είσοδος άντλησης της εγκατεστημένης αντλίας αποθήκευσης στο σενάριο της περιόδου $h$ [MW]
$g_{sh}^w$	$gw(s,h)$	Power output of the wind farm in scenario $s$ in period $h$ [MW]	Ισχύς εξόδου του αιολικού πάρκου στο σενάριο $s$ στην περίοδο $h$ [MW]
$x_h^p$	$xp(h)$	Energy bid to the day-ahead market by the pumpedstorage plant in period $h$ [MWh]	Προσφορά ενέργειας στην αγορά της ημέρας από το εργοστάσιο αντλήσεων στο διάστημα $h$ [MWh]
$x_h^w$	$xw(h)$	Energy bid to the day-ahead market by the wind farm in period $h$ [MWh]	Προσφορά ενέργειας στην αγορά της ημέρας από το αιολικό πάρκο στην περίοδο $h$ [MWh]
$x_h^{wp}$	$xwp(h)$	Joint energy bid to the day-ahead market by the wind farm and the pumped-storage plant in period $h$ [MWh]	Κοινή ενεργειακή προσφορά στην αγορά της ημέρας από το αιολικό πάρκο και το εργοστάσιο αποθήκευσης άντλησης στην περίοδο $h$ [MWh]
$t_{sh}$	$t(s,h)$	Binary variable that indicates whether the pumpedstorage plant can work or not as a hydro-turbine, in scenario $s$ in period $h$ $\{0,1\}$	Δυαδική μεταβλητή που δείχνει εάν το εργοστάσιο άντλησης μπορεί να λειτουργήσει ή όχι ως υδρο-στρόβιλος, στο σενάριο $s$ στην περίοδο $h$ $\{0,1\}$
$u_{sh}$	$u(s,h)$	Integer variable that indicates the number of units that are running in the pumping mode in scenario $s$ in period $h$ $\{0,1,\dots, N\}$	Ακέραιος μεταβλητή που δείχνει τον αριθμό των μονάδων που λειτουργούν σε λειτουργία άντλησης στο σενάριο $s$ στην περίοδο $h$ $\{0,1,\dots, N\}$

### 6.5.1 UO – MILP Μαθηματικό Μοντέλο

- Wind-Farm:

$$\max \sum_{s \in S} \rho_s \cdot \sum_{h \in H} [\pi_{sh} \cdot g_{sh}^w - \omega \cdot \pi_{sh} \cdot |g_{sh}^w - x_h^w|] \quad (1)$$

- S.t

$$\begin{aligned} \circ \quad & 0 \leq g_{sh}^w \leq W_{sh} \\ & , \forall s \in S, \forall h \in H, \end{aligned} \quad (2)$$

$$\circ \quad 0 \leq x_h^w \leq \bar{g}^w, \forall h \in H, \quad (3)$$

- **\*(1)** : Αντικειμενική συνάρτηση κερδών αιολικού πάρκου στην μη συντονισμένη λειτουργία.
- **\*(2)**: Περιορισμός ισχύς εξόδου αιολικού πάρκου μεταξύ της τιμής μηδέν ως κατώτατο όριο και της τιμής πρόγνωσης παραγωγής αιολικού πάρκου  $W_{sh}$  ως το ανώτατο όριο, για το σενάριο  $s_i$  την χρονική στιγμή  $h_i$ .
- **\*(3)**: Περιορισμός προσφοράς ενέργειας από το αιολικό πάρκο μεταξύ της τιμής μηδέν ως κατώτατο όριο και της τιμής μέγιστης εγκατεστημένης ισχύς του αιολικού πάρκου  $\bar{g}^w$  ως ανώτατο όριο, την χρονική στιγμή  $h_i$ .

- Pumped-storage plant :

$$\max \sum_{s \in S} \rho_s \cdot \sum_{h \in H} [\pi_{sh} \cdot (g_{sh}^p - d_{sh}^p) - c^{su} \cdot y_{sh} - c^{sd} \cdot z_{sh} - \omega \cdot \pi_{sh} \cdot |g_{sh}^p - d_{sh}^p - x_h^p|], \quad (4)$$

- S.t.

$$\circ \quad u_{sh}^u = u_{sh-1}^u + \eta \cdot d_{sh}^p - g_{sh}^p, \forall s \in S, \forall h \in H, \quad (5)$$

$$\circ \quad u_{sh}^l = u_{sh-1}^l - \eta \cdot d_{sh}^p + g_{sh}^p, \forall s \in S, \forall h \in H, \quad (6)$$

$$\circ \quad \underline{u}^u \leq u_{sh}^u \leq \bar{u}^u, \forall s \in S, \forall h \in H, \quad (7)$$

$$\circ \quad \underline{u}^l \leq u_{sh}^l \leq \bar{u}^l, \forall s \in S, \forall h \in H, \quad (8)$$

$$\circ \quad u_{sh}^u = u f^u, \forall s \in S, h = 24, \quad (9)$$

$$\circ \quad u_{sh}^l = u f^l, \forall s \in S, h = 24, \quad (10)$$

$$\circ \quad u_{sh+1} = u_{sh} + y_{sh} - z_{sh}, \forall s \in S, \forall h \in H, \quad (11)$$

$$\circ \quad \underline{d}^p \cdot u_{sh} \leq d_{sh}^p \leq \bar{d}^p \cdot u_{sh}, \forall s \in S, \forall h \in H, \quad (12)$$

$$\circ \quad 0 \leq g_{sh}^p \leq t_{sh} \cdot \bar{g}^p \cdot N, \forall s \in S, \forall h \in H \quad (13)$$

$$\circ \quad t_{sh} \leq 1 - \frac{1}{N} \cdot u_{sh}, \forall s \in S, \forall h \in H \quad (14)$$

$$\circ \quad -\bar{d}^p \cdot N \leq x_h^p \leq \bar{g}^p \cdot N, \quad h \in H \quad (15)$$

$$\circ \quad u_{sh}, y_{sh}, z_{sh} \in \{0, 1, \dots, N\} \quad (16)$$

$$\circ \quad t_{sh} \in \{0, 1\} \quad (17)$$

$$\circ \quad * \text{ for } h=1, u_{sh-1}^u = u o^u, u_{sh-1}^l = u o^l \text{ (initial levels)} \quad (17a)$$

- **\*(4):** Αντικειμενική συνάρτηση κερδών μονάδας αντλησιοταμίευσης στην μη συντονισμένη λειτουργία .
- **\*(5):** Η ενεργεία που είναι αποθηκευμένη στην άνω δεξαμενή  $u_{sh}^u$  στο σενάριο  $s_i$  την χρονική στιγμή  $h_i$ , ισούται με την ενέργεια που ήταν αποθηκευμένη την χρονική στιγμή  $h_i-1$   $u_{sh-1}^u$ , συν τον συντελεστή αποτελεσματικότητας κύκλου στροβίλου -αντλίας 'η' επί την είσοδος ισχύς άντλησης  $d_{sh}^p$ , μείον την εκροή ισχύος εξόδου της μονάδας αντλησιοταμίευσης  $g_{sh}^p$ .
- **\*(6):** Η ενεργεία που είναι αποθηκευμένη στην κάτω δεξαμενή  $u_{sh}^l$  στο σενάριο  $s_i$  την χρονική στιγμή  $h_i$ , ισούται με την ενέργεια που ήταν αποθηκευμένη την χρονική στιγμή  $h_i-1$   $u_{sh-1}^l$ , μείον τον συντελεστή αποτελεσματικότητας κύκλου στροβίλου -αντλίας 'η' επί την ισχύς άντλησης  $d_{sh}^p$ , συν την εκροή ισχύος εξόδου της μονάδας αντλησιοταμίευσης  $g_{sh}^p$ .
- **\*(7):** Περιορισμός της ενέργειας που είναι αποθηκευμένη στην άνω δεξαμενή  $u_{sh}^u$  μεταξύ της τιμής  $\underline{u}^u$  που είναι το κατώτατο όριο και της τιμής  $\bar{u}^u$  που είναι το ανώτατο όριο.
- **\*(8):** Περιορισμός της ενέργειας που είναι αποθηκευμένη στην κάτω δεξαμενή  $u_{sh}^l$  μεταξύ της τιμής  $\underline{u}^l$  που είναι το κατώτατο όριο και της τιμής  $\bar{u}$  που είναι το ανώτατο όριο.
- **\*(9):** Η τιμή της ενέργειας που είναι αποθηκευμένη στην άνω δεξαμενή  $u_{sh}^u$  στο σενάριο  $s_i$  την χρονική στιγμή  $h=24$  ισούται με τα τελικά επίπεδα αποθηκευμένης ενέργειας  $uf^u$  που δίνεται ως παράμετρος.
- **\*(10):** Η τιμή της ενέργειας που είναι αποθηκευμένη στην κάτω δεξαμενή  $u_{sh}^l$  στο σενάριο  $s_i$  την χρονική στιγμή  $h=24$  ισούται με τα τελικά επίπεδα αποθηκευμένης ενέργειας  $uf^l$  που δίνεται ως παράμετρος.
- **\*(11):** Ο αριθμός των μονάδων που λειτουργούν σε λειτουργία άντλησης στο σενάριο  $s_i$  την χρονική στιγμή  $h_i+1$   $u_{sh+1}$ , ισούται με τον αριθμό που λειτουργούν σε λειτουργία άντλησης την χρονική στιγμή  $h_i$   $u_{sh}$ , συν τον αριθμό των μονάδων που ξεκινάνε την άντληση  $y_{sh}$  μείον τον αριθμό των μονάδων που σταματάνε την άντληση  $z_{sh}$ .
- **\*(12):** Περιορισμός ισχύς άντλησης  $d_{sh}^p$  μεταξύ των τιμών  $\underline{d}^p \cdot u_{sh}$  (όπου  $\underline{d}^p$  κατώτατο όριο ισχύος κάθε αντλητικής μονάδας και  $u_{sh}$  αριθμός μονάδων σε λειτουργία άντλησης) ως κατώτατο όριο και  $\bar{d}^p \cdot u_{sh}$  (όπου  $\bar{d}^p$  ανώτατο όριο ισχύος κάθε αντλητικής μονάδας) ως ανώτατο όριο.
- **\*(13):** Περιορισμός εκροής ισχύος εξόδου της μονάδας αντλησιοταμίευσης  $g_{sh}^p$  μεταξύ της τιμής μηδέν ως κατώτατο όριο και της τιμής  $t_{sh} \cdot \bar{g}^p \cdot N$  (όπου  $t_{sh}$  δυαδική μεταβλητή που επιδεικνύει αν είναι ικανή ή όχι η μονάδα αντλησιοταμίευσης να δουλέψει ως υδροστρόβιλος,  $\bar{g}^p$  το όριο ισχύος παραγωγής κάθε αντλητικής μονάδας και  $N$  το πλήθος των μονάδων αντλησιοταμίευσης) ως ανώτατο όριο.
- **\*(14):** Η δυαδική μεταβλητή που επιδεικνύει αν είναι ικανή ή όχι η μονάδα αντλησιοταμίευσης να δουλέψει ως υδροστρόβιλος  $t_{sh}$  είναι μικρότερη ή ίση με 1 μείον

τον αριθμό μονάδων σε λειτουργία άντλησης  $u_{sh}$  διά το πλήθος των μονάδων αντλησιοταμίευσης  $N$ .

- **\*(15):** Περιορισμός προσφοράς ενέργειας από την μονάδα αντλησιοταμίευσης  $x_h^p$  μεταξύ της τιμής  $-\bar{d}^p \cdot N$  (όπου  $\bar{d}^p$  ανώτατο όριο ισχύος κάθε αντλητικής μονάδας και  $N$  το πλήθος των μονάδων αντλησιοταμίευσης) ως κατώτατο όριο και της τιμής  $\bar{g}^p \cdot N$  (όπου,  $\bar{g}^p$  το όριο ισχύος παραγωγής κάθε αντλητικής μονάδας) ως ανώτατο όριο.
- **\*(16):** Ο αριθμός που λειτουργούν σε λειτουργία άντλησης  $u_{sh}$ , ο αριθμός των μονάδων που ξεκινάνε την άντληση  $y_{sh}$  και ο αριθμός των μονάδων που σταματάνε την άντληση  $z_{sh}$  είναι ακέραιοι αριθμοί και μπορούν να πάρουν τιμές από 1 έως  $N$  (όπου  $N$  το πλήθος των μονάδων αντλησιοταμίευσης)
- **\*(17):** Ο αριθμός που επιδεικνύει αν είναι ικανή ή όχι η μονάδα αντλησιοταμίευσης να δουλέψει ως υδροστρόβιλος  $t_{sh}$  είναι δυαδική μεταβλητή δηλαδή μπορεί να πάρει τιμή μηδέν ή ένα.
- **\*(17a):** Η τιμή της ενέργειας που είναι αποθηκευμένη στην άνω δεξαμενή  $u_{sh-1}^u$  στο σενάριο  $s_i$  την χρονική στιγμή  $h=1$  ισούται με τα αρχικά επίπεδα αποθηκευμένης ενέργειας  $u^u$  που δίνεται ως παράμετρος.  
Η τιμή της ενέργειας που είναι αποθηκευμένη στην κάτω δεξαμενή  $u_{sh-1}^l$  στο σενάριο  $s_i$  την χρονική στιγμή  $h=1$  ισούται με τα αρχικά επίπεδα αποθηκευμένης ενέργειας  $u^l$  που δίνεται ως παράμετρος



### 6.5.2 UO – LP Μαθηματικό Μοντέλο

- Wind Farm:

$$\max \sum_{s \in \mathcal{S}} \rho_s \cdot \sum_{h \in H} [\pi_{sh} \cdot g_{sh}^w - \omega \cdot \pi_{sh} \cdot |g_{sh}^w - x_h^w|] \quad (1)$$

- S.t

$$\begin{aligned} \circ \quad & 0 \leq g_{sh}^w \leq W_{sh} \\ & , \forall s \in \mathcal{S}, \forall h \in H, \end{aligned} \quad (2)$$

$$\circ \quad 0 \leq x_h^w \leq \bar{g}^w, \forall h \in H, \quad (3)$$

- Pumped-storage plant :

$$\max \sum_{s \in \mathcal{S}} \rho_s \cdot \sum_{h \in H} [\pi_{sh} \cdot (g_{sh}^p - d_{sh}^p) - \omega \cdot \pi_{sh} \cdot |g_{sh}^p - d_{sh}^p - x_h^p|], \quad (18)$$

- S.t.

$$\circ \quad u_{sh}^u = u_{sh-1}^u + \eta \cdot d_{sh}^p - g_{sh}^p, \forall s \in \mathcal{S}, \forall h \in H, \quad (19)$$

$$\circ \quad u_{sh}^l = u_{sh-1}^l - \eta \cdot d_{sh}^p + g_{sh}^p, \forall s \in \mathcal{S}, \forall h \in H \quad (20)$$

$$\circ \quad \underline{u}^u \leq u_{sh}^u \leq \bar{u}^u, \forall s \in \mathcal{S}, \forall h \in H, \quad (21)$$

$$\circ \quad \underline{u}^l \leq u_{sh}^l \leq \bar{u}^l, \forall s \in \mathcal{S}, \forall h \in H, \quad (22)$$

$$\circ \quad u_{sh}^u = u f^u, \forall s \in \mathcal{S}, h = 24, \quad (23)$$

$$\circ \quad u_{sh}^l = u f^l, \forall s \in \mathcal{S}, h = 24, \quad (24)$$

$$\circ \quad \underline{g}^p \leq g_{sh}^p \leq \bar{g}^p \cdot N, \forall s \in \mathcal{S}, \forall h \in H, \quad (25)$$

$$\circ \quad \underline{d}^p \leq d_{sh}^p \leq \bar{d}^p, \forall s \in \mathcal{S}, \forall h \in H, \quad (26)$$

$$\circ \quad -\bar{d}^p \leq x_h^p \leq \bar{g}^p, \forall h \in H, \quad (27)$$

$$\circ \quad * \text{ for } h=1, u_{sh-1}^u = u o^u, u_{sh-1}^l = u o^l \text{ (initial levels)}, \quad (27a)$$

- **\*(18):** Αντικειμενική συνάρτηση κερδών μονάδας αντλησιοταμίευσης στην μη συντονισμένη λειτουργία .
- **\*(19):** Η ενεργεία που είναι αποθηκευμένη στην άνω δεξαμενή  $u_{sh}^u$  στο σενάριο  $s_i$  την χρονική στιγμή  $h_i$ , ισούται με την ενέργεια που ήταν αποθηκευμένη την χρονική στιγμή  $h_i - 1$   $u_{sh-1}^u$ , συν τον συντελεστή αποτελεσματικότητας κύκλου στροβίλου -αντλίας ‘η’ επί την είσοδος ισχύς άντλησης  $d_{sh}^p$ , μείον την εκροή ισχύος εξόδου της μονάδας αντλησιοταμίευσης  $g_{sh}^p$ .
- **\*(20):** Η ενεργεία που είναι αποθηκευμένη στην κάτω δεξαμενή  $u_{sh}^l$  στο σενάριο  $s_i$  την χρονική στιγμή  $h_i$ , ισούται με την ενέργεια που ήταν αποθηκευμένη την χρονική στιγμή  $h_i - 1$   $u_{sh-1}^l$ , μείον τον συντελεστή αποτελεσματικότητας κύκλου στροβίλου -αντλίας ‘η’ επί την ισχύς άντλησης  $d_{sh}^p$ , συν την εκροή ισχύος εξόδου της μονάδας αντλησιοταμίευσης  $g_{sh}^p$ .

