



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

**Τεχνοοικονομική βελτιστοποίηση συστήματος  
συσσωρευτών για αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας**

**Αιολικού Σταθμού σε ΜΔΝ**

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΒΟΓΙΑΤΖΑΚΗΣ Κ. ΓΙΩΡΓΟΣ**

**Επιβλέπων:** Παπαθανασίου Σταύρος  
Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.  
Τομέας Ηλεκτρικής Ισχύος

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2017



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

**Τεχνοοικονομική βελτιστοποίηση συστήματος  
συσσωρευτών για αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας  
Αιολικού Σταθμού σε ΜΔΝ**

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΒΟΓΙΑΤΖΑΚΗΣ Κ. ΓΙΩΡΓΟΣ**

**Επιβλέπων:** Παπαθανασίου Σταύρος,  
Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.  
Τομέας Ηλεκτρικής Ισχύος

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή

.....  
Σ. Παπαθανασίου  
Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....  
Ν. Χατζηαργυρίου  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....  
Π. Γεωργιάκης  
Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

**ΒΟΓΙΑΤΖΑΚΗΣ Κ. ΓΙΩΡΓΟΣ**

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

## Πρόλογος

---

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία εκπονήθηκε κατά το ακαδημαϊκό έτος 2016 - 2017 στον τομέα Ηλεκτρικής Ισχύος της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του ΕΜΠ. Αντικείμενο της εργασίας είναι η τεχνοοικονομική βελτιστοποίηση συστήματος συσσωρευτών για αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας Αιολικού Σταθμού σε ΜΔΝ.

Υπεύθυνος κατά την εκπόνηση της μεταπτυχιακής εργασίας ήταν ο Αναπληρωτής Καθηγητής κ. Σ. Παπαθανασίου, στον οποίο οφείλω ιδιαίτερες ευχαριστίες για την ανάθεσή της.

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2017

ΒΟΓΙΑΤΖΑΚΗΣ Κ. ΓΙΩΡΓΟΣ

Copyright © Βογιατζάκης Κ. Γιώργος, 2017

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.

## Περίληψη

---

Καθώς το Ηλεκτρικό Σύστημα των Μη Διασυνδεδεμένων Νησιών (ΜΔΝ) επιβάλλει σημαντικούς περιορισμούς στην απορρόφηση ενέργειας που παράγεται από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ), για λόγους ασφάλειας και ευστάθειας του Συστήματος, προκύπτει συχνά η ανάγκη για περικοπές στην παραγωγή των Αιολικών Σταθμών. Αυτό, αυτομάτως, συνεπάγεται ότι μειώνεται η εκμεταλλευσιμότητα της αιολικής ενέργειας και η διείσδυση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας.

Με γνώμονα τη μέγιστη εκμετάλλευση του αιολικού δυναμικού, τηρώντας οικονομικά κριτήρια για τη βιωσιμότητα και την εύλογη απόδοση της επένδυσης, διερευνάται η δυνατότητα αποθήκευσης της απορριπτόμενης ηλεκτρικής ενέργειας και η έγχυσή της σε μεταγενέστερη στιγμή στο Δίκτυο. Η τεχνολογία που θα εξεταστεί για την αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας είναι οι συσσωρευτές, δηλαδή η αποθήκευση της με τη μορφή χημικής ενέργειας. Παράλληλα θα εξεταστεί η δυνατότητα που προσφέρει η αποθήκευση για την αντιστάθμιση της μεταβλητότητας της παραγωγής αιολικού σταθμού και η συμβολή της στην παροχή «εγγυημένης» ισχύος (capacity firming)

Η επιλογή πολιτικής διαχείρισης της αποθήκευσης και έγχυσης της αποθηκευμένης ενέργειας, καθώς και ο τύπος των συσσωρευτών, η αποθηκευτική τους ικανότητα, η ισχύς τους και η μέθοδος διασύνδεσης θα διαμορφωθεί ανάλογα με το τους επιδιωκόμενους στόχους (αξιοποίηση περικοπών, αντιστάθμιση μεταβλητότητας, παροχή επικουρικών υπηρεσιών προς το Δίκτυο, ένταξη του Αιολικού Πάρκου ως κατανεμόμενης μονάδας ή άλλης πολιτικής που ενδεχομένως να προκύψει μέσα από την εξέταση του προβλήματος).

Καθώς πρόκειται για ένα πολυπαραγοντικό πρόβλημα, θα διεξαχθεί και ανάλυση ευαισθησίας των πλέον σημαντικών παραμέτρων, με στόχο να αυξηθεί η διείσδυση των ΑΠΕ στο Ηλεκτρικό Σύστημα ΜΔΝ, επιδιώκοντας ταυτόχρονα την οικονομική βιωσιμότητα της επένδυσης.

## Abstract

---

As the Electrical System of the Non Interconnected Islands imposes severe restrictions in the penetration of Renewable Energy Sources, for safety and stability reasons, it is often necessary to abort energy produced from Wind Farms. As a result, the profitability of such Farms reduces dramatically.

For that reason, we study the possibility of using an Energy Storage System in order to raise the Capacity Factor of Wind Farms, while achieving an acceptable profit for the investors . With such a system it is possible to store the energy that the Administrator aborts and inject it in the Grid later, when the wind power is lower than the permitted penetration limit. At the same time we will study the contribution of an ESS in reducing the variance of Wind Turbine power, which is directly depended on the variance of the wind speed, or even the possibility for the Wind Farm to maintain its power at a committed level for a period of time (capacity firming)

In order to achieve the desired goal, we have to study different options concerning the operation method of the ESS, the type of the batteries that will be used in it as well as their capacity and the way that the ESS will be implemented and interconnected on the grid.

Finally, as this is a multi-variable study, a sensitivity analysis will be conducted for the most important variables in order to demonstrate how they affect the RES energy penetration as well as the profitability of the investment.

## Λέξεις Κλειδιά

---

Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας – Αποθήκευσης Ηλεκτρικής Ενέργειας – Υβριδικός Σταθμός –  
Συσσωρευτές – Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας – Αιολικό Πάρκο

## Index Terms

---

Electric Power Grid – Energy Storage Systems – Hybrid Unit – Batteries – Wind Turbine – Renewable  
Energy Sources

## Περιεχόμενα

Πρόλογος	3
Περίληψη	4
Abstract	5
Λέξεις Κλειδιά	6
Index Terms	6
Περιεχόμενα	7
Κεφάλαιο 1. ΑΠΕ και υβριδικά συστήματα	10
1.1 Εισαγωγή	10
1.2 Χαρακτηριστικά Ανεμογεννητριών καμπύλες ισχύος	11
1.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα Ανεμογεννητριών	11
1.3.1 Πλεονεκτήματα	11
1.3.2 Μειονεκτήματα	12
1.4 Μέγιστο ποσοστό αιολικής διείσδυσης	13
1.4.1 Κριτήρια Ορθής Λειτουργίας	13
1.4.2 Οικονομοτεχνικά Κριτήρια	13
1.5 Υβριδικά συστήματα	15
1.5.1 Λόγοι ανάπτυξης υβριδικών συστημάτων στα ελληνικά νησιά	15
1.5.2 Συμβατικά Υβριδικά Συστήματα	16
1.5.3 Φιλοσοφία ανάπτυξης υβριδικών συστημάτων ΑΠΕ	17
1.5.4 Τεχνολογίες αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας	17
Κεφάλαιο 2. Συσσωρευτές Ιόντων Λιθίου (Li-Ion)	19
2.1 Υλικά θετικού ηλεκτροδίου	19
2.2 Υλικά αρνητικού ηλεκτροδίου	20
2.3 Ηλεκτροχημεία του κελιού	21
2.4 Ηλεκτρολύτης	22
2.5 Σύγκριση διαφόρων τύπων μπαταριών λιθίου ιόντων	23
2.6 Μοντέλα μπαταριών Li-ion	25
Κεφάλαιο 3. Σύστημα Αποθήκευσης με Μπαταρίες του ΥΒΣ	28
3.1 Βαθμός Απόδοσης Μπαταριών Li-ion και PCS	28
3.2 Μετασχηματιστής ανύψωσης τάσης	31
3.3 Αντιστροφέας	32
3.4 Διάρκεια Ζωής των Μπαταριών Li-ion	33
Κεφάλαιο 4. Ρυθμιστικό Πλαίσιο Λειτουργίας	36
4.1 Κυλιόμενος Ημερήσιος Ενεργειακός Προγραμματισμός (ΚΗΕΠ)	36
4.1.1 Δήλωση Παραγωγής και Φορτίου των ΥΒΣ	37
4.2 Γενικοί Κανόνες Ένταξης και Λειτουργίας Μονάδων ΑΠΕ/ΣΗΘΥΑ Υβριδικών Σταθμών	38
4.3 Κανόνες Ένταξης και Λειτουργίας για Υβριδικούς Σταθμούς	38
4.1.2 Υποχρεώσεις του παραγωγού Υβριδικού Σταθμού	38

4.1.3	Υποχρεώσεις του Διαχειριστή του ΜΔΝ	39
4.1.4	Ελεγχόμενες μονάδες Υβριδικού Σταθμού	39
4.1.5	Μονάδες Απορρόφησης Ενέργειας	40
4.4	Γενικές αρχές τιμολόγησης των ΥΒΣ	41
4.1.6	Κανόνες τιμολόγησης ΥΒΣ	41
4.1.7	Αμοιβή για την έγχυση ενέργειας στο δίκτυο	42
4.1.8	Αμοιβή Διαθεσιμότητας Ισχύος	43
4.1.9	Αμοιβή για τις επικουρικές υπηρεσίες	43
4.1.10	Χρέωση ΥΒΣ για την απορρόφηση ενέργειας από το δίκτυο.	43
4.1.11	Επιβολή κυρώσεων σε ΥΒΣ	44
4.1.12	Μετρητές Εγκαταστάσεων.	44
Κεφάλαιο 5.	Δεδομένα Δικτύου και Πολιτικές Λειτουργίας	45
5.1	Χαρακτηριστικά Φορτίου	45
5.2	Χαρακτηριστικά Θερμικών Σταθμών	47
5.3	Ανεμολογικά Χαρακτηριστικά	47
5.4	Χαρακτηριστικά Ανεμογεννήτριας	48
5.5	Αιολική Παραγωγή	49
5.6	Παραγωγή Φωτοβολταϊκών Σταθμών	51
5.7	Πολιτικές Ένταξης και Λειτουργίας	52
5.7.1	Αιολικός Σταθμός χωρίς Αποθήκευση	52
5.7.2	Μη κατανεμόμενος σταθμός με αποθήκευση	55
5.7.3	Κατενεμόμενος σταθμός με αποθήκευση	56
Κεφάλαιο 6.	Αποτελέσματα	58
6.1	1η πολιτική λειτουργίας	58
6.1.1	Ανεμογεννήτρια 0.6 MW	58
6.1.2	Ανεμογεννήτρια 0.9 MW	63
6.1.3	Ανεμογεννήτρια 1.2 MW	68
6.1.4	Ανεμογεννήτρια 1.5 MW	72
6.1.5	Συμπεράσματα 1ης πολιτικής λειτουργίας	77
6.2	2η πολιτική λειτουργίας	78
6.2.1	Υπολογισμός Χωρητικότητας Συσσωρευτών	79
6.2.2	Ανεμογεννήτρια 600 kW – Συσσωρευτές 150 kW / 225 kWh	87
6.2.3	Ανεμογεννήτρια 600 kW – Συσσωρευτές 300 kW / 450 kWh	94
6.2.4	Ανεμογεννήτρια 600 kW – Συσσωρευτές 450 kW / 675 kWh	101
6.2.5	Ανεμογεννήτρια 600 kW – Συσσωρευτές 600 kW / 900 kWh	108
6.2.6	Συμπεράσματα 2ης πολιτικής	115
6.3	3η πολιτική λειτουργίας	116
6.3.1	Ανεμογεννήτρια 600 kW – Συσσωρευτές 0.66 MW/0.99 MWh – 20 min πρόβλεψης	118
6.3.2	Ανεμογεννήτρια 900 kW – Συσσωρευτές 0.99 MW/1.49 MWh – 20 min πρόβλεψης	128
6.3.3	Ανεμογεννήτρια 1200 kW – Συσσωρευτές 1,32 MW/1.98 MWh – 20 min πρόβλεψης	138
6.3.4	Ανεμογεννήτρια 1500 kW – Συσσωρευτές 1,5 MW/2,48 MWh – 20 min πρόβλεψης	148



---

6.3.5	Ανεμογεννήτρια 600 kW – Συσσωρευτές 0,66 MW/0,99 MWh – 60 min πρόβλεψης	158
6.3.6	Ανεμογεννήτρια 900 kW – Συσσωρευτές 0,99 MW/1,49 MWh – 60 min πρόβλεψης	167
6.3.7	Ανεμογεννήτρια 1200 kW – Συσσωρευτές 1,32 MW/1,98 MWh – 60 min πρόβλεψης	177
6.3.8	Ανεμογεννήτρια 1500 kW – Συσσωρευτές 1,5 MW/2,48 MWh – 20 min πρόβλεψης – 60 min πρόβλεψης	187
6.3.9	Ανάλυση Ευαισθησίας IRR	197
6.3.10	Συμπεράσματα 3ης πολιτικής	200
Κεφάλαιο 7.	Συμπεράσματα - Προβληματισμοί	204
Κεφάλαιο 8.	Βιβλιογραφία	205
Κεφάλαιο 9.	Κατάλογος Πινάκων και Σχημάτων	207

## Κεφάλαιο 1. ΑΠΕ και υβριδικά συστήματα [10]

---

### 1.1 *Εισαγωγή*

Οι άνεμοι, δηλαδή οι μεγάλες μάζες αέρα που μετακινούνται με ταχύτητα από μία περιοχή σε κάποια άλλη, οφείλονται στην ανομοιόμορφη θέρμανση της επιφάνειας της Γης από την ηλιακή ακτινοβολία. **Η αιολική ενέργεια** είναι η ενέργεια του ανέμου που προέρχεται από τη μετακίνηση αερίων μαζών της ατμόσφαιρας. Το συνολικό εκμεταλλεύσιμο αιολικό δυναμικό της Ελλάδας μπορεί να καλύψει ένα μεγάλο μέρος των ηλεκτρικών αναγκών της. Η κινητική ενέργεια των ανέμων είναι τόση που, με βάση τη σημερινή τεχνολογία εκμετάλλευσής της, θα μπορούσε να καλύψει πάνω από δύο φορές τις ανάγκες της ανθρωπότητας σε ηλεκτρική ενέργεια.

Η εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας χάνεται στα βάθη της ιστορίας. Για πολλές εκατοντάδες χρόνια η κίνηση των πλοίων στηριζόταν στη δύναμη του ανέμου, ενώ η χρήση του ανεμόμυλου ως κινητήριας μηχανής εγκαταλείπεται μόλις στα μέσα του προηγούμενου αιώνα. Είναι η εποχή που εξαπλώνονται ραγδαία τα συμβατικά καύσιμα και ο ηλεκτρισμός, ο οποίος φτάνει ως τα πιο απομακρυσμένα σημεία. Η πετρελαϊκή κρίση στις αρχές της δεκαετίας του 70, φέρνει ξανά στο προσκήνιο τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) και την αιολική ενέργεια. Στο διάστημα μέχρι σήμερα, σημειώνεται μια αλματώδης ανάπτυξη, κάτι που ενισχύεται και από την επιτακτική ανάγκη για την προστασία του περιβάλλοντος. Γίνεται πλέον συνείδηση σε όλο και περισσότερο κόσμο, πως ο άνεμος είναι μια καθαρή ανεξάντλητη πηγή ενέργειας.

Τα σύγχρονα συστήματα εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας αφορούν κυρίως μηχανές που μετατρέπουν την ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική ενέργεια και ονομάζονται ανεμογεννήτριες.

Η σημαντικότερη οικονομικά εφαρμογή των ανεμογεννητριών είναι η σύνδεσή τους στο ηλεκτρικό δίκτυο μιας χώρας. Στην περίπτωση αυτή, ένα αιολικό πάρκο, δηλαδή μία συστοιχία πολλών ανεμογεννητριών, εγκαθίσταται και λειτουργεί σε μία περιοχή με υψηλό αιολικό δυναμικό και διοχετεύει το σύνολο της παραγωγής του στο ηλεκτρικό σύστημα. Υπάρχει βέβαια και η δυνατότητα οι ανεμογεννήτριες να λειτουργούν αυτόνομα, για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε περιοχές που δεν ηλεκτροδοτούνται, μηχανικής ενέργειας για χρήση σε αντλιοστάσια, καθώς και θερμότητας. Όμως, η ισχύς που παράγεται σε εφαρμογές αυτού του είδους είναι περιορισμένη, το ίδιο και η οικονομική τους σημασία.

Πολλοί ερευνητές εργάζονται για να βρουν περισσότερους αποτελεσματικούς τρόπους για αυτή την εκμετάλλευση. Η εγκατάσταση και λειτουργία των αιολικών πάρκων και των υβριδικών συστημάτων σε μικρότερα και μεγαλύτερα νησιά αποκάλυψε τα εμπόδια και τις δυνατότητες εκμετάλλευσης των ΑΠΕ. Η στοχαστική συμπεριφορά του αιολικού δυναμικού, σε συνδυασμό με τις διακυμάνσεις της ζήτησης ενέργειας από τις καταναλώσεις σε καθημερινή βάση αλλά και ανάλογα την εποχή, περιορίζουν τη χρήση των ΑΠΕ για την ικανοποίηση χωρίς αποθήκευση ενέργειας, των ενεργειακών αναγκών των νησιών.

## 1.2 *Χαρακτηριστικά Ανεμογεννητριών καμπύλες ισχύος*

Ενδιαφέρον, για την εκμετάλλευση του αιολικού δυναμικού τους, έχουν οι περιοχές με ικανοποιητικές μέσες ταχύτητες ανέμου. Ένα πάρκο ανεμογεννητριών, το οποίο σε ταχύτητα 8m/sec αποδίδει 1600KW, σε ταχύτητα 4m/s αποδίδει μόνο 200 KW. Σημαντικό ρόλο παίζει ο τόπος εγκατάστασης των ανεμογεννητριών. Η ύπαρξη ανωμαλιών του εδάφους, κτιρίων, δέντρων ή εμποδίων γενικά μπορεί να δημιουργήσει στροβιλισμούς και να μειώσει την αποδοτικότητα. Πριν την επιλογή της περιοχής απαιτείται μελέτη στατιστικών μετεωρολογικών δεδομένων για τις κατευθύνσεις των κυρίαρχων ανέμων για περίοδο ενός χρόνου.

Στα νησιά του Αιγαίου, στην Κρήτη και στην Αν. Στερεά Ελλάδα οι μέσες ταχύτητες ανέμου είναι 6 - 7 m/s, με αποτέλεσμα το κόστος της παραγόμενης ενέργειας να είναι ιδιαίτερα ικανοποιητικό, γι' αυτό παρατηρείται πληθώρα έργων εκμετάλλευσης στις περιοχές αυτές. Μετά την απελευθέρωση της αγοράς της ηλεκτρικής ενέργειας, υποβλήθηκαν 350 αιτήσεις για άδεια αιολικών εγκαταστάσεων.

## 1.3 *Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα Ανεμογεννητριών*

### 1.3.1 Πλεονεκτήματα

Κατά αρχήν πρόκειται για "καθαρή" ενέργεια. Η χρήση μιας τουρμπίνας 600KW, σε κανονικές συνθήκες, αποτρέπει την αποβολή 1200 τόνων CO<sub>2</sub> ετησίως, που θα αποβάλλονταν στο περιβάλλον αν χρησιμοποιούσαμε άλλη πηγή για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, όπως π.χ. άνθρακας. Δεν έχει καμιά επιβάρυνση για το περιβάλλον και ο τρόπος παραγωγής έχει αδιαμφισβήτητη ασφάλεια. Η αιολική ενέργεια είναι σήμερα η πιο φτηνή απ' όλες τις υπάρχουσες ήπιες μορφές και είναι ανεξάντλητη. Η παραγωγή ενέργειας από μια ανεμογεννήτρια κατά τα 20 χρόνια λειτουργίας της ισοδυναμεί με την 80πλάσια ποσότητα ενέργειας που απαιτείται για την κατασκευή, λειτουργία και καταστροφή της όταν αυτή κριθεί ανενεργή.

Το 1999 η αιολική ενέργεια κάλυψε το 10% των αναγκών για ηλεκτρισμό στη Δανία και το 2003 αναμένεται να καλύψει το 14%. Θεωρητικά, η αξιοποίηση του αιολικού δυναμικού της Ευρώπης στο μέγιστο θα μπορούσε να καλύψει όλες τις ανάγκες για ηλεκτρική ενέργεια. Στην Ευρώπη, στις αρχές του 1999, πάνω από 6600MW κάλυψαν τις ανάγκες 7 εκατομμυρίων ανθρώπων.

Το συνολικό εκμεταλλεύσιμο αιολικό δυναμικό της Ελλάδας μπορεί να καλύψει ένα μεγάλο μέρος των ηλεκτρικών αναγκών της. Είναι γνωστό ότι η κάλυψη του 15% των ηλεκτρικών αναγκών της χώρας, που αντιστοιχεί σε 6,45 Twh, το 2001 μπορεί να επιτευχθεί οικονομικά με την ανάπτυξη των Αιολικών Πάρκων.

Οι προηγμένες τεχνολογίες, εν προκειμένω, στην αεροδυναμική, στην αντοχή των υλικών και στη μετεωρολογία, έχουν συνεισφέρει σε ετήσια αύξηση 5% στην απόδοση ανά τετραγωνικό μέτρο έλικα (στατιστικά στοιχεία καταγεγραμμένα στη Δανία μεταξύ 1980 - 1995). Επίσης, έρευνες που γίνονται στην Ευρώπη και τις ΗΠΑ, προσανατολίζονται στη θεαματική μείωση του κόστους παραγωγής της γύρω στο 2005.

Σήμερα, ο σχετικός τομέας στη βιομηχανία προσφέρει 40.000 θέσεις εργασίας παγκοσμίως. Οι δημοσκοπήσεις σε ευρωπαϊκές χώρες, όπως Δανία, Γερμανία, Ολλανδία, Μ. Βρετανία έδειξαν ότι το 70% του πληθυσμού προτιμά την παραγωγή και χρήση αιολικής ενέργειας. Η Δανία κατέχει την πρώτη θέση στην παγκόσμια παραγωγή. Το παραγόμενο αιολικό δυναμικό στη Δανία το 1998 ήταν 1200 MW και το ίδιο έτος οι Δανοί κατασκευαστές κατείχαν το 50% της παγκόσμιας αγοράς σε ανεμογεννήτριες.

### 1.3.2 Μειονεκτήματα

Ένα σημαντικό μειονέκτημα της αιολικής ενέργειας είναι ότι εξαρτάται άμεσα από την ύπαρξη ικανοποιητικών ταχυτήτων ανέμου. Δεδομένου ότι οι ταχύτητες του ανέμου διαφέρουν από μήνα σε μήνα αλλά και από δευτερόλεπτο σε δευτερόλεπτο, το επίπεδο της αιολικής παραγωγής αλλάζει συνεχώς. Μερικές φορές οι ανεμογεννήτριες δεν παράγουν καθόλου ενέργεια καθώς ο άνεμος δεν φυσάει πάντα. Επειδή δεν υπάρχουν δυνατότητες για οικονομική αποθήκευση μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας, επιβάλλεται να υπάρχει εφεδρεία συμβατικών σταθμών για το σύνολο της εγκατεστημένης ισχύος των ανεμογεννητριών.

Λύση στο πρόβλημα αυτό δίνει η μετατροπή της αιολικής ενέργεια σε κάποια άλλη μορφή και στη συνέχεια η αποθήκευσή της. Δίνεται έτσι η δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί μεταγενέστερα η αποθηκευμένη ενέργεια σε στιγμές που το Σύστημα θα μπορεί να την απορροφήσει.

## 1.4 *Μέγιστο ποσοστό αιολικής διείσδυσης*

### 1.4.1 Κριτήρια Ορθής Λειτουργίας

Σε μια προσπάθεια καθορισμού του μέγιστου οικονομικά βιώσιμου ποσοστού αιολικής διείσδυσης, πρέπει να υπογραμμιστεί ότι οι ανεμογεννήτριες είναι μηχανές μεταβαλλόμενης παραγωγής ενέργειας, δεδομένου ότι αξιοποιούν ένα φυσικό φαινόμενο με στοχαστική συμπεριφορά – τη ροή του ανέμου. Η εισαγωγή τους συνεπώς σε ένα ηλεκτρικό δίκτυο, πέρα από τα σημαντικά θετικά στοιχεία που προσφέρει, προκαλεί επίσης ικανό αριθμό διαταραχών (διακύμανση τάσεως – συχνότητας, ασυμμετρία δικτύου, επαγωγικά φορτία κλπ) που αν και ασήμαντες για ισχυρά δίκτυα, είναι εν τούτοις συχνά απαγορευτικές για μικρά ασθενή νησιώτικα δίκτυα. Για την αντιμετώπιση της πραγματικότητας αυτής, οι ηλεκτρικές εταιρίες (Η/Ε) (π.χ. ΔΕΗ) επιτρέπουν την ενεργειακή συμμετοχή αιολικών μηχανών μόνο σε ποσοστό 30% της στιγμιαίας ζήτησης φορτίου κατά μέγιστο, ιδιαίτερα σε νησιά που καλύπτονται με ηλεκτροπαραγωγή ζεύγη στηριζόμενα σε εμβολοφόρους μηχανές εσωτερικής καύσης (ΜΕΚ). Το ποσοστό αυτό καθορίζεται σε συνδυασμό με το επιλεγμένο σημείο λειτουργίας των ΜΕΚ του αυτόνομου σταθμού παραγωγής (ΑΣΠ) και της ελαστικότητας φορτίου αυτών, ώστε σε περίπτωση ξαφνικής απώλειας της παραγωγής των αιολικών μηχανών (βλάβη, πτώση ταχύτητας ανέμου) να είναι δυνατή η στιγμιαία ανάληψη του απαιτούμενου φορτίου από τις εν λειτουργία ευρισκόμενες ΜΕΚ του ΑΣΠ, χωρίς δημιουργία προβλήματος στο τοπικό δίκτυο (απώλεια φορτίου, πλήρες black out κλπ). Σε περίπτωση ύπαρξης αεροστροβίλων είτε υδροστροβίλων, λόγω της ικανότητας άμεσης ανάληψης φορτίου (χρόνος αντίδρασης περίπου 4''), παρέχεται η δυνατότητα μεγαλύτερης συμμετοχής των αιολικών μηχανών στο δίκτυο.

### 1.4.2 Οικονομοτεχνικά Κριτήρια

Ωστόσο, από πλευρά οικονομικής αξιολόγησης μιας αντίστοιχης επένδυσης είναι κατανοητό ότι η δημιουργία αιολικών σταθμών ονομαστικής ισχύος έως το 30% του φορτίου αιχμής του τοπικού δικτύου (προϋπόθεση έγκρισης οριοθέτησης Υ.Α. 8295195) αποτελεί άνευ πρακτικής σημασίας όριο, άρα γραφειοκρατικό περιορισμό, καθώς το μέγιστο φορτίο του δικτύου εμφανίζεται ελάχιστες φορές ετησίως. Πράγματι, από τα διαθέσιμα επίσημα στοιχεία προκύπτει ότι ο συντελεστής φορτίου των ΑΣΠ του Αιγαίου κυμαίνεται σε επίπεδα 35% έως 50%. Το γεγονός αυτό οδηγεί στο εξής πρακτικό αποτέλεσμα: «Εφόσον σε νησιώτικα δίκτυα δημιουργηθούν αιολικές εγκαταστάσεις μεγέθους ίσου με το 30% του φορτίου αιχμής του δικτύου, η δυνατότητα απορρόφησης της παραγόμενης ενέργειας δεν μπορεί να ξεπερνά το 10% ( $\approx 0,35 \times 30\%$ ) έως 15%

( $\approx 0,50 \times 30\%$ ) της ετήσιας ενεργειακής κατανάλωσης του νησιού, ακόμα και στην απίθανη περίπτωση πλήρους συγχρονισμού υψηλής ζήτησης ενέργειας και υψηλής ταχύτητας ανέμου». Πιο συγκεκριμένα, με βάση εκτεταμένη έρευνα που παρουσιάστηκε στο παρελθόν βασισμένη σε πραγματικά αναλυτικά στοιχεία, η μέγιστη ενεργειακή συμμετοχή των προτεινόμενων αιολικών πάρκων σε νησιά όπως η Σύρος, η Άνδρος και η Κέα (μη διασυνδεδεμένα την εποχή εκείνη) δεν ξεπερνά το 9% ετησίως.

Συνεπώς, βάσει των παραπάνω προκύπτει ότι το θεωρητικό μέγιστο της αιολικής διείσδυσης σε απομονωμένα δίκτυα, στα οποία λειτουργούν ΑΣΠ, δεν υπερβαίνει το 15% ενώ στην πραγματικότητα η επιτυγχάνομενη μέγιστη διείσδυση – απουσία έργων αποθήκευσης αιολικής / ηλεκτρικής ενέργειας – δεν υπερβαίνει το 8% ετησίως.

Για την επιβεβαίωση της ισχύουσας πραγματικότητας, υπενθυμίζεται ότι η ΔΕΗ – μετά από ισχυρές πιέσεις – σε συμφωνίες αγοράς αιολικής ενέργειας από ιδιώτες παραγωγούς (P.P.A.), ακόμα και σε μεγάλα νησιά με σαφώς ισχυρότερο δίκτυο, όπως η Κρήτη, εγγυάται την είσοδο των αιολικών πάρκων μεγέθους ίσου με το 30% του φορτίου αιχμής του δικτύου, ενώ σε μικρότερα νησιά όπως π.χ. η Χίος, οι ώρες εγγυημένης αιολικής απορρόφησης σε πλήρη ανάπτυξη των αιολικών πάρκων κυμαίνονται στην περιοχή των 4000 ÷ 4500 ωρών κατά έτος.

Συνοψίζοντας, καθίσταται προφανές ότι σε περίπτωση εξάντλησης του ορίου του 30% της επιτρεπόμενης διείσδυσης αιολικής ισχύος σε ένα ασθενές ηλεκτρικό δίκτυο, η απορρόφηση της παραγόμενης αιολικής ενέργειας θα κυμαίνεται σε ποσοστά μικρότερα του 30% περιορίζοντας αντίστοιχα και τα αναμενόμενα έσοδα, καθιστώντας τις αιολικές επενδύσεις μη βιώσιμες. Αντίθετα, για την επίτευξη ικανοποιητικών εσόδων απαιτείται η εγκατάσταση αιολικών σταθμών μεγέθους έως το 10% του φορτίου αιχμής του κάθε δικτύου, ώστε να είναι δυνατή η απρόσκοπτη συμμετοχή τους στο τοπικό ενεργειακό ισοζύγιο. Οι προσπάθειες ευρύτερης αξιοποίησης των ΑΠΕ και ιδιαίτερα της Αιολικής Ενέργειας, στα αυτόνομα δίκτυα των νησιών, παρά το γεγονός του θαυμάσιου Αιολικού Δυναμικού που επικρατεί στην περιοχή τον Αιγαίου, δεν είχαν μέχρι σήμερα τα επιθυμητά αποτελέσματα, διότι από την αρχή της εγκατάστασής τους έγινε προσπάθεια προσαρμογής της λειτουργίας των ανεμογεννητριών (Α/Γ) στις ιδιαιτερότητες των πετρελαϊκών μονάδων των ΑΣΠ. Έτσι, οι Α/Γ έπαιζαν βοηθητικό ρόλο με συνέπεια η οικονομική διείσδυση των παραδοσιακών Α/Γ στα νησιά, οι οποίες χρησιμοποιούν ασύγχρονες γεννήτριες σταθερών στροφών μέχρι σήμερα να μένει σε ποσοστά κάτω του 10%. Αυτό συμβαίνει διότι οι Α/Γ αυτές είναι ανελαστικές στην λειτουργία τους και λόγω των στιγμιαίων διακυμάνσεων της ισχύος τους δυσχεραίνουν σε μεγάλο βαθμό την συνεργασία τους με τα αυτόνομα δίκτυα ιδιαίτερα τις περιόδους μειωμένης ζήτησης.

Επιπλέον, η εγκατάσταση παραδοσιακών Α/Γ μεγάλου σχετικά μεγέθους από ιδιώτες επενδυτές στα νησιά επιδεινώνει ακόμη περισσότερο την συνεργασία τους με τα αυτόνομα δίκτυα λόγω των σχετικά αυξημένων στιγμιαίων διακυμάνσεων της ισχύος τους, και έχει σαν συνέπεια να κάνει τη λειτουργία των πετρελαϊκών μονάδων ακόμη πιο αντιοικονομική (αυξημένη ειδική κατανάλωση, μεγαλύτερη καταπόνηση του εξοπλισμού, συχνότερες βλάβες, παροχή σχετικά μεγαλύτερης αέργου ισχύος λόγω μείωσης της ενεργού ισχύος τους κλπ.).

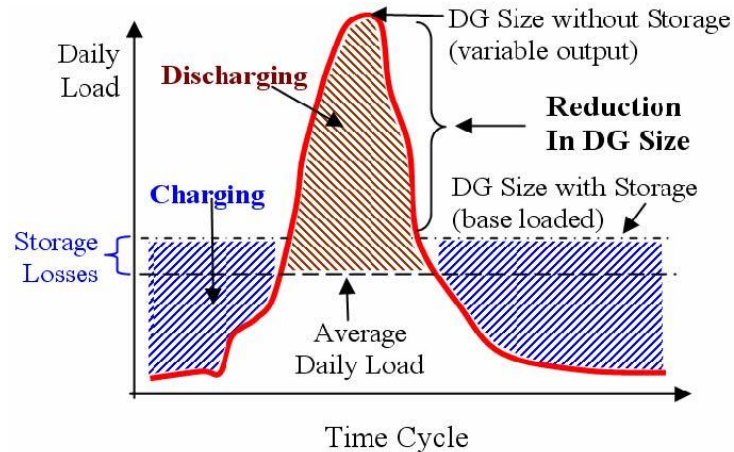
Από τεχνικής πλευράς όλα δείχνουν ότι οι πετρελαϊκές μονάδες έχουν εξαντλήσει τα περιθώρια και τις δυνατότητες οικονομικότερης παροχής Η/Ε στα αυτόνομα δίκτυα. Η εξήγηση είναι απλή και βρίσκεται στο γεγονός του χαμηλού βαθμού απόδοσης της μεθόδου μετατροπής της χημικής ενέργειας του καυσίμου σε Η/Ε και των άλλων δυσχερειών που προαναφέρθηκαν. Αυτός είναι εξάλλου και ο λόγος που οι πετρελαϊκοί σταθμοί με τα σημερινά δεδομένα δεν αποσβένονται ποτέ. Κατά συνέπεια κάθε προσπάθεια βελτίωσης της συνεργασίας των Α/Γ με τις πετρελαϊκές μονάδες ή προσαρμογής της λειτουργίας τους σε αυτές με διατήρηση του κυρίαρχου ρόλου των πετρελαϊκών μονάδων στα αυτόνομα συστήματα των νησιών δεν θα είχε επιτυχία. Έπρεπε λοιπόν να αναζητηθούν άλλες μέθοδοι ριζικής αντιμετώπισης της ανορθόδοξης και ενεργοβόρου αυτής εξέλιξης.

## 1.5 *Υβριδικά συστήματα*

### 1.5.1 Λόγοι ανάπτυξης υβριδικών συστημάτων στα ελληνικά νησιά

Η αιολική ενέργεια και η γεωθερμία προσφέρονται σήμερα πολύ ευνοϊκά για παραγωγή και αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας στα νησιά, τόσο από την άποψη του υψηλού δυναμικού όσο και του χαμηλού κόστους παραγωγής. Αργότερα, με την εξέλιξη της τεχνολογίας των φωτοβολταϊκών, αναμένεται να συνεισφέρει και η ηλιακή ενέργεια (περί το 2020).

Η στοχαστική μορφή της ενέργειας των ΑΠΕ (πχ της αιολικής ενέργειας με αιχμές παραγωγής και περιόδους νηνεμίας) και η ανάγκη αποθήκευσης μέρους της παραγόμενης ενέργειας σε σύγκριση με τη μέση ημερήσια ζήτηση (πρακτικά ένα φορτίο βάσεως) παρουσιάζεται στο Σχήμα 1.1. Είναι ένα διάγραμμα που αναφέρεται στο εγγύς μέλλον όπου γενικά οι ΑΠΕ θα καλύπτουν και το φορτίο βάσεως ενώ η αποθήκευση θα προσφέρεται στις αιχμές και περιόδους μη διαθεσιμότητας των ΑΠΕ.



Σχήμα 1-1 Κάλυψη και φορτίου βάσης από ΑΠΕ – Αποθήκευση για αιχμές και μη διαθεσιμότητα

Τα οφέλη της αποθήκευσης, εκτός από τη μεγάλη διείσδυση αιολικής και ηλιακής ενέργειας, είναι πολλά όπως η ενίσχυση του δικτύου με ισχύ και ενέργεια, η αποφόρτιση των δικτύων μεταφοράς, οι επικουρικές υπηρεσίες στο δίκτυο, η αξιοπιστία και ποιότητα, και άλλα.

### 1.5.2 Συμβατικά Υβριδικά Συστήματα

Προτείνεται η ανάπτυξη των υβριδικών συστημάτων, όπου οι ΑΠΕ μπορούν να λειτουργήσουν παράλληλα με αυτόνομους σταθμούς παραγωγής ενέργειας (ΘΗΣ) οι οποίοι είναι ήδη διαθέσιμοι σε μερικά νησιά. Οι ΘΗΣ αποτελούνται από νηξελομηχανές που λειτουργούν με πολύ μεγάλο κόστος ανά kWh. Αυτά τα συστήματα λειτουργούν στα ελληνικά νησιά, τα οποία δεν είναι συνδεδεμένα στο ηπειρωτικό δίκτυο. Τα απλά υβριδικά συστήματα (γνωστά ως πρώτης γενιάς) αποκάλυψαν πολλές ασυμβατότητες μεταξύ ΑΠΕ και ΘΗΣ όπως διακυμάνσεις συχνότητας και τάσης. Σε κάθε περίπτωση ο ΘΗΣ χρησιμοποιούταν ως η κύρια πηγή ενέργειας και τα ηλιακά και αιολικά συστήματα ως η δευτερεύουσα πηγή καλύπτοντας μόνο το 10% της συνολικής ενεργειακής ζήτησης. Παρά ταύτα η δυνατή επιθυμία της κυβέρνησης και των τοπικών αρχών για μεγαλύτερη διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών οδήγησε στην ανάπτυξη των υβριδικών συστημάτων δεύτερης γενιάς. Σε αυτά τα συστήματα, η κύρια ιδέα είναι η χρήση πολλαπλών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας οι οποίες λειτουργούν αυτόνομα και οι θερμικές μηχανές οι οποίες θα χρησιμοποιούνται μόνο αν η ζήτηση είναι μεγαλύτερη από την παραγωγή από τις ΑΠΕ. Ένα καλό παράδειγμα ενός υβριδικού συστήματος δεύτερης γενιάς βρίσκεται στο νησί της Κύθνου, όπου μια ανεμογεννήτρια (500 kW), ένας υδροηλεκτρικός σταθμός (100 kW) και ένας ΘΗΣ (1990 kW) λειτουργούν παράλληλα. Χρησιμοποιούνται επιπλέον οι μπαταρίες ως μέσα αποθήκευσης. Ένα άλλο ενδιαφέρον υβριδικό σύστημα δεύτερης γενιάς βασίζεται στη συνεργασία μεταξύ ανεμογεννητριών και μικρών αναστρέψιμων υδροηλεκτρικών συστημάτων, τα οποία λειτουργούν παράλληλα με τους ΘΗΣ. Αυτός ο



τύπος συστημάτων προτείνεται για νησιά των οποίων το φορτίο είναι μεγάλο και η χρήση μπαταριών είναι απαγορευτική. Η διείσδυση των συστημάτων ΑΠΕ στο τοπικό δίκτυο του νησιού χρησιμοποιώντας μπαταρίες ως μέσα αποθήκευσης αναμένεται να φτάσει μόνο το 50% της συνολικής ενεργειακής ζήτησης. Χρησιμοποιώντας όμως υδροηλεκτρικούς σταθμούς ως μέσα αποθήκευσης, η διείσδυση μπορεί να φτάσει το 80%.

### 1.5.3 Φιλοσοφία ανάπτυξης υβριδικών συστημάτων ΑΠΕ

Φυσικό επακόλουθο της πολύχρονης εμπειρίας και των εξειδικευμένων γνώσεων από τη μια μεριά, που αποκτήθηκαν σταδιακά και είναι συσσωρευμένες στο διάσπαρτο στελεχιακό δυναμικό της ΔΕΗ και της συστηματικής ανάλυσης των παραπάνω προβλημάτων, εμποδίων και οικονομικών λειτουργικών στοιχείων από την άλλη ήταν η έρευνα, η ανάπτυξη και η εφαρμογή κατάλληλων για κάθε περίπτωση υβριδικών συστημάτων. Βασικό κριτήριο σχεδιασμού των συστημάτων αυτών ήταν η εξασφάλιση ευστάθειας στο δίκτυο όταν διακόπτεται η λειτουργία όλων των πετρελαϊκών μονάδων. Με λίγα λόγια οι Α/Γ έπρεπε να γίνουν βασική πηγή ενέργειας. Επιπλέον η χρήση Α/Γ μεταβλητών στροφών με δυνατότητα ταχείας ρύθμισης ενεργού και παροχή άεργου ισχύος τους λύνει τα προβλήματα στην πηγή τους πριν δηλαδή παρουσιαστούν και συμβάλει καθοριστικά στην εξασφάλιση ευστάθειας του δικτύου. Έτσι αποφεύγονται επενδύσεις πρόσθετου εξοπλισμού αντιστάσεων απόρριψης φορτίου και το κυριότερο δυσάρεστα για τους καταναλωτές μεταβατικά φαινόμενα και αστάθειας του δικτύου. Στις περιπτώσεις τέλος που είναι δυνατό να προσαρμοστεί η στοχαστική εμφάνιση της αιολικής ενέργειας στη ζήτηση μέσω ενδιάμεσης μεσοπρόθεσμης (της τάξης μερικών 24ώρων) αποθήκευσης ενέργειας (π.χ. μπαταρίες για μικρά συστήματα, λιμνοδεξαμενές και παραγωγή υδρογόνου για μεγαλύτερα κλπ.) τότε η οικονομική διείσδυση της αιολικής ενέργειας στα αυτόνομα δίκτυα μπορεί να ξεπεράσει ποσοστά της τάξης του 90%. υβριδικά συστήματα ΑΠΕ του είδους αυτού που προέκυψαν σαν αποτέλεσμα πολυετών προσπαθειών και αναζητήσεων είναι το αντικείμενο της εν λόγω εργασίας και περιγράφονται συνοπτικά στην συνέχεια.