- **\*(21):** Περιορισμός της ενέργειας που είναι αποθηκευμένη στην άνω δεξαμενή  $u_{sh}^u$  μεταξύ της τιμής  $\underline{u}^u$  που είναι το κατώτατο όριο και της τιμής  $\bar{u}^u$  που είναι το ανώτατο όριο.
- **\*(22):** Περιορισμός της ενέργειας που είναι αποθηκευμένη στην κάτω δεξαμενή  $u_{sh}^l$  μεταξύ της τιμής  $\underline{u}^l$  που είναι το κατώτατο όριο και της τιμής  $\bar{u}^l$  που είναι το ανώτατο όριο.
- **\*(23):** Η τιμή της ενέργειας που είναι αποθηκευμένη στην άνω δεξαμενή  $u_{sh}^u$  στο σενάριο  $s_i$  την χρονική στιγμή  $h=24$  ισούται με τα τελικά επίπεδα αποθηκευμένης ενέργειας  $uf^u$  που δίνεται ως παράμετρος.
- **\*(24):** Η τιμή της ενέργειας που είναι αποθηκευμένη στην κάτω δεξαμενή  $u_{sh}^l$  στο σενάριο  $s_i$  την χρονική στιγμή  $h=24$  ισούται με τα τελικά επίπεδα αποθηκευμένης ενέργειας  $uf^l$  που δίνεται ως παράμετρος.
- **\*(25):** Περιορισμός εκροής ισχύος εξόδου της μονάδας αντλησιοταμίευσης  $g_{sh}^p$  μεταξύ της τιμής  $\underline{g}^p$  (κατώτατο όριο ισχύος παραγωγής κάθε αντλητικής μονάδας) ως κατώτατο όριο και της τιμής  $\bar{g}^p \cdot N$  (όπου  $\bar{g}^p$  το όριο ισχύος παραγωγής κάθε αντλητικής μονάδας και  $N$  το πλήθος των μονάδων αντλησιοταμίευσης) ως ανώτατο όριο.
- **\*(26):** Περιορισμός ισχύος άντλησης  $d_{sh}^p$  μεταξύ των τιμών  $\underline{d}^p$  (όπου  $\underline{d}^p$  κατώτατο όριο ισχύος κάθε αντλητικής μονάδας) ως κατώτατο όριο και  $\bar{d}^p$  (όπου  $\bar{d}^p$  ανώτατο όριο ισχύος κάθε αντλητικής μονάδας) ως ανώτατο όριο.
- **\*(27):** Περιορισμός προσφοράς ενέργειας από την μονάδα αντλησιοταμίευσης  $x_h^p$  μεταξύ της τιμής  $-\bar{d}^p$  (όπου  $\bar{d}^p$  ανώτατο όριο ισχύος κάθε αντλητικής μονάδας) ως κατώτατο όριο και της τιμής  $\bar{g}^p$  (όπου  $\bar{g}^p$  το όριο ισχύος παραγωγής κάθε αντλητικής μονάδας) ως ανώτατο όριο.
- **\*(27a):** Η τιμή της ενέργειας που είναι αποθηκευμένη στην άνω δεξαμενή  $u_{sh-1}^u$  στο σενάριο  $s_i$  την χρονική στιγμή  $h=1$  ισούται με τα αρχικά επίπεδα αποθηκευμένης ενέργειας  $uo^u$  που δίνεται ως παράμετρος.  
Η τιμή της ενέργειας που είναι αποθηκευμένη στην κάτω δεξαμενή  $u_{sh-1}^l$  στο σενάριο  $s_i$  την χρονική στιγμή  $h=1$  ισούται με τα αρχικά επίπεδα αποθηκευμένης ενέργειας  $uo^l$  που δίνεται ως παράμετρος

### 6.5.3 Joint Operation, Selling and Buying:(JO-SB) LP μαθηματικό μοντέλο :

- $\max \sum_{s \in S} \rho_s \cdot \sum_{h \in H} [\pi_{sh} \cdot (g_{sh}^w + g_{sh}^p - d_{sh}^p) - \omega \cdot \pi_{sh} \cdot |g_{sh}^w + g_{sh}^p - d_{sh}^p - x_h^{wp}|]$ ,  
(28)

- S.t.

- {LP pumped-storage's unit constrains} [ (19)-(26)] (29)

- $0 \leq g_{sh}^w \leq W_{sh}, \forall s \in S, \forall h \in H$ , (30)

- $-\bar{d}^p \leq x_h^{wp} \leq (\bar{g}^w + \bar{g}^p), \forall h \in H$ , (31)

- **\*(28):** Αντικειμενική συνάρτηση κερδών στην συντονισμένη λειτουργία του αιολικού πάρκου και της μονάδας αντλησιοταμίευσης.
- **\*(29):** Οι σχέσεις (19)-(26) όπως δίνονται παραπάνω .
- **\*(30):** Περιορισμός ισχύς εξόδου αιολικού πάρκου μεταξύ της τιμής μηδέν ως κατώτατο όριο και της τιμής πρόγνωσης παραγωγής αιολικού πάρκου  $W_{sh}$  ως το ανώτατο όριο, για το σενάριο  $s_i$  την χρονική στιγμή  $h_i$ .
- **\*(31):** Περιορισμός προσφοράς ενέργειας από την συντονισμένη λειτουργία του αιολικού πάρκου και της μονάδας αντλησιοταμίευσης  $x_h^{wp}$  μεταξύ της τιμής  $-\bar{d}^p$  (όπου  $\bar{d}^p$  ανώτατο όριο ισχύος κάθε αντλητικής μονάδας ) ως κατώτατο όριο και της τιμής  $(\bar{g}^w + \bar{g}^p)$ (όπου ,  $\bar{g}^p$  το όριο ισχύος παραγωγής κάθε αντλητικής μονάδας και  $\bar{g}^w$  η μέγιστη εγκατεστημένη ισχύς του αιολικού πάρκου ) ως ανώτατο όριο.

## 6.6 Πρόγραμμα επίλυσης μαθηματικών προβλημάτων.

Για την επίλυση των μαθηματικών προβλημάτων χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα GAMS (General Algebraic Modeling System). Το πρόγραμμα GAMS είναι ένα σύστημα μοντελοποίησης για μαθηματική βελτιστοποίηση. Πιο συγκεκριμένα έχει σχεδιαστεί για την μοντελοποίηση και επίλυση προβλημάτων βελτιστοποίησης γραμμικών, μη γραμμικών και μικτών ακέραιων [26].



Εικόνα 4 : GAMS logo [26]

Η GAMS ήταν η πρώτη γλώσσα αλγεβρικής μοντελοποίησης και τυπικά είναι παρόμοια με τις κοινώς χρησιμοποιούμενες γλώσσες προγραμματισμού τέταρτης γενιάς .

Τέλος αν και στην αρχή σχεδιάστηκε για εφαρμογές στην οικονομία και την επιστήμη της διαχείρισης γίνεται μεγάλη χρήση σε αρκετούς τομείς της επιστήμης και της μηχανικής[26].

### 6.6.1 Κώδικες που δημιουργήθηκαν για την επίλυση των μαθηματικών μοντέλων.

Για την υλοποίηση του μαθηματικού μοντέλου του Αιολικού πάρκου στην μη συντονισμένη λειτουργία χρησιμοποιήθηκαν :

- Παράμετροι : πέντε
- Μεταβλητές :τέσσερις εκ των οποίων οι δύο θετικές μεταβλητές .
- Εξισώσεις: επτά εκ των οποίων η μία είναι η αντικειμενική συνάρτηση των κερδών.

Αφού τυπώθηκαν όλα τα παραπάνω κατά τον τρόπο που πρέπει στο πρόγραμμα GAMS έπειτα γίνεται μοντελοποίηση του μαθηματικού προβλήματος με την εντολή :

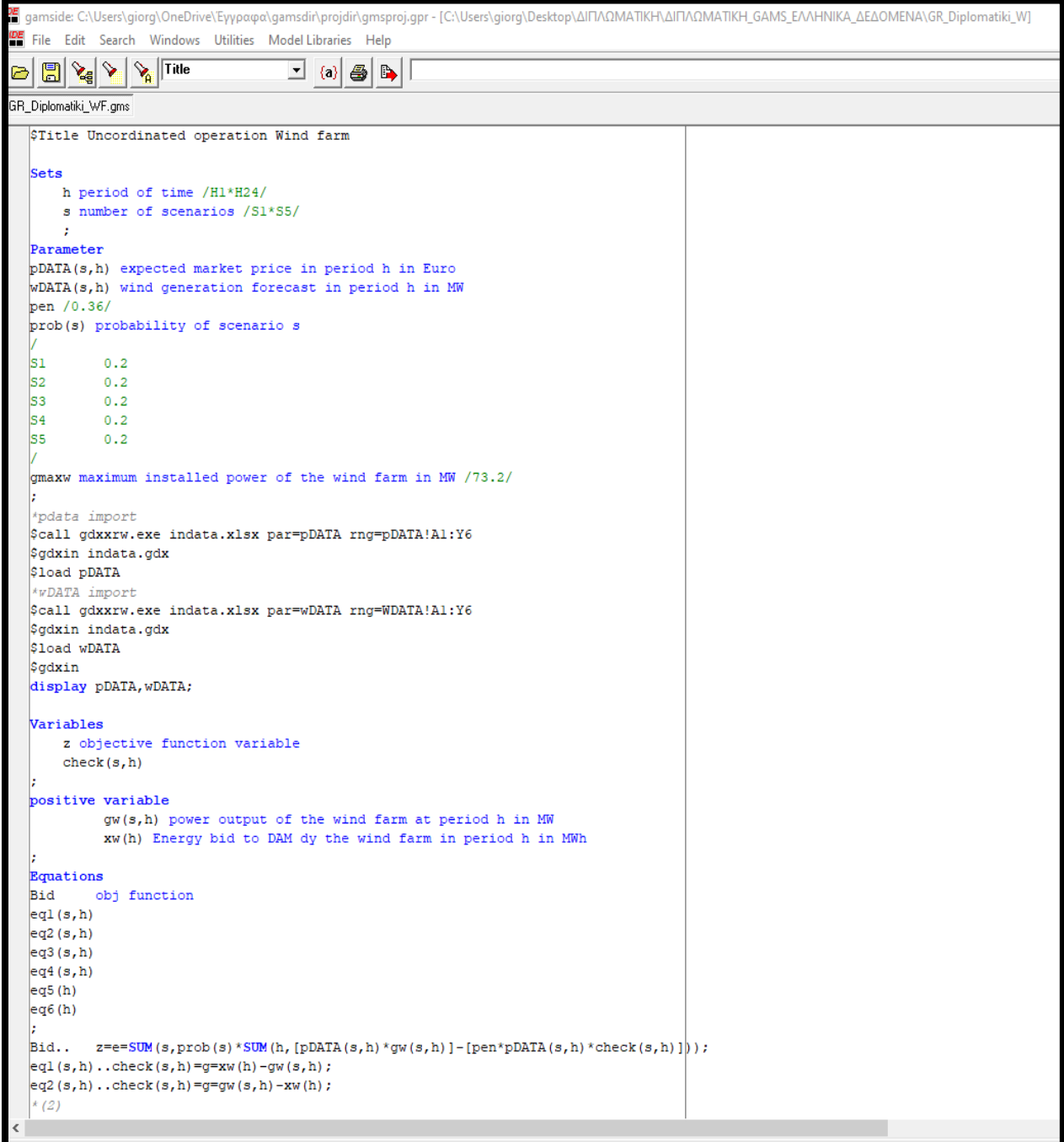
```
“ model UOWF /ALL/; “
```

Με αυτήν την εντολή μοντελοποιείται όλη η πληροφορία του μαθηματικού προβλήματος σαν UOWF.

Και έπειτα γίνεται επίλυση του μαθηματικού προβλήματος με την εντολή :

“ Solve UOWF using MIP (ή LP ανάλογα ποια μέθοδο επίλυσης χρησιμοποιούμε) maximizing z (όπου z η αντικειμενική συνάρτηση των κερδών )”

Παρακάτω στιγμιότυπο οθόνης με τον κώδικα του συγκεκριμένου μαθηματικού προβλήματος:



```
gamside: C:\Users\giorg\OneDrive\Έγγραφα\gamsdir\projdir\gmsproj.gpr - [C:\Users\giorg\Desktop\ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ\ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ_GAMS_ΕΛΛΗΝΙΚΑ_ΔΕΔΟΜΕΝΑ\GR_Diplomatiki_W]
File Edit Search Windows Utilities Model Libraries Help
GR_Diplomatiki_WF.gms
$title Uncordinated operation Wind farm

Sets
  h period of time /H1*H24/
  s number of scenarios /S1*S5/
;

Parameter
pDATA(s,h) expected market price in period h in Euro
wDATA(s,h) wind generation forecast in period h in MW
pen /0.36/
prob(s) probability of scenario s
/
S1      0.2
S2      0.2
S3      0.2
S4      0.2
S5      0.2
/

gmaxw maximum installed power of the wind farm in MW /73.2/
;

*pdata import
$call gdxrw.exe indata.xlsx par=pDATA rng=pDATA!A1:Y6
$gdxin indata.gdx
$load pDATA
*wDATA import
$call gdxrw.exe indata.xlsx par=wDATA rng=wDATA!A1:Y6
$gdxin indata.gdx
$load wDATA
$gdxin
display pDATA,wDATA;

Variables
  z objective function variable
  check(s,h)
;

positive variable
  gw(s,h) power output of the wind farm at period h in MW
  xw(h) Energy bid to DAM dy the wind farm in period h in MWh
;

Equations
Bid      obj function
eq1(s,h)
eq2(s,h)
eq3(s,h)
eq4(s,h)
eq5(h)
eq6(h)
;
Bid.. z=e=SUM(s,prob(s)*SUM(h,[pDATA(s,h)*gw(s,h)]-[pen*pDATA(s,h)*check(s,h)]));
eq1(s,h)..check(s,h)=g=xw(h)-gw(s,h);
eq2(s,h)..check(s,h)=g=gw(s,h)-xw(h);
*(2)
```

Εικόνα 5 Κώδικας μαθηματικού μοντέλου Αιολικού πάρκου στην μη συντονισμένη λειτουργία

Για την υλοποίηση του μαθηματικού μοντέλου της Αντλησιοταμίευσης στην μη συντονισμένη λειτουργία με την μέθοδο επίλυσης MILP χρησιμοποιήθηκαν :

- Παράμετροι : δεκαεννέα
- Μεταβλητές :έντεκα εκ των οποίων οι πέντε θετικές μεταβλητές , τρεις ακέραιες μεταβλητές και μία δυαδική μεταβλητή .
- Εξισώσεις: εικοσιεπτά εκ των οποίων η μία είναι η αντικειμενική συνάρτηση των κερδών.

Αφού τυπώθηκαν όλα τα παραπάνω κατά τον τρόπο που πρέπει στο πρόγραμμα GAMS έπειτα γίνεται μοντελοποίηση του μαθηματικού προβλήματος με την εντολή :

```
“ model UOPSU /ALL/; “
```

Με αυτήν την εντολή μοντελοποιείται όλη η πληροφορία του μαθηματικού προβλήματος σαν UOPSU.

Και έπειτα γίνεται επίλυση του μαθηματικού προβλήματος με την εντολή :

```
“ Solve UOPSU using MIP maximizing z1 (όπου z1 η αντικειμενική συνάρτηση των κερδών )”
```

Παρακάτω στιγμιότυπο οθόνης με τον κώδικα του συγκεκριμένου μαθηματικού προβλήματος:

```

gamside: C:\Users\giorg\OneDrive\Έργα\gamsdir\projdir\gmsproj.gpr - [C:\Users\giorg\Desktop\ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ\ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ_GAMS_ΕΛΛΗΝΙΚΑ_ΔΕΔΟΜΕΝΑ\GR_Diplomatiki_P]
File Edit Search Windows Utilities Model Libraries Help
GR_Diplomatiki_PSU.gms

$title Uncordinated operation Pumped-storage units

Sets
  h period of time /H1*H24/
  s number of scenarios /S1*S5/
;

Parameter
pDATA(s,h) expected market price in period h in Euro
N number of identical pumped-storage units associated in the same pond /3/
pen /0.36/
prob(s) probability of scenario s
/
S1 0.2
S2 0.2
S3 0.2
S4 0.2
S5 0.2
/
efi efficiency of the pumpturbine cycle /0.7/
gpmax generation power limit for each pumped-storage unit in MW /128/
gpdwnmax/116/
dpmax max power limit for each pumped-storage unit in MW /110/
dpmin min power limit for each pumped-storage unit in MW /110/
uupmax max capacity limit of upper reservoir in MWh /237102/
uupmin min capacity limit of upper reservoir in MWh /0/
ulomax max capacity limit of lower reservoir in MWh /5035/
ulomin min capacity limit of lower reservoir in MWh /0/
uou initial level in the upper reservoir in MWh/123364/
ufu final level in the upper reservoir in MWh/123364/
uol initial level in the lower reservoir in MWh/3490/
ufl final level in the lower reservoir in MWh/3490/
csu start up cost of pumping units in Eur /320/
csd shut down cost of pumping units in Eur /32/
;

*pdata import
$call gdxrw.exe indata.xlsx par=pDATA rng=pDATA!A1:Y6
$gdxin indata.gdx
$load pDATA
$gdxin
display pDATA;

Variables
z1 objective function variable
xp(h) Energy bid to DAM dy the pumpedstorage plant in period h in MWh
;
positive variable
check(s,h)
uu(s,h) energy stored in the upper reservoir at the end of period h in MWh
ul(s,h) energy stored in the lower reservoir at the end of period h in MWh

```

Εικόνα 6 Κώδικας μαθηματικού μοντέλου Αντλησιοταμίευσης κατά την μέθοδο MILP στην μη συντονισμένη λειτουργία

Για την υλοποίηση του μαθηματικού μοντέλου της Αντλησιοταμίευσης στην μη συντονισμένη λειτουργία με την μέθοδο επίλυσης LP χρησιμοποιήθηκαν :

- Παράμετροι : δεκαεπτά
- Μεταβλητές : επτά εκ των οποίων οι πέντε θετικές μεταβλητές . . .
- Εξισώσεις: δεκαεννέα εκ των οποίων η μία είναι η αντικειμενική συνάρτηση των κερδών.

Αφού τυπώθηκαν όλα τα παραπάνω κατά τον τρόπο που πρέπει στο πρόγραμμα GAMS έπειτα γίνεται μοντελοποίηση του μαθηματικού προβλήματος με την εντολή :

```
“ model UOPSULP /ALL/; “
```

Με αυτήν την εντολή μοντελοποιείται όλη η πληροφορία του μαθηματικού προβλήματος σαν UOPSULP.

Και έπειτα γίνεται επίλυση του μαθηματικού προβλήματος με την εντολή :

```
“ Solve UOPSULP using LP maximizing z1 (όπου z1 η αντικειμενική συνάρτηση των κερδών )”
```

Παρακάτω στιγμιότυπο οθόνης με τον κώδικα του συγκεκριμένου μαθηματικού προβλήματος:



```

C:\Users\jgorg\OneDrive\Εργασια\gamsdir\projdir\gmsproj.gpr - [C:\Users\jgorg\Desktop\ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ\ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ_GAMS_ΕΛΛΗΝΙΚΑ_ΔΕΔΟΜΕΝΑ\GR_Diplomati_P]
File Edit Search Windows Utilities Model Libraries Help
GR_Diplomati_PSULP.gms

;
*(18)
Bid.. z1==SUM(s,prcb(s)*SUM(h,[pDATA(s,h)*(gp(s,h)-dp(s,h))]-[pen*pDATA(s,h)*check(s,h)]));
eq1(s,h)..check(s,h)=g=(xp(h)+dp(s,h))-[gp(s,h)];
eq2(s,h)..check(s,h)=g=(gp(s,h))-(xp(h)+dp(s,h));
*(19)
eq3(s,h)$ord(h) eq 1)..uu(s,h)=uou+[efi*dp(s,h)]-gp(s,h);
eq4(s,h)$ord(h) GT 1)..uu(s,h)=uu(s,h-1)+[efi*dp(s,h)]-gp(s,h);
*(20)
eq5(s,h)$ord(h) eq 1)..ul(s,h)=uol+gp(s,h)-[efi*dp(s,h)];
eq6(s,h)$ord(h) GT 1)..ul(s,h)=ul(s,h-1)+gp(s,h)-[efi*dp(s,h)];
*(21)
eq7(s,h).. uu(s,h)=g=uumin;
eq8(s,h).. uu(s,h)=l=uumax;
*(22)
eq9(s,h).. ul(s,h)=g=ulomin;
eq10(s,h).. ul(s,h)=l=ulomax;
*(23)
eq11(s,h)$ord(h) eq 24)..uu(s,h)=uofu;
*(24)
eq12(s,h)$ord(h) eq 24)..ul(s,h)=uofl;
*(25)
eq13(s,h).. gp(s,h)=l=gpmmax;
eq14(s,h).. gp(s,h)=g=gpmmin;
*(26)
eq15(s,h).. dp(s,h)=l=dpmmax;
eq16(s,h).. dp(s,h)=g=dpmmin;
*(27)
eq17(s,h).. xp(h)=l=xpmmax;
eq18(s,h).. xp(h)=g=xpmmin;

model DOPSULP /ALL/;
solve DOPSULP using lp maximizing z1;

```

Εικόνα 7 Κώδικας μαθηματικού μοντέλου Αντλησιοταμίευσης κατά την μέθοδο LP στην μη συντονισμένη λειτουργία

Για την υλοποίηση του μαθηματικού μοντέλου της συντονισμένης λειτουργίας Αιολικού πάρκου και Αντλησιοταμίευσης χρησιμοποιήθηκαν :

- Παράμετροι : δεκαεννέα
- Μεταβλητές : οκτώ εκ των οποίων οι πέντε θετικές μεταβλητές . . .
- Εξισώσεις: είκοσι μία εκ των οποίων η μία είναι η αντικειμενική συνάρτηση των κερδών.

Αφού τυπώθηκαν όλα τα παραπάνω κατά τον τρόπο που πρέπει στο πρόγραμμα GAMS έπειτα γίνεται μοντελοποίηση του μαθηματικού προβλήματος με την εντολή :

“ model JOSB /ALL/; “

Με αυτήν την εντολή μοντελοποιείται όλη η πληροφορία του μαθηματικού προβλήματος σαν JOSB.

Και έπειτα γίνεται επίλυση του μαθηματικού προβλήματος με την εντολή :

“ Solve JOSB using MIP (ή LP ανάλογα ποια μέθοδο επίλυσης χρησιμοποιούμε) maximizing z (όπου z η αντικειμενική συνάρτηση των κερδών )”

Παρακάτω στιγμιότυπο οθόνης με τον κώδικα του συγκεκριμένου μαθηματικού προβλήματος:

```

gamside: C:\Users\giorgi\OneDrive\Έργα\gamsdir\projdir\gmsproj.gpr - [C:\Users\giorgi\Desktop\ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ\ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ_GAMS_ΕΛΛΗΝΙΚΑ_ΔΕΔΟΜΕΝΑ\GR_Diplomatiki_]
File Edit Search Windows Utilities Model Libraries Help
GR_Diplomatiki JOSB.gms

gw(s,h) power output of the wind farm at period h in MW
*Pumpedstorage plant*
uu(s,h) energy stored in the upper reservoir at the end of period h in MWh
ul(s,h) energy stored in the lower reservoir at the end of period h in MWh
dp(s,h) pumping power output of the pumpedstorage plant in period h in MW
gp(s,h) discharge power output of the pumpedstorage plant in period h in MW
;
Equations
Bid obj function
eq1(s,h)
eq2(s,h)
*wind farm
eq3(s,h)
eq4(s,h)
eq5(h)
eq6(h)
*pumbed storage plant
eq7(s,h)
eq8(s,h)
eq9(s,h)
eq10(s,h)
eq11(s,h)
eq12(s,h)
eq13(s,h)
eq14(s,h)
eq15(s,h)
eq16(s,h)
eq17(s,h)
eq18(s,h)
eq19(s,h)
eq20(s,h)
;
Bid..      z=e=SUM(s,prob(s)*SUM(h,[pDATA(s,h)*(gw(s,h)+gp(s,h)-dp(s,h))]-[pen*pDATA(s,h)*check(s,h)]);
eq1(s,h)..check(s,h)=g=(gw(s,h)+gp(s,h))-(dp(s,h)+xwp(h));
eq2(s,h)..check(s,h)=g=(dp(s,h)+xwp(h))-(gw(s,h)+gp(s,h));
*Wind farm
*(30)
eq3(s,h).. gw(s,h)=g=0;
eq4(s,h).. gw(s,h)=1=WDATA(s,h);
*(31)
eq5(h).. xwp(h)=g=-dpmx;
eq6(h).. xwp(h)=1=gmaxw+gpmx;
*Pumpedstorage plant
*(19)
eq7(s,h)$ (ord(h) eq 1) ..uu(s,h)=e=uou+[efi*dp(s,h)]-gp(s,h);
eq8(s,h)$ (ord(h) GT 1) ..uu(s,h)=e=uu(s,h-1)+[efi*dp(s,h)]-gp(s,h);
*(20)
eq9(s,h)$ (ord(h) eq 1) ..ul(s,h)=e=uol+gp(s,h)-[efi*dp(s,h)];
eq10(s,h)$ (ord(h) GT 1) ..ul(s,h)=e=ul(s,h-1)+gp(s,h)-[efi*dp(s,h)];
*(21)

```

Εικόνα 8 Κώδικας μαθηματικού μοντέλου συντονισμένης λειτουργίας Αιολικού πάρκου και Αντλησιοταμίευσης Νο1.

```

gamside: C:\Users\giorg\OneDrive\Έγγραφο\gamsdir\projdir\gmsproj.gpr - [C:\Users\giorg\Desktop\ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ\ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ_GAMS_ΕΛΛΗΝΙΚΑ_ΔΕΔΟΜΕΝΑ\GR_Diplomatiki_J]
File Edit Search Windows Utilities Model Libraries Help
GR_Diplomatiki_J05B.gms

gw(s,h) power output of the wind farm at period h in MW
*Pumpedstorage plant*
uu(s,h) energy stored in the upper reservoir at the end of period h in MWh
ul(s,h) energy stored in the lower reservoir at the end of period h in MWh
dp(s,h) pumping power output of the pumpedstorage plant in period h in MW
gp(s,h) discharge power output of the pumpedstorage plant in period h in MW

;
Equations
Bid obj function
eq1(s,h)
eq2(s,h)
*wind farm
eq3(s,h)
eq4(s,h)
eq5(h)
eq6(h)
*pumbed storage plant
eq7(s,h)
eq8(s,h)
eq9(s,h)
eq10(s,h)
eq11(s,h)
eq12(s,h)
eq13(s,h)
eq14(s,h)
eq15(s,h)
eq16(s,h)
eq17(s,h)
eq18(s,h)
eq19(s,h)
eq20(s,h)
;

Bid..      z=e=SUM(s,prob(s)*SUM(h,[pDATA(s,h)*(gw(s,h)+gp(s,h)-dp(s,h))]-[pen*pDATA(s,h)*check(s,h)]));
eq1(s,h).. check(s,h)=g=(gw(s,h)+gp(s,h))-(dp(s,h)+xwp(h));
eq2(s,h).. check(s,h)=g=(dp(s,h)+xwp(h))-(gw(s,h)+gp(s,h));
*Wind farm
*(30)
eq3(s,h).. gw(s,h)=g=0;
eq4(s,h).. gw(s,h)=l=WDATA(s,h);
*(31)
eq5(h).. xwp(h)=g=-dpmax;
eq6(h).. xwp(h)=l=gmaxw+gpmax;
*Pumpedstorage plant
*(19)
eq7(s,h)$ (ord(h) eq 1) ..uu(s,h)=e=uu+[efi*dp(s,h)]-gp(s,h);
eq8(s,h)$ (ord(h) GT 1) ..uu(s,h)=e=uu(s,h-1)+[efi*dp(s,h)]-gp(s,h);
*(20)
eq9(s,h)$ (ord(h) eq 1) ..ul(s,h)=e=ul+gp(s,h)-[efi*dp(s,h)];
eq10(s,h)$ (ord(h) GT 1) ..ul(s,h)=e=ul(s,h-1)+gp(s,h)-[efi*dp(s,h)];
*(21)

```

Εικόνα 9 Κώδικας μαθηματικού μοντέλου συντονισμένης λειτουργίας Αιολικού πάρκου και Αντλησιοταμίευσης Νο2.

```

gamside: C:\Users\giorg\OneDrive\Έγγραφα\gamsdir\projdir\gmsproj.gpr - [C:\Users\giorg\Desktop\ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ\ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ_GAMS_Ε\ΛΗΝΙΚΑ_ΔΕΔΟΜΕΝΑ\GR_Diplomatiki_]
File Edit Search Windows Utilities Model Libraries Help
GR_Diplomatiki_JOSB.gms

eq16(s,h)
eq17(s,h)
eq18(s,h)
eq19(s,h)
eq20(s,h)
;

Bid..      z=e*SUM(s,prob(s)*SUM(h,[pdata(s,h)*(gw(s,h)+gp(s,h)-dp(s,h))]-[pen*pDATA(s,h)*check(s,h)]));
eq1(s,h).. check(s,h)=g=(gw(s,h)+gp(s,h))-(dp(s,h)+xwp(h));
eq2(s,h).. check(s,h)=g=(dp(s,h)+xwp(h))-(gw(s,h)+gp(s,h));
*Wind farm
*(30)
eq3(s,h).. gw(s,h)=g=0;
eq4(s,h).. gw(s,h)=l=WDATA(s,h);
*(31)
eq5(h).. xwp(h)=g=-dpmx;
eq6(h).. xwp(h)=l=gmaxw+gpmx;
*Pumpedstorage plant
*(19)
eq7(s,h)$ (ord(h) eq 1)..uu(s,h)=e=uou+[efi*dp(s,h)]-gp(s,h);
eq8(s,h)$ (ord(h) GT 1)..uu(s,h)=e=uu(s,h-1)+[efi*dp(s,h)]-gp(s,h);
*(20)
eq9(s,h)$ (ord(h) eq 1)..ul(s,h)=e=uol+gp(s,h)-[efi*dp(s,h)];
eq10(s,h)$ (ord(h) GT 1)..ul(s,h)=e=ul(s,h-1)+gp(s,h)-[efi*dp(s,h)];
*(21)
eq11(s,h).. uu(s,h)=g=uupmin;
eq12(s,h).. uu(s,h)=l=uupmax;
*(22)
eq13(s,h).. ul(s,h)=g=ulomin;
eq14(s,h).. ul(s,h)=l=ulomax;
*(23)
eq15(s,h)$ (ord(h) eq 24)..uu(s,h)=e=ufu;
*(24)
eq16(s,h)$ (ord(h) eq 24)..ul(s,h)=e=uf1;
*(25)
eq17(s,h).. gp(s,h)=l=gpmx;
eq18(s,h).. gp(s,h)=g=gpmn;
*(26)
eq19(s,h).. dp(s,h)=l=dpmx;
eq20(s,h).. dp(s,h)=g=dpmn;

model JOSB /ALL/;
SOLVE JOSB USING lp MAXIMIZING z;

```

Εικόνα 10 Κώδικας μαθηματικού μοντέλου συντονισμένης λειτουργίας Αιολικού πάρκου και Αντλησιοταμίευσης Νο3.

## 6.7 Παράδειγμα Ελλάδας

Παρακάτω δίνονται τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν μέσω του προγράμματος gams σύμφωνα με τα παραπάνω μαθηματικά μοντέλα.

Για το παράδειγμα αυτής της εργασίας χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από τις χρονικές περιόδους :

- 1) 06-12/04/2020 (Δευτέρα έως Κυριακή) και
- 2) 10/16/08/2020 (Δευτέρα έως Κυριακή)

- Sets and indexes:
  - $S,s$  : Στο παράδειγμα έχουμε 5 σενάρια ( $S1,S2,S3,S4$  και  $S5$ )
  - $H,h$ : Για τις ωριαίες στιγμές έχουμε 24 (όσες έχει και μια ημέρα) ( $H1-H24$ )
  
- Parameter and constants:
  - Οι τιμές πρόγνωσης παραγωγής αιολικής ενέργειας την χρονική στιγμή  $h_i$  στο σενάριο  $s_i$  σε MW δίνονται στο Παράρτημα Α.
  - Οι αναμενόμενες τιμές τις αγορές ενέργειας την χρονική στιγμή  $h_i$  στο σενάριο  $s_i$  σε €/MWh δίνονται στο Παράρτημα Β.
  - Στον παρακάτω πίνακα δίνονται στοιχεία για την μονάδα αντλησιοταμίευσης καθώς και για το αιολικό πάρκο. Σαν παραδείγματα έχουν χρησιμοποιηθεί:
    - Η μονάδα αντλησιοταμίευσης του Θησαυρού με χωρητικότητα άνω ταμιευτήρα 55 εκ.  $m^3$  και κάτω ταμιευτήρα 12 εκ.  $m^3$  (που ενιαία ο αντίστοιχος άνω ταμιευτήρας της μονάδας της Πλατανόβρυσης) και
    - Το Αιολικό πάρκο του Αγίου Γεωργίου μέγιστης εγκατεστημένης ισχύς 73,2 MW.