### 1.5.4 Τεχνολογίες αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας

Τα συστήματα αποθήκευσης έχουν δύο βασικές παραμέτρους, την ισχύ και την ενέργεια. Η διάρκεια της εκφόρτισης είναι ο χρόνος εκφόρτισης στην ονομαστική ισχύ μετά από πλήρη φόρτιση, πχ ισχύς 1MW με ικανότητα αποθήκευσης 3 MWh εκφράζεται 1 MW για 3 ώρες. Οι τεχνολογίες αποθήκευσης αναφέρονται σε απ' ευθείας αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας (όπως υπέρ-πυκνωτές-supercaps και υπεραγώγιμη μαγνητική ενέργεια-SMES σε εξέλιξη) και σε έμμεση αποθήκευση, δηλαδή με την μετατροπή σε μια άλλη μορφή ενέργειας στον κύκλο, όπως είναι η μηχανική ενέργεια (στατική και δυναμική), η

ηλεκτροχημική με αξιόλογο αριθμό τεχνολογιών σε εξέλιξη, η θερμική ενέργεια και η θερμοχημική ενέργεια.

Οι πλέον ώριμες σήμερα τεχνολογίες αποθήκευσης (κύκλος AC to AC) με αξιόλογες εφαρμογές στα ηλεκτρικά δίκτυα και με γνωστό κόστος είναι:

- Οι αντλητικοί / υδροηλεκτρικοί σταθμοί ή αναστρέψιμοι ΥΗΣ (μηχανική αποθήκευση, στατική), και
- Οι συσσωρευτές μολύβδου (L/A) κυρίως και σε ημιεμπορική χρήση οι (flow batteries) Νατρίου-Θείου (NaS), Βαναδίου Redox (VRB), Ψευδαργύρου-Βρωμίου (ZnBr), ενώ σε μικρά μεγέθη οι ιόντων λιθίου (Li-ion), Καδμίου-Νικελίου (NiCd) και Nickel Metal Hybrid (NiMH) (ηλεκτροχημική αποθήκευση).

Οι συσσωρευτές NaS, VRB, ZnBr ανήκουν σε μια νέα σχετικά τεχνολογία ηλεκτροχημικής αποθήκευσης (flow batteries) με μερικές επιδεικτικές εφαρμογές από εταιρείες ηλεκτρισμού καθώς και μερικές ημιεμπορικές εφαρμογές. Η τεχνολογία τους βασίζεται στις αρχές λειτουργίας των κυψελών καυσίμου (fuel cells) και η ισχύς τους αποσυνδέεται από την αποθηκευτική ικανότητα η οποία συναρτάται με την ποσότητα του ηλεκτρολύτη. Αυτό δίδει μια ευελιξία στη σχεδίαση του κατάλληλου κεντρικού συστήματος αποθήκευσης για τα μικρά νησιά. Άλλες τεχνολογίες βρίσκονται σε διάφορα στάδια έρευνας και ανάπτυξης ή ακόμη και σε περιορισμένης έκτασης εφαρμογές.

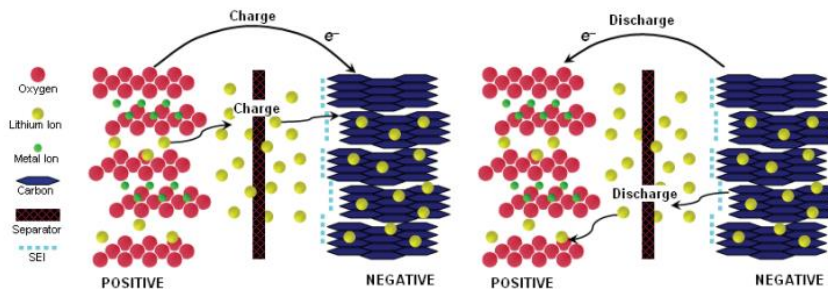
Από την άποψη των εφαρμογών στα ηλεκτρικά δίκτυα, διακρίνονται σε τεχνολογίες αποθήκευσης για την εξυπηρέτηση των αιχμών και εξομάλυνση της καμπύλης ζήτησης για περίοδο εκφόρτισης συνήθως από μισή έως 8 ώρες ημερησίως και σε τεχνολογίες αποθήκευσης που βελτιώνουν την ποιότητα και αξιοπιστία παροχής ηλεκτρικής ενέργειας με μικρή χρονική διάρκεια εκφόρτισης στο δίκτυο τοπικά (1 έως 60 sec) και με ισχύεις στην περιοχή 0,1 έως 2 MW.

Γενικά, τα συστήματα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας για τα δίκτυα πρέπει να είναι υψηλού βαθμού απόδοσης, ευέλικτα στη λειτουργία τους με μεγάλη διάρκεια ζωής, χαμηλό κόστος λειτουργίας-συντήρησης και χαμηλό κόστος επένδυσης.

## Κεφάλαιο 2. Συσσωρευτές Ιόντων Λιθίου (Li-Ion) [6][8][9]

Η τεχνολογία των επαναφορτιζόμενων μπαταριών ιόντων λιθίου έχει τις ρίζες της στην τεχνολογία των μη επαναφορτιζόμενων μπαταριών, που χρησιμοποιούσαν μεταλλικά στοιχεία λιθίου στο αρνητικό ηλεκτρόδιο. Οι πρώτες προσπάθειες για την ανάπτυξη της τεχνολογίας αυτής είχαν μικρή διάρκεια ζωής και σημαντικά θέματα ασφαλείας, που προέκυπταν από την χρήση του λιθίου. Η πρώτη εταιρεία, που ανέπτυξε την τεχνολογία με χαρακτηριστικά παρόμοια με τα σημερινά, ήταν η Sony το 1990. Η τεχνολογία, που ανέπτυξε η Sony, αποτελούνταν από ένα αρνητικό ηλεκτρόδιο από άνθρακα, ένα θετικό ηλεκτρόδιο από οξειδίο του κοβαλτιούχου λιθίου (  $\text{LiCoO}_2$  ) και ιοντικό λίθιο ως ηλεκτρολύτη.

Η αντίδραση, που λαμβάνει μέρος στις μπαταρίες ιόντων λιθίου, αναπαρίσταται στο παρακάτω σχήμα. Τα δύο ηλεκτρόδια έχουν συνήθως επίπεδη δομή προκειμένου να διευκολύνεται η μετακίνηση των ιόντων λιθίου μεταξύ των ηλεκτροδίων. Κατά την διαδικασία της φόρτισης μεταφέρονται ιόντα λιθίου από το θετικό στο αρνητικό ηλεκτρόδιο μέσω του διαχωριστή και ταυτόχρονα υπάρχει ροή ηλεκτρονίων από το εξωτερικό κύκλωμα κατά την ίδια φορά. Αντίστοιχα, κατά την εκφόρτιση της μπαταρίας, η διαδικασία αντιστρέφεται.



Σχήμα 2-1: Αναπαράσταση της ροής ιόντων λιθίου και ηλεκτρονίων

Ο όρος “μπαταρίες ιόντων λιθίου” δεν αναφέρεται σε ένα συγκεκριμένο ηλεκτροχημικό σύστημα, αλλά σε ένα σύνολο συστημάτων, στα οποία υπάρχει ροή ιόντων λιθίου μεταξύ των ηλεκτροδίων κατά την φόρτιση και εκφόρτιση. Η χρήση διαφορετικών στοιχείων για τα ηλεκτρόδια μπορεί να επηρεάσει σημαντικά κάποια χαρακτηριστικά των μπαταριών.

### 2.1 Υλικά θετικού ηλεκτροδίου

Η χρήση του οξειδίου του κοβαλτιούχου λιθίου (  $\text{LiCoO}_2$  ) από την Sony έχει ήδη αναφερθεί και αποτελεί το κυρίαρχο συστατικό του θετικού ηλεκτροδίου για την χρήση σε φορητές συσκευές, όπως κινητά τηλέφωνα και φορητοί υπολογιστές. Κελιά με  $\text{LiCoO}_2$

έχουν υψηλή ενεργειακή πυκνότητα, διάρκεια ζωής 600-800 κύκλους και αποτελούν μία καλή επιλογή για τον τομέα αυτό. Το ζήτημα που τίθεται για τα κελιά αυτού του τύπου είναι η ασφάλεια στις περιπτώσεις κακής χρήσης των μπαταριών (π.χ. χτυπήματα, υπερφόρτιση), που οδηγούν σε απότομη απελευθέρωση μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας με πιθανό ενδεχόμενο την πρόκληση πυρκαγιών.

Τα θέματα ασφαλείας που προκύπτουν από την χρήση του  $\text{LiCoO}_2$  οδήγησαν στην αναζήτηση εναλλακτικών στοιχείων από τους ερευνητές. Ένα τέτοιο υλικό, που χρησιμοποιείται, είναι το  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ , γνωστό για την κρυσταλλική δομή του. Η τεχνολογία αυτή οδήγησε στην ανάπτυξη κελιών με ενεργειακή πυκνότητα και παρόμοια χαρακτηριστικά τάσης με κελιά  $\text{LiCoO}_2$ . Η ασφάλεια στην χρήση τους είναι εμφανώς βελτιωμένη, αλλά τα κελιά αυτού του τύπου πάσχουν από μικρή διάρκεια ζωής.

Άλλες εταιρείες έχουν μελετήσει υλικά μικτού οξειδίου, στα οποία ένα μεγάλο μέρος του  $\text{LiCoO}_2$  έχει αντικατασταθεί από υλικά με άλλα οξείδια. Δύο τέτοια υλικά βασίζονται στο  $\text{LiNiO}_2$  και είναι τα NCA και NMC. Το πρώτο, NCA, είναι πιο ασφαλές, κυρίως λόγω του γεγονότος ότι σε πλήρη φόρτιση εμφανίζει μικρότερη τάση και επομένως η υπερφόρτιση του έχει πιο ήπιες συνέπειες. Επιπλέον, παρουσιάζει καλύτερη διάρκεια ζωής και για τον λόγο αυτό αποτελεί το υλικό, που προτιμάται στις εφαρμογές ηλεκτρικών αυτοκινήτων στην αυτοκινητοβιομηχανία.

Το NMC ως εναλλακτική επιλογή από πλευράς ασφαλείας υπερτερεί μόνο στην διαχείριση της υπερφόρτισης και κατατάσσεται ανάμεσα στο NCA και το  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ . Η διάρκεια ζωής κελιών τέτοιας τεχνολογίας είναι μεγαλύτερη από κελιά με  $\text{LiCoO}_2$  στο θετικό ηλεκτρόδιο, αλλά είναι υποδεέστερη αυτών με NCA.

Προκειμένου να επιτευχθούν πιο ασφαλή κελιά, τα οξείδια αντικαθίστανται από φωσφορούχα υλικά στο θετικό ηλεκτρόδιο. Η ομάδα του Δρ. John Goodenough ανέπτυξε την τεχνολογία των  $\text{LiFePO}_4$ . Οι δεσμοί, που σχηματίζει ο φώσφορος, είναι πιο ισχυροί από εκείνους των οξειδίων, με αποτέλεσμα κατά την υπερφόρτιση τα κελιά να εκλύουν μικρή ποσότητα ενέργειας. Τα κελιά  $\text{LiFePO}_4$  έχουν εξαιρετική διάρκεια ζωής σε ό,τι αφορά τη χρήση τους υπό ελεγχόμενη θερμοκρασία λειτουργίας.

## 2.2 Υλικά αρνητικού ηλεκτροδίου

Η συντριπτική πλειοψηφία των εμπορικών κελιών Li-ion χρησιμοποιούν στο αρνητικό ηλεκτρόδιο γραφίτη. Το ηλεκτρόδιο από γραφίτη έχει πολύ χαμηλό δυναμικό και θα περίμενε κανείς τα ιόντα λιθίου να αντιδρούν αμέσως με τον ηλεκτρολύτη, όμως η δημιουργία ενός στρώματος δεν το επιτρέπει. Το SEI (Solid-Electrolyte Interface), που

φαίνεται στην παραπάνω εικόνα, έχει μεγάλη σημασία, καθώς είναι διαπερατό από τα ιόντα λιθίου, αλλά όχι από τον ηλεκτρολύτη και η σταθερότητά του εξασφαλίζει τη μεγάλη διάρκεια ζωής του κελιού. Το στρώμα αυτό σχηματίζεται κατά την πρώτη φόρτιση και προστατεύει τα ιόντα λιθίου στο αρνητικό ηλεκτρόδιο από τον ηλεκτρολύτη.

Το στρώμα SEI είναι σταθερό σε κανονικές συνθήκες θερμοκρασίας, αλλά όταν ζεσταίνεται περίπου στους 110°C καταρρέει και επιφέρει ανεξέλεγκτη αντίδραση μεταξύ του ηλεκτρολύτη και των ιόντων λιθίου (θερμική εκτροπή). Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται ανεξάρτητα από την επιλογή του υλικού στο θετικό ηλεκτρόδιο, αλλά η επιλογή του επηρεάζει τα θερμικά χαρακτηριστικά του κελιού και της μπαταρίας, καθώς η ενέργεια που αποδεδεσμεύεται μπορεί να αποσταθεροποιήσει το θετικό ηλεκτρόδιο και να οδηγήσει σε ανάφλεξη.

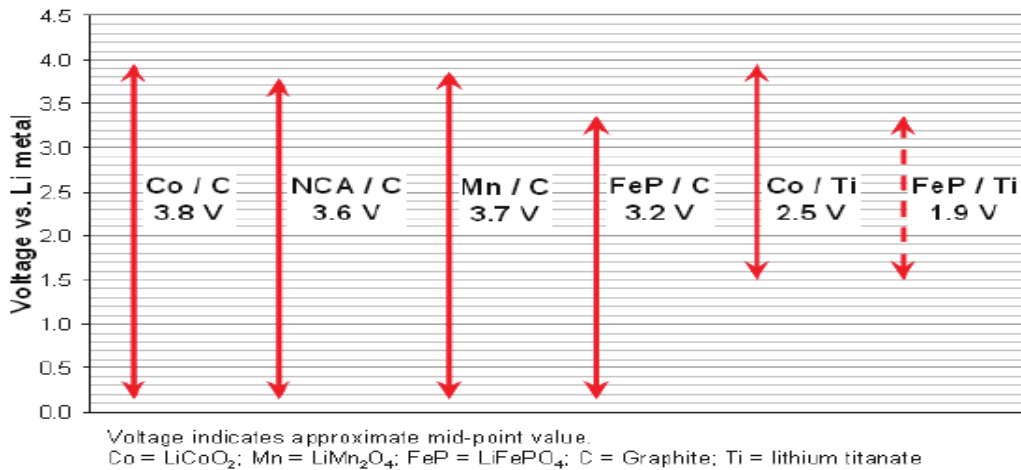
Η χρήση τιτανικού λιθίου στο αρνητικό ηλεκτρόδιο έχει σαν αποτέλεσμα τη λειτουργία σε μεγαλύτερη τάση (λιγότερο αρνητική σε σχέση με το γραφίτη) και ως εκ τούτου δεν αντιδρά ο ηλεκτρολύτης με τα ιόντα λιθίου. Στην περίπτωση αυτή, το στρώμα SEI δεν σχηματίζεται και αποφεύγονται τα προβλήματα υπερθέρμανσης.

Επιπλέον η χρήση τιτανικού λιθίου οδηγεί και σε πιο γρήγορη φόρτιση. Τα ηλεκτρόδια με γραφίτη λειτουργούν σε τάση 150 mV, υψηλότερη από την αντίστοιχη του τιτανικού λιθίου. Σε τέτοια αρνητική τάση, το SEI προβάλλει αντίσταση στην διέλευση των ιόντων λιθίου και περιορίζει το ρεύμα, καθώς τα ιόντα αποτίθενται στην επιφάνεια του SEI, αντί να διέρχονται μέσα από αυτό. Η διαδικασία αυτή δεν επιφέρει κανένα κίνδυνο σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας, αλλά παρ' όλα αυτά η ανάπτυξη του SEI μειώνει τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας. Η υψηλότερη τάση του τιτανικού λιθίου και η απουσία του SEI επιτρέπει πολύ ταχύτερη μεταφορά των ιόντων και εναπόθεσή τους στο αρνητικό ηλεκτρόδιο. Φυσικά, η μικρότερη τάση του κελιού περιορίζει την ενεργειακή πυκνότητα και την ισχύ του. Για το λόγο αυτό, τα κελιά αυτής της τεχνολογίας είναι χρήσιμα σε εφαρμογές, στις οποίες η γρήγορη φόρτιση είναι ζωτικής σημασίας.

### 2.3 Ηλεκτροχημεία του κελιού

Καθένα από τα στοιχεία για το θετικό ηλεκτρόδιο μπορεί να συνδυαστεί με οποιοδήποτε στοιχείο για το αρνητικό ηλεκτρόδιο, ώστε να δημιουργήσουν από κοινού ένα ξεχωριστό ηλεκτροχημικό σύστημα. Κάποιοι από τους πιο συνηθισμένους συνδυασμούς παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα, όπου παρατίθεται και το εύρος λειτουργίας κατά την εκφόρτιση. Είναι εμφανές πως για τα υλικά με καλύτερα χαρακτηριστικά ασφαλείας  $\text{LiFePO}_4$  και τιτανικό λιθίο σχηματίζονται συνδυασμοί με μικρότερο εύρος τάσης και ως εκ τούτου μικρότερη ενεργειακή πυκνότητα και πυκνότητα ισχύος. Ο πιο ασφαλής

συνδυασμός είναι αυτός του τιτανικού λιθίου με  $\text{LiFePO}_4$ , ο οποίος όμως έχει σαν αποτέλεσμα τάση κελιού μικρότερη ακόμα και από κελιών μόλυβδου-οξέως.



Σχήμα 2-2: Τάση συνηθισμένων συνδυασμών για κελιά Li-ion

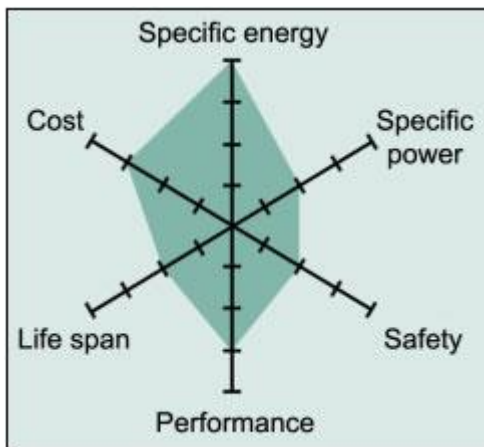
## 2.4 Ηλεκτρολύτης

Ο συνηθής ηλεκτρολύτης σε κελιά τύπου Li-ion είναι εξαφθορφοσφορικό λίθιο ( $\text{LiPF}_6$ ), διαλυμένο σε ένα μίγμα οργανικών διαλυτών (κυρίως ανθρακικά), τα οποία διαμορφώνονται ανάλογα με τα υλικά των ηλεκτροδίων που χρησιμοποιούνται. Για παράδειγμα, ένα κελί με βάση το κοβάλτιο έχει τάση υπό πλήρη φόρτιση 4,2V, γεγονός το οποίο απαιτεί ότι ο ηλεκτρολύτης πρέπει να είναι σε θέση να αντέχει αυτά τα επίπεδα. Στην περίπτωση όμως που το κελί είχε φώσφορο ως βάση, η τάση θα ήταν πολύ μικρή και το μείγμα του ηλεκτρολύτη πολύ διαφορετικό. Επιπλέον, ορισμένα συστατικά του ηλεκτρολύτη συμβάλλουν στην σταθεροποίηση του στρώματος SEI, για παράδειγμα το ανθρακικό βινυλένιο κρίνεται ιδιαίτερα αποτελεσματικό προς τον σκοπό αυτό. Επιπλέον, η σύσταση του ηλεκτρολύτη μπορεί να έχει σχεδιαστεί κατά τέτοιο τρόπο ώστε το κελί να είναι αποτελεσματικότερο σε συγκεκριμένο εύρος θερμοκρασιών.

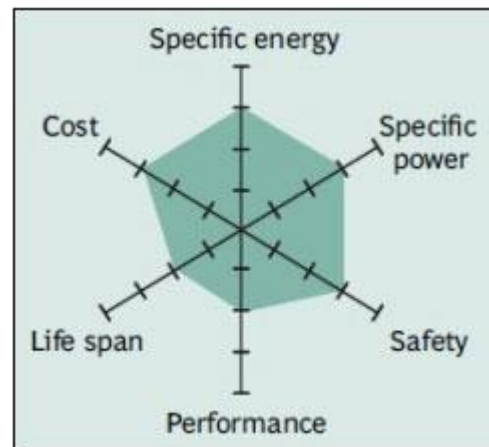
Τέλος υπάρχουν πρόσθετα, που όταν υπερθερμανθούν, παράγουν αέριο και αυξάνουν την πίεση στο κελί προκαλώντας άνοιγμα ενός εσωτερικού διακόπτη. Με τον τρόπο αυτό, το κελί “θυσιάζεται” (αποσυνδέεται από το κύκλωμα), οπότε ανακόπτεται και η υπερφόρτιση του. Τα πρόσθετα του διαλύτη με τέτοιες ιδιότητες λέγονται πρόσθετα υπερφόρτισης. Υπάρχουν όμως ενδείξεις ότι σε κανονική λειτουργία τα πρόσθετα αυτά πολυμερίζονται, δημιουργώντας μεγάλη εσωτερική αντίσταση. Τέλος, πρέπει να σημειωθεί ότι ο διαλύτης του ηλεκτρολύτη είναι εύφλεκτος, δηλαδή αποτελεί μία πηγή κινδύνων για ανάφλεξη.

## 2.5 Σύγκριση διαφόρων τύπων μπαταριών λιθίου ιόντων

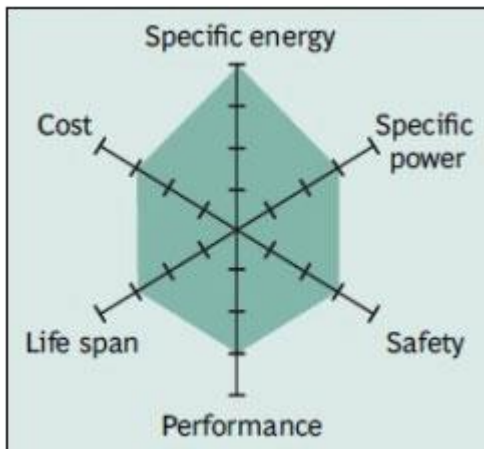
Όπως έχουμε τονίσει, με τον όρο “μπαταρίες Li-ion” αναφερόμαστε σε μια οικογένεια μπαταριών. Η ονομασία των κελιών δίνεται από την χημική σύσταση των στοιχείων τους, κατά βάση του θετικού ηλεκτροδίου. Παρακάτω, παρατίθενται τα χαρακτηριστικά των πιο διαδεδομένων κελιών Li-ion με την μορφή ενός γραφήματος, όπου καταγράφεται η επίδοσή τους σε έξι βασικούς τομείς. Τα έξι αυτά κύρια χαρακτηριστικά, που λαμβάνονται υπ’ όψη για να επιλεγεί μία τεχνολογία, είναι η ενεργειακή πυκνότητα, η πυκνότητα ισχύος, η ασφάλεια, η διάρκεια ζωής και το κόστος τους.



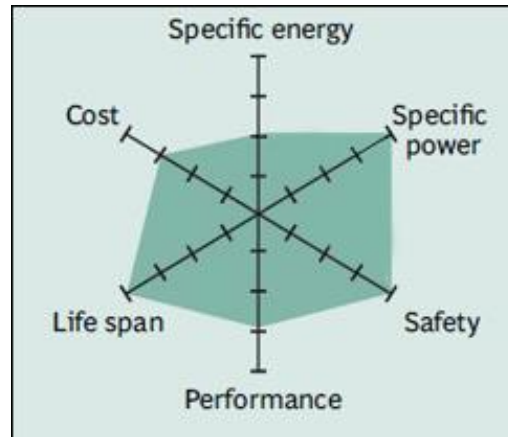
Lithium Cobalt Oxide (LiCoO<sub>2</sub>)



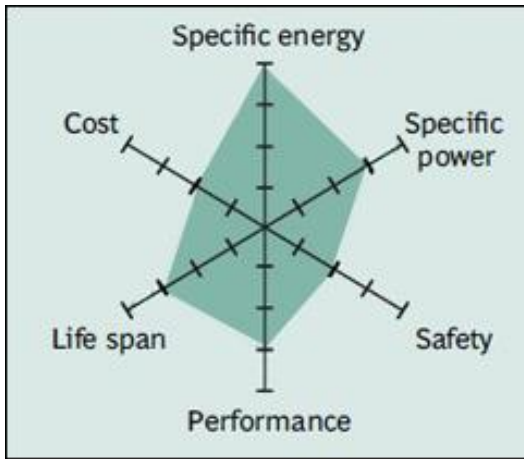
Lithium Manganese Oxide (LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub>)



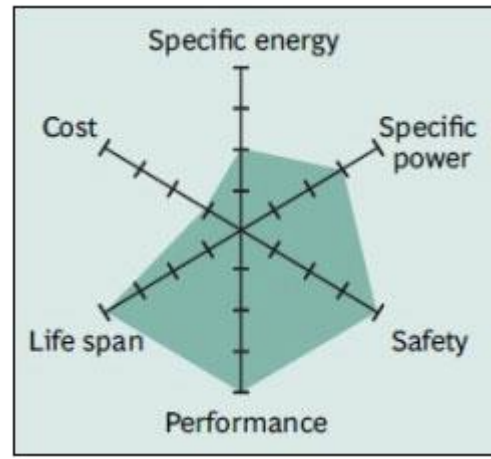
Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide  
(LiNiMnCoO<sub>2</sub> or NMC)



Lithium Iron Phosphate(LiFePO<sub>4</sub>)

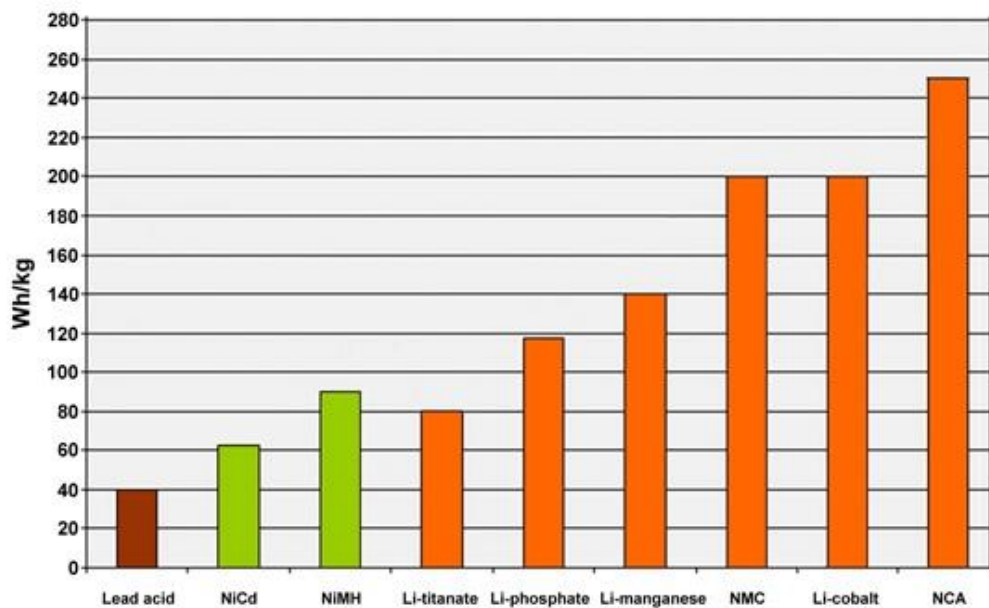


Lithium Nickel Cobalt Aluminum Oxide  
(LiNiCoAlO<sub>2</sub>)



Lithium Titanate (Li<sub>4</sub>Ti<sub>5</sub>O<sub>12</sub>)

Στο παρακάτω διάγραμμα συγκρίνονται οι ενεργειακές πυκνότητες μπαταριών μολύβδου-οξέως, νικελίου και λιθίου ιόντων. Ενώ φαίνεται ξεκάθαρα πως η τεχνολογία NCA είναι νικητής σε ό,τι αφορά την ικανότητα αποθήκευσης ενέργειας, αντιθέτως η απόδοσή της σε άλλους τομείς είναι πολύ υποδεέστερη. Σε ό,τι αφορά την πυκνότητα ισχύος και τη θερμική συμπεριφορά, οι LiFePO<sub>4</sub>, LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub> είναι σαφώς καλύτερες. Τα κελιά τεχνολογίας Li<sub>4</sub>Ti<sub>5</sub>O<sub>12</sub> έχουν μικρότερη ενεργειακή πυκνότητα, αλλά έχουν βελτιωμένη διάρκεια ζωής και, σε συνδυασμό με την πολύ καλή τους συμπεριφορά σε κρύα περιβάλλοντα, προτιμώνται για κάποιες εφαρμογές.



Σχήμα 2-3: Ενεργειακή πυκνότητα μπαταριών

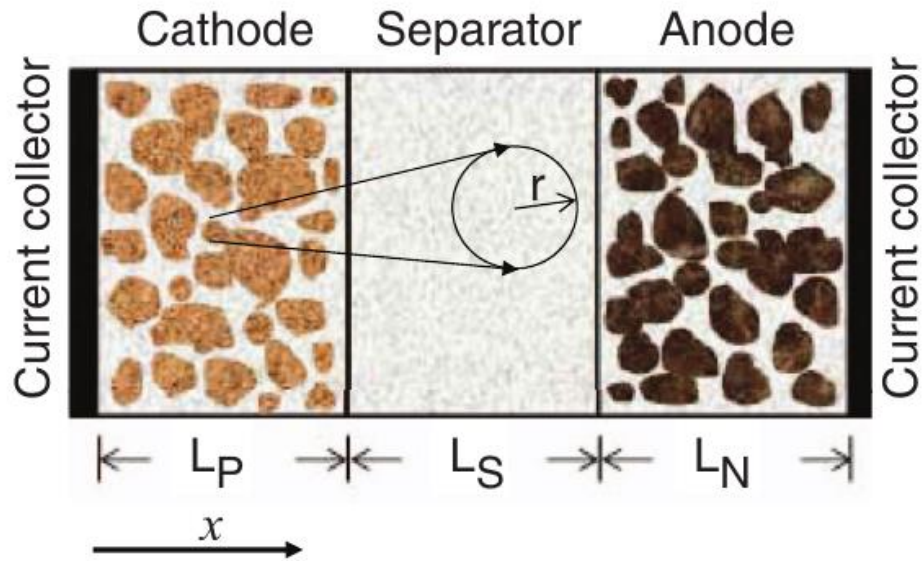


## 2.6 Μοντέλα μπαταριών *Li-ion*

Τα μαθηματικά μοντέλα εξάγονται συνήθως στη βάση των θεμελιωδών νόμων της φυσικής, που διέπουν το σύστημα που περιγράφουν. Ένα μαθηματικό μοντέλο για μπαταρίες μπορεί να οριστεί ως ένα σύνολο εξισώσεων, που περιγράφει τις βασικές λειτουργίες της μπαταρίας, τις μεταβλητές εισόδου και την απόκριση του συστήματος. Η ακριβής μοντελοποίηση των μπαταριών έχει πολύ μεγάλη σημασία στην ανάπτυξη και τη χρήση τους. Σκοπός του μοντέλου είναι η εκτίμηση της απόδοσής τους στις διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας κάθε εφαρμογής.

Στο κομμάτι αυτό, περιγράφουμε δύο διαφορετικές προσεγγίσεις για τη μοντελοποίηση των μπαταριών *Li-ion*. Τα υπάρχοντα μοντέλα μπορούν να διακριθούν σε δύο διαφορετικές κατηγορίες, ανάλογα με την προσέγγιση που χρησιμοποιούν, στα θεωρητικά μοντέλα και στα εμπειρικά μοντέλα. Τα θεωρητικά μοντέλα, ή αλλιώς ηλεκτροχημικά μοντέλα, χρησιμοποιούν τις θεμελιώδεις αρχές, που διέπουν τη λειτουργία των μπαταριών, βασιζόμενα σε φυσικές και χημικές ιδιότητες, και για τον λόγο αυτό είναι πολύ ακριβή. Παρά την ακρίβεια που παρέχουν δεν ενδείκνυται όταν ζητούμενο αποτελεί ο έλεγχος και η προσομοίωση μπαταριών σε πραγματικό χρόνο, λόγω της μεγάλης πολυπλοκότητας, που εμπεριέχει η περιγραφή της χημικής συμπεριφοράς των μπαταριών.

Ένα από τα πιο διαδεδομένα ηλεκτροχημικά μοντέλα αναπτύχθηκε από τους Newman, Fuller και Doyle στο University of California, στο Berkeley. Στην έρευνά τους χρησιμοποίησαν την θεωρία πυκνών διαλυμάτων, προκειμένου να περιγράψουν την εσωτερική συμπεριφορά του σάντουιτς ιόντων λιθίου, που αποτελείται από το αρνητικό και θετικό πορώδες ηλεκτρόδιο, έναν διαιρέτη και ένα συλλέκτη ρεύματος. Το μοντέλο αυτό είναι αρκετά γενικό, ώστε να ενσωματώνει οποιαδήποτε επιπρόσθετη εξέλιξη στην κατανόηση της λειτουργίας των μπαταριών και οδήγησε στην ανάπτυξη πολλών παρόμοιων μοντέλων. Το μοντέλο βασίζεται στα φαινόμενα μεταφοράς, στην ηλεκτροχημεία και τη θερμοδυναμική και συγκροτείται από συζευγμένες μη γραμμικές μερικές διαφορικές εξισώσεις, που απαιτούν αρκετό χρόνο να επιλυθούν.



Σχήμα 2-4: Μοντέλο μπαταριών li-ion

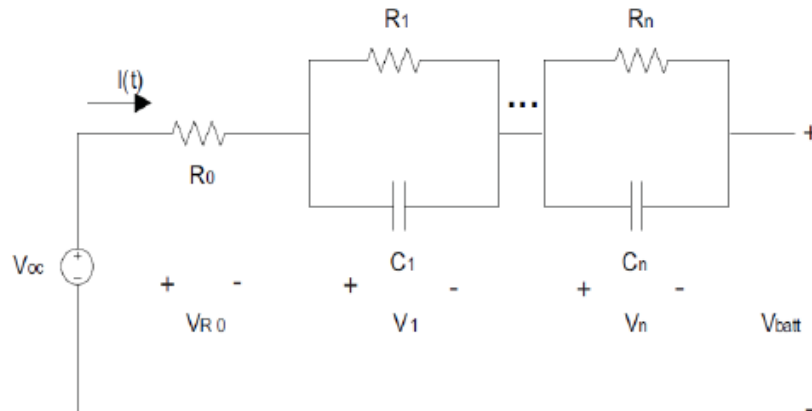
Ο άλλος τύπος μοντέλων που υπάρχουν είναι τα εμπειρικά, τα οποία δεν περιγράφουν τις φυσικές και χημικές αρχές της μπαταρίας. Η προσέγγιση που ακολουθούν είναι η αναπαράσταση των σχέσεων μεταξύ εισόδου και εξόδου στα κελιά των μπαταριών. Σε αντίθεση με τα ηλεκτροχημικά μοντέλα, τα εμπειρικά μοντέλα μπορούν να αναπαραστήσουν την δυναμική συμπεριφορά των μπαταριών, χωρίς να περιγράφουν τις αρχές λειτουργίας τους. Τα μοντέλα αυτά χρησιμοποιούν τα συνήθη ηλεκτρικά στοιχεία (π.χ. αντιστάσεις, πυκνωτές, πηγές ρεύματος και τάσης), καθώς και μη γραμμικά στοιχεία (π.χ αντίσταση Warburg) για να προσομοιώσουν την απόκριση των χημικών φαινομένων των μπαταριών ( θέματα διάχυσης, συγκέντρωσης στοιχείων , κ.α.).

Η χρήση εμπειρικών μοντέλων στην βασική τους μορφή είναι δύσκολο να προσομοιάσει τη συμπεριφορά των μπαταριών σε όλη την περιοχή λειτουργίας τους. Τα περισσότερα εμπειρικά μοντέλα στη διαθέσιμη βιβλιογραφία είναι ισοδύναμα ηλεκτρικά κυκλώματα των μπαταριών, συνήθως ισοθερμικά.

Το πιο κοινό παράδειγμα εμπειρικού μοντέλου είναι αυτό των ισοδύναμων κυκλωμάτων. Τα ισοδύναμα κυκλώματα έχουν απλή δομή και μπορούν να λάβουν υπόψη τους αρκετά δυναμικά φαινόμενα και την επίδραση τους από διάφορες μεταβλητές, όπως η θερμοκρασία και το SOC, οπότε είναι ιδανικά για αλγορίθμους που τρέχουν σε πραγματικό χρόνο, όπως συμβαίνει στη βιομηχανία ηλεκτρικών αυτοκινήτων.

Το πιο κοινό μοντέλο αυτού του τύπου είναι το ισοδύναμο κύκλωμα του Randle, το οποίο αποδίδεται από το ακόλουθο σχήμα. Το κύκλωμα αυτό αποτελείται από μία πηγή τάσης (τάση ανοιχτοκυκλώματος  $V_{oc}$ ), την εσωτερική αντίσταση  $R_o$  και στη συνέχεια

συνδέονται κατά σειρά παράλληλα κυκλώματα RC, όλες οι τιμές των οποίων μπορούν να εξαρτώνται από μία σειρά παραμέτρων, όπως η θερμοκρασία, το SOC, το ρεύμα.



Σχήμα 2-5: Ισοδύναμο κύκλωμα Randle

Τα κυκλώματα RC, που συνδέονται στο κύκλωμα, έχουν να κάνουν με την τάξη του συστήματος μεταφοράς. Το καθένα αυξάνει την ακρίβεια του μοντέλου στο φάσμα των συχνοτήτων και ως εκ τούτου δίνει καλύτερη απόκριση στο χρόνο, ταυτόχρονα όμως αυξάνεται και η πολυπλοκότητα κατά τον υπολογισμό του. Για κάθε εφαρμογή επιλέγεται η μικρότερη τάξη, που επιτυγχάνει την επιθυμητή ακρίβεια. Από τη στιγμή που καθοριστεί η τάξη του συστήματος, που παρέχει την επιθυμητή ακρίβεια, χρειάζεται να γίνει ο υπολογισμός των παραμέτρων, συνήθως με μια σειρά από μετρήσεις, που έχουν σαν είσοδο ένα παλμό ρεύματος και σαν έξοδο την κυματομορφή της τάσης. Στη βιβλιογραφία υπάρχουν διάφοροι τρόποι, με τους οποίους μπορεί να γίνει ο υπολογισμός των παραμέτρων ( $R_0$ ,  $V_{oc}$ , κλπ), συνήθως όμως χρησιμοποιείται κάποιος γενετικός αλγόριθμος.

Τα ισοδύναμα κυκλώματα εν γένει είναι αρκετά απλά και επομένως κατάλληλα για εφαρμογές πραγματικού χρόνου. Η ακρίβεια τους είναι μεν μικρότερη από αυτή των ηλεκτροχημικών μοντέλων, αλλά, λόγω της απλής δομής τους και του μικρού υπολογιστικού κόστους, προτιμούνται στις εφαρμογές ελέγχου.

Στα ισοδύναμα κυκλώματα για τον προσδιορισμό του SOC, χρησιμοποιείται το ρεύμα και η χωρητικότητα της μπαταρίας.

$$SOC(t) = SOC_0 - \int_0^t \frac{\eta I(t)}{C_n} dt$$

## Κεφάλαιο 3. Σύστημα Αποθήκευσης με Μπαταρίες του ΥΒΣ

---

Όπως είδαμε παραπάνω, σημαντικό στοιχείο για την επιλογή του μοντέλου περιγραφής των μπαταριών είναι το πεδίο εφαρμογής τους και οι απαιτήσεις που προκύπτουν εξ' αυτού. Στη συγκεκριμένη εργασία εκτελείται η ετήσια ενεργειακή προσομοίωση ενός υβριδικού σταθμού. Ως εκ τούτου, δεν μελετώνται τα μεταβατικά φαινόμενα των μπαταριών, αλλά επιδιώκεται η καταγραφή της συναλλαγής ενέργειας με το δίκτυο και η εξεύρεση τρόπου συνύπαρξης ενός υβριδικού σταθμού σε ένα νησιωτικό σύστημα με τις ήδη εγκατεστημένες μονάδες.

Η ασφαλής και αποδοτική χρήση των μπαταριών  $\text{LiFePO}_4$ , όπως εξηγήσαμε προηγουμένως, συνεπάγεται και έλεγχο της τάσης, του ρεύματος, του SOC, της θερμοκρασίας κ.ά. για κάθε κελί της μονάδας αποθήκευσης. Το ρόλο αυτό επιτελεί το Σύστημα Διαχείρισης των Μπαταριών (BMS, Battery Management System). Κάθε κατασκευαστής ορίζει τον τρόπο φόρτισης και εκφόρτισης των μπαταριών, καθώς και τα όρια ασφαλούς λειτουργίας. Όταν τα κελιά δεν βρίσκονται στα περιθώρια λειτουργίας, που έχει θέσει ο κατασκευαστής, τίθενται εκτός λειτουργίας για λόγους ασφαλείας και, όταν οι συνθήκες το επιτρέψουν, συνδέονται εκ νέου με το υπόλοιπο σύστημα.

### 3.1 *Βαθμός Απόδοσης Μπαταριών Li-ion και PCS [6][8][9]*

Οι μπαταρίες συνδέονται στο σύστημα μέσω ενός αντιστροφέα DC/AC, ο οποίος ελέγχει το ρεύμα και την τάση των μπαταριών, ανάλογα με την κατάσταση στην οποία βρίσκονται και πραγματοποιεί έναν έλεγχο πιο κεντρικό από το BMS κάθε κελιού. Στην συνέχεια, μεσολαβεί ένας μετασχηματιστής ανύψωσης τάσης για τη σύνδεση στο δίκτυο ή την υπόλοιπη εγκατάσταση. Το σύστημα αυτό επιτρέπει την αμφίδρομη ροή ισχύος τόσο από το σύστημα αποθήκευσης προς το δίκτυο (εκφόρτιση) όσο και από το δίκτυο/σταθμό προς το σύστημα αποθήκευσης (φόρτιση).

Η ανάπτυξη των ηλεκτρικών οχημάτων έχει ενισχύσει την έρευνα στον τομέα των μπαταριών, ενώ ταυτόχρονα η τιμή τους μειώνεται σημαντικά. Ωστόσο, οι πληροφορίες, που έχουμε για την απόδοση τους όσο και για την διάρκεια ζωής τους με βάση τη βιβλιογραφία, είναι λίγες.

Οι διαθέσιμες τεχνολογίες μπαταριών είναι πολλές και γίνονται προσπάθειες να ανακαλύψουμε τις δυνατότητες και τη συμπεριφορά των υπαρχουσών τεχνολογιών και να τις βελτιώσουμε. Οι περισσότερες πληροφορίες, που διαθέτουμε για την συμπεριφορά των μπαταριών, προέρχονται από τη χρήση τους σε ηλεκτρικά αυτοκίνητα. Οι απαιτήσεις και

οι συνθήκες λειτουργίας των μπαταριών στον τομέα αυτόν είναι πολύ διαφορετικές από τις αντίστοιχες κατά τη χρήση τους για αποθήκευση ενέργειας.