Σύμβολο	Τιμή	Σημασία Συμβόλου
s	S1*S5	Σύνολο σεναρίων
h	H1*H24	Σύνολο ωριαίων περιόδων
N	3	Αριθμός πανομοιότυπων μονάδων αντλίας-αποθήκευσης που συνδέονται στην ίδια λίμνη
$\omega$	0,36	Συντελεστής κυρώσεων έναντι της αγοραίας τιμής για ενεργειακές ανισοροπίες [p.u]
$\eta$	0,7	Αποτελεσματικότητα του κύκλου αντλίας-στροβίλου [p.u]
$\bar{g}^p$	128	Όριο ισχύος παραγωγής για κάθε αντλητική μονάδα αποθήκευσης [MW]
$\underline{d}^p, \bar{d}^p$	0, 110	Όρια ισχύος άντλησης για κάθε αντλητική μονάδα αποθήκευσης [MW]
$\bar{g}^w$	73,2	Μέγιστη εγκατεστημένη ισχύς του αιολικού πάρκου [MW]
$\underline{u}^u, \bar{u}^u$	0, 237102	Όρια χωρητικότητας της άνω δεξαμενής [MWh]
$\underline{u}^l, \bar{u}^l$	0, 5035	Όρια χωρητικότητας της κάτω δεξαμενής [MWh]
$u_o^u, u_f^u$	123364	Αρχικά και τελικά επίπεδα στην άνω δεξαμενή [MWh]
$u_o^l, u_f^l$	3490	Αρχικά και τελικά επίπεδα στην κάτω δεξαμενή [MWh]
$c^{su}, c^{sd}$	320, 32	Κόστος εκκίνησης και παύσης λειτουργίας των αντλιοστασίων [Eur]
$\rho_s(S1*S5)$	0,2	Πιθανότητα σεναρίου s [p.u]

## 6.8 Αποτελέσματα:

Έπειτα από την εφαρμογή των δεδομένων του Ελληνικού παραδείγματος στο πρόγραμμα GAMS studio του κάθε αντίστοιχου μαθηματικού μοντέλου, πήραμε τα παρακάτω αποτελέσματα κερδών.

- MILP:

		MILP						
		ΔΕΥΤΕΡΑ	ΤΡΙΤΗ	ΤΕΤΑΡΤΗ	ΠΕΜΠΤΗ	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ	ΣΑΒΒΑΤΟ	ΚΥΡΙΑΚΗ
<b>Απρ-20</b>	Wind-Farm	25169,54	37415,79	32619,13	33286,01	25141,89	8515,53	15133,92
<b>Αυγ-20</b>	Wind-Farm	21445,04	48184,19	36342,67	30910,13	45252,81	8194,90	24012,32
		MILP						
		ΔΕΥΤΕΡΑ	ΤΡΙΤΗ	ΤΕΤΑΡΤΗ	ΠΕΜΠΤΗ	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ	ΣΑΒΒΑΤΟ	ΚΥΡΙΑΚΗ
<b>Απρ-20</b>	Pumped-storage	37418,69	17144,99	20761,35	17384,32	18974,46	15927,75	73416,50
<b>Αυγ-20</b>	Pumped-storage	22738,41	29735,38	49549,98	24267,83	17945,64	24279,25	24251,41
		MILP						
		ΔΕΥΤΕΡΑ	ΤΡΙΤΗ	ΤΕΤΑΡΤΗ	ΠΕΜΠΤΗ	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ	ΣΑΒΒΑΤΟ	ΚΥΡΙΑΚΗ
<b>Απρ-20</b>	Sum	62588,23	54560,78	53380,49	50670,34	44116,35	24443,28	88550,42
<b>Αυγ-20</b>	Sum	44183,46	77919,57	85892,65	55177,96	63198,46	32474,15	48263,73
		MILP						
		ΔΕΥΤΕΡΑ	ΤΡΙΤΗ	ΤΕΤΑΡΤΗ	ΠΕΜΠΤΗ	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ	ΣΑΒΒΑΤΟ	ΚΥΡΙΑΚΗ
<b>Απρ-20</b>	JO-SB	62684,23	55117,18	55492,49	52537,78	46213,12	25499,28	89606,42
<b>Αυγ-20</b>	JO-SB	44279,46	78975,57	86948,65	56804,78	64439,97	34072,36	49890,54



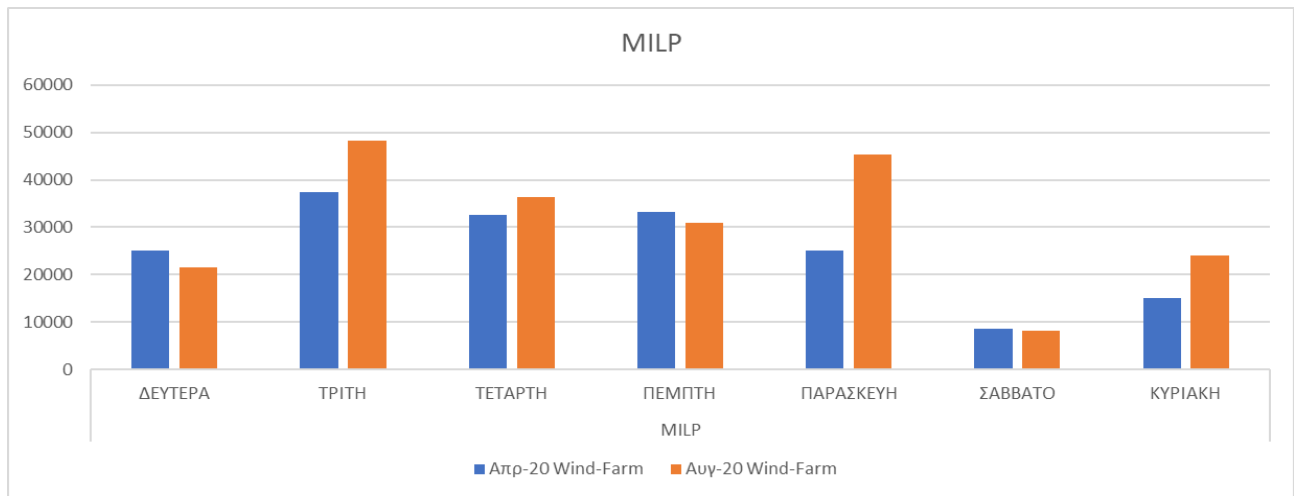
- LP:

		LP						
		ΔΕΥΤΕΡΑ	ΤΡΙΤΗ	ΤΕΤΑΡΤΗ	ΠΕΜΠΤΗ	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ	ΣΑΒΒΑΤΟ	ΚΥΡΙΑΚΗ
<b>Απρ-20</b>	Wind-Farm	25169,54	37415,79	32619,13	33286,01	25141,89	8515,53	15133,92
<b>Αυγ-20</b>	Wind-Farm	21445,04	48184,19	36342,67	30910,13	45252,81	8194,90	24012,32
		LP						
		ΔΕΥΤΕΡΑ	ΤΡΙΤΗ	ΤΕΤΑΡΤΗ	ΠΕΜΠΤΗ	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ	ΣΑΒΒΑΤΟ	ΚΥΡΙΑΚΗ
<b>Απρ-20</b>	Pumped-storage	37514,69	17701,39	22873,35	19251,77	21071,23	16983,75	74472,50
<b>Αυγ-20</b>	Pumped-storage	22834,41	30791,38	50605,98	25894,64	19187,15	25876,77	25878,22
		LP						
		ΔΕΥΤΕΡΑ	ΤΡΙΤΗ	ΤΕΤΑΡΤΗ	ΠΕΜΠΤΗ	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ	ΣΑΒΒΑΤΟ	ΚΥΡΙΑΚΗ
<b>Απρ-20</b>	Sum	62684,23	55117,18	55492,49	52537,78	46213,12	25499,28	89606,42
<b>Αυγ-20</b>	Sum	44279,46	78975,57	86948,65	56804,78	64439,97	34071,67	49890,54
		LP						
		ΔΕΥΤΕΡΑ	ΤΡΙΤΗ	ΤΕΤΑΡΤΗ	ΠΕΜΠΤΗ	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ	ΣΑΒΒΑΤΟ	ΚΥΡΙΑΚΗ
<b>Απρ-20</b>	JO-SB	62684,23	55117,18	55492,49	52537,78	46213,12	25499,28	89606,42
<b>Αυγ-20</b>	JO-SB	44279,46	78975,57	86948,65	56804,78	64439,97	34072,36	49890,54

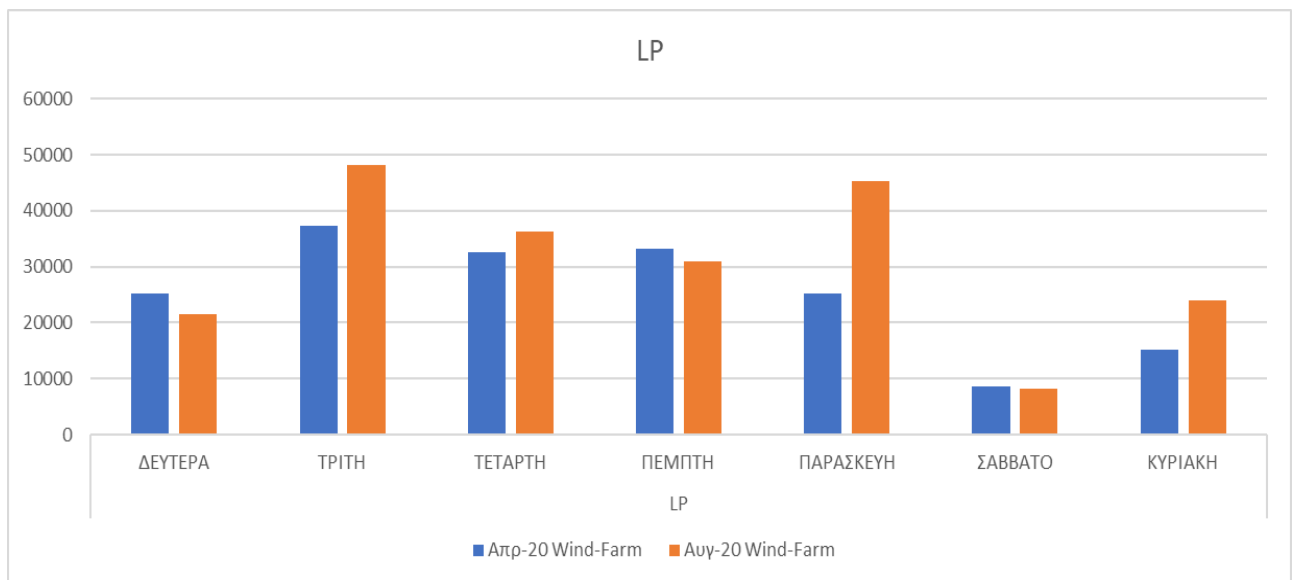
Επίσης δίνονται τα αποτελέσματα των ωριαίων προσφορών Ενέργειας στο Παράρτημα Γ.

### 6.7.1 Διαγράμματα Κερδών :

- UO- Αιολικό Πάρκο (Wind Farm) [MILP and LP]



Εικόνα 11: Διάγραμμα κερδών UO-MILP WIND FARM

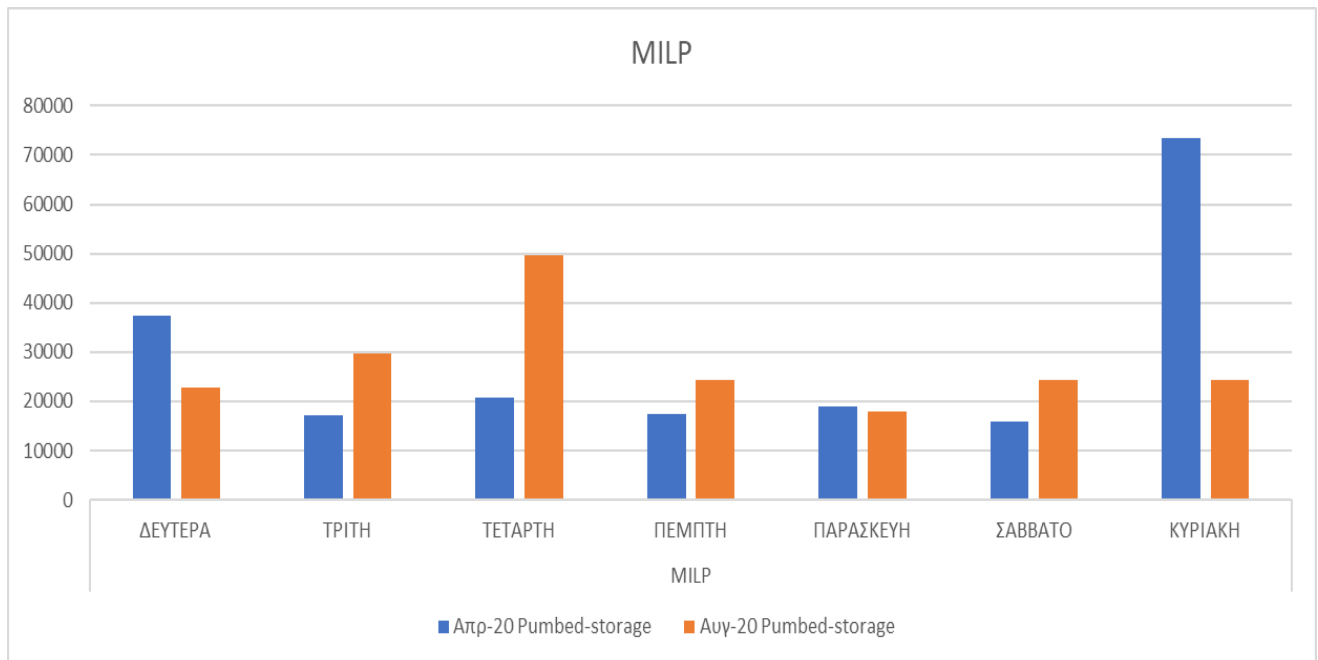


Εικόνα 12: Διάγραμμα Κερδών UO-LP WIND FARM

Όπως παρατηρείτε από τα δυο παραπάνω διαγράμματα δεν υπάρχει διαφορά στα κέρδη του Αιολικού πάρκου μεταξύ MILP και LP . Αυτό συμβαίνει διότι στο μαθηματικό μοντέλο που αφορά το Αιολικό πάρκο δεν υπάρχουν ακέραιες μεταβλητές που να επηρεάζουν το πρόβλημα . Επίσης παρατηρούμε ότι τα κέρδη για το Αιολικό πάρκο επηρεάζονται καθοριστικά από δυο βασικές παραμέτρους:

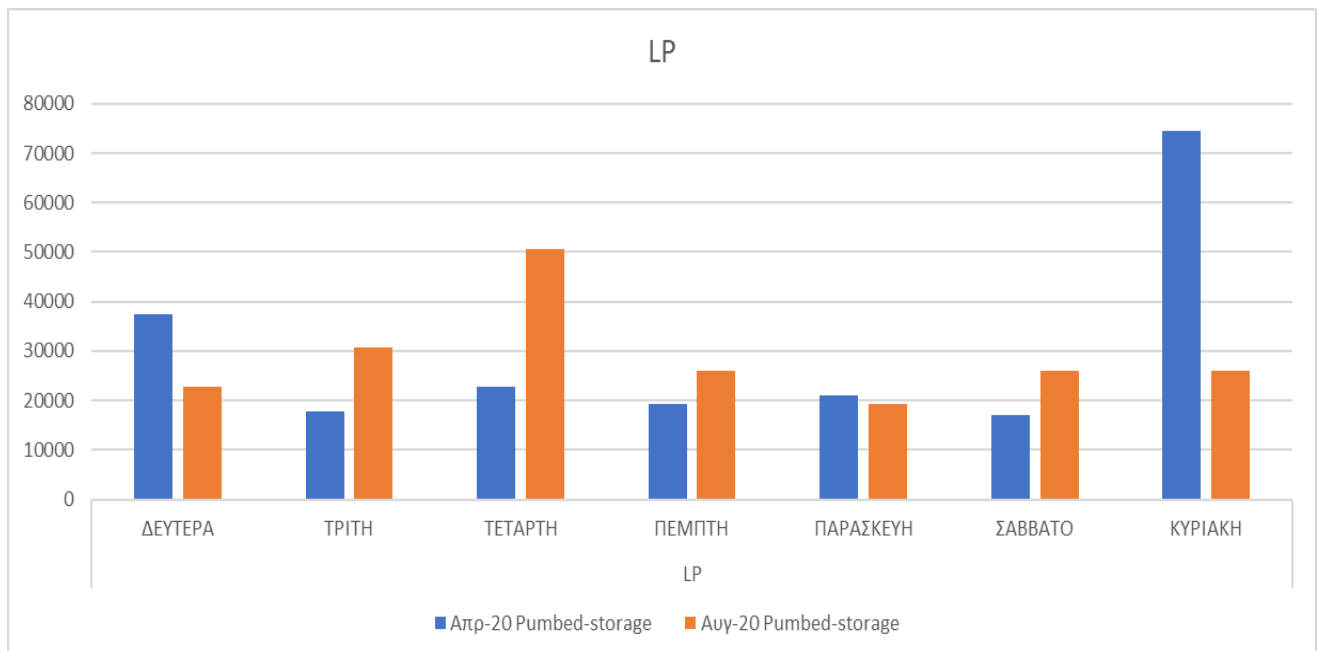
- 1) Την αναμενόμενη τιμή αγοράς Ενέργειας και
- 2) Την πρόγνωση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για το Αιολικό πάρκο .