Στις εφαρμογές των ηλεκτρικών αυτοκινήτων, η αξιολόγηση της απόδοσης τους γίνεται με βάση τυποποιημένους οδηγικούς κύκλους. Οι κύκλοι αξιολόγησης περιλαμβάνουν σύντομες εκφορτίσεις των μπαταριών με μεγάλη ισχύ (5-10C), που ακολουθούνται από περιόδους ξεκούρασης, ήπιας χρήσης μικρής εντάσεως και κατόπιν φόρτισης τους. Με τέτοιους κύκλους προσομοιώνεται η επιτάχυνση (σύντομες εκφορτίσεις με μεγάλη ισχύ), η πορεία (ήπια χρήση) και η φόρτιση τους στις σχετικές υποδομές. Αντίθετα, σε εφαρμογές αποθήκευσης ενέργειας η λειτουργία των μπαταριών είναι σταθερότερη με ομαλές μεταβολές υπό σταθερή θερμοκρασία.

Γενικά, η απόδοση των μπαταριών εξαρτάται από τρεις σημαντικούς παράγοντες: τη θερμοκρασία, την διακινούμενη ισχύ και τη στάθμη αποθηκευμένης ενέργειας στις μπαταρίες (SOC).

Όπως αναφέραμε και προηγουμένως, σε εφαρμογές αποθήκευσης ενέργειας, υπάρχει η δυνατότητα ψύξης των μπαταριών, οπότε η επίδραση της θερμοκρασίας μπορεί να εξαιρεθεί. Όπως θα δούμε και στη συνέχεια, η θερμοκρασία επηρεάζει σημαντικά τη διάρκεια ζωής των μπαταριών, για το λόγο αυτό εγκαθιστούμε σύστημα ψύξης. Ως εκ τούτου, επιδιώκουμε να προσδιορίσουμε την απόδοση των μπαταριών σε συνθήκες θερμοκρασίας 20-25°C.

Η διακινούμενη ισχύς των μπαταριών είναι ένας άλλος παράγοντας που επηρεάζει την απόδοση. Δεδομένου ότι μελετάμε μονάδες αποθήκευσης με ένταση ενέργειας και όχι ισχύος (υβριδικοί σταθμοί εξομάλυνσης αιχμών της καμπύλης φορτίου ζήτησης), δεν πρόκειται να ζητηθεί ισχύς μεγαλύτερη από την ονομαστική των μπαταριών, δηλαδή ρυθμός φόρτισης ή εκφόρτισης μεγαλύτερος του 1C<sup>1</sup>.

Σε εφαρμογές αποθήκευσης ενέργειας, δεν προκαλούνται απότομες εκφορτίσεις ή φορτίσεις, αυτές πραγματοποιούνται με ρυθμό μέχρι 1C, καθώς επίσης υπάρχει η δυνατότητα ψύξης τους κατά την διάρκεια λειτουργίας τους. Ένα σύστημα αποθήκευσης με ικανότητα τροφοδότησης σταθερής ισχύος (ονομαστικής) επί πολλές ώρες έχει την δυνατότητα να διαχειριστεί τις συστοιχίες των μπαταριών με βέλτιστο τρόπο, προκειμένου να επιτύχει μεγαλύτερη αποδοτικότητα και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής. Για το λόγο αυτό,

---

<sup>1</sup> Ρυθμός 1C ισοδυναμεί με πλήρη εκφόρτιση της ονομαστικής ικανότητας της μπαταρίας σε μία ώρα, ρυθμός 2C αντιστοιχεί σε εκφόρτιση της ονομαστικής ικανότητας σε μισή ώρα κοκ

μπορεί να θεωρηθεί ότι ο ρυθμός φόρτισης και εκφόρτισης των μπαταριών δεν υπερβαίνει το 1C. Αντίθετα, σε εφαρμογές όπου ζητούμενο είναι η παροχή ισχύος και όχι ενέργειας, όπως η ρύθμιση συχνότητας του δικτύου, συνήθης πρακτική είναι η μεγάλη διακίνηση ισχύος από τις μπαταρίες με ρυθμούς και άνω των 5C.

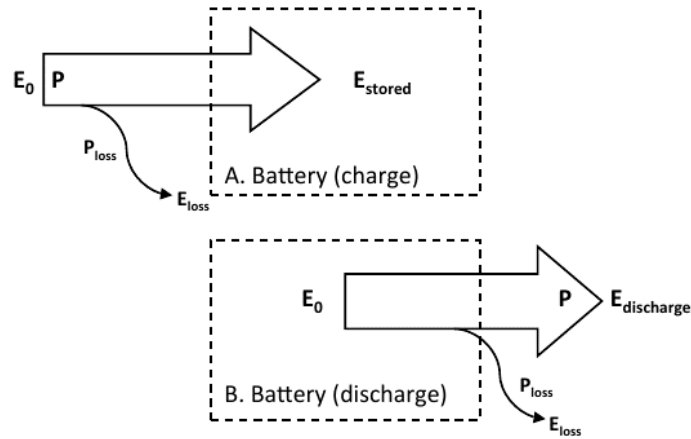
Temp (°C)	Efficiency (%)		Charge (Wh)	Discharge energy (Wh)		Energy lost (Wh)	
	C/1	3C	CC/CV	C/1	3C	C/1	3C
-20	78.73	75.86	174	137	132	37	42
0	82.54	81	189	156.01	153.12	32.99	35.88
25	95.8	89.92	196	187.78	176.25	8.22	19.75
40	98.6	97.4	198	195.23	192.87	2.77	5.13

Πίνακας 3-1: Απόδοση κελιών κατά την εκφόρτιση σε 1C, 3C

Τέλος, ένας άλλος παράγοντας που μπορεί να επηρεάσει την απόδοση των μπαταριών είναι το SOC. Το γεγονός αυτό οφείλεται κυρίως στην αλλαγή της τάσης του κελιού, ανάλογα με το επίπεδο φόρτισης. Η τεχνολογία των μπαταριών LiFePO<sub>4</sub>, παρουσιάζει εξαιρετική συμπεριφορά σε ό,τι αφορά στην τάση του κελιού στο μεγαλύτερο εύρος του SOC και η μεταβολή είναι σχεδόν αμελητέα. Αυτός είναι ένας από τους λόγους για τον οποίο η τεχνολογία προτιμάται έναντι άλλων. Σε συνδυασμό με τον ρυθμό διακίνησης ισχύος, όπως αναφέρεται παραπάνω, ο παράγοντας αυτός μπορεί να αγνοηθεί.

Δεδομένου ότι, προκειμένου να επιτευχθεί η επιθυμητή τάση για την διακίνηση ισχύος, τα κελιά συνδέονται σε σειρά (καθώς και παράλληλα), δημιουργώντας συστοιχίες μπαταριών είναι γεγονός ότι οποιαδήποτε μεταβολή τάσης σε ένα κελί πολλαπλασιάζεται σε επίπεδο συστοιχίας μπαταριών. Πιο αναλυτικά, όταν η μεταβολή της τάσης είναι μεγάλη σε κάθε κελί, η μεταβολή της τάσης ολόκληρης της συστοιχίας των μπαταριών είναι αντίστοιχα μεγάλη και επομένως γίνεται πιο απαιτητικός ο έλεγχος του αντιστροφέα. Οι μπαταρίες LiFePO<sub>4</sub> χαρακτηρίζονται από πρακτικώς επίπεδη γραφική παράσταση μεταβολής της τάσης συναρτήσει του επιπέδου φόρτισης (SOC), γεγονός που σαφώς διευκολύνει τη διαχείρισή τους από τον αντιστροφέα.

Οι πληροφορίες, που υπάρχουν για τις αναδυόμενες τεχνολογίες, δεν είναι αρκετές. Υπάρχουν αναφορές στην βιβλιογραφία, που καλούνται να εξηγήσουν συγκεκριμένα φαινόμενα υπό συγκεκριμένες συνθήκες και όχι ένα καθολικό μοντέλο. Για τον λόγο αυτό, είναι πολύ σημαντικό να προσδιοριστούν οι συνθήκες λειτουργίας, προκειμένου να είναι εφικτή η αξιολόγηση της απόδοσης. Σύμφωνα με τις συνθήκες, όπως προσδιορίστηκαν παραπάνω και με βάση δεδομένα από δοκιμές σε μπαταρίες, η απόδοση των κελιών LiFePO<sub>4</sub> λαμβάνεται ίση με 95% σε όλες τις φάσεις λειτουργίας. Επιπλέον, οι απώλειες αντιμετωπίζονται ως θερμικό φορτίο για το σύστημα ψύξης.



Σχήμα 3-1: Διαγράμματα φόρτισης (A) και εκφόρτισης (B) μπαταριών.  $E_0$  είναι η αρχική ενέργεια και  $E_{\text{loss}}$  οι απώλειες

### 3.2 Μετασηματιστής ανύψωσης τάσης

Η σύνδεση εγκαταστάσεων στο δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας ελέγχεται με αυστηρό τρόπο και πρέπει ο σταθμός να πληροί ένα πλήθος τεχνικών προδιαγραφών, προκειμένου να του επιτραπεί η σύνδεση. Μεταξύ άλλων, οι μετασηματιστές ανύψωσης, στο πλαίσιο των κανονισμών του διαχειριστή του δικτύου αλλά και των κανονισμών της Ευρωπαϊκής Ένωσης, πρέπει να πληρούν μία σειρά από προδιαγραφές. Σε ό,τι αφορά την ενεργειακή προσομοίωση του σταθμού, ενδιαφέρον παρουσιάζει το κομμάτι των απωλειών που υπάρχουν.

Οι απώλειες από την ροή ισχύος στους μετασηματιστές ανύψωσης χωρίζονται κυρίως σε δύο κατηγορίες: τις απώλειες κενού φορτίου (ή σιδήρου ή απώλειες πυρήνα), που είναι σταθερές και ανεξάρτητες από την ροή ισχύος και τις απώλειες φορτίου (ή χαλκού), που προέρχονται από τα τυλίγματα των Μ/Σ και εξαρτώνται από την ροή ισχύος. Για την προσομοίωση, οι σταθερές απώλειες κενού φορτίου λαμβάνονται ίσες με το 0,2% της ονομαστικής ισχύος του Μ/Σ.

Οι απώλειες ισχύος χαλκού των Μ/Σ εξαρτώνται από το εκάστοτε φορτίο  $S$  και υπολογίζονται από την σχέση:

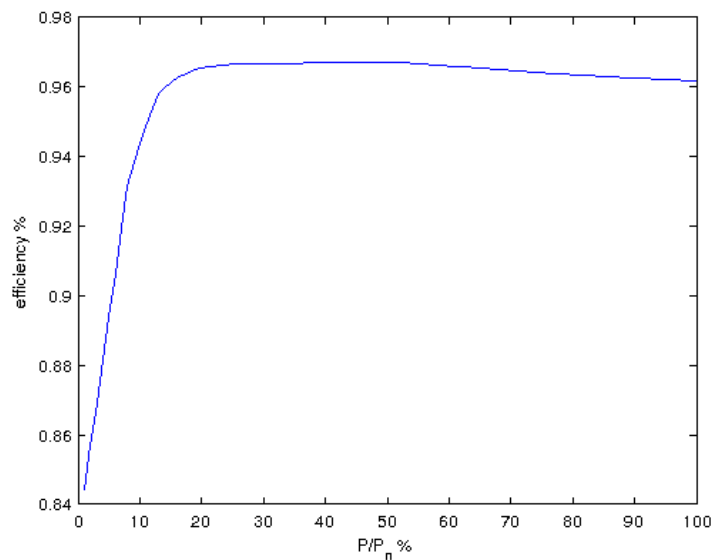
$$\Delta P_{cu} = \Delta P'_{cu} * \left(\frac{S}{N}\right)^2$$

όπου  $N$  η ονομαστική ισχύς του Μ/Σ και  $\Delta P'_{cu}$  η εγγυημένη στάθμη απωλειών χαλκού σε ονομαστικό φορτίο. Για τον υπολογισμό των απωλειών, λαμβάνεται η εγγυημένη στάθμη απωλειών χαλκού ίση με το 1% της ονομαστικής ισχύος του Μ/Σ.

Η συγκεκριμένη προσέγγιση αποτελεί μια συνήθη πρακτική προσέγγιση στην βιβλιογραφία. Σημειώνεται ότι ο παραπάνω τρόπος υπολογισμού των απωλειών διευκολύνει την προσομοίωση για σταθμούς με διαφορετική ονομαστική ισχύ, από kW έως MW, και ταυτόχρονα εγγυάται την ανεξαρτησία της προσομοίωσης από το πλήθος των Μ/Σ που φέρει η εγκατάσταση. Σε ορισμένες περιπτώσεις, για διαφόρους λόγους, προτιμάται η τοποθέτηση πολλών Μ/Σ μικρότερης ισχύος αντί ενός κεντρικού. Ταυτόχρονα, οι τιμές αυτές τηρούν τα όρια των εφαρμοζόμενων προτύπων για Μ/Σ ώστε να είναι αποδεκτή η σύνδεσή τους στο Δίκτυο.

### 3.3 Αντιστροφέας

Ο αντιστροφέας αποτελεί βασικό κομμάτι των εγκαταστάσεων αποθήκευσης και πρέπει να πληροί και αυτός ένα πλήθος τεχνικών προδιαγραφών. Οφείλει καταρχάς να είναι αμφίδρομης ροής ισχύος και εφοδιασμένος με τα απαραίτητα συστήματα για τον έλεγχο των μπαταριών. Ο αντιστροφέας, σύμφωνα με τις τεχνικές προδιαγραφές του κατασκευαστή των μπαταριών και με τα δεδομένα του BMS, επιβάλλει την κατάλληλη τάση στην DC πλευρά για την αποδοτική και ασφαλή λειτουργία των μπαταριών. Η απόδοση του αντιστροφέα, για τα διάφορα σημεία λειτουργίας, που λαμβάνονται υπόψη για την προσομοίωση του σταθμού, αποδίδεται σχηματικά παρακάτω.



Σχήμα 3-2: Απόδοση αντιστροφέα για τα διαφορετικά σημεία λειτουργίας

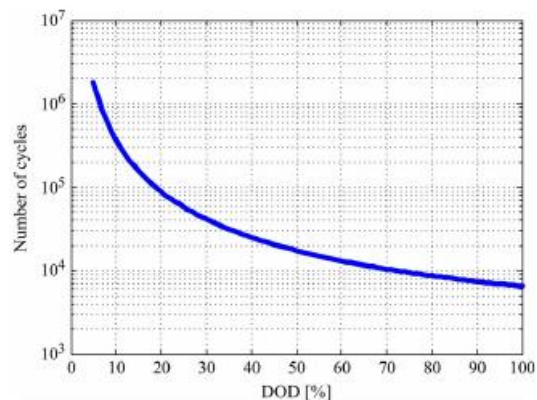
Στη βιβλιογραφία αναφέρεται η χρήση του αντιστροφέα του συστήματος αποθήκευσης για τον έλεγχο της αέργου ισχύος στο σύστημα μεταφοράς, όπως και τον περιορισμό των αρμονικών του δικτύου. Η συγκεκριμένη δυνατότητα δεν εξετάζεται στην παρούσα εργασία, καθώς δεν υπάρχει σαφές νομοθετικό πλαίσιο γύρω από την παροχή επικουρικών υπηρεσιών τέτοιου τύπου από υβριδικούς σταθμούς.



### 3.4 Διάρκεια Ζωής των Μπαταριών Li-ion [8][9]

Συνήθως, τα μοντέλα που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της διάρκειας ζωής των μπαταριών κατατάσσονται σε δύο βασικές κατηγορίες: τα post-processing models (cycle counting models and throughput counting methods) και τα performance-degradation models (ηλεκτροχημικά μοντέλα και ισοδύναμα κυκλώματα). Το βασικό χαρακτηριστικό των πρώτων είναι ότι παρέχουν μόνο πληροφορίες για την υπολειπόμενη ωφέλιμη διάρκεια ζωής των μπαταριών (remaining useful lifetime, RUL). Από την άλλη, τα performance-degradation models επιστρέφουν πληροφορίες και για τις παραμέτρους των κελιών (όπως για την τάση, την ισχύ κ.α.), καθώς το φαινόμενο εξελίσσεται.

Cycle counting Lifetime Models: Η RUL της μπαταρίας υπολογίζεται αθροίζοντας την επίδραση που έχει κάθε κύκλος φόρτισης-εκφόρτισης της μπαταρίας. Το βάθος εκφόρτισης είναι ο βασικός παράγοντας που επηρεάζει το RUL. Όσο μεγαλύτερο είναι το βάθος εκφόρτισης των μπαταριών, τόσο περισσότερο μειώνεται η διάρκεια ζωής των μπαταριών μέχρι να φτάσει στο τέλος. Τυπικά, ο αριθμός των κύκλων, που μπορεί μία μπαταρία να εκτελέσει μέχρι να φτάσει το EOL, αναπαρίσταται με ένα γράφημα, όπως το παρακάτω.



Σχήμα 3-3: Τυπική καμπύλη διάρκειας ζωής για μπαταρίες Li-ion

Η τεχνική αυτή εμπεριέχει διάφορες απλοποιήσεις, ωστόσο μπορεί να τροποποιηθεί προκειμένου να συμπεριληφθούν και άλλοι παράγοντες, όταν αυτό απαιτείται από τις συνθήκες (αυξημένη θερμοκρασία, μεγάλη διακινούμενη ισχύς).

Ah/Wh-Throughput Counting Lifetime Models: Ο παράγοντας στον οποίο στηρίζεται η συγκεκριμένη προσέγγιση είναι η συνολική διακινούμενη ενέργεια από την μπαταρία. Για τον υπολογισμό του RUL της μπαταρίας, η ενέργεια που διακινείται από την μπαταρία υπολογίζεται σε Ah ή Wh και συγκρίνεται με ένα προκαθορισμένο όριο στο οποίο η

μπαταρία φτάνει το EOL<sup>2</sup>. Η συνολική ενέργεια, που μπορεί να διακινήσει η μπαταρία, εξαρτάται από τη χρήση της, (π.χ. βάθος εκφόρτισης, διακινούμενη ισχύς, θερμοκρασία) και συνδέεται μικροσκοπικά με την απώλεια των ιόντων λιθίου, που συμμετέχουν στη διακίνηση ηλεκτρονίων. Αλλαγή των συνθηκών και της χρήσης της μπαταρίας μπορούν να οδηγήσουν σε μικρότερο όριο ή μεγαλύτερο. Αντίστοιχα με το προηγούμενο μοντέλο, το μοντέλο αυτό μπορεί επίσης να προσαρμοστεί στις συνθήκες χρήσης της μπαταρίας με χρήση συντελεστών.

Τα δύο αυτά μοντέλα έχουν κάποια κοινά χαρακτηριστικά. Το πιο σημαντικό είναι ότι στηρίζονται στην ιδέα ότι η χρήση των μπαταριών προκαλεί μία αυξητική απώλεια της διάρκειας ζωής τους, η οποία εξαρτάται από τη χρήση. Επιπλέον, τα δύο μοντέλα έχουν περιορισμένη ακρίβεια που πηγάζει από τις παραδοχές, που έχουν γίνει κατά την ανάπτυξη του μοντέλου. Παρά το συγκεκριμένο μειονέκτημα, η εφαρμογή τους για την πρόβλεψη της διάρκειας ζωής μπαταριών Li-ion είναι διαδεδομένη κυρίως σε εφαρμογές, που προτιμούνται τα πιο απλά μοντέλα λόγω της μικρής πολυπλοκότητας ή όταν δεν υπάρχουν λεπτομερή δεδομένα.

Electrochemical Lifetime Models: Τα ηλεκτροχημικά μοντέλα για την πρόβλεψη της διάρκειας ζωής των μπαταριών δίνουν λεπτομερείς πληροφορίες για διάφορες παραμέτρους των μπαταριών, τόσο για τις ηλεκτρικές παραμέτρους (ρεύμα, τάση, SOC, εσωτερική αντίσταση κ.α.) αλλά και για τις χημικές παραμέτρους (συντελεστές διάχυσης, θερμοκρασιακές διαφορές, συγκέντρωση ηλεκτρολύτη κ.α.) όπως και πληροφορίες σχετικά με τη διάρκεια ζωής τους.

Προκειμένου τέτοια μοντέλα να παραμετροποιηθούν, χρειάζονται πολλές πληροφορίες τόσο για τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της μπαταρίας (μέγεθος ηλεκτροδίων, πάχος, όγκος ηλεκτρολύτη και πυκνότητα κ.α.), καθώς και πολλές εργαστηριακές μετρήσεις και πειράματα. Οι εξισώσεις στις οποίες βασίζονται τα ηλεκτροχημικά μοντέλα χαρακτηρίζονται από μεγάλη πολυπλοκότητα και άρα απαιτούν αρκετούς υπολογιστικούς πόρους για να επιλυθούν. Σε σύγκριση με τα υπόλοιπα μοντέλα έχουν πολύ καλύτερη ακρίβεια στις προβλέψεις τους και, όταν αναπτυχθεί ένα τέτοιο μοντέλο, είναι σχετικά εύκολο να προσομοιώσουν διαφορετικές τεχνολογίες Li-ion από την συγκεκριμένη στην οποία βασίζονται ή/και διαφορετικό σχεδιασμό κελιών.

---

<sup>2</sup> EOL (End Of Life): το όριο στο οποίο θεωρείται ότι η μπαταρία χρειάζεται αντικατάσταση, καθώς έχει εξαντλήσει τη διάρκεια ζωής της. Η πιο διαδεδομένη πρακτική στην βιβλιογραφία, η οποία επιστρατεύεται εδώ, υποδεικνύει ότι η μπαταρία έχει φτάσει το EOL, όταν η διαθέσιμη χωρητικότητά της έχει μειωθεί κατά 20% της ονομαστικής.

Equivalent Electrical Circuit-Based Lifetime Models: Παρόμοια με τα ηλεκτροχημικά μοντέλα, τα ισοδύναμα κυκλώματα μπαταριών προσφέρουν πληροφορίες και για την επίδοση των μπαταριών, εκτός από πληροφορίες σχετικά με την διάρκεια ζωής τους. Κατά κανόνα, τα ισοδύναμα κυκλώματα αποτελούνται από τυπικά ηλεκτρικά στοιχεία, προκειμένου να προσομοιάσουν τις αλλαγές στην τάση του κελιού, την ισχύ και την χωρητικότητα του. Οι τιμές των διαφόρων αντιστάσεων, πηνίων και πυκνωτών πρέπει να είναι πολύ ευαίσθητες στη μεταβολή των συνθηκών λειτουργίας, ώστε να εξασφαλίζεται η ακρίβεια του μοντέλου.

Τα ισοδύναμα κυκλώματα είναι, συνήθως, ένας καλός συμβιβασμός ανάμεσα στην υπολογιστική πολυπλοκότητα των ηλεκτροχημικών μοντέλων και την μειωμένη ακρίβεια των post-processing μοντέλων.

Criteria	Lifetime model approach			
	<i>Cycle counting</i>	<i>Ah/Wh-throughput</i>	<i>EEC</i>	<i>Electro-chemical</i>
<i>Complexity</i>	Low	Low	Medium	High
<i>Computation time</i>	Low	Low	Medium	High
<i>Accuracy</i>	Low – medium	Low – medium	Medium	High
<i>Performance parameters</i>	No	No	Yes	Yes
<i>Transfer to other chemistry</i>	No	No	No	Yes

Πίνακας 3-2: Σύγκριση μοντέλων διάρκειας ζωής για τις μπαταρίες Li-ion

Το βάθος εκφόρτισης σε μεγάλους ρυθμούς άνω του 80-90% επηρεάζει τη διάρκεια ζωής των μπαταριών, καθώς εκθέτει τα κελιά σε ακραίες συνθήκες. Για τους λόγους αυτούς, στο μοντέλο προσομοίωσης του συστήματος των συσσωρευτών τίθενται περιορισμοί στο άνω/κάτω επιτρεπτό όριο SOC. Συγκεκριμένα, για την αποφυγή της υπερφόρτισης και την αύξηση της θερμοκρασίας των κελιών, τίθεται άνω όριο του επιπέδου φόρτισης των μπαταριών ίσο με 95%, ενώ προκειμένου να αποφευχθεί η υπερεκφόρτιση και η μόνιμη βλάβη των κελιών, θέτουμε κατώτατο όριο ίσο με 25 %.

Οι περιορισμοί αυτοί, πέρα από το γεγονός ότι επιτρέπουν την λειτουργία των κελιών μόνο στην περιοχή όπου η μεταβολή της τάσης ως συνάρτηση του SOC είναι μικρή, επιβάλλουν και έναν δευτερεύοντα περιορισμό στο DOD. Ο συνδυασμός των δύο αυτών ορίων περιορίζει το μέγιστο κύκλο εκφόρτισης των μπαταριών στο 70% της διαθέσιμης χωρητικότητάς τους, γεγονός που ευνοεί τη μεγιστοποίηση της διάρκειας ζωής τους.

## Κεφάλαιο 4. Ρυθμιστικό Πλαίσιο Λειτουργίας [3][4]

---

Όλοι οι ΥΒΣ, όπως και οι μονάδες παραγωγής ενός αυτόνομου νησιωτικού συστήματος, εντάσσονται στο δίκτυο, εφόσον τηρούνται οι κανόνες ένταξης, στη βάση μίας διαδικασίας. Ο αναθεωρημένος κώδικας Διαχείρισης των Ηλεκτρικών Συστημάτων των Μη Διασυνδεδεμένων Νησιών θεσπίστηκε από την Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας τον Ιανουάριο του 2014. Οι κανόνες λειτουργίας των συστημάτων και της Αγοράς ΜΔΝ θεσπίστηκαν, λαμβάνοντας υπόψιν τις ανάγκες των μη διασυνδεδεμένων νησιών όπως:

- Τη διασφάλιση του ενεργειακού εφοδιασμού των ΜΔΝ και τη βέλτιστη ανάπτυξη των συστημάτων παραγωγής τους, με την καθιέρωση διαδικασιών, που επιτρέπουν και παρέχουν κίνητρα για την αύξηση της ευελιξίας των ηλεκτρικών συστημάτων.
- Τις ιδιαιτερότητες, που εμφανίζουν τα ΜΔΝ, ανάλογα με το μέγεθος των συστημάτων τους και τις διασυνδέσεις τους.
- Τον έλεγχο του κόστους ηλεκτροπαραγωγής στα ΜΔΝ.
- Την ποιότητα της παρεχόμενης υπηρεσίας στους κατοίκους των ΜΔΝ, ανάλογα με αυτή στο διασυνδεδεμένο σύστημα
- Την προώθηση της διείσδυσης της ενέργειας από μονάδες ΑΠΕ και ΣΗΘΥΑ στα ενεργειακά ισοζύγια των ΜΔΝ, την αύξηση του μείγματος διαφορετικών τεχνολογιών ΑΠΕ και αποθήκευσης, προκειμένου να επιτευχθούν αυξημένες διεισδύσεις σε επίπεδα άνω του 50%.

Στο παρόν κεφάλαιο περιγράφονται οι γενικές αρχές τιμολόγησης των υβριδικών σταθμών, οι μετρήσεις που απαιτούνται από το κώδικα ΜΔΝ και εξετάζονται οι πιθανές ηλεκτρικές διαμορφώσεις ενός Υβριδικού Σταθμού.

### 4.1 *Κυλιόμενος Ημερήσιος Ενεργειακός Προγραμματισμός (ΚΗΕΠ)*

Ο Κυλιόμενος Ημερήσιος Ενεργειακός Προγραμματισμός (ΚΗΕΠ) αφορά στον προγραμματισμό λειτουργίας όλου του παραγωγικού δυναμικού του συστήματος για τις 24 ώρες της επόμενης ημέρας, την Ημέρα Κατανομής και διενεργείται από τον Διαχειριστή του ΜΔΝ. Η Ημέρα Κατανομής ξεκινά τα μεσάνυχτα 00:00 της ημέρας και ολοκληρώνεται τα μεσάνυχτα της επόμενης 24:00, ενώ στο μέσο της ημέρας γίνεται αναθεώρηση για το δεύτερο δωδεκάωρο. Σκοπός του ΚΗΕΠ είναι ο προσδιορισμός της ένταξης και παραγωγής ενέργειας των κατανεμημένων μονάδων παραγωγής με στόχο την κάλυψη της ζήτησης του Συστήματος ΜΔΝ τηρώντας τους περιορισμούς ασφαλείας, ώστε να εξασφαλίζεται η ασφαλής λειτουργία του συστήματος.

Η κατάρτιση του ΚΗΕΠ προσδιορίζει το πλήθος των κατανεμημένων συμβατικών μονάδων και των μονάδων ΑΠΕ που προγραμματίζεται να εκκινήσουν, να παύσουν ή να συνεχίσουν την λειτουργία τους για κάθε Ωρα Κατανομής. Παράλληλα, προσδιορίζεται η ενέργεια που θα παράγει κάθε μονάδα και η ενέργεια που προγραμματίζεται να απορροφήσουν οι Υβριδικού Σταθμοί για την πλήρωση των συστημάτων αποθήκευσης που διαθέτουν

Η μεθοδολογία του Μηχανισμού Επίλυσης Ημερήσιου Προγράμματος συνίσταται στην κατάσταση και επίλυση προβλήματος με κριτήριο τη μέγιστη δυνατή διείσδυση ΑΠΕ και ΣΗΘΥΑ και ταυτόχρονα την ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους λειτουργίας των συμβατικών μονάδων παραγωγής για όλη την Ημέρα Κατανομής

#### 4.1.1 Δήλωση Παραγωγής και Φορτίου των ΥΒΣ

Ο Παραγωγός του Υβριδικού Σταθμού μέχρι τη λήξη της προθεσμίας για την υποβολή των Δηλώσεων Παραγωγής και Φορτίου στον ΚΗΕΠ, υποβάλλει Δήλωση Παραγωγής διακριτά για την 1<sup>η</sup> και τη 2<sup>η</sup> Περίοδο ΚΗΕΠ. Οι προσφορές καταρτίζονται συνεκτιμώντας την ενέργεια που είναι ήδη αποθηκευμένη (πλην του αποθέματος ασφαλείας που ορίζουν οι άδειες παραγωγής) και την αναμενόμενη αιολική παραγωγή, με τη χρήση κατάλληλων συντελεστών εμπιστοσύνης. Η Δήλωση Παραγωγής που υποβάλλεται για την 1<sup>η</sup> Περίοδο ΚΗΕΠ (ώρες 00:00 έως 12:00) δεν μπορεί να υπερβαίνει την προσφορά τους για τη 2<sup>η</sup> Περίοδο, ώστε να επιτυγχάνεται η διατήρηση επαρκούς ενέργειας για την κάλυψη της βραδινής αιχμής, που αποτελεί βασική αρχή διαχείρισης των ΥΒΣ. Η Δήλωση Παραγωγής πρέπει να λαμβάνει υπόψη τα τεχνικά χαρακτηριστικά των διαθέσιμων Ελεγχόμενων Μονάδων του Υβριδικού Σταθμού και να αντιστοιχεί σε ικανό μέγεθος ενέργειας για τη λειτουργία των Κατανεμημένων Μονάδων του Σταθμού. Σε περίπτωση που η διαθέσιμη ενέργεια για την Ημέρα Κατανομής δεν ξεπερνάει παροχή δύο ωρών στην εγγυημένη ισχύ του σταθμού, επιβάλλεται μηδενική προσφερόμενη ενέργεια.

Ο Διαχειριστής μπορεί να απαιτήσει από τους παραγωγούς των ΥΒΣ εγγυημένη παροχή εντός του 24ωρου, εφόσον οι υποβληθείσες προσφορές δεν επαρκούν για την κάλυψη της προβλεπόμενης ζήτησης. Εγγυημένη παροχή ζητείται κατά τη βούληση του Διαχειριστή, κατά κύριο λόγο τις ημέρες υψηλού φορτίου. Ο Διαχειριστής επιμερίζει την απαιτούμενη εγγυημένη ενέργεια στους διάφορους ΥΒΣ, με προτεραιότητα σε αυτούς που υπέβαλαν χαμηλή προσφορά, ώστε να προκύπτει κατά το δυνατόν ισορροπημένο πρόγραμμα ένταξης.

Εάν βάσει της προηγούμενης διαδικασίας η εγγυημένη παροχή που αναλογεί στον κάθε ΥΒΣ υπολείπεται της προσφερθείσας ενέργειας, τότε ο ΥΒΣ υποβάλλει Δήλωση Φορτίου,

δηλαδή αιτείται την απορρόφηση της αναγκαίας ποσότητας ενέργειας από το δίκτυο. Η δηλωθείσα ενέργεια πρέπει να είναι εύλογη με βάση την απόδοση του πλήρους κύκλου λειτουργίας του αποθηκευτικού συστήματος του σταθμού.

## **4.2 Γενικοί Κανόνες Ένταξης και Λειτουργίας Μονάδων ΑΠΕ/ΣΗΘΥΑ Υβριδικών Σταθμών**

Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από μονάδες ΑΠΕ, συμπεριλαμβανομένων των μονάδων παραγωγής Υβριδικών σταθμών και μονάδων ΣΗΘΥΑ, οφείλει να απορροφάται από τον Διαχειριστή ΜΔΝ κατά προτεραιότητα έναντι των συμβατικών μονάδων παραγωγής με την επιφύλαξη της ασφαλούς λειτουργίας του Συστήματος ΜΔΝ. Η τεχνικά ελάχιστη παραγωγή των συμβατικών μονάδων υποχρεωτική ένταξης (must-run), όπως αυτή καθορίζεται για κάθε Σύστημα ΜΔΝ, δε δύναται να αντικατασταθεί από ενέργεια ΑΠΕ και δε λαμβάνεται υπόψη κατά τον παραπάνω υπολογισμό. Επίσης αφαιρείται η ενεργεία των μη-κατανεμημένων μονάδων ΑΠΕ, Φ/Β και μικρές ανεμογεννήτριες και μονάδες βιομάζας βιοαερίου που συνδέονται στη Χαμηλή Τάση.

Οι κανόνες ένταξης και λειτουργίας των μονάδων ΑΠΕ/ΣΗΘΥΑ και Υβριδικών σταθμών έχουν ως στόχο τη μεγιστοποίηση της διείσδυσης της ηλεκτρικής ενέργειας, που παράγεται από αυτές, με γνώμονα πάντα την ασφαλή λειτουργία του Συστήματος ΜΔΝ.

Η ενέργεια, που προέρχεται από μονάδες ΑΠΕ και Υβριδικούς Σταθμούς, έχει προτεραιότητα έναντι της ενέργειας προερχόμενης από μονάδες ΣΗΘΥΑ. Οι κανόνες εξασφαλίζουν την ίση μεταχείριση όλων των μονάδων κατά τη λειτουργία του Συστήματος ΜΔΝ και διαφοροποιούνται ανά τεχνολογία, όταν αυτό προκύπτει από τα τεχνικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά τους. Οι Μονάδες που ανήκουν στην ίδια κατηγορία υπόκεινται στους ίδιους κανόνες ένταξης και λειτουργίας, με την επιφύλαξη τυχόν ειδικών όρων της άδειας παραγωγής.

## **4.3 Κανόνες Ένταξης και Λειτουργίας για Υβριδικούς Σταθμούς**

### **4.1.2 Υποχρεώσεις του παραγωγού Υβριδικού Σταθμού**

Ο Παραγωγός οφείλει να τηρεί τις εντολές του Διαχειριστή του ΜΔΝ, παρέχοντας την απαιτούμενη ενέργεια και ισχύ για κάθε ώρα της ημέρας σύμφωνα με το πρόγραμμα που έχει ανατεθεί. Η ενέργεια που έχει κατανεμηθεί αντιστοιχεί στην προσφορά ενέργειας που έχει υποβάλει ο παραγωγός για το αντίστοιχο διάστημα, εκτός από τις ημέρες εγγυημένης ισχύος. Η υποχρέωση του σταθμού για παροχή εγγυημένης ισχύος και ενέργειας αναφέρεται στην άδεια παραγωγής τόσο για την ισχύ όσο και για τον αριθμό των ωρών εγγυημένης παροχής. Στις ημέρες που το φορτίο του νησιού είναι πολύ υψηλό ζητείται η

παροχή της εγγυημένης ενέργειας και, στην περίπτωση που η προσφορά δεν την καλύπτει, ενδέχεται να υπάρξει και πρόγραμμα απορρόφησης για τις ελεγχόμενες μονάδες του σταθμού, το οποίο πρέπει να τηρηθεί.

#### 4.1.3 Υποχρεώσεις του Διαχειριστή του ΜΔΝ

Ο Διαχειριστής ΜΔΝ έχει την υποχρέωση να εντάσσει κατά προτεραιότητα τους Υβριδικούς Σταθμούς, σύμφωνα με την προσφορά ενέργειας που υποβάλλουν, στο βαθμό που εξασφαλίζεται η ασφάλεια του Συστήματος ΜΔΝ. Με βάση το αποτέλεσμα της επίλυσης του ΚΗΕΠ, γνωστοποιείται στον σταθμό το σχετικό πρόγραμμα παραγωγής και ο Σταθμός παρέχει στο Δίκτυο την ζητούμενη ενέργεια και ισχύ. Το πρόγραμμα λειτουργίας μπορεί να τροποποιείται στην πραγματική λειτουργία, κατόπιν σχετικών Εντολών Κατανομής από τον Διαχειριστή ΜΔΝ, προκειμένου να διασφαλίζεται η ασφαλής λειτουργία του Συστήματος ΜΔΝ και να καθίσταται εφικτή η απορρόφηση ενέργειας ΑΠΕ των Μονάδων του Συστήματος ΜΔΝ.

Εφόσον απαιτηθεί από τον Διαχειριστή ΜΔΝ η παροχή μέρους ή του συνόλου της Εγγυημένης Ενέργειας από τον Υβριδικό Σταθμό, θα πρέπει να τεκμηριώνεται επαρκώς βάσει των κανόνων επίλυσης του ΚΗΕΠ. Η παροχή της εγγυημένης ενέργειας δικαιολογείται για την κάλυψη ζήτησης, η οποία είναι τεχνικά αδύνατο να καλυφθεί από τις διαθέσιμες Μονάδες του Συστήματος ΜΔΝ και, κατ' εξαίρεση, για την οικονομικότερη λειτουργία του Συστήματος ΜΔΝ κατόπιν συναίνεσης του Παραγωγού του Υβριδικού Σταθμού. Η προσφερόμενη ενέργεια του Υβριδικού Σταθμού κατανέμεται από τον Διαχειριστή ΜΔΝ κατά την επίλυση του ΚΗΕΠ, με τέτοιο τρόπο ώστε να επιτυγχάνεται το βέλτιστο οικονομικό και τεχνικό αποτέλεσμα για την λειτουργία του Συστήματος με απαραίτητη προϋπόθεση την ασφάλεια του Συστήματος. Στην περίπτωση που διαπιστωθούν σημαντικές αποκλίσεις από καθορισμένα όρια λειτουργίας των Μονάδων του Υβριδικού Σταθμού, ο Διαχειριστής ΜΔΝ έχει την δυνατότητα να διακόψει την λειτουργία του Σταθμού.

#### 4.1.4 Ελεγχόμενες μονάδες Υβριδικού Σταθμού

Οι ελεγχόμενες μονάδες του Υβριδικού Σταθμού έχουν προτεραιότητα στην ένταξη και στη φόρτισή τους έναντι των συμβατικών μονάδων, με την επιφύλαξη κάλυψης των απαιτούμενων Επικουρικών Υπηρεσιών και των τεχνικών ελαχίστων για τις συμβατικές μονάδες που εντάσσονται για παραγωγή (must-run). Επικουρικές Υπηρεσίες οφείλουν να παρέχουν και οι ελεγχόμενες μονάδες των Υβριδικών Σταθμών, καθώς υποκαθιστούν συμβατικές μονάδες. Οι Επικουρικές Υπηρεσίες των ελεγχόμενων μονάδων αφορούν

στην παροχή Ενέργειας Ενεργού Ισχύος για τη ρύθμιση συχνότητας και την παροχή Αέργου Ισχύος για τη ρύθμιση τάσης του Συστήματος ΜΔΝ.

#### 4.1.5 Μονάδες Απορρόφησης Ενέργειας

Οι μονάδες απορρόφησης ενέργειας του Υβριδικού δύνανται να απορροφούν ενέργεια παραγόμενη από τις μονάδες ΑΠΕ του σταθμού ή από το Δίκτυο ΜΔΝ, εφόσον ζητηθεί από τον Διαχειριστή ΜΔΝ βάσει του ΚΗΕΠ. Ο προγραμματισμός των μονάδων για απορρόφηση ενέργειας, που παράγεται από τις μονάδες ΑΠΕ του σταθμού, γίνεται από τον Παραγωγό. Ο προγραμματισμός απορρόφησης ηλεκτρικής ενέργειας από το Δίκτυο ΜΔΝ πραγματοποιείται από τον Διαχειριστή του ΜΔΝ και προκύπτει από την επίλυση του ΚΗΕΠ.

Ο προγραμματισμός απορρόφησης ενέργειας από το Δίκτυο ΜΔΝ βάσει του ΚΗΕΠ είναι δεσμευτικός για τον Παραγωγό του Υβριδικού Σταθμού. Η επίλυση του ΚΗΕΠ και το πρόγραμμα απορρόφησης, εάν προκύπτει, οφείλει να τηρεί τα τεχνικά όρια των μονάδων απορρόφησης, όπως αυτά αναφέρονται στην άδεια παραγωγής. Το πρόγραμμα απορρόφησης των Υβριδικών Σταθμών καταρτίζεται με τέτοιο τρόπο, ώστε να επιτυγχάνεται το βέλτιστο οικονομικό και τεχνικό αποτέλεσμα για τη λειτουργία του Συστήματος ΜΔΝ, δηλαδή εντοπίζεται κατά προτεραιότητα η απορρόφηση στις ώρες χαμηλού φορτίου.

Για λόγους ασφάλειας του Συστήματος ΜΔΝ ή για λόγους ενίσχυσης της διείσδυσης ενέργειας από ΑΠΕ, που προέρχεται από άλλες μονάδες του Συστήματος, ο Διαχειριστής ΜΔΝ κατά την κατάρτιση του Προγράμματος Κατανομής δύναται να προγραμματίσει αυξημένο φορτίο προς απορρόφηση, εντός των τεχνικών ορίων του Σταθμού. Ο προγραμματισμός περεταίρω απορρόφησης ενέργειας από τις μονάδες του Υβριδικού Σταθμού, όταν δεν απαιτείται για την ασφάλεια του Συστήματος ΜΔΝ, απαιτεί τη σύμφωνη γνώμη του παραγωγού.

Τέλος, ο παραγωγός οφείλει να διατηρεί επαρκείς ποσότητες του εργαζόμενου μέσου του αποθηκευτικού συστήματος, ώστε να διασφαλίζεται η απρόσκοπτη, ομαλή και ασφαλής λειτουργία του σταθμού καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, σύμφωνα με τους όρους της οικείας άδειας παραγωγής. Το ελάχιστο ενεργειακό απόθεμα του σταθμού μπορεί να διαφοροποιείται ανάλογα με την τεχνολογία του Υβριδικού Σταθμού και καθορίζεται στην άδεια παραγωγής.



#### 4.4 Γενικές αρχές τιμολόγησης των ΥΒΣ

Οι διατάξεις του νόμου 3468/2006 και των κανονισμών αδειών καθορίζουν τον τρόπο τιμολόγησης της ενέργειας των ΥΒΣ. Σύμφωνα με αυτές, γίνεται ξεχωριστή τιμολόγηση της ενέργειας, ανάλογα με το αν η ροή της απορροφάται από το δίκτυο για την πλήρωση των μονάδων αποθήκευσης ή αν παρέχεται στο δίκτυο από τις μονάδες του σταθμού. Η ενέργεια, που παρέχεται στο δίκτυο, σύμφωνα με το πρόγραμμα παραγωγής του σταθμού, τιμολογείται με βάση την προέλευσή της. Για τις μονάδες με διατάξεις αποθήκευσης, οι οποίες έχουν ικανότητα παροχής ονομαστικής ισχύος για τουλάχιστον 8 ώρες, δίνεται αποζημίωση διαθεσιμότητας ισχύος. Οι γενικές αρχές τιμολόγησης είναι οι εξής:

1. Η τιμολόγηση της ενέργειας από τις ελεγχόμενες μονάδες παραγωγής των ΥΒΣ προσαρμόζεται με βάση το κόστος λειτουργίας του αυτόνομου ηλεκτρικού συστήματος του νησιωτικού συστήματος, που εξοικονομείται.
2. Αντίστοιχα, η τιμολόγηση της απορροφούμενης ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο, που προορίζεται για την πλήρωση των μονάδων αποθήκευσης, καθορίζεται από το επιβαλλόμενο κόστος λειτουργίας του αυτόνομου νησιωτικού συστήματος.
3. Η τιμολόγηση της διαθέσιμης ισχύος των ΥΒΣ πρέπει να προσαρμόζεται στο εξοικονομούμενο κόστος ανάπτυξης μονάδων παραγωγής στο δυναμικό παραγωγής του ηλεκτρικού συστήματος.
4. Η αδυναμία διάθεσης μέρους ή συνόλου της εγγυημένης ισχύος του ΥΒΣ επιφέρει την επιβολή προστίμων για το μέρος της ισχύος που δεν διατίθεται, όταν απαιτείται από τον αρμόδιο Διαχειριστή. Το πρόστιμο, που επιβάλλεται στον διαχειριστή του ΥΒΣ, αντανακλά το κόστος εγκατάστασης πρόσθετου δυναμικού για την εξυπηρέτηση της ζήτησης, που δεν καλύπτεται από τον ΥΒΣ.

##### 4.1.6 Κανόνες τιμολόγησης ΥΒΣ

Οι πληρωμές και χρεώσεις, που αφορούν τις μονάδες ΥΒΣ, υπολογίζονται σε μηνιαία βάση, λαμβάνοντας υπόψη τις μετρήσεις, που προκύπτουν από την πραγματική λειτουργία της μονάδας για τον εκάστοτε μήνα που εκκαθαρίζεται.

Για τους ΥΒΣ προσδιορίζονται διακριτά αμοιβές για:

- την έγχυση ενέργειας στο σύστημα ΜΔΝ, με βάση τους σχετικούς ειδικούς όρους των οικείων αδειών παραγωγής και συμβάσεων πώλησης, όπως προβλέπονται από τις κείμενες διατάξεις,

- τη διαθεσιμότητα ισχύος για τους σταθμούς, για τους οποίους αυτή προβλέπεται, σύμφωνα με τους κανονισμούς, στην τιμολόγηση όπου αναφέρονται οι σχετικοί ειδικοί όροι των οικείων αδειών παραγωγής και συμβάσεων πώλησης και
- τις επικουρικές υπηρεσίες, εφόσον αυτές ορίζονται στους σχετικούς ειδικούς όρους των οικείων αδειών παραγωγής και συμβάσεων πώλησης.

Προβλέπεται επίσης επιβολή προστίμου σε περίπτωση απόκλισης από το πρόγραμμα κατανομής, ανάλογα με τους σχετικούς ειδικούς όρους των οικείων αδειών παραγωγής και συμβάσεων πώλησης. Τέλος, επιβάλλεται πρόστιμο στους ΥΒΣ σε περίπτωση αδυναμίας απόδοσης της εγγυημένης ισχύος.

Οι τιμές, με βάση τις οποίες γίνεται η τιμολόγηση των παραπάνω ενεργειών, είναι ενιαίες για όλους τους ΥΒΣ που λειτουργούν στο νησί, υπό την προϋπόθεση ότι χρησιμοποιούν την ίδια τεχνολογία και υπό τους ίδιους περιορισμούς. Για τον λόγο αυτό, οι τιμές πώλησης και αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας οφείλουν να καθορίζονται εκ των προτέρων, με γνώμονα το κόστος των μονάδων αιχμής και των μονάδων βάσης του ΜΔΝ.

#### 4.1.7 Αμοιβή για την έγχυση ενέργειας στο δίκτυο

Η τιμολόγηση της παραγόμενης ενέργειας από τις ελεγχόμενες μονάδες παραγωγής των ΥΒΣ οφείλει να αντισταθμίζει το κόστος παραγωγής που αποφεύγουμε να δαπανήσουμε, δηλαδή το μέσο μεταβλητό κόστος των συμβατικών μονάδων αιχμής του συστήματος που υποκαθιστούν.

Όταν υπάρχει έγχυση ενέργειας από τις μονάδες ΑΠΕ, που υποκαθιστά μέρος της προγραμματισμένης παραγωγής των ελεγχόμενων μονάδων, τότε η τιμολόγηση της ενέργειας αποφασίζεται κατά το ήμισυ στη βάση της τιμής πώλησης της συγκεκριμένης τεχνολογίας ΑΠΕ και κατά το ήμισυ με βάση την ενέργεια των ελεγχόμενων μονάδων του ΥΒΣ. Σε διαφορετική περίπτωση, η τιμολόγηση της ενέργειας υπακούει στο εκάστοτε ισχύον τιμολόγιο ΑΠΕ στο ΜΔΝ.

Το κόστος παραγωγής των συμβατικών μονάδων μεταβάλλεται ανάλογα με την ανάπτυξη της συμβατικής παραγωγής του ΜΔΝ σε βάθος χρόνου. Το συγκεκριμένο γεγονός πρέπει να αποτυπώνεται στη σύμβαση πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας, που συνάπτεται μεταξύ Παραγωγού και του Διαχειριστή ΜΔΝ. Η αναπροσαρμογή αυτή είναι σκόπιμο να ενσωματώνεται ως ρητή πρόβλεψη στην άδεια παραγωγής και στις συμβάσεις που συνάπτονται. Πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τόσο οι μεταβολές που πραγματοποιούνται στην δομή του συστήματος παραγωγής του νησιού, όσο και η επίπτωση στην οικονομική βιωσιμότητα των σταθμών. Σε κάθε περίπτωση, σύμφωνα με τον νόμο 4254 του 2014, η

τιμή πώλησης της ενέργειας, που προέρχεται από τις ελεγχόμενες μονάδες του ΥΒΣ, οφείλει να υπερβαίνει την τιμή με την οποία τιμολογείται η ηλεκτρική ενέργεια, που απορροφά ο ΥΒΣ για την πλήρωση των συστημάτων αποθήκευσης και, συγκεκριμένα, να είναι προσαυξημένη κατά 25%. Παράλληλα, ο νόμος θέτει την τιμή πώλησης της ενέργειας από τις ελεγχόμενες μονάδες των ΥΒΣ κατ' ελάχιστο στο 150% της τιμής πώλησης της αιολικής ενέργειας.

Οι ΥΒΣ υποκαθιστούν συμβατικές μονάδες του συστήματος του ΜΔΝ, οι οποίες παρέχουν επικουρικές υπηρεσίες. Συνεπώς, οι μονάδες των ΥΒΣ οφείλουν να παρέχουν ανάλογες υπηρεσίες, οι οποίες δεν τιμολογούνται ως ξεχωριστές επικουρικές υπηρεσίες, στο βαθμό που δε γίνεται διαχωρισμός για τις μονάδες που υποκαθιστούν.

#### 4.1.8 Αμοιβή Διαθεσιμότητας Ισχύος

Η παρουσία των ΥΒΣ στα αυτόνομα ηλεκτρικά συστήματα αποτρέπει επενδύσεις για εγκατάσταση νέων συμβατικών σταθμών παραγωγής αντίστοιχης ικανότητας. Για το λόγο αυτό, η διαθεσιμότητα ισχύος υπολογίζεται με βάση το κόστος εγκατάστασης νέων συμβατικών σταθμών και όχι με βάση το κόστος της εγκατάστασης νέων μονάδων στους υφιστάμενους σταθμούς. Η εγγυημένη ισχύς, για την οποία ο ΥΒΣ λαμβάνει τίμημα διαθεσιμότητας ισχύος, προσδιορίζεται στην άδεια παραγωγής του σταθμού.

Στις περισσότερες περιπτώσεις νησιών, η κατασκευή νέων σταθμών για την κάλυψη των αναγκών δεν είναι πολύ πιθανό σενάριο. Βάσει του ισχύοντος θεσμικού πλαισίου, η είσοδος νέων παραγωγών στα νησιά επιβάλλει την τιμολόγηση της διαθεσιμότητας ισχύος κατ' αυτόν τον τρόπο.

#### 4.1.9 Αμοιβή για τις επικουρικές υπηρεσίες

Η αμοιβή για την παροχή επικουρικών υπηρεσιών από τους ΥΒΣ υπολογίζεται με τις ημέρες ανά μήνα εκκαθάρισης. Η αμοιβή των επικουρικών υπηρεσιών, που παρέχουν οι εντασσόμενες μονάδες ΥΒΣ, καθορίζονται στον Κώδικα ΜΔΝ και στη Σύμβαση Επικουρικών Υπηρεσιών του ΥΒΣ.

#### 4.1.10 Χρέωση ΥΒΣ για την απορρόφηση ενέργειας από το δίκτυο.

Η τιμή, με βάση την οποία τιμολογείται το σύνολο της ηλεκτρικής ενέργειας, που απορροφά ο ΥΒΣ για την πλήρωση των συστημάτων αποθήκευσης από το δίκτυο, καθορίζεται στην άδεια παραγωγής του ΥΒΣ. Ο υπολογισμός της τιμής λαμβάνει υπόψη το μέσο ετήσιο κόστος παραγωγής των μονάδων βάσης του συστήματος κατά τον χρόνο έκδοσης της άδειας παραγωγής.

#### 4.1.11 Επιβολή κυρώσεων σε ΥΒΣ

Ο υπολογισμός του προστίμου, λόγω συστηματικής αδυναμίας διάθεσης της εγγυημένης ισχύος και ενέργειας ΥΒΣ, όταν απαιτείται από το διαχειριστή, γίνεται σε ετήσια βάση. Λαμβάνονται υπόψη οι ημέρες κατά τις οποίες απαιτήθηκε από τον διαχειριστή η απόδοση εγγυημένης ισχύος και ενέργειας, η σχετική μη εκπλήρωση της υποχρέωσης από τον ΥΒΣ, η απορρόφηση ενέργειας από το δίκτυο για την πλήρωση των αποθηκευτικών μονάδων και οι περικοπές φορτίου, εάν υπήρξαν. Η ποινή προβλέπει την ενεργοποίηση του προστίμου πάνω από ένα ποσοστό ημερών αστοχίας και στη συνέχεια κλιμακωτή αυστηροποίηση της ποινής.

#### 4.1.12 Μετρητές Εγκαταστάσεων.

Η τιμολόγηση, ο έλεγχος της τήρησης των εντολών κατανομής και το επίπεδο λειτουργίας των μονάδων του ΥΒΣ πραγματοποιούνται απολογιστικά, με βάση τα δεδομένα του Διαχειριστή του Δικτύου. Στα προηγούμενα, προστίθεται και η παροχή επικουρικών υπηρεσιών, όπως αυτές ορίζονται στις οικείες άδειες. Από την επεξεργασία των μετρήσεων πραγματικού χρόνου, καθώς και από τις αντίστοιχες εντολές κατανομής της κάθε μονάδας, ελέγχεται αν ικανοποιούνται οι απαιτήσεις που καθορίζονται στον κώδικα ΜΔΝ και υπολογίζονται τυχόν αποκλίσεις. Τέλος, εξετάζεται αν καθένα από τα δηλούμενα ποσοτικά τεχνικοοικονομικά στοιχεία των μονάδων, που αφορούν το μέγιστο/ελάχιστο φορτίο, τις εφεδρείες, τη δυνατότητα παροχής εφεδρειών κλπ. αποκλίνουν από τις πραγματικές δυνατότητες των μονάδων πέραν των ορίων ανοχής, όπως καθορίζονται στον κώδικα ΜΔΝ και τις οικείες άδειες.

Προκειμένου να είναι διαθέσιμα τα απαραίτητα στοιχεία και οι μετρήσεις για την υλοποίηση των παραπάνω, εφαρμόζονται τα αναφερόμενα στον κώδικα ΜΔΝ, στον Κώδικα Διαχείρισης Δικτύου και στα Εγχειρίδια τους, καθώς και οι ειδικότερες προβλέψεις της Σύμβασης Σύνδεσης του Σταθμού. Ο Διαχειριστής του ΜΔΝ αναλαμβάνει την εγκατάσταση στα όρια εγκαταστάσεων του Παραγωγού και του δικτύου, των αναγκαίων μετρητικών διατάξεων για τον προσδιορισμό της ροής ενέργειας και ισχύος, ενεργού και αέργου, ανά κατάλληλο χρονικό διάστημα. Παράλληλα, ο διαχειριστής του ΥΒΣ οφείλει να εγκαταστήσει άλλους μετρητές, τους οποίους προβλέπει η Σύμβαση Σύνδεσης του Σταθμού, όπου αυτό απαιτείται, για τη μέτρηση των βοηθητικών καταναλώσεων επιμέρους συνιστωσών του, καθώς και για την μέτρηση μη ηλεκτρικών μεγεθών, τα οποία μπορεί να είναι αναγκαία για τον έλεγχο της τήρησης των κανόνων λειτουργίας των σταθμών.

## Κεφάλαιο 5. Δεδομένα Δικτύου και Πολιτικές Λειτουργίας

Η μελέτη που θα γίνει το πλαίσιο της παρούσας Μεταπτυχιακής θα αφορά στο Δίκτυο της Σκύρου.

Η Σκύρος βρίσκεται στα βορειοδυτικά της Εύβοιας και ανήκει στα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά.

Το Σύστημα της Σκύρου, περιλαμβάνει τόσο θερμικούς σταθμούς Ντίτζελ όσο και φωτοβολταϊκούς σταθμούς. Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας θα εξεταστεί η εγκατάσταση ενός αιολικού σταθμού, είτε με αποθήκευση, είτε χωρίς.

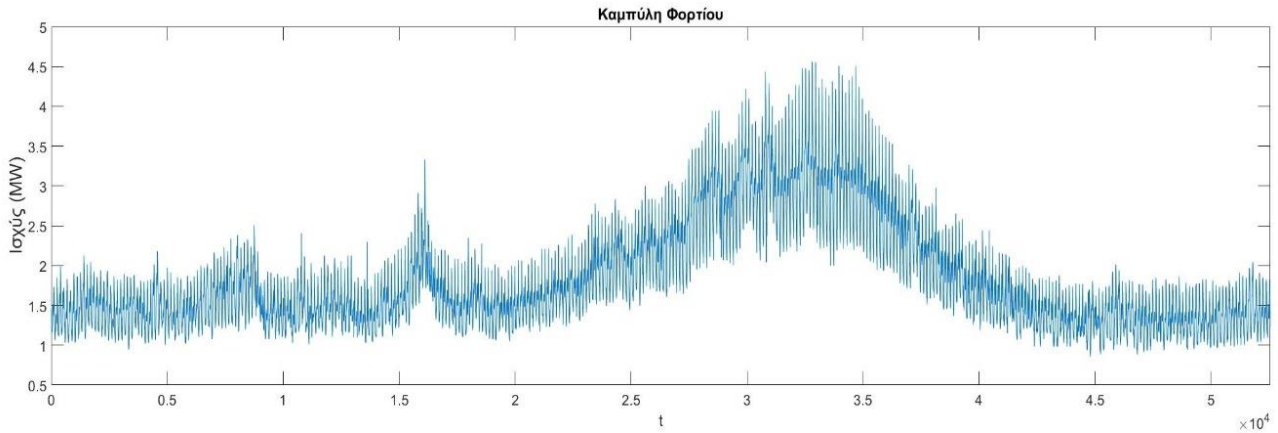


Σχήμα 5-1 Γεωγραφική Θέση Σκύρου

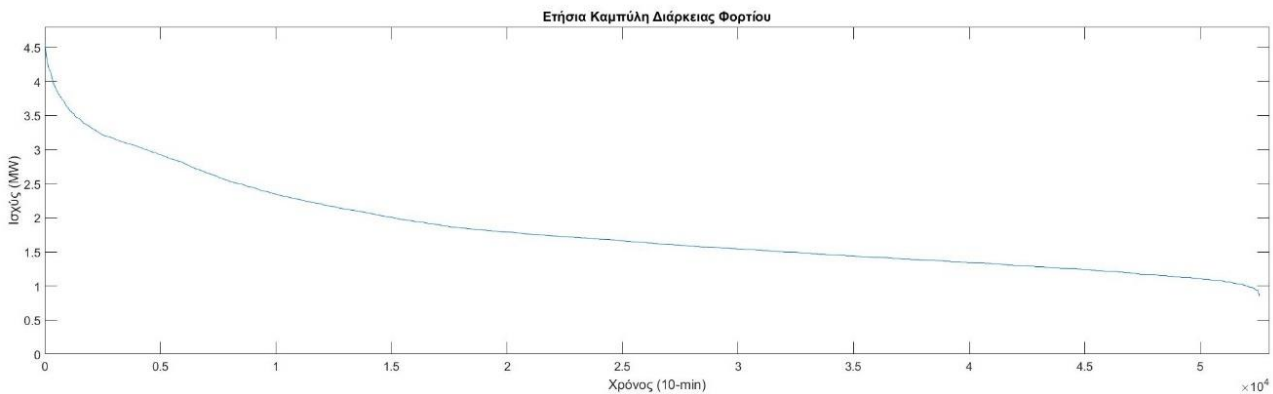
### 5.1 Χαρακτηριστικά Φορτίου

Η αιχμή ζήτησης του ηλεκτρικού φορτίου ανέρχεται σε 4.56 MW και η ετήσια ζήτηση ανέρχεται σε 16011,42 MWh.

Στα παρακάτω σχήματα παρουσιάζεται η ετήσια καμπύλη φορτίου καθώς και ετήσια καμπύλη διάρκειας φορτίου.



Σχήμα 5-5-2 Ετήσια Χρονοσειρά Φορτίου Σκόρου



Σχήμα 5-5-3 Ετήσια Χρονοσειρά Φορτίου Σκόρου

Από την καμπύλη διάρκειας φορτίου μπορούμε να σημειώσουμε ορισμένες ενδιαφέρουσες τιμές:

	<b>20%</b>	<b>40%</b>	<b>60%</b>	<b>80%</b>	<b>100%</b>
<b>h</b>	2604	4695	6440	7782	8760
<b>MW</b>	1.4	1.68	2.07	2.82	4.56

Πίνακας 5-1 Στοιχεία από καμπύλη διάρκειας φορτίου

Αξίζει εδώ να παρατηρήσουμε ότι η ζήτηση ανεβαίνει απότομα τους θερινούς μήνες, δημιουργώντας μια ανομοιομορφία στην καμπύλη φορτίου. Χαρακτηριστικό είναι ότι το 80% της ετήσιας ζήτησης ενέργειας προέρχεται από φορτία με ισχύ μικρότερη από το 60% της μέγιστης.

Επίσης, προκύπτου οι παρακάτω χρήσιμες τιμές:

<b>Μέγιστο Φορτίο</b>	4.56 MW
<b>Ελάχιστο Φορτίο</b>	0.86 MW
<b>Μέση τιμή Φορτίου</b>	1.83 MW
<b>Συντελεστής Φορτίου</b>	0.4
<b>Συνολικό Φορτίο</b>	16011 MWh

Πίνακας 5-2 Χαρακτηριστικά Φορτίου Σκύρου

## 5.2 Χαρακτηριστικά Θερμικών Σταθμών

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι θερμικοί σταθμοί που είναι εγκατεστημένοι στο Σύστημα της Σκύρου.

Μονάδα	Καύσιμο	Ονομαστική Ισχύς (MW)	Μέγιστη Ισχύς (MW)	Τ.Ε. (MW)	Σειρά Ένταξης	Ειδική Κατανάλωση (kg/MWh) 50%	Ειδική Κατανάλωση (kg/MWh) 75%	Ειδική Κατανάλωση (kg/MWh) 100%
<b>MITSUBISHI S16R-PTA</b>	NTIZEΛ	1,275	1,1	0,6	1Α	226,093	214,486	211,3147
<b>MITSUBISHI S16R-PTA</b>	NTIZEΛ	1,275	1,1	0,6	1Β	226,093	214,486	211,3147
<b>MITSUBISHI S16R-PTA</b>	NTIZEΛ	1,275	1,1	0,6	1Γ	226,093	214,486	211,3147
<b>MITSUBISHI S16R-PTA</b>	NTIZEΛ	1,275	1,1	0,6	1Δ	226,093	214,486	211,3147
<b>MITSUBISHI S16R-PTA</b>	NTIZEΛ	1,275	1,1	0,6	1Δ	226,093	214,486	211,3147
<b>USSR Γ-72</b>	NTIZEΛ	0,8	0,7	0,4	2Α	261,516	245,8088	244,3884
<b>USSR Γ-72</b>	NTIZEΛ	0,8	0,7	0,4	2Β	261,516	245,8088	244,3884

Πίνακας 5-3 Συμβατικοί Θερμικοί Σταθμοί Σκύρου

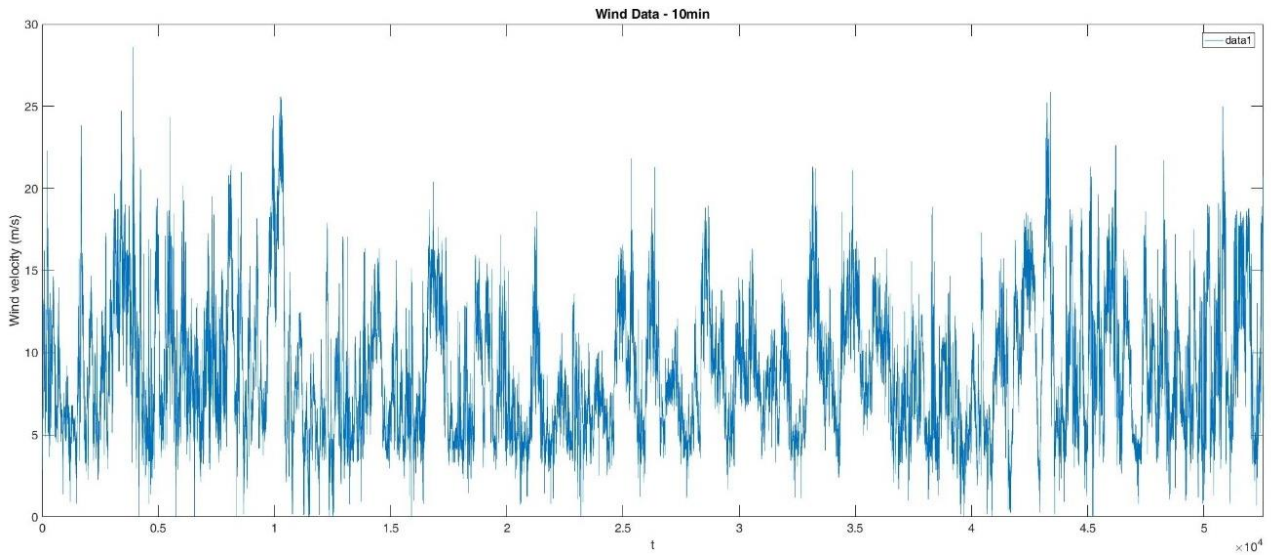
## 5.3 Ανεμολογικά Χαρακτηριστικά

Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας έχουμε χρησιμοποιήσει μια χρονοσειρά ανέμου με δείγμα 10 min με τα παρακάτω χαρακτηριστικά

Ελάχιστη ταχύτητα Ανέμου (m/s)	Μέγιστη ταχύτητα Ανέμου (m/s)	Μέση ταχύτητα Ανέμου (m/s)
0	28,61	8,66

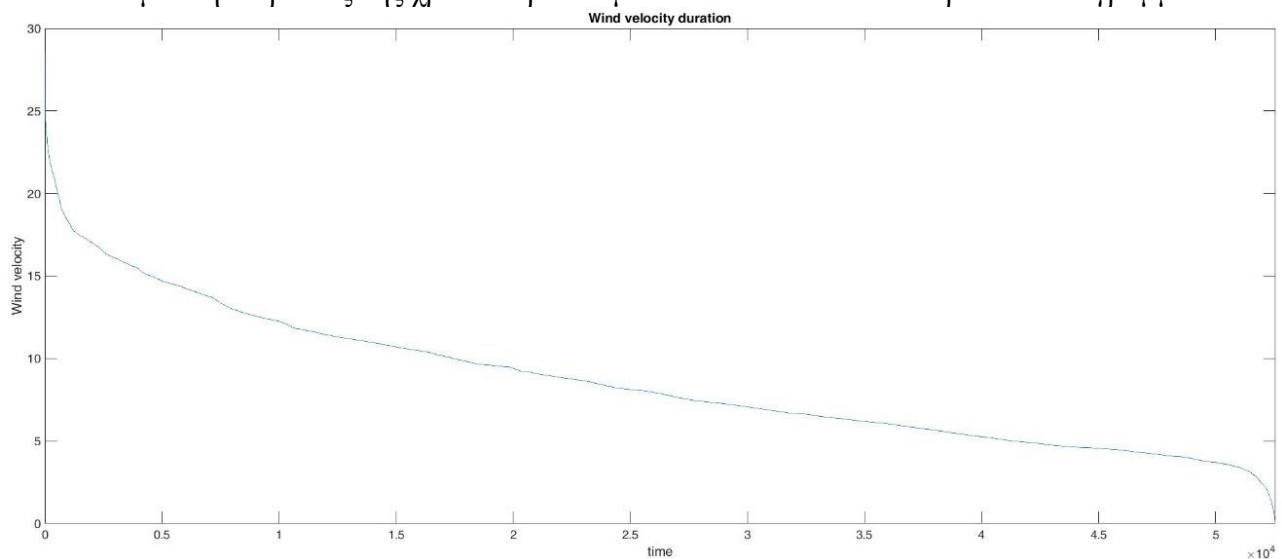
Πίνακας 5-4 Τιμές Ανεμολογικών Δεδομένων

Η χρονοσειρά για ένα έτος αποτυπώνεται στο παρακάτω διάγραμμα:



Σχήμα 5-5-4 Ετήσια Χρονοσειρά Ταχύτητας Ανέμου

Η καμπύλη διάρκειας της χρονοσειρά ανέμου αποτυπώνεται στο παρακάτω διάγραμμα:

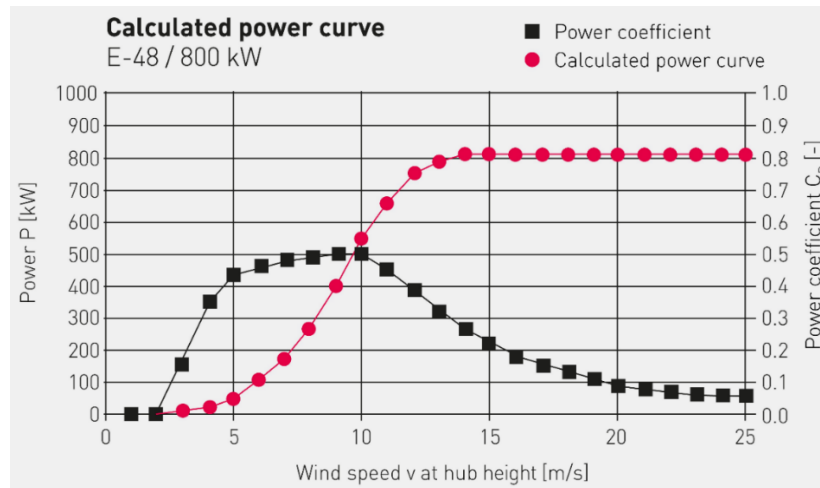


Σχήμα 5-5-5 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Ταχύτητας Ανέμου

#### 5.4 Χαρακτηριστικά Ανεμογεννήτριας

Στο πλαίσιο της Μεταπτυχιακής έχουμε χρησιμοποιήσει τη καμπύλη ισχύος μιας Ανεμογεννήτριας Enercon E-48 / 800 kW. Η συγκεκριμένη ανεμογεννήτρια είναι ασύγχρονη, μεταβλητών στροφών και θεωρούμε ότι ο βαθμός απόδοσης της είναι ίσος με 98%.





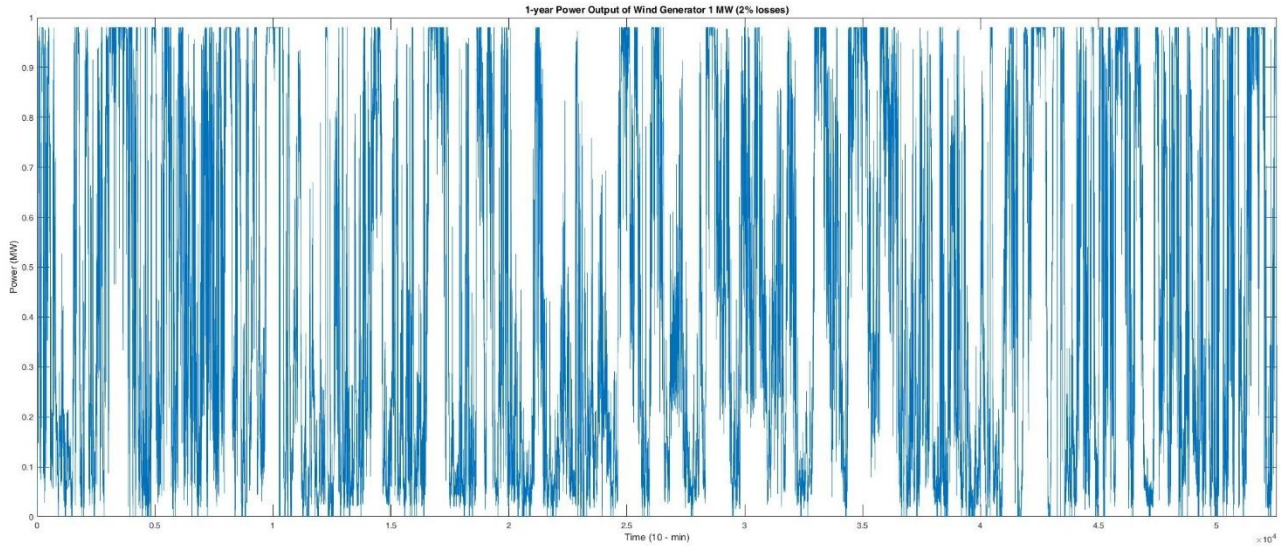
Σχήμα 5-6 Καμπύλη Ισχύος Ανεμογεννήτριας

$V_{hub}$ (m/s) at $h_{hub}$	Guaranteed Power Output $P_i$ (kW)	$V_{hub}$ (m/s) at $h_{hub}$	Guaranteed Power Output $P_i$ (kW)
0	0,00	14	1,000
1	0,000	15	1,000
2	0,002	16	1,000
3	0,015	17	1,000
4	0,040	18	1,000
5	0,081	19	1,000
6	0,148	20	1,000
7	0,236	21	1,000
8	0,351	22	1,000
9	0,500	23	1,000
10	0,685	24	1,000
11	0,828	25	1,000
12	0,926	26	0,00
13	0,975		

Πίνακας 5-5 Τιμές από καμπύλη Ισχύος Ανεμογεννήτριας

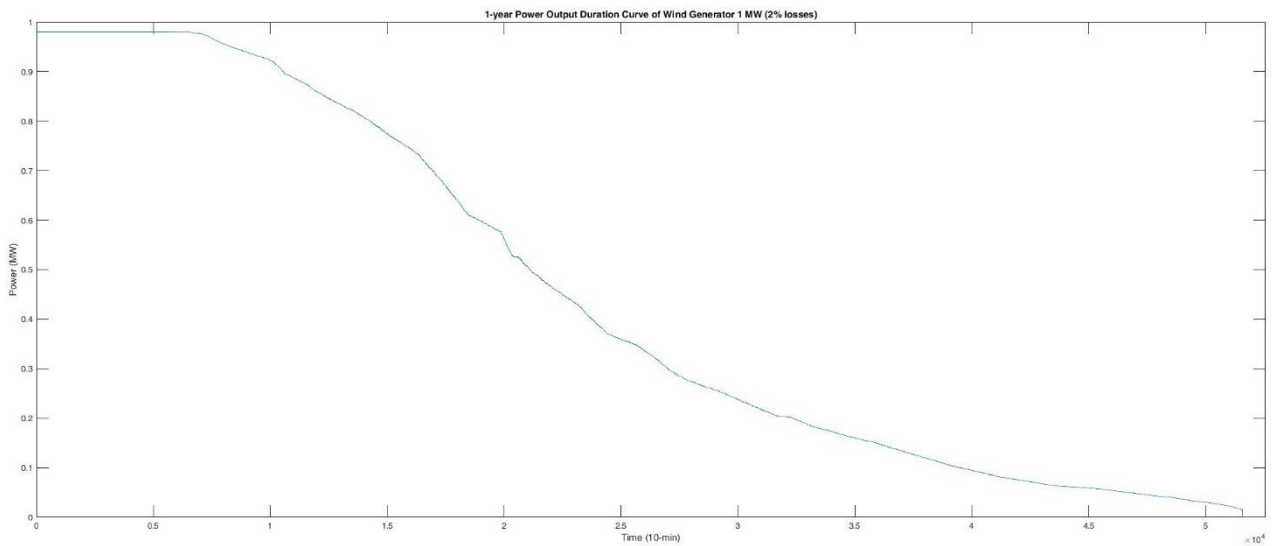
## 5.5 Αιολική Παραγωγή

Συνδυάζοντας τα ανεμολογικά δεδομένα και την καμπύλη ισχύος της ανεμογεννήτριας, προκύπτει η ετήσια χρονοσειρά παραγωγής ισχύος της ανεμογεννήτριας, η οποία φαίνεται στο παρακάτω διαγράμματα:



Σχήμα 5-7 Ετήσια Χρονοσειρά Ισχύος Εξόδου Ανεμογεννήτριας

Στο επόμενο διάγραμμα παρουσιάζεται και η ετήσια καμπύλη διάρκειας της αιολικής παραγωγής:



Σχήμα 5-8 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Ισχύος Εξόδου Ανεμογεννήτριας

Από τα παραπάνω δεδομένα προκύπτουν οι παρακάτω τιμές:

Ελάχιστη Ισχύς (MW / MW)	Μέγιστη Ισχύς (MW / MW)	Μέση Ισχύς (MW / MW)	Συνολική Παραγωγή Ενέργειας (MWh / MW)	Συντελεστής Χρησιμοποίησης
0	0.98	0.44	3873.91	44%

Πίνακας 5-6 Τιμές από χρονοσειρά ισχύος εξόδου ανεμογεννήτριας

## 5.6 Παραγωγή Φωτοβολταϊκών Σταθμών

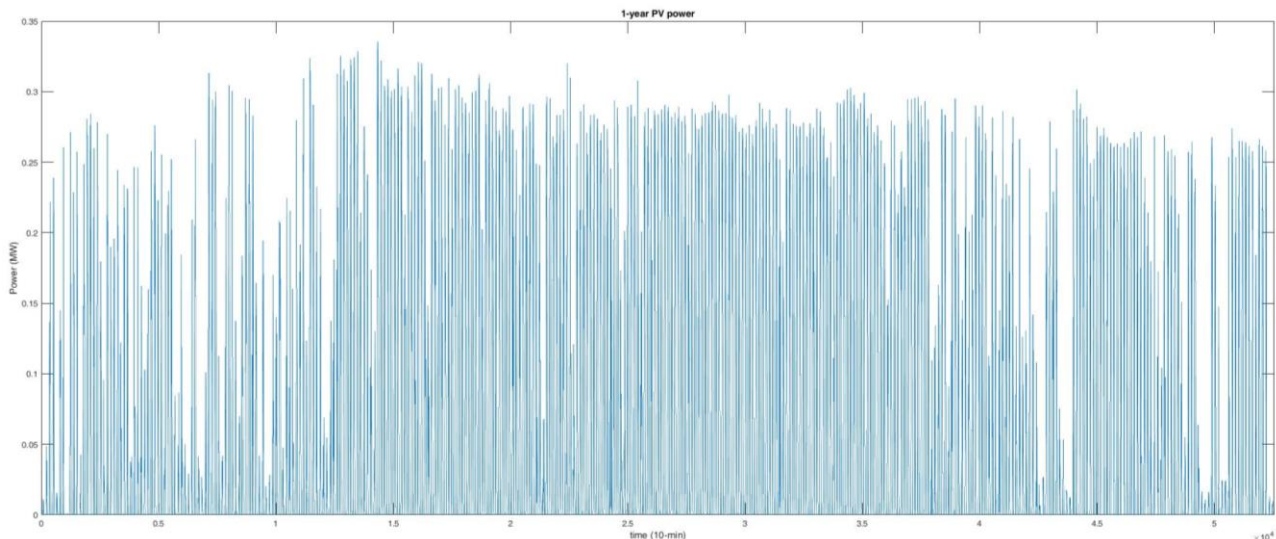
Στο Σύστημα της Σκύρου έχουμε εγκατεστημένα 350 kW φωτοβολταϊκών, τα οποία εντάσσονται κατά προτεραιότητα.

Τα μεγέθη της παραγωγής από φωτοβολταϊκούς σταθμούς αποτυπώνονται στον παρακάτω πίνακα:

Ελάχιστη Ισχύς (MW)	Μέγιστη Ισχύς (MW)	Μέση Ισχύς (MW / MW)	Συνολική Παραγωγή Ενέργειας (MWh)	Συντελεστής Χρησιμοποίησης
0	0.34	0.06	535.48	17%

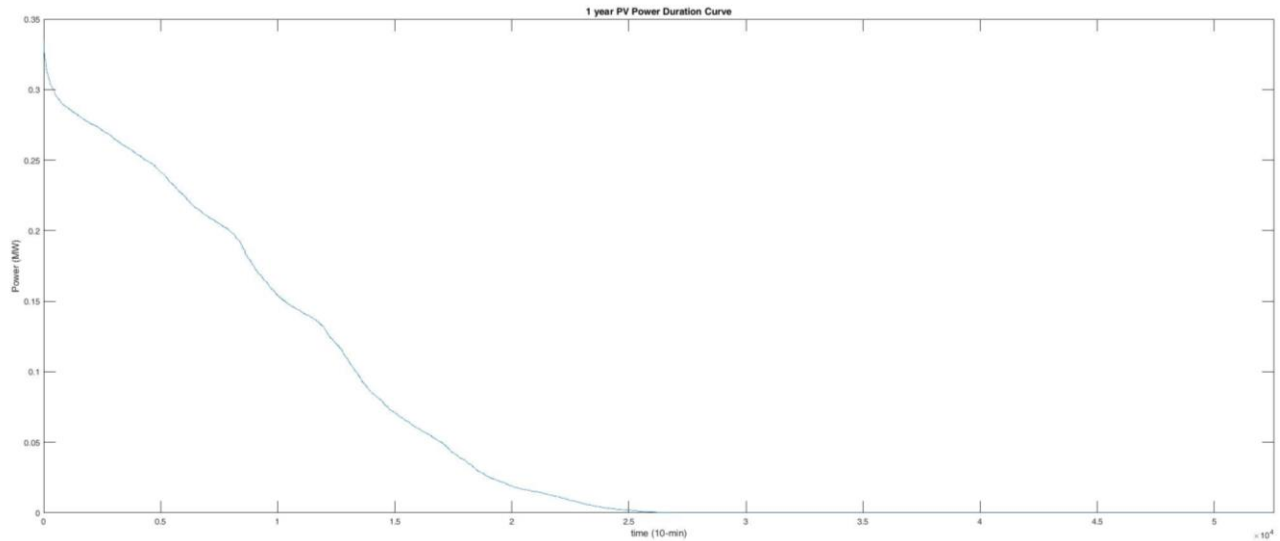
Πίνακας 5-7 Στοιχεία Παραγωγής Φωτοβολταϊκών Σταθμών

Η ετήσια παραγωγή των φωτοβολταϊκών σταθμών παρουσιάζεται στο ακόλουθο διάγραμμα.



Σχήμα 5-9 Ετήσια Χρονοσειρά Φωτοβολταϊκής Ισχύος

Στο επόμενο διάγραμμα αποτυπώνεται η ετήσια καμπύλη διάρκειας ισχύς των φωτοβολταϊκών σταθμών.



Σχήμα 5-10 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Φωτοβολταϊκής Ισχύος

## 5.7 Πολιτικές Ένταξης και Λειτουργίας

### 5.7.1 Αιολικός Σταθμός χωρίς Αποθήκευση

Η πρώτη πολιτική που θα εξεταστεί είναι να θεωρήσουμε την ύπαρξη ενός «μη κατανεμόμενου – μη ελεγχόμενου» αιολικού σταθμού με μια ανεμογεννήτρια, χωρίς κανένα σύστημα αποθήκευσης.

Σε αυτή την περίπτωση, ο αιολικός σταθμός υπόκειται σε περικοπές φορτίου όποτε ο Διαχειριστής το κρίνει απαραίτητο για την ευστάθεια του Συστήματος. Τέτοιες στιγμές υφίστανται συνήθως όταν έχουμε χαμηλό φορτίο και υψηλή αιολική παραγωγή.

Για να αποφασιστεί η ανώτατη επιτρεπτή ισχύς του αιολικού πάρκου, η παραγωγή των αιολικών πάρκων υπόκειται στους εξής περιορισμούς κάθε ώρα:

$$P_w \leq \text{Load} - \sum C_T \times P_{n_i}$$
$$P_w \leq \sum C_D \times P_{n_i}$$

όπου:

$P_w$ : Η συνολική παραγωγή των αιολικών πάρκων του συστήματος (εκτός του υβριδικού).  
Load: Το φορτίο του συστήματος. Προκύπτει αν από το πραγματικό φορτίο αφαιρέσουμε την παραγωγή των φωτοβολταϊκών σταθμών.