- **ΥΟ- Μονάδα Αντλησιοταμίευσης (Pumped storage unit):**
  - MILP:



Εικόνα 13: Διάγραμμα Κερδών ΥΟ-MILP PUMPED STORAGE UNIT

- LP:



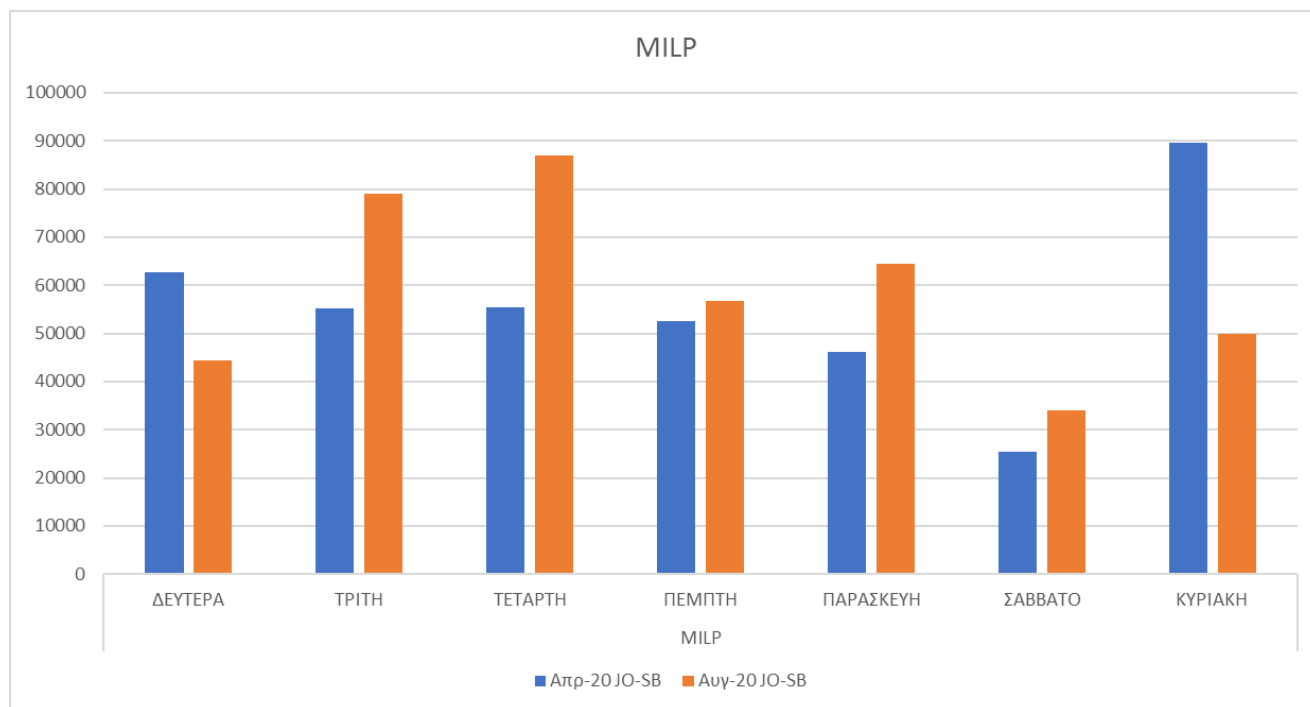
Εικόνα 14: Διάγραμμα Κερδών ΥΟ-LP PUMPED STORAGE UNIT

Συγκρίνοντας τα παραπάνω δύο διαγράμματα κερδών για την μονάδα αντλησιοταμίευσης παρατηρούμε πώς :

- Η μέθοδος LP είναι πιο αποτελεσματική από την μέθοδο MILP , τα κέρδη δηλαδή είναι μεγαλύτερα με την μέθοδο LP. Αυτό συμβαίνει διότι :
  - Στο μαθηματικό μοντέλο LP που αφορά την μονάδα αντλησιοταμίευσης δεν υπάρχουν ακέραιες μεταβλητές που να επηρεάζουν το πρόβλημα .
  - Η μονάδα αντλησιοταμίευσης λειτουργεί σαν σύνολο ισχύς των 3 ξεχωριστών μονάδων με την μέθοδο LP κι όχι μεμονωμένα. Αυτό δίνει την δυνατότητα για παραγωγή ενέργειας τόση όσο χρειάζεται για να είναι κερδοφόρα.
  - Δεν υπάρχουν δυαδικές μεταβλητές που σχετίζονται με τους διακριτούς τρόπου λειτουργίας .

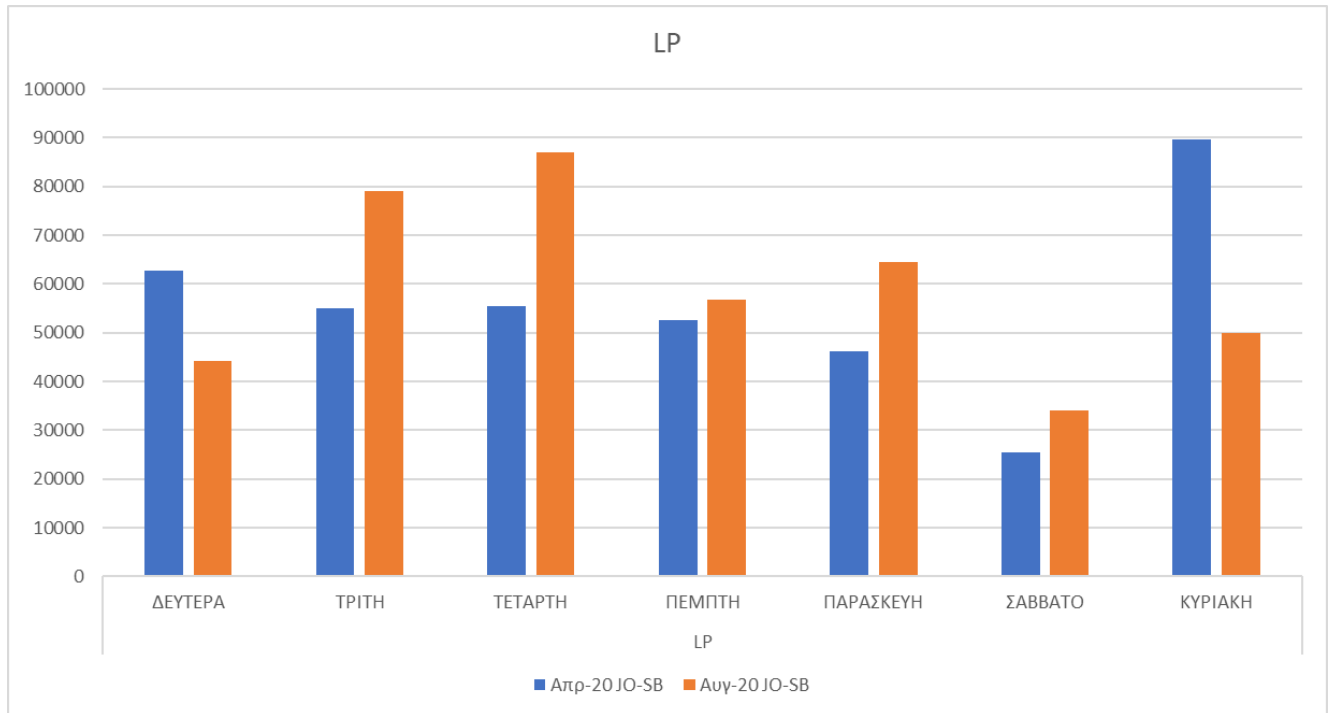
- JO-SB:

- MILP:



Εικόνα 15: Διάγραμμα Κερδών JO-SB MILP

ο LP:



Εικόνα 16: Διάγραμμα Κερδών JO-SB LP

Συγκρίνοντας τα παραπάνω δύο διαγράμματα κερδών για την μονάδα αντλησιοταμίευσης παρατηρούμε πώς δεν υπάρχει διαφορά στα κέρδη του μοντέλου της συντονισμένης λειτουργίας μεταξύ MILP και LP . Αυτό συμβαίνει διότι στο μαθηματικό μοντέλο που αφορά το Αιολικό πάρκο δεν υπάρχουν ακέραιες μεταβλητές που να επηρεάζουν το πρόβλημα .

Όπως παρατηρείται από τα παραπάνω δύο διαγράμματα καθώς και από τα διαγράμματα του Αιολικού πάρκου και τις μονάδες αντλησιοταμίευσης , η συντονισμένη λειτουργία (αγοράς και πώλησης ενέργειας )των δύο αυτών μονάδων δίνει αύξησης κέρδους στο Αιολικό πάρκο και στην Μονάδα αντλησιοταμίευσης καθώς έχουν μεγαλύτερο κέρδος από το άθροισμα των επιμέρους κερδών από την μη συντονισμένη λειτουργία.

## 6.9 Συμπεράσματα:

Η αυξημένη διείσδυση της αιολικής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας καθιστά απαραίτητη την ενσωμάτωση αυτής της ανανεώσιμης ενέργειας με άλλες υπάρχουσες τεχνολογίες. Σε αυτή την εργασία δείξαμε ότι μια κοινή λειτουργία ενός αιολικού πάρκου και μιας απομονωμένης μονάδας αντλησιοταμίευσης μπορεί να επιτευχθεί επιλύοντας το μοντέλο βελτιστοποίησης που παρουσιάζεται[25].

Η προσέγγιση στοχαστικού προγραμματισμού δύο σταδίων έχει αποδειχθεί ότι είναι ένας αποτελεσματικός τρόπος για τη μοντελοποίηση της πραγματικής διαδικασίας λήψης αποφάσεων που αντιμετωπίζουν οι φορείς εκμετάλλευσης αιολικών πάρκων στην αγορά Ενέργειας με τον κίνδυνο αβεβαιότητας . Τα αριθμητικά αποτελέσματα δείχνουν ότι η κοινή λειτουργία αντιπροσωπεύει αύξηση κέρδους τόσο για το αιολικό πάρκο όσο και για την μονάδα αντλησιοταμίευσης , καθώς τα μοντέλα κοινής λειτουργίας επιτυγχάνουν υψηλότερα κέρδη από ό,τι όταν προσθέτουμε τα μεμονωμένα κέρδη που προκύπτουν στο μη συντονισμένο μοντέλο. Όσον αφορά την έκδοση MILP και LP, μπορεί να συναχθεί το συμπέρασμα ότι οι βέλτιστες προσφορές που προκύπτουν είναι πολύ παρόμοιες. Ωστόσο, η επιπλέον υπολογιστική προσπάθεια που απαιτείται για την επίλυση της έκδοσης MILP διασφαλίζει μια εφικτή λειτουργία για όλα τα σενάρια και επίσης μια καλύτερη εκτίμηση των αναμενόμενων κερδών. Επομένως, τα μοντέλα MILP παρουσιάζουν περισσότερα πλεονεκτήματα παρά μειονεκτήματα σε σύγκριση με την απλοποιημένη έκδοση LP[24].

Η συντονισμένη λειτουργία αυξάνει τα κέρδη του Αιολικού πάρκου καθώς η μονάδα αντλησιοταμίευσης παρέχει αντιστάθμιση έναντι της αβεβαιότητας της παραγωγής ενέργειας, αποθηκεύοντας ενέργεια κατά τις ώρες χαμηλής ζήτησης και προσφέροντας την κατά τις ώρες αιχμής . Επίσης στην συντονισμένη λειτουργία η αποθήκευση ενέργειας μπορεί αντί να παραχθεί από το αιολικό να αγοραστεί από το σύστημα κάποια χρονική στιγμή που είναι συμφέρουσα η αγορά της ώστε να πωληθεί αργότερα που θα επιφέρει κέρδος.

Θα μπορούσε να διεξαχθεί μελλοντική έρευνα για την εισαγωγή στο μοντέλο βελτιστοποίησης ορισμένων μέτρων αποφυγής κινδύνου. Τέλος, τα μοντέλα που παρουσιάζονται σε αυτό το έγγραφο θα μπορούσαν να είναι χρήσιμα για να βοηθήσουν σε επενδυτικές αποφάσεις σχετικά με νέες εγκαταστάσεις αντλησιοταμίευσης. Επίσης μελλοντικά θα μπορούσαν να διεσδύουν στο μοντέλο κι άλλες Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας όπως πάρκα Φωτοβολταϊκών ηλιακών συστημάτων είτε και συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενεργείας από βιομάζα. Με αυτόν τον τρόπο θα αυξηθεί η διείσδυση των ΑΠΕ στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μειώνοντας το ρίσκο που παίρνουν οι παραγωγοί κατά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας .

## Βιβλιογραφία:

- [1] : Villar, J.; Bessa, R.; Matos, M. Flexibility products and markets: Literature review. *Electr. Power Syst. Res.* 2018, 154, 329–340.
- [2]: Schittekatte, T.; Meeus, L. Flexibility markets: Q&A with project pioneers. *Util. Policy* 2020, 63, 101017
- [3]: SWEDO. Study on the effective integration of Distributed Energy Resources for providing flexibility to the electricity system. In Final Report to The European Commission; SWEDO: Stockholm, Sweden, 2015
- [4]: Zancanella, P.; Bertoldi, P.; Boza-Kiss, B. Why is demand response not implemented in the EU. Status of demand response and recommendations to allow demand response to be fully integrated in energy markets. *ECEEE* 2017, 457–466.
- [5]: Commission, E. Directive (EU) 2019/944 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019 on common rules for the internal market for electricity and amending Directive 2012/27/EU (Text with EEA relevance.). *Off. J. Eur. Union* 2019, 14, 125–199.
- [6]: E Group. Informative Document in Support of the Public Consultation on the Proposal of the Rules for the Compensation of the QuarterHourly Imbalances (Balancing Rules); E. Group: Elia, Belgium, 2020.
- [7]: De Vries, L.J.; Verzijlbergh, R. Organizing flexibility: How to adapt market design to the growing demand for flexibility. In Proceedings of the 2015 12th International Conference on the European Energy Market (EEM), Lisbon, Portugal, 19–22 May 2015.
- [8]: Ramos, A.; de Jonghe, C.; Gómez, V.; Belmans, R. Realizing the smart grid’s potential: Defining local markets for flexi-bility. *Utilities Policy* 2016, 40, 26–35.
- [9]: Xu, Z. The electricity market design for decentralized flexibility sources; Oxford Institute for Energy Studies: Oxford, UK, 2019.
- [10]: Bouloumpasis, I.; Steen, D. Congestion management using local flexibility markets: Recent development and challenges. In Proceedings of the 2019 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Europe (ISGT-Europe) Bucharest, Romania 29 September–2 October 2019; IEEE: Piscataway, NJ, USA, 2019; pp. 1–5.
- [11]: Torriti, J.; Hassan, M.G.; Leach, M. Demand response experience in Europe: Policies, programmes and implementation. *Energy* 2010, 35, 1575–1583.

- [12]: S. Impram, S.V. Nese, B. Oral Challenges of renewable energy penetration on power system flexibility: a survey *Energ. Strat. Rev.*, 31 (2020), Article 100539
- [13]: Eid, C.; Codani, P.; Perez, Y.; Reneses, J.; Hakvoort, R. Managing Distributed Energy Resources in a Smart Grid Environment: A review for incentives, aggregation and market design. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2016, 64, 237–247.  
Eid, C.; Codani, P.; Chen, Y.; Perez, Y.; Hakvoort, R. Aggregation of demand side flexibility in a smart grid: A review for European market design. In *Proceedings of the 2015 12th International Conference on the European Energy Market (EEM) Lisbon, Portugal 19–22 May 2015*; Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE): Piscataway, NJ, USA, 2015; pp. 1–5
- [14]: Paiho, S.; Saastamoinen, H.; Hakkarainen, E.; Similä, L.; Pasonen, R.; Ikäheimo, J.; Horsmanheimo, S. Increasing flexibility of Finnish energy systems—A review of potential technologies and means. *Sustain. Cities Soc.* 2018, 43, 509–523.
- [15]: Αρβανίτης, Απ. (2008). «Μύθοι και πραγματικότητα για τη γεωθερμία (Υπουργείο Ανάπτυξης, Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών)»
- [16]: Ilias Tsagas (2016). «Greece Approves New Renewable Energy Law»
- [17]: Falahi, G.; Huang, A. (1 October 2014). Low voltage ride through control of modular multilevel converter based HVDC systems. *IECON 2014 – 40<sup>th</sup> Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*. Pp. 4663–68.
- [18]: Hulazan, Ned (16 February 2011). “Offshore wind power – Advantages and disadvantages”. *Renewable Energy Articles*. Archived from the original on 13 October 2018. Retrieved 9 April 2012.
- [19]: Watson, James· Serrano, Juan. «Composite Materials for Wind Blades». *windssystemsmag.com*.
- [20]: Atkins, William (2003). "Hydroelectric Power". *Water: Science and Issues*. 2: 187–191.
- [21]: Robbins, Paul (2007). “Hydropower”. *Encyclopedia of Environment and Society*.
- [22]: Aitken, Donald W. (2010). *Transitioning to a Renewable Energy Future*, International Solar Energy Society, January, 54 pages.
- [23]: Lovins, Amory (2011). *Reinventing Fire: Bold Business Solutions for the New Energy Era*, Chelsea Green Publishing, 334 pages.
- [24]: Javier Garcia-Gonzalez (2008) ‘ Hedging strategies for wind renewable generation in electricity markets’ 10.1109/PES.2008.4596472 .
- [25]: J. García-González, R. Moraga, L. Matres, and A. Mateo, "Stochastic joint optimization of wind generation and pumped-storage units in an electricity market," *IEEE Transactions on Power Systems*, in press, pp. 1-9, 2008.
- [26]: <https://www.gams.com/>



Εικόνα 1: Παγκόσμια Ζήτηση Ηλεκτρικής Ενέργειας .....	17
Εικόνα 2 : Μη συντονισμένη Λειτουργία [24] .....	74
Εικόνα 3 : Συντονισμένη Λειτουργία [24] ....	74
Εικόνα 4 : GAMS logo [26] .....	84
Εικόνα 5 Κώδικας μαθηματικού μοντέλου Αιολικού πάρκου στην μη συντονισμένη λειτουργία .....	85
Εικόνα 6 Κώδικας μαθηματικού μοντέλου Αντλησιοταμίευσης κατά την μέθοδο MILP στην μη συντονισμένη λειτουργία .....	87
Εικόνα 7 Κώδικας μαθηματικού μοντέλου Αντλησιοταμίευσης κατά την μέθοδο LP στην μη συντονισμένη λειτουργία .....	89
Εικόνα 8 Κώδικας μαθηματικού μοντέλου συντονισμένης λειτουργίας Αιολικού πάρκου και Αντλησιοταμίευσης Νο1. ....	91
Εικόνα 9 Κώδικας μαθηματικού μοντέλου συντονισμένης λειτουργίας Αιολικού πάρκου και Αντλησιοταμίευσης Νο2. ....	92
Εικόνα 10 Κώδικας μαθηματικού μοντέλου συντονισμένης λειτουργίας Αιολικού πάρκου και Αντλησιοταμίευσης Νο3. ....	93
Εικόνα 11: Διάγραμμα κερδών UO-MILP WIND FARM .....	98
Εικόνα 12: Διάγραμμα Κερδών UO-LP WIND FARM.....	98
Εικόνα 13: Διάγραμμα Κερδών UO-MILP PUMPED STORAGE UNIT.....	99
Εικόνα 14: Διάγραμμα Κερδών UO-LP PUMPED STORAGE UNIT .....	99
Εικόνα 15: Διάγραμμα Κερδών JO-SB MILP.....	100
Εικόνα 16: Διάγραμμα Κερδών JO-SB LP .....	101
Εικόνα 17: Πρόγνωση παραγωγής Αιολικού Πάρκου 6-12/04/2020 .....	106
Εικόνα 18: Πρόγνωση Παραγωγής Αιολικού Πάρκου 10-16/08/2020.....	107
Εικόνα 19: Αναμενόμενη τιμή Αγοράς Ενέργειας 6-12/04/2020 .....	108
Εικόνα 20: Αναμενόμενη τιμή Αγοράς Ενέργειας 10-16/08/2020 .....	109
Εικόνα 21: Ωριαίες προσφορές Ενέργειας 6-12/04/2020 .....	110
Εικόνα 22: Ωριαίες προσφορές Ενέργειας 10-16/08/2020 .....	111

## Παράρτημα Α:

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΗΜΕΡΑ	WDATA (ΠΡΟΓΝΩΣΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ)																							
6/4/2020	ΔΕΥΤΕΡΑ	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23	H24
S1		62	58	52	53	53	52	53	54	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	52	53	54	54	54	54
S2		54,5	50,5	44,5	45,5	45,5	44,5	45,5	46,5	45,5	45,5	45,5	45,5	45,5	45,5	45,5	45,5	45,5	44,5	45,5	46,5	46,5	46,5	46,5	
S3		57	53	47	48	48	47	48	49	48	48	48	48	48	48	48	48	48	47	48	49	49	49	49	
S4		64	60	54	55	55	54	55	56	55	55	55	55	55	55	55	55	55	54	55	56	56	56	56	
S5		52	48	42	43	43	42	43	44	43	43	43	43	43	43	43	43	43	42	43	44	44	44	44	
7/4/2020	ΤΡΙΤΗ	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23	H24
S1		54	53	55	54	52	52	52	53	53	55	56	56	55	53	53	55	56	54	55	58	60	59	58	55
S2		51,5	50,5	52,5	51,5	49,5	49,5	49,5	50,5	50,5	52,5	53,5	53,5	52,5	50,5	50,5	52,5	53,5	51,5	52,5	55,5	57,5	56,5	55,5	52,5
S3		59	58	60	59	57	57	57	58	58	60	61	61	60	58	58	60	61	59	60	63	65	64	63	60
S4		48	47	49	48	46	46	46	47	47	49	50	50	49	47	47	49	50	48	49	52	54	53	52	49
S5		59	58	60	59	57	57	57	58	58	60	61	61	60	58	58	60	61	59	60	63	65	64	63	60
8/4/2020	ΤΕΤΑΡΤΗ	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23	H24
S1		56	55	53	51	51	51	50	50	51	51	51	50	47	47	50	52	49	48	47	47	50	51	52	52
S2		63,5	62,5	60,5	58,5	58,5	58,5	57,5	57,5	58,5	58,5	58,5	57,5	54,5	54,5	57,5	59,5	56,5	55,5	54,5	54,5	57,5	58,5	59,5	59,5
S3		53,5	52,5	50,5	48,5	48,5	48,5	47,5	47,5	48,5	48,5	48,5	47,5	44,5	44,5	47,5	49,5	46,5	45,5	44,5	44,5	47,5	48,5	49,5	49,5
S4		60,5	59,5	57,5	55,5	55,5	55,5	54,5	54,5	55,5	55,5	55,5	54,5	51,5	51,5	54,5	56,5	53,5	52,5	51,5	51,5	54,5	55,5	56,5	56,5
S5		51	50	48	46	46	46	45	45	46	46	46	45	42	42	45	47	44	43	42	42	45	46	47	47
9/4/2020	ΠΕΜΠΤΗ	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23	H24
S1		53	53	53	52	53	49	49	50	51	52	55	56	55	56	56	56	57	60	60	58	54	57	51	27
S2		48	48	48	47	48	44	44	45	46	47	50	51	50	51	51	51	52	55	55	53	49	52	46	22
S3		58	58	58	57	58	54	54	55	56	57	60	61	60	61	61	61	62	65	65	63	59	62	56	32
S4		50,5	50,5	50,5	49,5	50,5	46,5	46,5	47,5	48,5	49,5	52,5	53,5	52,5	53,5	53,5	53,5	54,5	57,5	57,5	55,5	51,5	54,5	48,5	24,5
S5		56	56	56	55	56	52	52	53	54	55	58	59	58	59	59	59	60	63	63	61	57	60	54	30
10/4/2020	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23	H24
S1		36	56	55	56	54	53	57	50	56	52	42	38	21	11	24	46	51	37	47	46	33	27	24	13
S2		41	61	60	61	59	58	62	55	61	57	47	43	26	16	29	51	56	42	52	51	38	32	29	18
S3		33,5	53,5	52,5	53,5	51,5	50,5	54,5	47,5	53,5	49,5	39,5	35,5	18,5	8,5	21,5	43,5	48,5	34,5	44,5	43,5	30,5	24,5	21,5	10,5
S4		43,5	63,5	62,5	63,5	61,5	60,5	64,5	57,5	63,5	59,5	49,5	45,5	28,5	18,5	31,5	53,5	58,5	44,5	54,5	53,5	40,5	34,5	31,5	20,5
S5		39,5	59,5	58,5	59,5	57,5	56,5	60,5	53,5	59,5	55,5	45,5	41,5	24,5	14,5	27,5	49,5	54,5	40,5	50,5	49,5	36,5	30,5	27,5	16,5
11/4/2020	ΣΑΒΒΑΤΟ	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23	H24
S1		5	3	8	17	24	19	33	45	25	17	14	10	4	2	0	0	0	0	4	6	6	3	0	0
S2		10	8	13	22	29	24	38	50	30	22	19	15	9	7	0	0	0	0	9	11	11	8	0	0
S3		12,5	10,5	15,5	24,5	31,5	26,5	40,5	52,5	32,5	24,5	21,5	17,5	11,5	9,5	0	0	0	0	11,5	13,5	13,5	10,5	0	0
S4		2,5	0,5	5,5	14,5	21,5	16,5	30,5	42,5	22,5	14,5	11,5	7,5	1,5	0	0	0	0	0	1,5	3,5	3,5	0,5	0	0
S5		14	12	17	26	33	28	42	54	34	26	23	19	13	11	9	9	9	9	13	15	15	12	9	9
12/4/2020	ΚΥΡΙΑΚΗ	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23	H24
S1		1	3	8	11	10	18	14	11	17	12	10	42	47	44	40	47	58	59	56	50	41	39	33	41
S2		3,5	5,5	10,5	13,5	12,5	20,5	16,5	13,5	19,5	14,5	12,5	44,5	49,5	46,5	42,5	49,5	60,5	61,5	58,5	52,5	43,5	41,5	35,5	43,5
S3		6	8	13	16	15	23	19	16	22	17	15	47	52	49	45	52	63	64	61	55	46	44	38	46
S4		0	0	5	8	7	15	11	8	14	9	7	39	44	41	37	44	55	56	53	47	38	36	30	38
S5		10,5	12,5	17,5	20,5	19,5	27,5	23,5	20,5	26,5	21,5	19,5	51,5	56,5	53,5	49,5	56,5	67,5	68,5	65,5	59,5	50,5	48,5	42,5	50,5

Εικόνα 17: Πρόγνωση παραγωγής Αιολικού Πάρκου 6-12/04/2020

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΗΜΕΡΑ	WDATA (ΠΡΟΓΝΩΣΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ)																								
		H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23	H24	
10/8/2020	ΔΕΥΤΕΡΑ	S1	22	22	21	22	22	21	19	22	23	23	23	23	22	23	23	23	23	23	23	42	46	37	34	43
		S2	24,2	24,2	23,1	24,2	24,2	23,1	20,9	24,2	25,3	25,3	25,3	25,3	24,2	25,3	25,3	25,3	25,3	25,3	25,3	46,2	50,6	40,7	37,4	47,3
		S3	20,35	20,35	19,425	20,35	20,35	19,425	17,575	20,35	21,275	21,275	21,275	21,275	20,35	21,275	21,275	21,275	21,275	21,275	21,275	38,85	42,55	34,225	31,45	39,775
		S4	19,8	19,8	18,9	19,8	19,8	18,9	17,1	19,8	20,7	20,7	20,7	20,7	19,8	20,7	20,7	20,7	20,7	20,7	20,7	37,8	41,4	33,3	30,6	38,7
		S5	23,1	23,1	22,05	23,1	23,1	22,05	19,95	23,1	24,15	24,15	24,15	24,15	23,1	24,15	24,15	24,15	24,15	24,15	24,15	44,1	48,3	38,85	35,7	45,15
11/8/2020	ΤΡΙΤΗ	S1	43	41	24	21	31	31	42	41	43	38	24	50	55	57	58	61	59	55	54	47	37	29	27	18
		S2	47,3	45,1	26,4	23,1	34,1	34,1	46,2	45,1	47,3	41,8	26,4	55	60,5	62,7	63,8	67,1	64,9	60,5	59,4	51,7	40,7	31,9	29,7	19,8
		S3	39,775	37,925	22,2	19,425	28,675	28,675	38,85	37,925	39,775	35,15	22,2	46,25	50,875	52,725	53,65	56,425	54,575	50,875	49,95	43,475	34,225	26,825	24,975	16,65
		S4	38,7	36,9	21,6	18,9	27,9	27,9	37,8	36,9	38,7	34,2	21,6	45	49,5	51,3	52,2	54,9	53,1	49,5	48,6	42,3	33,3	26,1	24,3	16,2
		S5	45,15	43,05	25,2	22,05	32,55	32,55	44,1	43,05	45,15	39,9	25,2	52,5	57,75	59,85	60,9	64,05	61,95	57,75	56,7	49,35	38,85	30,45	28,35	18,9
12/8/2020	ΤΕΤΑΡΤΗ	S1	16	17	15	10	12	17	14	26	31	34	25	21	17	38	58	61	61	61	60	61	49	37	46	27
		S2	17,6	18,7	16,5	11	13,2	18,7	15,4	28,6	34,1	37,4	27,5	23,1	18,7	41,8	63,8	67,1	67,1	67,1	66	67,1	53,9	40,7	50,6	29,7
		S3	14,8	15,725	13,875	9,25	11,1	15,725	12,95	24,05	28,675	31,45	23,125	19,425	15,725	35,15	53,65	56,425	56,425	56,425	55,5	56,425	45,325	34,225	42,55	24,975
		S4	14,4	15,3	13,5	9	10,8	15,3	12,6	23,4	27,9	30,6	22,5	18,9	15,3	34,2	52,2	54,9	54,9	54,9	54	54,9	44,1	33,3	41,4	24,3
		S5	16,8	17,85	15,75	10,5	12,6	17,85	14,7	27,3	32,55	35,7	26,25	22,05	17,85	39,9	60,9	64,05	64,05	64,05	63	64,05	51,45	38,85	48,3	28,35
13/8/2020	ΠΕΜΠΤΗ	S1	22	27	17	19	8	14	27	39	40	26	30	20	32	41	52	61	61	61	61	61	46	43	31	
		S2	24,2	29,7	18,7	20,9	8,8	15,4	29,7	42,9	44	28,6	33	22	35,2	45,1	57,2	67,1	67,1	67,1	67,1	67,1	50,6	47,3	34,1	
		S3	20,35	24,975	15,725	17,575	7,4	12,95	24,975	36,075	37	24,05	27,75	18,5	29,6	37,925	48,1	56,425	56,425	56,425	56,425	56,425	42,55	39,775	28,675	
		S4	19,8	24,3	15,3	17,1	7,2	12,6	24,3	35,1	36	23,4	27	18	28,8	36,9	46,8	54,9	54,9	54,9	54,9	54,9	41,4	38,7	27,9	
		S5	23,1	28,35	17,85	19,95	8,4	14,7	28,35	40,95	42	27,3	31,5	21	33,6	43,05	54,6	64,05	64,05	64,05	64,05	64,05	48,3	45,15	32,55	
14/8/2020	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ	S1	27	26	41	49	46	58	48	48	39	31	36	56	60	61	61	61	52	64	67	57	39	31	25	18
		S2	29,7	28,6	45,1	53,9	50,6	63,8	52,8	52,8	42,9	34,1	39,6	61,6	66	67,1	67,1	67,1	57,2	70,4	73,7	62,7	42,9	34,1	27,5	19,8
		S3	24,975	24,05	37,925	45,325	42,55	53,65	44,4	44,4	36,075	28,675	33,3	51,8	55,5	56,425	56,425	56,425	48,1	59,2	61,975	52,725	36,075	28,675	23,125	16,65
		S4	24,3	23,4	36,9	44,1	41,4	52,2	43,2	43,2	35,1	27,9	32,4	50,4	54	54,9	54,9	54,9	46,8	57,6	60,3	51,3	35,1	27,9	22,5	16,2
		S5	28,35	27,3	43,05	51,45	48,3	60,9	50,4	50,4	40,95	32,55	37,8	58,8	63	64,05	64,05	64,05	54,6	67,2	70,35	59,85	40,95	32,55	26,25	18,9
15/8/2020	ΣΑΒΒΑΤΟ	S1	11	10	16	12	11	14	12	14	18	15	5	7	5	2	6	7	20	12	13	0	0	0	0	
		S2	12,1	11	17,6	13,2	12,1	15,4	13,2	15,4	19,8	16,5	5,5	7,7	5,5	2,2	6,6	7,7	22	13,2	14,3	0	0	0	0	
		S3	10,175	9,25	14,8	11,1	10,175	12,95	11,1	12,95	16,65	13,875	4,625	6,475	4,625	1,85	5,55	6,475	18,5	11,1	12,025	0	0	0	0	
		S4	9,9	9,25	14,4	10,8	9,9	12,6	10,8	12,6	16,2	13,5	4,5	6,3	4,5	1,8	5,4	6,3	18	10,8	11,7	0	0	0	0	
		S5	11,55	10,5	16,8	12,6	11,55	14,7	12,6	14,7	18,9	15,75	5,25	7,35	5,25	2,1	6,3	7,35	21	12,6	13,65	0	0	0	0	
16/8/2020	ΚΥΡΙΑΚΗ	S1	0	0	0	0	1	4	30	35	27	13	16	14	13	19	36	61	65	61	64	63	63	47	51	50
		S2	0	0	0	0	1,1	4,4	33	38,5	29,7	14,3	17,6	15,4	14,3	20,9	39,6	67,1	71,5	67,1	70,4	69,3	69,3	51,7	56,1	55
		S3	0	0	0	0	0,925	3,7	27,75	32,375	24,975	12,025	14,8	12,95	12,025	17,575	33,3	56,425	60,125	56,425	59,2	58,275	58,275	43,475	47,175	46,25
		S4	0	0	0	0	0,9	3,6	27	31,5	24,3	11,7	14,4	12,6	11,7	17,1	32,4	54,9	58,5	54,9	57,6	56,7	56,7	42,3	45,9	45
		S5	0	0	0	0	1,05	4,2	31,5	36,75	28,35	13,65	16,8	14,7	13,65	19,95	37,8	64,05	68,25	64,05	67,2	66,15	66,15	49,35	53,55	52,5