$C_T$  : Ο συντελεστής τεχνικού ελαχίστου, δηλαδή η ελάχιστη ισχύς στην οποία μπορεί να λειτουργήσει η κάθε θερμική μονάδα. Στην παρούσα εργασία το  $C_T$  θεωρείται ίσο με 0.6 για τις θερμικές μονάδες τύπου MITSUBISHI S16R-PTA και 0.4 για τις θερμικές μονάδες τύπου USSR Γ-72 .

$C_D$  : Το όριο αυτό ονομάζεται συντελεστής διείσδυσης και εκφράζει το μέγιστο ποσοστό αιολικής ισχύος που μπορεί να απορροφήσει το δίκτυο και ισούται για τα ελληνικά δεδομένα με 30% της ονομαστικής ισχύος των θερμικών σταθμών που είναι ενεργοποιημένοι σε κάθε στιγμή ( $P_{Dn}$ ). Ο συντελεστής διείσδυσης, θεωρείται ίσος με 0.3. Σαφώς, από τους δύο περιορισμούς θα υπερισχύσει ο πιο αυστηρός και τελικά η μέγιστη αιολική ισχύς που θα εγχυθεί στο δίκτυο θα είναι:

$$P(W_{I\max}) = \min(P(W_{I\max}, T), P(W_{I\max}, D))$$

Ο παραπάνω περιορισμός αποτελεί τον σημαντικότερο για την εκτίμηση της ισχύος που τελικά θα απορριφτεί από το δίκτυο. Σε κάθε μοντελοποίηση που γίνεται, λαμβάνεται σαφώς υπόψη.

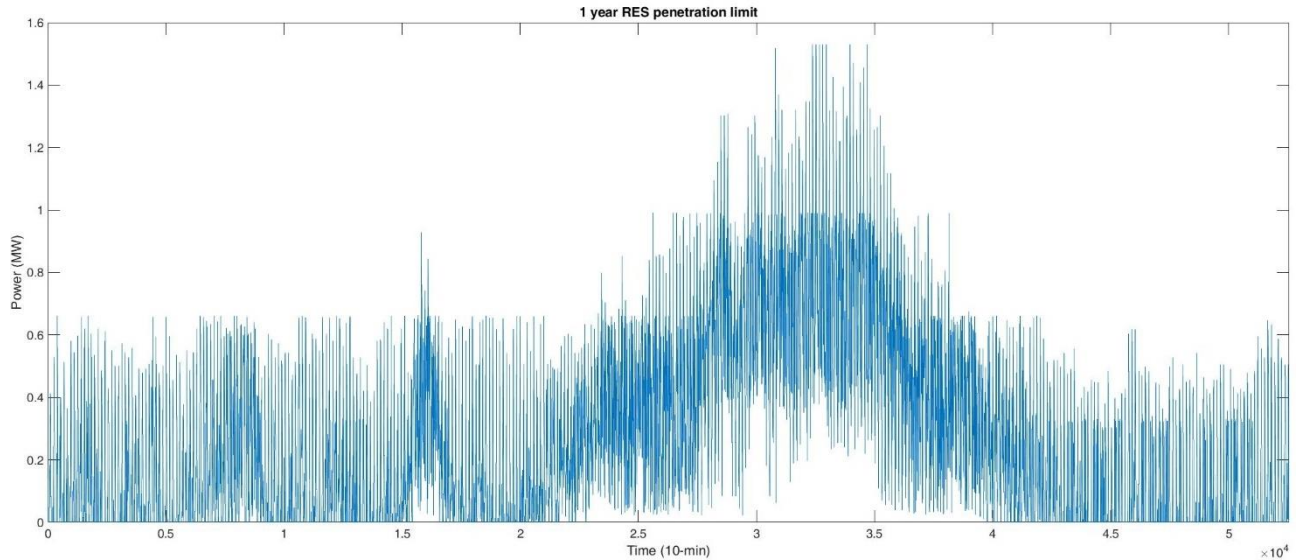
Τελικά υπερισχύει ο αυστηρότερος από αυτούς του δύο περιορισμούς και η ισχύς που περισσεύει απορρίπτεται.

Στους ισχύοντες περιορισμούς θα πρέπει να εντάξουμε ακόμα δυο:

- Θα πρέπει να ενταχθεί τουλάχιστον μια θερμική μονάδα, η οποία θα πρέπει να λειτουργεί τουλάχιστον στο Τεχνικό της Ελάχιστο
- Θα πρέπει η ονομαστική ισχύς των μονάδων να είναι τουλάχιστον 10% μεγαλύτερη από το φορτίο για λόγους εφεδρείας.

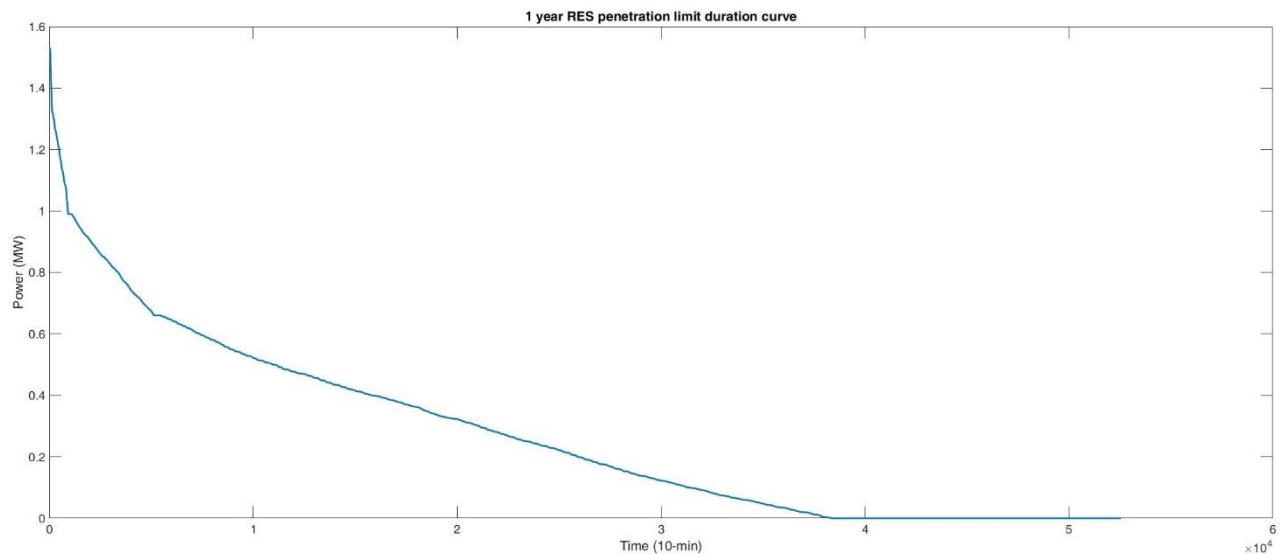
Σχετικά με τη σειρά ένταξης των θερμικών σταθμών, ακολουθούμε τη σειρά που έχει δοθεί από το Διαχειριστή, πιθανότατα με οικονομικά κριτήρια αφού οι μονάδες που εντάσσονται πρώτες είναι αυτές που έχουν τη μικρότερη ειδική κατανάλωση.

Η ετήσια χρονοσειρά του περιθωρίου διείσδυσης που προσφέρεται στα αιολικά πάρκα του νησιού φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα:



Σχήμα 5-11 Ετήσια Χρονοσειρά Διαθέσιμου Περιθωρίου Αιολικής Διείσδυσης

Στο επόμενο διάγραμμα απεικονίζεται η ετήσια καμπύλη διάρκειας του περιθωρίου διείσδυσης που προσφέρεται στα αιολικά πάρκα του νησιού.



Σχήμα 5-12 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Διαθέσιμου Περιθωρίου Αιολικής Διείσδυσης

Μερικές χρήσιμες τιμές που μπορούν να εξαχθούν από τα παραπάνω δεδομένα καταγράφονται στον ακόλουθο πίνακα:

Ελάχιστη Ισχύς (MW)	Μέγιστη Ισχύς (MW)	Μέση Ισχύς (MW)	Συνολικό Περιθώριο Διείσδυσης (MWh)
0	1.53	0.27	2393.59

Πίνακας 5-8 Τιμές Διαθέσιμου Περιθωρίου Αιολικής Διείσδυσης

Η πολιτική που ακολουθούμε σε αυτή την περίπτωση είναι η κάτωθι:

- Σε κάθε χρονική στιγμή ο Διαχειριστής, ανάλογα με το φορτίο και την παραγωγή των φωτοβολταϊκών, αποφασίζει ποιες θερμικές μονάδες θα ενταχθούν και έτσι δίνει ένα set point για τον Σταθμό.
- Τις στιγμές που έχουμε αιολική παραγωγή μεγαλύτερη από το Set Point, τότε προκύπτει απόρριψη ισχύος του αιολικού πάρκου.
- Τις στιγμές που έχουμε αιολική παραγωγή χαμηλότερη του set point, τότε όλη η παραγόμενη ενέργεια από το αιολικό πάρκο μπορεί να εγχυθεί στο Δίκτυο.

#### 5.7.2 Μη κατανεμόμενος σταθμός με αποθήκευση

Σε αυτή την πολιτική λειτουργίας ισχύει ό,τι ακριβώς και στην προηγούμενη με τις εξής διαφορές:

- Ο Σταθμός εκτός από την ανεμογεννήτρια περιλαμβάνει και συσσωρευτές με αμφίδρομη ροή ισχύος. Ο Διαχειριστής όμως δε γνωρίζει κάθε στιγμή από πού προέρχεται η εγχεόμενη ενέργεια. Οπότε, ο Σταθμός έχει ως μέγιστη ισχύ εξόδου την ονομαστική ισχύ της ανεμογεννήτριας.
- Σε κάθε χρονική στιγμή ο Διαχειριστής, ανάλογα με το φορτίο και την παραγωγή των φωτοβολταϊκών, αποφασίζει ποιες θερμικές μονάδες θα ενταχθούν και έτσι δίνει ένα set point για τον Σταθμό.
- Τις στιγμές που έχουμε αιολική παραγωγή μεγαλύτερη από το Set Point, τότε προκύπτει απόρριψη ισχύος και αυτή η ισχύς κατευθύνεται προς τους συσσωρευτές και αποθηκεύεται σε αυτούς εφόσον υπάρχει διαθέσιμη χωρητικότητα
- Τις στιγμές που έχουμε αιολική παραγωγή χαμηλότερη του set point, τότε, εφόσον υπάρχει αποθηκευμένη ενέργεια, μπορούμε να εγχύσουμε στο δίκτυο ενέργεια από τους συσσωρευτές έως το ελάχιστο από τα set point και την ονομαστική ισχύ της ανεμογεννήτριας.
- Σε κάθε στιγμή που προκύπτει ανάγκη για φόρτιση ή εκφόρτιση, θα πρέπει να τηρούνται οι κάτωθι περιορισμοί:
  - **Φόρτιση**
    - Η στάθμη φόρτισης είναι κάτω από τη μέγιστη επιτρεπτή ( Πλήρως Φορτισμένοι Συσσωρευτές)
    - Η ισχύς φόρτισης επαρκεί για να απορροφηθεί όλη η προσφερόμενη ενέργεια μέσα στο διάστημα των 10 min (Περιορισμός Ισχύος Συσσωρευτών).

- Η στάθμη φόρτισης επαρκεί για να απορροφηθεί όλη η προσφερόμενη ενέργεια μέσα στο διάστημα των 10 min (Περιορισμός Χωρητικότητας)
- **Εκφόρτιση**
  - Η στάθμη φόρτισης είναι πάνω από την ελάχιστη επιτρεπτή ( Πλήρως Εκφορτισμένοι Συσσωρευτές)
  - Η ισχύς εκφόρτισης επαρκεί για να αποδοθεί όλη η απαιτούμενη ενέργεια μέσα στο διάστημα των 10 min (Περιορισμός Ισχύος Συσσωρευτών)
  - Η στάθμη φόρτισης επαρκεί για να αποδοθεί όλη η απαιτούμενη ενέργεια μέσα στο διάστημα των 10 min (Περιορισμός Ισχύος Συσσωρευτών)
  - Η συνολική ισχύς εξόδου του σταθμού δε μπορεί να ξεπεράσει την ονομαστική ισχύ της ανεμογεννήτριας (Περιορισμός Ισχύος Σταθμού)

### 5.7.3 Κατενεμόμενος σταθμός με αποθήκευση

Σε αυτή την πολιτική λειτουργίας ο Σταθμός είναι πλέον κατενεμόμενος. Αυτό συνεπάγεται ότι ανά τακτά διαστήματα (των 20 ή 60 λεπτών) καταθέτει στο Διαχειριστή μια προσφορά ισχύος με βάση την πρόβλεψη που έχει κάνει για την αιολική παραγωγή. Στη συνέχεια ο Διαχειριστής εκτελεί μια πρόβλεψη φορτίου και συνυπολογίζοντας την προσφορά του Σταθμού, αποφασίζει ποιες θερμικές μονάδες θα εντάξει. Επιπλέον αποφασίζει αν θα εντάξει τον Σταθμό ή όχι καθώς και αν θα τον εντάξει με στο επίπεδο της προσφοράς που έδωσε ή με χαμηλότερη ισχύ για λόγους ασφάλειας του Δικτύου. Σχετικά με την παραγωγή του φωτοβολταϊκού σταθμού, επειδή η ηλιακή ενέργεια είναι προβλέψιμη με πολύ υψηλό ποσοστό ακρίβειας, θεωρούμε ότι η πρόβλεψη του διαχειριστή ταυτίζεται με την πραγματική παραγωγή.

Θα εφαρμόσουμε δυο πολιτικές λειτουργίας οι οποίες θα διαφοροποιούνται ως προς το διάστημα της πρόβλεψης. Στην Α πολιτική θα έχουμε πρόβλεψη για τα επόμενα 20 λεπτά και στη Β πολιτική θα έχουμε πρόβλεψη για την επόμενη 1 ώρα. Η έννοια της πρόβλεψης έγκειται τόσο στην αιολική παραγωγή όσο και στο φορτίο. Η πρόβλεψη τόσο του φορτίου, όσο και της αιολικής παραγωγής θα βασίζεται στο μέσο όρο των τιμών των προηγούμενων περιόδων (2 10λεπτα για πρόβλεψη 20λέπτου και 6 10λεπτα για πρόβλεψη ώρας), δηλαδή θα γίνει με τη μέθοδο persistence. Τη στιγμή της πρόβλεψης θα καθορίζεται η αποδεκτή ισχύς του Σταθμού για το επόμενο διάστημα, αλλά και το ποιοι θερμικοί σταθμοί θα λειτουργήσουν. Έπειτα, κατά τη διάρκεια της πραγματικής λειτουργίας επιβάλλεται να λειτουργήσουν οι θερμικοί σταθμοί που είχαν προβλεφθεί να ενταχθούν. Έτσι σε κάθε



περίπτωση ο Διαχειριστής θα έχει στη διάθεσή του τουλάχιστον 20 λεπτά κάθε φορά για να θέσει σε λειτουργία κάποιον θερμικό σταθμό ή για να παύσει τη λειτουργία του. Να σημειώσουμε σε αυτό το σημείο ότι η κατανομή της ισχύος στους επιμέρους θερμικούς δεν εξετάζεται στη συγκεκριμένη εργασία, καθώς δεν επηρεάζει τα βασικά αποτελέσματα. Σε περίπτωση αδυναμίας της ανεμογεννήτριας να ανταποκριθεί στην ισχύ που έχει υποσχεθεί ο Σταθμός, τότε ο Σταθμός εγγχεί ενέργεια στο Δίκτυο και από τους συσσωρευτές, εφόσον φυσικά υπάρχει διαθέσιμη ενέργεια σε αυτούς. Αν δεν υπάρχει η απαιτούμενη ενέργεια για να καλύψει το σφάλμα πρόβλεψης τότε, εφόσον η απόκλιση μεταξύ πραγματικής παραγωγής και πρόβλεψης ξεπερνάει το 10% (σύμφωνα με τον Κανονισμό ΜΔΝ της ΡΑΕ), θα εφαρμόζεται Χρέωση Απόκλισης Φορτίου (ΧΑΦ) στον παραγωγό. Στο πλαίσιο της Μεταπτυχιακής έχει οριστεί η ΧΑΦ να είναι ίση με 150 € / MWh, δηλαδή 50% μεγαλύτερη από την τιμή πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας από τον παραγωγό προς το Δίκτυο.

Σε περίπτωση που η παραγωγή της ανεμογεννήτριας είναι μεγαλύτερη από αυτή την απαιτείται για να καλυφθεί η προσφορά του Σταθμού, τότε αυτή η περίσσεια ενέργειας κατευθύνεται προς τους συσσωρευτές και αποθηκεύεται σε αυτούς εφόσον υπάρχει διαθέσιμη χωρητικότητα.

Σε αυτή την πολιτική λειτουργίας δεν υπάρχει ο δυναμικός περιορισμός που υπήρχε στις δυο προηγούμενες. Ωστόσο παραμένει ο περιορισμός τεχνικού ελαχίστου των θερμικών μηχανών. Επίσης, θεωρείται απαραίτητο για λόγους αξιοπιστίας να έχει ενταχθεί τουλάχιστον μια θερμική μηχανή. Τέλος οι θερμικοί σταθμοί που θα ενταχθούν θα πρέπει να μπορούν να καλύψουν το φορτίο και επιπλέον και ένα ποσοστό της ισχύος που προβλέπεται να παραχθεί από τον Σταθμό, ως εφεδρεία. Η τελευταία προϋπόθεση είναι απαραίτητη για την ασφάλεια του συστήματος καθώς μπορεί κάποια στιγμή να υπάρχει αστοχία στην πρόβλεψη του Σταθμού και ταυτόχρονα να μην υπάρχει επαρκώς διαθέσιμη ενέργεια στους συσσωρευτές για να καλύψει την αστοχία.

## Κεφάλαιο 6. Αποτελέσματα

### 6.1 1<sup>η</sup> πολιτική λειτουργίας

Οι παραδοχές που θα κάνουμε σε αυτή την πολιτική, πέραν όσων έχουν ήδη αναφερθεί είναι οι εξής:

- Οικονομικά μεγέθη:
  - Κόστος ανεμογεννήτριας: 1.400.000 € / MW
  - Αποζημίωση ηλεκτρικής ενέργειας: 100 € / MWh
  - 100% χρηματοδότηση του έργου από ίδια κεφάλαια
  - Έξοδα συντήρησης ίσα με 1% της επένδυσης
  - Λειτουργικά έξοδα ίσα με 1% της επένδυσης
  - Επιτόκιο αναγωγής ίσο με 7%
  - Ετήσια αναπροσαρμογή της τιμής πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας ίση με 0.8%
  - Φορολογικός συντελεστής ίσος με 25%
  - Διάρκεια έργου: 20 έτη
- Τεχνικά μεγέθη:
  - Εφεδρεία θερμικών σταθμών: 10% επί του φορτίου

Θα εξετάσουμε τα αποτελέσματα που θα προκύψουν για ανεμογεννήτριας ισχύος 0.6 MW – 0.9 MW – 1.2 MW – 1.5 MW

#### 6.1.1 Ανεμογεννήτρια 0.6 MW

<b>Εγγεόμενη ενέργεια (MWh)</b>	1115.31 (7,2% του φορτίου)
<b>Απορριπτόμενη ενέργεια (MWh)</b>	1209.03
<b>ΣΑΩΛ (ώρες)</b>	3989
<b>Πραγματικά Ανηγμένες Ώρες Λειτουργίας</b>	1858 (46.6% των ΣΑΩΛ)
<b>Συντελεστής Χρησιμοποίησης (%)</b>	21.22
<b>Απορριπτόμενη / Δυνητικά Παραγόμενη Ενέργεια (%)</b>	52%
<b>Συνολική Παραγωγή ΑΠΕ (MWh)</b>	1650.79 (10.3% του φορτίου)
<b>Συνολικό κόστος (€)</b>	840.000
<b>IRR για 100% ίδια κεφάλαια</b>	5.95%

Πίνακας 6-1 Αποτελέσματα Πολιτικής 1 για Α/Γ 600 kW

Τα αποτελέσματα του πίνακα οδηγούν στο συμπέρασμα ότι ένας αιολικός σταθμός ισχύος 600 kW θα μπορούσε να ενταχθεί στο σύστημα της Σκύρου και να εξασφαλίσει μια οριακά αποδεκτή απόδοση.

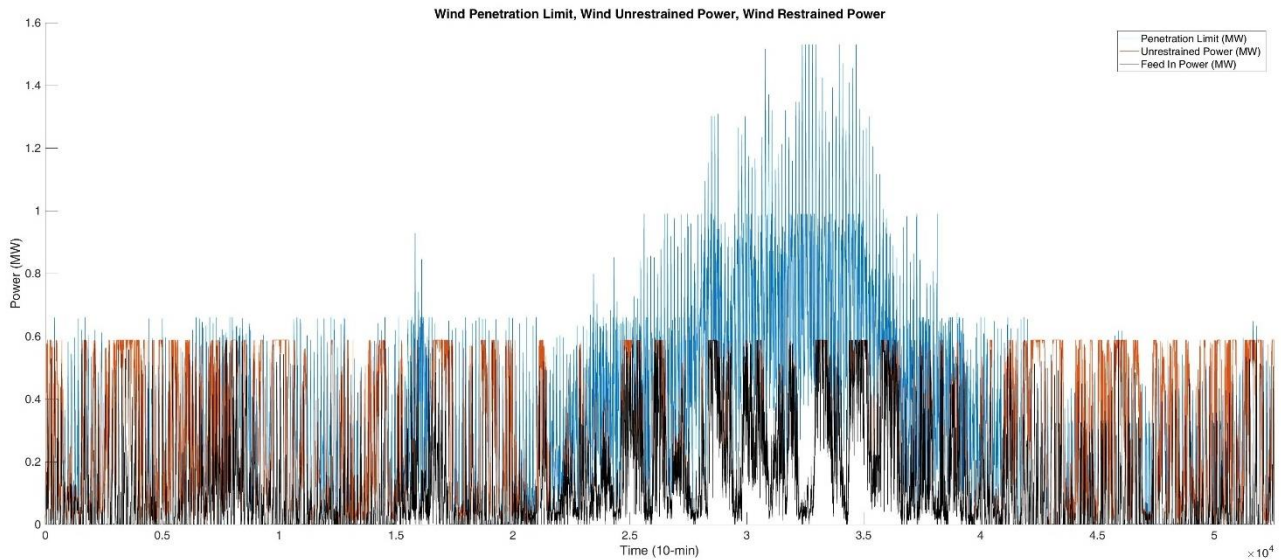
Στον επόμενο πίνακα απεικονίζονται οι χρηματοροές του έργου για μια περίοδο 20-ετίας.

Έτος	Παραγόμενη ενέργεια (kWh)	Τιμή πώλησης (€ / kWh)	Έσοδα (€)	Δόση Δανείου (€)	Συντήρηση (€) (1% κόστους)	Λειτουργικά (€) (1% κόστους)	Repowering (€)	Φόρος (€)	Κέρδη (€)
0	0,00	100,00	-840000,00						-840000,00
1	1115	100,00	111500,00	0,00	8400,00	8400,00	0,00	23675,00	71025,00
2	1115,00	100,80	112392,00	0,00	8652,00	8652,00	0,00	23772,00	71316,00
3	1115,00	101,61	113291,14	0,00	8911,56	8911,56	0,00	23867,00	71601,01
4	1115,00	102,42	114197,47	0,00	9178,91	9178,91	0,00	23959,91	71879,74
5	1115,00	103,24	115111,04	0,00	9454,27	9454,27	0,00	24050,62	72151,87
6	1115,00	104,06	116031,93	0,00	9737,90	9737,90	0,00	24139,03	72417,10
7	1115,00	104,90	116960,19	0,00	10030,04	10030,04	0,00	24225,03	72675,08
8	1115,00	105,74	117895,87	0,00	10330,94	10330,94	0,00	24308,50	72925,49
9	1115,00	106,58	118839,04	0,00	10640,87	10640,87	0,00	24389,32	73167,97
10	1115,00	107,43	119789,75	0,00	10960,09	10960,09	0,00	24467,39	73402,17
11	1115,00	108,29	120748,07	0,00	11288,90	11288,90	0,00	24542,57	73627,70
12	1115,00	109,16	121714,05	0,00	11627,56	11627,56	0,00	24614,73	73844,19
13	1115,00	110,03	122687,76	0,00	11976,39	11976,39	0,00	24683,75	74051,24
14	1115,00	110,91	123669,27	0,00	12335,68	12335,68	0,00	24749,48	74248,43
15	1115,00	111,80	124658,62	0,00	12705,75	12705,75	0,00	24811,78	74435,33
16	1115,00	112,70	125655,89	0,00	13086,93	13086,93	0,00	24870,51	74611,53
17	1115,00	113,60	126661,14	0,00	13479,53	13479,53	0,00	24925,52	74776,55
18	1115,00	114,51	127674,43	0,00	13883,92	13883,92	0,00	24976,65	74929,94
19	1115,00	115,42	128695,82	0,00	14300,44	14300,44	0,00	25023,74	75071,21
20	1115,00	116,35	129725,39	0,00	14729,45	14729,45	0,00	25066,62	75199,86
		<b>Σύνολο</b>	<b>2407898,86</b>	<b>0,00</b>	<b>225711,15</b>	<b>225711,15</b>	<b>0,00</b>	<b>489119,14</b>	<b>1467357,42</b>
<b>Επιτόκιο αναγωγής</b>	<b>NPV</b>	<b>Συνολικό κόστος (€)</b>			<b>Ίδια κεφάλαια (€)</b>	<b>Δάνειο (€)</b>	<b>IRR</b>		
<b>0,07</b>	<b>-63.513,20 €</b>	<b>840000</b>			<b>840000,00</b>	<b>0,00</b>	<b>5,96%</b>		

Πίνακας 6-2 Χρηματοροές Πολιτικής 1 για Α/Γ 600 kW

Σημαντικό στοιχείο είναι ότι παρότι έχουμε θετικό IRR, η καθαρή παρούσα αξία είναι αρνητική αφού το IRR είναι μικρότερο από το επιτόκιο αναγωγής. Αυτό δείχνει ότι σε ένα περιβάλλον με επενδυτικό ρίσκο η επένδυση δεν είναι ελκυστική.

Στο επόμενο διάγραμμα παρουσιάζονται σε παράθεση το όριο διεύθυνσης που προσφέρεται στο αιολικό πάρκο (μπλε), η παραγωγή που θα είχε χωρίς περιορισμούς διεύθυνσης (πορτοκαλί) και η παραγωγή έπειτα από την εφαρμογή των περιορισμών διεύθυνσης (μαύρο).



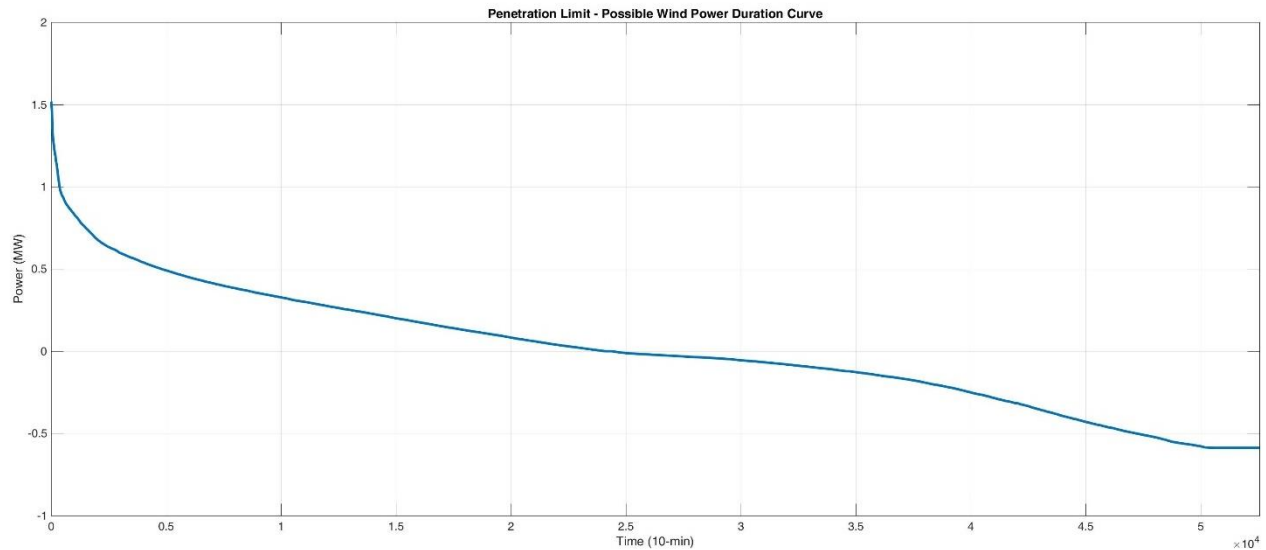
Σχήμα 6-1 Ετήσια Χρονοσειρά Ορίου Διείσδυσης και Αιολικής Ισχύος με και χωρίς Περιορισμούς Πολιτικής 1 για Α/Γ 600 kW

Μάλιστα αυτό γίνεται ακόμα πιο πρόδηλο στο παρακάτω διάγραμμα που παρουσιάζει την καμπύλη διάρκειας για τη διαφορά μεταξύ ορίου διείσδυσης και δυνατής αιολικής παραγωγής. Οι θετικές τιμές υποδεικνύουν ότι μπορεί να απορροφηθεί όλη η αιολική παραγωγή, ενώ οι αρνητικές τιμές υποδεικνύουν ότι τμήμα της αιολική παραγωγής πρέπει να απορριφθεί. Στον ακόλουθο πίνακα, οποίος βασίζεται στο σχετικό διάγραμμα καταγράφεται πόσες στιγμές έχουμε περικοπή ισχύος του αιολικού σταθμού και πόσες δεν έχουμε. Βλέπουμε ότι οι στιγμές αυτές είναι ισομοιρασμένες.

10 min με περικοπή ισχύος του αιολικού σταθμού	10 min χωρίς περικοπή ισχύος του αιολικού σταθμού
28204 (54%)	24356 (46%)

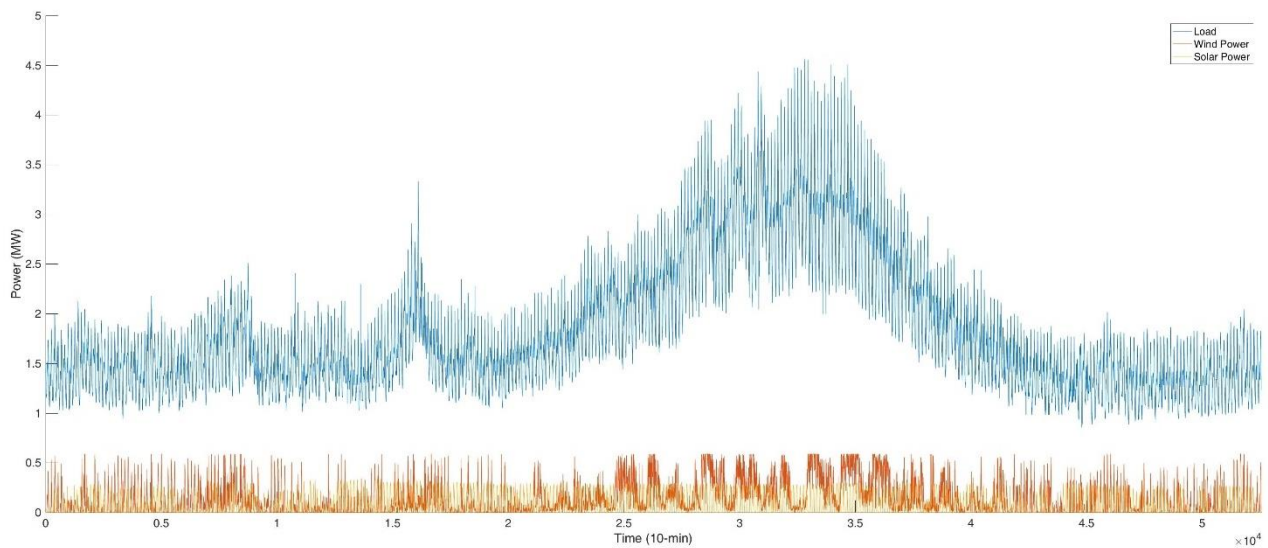
Πίνακας 6-3 Στοιχεία Ορίου Διείσδυσης Πολιτικής 1 για Α/Γ 600 kW

Τεχνοοικονομική βελτιστοποίηση συστήματος συσσωρευτών για αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας  
Αιολικού Σταθμού σε ΜΔΝ



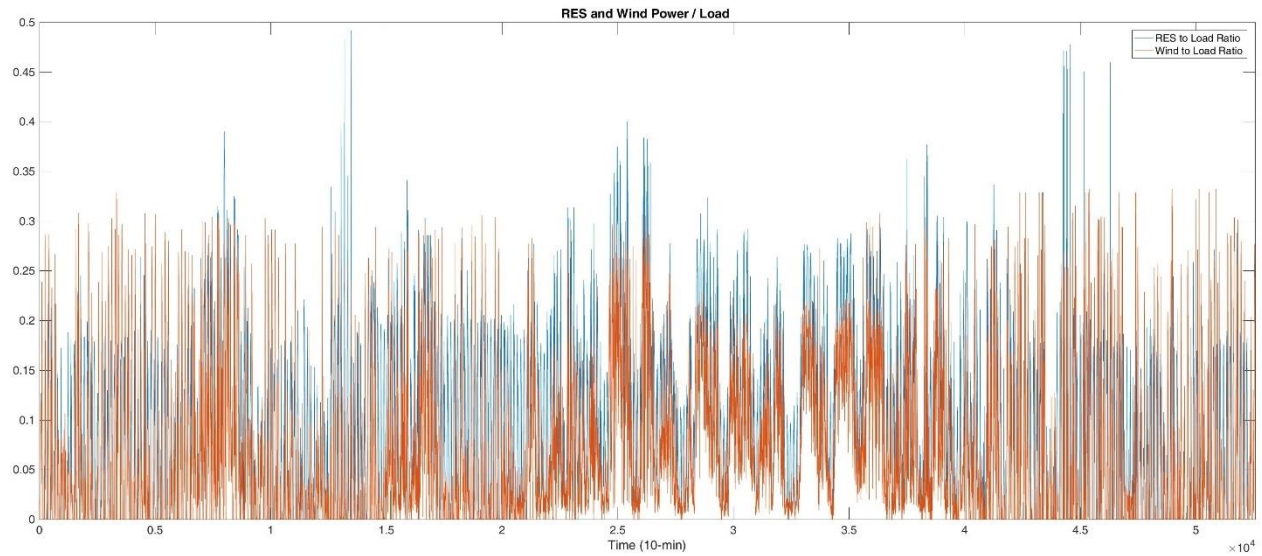
Σχήμα 6-2 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Διαφοράς Ορίου Διείσδυσης και Αιολικής Ισχύος Πολιτικής 1 για Α/Γ 600 kW

Στο επόμενο διάγραμμα απεικονίζεται η ισχύς που προέρχεται από ΑΠΕ σε σχέση με φορτίο (μπλε), δηλαδή τον αιολικό σταθμό (πορτοκαλί) και τα φωτοβολταϊκά (κίτρινο).



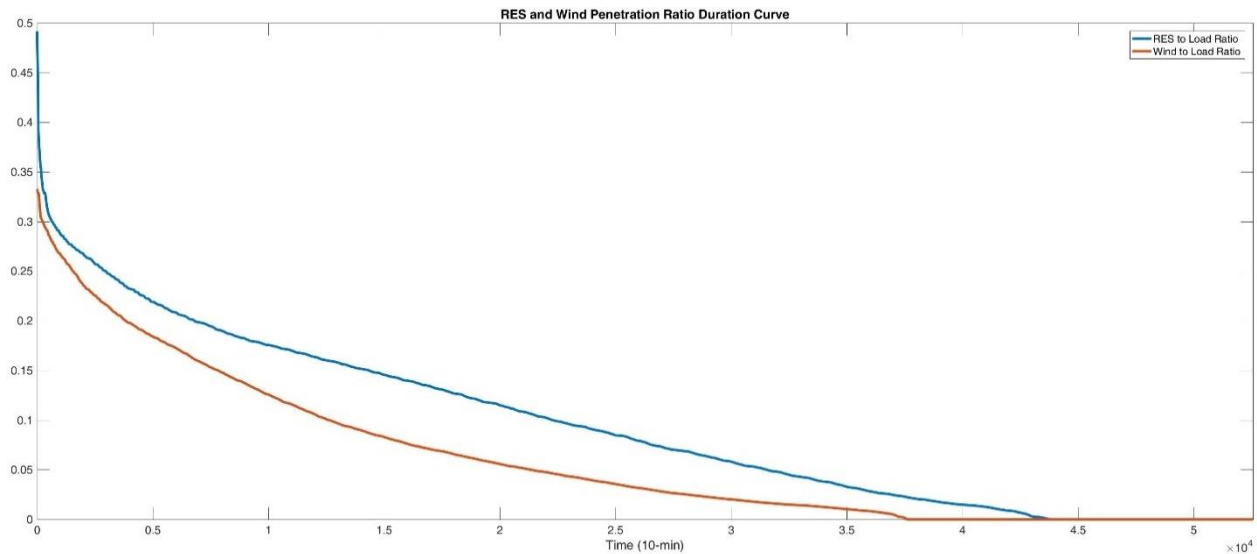
Σχήμα 6-3 Ετήσια Χρονοσειρά Φορτίου προς Αιολική και Φωτοβολταϊκή Παραγωγή Πολιτικής 1 για Α/Γ 600 kW

Επίσης, στο επόμενο διάγραμμα παρουσιάζεται το ποσοστό διείσδυσης των ΑΠΕ (μπλε γραμμή) και του αιολικού πάρκου (πορτοκαλί γραμμή) στη διάρκεια του έτους.



Σχήμα 6-4 Ετήσια Χρονοσειρά Ποσοστού Διείσδυσης Αιολικής Παραγωγής και ΑΠΕ Πολιτικής 1 για Α/Γ 600 kW

Ενδιαφέρον έχει και η καμπύλη διάρκειας του ποσοστού διείσδυσης, τόσο του αιολικού (πορτοκαλί γραμμή) όσο και όλων των ΑΠΕ (μπλε γραμμή), όπως απεικονίζεται στο επόμενο σχήμα.



Σχήμα 6-5 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Ποσοστού Διείσδυσης Αιολικής Παραγωγής και ΑΠΕ Πολιτικής 1 για Α/Γ 600 kW

Μερικές χρήσιμες τιμές που μπορούν να εξαχθούν καταγράφονται στον επόμενο πίνακα:

	Ελάχιστο (%)	Μέγιστο (%)	Μέσο (%)
Αιολική παραγωγή προς φορτίο	0	33.24	6.2
Παραγωγή ΑΠΕ προς φορτίο	0	49.17	9.5

Πίνακας 6-4 Τιμές από Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Ποσοστού Διείσδυσης Αιολικής Παραγωγής και ΑΠΕ Πολιτικής 1 για Α/Γ 600 kW

Παρατηρούμε ότι η διείσδυση ΑΠΕ ανεβαίνει σε σημαντικά ποσοστά κάποιες λίγες στιγμές, αλλά η μέση τιμή δε ξεπερνάει το 10%. Από τη στιγμή όμως που τηρούνται οι περιορισμοί τεχνικού ελαχίστου και οι δυναμικοί περιορισμοί κάθε γεννήτριας, δεν τίθεται θέμα ασφάλειας του δικτύου.

### 6.1.2 Ανεμογεννήτρια 0.9 MW

<b>Εγγεόμενη ενέργεια (MWh)</b>	1378.98 (8.6% του φορτίου)
<b>Απορριπτόμενη ενέργεια (MWh)</b>	2107.54
<b>ΣΑΩΛ (ώρες)</b>	2660
<b>Πραγματικά Ανηγμένες Ώρες Λειτουργίας</b>	1532 (57,6% των ΣΑΩΛ)
<b>Συντελεστής Χρησιμοποίησης (%)</b>	17.49%
<b>Απορριπτόμενη / Δυνητικά Παραγόμενη Ενέργεια (%)</b>	60%
<b>Συνολική Παραγωγή ΑΠΕ (MWh)</b>	1914.46 (12% του φορτίου)
<b>Συνολικό κόστος (€)</b>	1.260.000
<b>IRR για 100% ίδια κεφάλαια</b>	3.18%

Πίνακας 6-5 Αποτελέσματα Πολιτικής 1 για Α/Γ 900 kW

Τα αποτελέσματα του πίνακα οδηγούν στο συμπέρασμα ότι ένας αιολικός σταθμός ισχύος 900 kW στην Σκύρο παρουσιάζει χαμηλή απόδοση κυρίως λόγω των περιορισμών διείσδυσης που τίθενται από το σύστημα. Θα λέγαμε ότι δεν πρόκειται για ελκυστική επένδυση καθώς το IRR είναι της τάξης του 2% μόλις.

Στον επόμενο πίνακα απεικονίζονται οι χρηματοροές του έργου για μια περίοδο 20-ετίας.