Εικόνα 18: Πρόγνωση Παραγωγής Αιολικού Πάρκου 10-16/08/2020

## Παράρτημα Β:

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΗΜΕΡΑ	PDATA (DAM PRICES)																							
6/4/2020	ΔΕΥΤΕΡΑ	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23	H24
S1	0,00	13,88	8,95	2,33	0,12	6,00	12,00	22,45	28,95	28,98	29,00	29,01	29,00	28,99	28,87	28,87	28,23	27,00	28,23	29,41	34,70	34,70	32,77	29,64	
S2	0	15,5456	10,024	2,6096	0,1344	6,72	13,44	25,144	32,424	32,4576	32,48	32,4912	32,48	32,4688	32,3344	32,3344	31,6176	30,24	31,6176	32,9392	38,864	38,864	36,7024	33,1968	
S3	0	14,227	9,17375	2,38825	0,123	6,15	12,3	23,01125	29,67375	29,7045	29,725	29,73525	29,725	29,71475	29,59175	29,59175	28,93575	27,675	28,93575	30,14525	35,5675	35,5675	33,58925	30,381	
S4	0	12,492	8,055	2,097	0,108	5,4	10,8	20,205	26,055	26,082	26,1	26,109	26,1	26,091	25,983	25,983	25,407	24,3	25,407	26,469	31,23	31,23	29,493	26,676	
S5	0	11,104	7,16	1,864	0,096	4,8	9,6	17,96	23,16	23,184	23,2	23,208	23,2	23,192	23,096	23,096	22,584	21,6	22,584	23,528	27,76	27,76	26,216	23,712	
7/4/2020	ΤΡΙΤΗ	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23	H24
S1	0,00	23,50	22,14	20,24	19,00	20,00	23,59	30,99	33,00	35,03	32,21	29,00	28,10	28,00	22,19	29,00	26,62	28,50	28,24	32,35	38,44	38,71	32,89	28,95	
S2	0	29,375	27,675	25,3	23,75	25	29,4875	38,7375	41,25	43,7875	40,2625	36,25	35,125	35	27,7375	36,25	33,275	35,625	35,3	40,4375	48,05	48,3875	41,1125	36,1875	
S3	0	19,975	18,819	17,204	16,15	17	20,0515	26,3415	28,05	29,7755	27,3785	24,65	23,885	23,8	18,8615	24,65	22,627	24,225	24,004	27,4975	32,674	32,9035	27,9565	24,6075	
S4	0	24,675	23,247	21,252	19,95	21	24,7695	32,5395	34,65	36,7815	33,8205	30,45	29,505	29,4	23,2995	30,45	27,951	29,925	29,652	33,9675	40,362	40,6455	34,5345	30,3975	
S5	0	27,6125	26,0145	23,782	22,325	23,5	27,71825	36,41325	38,775	41,16025	37,84675	34,075	33,0175	32,9	26,07325	34,075	31,2785	33,4875	33,182	38,01125	45,167	45,48425	38,64575	34,01625	
8/4/2020	ΤΕΤΑΡΤΗ	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23	H24
S1	28,20	28,20	24,58	19,42	16,00	16,16	24,82	33,45	33,43	33,02	28,52	27,93	24,80	17,24	15,19	17,32	24,00	27,93	30,66	30,88	40,75	46,36	40,06	32,33	
S2	31,725	31,725	27,6525	21,8475	18	18,18	27,9225	37,63125	37,60875	37,1475	32,085	31,42125	27,9	19,395	17,08875	19,485	27	31,42125	34,4925	34,74	45,84375	52,155	45,0675	36,37125	
S3	29,61	29,61	25,809	20,391	16,8	16,968	26,061	35,1225	35,1015	34,671	29,946	29,3265	26,04	18,102	15,9495	18,186	25,2	29,3265	32,193	32,424	42,7875	48,678	42,063	33,9465	
S4	22,56	22,56	19,664	15,536	12,8	12,928	19,856	26,76	26,744	26,416	22,816	22,344	19,84	13,792	12,152	13,856	19,2	22,344	24,528	24,704	32,6	37,088	32,048	25,864	
S5	26,79	26,79	23,351	18,449	15,2	15,352	23,579	31,7775	31,7585	31,369	27,094	26,5335	23,56	16,378	14,4305	16,454	22,8	26,5335	29,127	29,336	38,7125	44,042	38,057	30,7135	
9/4/2020	ΠΕΜΠΤΗ	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23	H24
S1	29,62	27,88	23,20	21,26	20,70	21,00	24,62	28,20	29,63	29,65	28,62	25,08	21,35	17,66	15,84	15,75	17,85	24,00	27,93	30,71	40,68	45,47	35,34	33,07	
S2	32,582	30,668	25,52	23,386	22,77	23,1	27,082	31,02	32,593	32,615	31,482	27,588	23,485	19,426	17,424	17,325	19,635	26,4	30,723	33,781	44,748	50,017	38,874	36,377	
S3	26,658	25,092	20,88	19,134	18,63	18,9	22,158	25,38	26,667	26,685	25,758	22,572	19,215	15,894	14,256	14,175	16,065	21,6	25,137	27,639	36,612	40,923	31,806	29,763	
S4	27,3985	25,789	21,46	19,6655	19,1475	19,425	22,7735	26,085	27,40775	27,42625	26,4735	23,199	19,74875	16,3355	14,652	14,56875	16,51125	22,2	25,83525	28,40675	37,629	42,05975	32,6895	30,58975	
S5	34,063	32,062	26,68	24,449	23,805	24,15	28,313	32,43	34,0745	34,0975	32,913	28,842	24,5525	20,309	18,216	18,1125	20,5275	27,6	32,1195	35,3165	46,782	52,2905	40,641	38,0305	
10/4/2020	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23	H24
S1	33,39	28,20	23,93	20,61	18,50	20,12	23,35	28,20	29,56	28,20	28,15	22,80	18,11	14,85	11,72	12,05	15,05	19,93	28,16	29,64	37,71	39,03	31,67	30,79	
S2	36,729	31,02	26,323	22,671	20,35	22,132	25,685	31,02	32,516	31,02	30,965	25,08	19,921	16,335	12,892	13,255	16,555	21,923	30,976	32,604	41,481	42,933	34,837	33,869	
S3	30,88575	26,085	22,13525	19,06425	17,1125	18,611	21,59875	26,085	27,343	26,085	26,03875	21,09	16,75175	13,73625	10,841	11,14625	13,92125	18,43525	26,048	27,417	34,88175	36,10275	29,29475	28,48075	
S4	30,051	25,38	21,537	18,549	16,65	18,108	21,015	25,38	26,604	25,38	25,335	20,52	16,299	13,365	10,548	10,845	13,545	17,937	25,344	26,676	33,939	35,127	28,503	27,711	
S5	35,0595	29,61	25,1265	21,6405	19,425	21,126	24,5175	29,61	31,038	29,61	29,5575	23,94	19,0155	15,5925	12,306	12,6525	15,8025	20,9265	29,568	31,122	39,5955	40,9815	33,2535	32,3295	
11/4/2020	ΣΑΒΒΑΤΟ	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23	H24
S1	28,50	28,50	28,41	28,40	26,02	28,14	29,01	28,51	32,21	32,21	27,88	20,00	20,00	15,99	14,19	16,08	20,00	26,00	28,40	28,50	39,46	41,67	35,01	31,43	
S2	31,35	31,35	31,251	31,24	28,622	30,954	31,911	31,361	35,431	35,431	30,668	22	22	17,589	15,609	17,688	22	28,6	31,24	31,35	43,406	45,837	38,511	34,573	
S3	26,3625	26,3625	26,27925	26,27	24,0685	26,0295	26,83425	26,37175	29,79425	29,79425	25,789	18,5	18,5	14,79075	13,12575	14,874	18,5	24,05	26,27	26,3625	36,5005	38,54475	32,38425	29,07275	
S4	25,65	25,65	25,569	25,56	23,418	25,326	26,109	25,659	28,989	28,989	25,092	18	18	14,391	12,771	14,472	18	23,4	25,56	25,65	35,514	37,503	31,509	28,287	
S5	29,925	29,925	29,8305	29,82	27,321	29,547	30,4605	29,9355	33,8205	33,8205	29,274	21	21	16,7895	14,8995	16,884	21	27,3	29,82	29,925	41,433	43,7535	36,7605	33,0015	
12/4/2020	ΚΥΡΙΑΚΗ	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23	H24
S1	75,01	33,26	30,00	28,11	27,87	28,11	27,88	30,00	25,90	19,90	11,38	9,15	8,37	2,50	0,00	0,00	0,20	12,90	27,94	34,07	43,90	40,00	39,65	37,59	
S2	82,511	36,586	33	30,921	30,657	30,921	30,668	33	28,49	21,89	12,518	10,065	9,207	2,75	0	0	0,22	14,19	30,734	37,477	48,29	44	43,615	41,349	
S3	69,38425	30,7655	27,75	26,00175	25,77975	26,00175	25,789	27,75	23,9575	18,4075	10,5265	8,46375	7,74225	2,3125	0	0	0,185	11,9325	25,8445	31,51475	40,6075	37	36,67625	34,77075	
S4	67,509	29,934	27	25,299	25,083	25,299	25,092	27	23,31	17,91	10,242	8,235	7,533	2,25	0	0	0,18	11,61	25,146	30,663	39,51	36	35,685	33,831	
S5	78,7605	34,923	31,5	29,5155	29,2635	29,5155	29,274	31,5	27,195	20,895	11,949	9,6075	8,7885	2,625	0	0	0,21	13,545	29,337	35,7735	46,095	42	41,6325	39,4695	