Τεχνοοικονομική βελτιστοποίηση συστήματος συσσωρευτών για αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας  
Αιολικού Σταθμού σε ΜΔΝ

Έτος	Παραγόμενη ενέργεια (kWh)	Τιμή πώλησης (€ / kWh)	Έσοδα (€)	Δόση Δανείου (€)	Συντήρηση (€) (1% κόστους)	Λειτουργικά (€) (1% κόστους)	Repowering (€)	Φόρος (€)	Κέρδη (€)
0	0,00	100,00	-1260000,00						-1260000,00
1	1379	100,00	137898,00	0,00	12600,00	12600,00	0,00	28174,50	84523,50
2	1378,98	100,80	139001,18	0,00	12978,00	12978,00	0,00	28261,30	84783,89
3	1378,98	101,61	140113,19	0,00	13367,34	13367,34	0,00	28344,63	85033,89
4	1378,98	102,42	141234,10	0,00	13768,36	13768,36	0,00	28424,34	85273,03
5	1378,98	103,24	142363,97	0,00	14181,41	14181,41	0,00	28500,29	85500,86
6	1378,98	104,06	143502,88	0,00	14606,85	14606,85	0,00	28572,29	85716,88
7	1378,98	104,90	144650,91	0,00	15045,06	15045,06	0,00	28640,20	85920,59
8	1378,98	105,74	145808,11	0,00	15496,41	15496,41	0,00	28703,82	86111,47
9	1378,98	106,58	146974,58	0,00	15961,30	15961,30	0,00	28762,99	86288,98
10	1378,98	107,43	148150,38	0,00	16440,14	16440,14	0,00	28817,52	86452,57
11	1378,98	108,29	149335,58	0,00	16933,35	16933,35	0,00	28867,22	86601,66
12	1378,98	109,16	150530,26	0,00	17441,35	17441,35	0,00	28911,89	86735,68
13	1378,98	110,03	151734,51	0,00	17964,59	17964,59	0,00	28951,33	86854,00
14	1378,98	110,91	152948,38	0,00	18503,52	18503,52	0,00	28985,33	86956,00
15	1378,98	111,80	154171,97	0,00	19058,63	19058,63	0,00	29013,68	87041,03
16	1378,98	112,70	155405,34	0,00	19630,39	19630,39	0,00	29036,14	87108,42
17	1378,98	113,60	156648,59	0,00	20219,30	20219,30	0,00	29052,50	87157,49
18	1378,98	114,51	157901,78	0,00	20825,88	20825,88	0,00	29062,50	87187,51
19	1378,98	115,42	159164,99	0,00	21450,66	21450,66	0,00	29065,92	87197,76
20	1378,98	116,35	160438,31	0,00	22094,18	22094,18	0,00	29062,49	87187,47
		<b>Σύνολο</b>	<b>2977977,01</b>	<b>0,00</b>	<b>338566,72</b>	<b>338566,72</b>	<b>0,00</b>	<b>575210,89</b>	<b>1725632,68</b>
Επιτόκιο αναγωγής	<b>NPV</b>	<b>Συνολικό κόστος (€)</b>			<b>Ίδια κεφάλαια (€)</b>	<b>Δάνειο (€)</b>	<b>IRR</b>		
<b>0,07</b>	<b>-326.538,08 €</b>	<b>1260000</b>			<b>1260000,00</b>	<b>0,00</b>	<b>3,18%</b>		

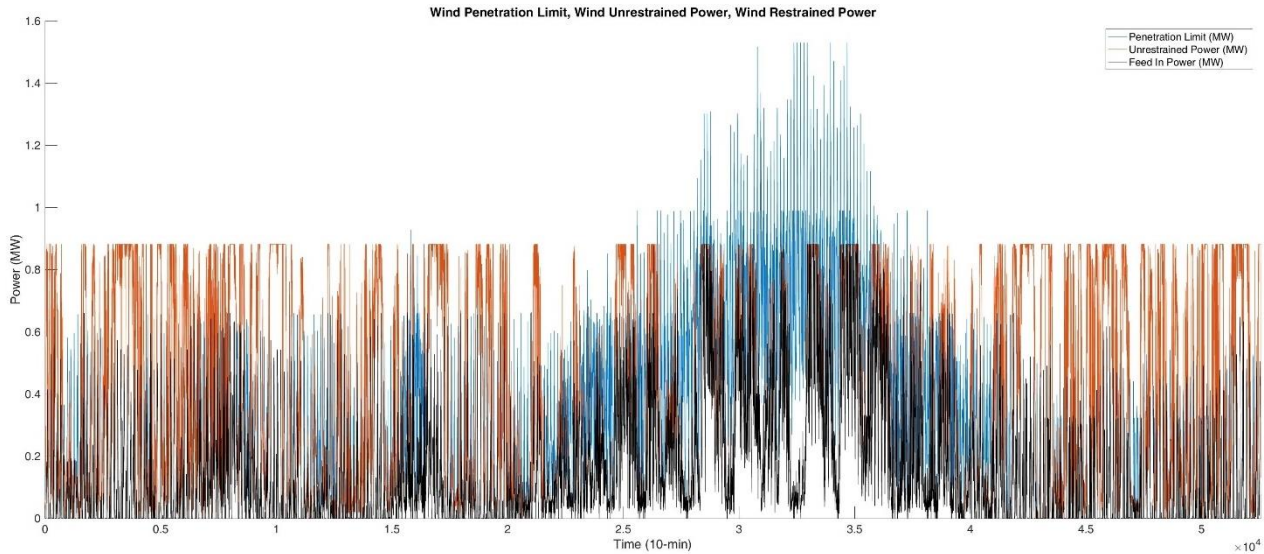
Πίνακας 6-6 Χρηματορές Πολιτικής 1 για Α/Γ 900 kW

Σημαντικό στοιχείο είναι ότι παρότι έχουμε θετικό IRR, η καθαρή παρούσα αξία είναι αρνητική αφού το IRR είναι μικρότερο από το επιτόκιο αναγωγής. Αυτό δείχνει ότι σε ένα περιβάλλον με επενδυτικό ρίσκο η επένδυση δεν είναι ελκυστική.

Στο επόμενο διάγραμμα παρουσιάζονται σε παράθεση το όριο διεύθυνσης που προσφέρεται στο αιολικό πάρκο (μπλε), η παραγωγή που θα είχε χωρίς περιορισμούς διεύθυνσης (πορτοκαλί) και η παραγωγή έπειτα από την εφαρμογή των περιορισμών διεύθυνσης (μαύρο).



Τεχνοοικονομική βελτιστοποίηση συστήματος συσσωρευτών για αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας  
Αιολικού Σταθμού σε ΜΔΝ



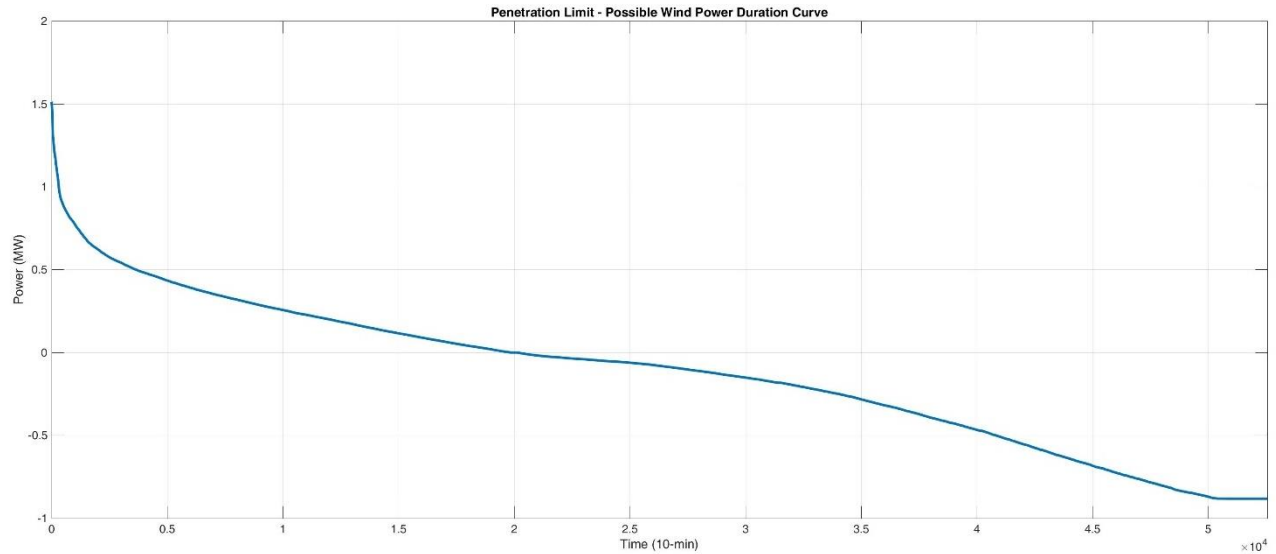
Σχήμα 6-6 Ετήσια Χρονοσειρά Ορίου Διείσδυσης και Αιολικής Ισχύος με και χωρίς Περιορισμούς Πολιτικής 1 για Α/Γ 900 kW

Μάλιστα αυτό γίνεται ακόμα πιο πρόδηλο στο παρακάτω διάγραμμα που παρουσιάζει την καμπύλη διάρκειας για τη διαφορά μεταξύ ορίου διείσδυσης και δυνατής αιολικής παραγωγής. Οι θετικές τιμές υποδεικνύουν ότι μπορεί να απορροφηθεί όλη η αιολική παραγωγή, ενώ οι αρνητικές τιμές υποδεικνύουν ότι τμήμα της αιολική παραγωγής πρέπει να απορριφθεί. Στον ακόλουθο πίνακα, οποίος βασίζεται στο σχετικό διάγραμμα καταγράφεται πόσες στιγμές έχουμε περικοπή ισχύος του αιολικού σταθμού και πόσες δεν έχουμε.

10 min με περικοπή ισχύος του αιολικού σταθμού	10 min χωρίς περικοπή ισχύος του αιολικού σταθμού
32459 (62%)	20101 (38%)

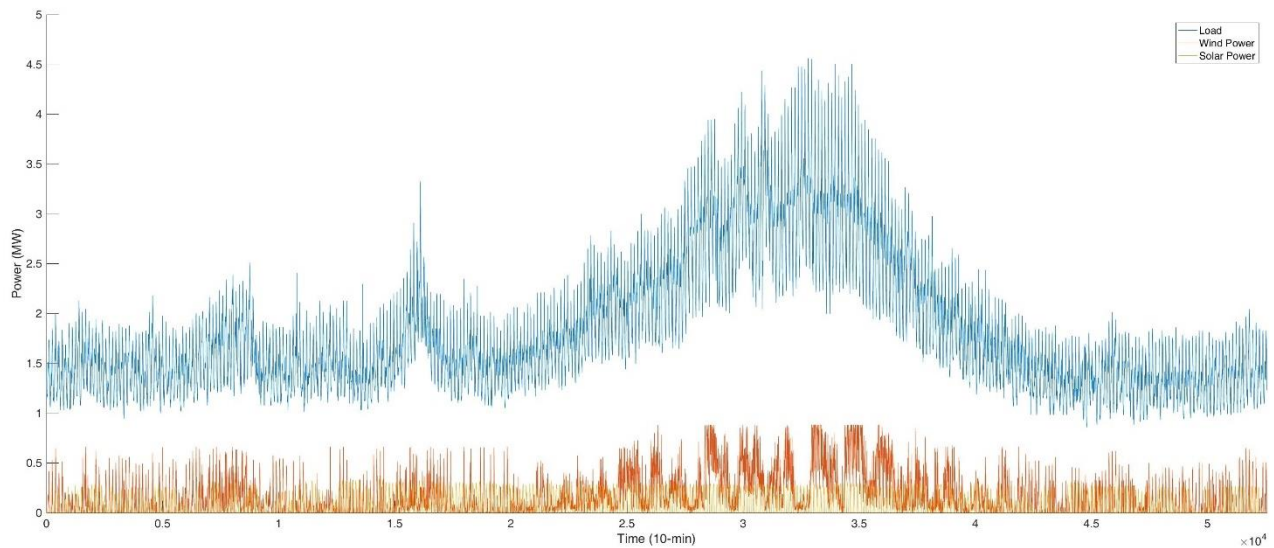
Πίνακας 6-7 Στοιχεία Ορίου Διείσδυσης Πολιτικής 1 για Α/Γ 900 kW

Τεχνοοικονομική βελτιστοποίηση συστήματος συσσωρευτών για αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας  
Αιολικού Σταθμού σε ΜΔΝ



Σχήμα 6-7 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Διαφοράς Ορίου Διείσδυσης και Αιολικής Ισχύος Πολιτικής 1 για Α/Γ 900 kW

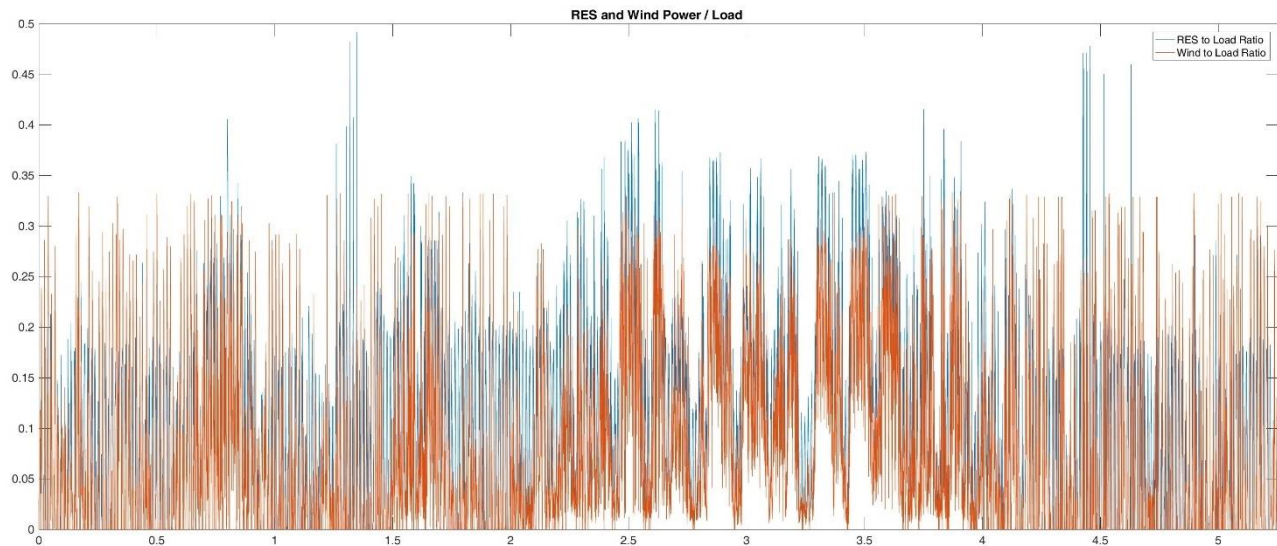
Στο επόμενο διάγραμμα απεικονίζεται η ισχύς που προέρχεται από ΑΠΕ σε σχέση με φορτίο (μπλε), δηλαδή τον αιολικό σταθμό (πορτοκαλί) και τα φωτοβολταϊκά (κίτρινο).



Σχήμα 6-8 Ετήσια Χρονοσειρά Φορτίου προς Αιολική και Φωτοβολταϊκή Παραγωγή Πολιτικής 1 για Α/Γ 900 kW

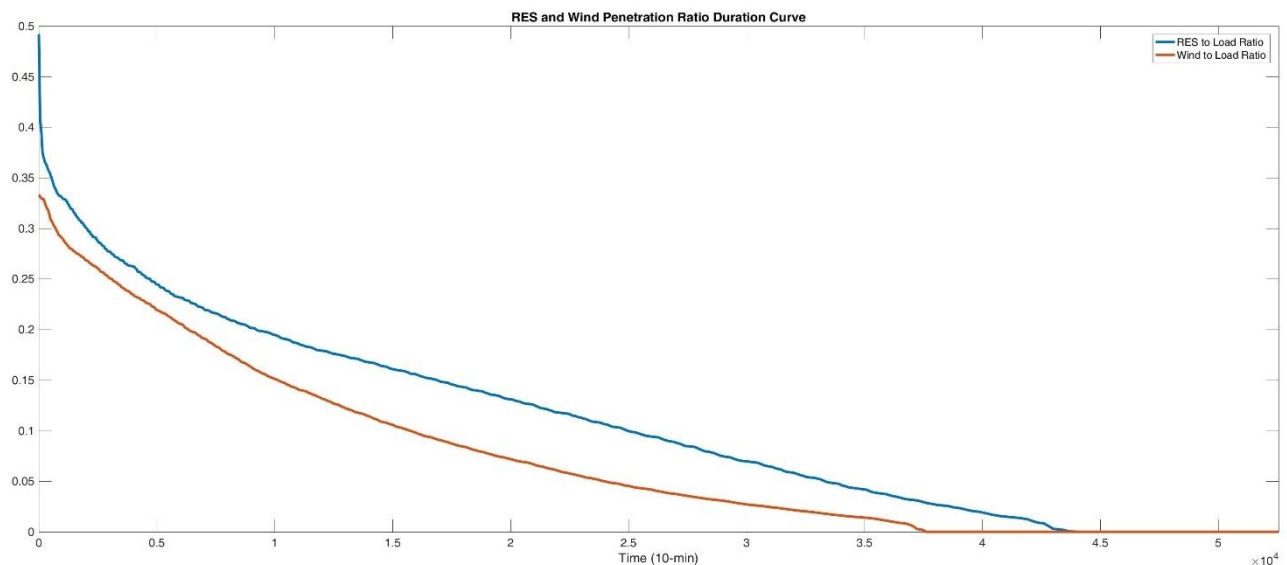
Επίσης, στο επόμενο διάγραμμα παρουσιάζεται το ποσοστό διείσδυσης των ΑΠΕ (μπλε γραμμή) και του αιολικού πάρκου (πορτοκαλί γραμμή) στη διάρκεια του έτους.

Τεχνοοικονομική βελτιστοποίηση συστήματος συσσωρευτών για αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας  
Αιολικού Σταθμού σε ΜΔΝ



Σχήμα 6-9 Ετήσια Χρονοσειρά Ποσοστού Διείσδυσης Αιολικής Παραγωγής και ΑΠΕ Πολιτικής 1 για Α/Γ 900 kW

Ενδιαφέρον έχει και η καμπύλη διάρκειας του ποσοστού διείσδυσης, όπως απεικονίζεται στο επόμενο σχήμα.



Σχήμα 6-10 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Ποσοστού Διείσδυσης Αιολικής Παραγωγής και ΑΠΕ Πολιτικής 1 για Α/Γ 900 kW

Μερικές χρήσιμες τιμές που μπορούν να εξαχθούν καταγράφονται στον επόμενο πίνακα:

	Ελάχιστο (%)	Μέγιστο (%)	Μέσο (%)
Αιολική παραγωγή προς φορτίο	0	33.29	7.44
Παραγωγή ΑΠΕ προς φορτίο	0	49.17	10.75

Πίνακας 6-8 Τιμές από Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Ποσοστού Διείσδυσης Αιολικής Παραγωγής και ΑΠΕ  
Πολιτικής 1 για Α/Γ 900 kW

Παρατηρούμε ότι η διείσδυση ΑΠΕ ανεβαίνει σε σημαντικά ποσοστά κάποιες λίγες στιγμές, αλλά η μέση τιμή ξεπερνάει για λίγο το 10%. Από τη στιγμή όμως που τηρούνται οι περιορισμοί τεχνικού ελαχίστου και οι δυναμικοί περιορισμοί κάθε γεννήτριας, δεν τίθεται θέμα ασφάλειας του δικτύου.

### 6.1.3 Ανεμογεννήτρια 1.2 MW

<b>Εγγεόμενη ενέργεια (MWh)</b>	1546 (9.65% του φορτίου)
<b>Απορριπτόμενη ενέργεια (MWh)</b>	3103.84
<b>ΣΑΩΛ (ωρες)</b>	1995
<b>Πραγματικά Ανηγμένες Ώρες Λειτουργίας</b>	1287 (64,52% των ΣΑΩΛ)
<b>Συντελεστής Χρησιμοποίησης (%)</b>	14.7
<b>Απορριπτόμενη / Δυνητικά Παραγόμενη Ενέργεια (%)</b>	67
<b>Συνολική Παραγωγή ΑΠΕ (MWh)</b>	2080.33 (13% του φορτίου)
<b>Συνολικό κόστος (€)</b>	1.680.000
<b>IRR για 100% ίδια κεφάλαια</b>	0.8%

Πίνακας 6-9 Αποτελέσματα Πολιτικής 1 για Α/Γ 1200 kW

Τα αποτελέσματα του πίνακα οδηγούν στο συμπέρασμα ότι ένας αιολικός σταθμός ισχύος 1200 kW στην Σκύρο παρουσιάζει πολύ χαμηλή απόδοση κυρίως λόγω των περιορισμών διείσδυσης που τίθενται από το σύστημα.

Στον επόμενο πίνακα απεικονίζονται οι χρηματοροές του έργου για μια περίοδο 20-ετίας.

Έτος	Παραγόμενη ενέργεια (kWh)	Τιμή πώλησης (€ / kWh)	Έσοδα (€)	Δόση Δανείου (€)	Συντήρηση (€) (1% κόστους)	Λειτουργικά (€) (1% κόστους)	Repowering (€)	Φόρος (€)	Κέρδη (€)
0	0,00	100,00	-1680000,00						-1680000,00
1	1545	100,00	154500,00	0,00	16800,00	16800,00	0,00	30225,00	90675,00
2	1545,00	100,80	155736,00	0,00	17304,00	17304,00	0,00	30282,00	90846,00
3	1545,00	101,61	156981,89	0,00	17823,12	17823,12	0,00	30333,91	91001,74
4	1545,00	102,42	158237,74	0,00	18357,81	18357,81	0,00	30380,53	91141,59
5	1545,00	103,24	159503,65	0,00	18908,55	18908,55	0,00	30421,64	91264,91
6	1545,00	104,06	160779,67	0,00	19475,80	19475,80	0,00	30457,02	91371,05
7	1545,00	104,90	162065,91	0,00	20060,08	20060,08	0,00	30486,44	91459,32
8	1545,00	105,74	163362,44	0,00	20661,88	20661,88	0,00	30509,67	91529,01
9	1545,00	106,58	164669,34	0,00	21281,74	21281,74	0,00	30526,47	91579,40
10	1545,00	107,43	165986,69	0,00	21920,19	21920,19	0,00	30536,58	91609,74
11	1545,00	108,29	167314,59	0,00	22577,80	22577,80	0,00	30539,75	91619,25

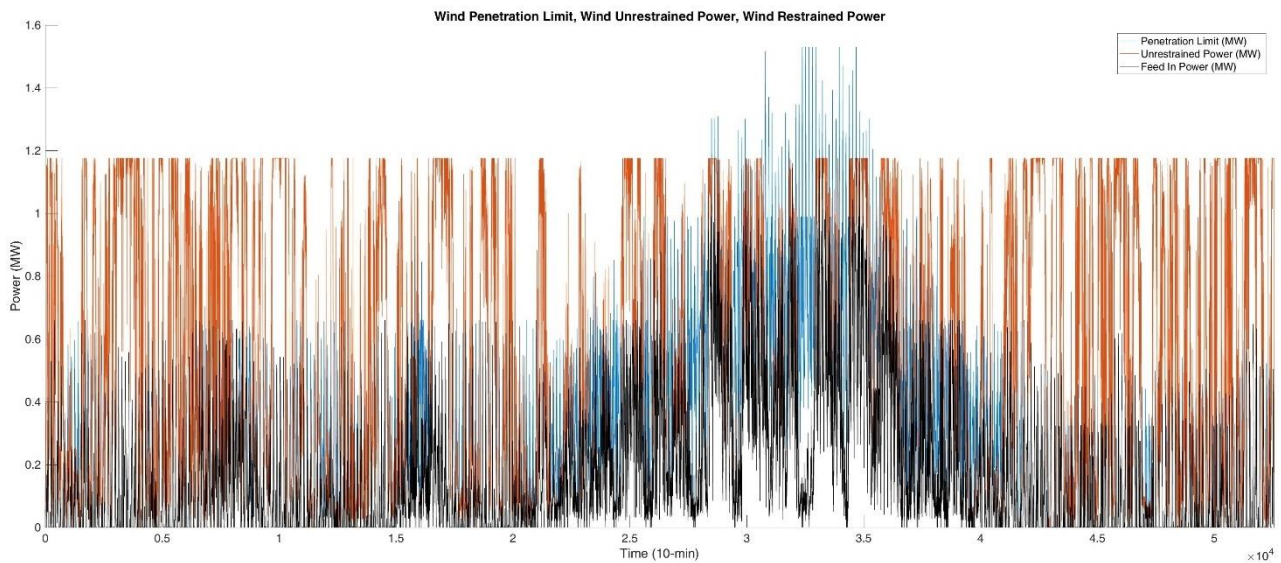
Τεχνοοικονομική βελτιστοποίηση συστήματος συσσωρευτών για αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας  
Αιολικού Σταθμού σε ΜΔΝ

12	1545,00	109,16	168653,10	0,00	23255,13	23255,13	0,00	30535,71	91607,13
13	1545,00	110,03	170002,33	0,00	23952,78	23952,78	0,00	30524,19	91572,57
14	1545,00	110,91	171362,35	0,00	24671,37	24671,37	0,00	30504,90	91514,71
15	1545,00	111,80	172733,25	0,00	25411,51	25411,51	0,00	30477,56	91432,67
16	1545,00	112,70	174115,11	0,00	26173,85	26173,85	0,00	30441,85	91325,55
17	1545,00	113,60	175508,03	0,00	26959,07	26959,07	0,00	30397,47	91192,42
18	1545,00	114,51	176912,10	0,00	27767,84	27767,84	0,00	30344,10	91032,31
19	1545,00	115,42	178327,39	0,00	28600,88	28600,88	0,00	30281,41	90844,23
20	1545,00	116,35	179754,01	0,00	29458,90	29458,90	0,00	30209,05	90627,16
		<b>Σύνολο</b>	<b>3336505,59</b>	<b>0,00</b>	<b>451422,29</b>	<b>451422,29</b>	<b>0,00</b>	<b>608415,25</b>	<b>1825245,76</b>
<b>Επιτόκιο αναγωγής</b>	<b>NPV</b>	<b>Συνολικό κόστος (€)</b>			<b>Ίδια κεφάλαια (€)</b>	<b>Δάνειο (€)</b>	<b>IRR</b>		
<b>0,07</b>	<b>-666.746,93 €</b>	<b>1680000</b>			<b>1680000,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,81%</b>		

Πίνακας 6-10 Χρηματοδοές Πολιτικής 1 για Α/Γ 1200 kW

Σημαντικό στοιχείο είναι το σχεδόν μηδενικό IRR και η έντονα αρνητική καθαρή παρούσα αξία Αυτό δείχνει ότι η επένδυση δεν είναι ελκυστική.

Στο επόμενο διάγραμμα παρουσιάζονται σε παράθεση το όριο διείσδυσης που προσφέρεται στο αιολικό πάρκο (μπλε), η παραγωγή που θα είχε χωρίς περιορισμούς διείσδυσης (πορτοκαλί) και η παραγωγή έπειτα από την εφαρμογή των περιορισμών διείσδυσης (μαύρο).



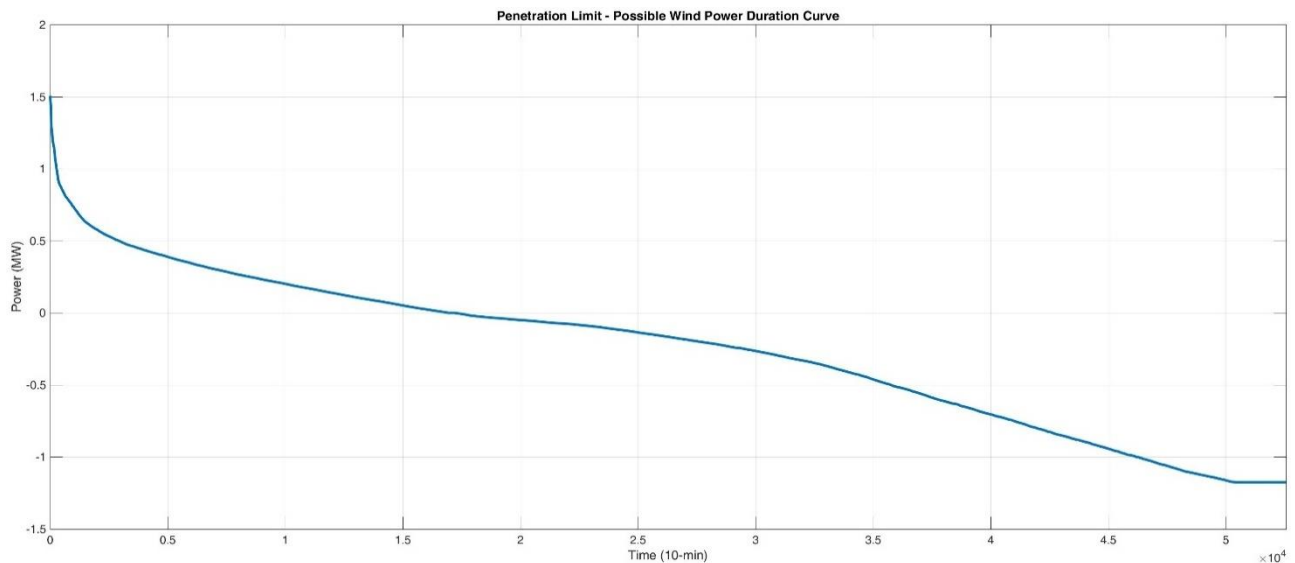
Σχήμα 6-11 Ετήσια Χρονοσειρά Ορίου Διείσδυσης και Αιολικής Ισχύος με και χωρίς Περιορισμούς Πολιτικής 1 για Α/Γ 1200 kW

Μάλιστα αυτό γίνεται ακόμα πιο πρόδηλο στο παρακάτω διάγραμμα που παρουσιάζει την καμπύλη διάρκειας για τη διαφορά μεταξύ ορίου διείσδυσης και δυνατής αιολικής παραγωγής. Οι θετικές τιμές υποδεικνύουν ότι μπορεί να απορροφηθεί όλη η αιολική

παραγωγή, ενώ οι αρνητικές τιμές υποδεικνύουν ότι τμήμα της αιολική παραγωγής πρέπει να απορριφθεί. Στον ακόλουθο πίνακα, οποίος βασίζεται στο σχετικό διάγραμμα καταγράφεται πόσες στιγμές έχουμε περικοπή ισχύος του αιολικού σταθμού και πόσες δεν έχουμε.

10 min με περικοπή ισχύος του αιολικού σταθμού	10 min χωρίς περικοπή ισχύος του αιολικού σταθμού
35370 (67%)	17190 (33%)

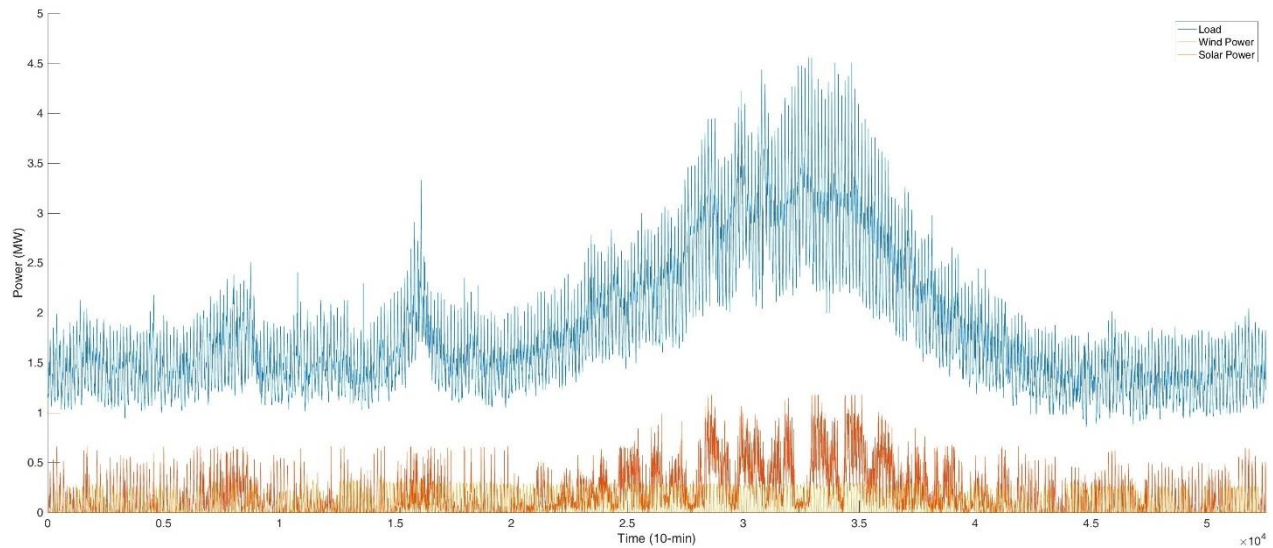
Πίνακας 6-11 Στοιχεία Ορίου Διείσδυσης Πολιτικής 1 για Α/Γ 1200 kW



Σχήμα 6-12 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Διαφοράς Ορίου Διείσδυσης και Αιολικής Ισχύος Πολιτικής 1 για Α/Γ 1200 kW

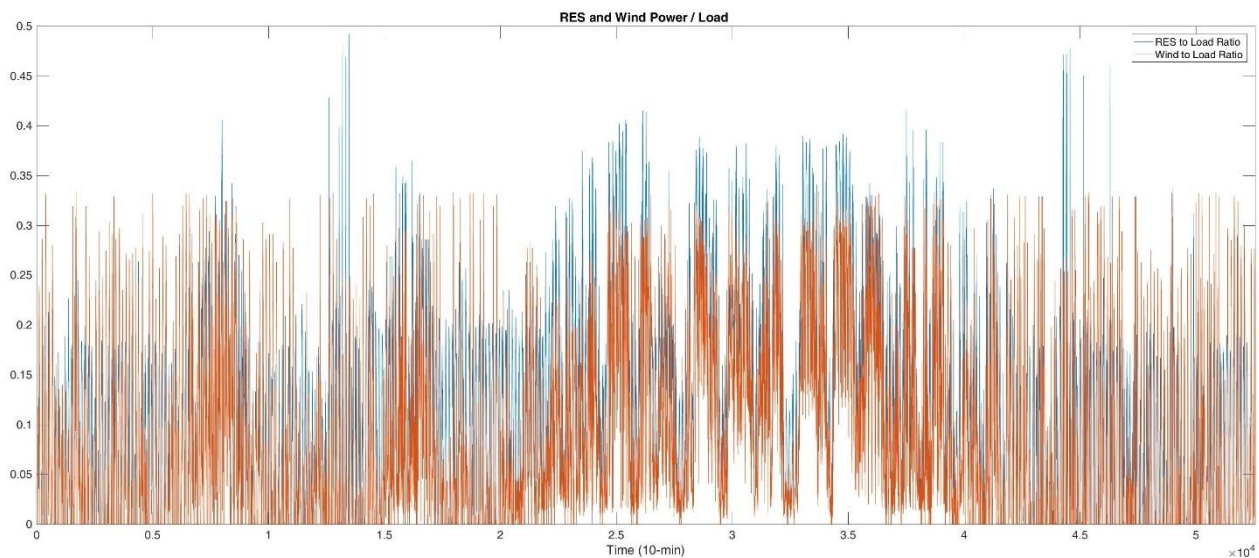
Στο επόμενο διάγραμμα απεικονίζεται η ισχύς που προέρχεται από ΑΠΕ σε σχέση με φορτίο (μπλε), δηλαδή τον αιολικό σταθμό (πορτοκαλί) και τα φωτοβολταϊκά (κίτρινο).

Τεχνοοικονομική βελτιστοποίηση συστήματος συσσωρευτών για αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας  
Αιολικού Σταθμού σε ΜΔΝ



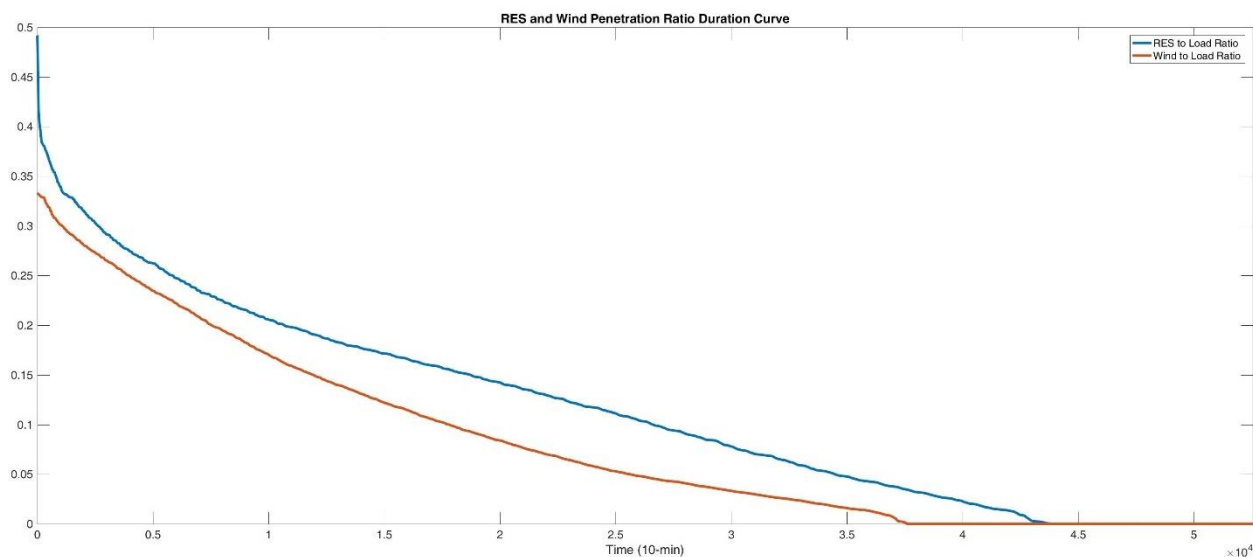
Σχήμα 6-13 Ετήσια Χρονοσειρά Φορτίου προς Αιολική και Φωτοβολταϊκή Παραγωγή Πολιτικής 1 για Α/Γ 1200 kW

Επίσης, στο επόμενο διάγραμμα παρουσιάζεται το ποσοστό διείσδυσης των ΑΠΕ (μπλε γραμμή) και του αιολικού πάρκου (πορτοκαλί γραμμή) στη διάρκεια του έτους.



Σχήμα 6-14 Ετήσια Χρονοσειρά Ποσοστού Διείσδυσης Αιολικής Παραγωγής και ΑΠΕ Πολιτικής 1 για Α/Γ 1200 kW

Ενδιαφέρον έχει και η καμπύλη διάρκειας του ποσοστού διείσδυσης, όπως απεικονίζεται στο επόμενο σχήμα.



Σχήμα 6-15 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Ποσοστού Διείσδυσης Αιολικής Παραγωγής και ΑΠΕ Πολιτικής 1 για Α/Γ 1200 kW

Μερικές χρήσιμες τιμές που μπορούν να εξαχθούν καταγράφονται στον επόμενο πίνακα:

	Ελάχιστο (%)	Μέγιστο (%)	Μέσο (%)
Αιολική παραγωγή προς φορτίο	0	33.32	8.24
Παραγωγή ΑΠΕ προς φορτίο	0	49.17	11.55

Πίνακας 6-12 Τιμές από Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Ποσοστού Διείσδυσης Αιολικής Παραγωγής και ΑΠΕ Πολιτικής 1 για Α/Γ 1200 kW

Παρατηρούμε ότι η διείσδυση ΑΠΕ ανεβαίνει σε σημαντικά ποσοστά κάποιες λίγες στιγμές, αλλά η μέση τιμή ξεπερνάει για λίγο το 10%. Από τη στιγμή όμως που τηρούνται οι περιορισμοί τεχνικού ελαχίστου και οι δυναμικοί περιορισμοί κάθε γεννήτριας, δεν τίθεται θέμα ασφάλειας του δικτύου.

#### 6.1.4 Ανεμογεννήτρια 1.5 MW

<b>Εγγεόμενη ενέργεια (MWh)</b>	1662.1 (10.38% του φορτίου)
<b>Απορριπτόμενη ενέργεια (MWh)</b>	4148.77
<b>ΣΑΩΛ (ώρες)</b>	1596
<b>Πραγματικά Ανηγμένες Ώρες Λειτουργίας</b>	1108 (69,44% των ΣΑΩΛ)
<b>Συντελεστής Χρησιμοποίησης (%)</b>	12.65
<b>Απορριπτόμενη / Δυνητικά Παραγόμενη Ενέργεια (%)</b>	71
<b>Συνολική Παραγωγή ΑΠΕ (MWh)</b>	2197.57 (13.73% του φορτίου)
<b>Συνολικό κόστος (€)</b>	2.100.000
<b>IRR για 100% ίδια κεφάλαια</b>	-1.21%



Πίνακας 6-13 Αποτελέσματα Πολιτικής 1 για Α/Γ 1500 kW

Τα αποτελέσματα του πίνακα οδηγούν στο συμπέρασμα ότι ένας αιολικός σταθμός ισχύος 1500 kW στην Σκύρο παρουσιάζει εξαιρετικά χαμηλή απόδοση κυρίως λόγω των περιορισμών διείσδυσης που τίθενται από το σύστημα.

Στον επόμενο πίνακα απεικονίζονται οι χρηματοροές του έργου για μια περίοδο 20-ετίας.

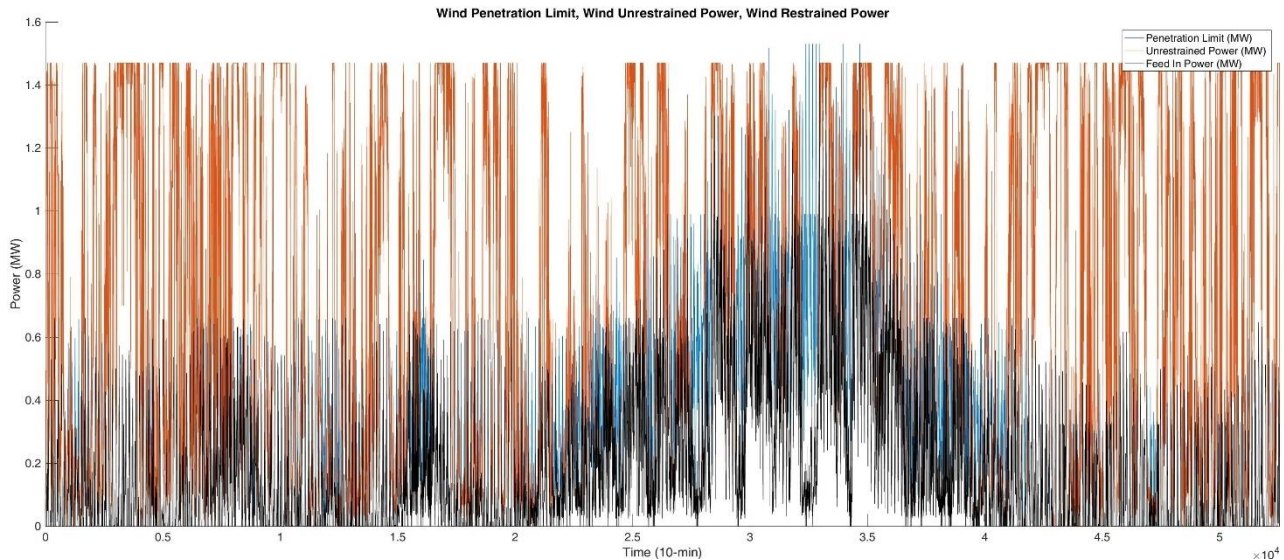
Έτος	Παραγόμενη ενέργεια (kWh)	Τιμή πώλησης (€ / kWh)	Έσοδα (€)	Δόση Δανείου (€)	Συντήρηση (€) (1% κόστους)	Λειτουργικά (€) (1% κόστους)	Repowering (€)	Φόρος (€)	Κέρδη (€)
0	0,00	100,00	-2100000,00						-2100000,00
1	1662	100,00	166200,00	0,00	21000,00	21000,00	0,00	31050,00	93150,00
2	1662,00	100,80	167529,60	0,00	21630,00	21630,00	0,00	31067,40	93202,20
3	1662,00	101,61	168869,84	0,00	22278,90	22278,90	0,00	31078,01	93234,03
4	1662,00	102,42	170220,80	0,00	22947,27	22947,27	0,00	31081,57	93244,70
5	1662,00	103,24	171582,56	0,00	23635,69	23635,69	0,00	31077,80	93233,39
6	1662,00	104,06	172955,22	0,00	24344,76	24344,76	0,00	31066,43	93199,28
7	1662,00	104,90	174338,86	0,00	25075,10	25075,10	0,00	31047,17	93141,50
8	1662,00	105,74	175733,58	0,00	25827,35	25827,35	0,00	31019,72	93059,15
9	1662,00	106,58	177139,44	0,00	26602,17	26602,17	0,00	30983,78	92951,33
10	1662,00	107,43	178556,56	0,00	27400,24	27400,24	0,00	30939,02	92817,06
11	1662,00	108,29	179985,01	0,00	28222,24	28222,24	0,00	30885,13	92655,39
12	1662,00	109,16	181424,89	0,00	29068,91	29068,91	0,00	30821,77	92465,30
13	1662,00	110,03	182876,29	0,00	29940,98	29940,98	0,00	30748,58	92245,75
14	1662,00	110,91	184339,30	0,00	30839,21	30839,21	0,00	30665,22	91995,66
15	1662,00	111,80	185814,02	0,00	31764,38	31764,38	0,00	30571,31	91713,94
16	1662,00	112,70	187300,53	0,00	32717,32	32717,32	0,00	30466,47	91399,42
17	1662,00	113,60	188798,93	0,00	33698,84	33698,84	0,00	30350,32	91050,95
18	1662,00	114,51	190309,32	0,00	34709,80	34709,80	0,00	30222,43	90667,29
19	1662,00	115,42	191831,80	0,00	35751,09	35751,09	0,00	30082,40	90247,21
20	1662,00	116,35	193366,45	0,00	36823,63	36823,63	0,00	29929,80	89789,40
		<b>Σύνολο</b>	<b>3589173,00</b>	<b>0,00</b>	<b>564277,86</b>	<b>564277,86</b>	<b>0,00</b>	<b>615154,32</b>	<b>1845462,96</b>
<b>Επιτόκιο αναγωγής</b>	<b>NPV</b>	<b>Συνολικό κόστος (€)</b>			<b>Ίδια κεφάλαια (€)</b>	<b>Δάνειο (€)</b>	<b>IRR</b>		
<b>0,07</b>	<b>-1.045.579,29 €</b>	<b>2100000</b>			<b>2100000,00</b>	<b>0,00</b>	<b>-1,21%</b>		

Πίνακας 6-14 Χρηματοροές Πολιτικής 1 για Α/Γ 1500 kW

Το αρνητικό IRR και η εξαιρετικά αρνητική καθαρή παρούσα αξία καθιστούν την επένδυση αποτρεπτική.

Στο επόμενο διάγραμμα παρουσιάζονται σε παράθεση το όριο διείσδυσης που προσφέρεται στο αιολικό πάρκο (μπλε), η παραγωγή που θα είχε χωρίς περιορισμούς

διείσδυσης (πορτοκαλί) και η παραγωγή έπειτα από την εφαρμογή των περιορισμών διείσδυσης (μαύρο).



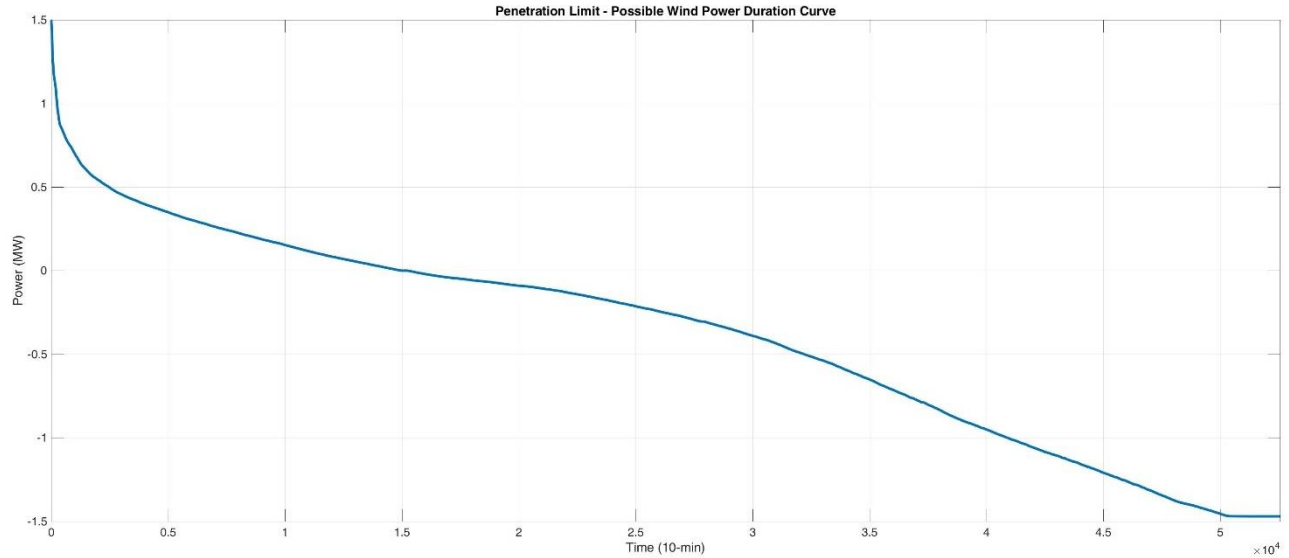
Σχήμα 6-16 Ετήσια Χρονοσειρά Ορίου Διείσδυσης και Αιολικής Ισχύος με και χωρίς Περιορισμούς Πολιτικής 1 για Α/Γ 1500 kW

Μάλιστα αυτό γίνεται ακόμα πιο πρόδηλο στο παρακάτω διάγραμμα που παρουσιάζει την καμπύλη διάρκειας για τη διαφορά μεταξύ ορίου διείσδυσης και δυνατής αιολικής παραγωγής. Οι θετικές τιμές υποδεικνύουν ότι μπορεί να απορροφηθεί όλη η αιολική παραγωγή, ενώ οι αρνητικές τιμές υποδεικνύουν ότι τμήμα της αιολική παραγωγής πρέπει να απορριφθεί. Στον ακόλουθο πίνακα, οποίος βασίζεται στο σχετικό διάγραμμα καταγράφεται πόσες στιγμές έχουμε περικοπή ισχύος του αιολικού σταθμού και πόσες δεν έχουμε.

10 min με περικοπή ισχύος του αιολικού σταθμού	10 min χωρίς περικοπή ισχύος του αιολικού σταθμού
37338 (71%)	15222 (29%)

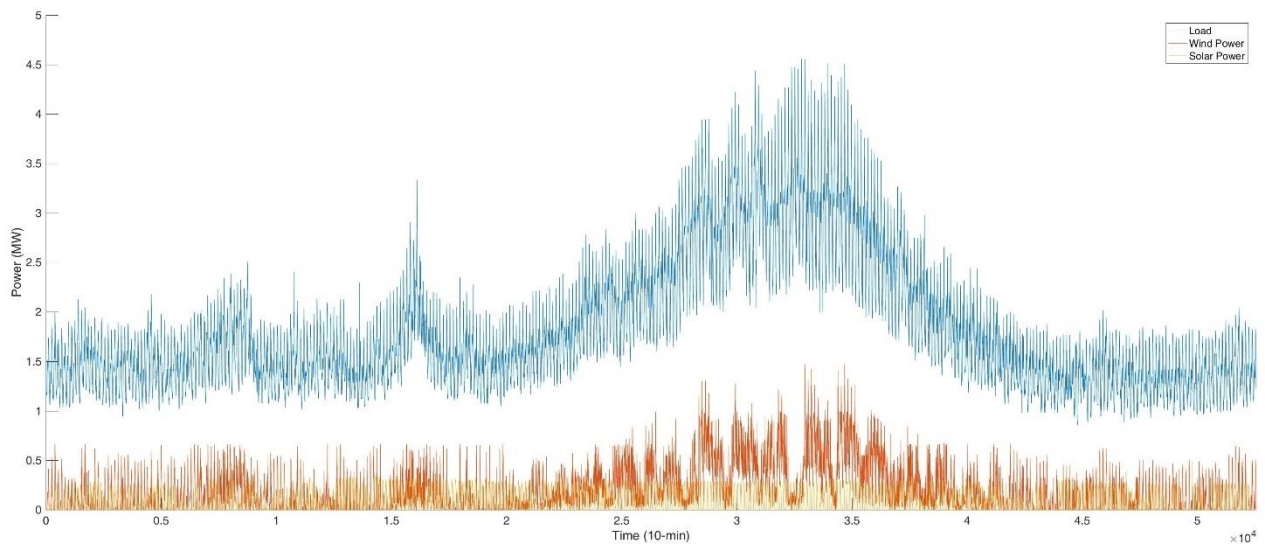
Πίνακας 6-15 Στοιχεία Ορίου Διείσδυσης Πολιτικής 1 για Α/Γ 1500 kW

Τεχνοοικονομική βελτιστοποίηση συστήματος συσσωρευτών για αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας  
Αιολικού Σταθμού σε ΜΔΝ



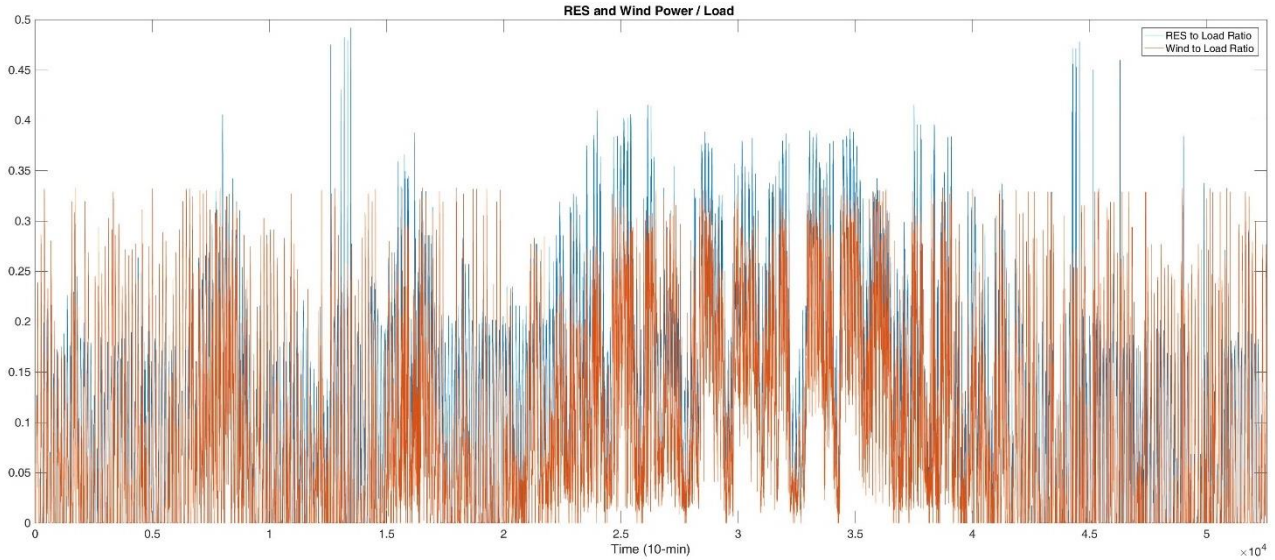
Σχήμα 6-17 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Διαφοράς Ορίου Διείσδυσης και Αιολικής Ισχύος Πολιτικής 1 για Α/Γ 1500 kW

Στο επόμενο διάγραμμα απεικονίζεται η ισχύς που προέρχεται από ΑΠΕ σε σχέση με φορτίο (μπλε), δηλαδή τον αιολικό σταθμό (πορτοκαλί) και τα φωτοβολταϊκά (κίτρινο).



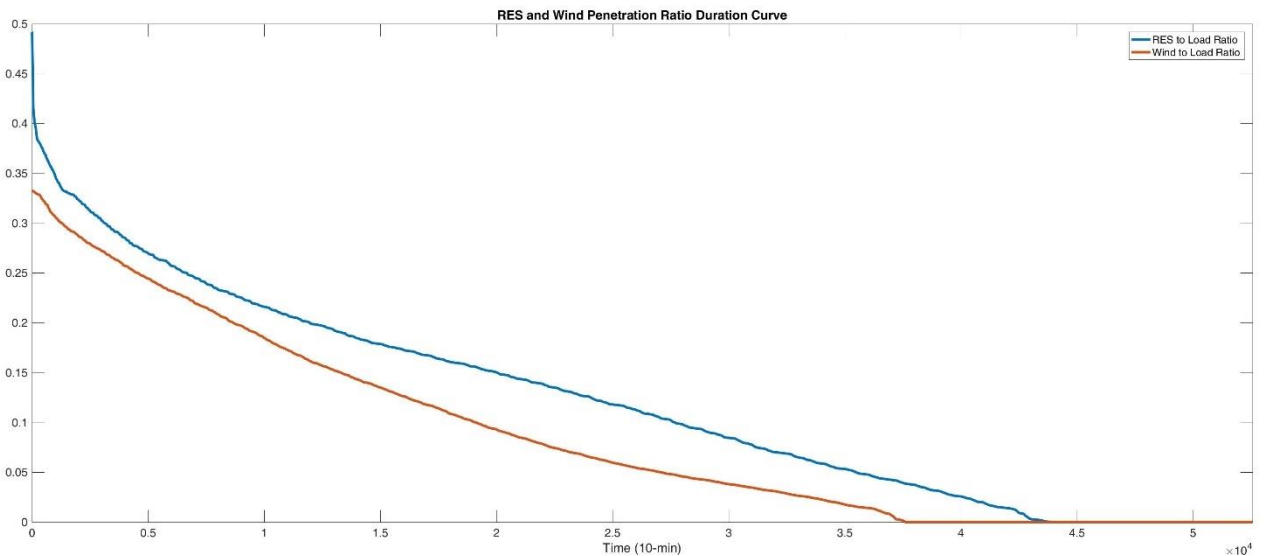
Σχήμα 6-18 Ετήσια Χρονοσειρά Φορτίου προς Αιολική και Φωτοβολταϊκή Παραγωγή Πολιτικής 1 για Α/Γ 1500 kW

Επίσης, στο επόμενο διάγραμμα παρουσιάζεται το ποσοστό διείσδυσης των ΑΠΕ (μπλε γραμμή) και του αιολικού πάρκου (πορτοκαλί γραμμή) στη διάρκεια του έτους.



Σχήμα 6-19 Ετήσια Χρονοσειρά Ποσοστού Διείσδυσης Αιολικής Παραγωγής και ΑΠΕ Πολιτικής 1 για Α/Γ 1500 kW

Ενδιαφέρον έχει και η καμπύλη διάρκειας του ποσοστού διείσδυσης, όπως απεικονίζεται στο επόμενο σχήμα.



Σχήμα 6-20 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Ποσοστού Διείσδυσης Αιολικής Παραγωγής και ΑΠΕ Πολιτικής 1 για Α/Γ 1500 kW

Μερικές χρήσιμες τιμές που μπορούν να εξαχθούν καταγράφονται στον επόμενο πίνακα:

	Ελάχιστο (%)	Μέγιστο (%)	Μέσο (%)
Αιολική παραγωγή προς φορτίο	0	33.32	8.81
Παραγωγή ΑΠΕ προς φορτίο	0	49.17	12.12

Πίνακας 6-16 Τιμές από Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Ποσοστού Διείσδυσης Αιολικής Παραγωγής και ΑΠΕ Πολιτικής 1 για Α/Γ 1500 kW

Παρατηρούμε ότι η διείσδυση ΑΠΕ ανεβαίνει σε σημαντικά ποσοστά κάποιες λίγες στιγμές, αλλά η μέση τιμή είναι περίπου ίση με 12%. Από τη στιγμή όμως που τηρούνται οι περιορισμοί τεχνικού ελαχίστου και οι δυναμικοί περιορισμοί κάθε γεννήτριας, δεν τίθεται θέμα ασφάλειας του δικτύου.

#### 6.1.5 Συμπεράσματα 1ης πολιτικής λειτουργίας

Στον επόμενο πίνακα μπορούμε να δούμε συγκεντρωτικά τα σημαντικότερα μεγέθη της 1ης πολιτικής λειτουργίας για κάθε μέγεθος ανεμογεννήτριας

Ισχύς (kW)	600	900	1200	1500
Εγγερόμενη ενέργεια (MWh)	1115.31 (7,2% του φορτίου)	1378.98 (8.6% του φορτίου)	1546 (9.65% του φορτίου)	1662.1 (10.38% του φορτίου)
Απορριπτόμενη ενέργεια (MWh)	1209.03	2107.54	3103.84	4148.77
ΣΑΩΛ (ώρες)	3989	2660	1995	1596
Πραγματικά Ανεγμένες Ώρες Λειτουργίας	1859 (46,6% των ΣΑΩΛ)	1532 (57,6% των ΣΑΩΛ)	1287 (64,52% των ΣΑΩΛ)	1108 (69,44% των ΣΑΩΛ)
Συντελεστής Χρησιμοποίησης (%)	21.22	17.49%	14.7	12.65
Απορριπτόμενη / Δυνητικά Παραγόμενη Ενέργεια (%)	52%	60%	67	71
Συνολική Παραγωγή ΑΠΕ (MWh)	1650.79 (10.3% του φορτίου)	1914.46 (12% του φορτίου)	2080.33 (13% του φορτίου)	2197.57 (13.73% του φορτίου)
Αξιοποίηση Περιθωρίου Διείσδυσης (%)	69%	80%	88%	92%
Συνολικό κόστος (€)	840.000	1.260.000	1.680.000	2.100.000
IRR για 100% ίδια κεφάλαια	5.95%	3.18%	0.8%	-1.21%

Πίνακας 6-17 Συμπεράσματα 1ης πολιτικής λειτουργίας

Από τα παραπάνω αποτελέσματα προκύπτει ξεκάθαρα ότι η επιλογή της ανεμογεννήτριας με ισχύ 600 kW είναι η μόνη που μπορεί να έχει κάποιο ενδιαφέρον για τα μεγέθη της Σκύρου. Εξασφαλίζει μια ανεκτή οικονομική απόδοση και διατηρεί τις απορρίψεις ισχύος σε ανεκτά επίπεδα προσφέροντας έναν οριακό συντελεστή χρησιμοποίησης. Η επιλογή μιας μεγαλύτερης ανεμογεννήτριας το μόνο που επιτυγχάνει είναι να αυξήσει το κόστος χωρίς ανάλογη αύξηση της παραγωγής με αποτέλεσμα η επένδυση να γίνεται οικονομικά ασύμφορη. Ωστόσο, ακόμα και η επιλογή των 600 kW έχει αρνητική καθαρή παρούσα αξία αν θεωρήσουμε το επιτόκιο αναγωγής ίσο με 7%, γεγονός που απαιτεί σταθερό επενδυτικό περιβάλλον για να γίνει ελκυστική μια τέτοια επένδυση.

Επίσης, είναι άξια αναφοράς η σχέση μεταξύ της αύξησης της παραγόμενης ενέργειας και του κόστους. Από εδώ προκύπτουν τα εξής ενδιαφέροντα συμπεράσματα:

- Όταν η ισχύς του αιολικού πάρκου γίνεται 900 kW αντί για 600 kW, τότε έχουμε αύξηση 23% στην παραγόμενη ενέργεια, αλλά αύξηση 50% στο κόστος.
- Όταν η ισχύς του αιολικού πάρκου γίνεται 1200 kW αντί για 900 kW, τότε έχουμε αύξηση 12% στην παραγόμενη ενέργεια, αλλά αύξηση 33% στο κόστος.
- Όταν η ισχύς του αιολικού πάρκου γίνεται 1500 kW αντί για 1200 kW, τότε έχουμε αύξηση 7.5% στην παραγόμενη ενέργεια, αλλά αύξηση 25% στο κόστος.
- Όταν η ισχύς του αιολικού πάρκου γίνεται 1200 kW αντί για 600 kW, τότε έχουμε αύξηση 38% στην παραγόμενη ενέργεια, αλλά αύξηση 100% στο κόστος.
- Όταν η ισχύς του αιολικού πάρκου γίνεται 1500 kW αντί για 600 kW, τότε έχουμε αύξηση 49% στην παραγόμενη ενέργεια, αλλά αύξηση 150% στο κόστος.

Οι παραπάνω παρατηρήσεις επαληθεύουν το γεγονός ότι η ανεμογεννήτρια των 600 kW είναι η μέγιστη δυνατή που μπορεί να ενταχθεί στο νησί της Σκύρου και να προσφέρει μια ανεκτή οικονομική απόδοση, υπό την προϋπόθεση ενός σταθερού επενδυτικού περιβάλλοντος.

## 6.2 2η πολιτική λειτουργίας

Οι παραδοχές που θα κάνουμε σε αυτή την πολιτική, πέραν όσων έχουν ήδη αναφερθεί είναι οι εξής:

- Οικονομικά μεγέθη:
  - Κόστος ανεμογεννήτριας: 1.400.000 € / MW
  - Κόστος συσσωρευτών: 500.000 € / MWh
  - Κόστος ηλεκτρονικών ισχύος για τους συσσωρευτές: 400.000 € / MW
  - Αποζημίωση ηλεκτρικής ενέργειας: 100 € / MWh
  - 100% χρηματοδότηση του έργου από ίδια κεφάλαια
  - Έξοδα συντήρησης και λειτουργικά ίσα με 1% της επένδυσης
  - Επιτόκιο αναγωγής ίσο με 7%
  - Ετήσια αναπροσαρμογή της τιμής πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας ίση με 0.8%
  - Φορολογικός συντελεστής ίσος με 25%
  - Διάρκεια έργου: 20 έτη
- Τεχνικά μεγέθη:
  - Εφεδρεία θερμικών σταθμών: 10% επί του φορτίου
  - Μέγιστο επίπεδο φόρτισης συσσωρευτών: 95%

- Ελάχιστο επίπεδο φόρτισης συσσωρευτών: 25%
- Αρχικό επίπεδο φόρτισης συσσωρευτών: 50%
- Απώλειες φόρτισης και εκφόρτισης συσσωρευτών: 10%. Αυτό μας οδηγεί σε απόδοση κύκλου ίση με 81%.
- Σχέσης χωρητικότητας – ισχύος συσσωρευτών: 1.5 MWh / MW
- Στα 10 έτη γίνεται αντικατάσταση των συσσωρευτών με νέους, ίδιας χωρητικότητας, αλλά με κόστος μισό από το σημερινό.

### 6.2.1 Υπολογισμός Χωρητικότητας Συσσωρευτών

Θα πρέπει πριν προχωρήσουμε σε αποτελέσματα να προσδιορίσουμε τη βέλτιστη χωρητικότητα των συσσωρευτών που θα χρησιμοποιήσουμε.

Για το λόγο αυτό θα προσδιορίσουμε 4 τιμές ισχύος των συσσωρευτών και στη συνέχεια θα μελετήσουμε τα οικονομικά και ενεργειακά αποτελέσματα για κάθε επιλογή.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα σχετικά αποτελέσματα για κάθε επίπεδο ισχύος της ανεμογεννήτριας.

	<b>P<sub>bat</sub> / P<sub>wind</sub></b>	<b>0</b>	<b>0,25</b>	<b>0,5</b>	<b>0,75</b>	<b>1</b>
<b>600 kW</b>	Χωρητικότητα Συσσωρευτών (MWh)	0	0,225	0,45	0,675	0,9
	Συνολικό κόστος (€)	840000	1012500	1185000	1357500	1530000
	Συντελεστής Χρησιμοποίησης (%)	21,22	22,59	23,36	23,94	24,42
	Εγγεόμενη ενέργεια (MWh)	1115,31	1187,33	1227,97	1258,11	1283,41
	ΣΑΩΛ	3989	3989	3989	3989	3989
	Πραγματικές ΑΩΛ	1859	1979	2047	2097	2139
	IRR	5,96%	3,84%	1,83%	0,05%	-1,54%
<b>900 kW</b>	Χωρητικότητα Συσσωρευτών (MWh)	0	0.3375	0.675	1.0125	1.35
	Συνολικό κόστος (€)	1260000	1518750	1777500	2036250	2295000
	Συντελεστής Χρησιμοποίησης (%)	17,49	18,79	19,5	20,02	20,43
	Εγγεόμενη ενέργεια (MWh)	1378,98	1481,56	1537,04	1578,18	1610,62
	ΣΑΩΛ	2660	2660	2660	2660	2660
	Πραγματικές ΑΩΛ	1532	1646	1708	1754	1790
	IRR	3,18%	1,24%	-0,72%	-2,49%	-4,11%
<b>1200 kW</b>	Χωρητικότητα Συσσωρευτών (MWh)	0	0,45	0,9	1,35	1,8
	Συνολικό κόστος (€)	1680000	2025000	2370000	2715000	3060000
	Συντελεστής Χρησιμοποίησης (%)	14,7	15,9	16,53	16,96	17,3
	Εγγεόμενη ενέργεια (MWh)	1546	1671,31	1738,14	1783,33	1818,66
	ΣΑΩΛ	1995	1995	1995	1995	1995

1500 kW

Πραγματικές ΑΩΛ	1287	1392	1448	1486	1516
IRR	0,81%	-1,07%	-3,02%	-4,87%	-6,62%
Χωρητικότητα Συσσωρευτών (MWh)	0	0,5625	1,125	1,6875	2,25
Συνολικό κόστος (€)	2100000	2531250	2962500	3393750	3825000
Συντελεστής Χρησιμοποίησης (%)	12,65	13,74	14,26	14,61	14,87
Εγγεόμενη ενέργεια (MWh)	1662,1	1805,68	1874,03	1920,25	1954,35
ΣΑΩΛ	1596	1596	1596	1596	1596
Πραγματικές ΑΩΛ	1108	1204	1249	1280	1303
IRR	-1,21%	-3,07%	-5,14%	-7,14%	-9,09%

Πίνακας 6-18 Ανάλυση Ευαισθησίας 2<sup>ης</sup> Πολιτικής

Παρατηρούμε με σχετική ευκολία ότι όσο αυξάνεται η ισχύς, άρα και η χωρητικότητα, των συσσωρευτών έχουμε αύξηση της παραγόμενης ενέργειας. Η μεγαλύτερη ισχύ όμως οδηγεί σε δυσανάλογα μεγαλύτερο κόστος, γεγονός που εξηγεί και τη συνεχή μείωση του IRR όσο αυξάνεται η χωρητικότητα των συσσωρευτών.

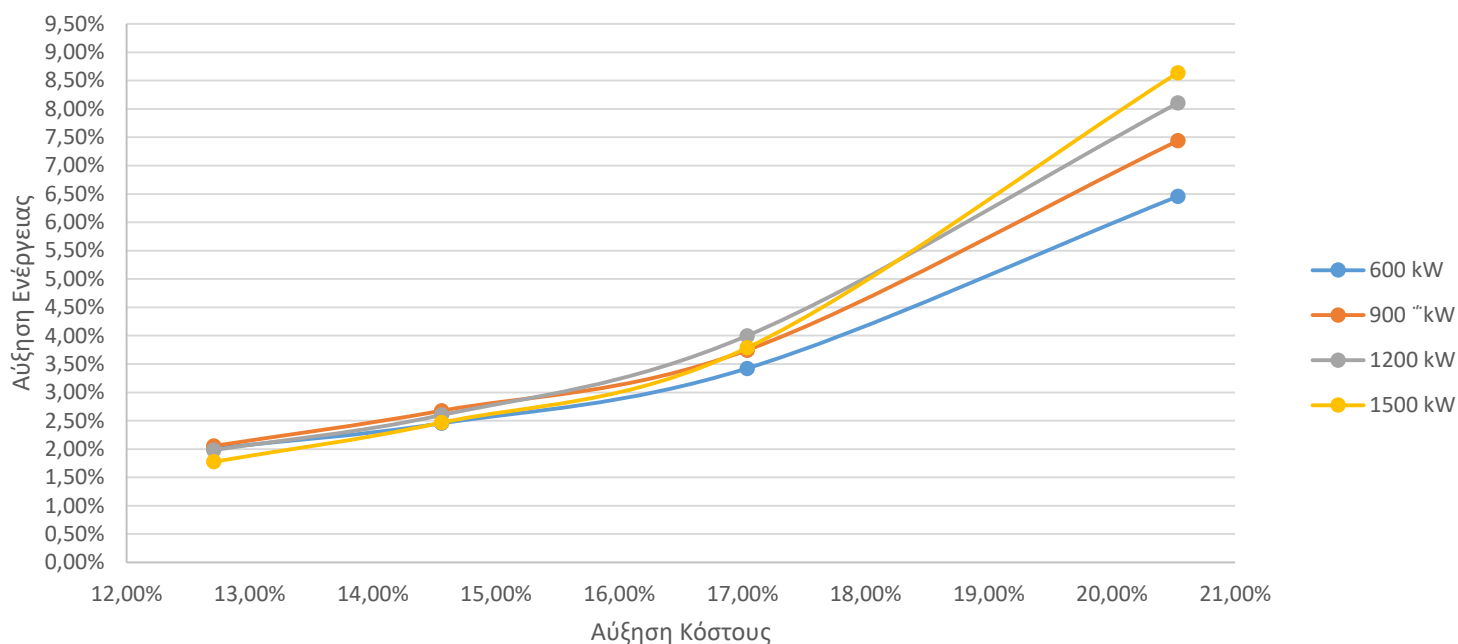
Μάλιστα, η σχέση μεταβολής του κόστους προς μεταβολή της ενέργειας δίνεται στους παρακάτω πίνακες και διαγράμματα, αναλυτικά για κάθε χωρητικότητα συσσωρευτών και κάθε ισχύ ανεμογεννήτριας. Στον πρώτο πίνακα εξετάζουμε τη μεταβολή ως προς το προηγούμενο βήμα ισχύος, ενώ στον 2<sup>ο</sup> πίνακα εξετάζουμε τη μεταβολή ως προς την επιλογή να μην έχουμε καθόλου αποθήκευση.

		<b>P<sub>bat</sub> / P<sub>wind</sub></b>	<b>0,25</b>	<b>0,5</b>	<b>0,75</b>	<b>1</b>
<b>600</b>	<b>kW</b>	Αύξηση εγγεόμενης ενέργειας (%)	6,46%	3,42%	2,45%	2,01%
		Αύξηση Κόστους (%)	20,54%	17,04%	14,56%	12,71%
<b>900</b>	<b>kW</b>	Αύξηση εγγεόμενης ενέργειας (%)	7,44%	3,74%	2,68%	2,06%
		Αύξηση Κόστους (%)	20,54%	17,04%	14,56%	12,71%
<b>1200</b>	<b>kW</b>	Αύξηση εγγεόμενης ενέργειας (%)	8,11%	4,00%	2,60%	1,98%
		Αύξηση Κόστους (%)	20,54%	17,04%	14,56%	12,71%
<b>1500</b>	<b>kW</b>	Αύξηση εγγεόμενης ενέργειας (%)	8,64%	3,79%	2,47%	1,78%
		Αύξηση Κόστους (%)	20,54%	17,04%	14,56%	12,71%

Πίνακας 6-19 Μεταβολή Κόστους – Εγγεόμενης Ενέργειας 2<sup>ης</sup> Πολιτικής



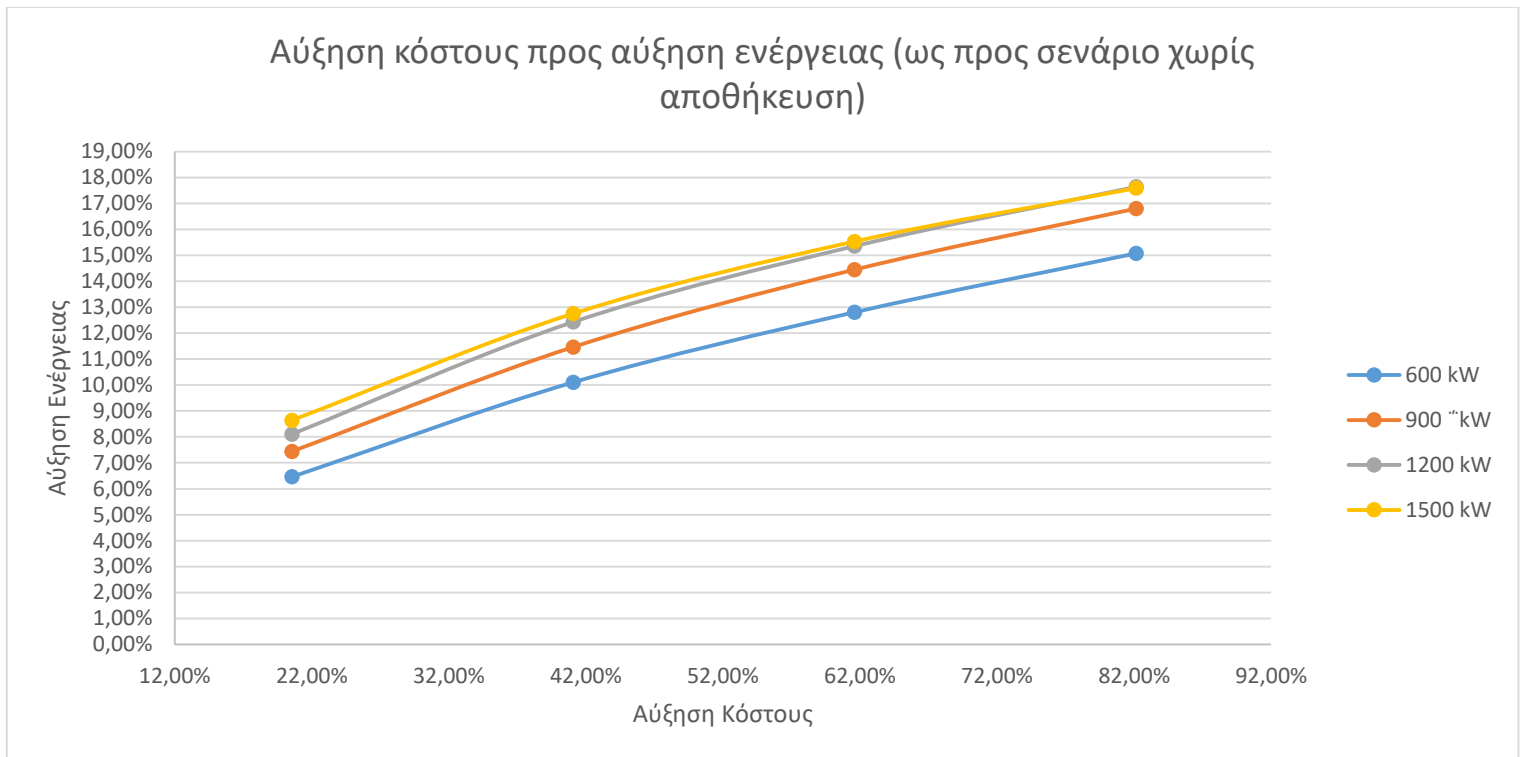
### Αύξηση κόστους προς αύξηση ενέργειας (ως προς προηγούμενο βήμα ισχύος)



Σχήμα 6-21 Μεταβολή Κόστους – Εγγεόμενης Ενέργειας 2ης Πολιτικής

		<b>Pbat / Pwind</b>	<b>0,25</b>	<b>0,5</b>	<b>0,75</b>	<b>1</b>
<b>600</b>	<b>kW</b>	Αύξηση εγγεόμενης ενέργειας (%)	6,46%	10,10%	12,80%	15,07%
		Αύξηση Κόστους (%)	20,54%	41,07%	61,61%	82,14%
<b>900</b>	<b>kW</b>	Αύξηση εγγεόμενης ενέργειας (%)	7,44%	11,46%	14,45%	16,80%
		Αύξηση Κόστους (%)	20,54%	41,07%	61,61%	82,14%
<b>1200</b>	<b>kW</b>	Αύξηση εγγεόμενης ενέργειας (%)	8,11%	12,43%	15,35%	17,64%
		Αύξηση Κόστους (%)	20,54%	41,07%	61,61%	82,14%
<b>1500</b>	<b>kW</b>	Αύξηση εγγεόμενης ενέργειας (%)	8,64%	12,75%	15,53%	17,58%
		Αύξηση Κόστους (%)	20,54%	41,07%	61,61%	82,14%

Πίνακας 6-20 Μεταβολή Κόστους – Εγγεόμενης Ενέργειας Σύγκριση 1ης - 2ης Πολιτικής



Σχήμα 6-22 Μεταβολή Κόστους – Εγχεόμενης Ενέργειας Σύγκριση 1ης - 2ης Πολιτικής

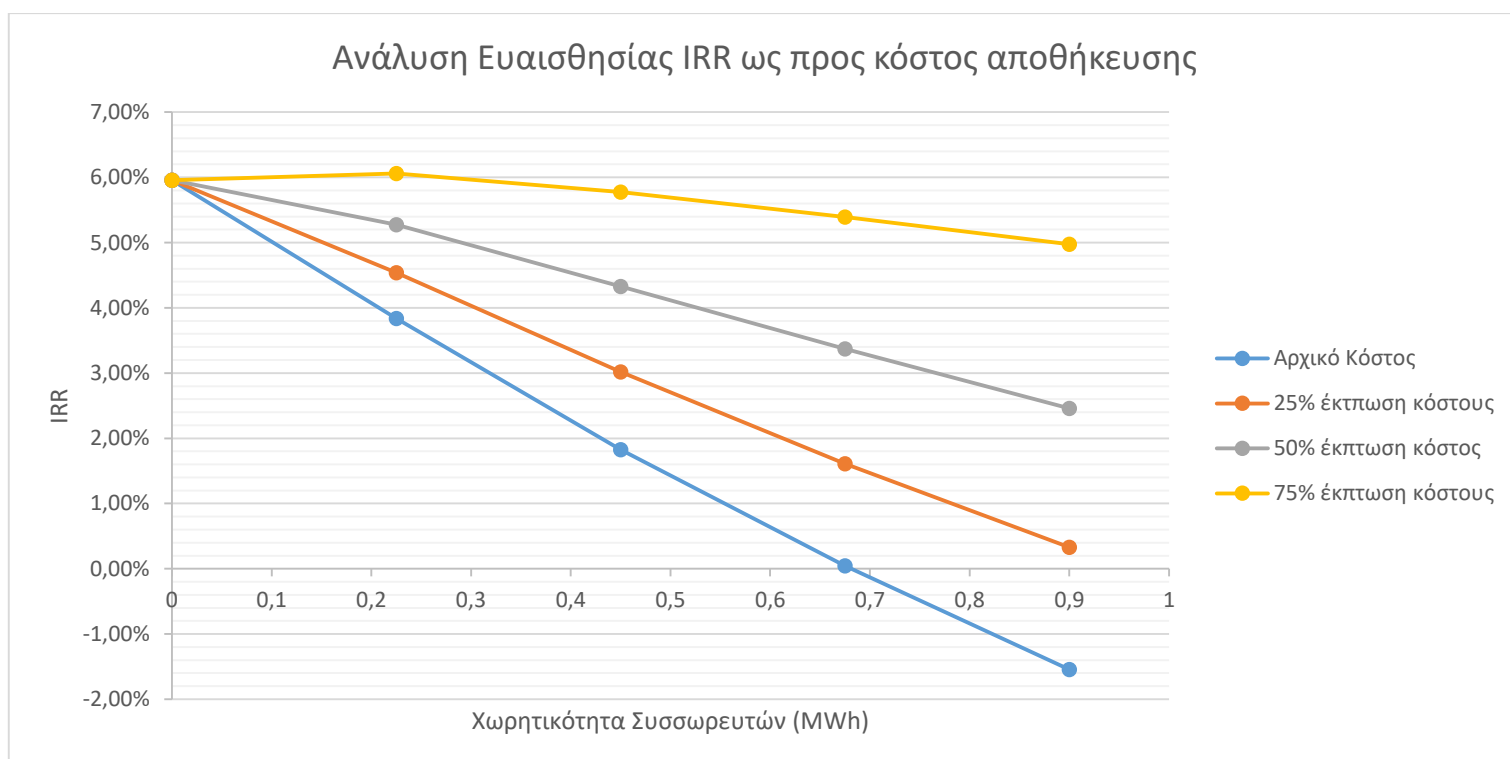
Παρατηρούμε με σχετική ευκολία πόσο δυσανάλογη είναι η αύξηση του κόστους σε σχέση με την αύξηση της παραγόμενης ενέργειας. Για παράδειγμα, μπορούμε να σημειώσουμε τις εξής περιπτώσεις:

- Όταν προσθέτουμε συσσωρευτές ισχύος 25% του αιολικού έχουμε αύξηση στην ενέργεια 6.46% έως 8.64%, αλλά αύξηση στο κόστος 20.54%, δηλαδή 3 φορές περισσότερο, σε σχέση με την απουσία αποθήκευσης.
- Αν αποφασίσουμε να προσθέσουμε συσσωρευτές με ισχύ εξόδου ίση με την ισχύ της ανεμογεννήτριας, τότε το κόστος αυξάνεται κατά 82.14%, αλλά η παραγόμενη ενέργεια κατά μόλις 15% έως 17.58%, δηλαδή σχεδόν 5 φορές λιγότερο.

Ο λόγος της δυσανάλογης αύξησης του κόστους ως προς την αύξηση της εγχεόμενης ενέργειας οφείλεται κυρίως στο κόστος του συστήματος αποθήκευσης. Μελετώντας σε τι επίπεδο θα πρέπει να πέσουν οι τιμές του συστήματος αποθήκευσης ώστε να υπάρχει ένα σημείο στο οποίο η προσθήκη αποθήκευσης να αυξάνει την οικονομική απόδοση καταλήγουμε ότι τόσο το κόστος των ηλεκτρονικών ισχύος, όσο και το κόστος των συσσωρευτών καθαυτών θα πρέπει να μειωθεί στο ¼ του σημερινού. Η πορεία αυτής της μελέτης, όπως έγινε για το σταθμό με αιολικό πάρκο ισχύος 600 kW, φαίνεται στον παρακάτω πίνακα και διάγραμμα:

		Χωρητικότητα Συσσωρευτών (MWh)				
		0	0,225	0,45	0,675	0,9
<u>Κόστος συστήματος αποθήκευσης σε σχέση με το σημερινό (%)</u>	100	5,96%	3,84%	1,83%	0,05%	-1,54%
	75	5,96%	4,54%	3,02%	1,61%	0,33%
	50	5,96%	5,28%	4,33%	3,37%	2,46%
	25	5,96%	6,06%	5,78%	5,39%	4,98%

Πίνακας 6-21 Ανάλυση Ευαισθησίας IRR ως προς κόστος αποθήκευσης 2<sup>ης</sup> Πολιτικής



Σχήμα 6-23 Ανάλυση Ευαισθησίας IRR ως προς κόστος αποθήκευσης 2<sup>ης</sup> Πολιτικής

Τελικά επομένως, καταλήγουμε ότι για να γίνει βιώσιμο κάποιο σύστημα αποθήκευσης θα πρέπει το κόστος του συστήματος αποθήκευσης να διαμορφωθεί στα ακόλουθα επίπεδα:

- Κόστος ηλεκτρονικών ισχύος για τους συσσωρευτές: 100.000 € / MW
- Κόστος συσσωρευτών: 125.000 € / MWh

Τότε θα μπορούσαν να προκύψουν τα παρακάτω αποτελέσματα και για τους άλλους σταθμούς:

		<b>Pbat / Pwind</b>	<b>0</b>	<b>0,25</b>	<b>0,5</b>	<b>0,75</b>	<b>1</b>
<b>600</b>	<b>kW</b>	Χωρητικότητα Συσσωρευτών (MWh)	0	0,225	0,45	0,675	0,9
		Συνολικό κόστος (€)	840000	883125	926250	969375	1012500
		IRR	5,96%	6,06%	5,78%	5,39%	4,98%
<b>900</b>	<b>kW</b>	Χωρητικότητα Συσσωρευτών (MWh)	0	0.3375	0.675	1.0125	1.35
		Συνολικό κόστος (€)	1260000	1324688	1389375	1454063	1518750
		IRR	3,18%	3,39%	3,15%	2,80%	2,40%
<b>1200</b>	<b>kW</b>	Χωρητικότητα Συσσωρευτών (MWh)	0	0,45	0,9	1,35	1,8
		Συνολικό κόστος (€)	1680000	1766250	1852500	1938750	2025000
		IRR	0,81%	1,08%	0,87%	0,51%	0,09%
<b>1500</b>	<b>kW</b>	Χωρητικότητα Συσσωρευτών (MWh)	0	0,5625	1,125	1,6875	2,25
		Συνολικό κόστος (€)	2100000	2207813	2315625	2423438	2025000
		IRR	-1,21%	-0,89%	-1,14%	-1,53%	-1,98%

Πίνακας 6-22 Αποτελέσματα 2<sup>ης</sup> Πολιτικής για μειωμένο κόστος αποθήκευσης στο ¼ του σημερινού

Παρατηρούμε πλέον ότι υπάρχει ένα σημείο καμπής στη μεταβολή του IRR. Συγκεκριμένα, για συσσωρευτές με ισχύ ίση με το 25% της ισχύος της ανεμογεννήτριας φαίνεται να έχουμε αύξηση στο IRR της επένδυσης.