Εικόνα 19: Αναμενόμενη τιμή Αγοράς Ενέργειας 6-12/04/2020

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΗΜΕΡΑ	PDATA (DAM PRICES)																							
10/8/2020	ΔΕΥΤΕΡΑ	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23	H24
S1		0,00	29,80	24,34	22,00	22,00	21,94	27,00	34,83	36,91	39,00	39,72	35,44	35,49	35,43	34,90	35,00	35,42	36,21	45,00	43,01	45,08	44,00	43,00	42,96
S2		0	32,78	26,774	24,2	24,2	24,134	29,7	38,313	40,601	42,9	43,692	38,984	39,039	38,973	38,39	38,5	38,962	39,831	49,5	47,311	49,588	48,4	47,3	47,256
S3		0	27,565	22,5145	20,35	20,35	20,2945	24,975	32,21775	34,14175	36,075	36,741	32,782	32,82825	32,77275	32,2825	32,375	32,7635	33,49425	41,625	39,78425	41,699	40,7	39,775	39,738
S4		0	26,82	21,906	19,8	19,8	19,746	24,3	31,347	33,219	35,1	35,748	31,896	31,941	31,887	31,41	31,5	31,878	32,589	40,5	38,709	40,572	39,6	38,7	38,664
S5		0	31,29	25,557	23,1	23,1	23,037	28,35	36,5715	38,7555	40,95	41,706	37,212	37,2645	37,2015	36,645	36,75	37,191	38,0205	47,25	45,1605	47,334	46,2	45,15	45,108
11/8/2020	ΤΡΙΤΗ	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23	H24
S1		93,94	67,15	67,06	53,11	50,00	51,00	53,12	48,40	42,19	40,60	40,61	39,00	39,37	42,00	38,96	39,00	41,29	49,70	46,88	50,61	57,46	65,93	68,90	68,21
S2		103,334	73,865	73,766	58,421	55	56,1	58,432	53,24	46,409	44,66	44,671	42,9	43,307	46,2	42,856	42,9	45,419	54,67	51,568	55,671	63,206	72,523	75,79	75,031
S3		86,8945	62,11375	62,0305	49,12675	46,25	47,175	49,136	44,77	39,02575	37,555	37,56425	36,075	36,41725	38,85	36,038	36,075	38,19325	45,9725	43,364	46,81425	53,1505	60,98525	63,7325	63,09425
S4		84,546	60,435	60,354	47,799	45	45,9	47,808	43,56	37,971	36,54	36,549	35,1	35,433	37,8	35,064	35,1	37,161	44,73	42,192	45,549	51,714	59,337	62,01	61,389
S5		98,637	70,5075	70,413	55,7655	52,5	53,55	55,776	50,82	44,2995	42,63	42,6405	40,95	41,3385	44,1	40,908	40,95	43,3545	52,185	49,224	53,1405	60,333	69,2265	72,345	71,6205
12/8/2020	ΤΕΤΑΡΤΗ	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23	H24
S1		112,17	67,08	67,22	101,63	66,96	66,98	66,97	53,62	39,93	41,00	38,80	38,06	38,00	37,27	37,00	37,00	38,73	41,50	40,55	46,00	48,00	43,82	43,00	44,00
S2		123,387	73,788	73,942	111,793	73,656	73,678	73,667	58,982	43,923	45,1	42,68	41,866	41,8	40,997	40,7	40,7	42,603	45,65	44,605	50,6	52,8	48,202	47,3	48,4
S3		103,75725	62,049	62,1785	94,00775	61,938	61,9565	61,94725	49,5985	36,93525	37,925	35,89	35,2055	35,15	34,47475	34,225	34,225	35,82525	38,3875	37,50875	42,55	44,4	40,5335	39,775	40,7
S4		100,953	60,372	60,498	91,467	60,264	60,282	60,273	48,258	35,937	36,9	34,92	34,254	34,2	33,543	33,3	33,3	34,857	37,35	36,495	41,4	43,2	39,438	38,7	39,6
S5		117,7785	70,434	70,581	106,7115	70,308	70,329	70,3185	56,301	41,9265	43,05	40,74	39,963	39,9	39,1335	38,85	38,85	40,6665	43,575	42,5775	48,3	50,4	46,011	45,15	46,2
13/8/2020	ΠΕΜΠΤΗ	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23	H24
S1		52,725	52,725	52,73425	52,73425	52,725	52,725	34,62275	30,07175	31,45925	25,61325	25,61325	27,5465	30,70075	28,1015	24,975	25,1415	27,9165	28,564	31,53325	32,80975	31,64425	34,225	34,225	43,0495
S2		51,3	51,3	51,309	51,309	51,3	51,3	33,687	29,259	30,609	24,921	24,921	26,802	29,871	27,342	24,3	24,462	27,162	27,792	30,681	31,923	30,789	33,3	33,3	41,886
S3		57,00	57,00	57,01	57,01	57,00	57,00	37,43	32,51	34,01	27,69	27,69	29,78	33,19	30,38	27,00	27,18	30,18	30,88	34,09	35,47	34,21	37,00	37,00	46,54
S4		59,85	59,85	59,8605	59,8605	59,85	59,85	39,3015	34,1355	35,7105	29,0745	29,0745	31,269	34,8495	31,899	28,35	28,539	31,689	32,424	35,7945	37,2435	35,9205	38,85	38,85	48,867
S5		62,7	62,7	62,711	62,711	62,7	62,7	41,173	35,761	37,411	30,459	30,459	32,758	36,509	33,418	29,7	29,898	33,198	33,968	37,499	39,017	37,631	40,7	40,7	51,194
14/8/2020	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23	H24
S1		40,31	40,31	40,46	41,40	40,31	40,31	40,31	36,61	39,31	39,55	39,55	39,31	39,44	43,00	39,37	39,28	39,26	39,49	40,13	43,46	42,10	66,00	75,30	75,00
S2		44,341	44,341	44,506	45,54	44,341	44,341	44,341	40,271	43,241	43,505	43,505	43,241	43,384	47,3	43,307	43,208	43,186	43,439	44,143	47,806	46,31	72,6	82,83	82,5
S3		37,28675	37,28675	37,4255	38,295	37,28675	37,28675	37,28675	33,86425	36,36175	36,58375	36,58375	36,36175	36,482	39,775	36,41725	36,334	36,3155	36,52825	37,12025	40,2005	38,9425	61,05	69,6525	69,375
S4		36,279	36,279	36,414	37,26	36,279	36,279	36,279	32,949	35,379	35,595	35,595	35,379	35,496	38,7	35,433	35,352	35,334	35,541	36,117	39,114	37,89	59,4	67,77	67,5
S5		42,3255	42,3255	42,483	43,47	42,3255	42,3255	42,3255	38,4405	41,2755	41,5275	41,5275	41,2755	41,412	45,15	41,3385	41,244	41,223	41,4645	42,1365	45,633	44,205	69,3	79,065	78,75
15/8/2020	ΣΑΒΒΑΤΟ	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23	H24
S1		57,00	52,00	57,01	57,01	51,00	57,00	37,43	32,51	34,01	27,69	27,69	29,78	25,00	30,38	27,00	29,00	30,18	30,88	34,09	35,47	34,21	37,00	37,00	46,54
S2		62,7	62,7	62,711	62,711	62,7	62,7	41,173	35,761	37,411	30,459	30,459	32,758	36,509	33,418	29,7	29,898	33,198	33,968	37,499	39,017	37,631	40,7	40,7	51,194
S3		59,85	59,85	59,8605	59,8605	59,85	59,85	39,3015	34,1355	35,7105	29,0745	29,0745	31,269	34,8495	31,899	28,35	28,539	31,689	32,424	35,7945	37,2435	35,9205	38,85	38,85	48,867
S4		52,725	52,725	52,73425	52,73425	52,725	52,725	34,62275	30,07175	31,45925	25,61325	25,61325	27,5465	30,70075	28,1015	24,975	25,1415	27,9165	28,564	31,53325	32,80975	31,64425	34,225	34,225	43,0495
S5		51,3	51,3	51,309	51,309	51,3	51,3	33,687	29,259	30,609	24,921	24,921	26,802	29,871	27,342	24,3	24,462	27,162	27,792	30,681	31,923	30,789	33,3	33,3	41,886
16/8/2020	ΚΥΡΙΑΚΗ	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23	H24
S1		57,00	50,00	57,01	49,00	57,00	57,00	37,43	32,51	34,01	27,69	27,69	29,78	33,19	30,38	27,00	27,18	30,18	30,88	34,09	35,47	34,21	37,00	37,00	46,54
S2		62,7	62,7	62,711	62,711	62,7	62,7	41,173	35,761	37,411	30,459	30,459	32,758	36,509	33,418	29,7	29,898	33,198	33,968	37,499	39,017	37,631	40,7	40,7	51,194
S3		52,725	52,725	52,73425	52,73425	52,725	52,725	34,62275	30,07175	31,45925	25,61325	25,61325	27,5465	30,70075	28,1015	24,975	25,1415	27,9165	28,564	31,53325	32,80975	31,64425	34,225	34,225	43,0495
S4		51,3	51,3	51,309	51,309	51,3	51,3	33,687	29,259	30,609	24,921	24,921	26,802	29,871	27,342	24,3	24,462	27,162	27,792	30,681	31,923	30,789	33,3	33,3	41,886
S5		59,85	59,85	59,8605	59,8605	59,85	59,85	39,3015	34,1355	35,7105	29,0745	29,0745	31,269	34,8495	31,899	28,35	28,539	31,689	32,424	35,7945	37,2435	35,9205	38,85	38,85	48,867

Εικόνα 20: Αναμενόμενη τιμή Αγοράς Ενέργειας 10-16/08/2020

## Παράρτημα Γ:

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΗΜΕΡΑ	Ωριαίες Προσφορές Ενέργειας																							
		H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23	H24
6/4/2020	ΔΕΥΤΕΡΑ																								
Uncoordinated Operation (Wind Farm)	xw	0	53	47	48	48	47	48	49	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	47	48	49	49	49	49
Uncoordinated Operation (Pumbe storage unit)	xp	-330	-330	-330	-330	-330	-330	-330	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	81	384	384	384	384
Uncoordinated Operation (Sum)		-330	-277	-283	-282	-282	-283	-282	49	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	47	129	433	433	433	433
Joint Operation (Selling and Buying)	xwp	-330	-277	-283	-282	-282	-283	-282	49	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	129	433	433	433	433
7/4/2020	ΤΡΙΤΗ																								
Uncoordinated Operation (Wind Farm)	xw	0	53	55	54	52	52	53	53	55	56	56	55	53	53	55	56	54	55	58	60	59	58	55	
Uncoordinated Operation (Pumbe storage unit)	xp	-330	-330	-330	-330	-330	-330	0	0	234	384	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	384	384	0	0
Uncoordinated Operation (Sum)		-330	-277	-275	-276	-278	-278	52	53	287	439	56	56	55	53	53	55	56	54	55	58	444	443	58	55
Joint Operation (Selling and Buying)	xwp	-330	53	-275	-276	-278	-278	52	53	287	439	56	56	55	53	-277	55	56	54	55	58	444	443	58	55
8/4/2020	ΤΕΤΑΡΤΗ																								
Uncoordinated Operation (Wind Farm)	xw	56	55	53	51	51	51	50	50	51	51	51	50	47	47	50	52	49	48	47	47	50	51	52	52
Uncoordinated Operation (Pumbe storage unit)	xp	0	0	0	-330	-330	-330	0	234	0	0	0	0	0	-330	-330	-330	0	0	0	0	384	384	384	0
Uncoordinated Operation (Sum)		56	55	53	-279	-279	-279	50	284	51	51	51	50	47	-283	-280	-278	49	48	47	47	434	435	436	52
Joint Operation (Selling and Buying)	xwp	56	55	53	-279	-279	-279	50	284	51	51	51	50	47	-283	-280	-278	49	48	47	47	434	435	436	52
9/4/2020	ΠΕΜΠΤΗ																								
Uncoordinated Operation (Wind Farm)	xw	53	53	53	52	53	49	49	50	51	52	55	56	55	56	56	56	57	60	60	58	54	57	51	27
Uncoordinated Operation (Pumbe storage unit)	xp	0	0	0	-220	-220	-220	0	0	0	0	0	0	-330	-330	-330	-330	-330	0	0	81	384	384	384	384
Uncoordinated Operation (Sum)		53	53	53	-168	-167	-171	49	50	51	52	55	56	-275	-274	-274	-274	-273	60	60	139	438	441	435	411
Joint Operation (Selling and Buying)	xwp	53	53	53	-278	-277	-281	49	50	51	52	55	56	-275	-274	-274	-274	-273	60	60	370	438	441	435	411
10/4/2020	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ																								
Uncoordinated Operation (Wind Farm)	xw	39,5	59,5	58,5	59,5	57,5	56,5	60,5	53,5	59,5	55,5	45,5	41,5	24,5	14,5	27,5	49,5	54,5	40,5	50,5	49,5	36,5	30,5	27,5	16,5
Uncoordinated Operation (Pumbe storage unit)	xp	384	0	0	-220	-220	-220	0	0	0	0	0	0	-330	-330	-330	-330	-330	-330	0	0	384	384	384	312
Uncoordinated Operation (Sum)		423,5	59,5	58,5	-160,5	-162,5	-163,5	60,5	53,5	59,5	55,5	45,5	41,5	-305,5	-315,5	-302,5	-280,5	-275,5	-289,5	50,5	49,5	420,5	414,5	411,5	328,5
Joint Operation (Selling and Buying)	xwp	423,5	59,5	58,5	-270,5	-272,5	-273,5	60,5	23,5	29,5	55,5	45,5	41,5	-305,5	-315	-302,5	-280,5	-275,5	-289,5	50,5	208,5	420,5	414,5	411,5	400,5
11/4/2020	ΣΑΒΒΑΤΟ																								
Uncoordinated Operation (Wind Farm)	xw	10	8	13	22	29	24	38	50	30	22	19	15	9	7	0	0	0	0	9	11	11	8	0	0
Uncoordinated Operation (Pumbe storage unit)	xp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	234	0	0	-330	-330	-330	-330	-330	0	0	0	384	384	384	0
Uncoordinated Operation (Sum)		10	8	13	22	29	24	38	50	30	256	19	15	-321	-323	-330	-330	-330	0	9	11	395	392	384	0
Joint Operation (Selling and Buying)	xwp	10	8	13	22	29	24	38	50	260	26	19	-315	-321	-323	-330	-330	-330	0	9	11	395	392	384	0
12/4/2020	ΚΥΡΙΑΚΗ																								
Uncoordinated Operation (Wind Farm)	xw	3,5	5,5	10,5	13,5	12,5	20,5	16,5	13,5	19,5	14,5	12,5	44,5	49,5	16,5	0	0	60,5	61,5	58,5	52,5	43,5	41,5	35,5	43,5
Uncoordinated Operation (Pumbe storage unit)	xp	384	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-330	-330	-330	-330	-330	-330	-330	0	159	384	384	384	384	
Uncoordinated Operation (Sum)		387,5	5,5	10,5	13,5	12,5	20,5	16,5	13,5	19,5	14,5	-317,5	-285,5	-280,5	-313,5	-330	-330	-269,5	-268,5	58,5	211,5	427,5	425,5	419,5	427,5
Joint Operation (Selling and Buying)	xwp	387,5	5,5	10,5	13,5	12,5	20,5	16,5	13,5	19,5	-315,5	-317,5	-285,5	-280,5	-283,5	-330	-330	-269,5	-268,5	58,5	211,5	427,5	425,5	419,5	427,5

Εικόνα 21: Ωριαίες προσφορές Ενέργειας 6-12/04/2020

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΗΜΕΡΑ	Ωριαίες Προσφορές Ενέργειας																								
		H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23	H24	
10/8/2020	ΔΕΥΤΕΡΑ																									
Uncoordinated Operation (Wind Farm)	xw	0	22	21	22	22	21	19	22	23	23	23	23	22	23	23	23	23	23	23	23	42	46	37	34	43
Uncoordinated Operation (Pumbe storage unit)	xp	-330	-330	-330	-330	-330	-330	-330	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	384	384	384	384	81	0
Uncoordinated Operation (Sum)		-330	-308	-309	-308	-308	-309	-311	22	23	23	23	23	22	23	23	23	23	23	23	407	426	430	421	115	43
Joint Operation (Selling and Buying)	xwp	-330	-308	-309	-308	-308	-309	-311	22	23	23	23	23	22	23	23	23	23	23	23	407	426	430	421	115	43
11/8/2020	ΤΡΙΤΗ																									
Uncoordinated Operation (Wind Farm)	xw	43	41	24	21	31	31	42	41	43	38	24	50	55	57	58	61	59	55	54	47	37	29	27	18	
Uncoordinated Operation (Pumbe storage unit)	xp	384	384	384	0	0	0	0	0	-330	-330	-330	-330	-330	-330	-330	-330	-330	0	0	0	0	159	384	384	
Uncoordinated Operation (Sum)		427	425	408	21	31	31	42	41	-287	-292	-306	-280	-275	-273	-272	-269	-271	55	54	47	37	188	411	402	
Joint Operation (Selling and Buying)	xwp	427	425	408	21	31	31	42	41	-287	-292	-306	-280	-275	-273	-272	-269	-271	55	54	47	37	188	411	402	
12/8/2020	ΤΕΤΑΡΤΗ																									
Uncoordinated Operation (Wind Farm)	xw	16	17	15	10	12	17	14	26	31	34	25	21	17	38	58	61	61	61	60	61	49	37	46	27	
Uncoordinated Operation (Pumbe storage unit)	xp	384	384	384	384	0	4	0	0	0	0	-220	-330	-330	-330	-330	-330	-330	0	0	0	0	0	0	0	
Uncoordinated Operation (Sum)		400	401	399	394	12	21	14	26	31	34	-195	-309	-313	-292	-272	-269	-269	61	60	61	49	37	46	27	
Joint Operation (Selling and Buying)	xwp	400	401	399	394	12	26	14	26	31	34	-202,143	-309	-313	-292	-272	-269	-269	61	60	61	49	37	46	27	
13/8/2020	ΠΕΜΠΤΗ																									
Uncoordinated Operation (Wind Farm)	xw	22	27	17	19	8	14	27	39	40	26	30	20	32	41	52	61	61	61	61	61	61	46	43	31	
Uncoordinated Operation (Pumbe storage unit)	xp	0	9	384	384	384	384	0	0	0	-330	-330	-330	-330	-330	-330	-330	-330	-110	0	0	0	0	0	380	
Uncoordinated Operation (Sum)		22	36	401	403	392	398	27	39	40	-304	-300	-310	-298	-289	-278	-269	-269	-49	61	61	61	46	43	411	
Joint Operation (Selling and Buying)	xwp	22	408,3	401	403	19,7	398	27	-76,714	40	-304	-300	-310	32	-289	-278	-269	-269	-269	61	61	61	46	43	415	
14/8/2020	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ																									
Uncoordinated Operation (Wind Farm)	xw	27	26	41	49	46	58	48	48	39	31	36	56	60	61	61	61	52	64	67	57	39	31	25	18	
Uncoordinated Operation (Pumbe storage unit)	xp	0	0	0	0	0	0	0	-220	-330	-330	-330	-220	-110	0	0	0	0	0	0	0	0	310	384	384	
Uncoordinated Operation (Sum)		27	26	41	49	46	58	48	-172	-291	-299	-294	-164	-50	61	61	61	52	64	67	57	39	341	409	402	
Joint Operation (Selling and Buying)	xwp	27	26	41	49	46	58	48	-282	-286,714	31	36	-274	60	61	61	-269	-278	64	67	57	39	415	409	402	
15/8/2020	ΣΑΒΒΑΤΟ																									
Uncoordinated Operation (Wind Farm)	xw	11	10	16	12	11	14	12	14	18	15	5	7	5	2	6	7	20	12	13	0	0	0	0	0	
Uncoordinated Operation (Pumbe storage unit)	xp	384	9	384	384	0	384	0	0	0	-330	-330	-330	-330	-330	-330	-330	-330	-110	0	0	0	0	0	380	
Uncoordinated Operation (Sum)		395	19	400	396	11	398	12	14	18	-315	-325	-323	-325	-328	-324	-323	-310	-98	13	0	0	0	0	380	
Joint Operation (Selling and Buying)	xwp	11	394	400	396	20	398	12	-101,714	18	-315	-325	-323	5	-328	-324	-323	-310	-318	13	0	0	0	0	384	
16/8/2020	ΚΥΡΙΑΚΗ																									
Uncoordinated Operation (Wind Farm)	xw	0	0	0	0	1	4	30	35	27	13	16	14	13	19	36	61	65	61	64	63	63	47	51	50	
Uncoordinated Operation (Pumbe storage unit)	xp	384	9	384	0	384	384	0	0	0	-330	-330	-330	-330	-330	-330	-330	-330	-110	0	0	0	0	0	380	
Uncoordinated Operation (Sum)		384	9	384	0	385	388	30	35	27	-317	-314	-316	-317	-311	-294	-269	-265	-49	64	63	63	47	51	430	
Joint Operation (Selling and Buying)	xwp	384	9	384	0	385	388	30	-80,714	27	-317	-314	-316	-317	-311	-294	-269	-265	-269	64	63	63	47	51	434	

Εικόνα 22: Ωριαίες προσφορές Ενέργειας 10-16/08/2020