Μια εναλλακτική σκέψη θα ήταν να δούμε, αν κρατήσουμε σε σημερινά επίπεδα το κόστος αποθήκευσης, σε ποιο επίπεδο επιδότησης του κόστους της αποθήκευσης θα εξασφάλιζε ο σταθμός με αποθήκευση την ίδια ή μεγαλύτερη οικονομική απόδοση με τον σταθμό χωρίς αποθήκευση.

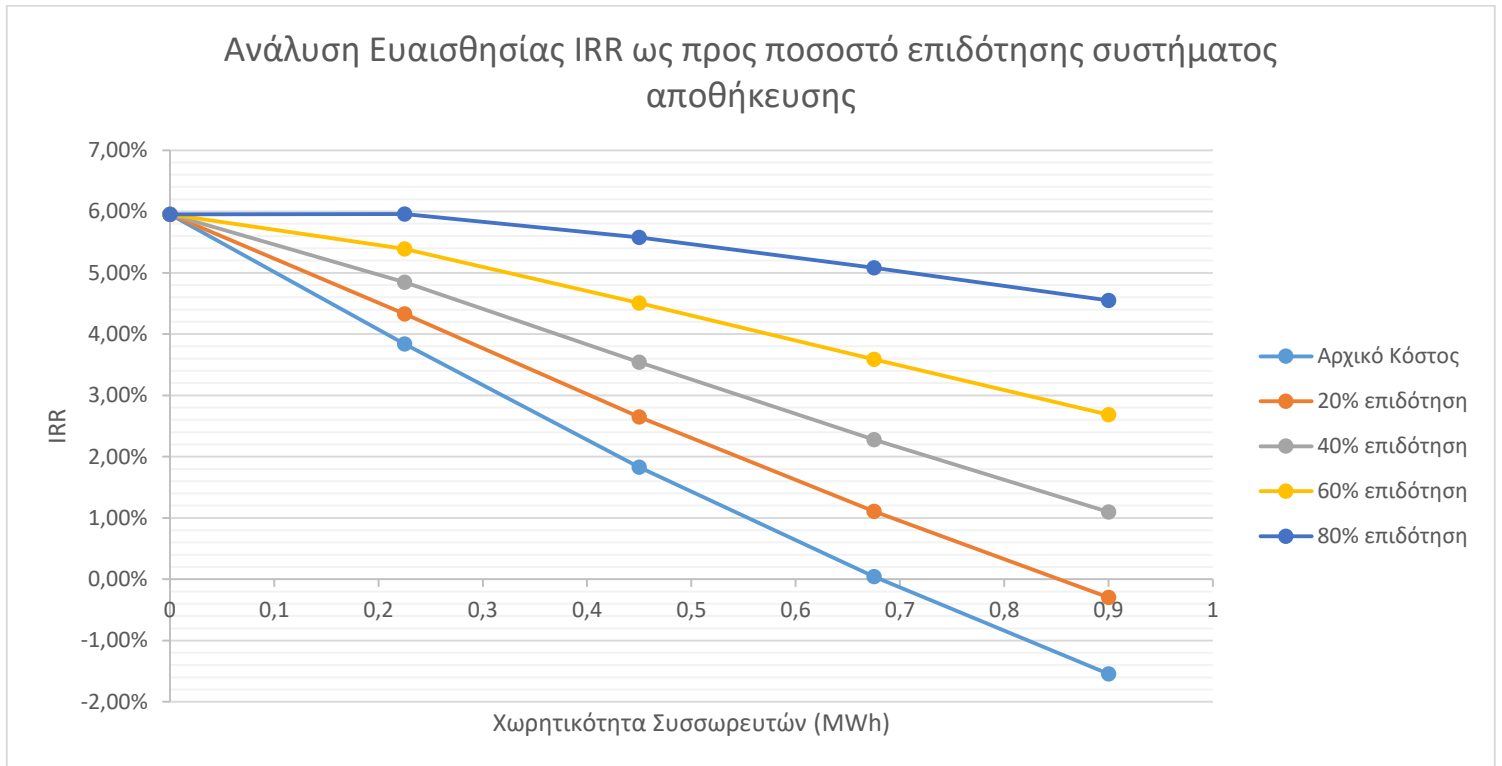
Αναζητώντας την επιθυμητή τιμή της επιδότησης για σταθμό με αιολικό πάρκο ισχύος 600 kW καταλήγουμε ότι όταν αυτή ισούται με το 80% του κόστους που έχει το σύστημα αποθήκευσης, τότε η προσθήκη συστήματος αποθήκευσης με ισχύ ίση με το 25% της ισχύος του αιολικού πάρκου προσφέρει IRR μεγαλύτερο ή ίσο του IRR που έχει ο σταθμός χωρίς αποθήκευση.

Η πορεία αυτής της διερεύνησης φαίνεται στον παρακάτω πίνακα και το παρακάτω διάγραμμα.

<b>Ανάλυση Ευαισθησίας IRR ως προς επιδότηση συστήματος αποθήκευσης</b>						
		<b>Χωρητικότητα Συσσωρευτών (MWh)</b>				
		<b>0</b>	<b>0,225</b>	<b>0,45</b>	<b>0,675</b>	<b>0,9</b>
<b>Επιδότηση κόστους</b>	<b>0</b>	5,96%	3,84%	1,83%	0,05%	-1,54%
	<b>20</b>	5,96%	4,54%	3,02%	1,61%	0,33%
	<b>40</b>	5,96%	5,28%	4,33%	3,37%	2,46%

	60	5,96%	6,06%	5,78%	5,39%	4,98%
	80	5,96%	5,96%	5,58%	5,08%	4,55%

Πίνακας 6-23 Ανάλυση Ευαισθησίας IRR ως προς επιδότηση συστήματος αποθήκευσης 2<sup>ης</sup> Πολιτικής



Σχήμα 6-24 Ανάλυση Ευαισθησίας IRR ως προς επιδότηση συστήματος αποθήκευσης 2<sup>ης</sup> Πολιτικής

Έτσι θα προκύπτανε τα παρακάτω αποτελέσματα:

<b>Pbat / Pwind</b>		<b>0</b>	<b>0,25</b>	<b>0,5</b>	<b>0,75</b>	<b>1</b>
<b>600 kW</b>	Χωρητικότητα Συσσωρευτών (MWh)	0	0,225	0,45	0,675	0,9
	Συνολικό κόστος (€)	840000	874500	909000	943500	978000
	IRR	5,96%	5,96%	5,58%	5,08%	4,55%
<b>900 kW</b>	Χωρητικότητα Συσσωρευτών (MWh)	0	0,3375	0,675	1,0125	1,35
	Συνολικό κόστος (€)	1260000	1311750	1363500	1415250	1467000
	IRR	3,18%	3,25%	2,86%	2,36%	1,81%
<b>1200 kW</b>	Χωρητικότητα Συσσωρευτών (MWh)	0	0,45	0,9	1,35	1,8
	Συνολικό κόστος (€)	1680000	1749000	1818000	1887000	1956000
	IRR	0,81%	0,89%	0,49%	-0,06%	-0,67%
<b>1500 kW</b>	Χωρητικότητα Συσσωρευτών (MWh)	0	0,5625	1,125	1,6875	2,25
	Συνολικό κόστος (€)	2100000	2186250	2272500	2358750	1956000
	IRR	-1,21%	-1,12%	-1,60%	-2,23%	-2,91%

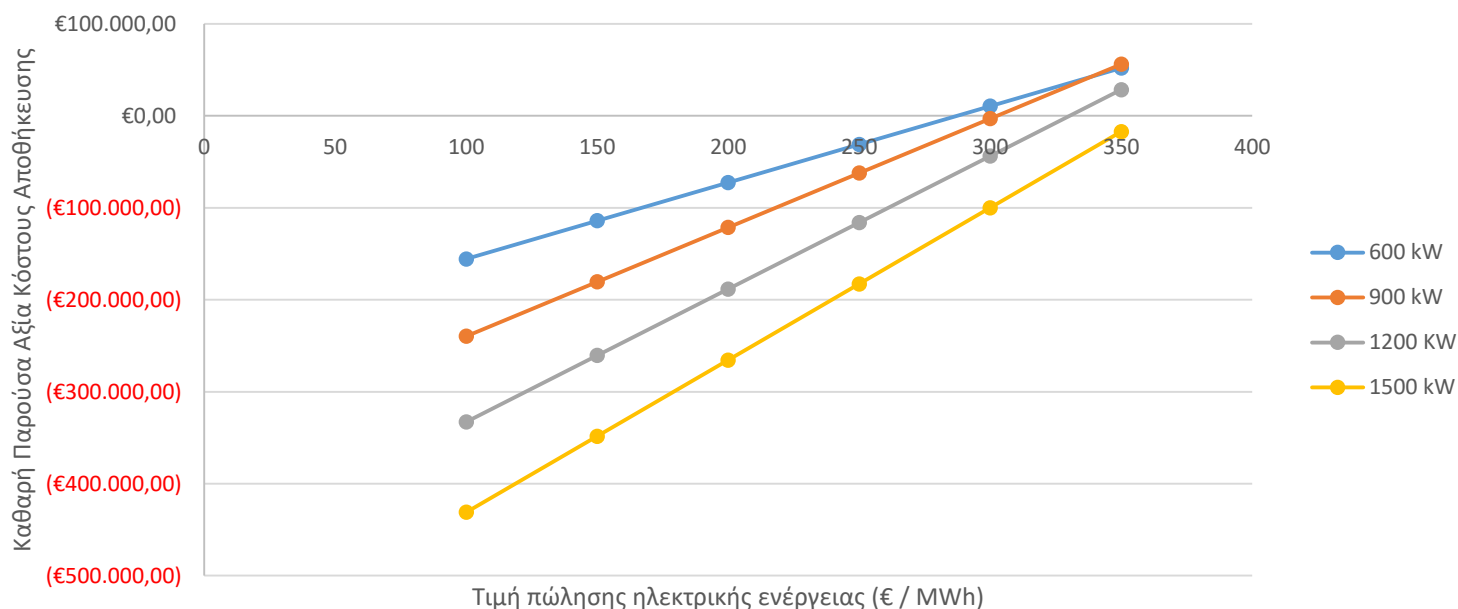
Πίνακας 6-24 Αποτελέσματα 2<sup>ης</sup> Πολιτικής για εφαρμογή επιδότησης 80% του κόστους αποθήκευσης

Μια τελευταία σκέψη για να καταστήσουμε την αποθήκευση οικονομικά συμφέρουσα είναι να αναζητήσουμε την τιμή πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας που θα καθιστούσε θετική την καθαρή παρούσα αξία του επιπλέον κόστους που συνεπάγεται η αποθήκευση. Η τιμή πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας που καθιστά συμφέρουσα την μονάδα αποθήκευσης είναι κοντά στα 350 €/ MWh. Μάλιστα, αν συζητήσουμε για σταθμό με ανεμογεννήτρια ισχύος 1500 kW, τότε η τιμή αυτή είναι λίγο μεγαλύτερη και φτάνει τα 365 € / MWh. Η ανάλυση ευαισθησίας δίνει τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα και διάγραμμα:

<b>Ανάλυση ευαισθησίας NPV κόστους αποθήκευσης ως προς τιμή πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας</b>					
		<u>Ισχύς Ανεμογεννήτριας (MW)</u>			
		600	900	1200	1500
<u>Τιμή Πώλησης</u> <u>Ηλεκτρικής</u> <u>Ενέργειας (€ /</u> <u>MWh)</u>	100	-155.637,81 €	-239.743,25 €	-332.880,54 €	-431.162,40 €
	150	-114.100,55 €	-180.580,63 €	-260.608,47 €	-348.353,18 €
	200	-72.563,29 €	-121.418,00 €	-188.336,40 €	-265.543,96 €
	250	-31.026,02 €	-62.255,37 €	-116.064,33 €	-182.734,73 €
	300	10.511,24 €	-3.092,74 €	-43.792,26 €	-99.925,51 €
	350	52.048,50 €	56.069,88 €	28.479,81 €	-17.116,29 €

Πίνακας 6-25 Ανάλυση ευαισθησίας NPV κόστους αποθήκευσης ως προς τιμή πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας για τη 2<sup>η</sup> Πολιτική

### Ανάλυση ευαισθησίας NPV ως προς τιμή αποζημίωσης



Σχήμα 6-25 Ανάλυση ευαισθησίας NPV κόστους αποθήκευσης ως προς τιμή πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας για τη 2η Πολιτική

Συνοψίζοντας, μετά από την ανάλυση που προηγήθηκε, καταλήγουμε στο ότι η εγκατάσταση διάταξης αποθήκευσης δεν αποτελεί οικονομικά συμφέρουσα λύση, γεγονός που οφείλεται στο υψηλό κόστος της διάταξης αποθήκευσης.

Ωστόσο, για λόγους πληρότητας θα παρουσιάσουμε τα αποτελέσματα που προκύπτουν για τα τέσσερα μεγέθη της διάταξης αποθήκευσης για ανεμογεννήτρια με ισχύ 600 kW. Έτσι θα γίνει εμφανής και το τρόπο λειτουργίας του Σταθμού μέσα στη διάρκεια του έτους.

#### 6.2.2 Ανεμογεννήτρια 600 kW – Συσσωρευτές 150 kW / 225 kWh

<b>Εγχεόμενη ενέργεια από την ανεμογεννήτρια (MWh)</b>	1115,31
<b>Εγχεόμενη ενέργεια από συσσωρευτές (MWh)</b>	72,02
<b>Συνολικά εγχεόμενη ενέργεια (MWh)</b>	1187,33 (7,42% του φορτίου)
<b>Απορριπτόμενη ενέργεια (MWh)</b>	1136,91
<b>ΑΩΛ Σταθμού (ώρες)</b>	1979 (49,61% των ΣΑΩΛ)
<b>Συντελεστής Χρησιμοποίησης Σταθμού (%)</b>	22,59
<b>Απορριπτόμενη / Δυνητικά Παραγόμενη Ενέργεια (%)</b>	49
<b>Συνολική Παραγωγή ΑΠΕ (MWh)</b>	1722,81 (10,76% του φορτίου)
<b>Συνολικό κόστος (€)</b>	1012500
<b>IRR για 100% ίδια κεφάλαια (%)</b>	3,84

Πίνακας 6-26 Αποτελέσματα Πολιτικής 2 για  $P_b/P_w = 0.25$

Στον επόμενο πίνακα απεικονίζονται οι χρηματοροές του έργου για μια περίοδο 20-ετίας.

Έτος	Παραγόμενη ενέργεια (kWh)	Τιμή πώλησης (€ / kWh)	Έσοδα (€)	Δόση Δανείου (€)	Συντήρηση (€) (1% κόστους)	Λειτουργικά (€) (1% κόστους)	Repowering (€)	Φόρος (€)	Κέρδη (€)
0	0,00	100,00	-1012500,00						-1012500,00
1	1187,33	100,00	118733,00	0,00	10125,00	10125,00	0,00	24620,75	73862,25
2	1187,33	100,80	119682,86	0,00	10428,75	10428,75	0,00	24706,34	74119,02
3	1187,33	101,61	120640,33	0,00	10741,61	10741,61	0,00	24789,28	74367,83
4	1187,33	102,42	121605,45	0,00	11063,86	11063,86	0,00	24869,43	74608,30
5	1187,33	103,24	122578,29	0,00	11395,78	11395,78	0,00	24946,68	74840,05
6	1187,33	104,06	123558,92	0,00	11737,65	11737,65	0,00	25020,90	75062,71
7	1187,33	104,90	124547,39	0,00	12089,78	12089,78	0,00	25091,96	75275,87
8	1187,33	105,74	125543,77	0,00	12452,47	12452,47	0,00	25159,71	75479,12
9	1187,33	106,58	126548,12	0,00	12826,05	12826,05	0,00	25224,01	75672,02
10	1187,33	107,43	127560,51	0,00	13210,83	13210,83	56250,00	11222,21	33666,64
11	1187,33	108,29	128580,99	0,00	13607,15	13607,15	0,00	25341,67	76025,01
12	1187,33	109,16	129609,64	0,00	14015,37	14015,37	0,00	25394,73	76184,18
13	1187,33	110,03	130646,51	0,00	14435,83	14435,83	0,00	25443,71	76331,14
14	1187,33	110,91	131691,69	0,00	14868,90	14868,90	0,00	25488,47	76465,41
15	1187,33	111,80	132745,22	0,00	15314,97	15314,97	0,00	25528,82	76586,46
16	1187,33	112,70	133807,18	0,00	15774,42	15774,42	0,00	25564,59	76693,76
17	1187,33	113,60	134877,64	0,00	16247,65	16247,65	0,00	25595,58	76786,75
18	1187,33	114,51	135956,66	0,00	16735,08	16735,08	0,00	25621,62	76864,87
19	1187,33	115,42	137044,31	0,00	17237,13	17237,13	0,00	25642,51	76927,53
20	1187,33	116,35	138140,67	0,00	17754,25	17754,25	0,00	25658,04	76974,13
		Σύνολο	2564099,15	0,00	272062,54	272062,54	56250,00	490931,02	1472793,05
Επιτόκιο αναγωγής	NPV	Συνολικό κόστος (€)			Ίδια κεφάλαια (€)	Δάνειο (€)	IRR		
0,07	-220.020,32 €	1012500			1012500,00	0,00	3,84%		

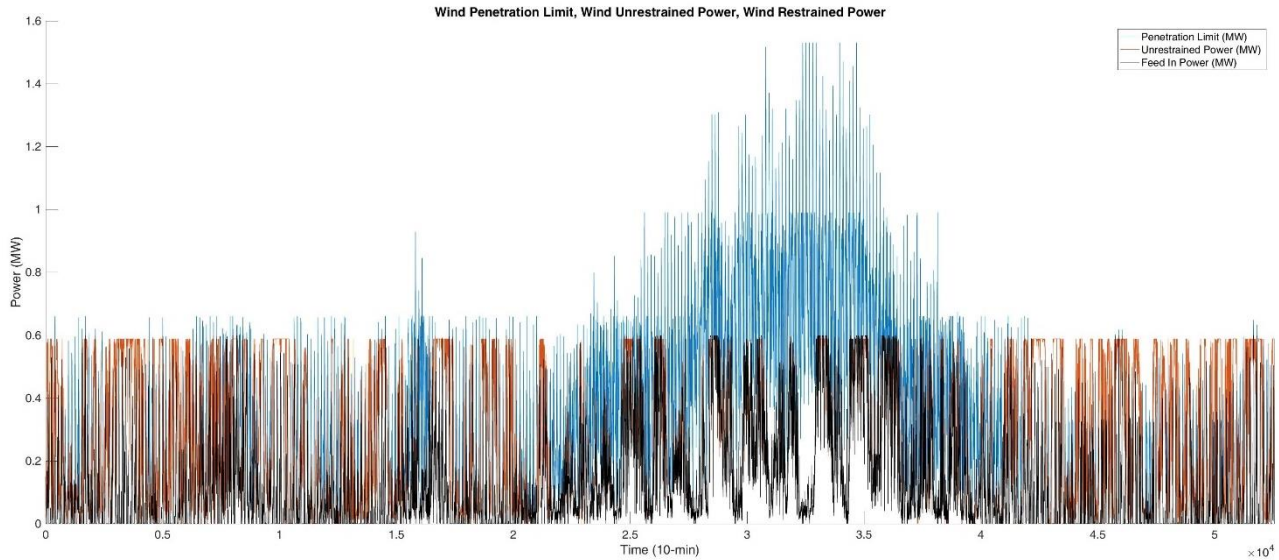
Πίνακας 6-27 Χρηματοροές Πολιτικής 2 για  $P_b/P_w = 0.25$

Σημαντικό στοιχείο είναι ότι παρότι έχουμε θετικό IRR, η καθαρή παρούσα αξία είναι αρνητική αφού το IRR είναι μικρότερο από το επιτόκιο αναγωγής. Αυτό δείχνει ότι σε ένα περιβάλλον με επενδυτικό ρίσκο η επένδυση δεν είναι ελκυστική.

Στο επόμενο διάγραμμα παρουσιάζονται σε παράθεση το όριο διεξόδου που προσφέρεται στον Σταθμό(μπλε), η παραγωγή που θα είχε χωρίς περιορισμούς διεξόδου (πορτοκαλί) και η παραγωγή έπειτα από την εφαρμογή των περιορισμών διεξόδου (μαύρο).

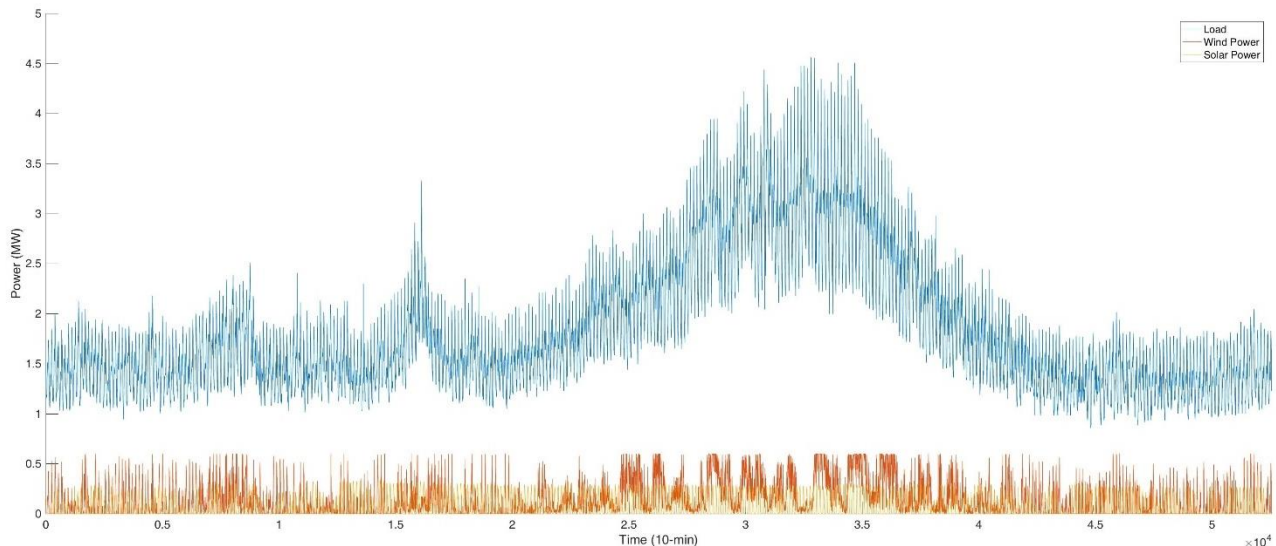


Τεχνοοικονομική βελτιστοποίηση συστήματος συσσωρευτών για αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας  
Αιολικού Σταθμού σε ΜΔΝ



Σχήμα 6-26 Ετήσια Χρονοσειρά Ορίου Διείσδυσης και Αιολικής Ισχύος με και χωρίς Περιορισμούς Πολιτικής 2 για  $P_b/P_w = 0.25$

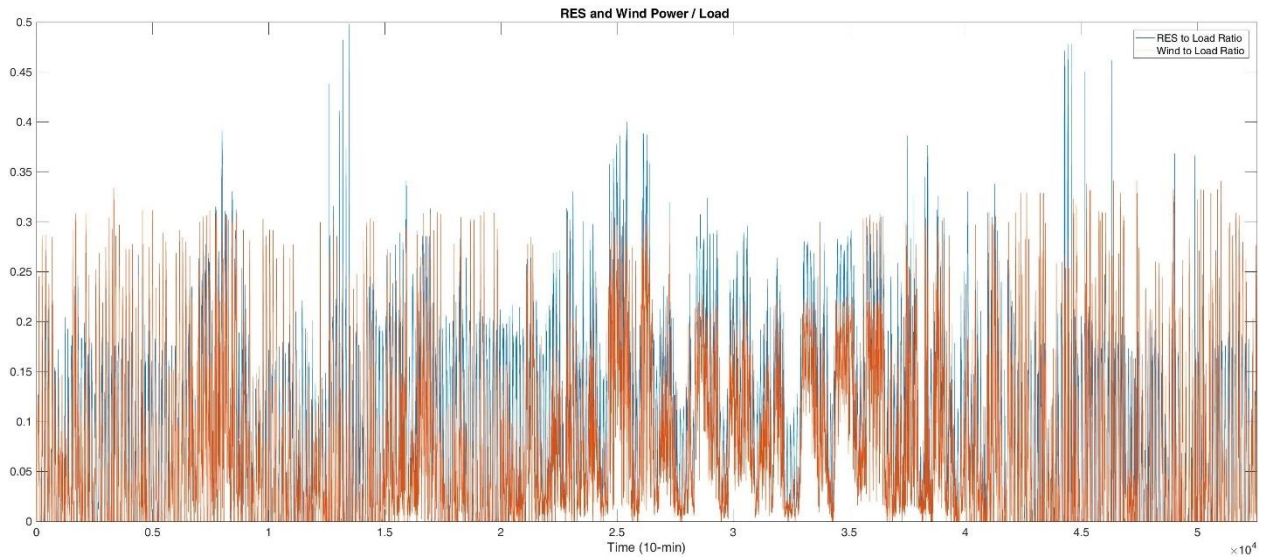
Στο επόμενο διάγραμμα απεικονίζεται η ισχύς που προέρχεται από ΑΠΕ σε σχέση με φορτίο (μπλε), δηλαδή τον αιολικό σταθμό (πορτοκαλί) και τα φωτοβολταϊκά (κίτρινο).



Σχήμα 6-27 Ετήσια Χρονοσειρά Φορτίου προς Αιολική και Φωτοβολταϊκή Παραγωγή Πολιτικής 2 για  $P_b/P_w = 0.25$

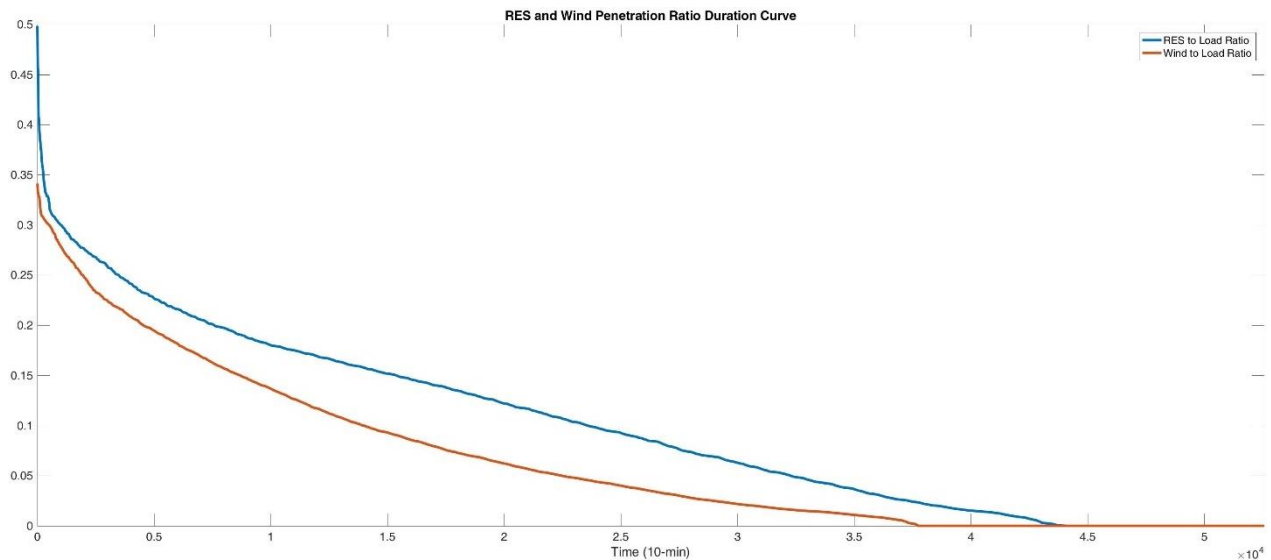
Προφανώς οι στιγμές που ο σταθμός υπόκειται σε περικοπές φορτίου, αλλά και η καμπύλη διάρκειας του διαθέσιμου περιθωρίου διείσδυσης παραμένουν ίδιες με την περίπτωση που δεν έχουμε αποθήκευση, καθώς η ισχύς του σταθμού δεν αλλάζει μετά την προσθήκη της αποθήκευσης, αλλά και ο Διαχειριστής συνεχίζει να αντιμετωπίζει τον Σταθμό όπως όταν δεν είχε αποθήκευση.

Επίσης, στο επόμενο διάγραμμα παρουσιάζεται το ποσοστό διείσδυσης των ΑΠΕ (μπλε γραμμή) και του αιολικού πάρκου (πορτοκαλί γραμμή) στη διάρκεια του έτους.



Σχήμα 6-28 Ετήσια Χρονοσειρά Ποσοστού Διείσδυσης Αιολικής Παραγωγής και ΑΠΕ Πολιτικής 2 για  $P_b/P_w = 0.25$

Ενδιαφέρον έχει και η καμπύλη διάρκειας του ποσοστού διείσδυσης, τόσο του αιολικού (πορτοκαλί γραμμή) όσο και όλων των ΑΠΕ (μπλε γραμμή), όπως απεικονίζεται στο επόμενο σχήμα.



Σχήμα 6-29 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Ποσοστού Διείσδυσης Αιολικής Παραγωγής και ΑΠΕ Πολιτικής 2 για  $P_b/P_w = 0.25$

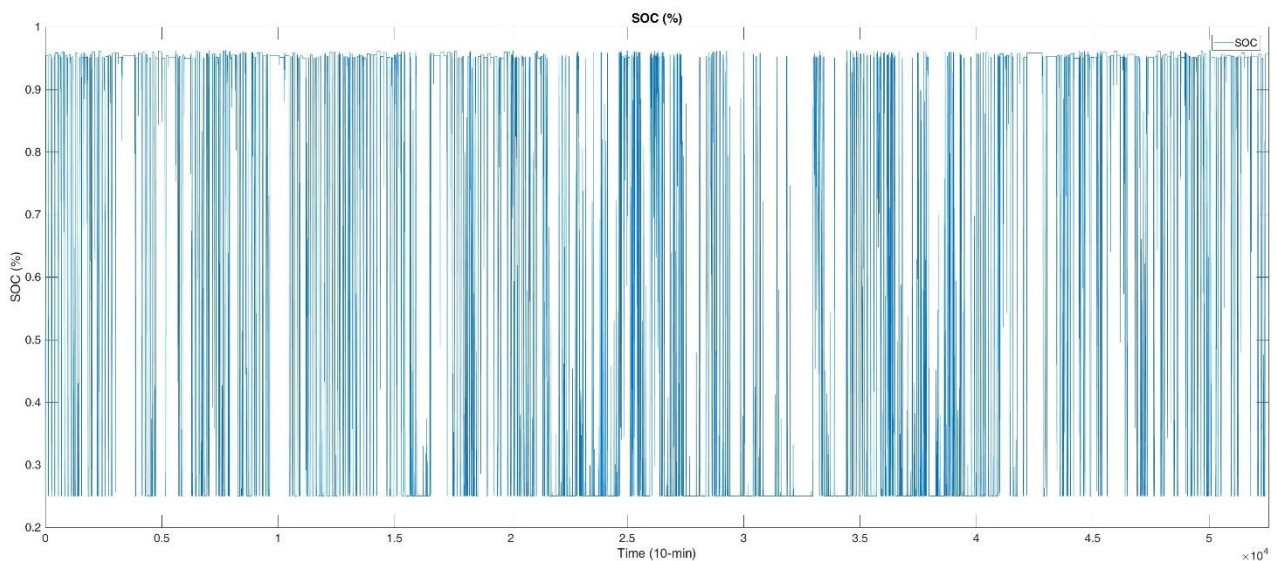
Μερικές χρήσιμες τιμές που μπορούν να εξαχθούν καταγράφονται στον επόμενο πίνακα:

	Ελάχιστο (%)	Μέγιστο (%)	Μέσο (%)
Παραγωγή Σταθμού προς φορτίο	0	34,13	6,6
Συνολική παραγωγή ΑΠΕ προς φορτίο	0	49,85	9,9

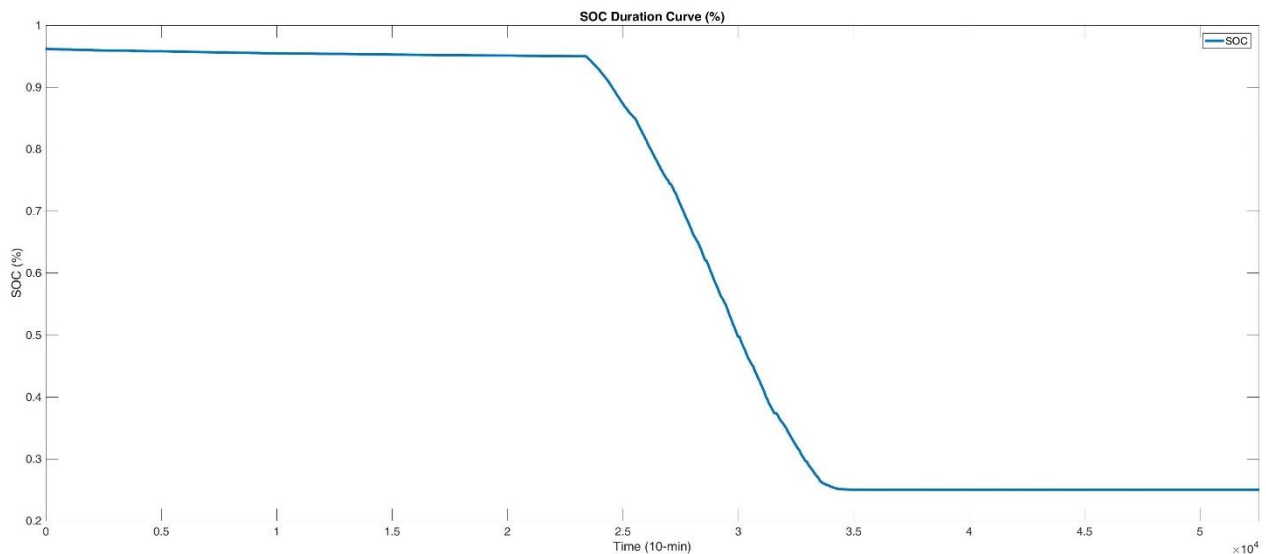
Πίνακας 6-28 Τιμές από Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Ποσοστού Διείσδυσης Αιολικής Παραγωγής και ΑΠΕ Πολιτικής 2 για  $P_b/P_w = 0.25$

Παρατηρούμε ότι η διείσδυση ΑΠΕ ανεβαίνει, έστω και λίγο, σε σχέση με την απουσία αποθήκευσης.

Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν στοιχεία που αφορούν στη λειτουργία των συσσωρευτών. Στο επόμενο διάγραμμα παρουσιάζεται η στάθμη φόρτισης στη διάρκεια του έτους και αμέσως μετά η ετήσια καμπύλη διάρκειας της στάθμης φόρτισης.



Σχήμα 6-30 Ετήσια Χρονοσειρά Στάθμης Φόρτισης Συσσωρευτών Πολιτικής 2 για  $P_b/P_w = 0.25$



Σχήμα 6-31 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Στάθμης Φόρτισης Συσσωρευτών Πολιτικής 2 για  $Pb/Pw = 0.25$

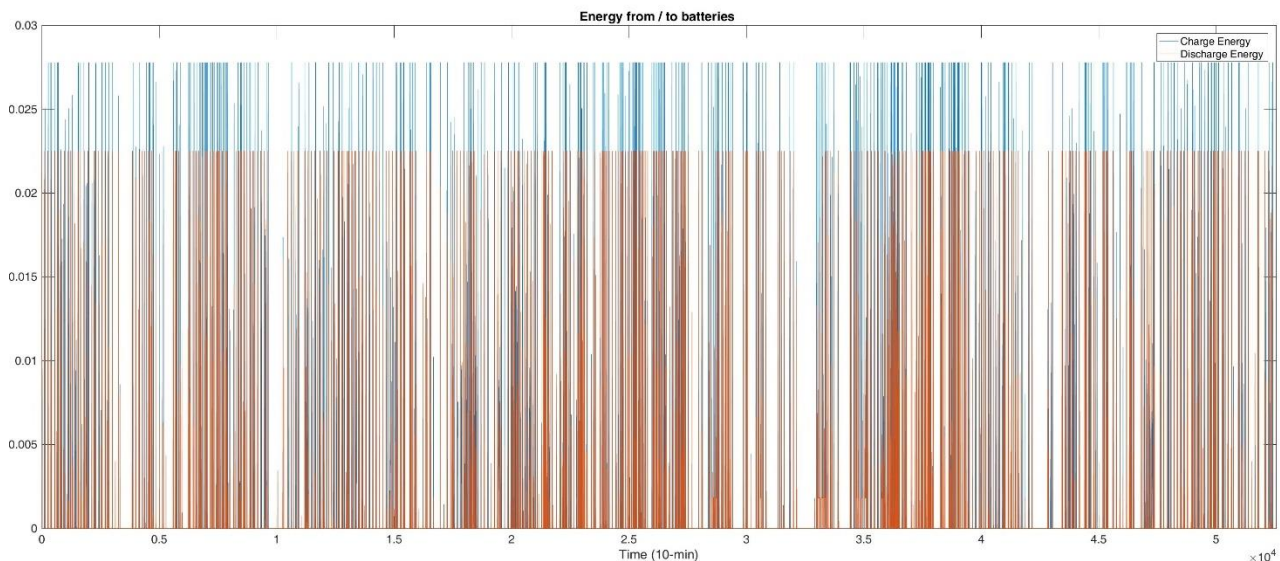
Εξαιρετικό ενδιαφέρον παρουσιάζει η καμπύλη διάρκειας της στάθμης φόρτισης. Από την ανάλυσή της προκύπτουν οι παρακάτω τιμές:

	Πλήθος 10-min
Μέγιστη Στάθμη Φόρτισης	23409 (44.54%)
Ελάχιστη Στάθμη Φόρτισης	12548 (23.87%)
Ενδιάμεση Στάθμη Φόρτισης	16603 (31,59%)

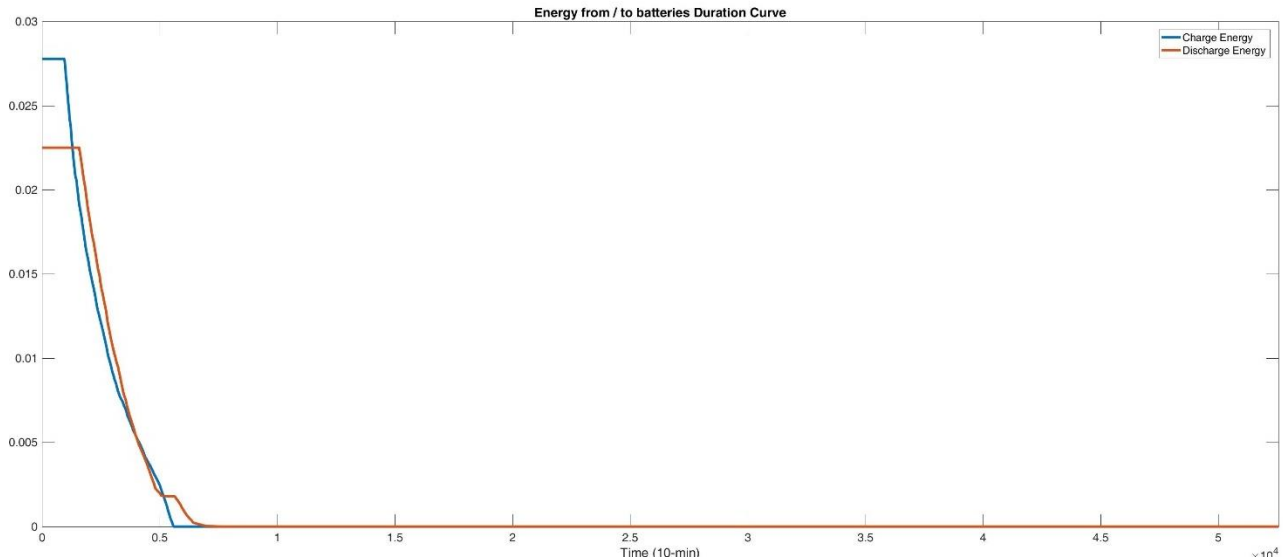
Πίνακας 6-29 Τιμές από Ετήσια Χρονοσειρά Στάθμης Φόρτισης Συσσωρευτών Πολιτικής 2 για  $Pb/Pw = 0.25$

Η μέση στάθμη φόρτισης των συσσωρευτών είναι ίση με 63,51%. Επίσης, παρατηρούμε ότι οι συσσωρευτές χρησιμοποιούνται ενεργά μόνο κατά τη διάρκεια του 1/3 του έτους. Τις υπόλοιπες ώρες είναι είτε πλήρως φορτισμένοι, άρα δεν μπορούν να αποθηκεύσουν επιπλέον ενέργεια, είτε είναι εκφορτισμένοι, άρα δεν μπορούν να αποδώσουν ενέργεια. Η λύση σε αυτό θα ήταν να αυξήσουμε τη χωρητικότητά τους, αλλά αυτό όπως αναδείξαμε θα προκαλούσε σημαντική μείωση στην οικονομική επένδυση του έργου, άρα δεν θα ήταν ελκυστική για κάποιον επενδυτή.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι ετήσιες χρονοσειρές φόρτισης και εκφόρτισης των συσσωρευτών καθώς και οι καμπύλες διάρκειας των ίδιων μεγεθών στη διάρκεια του έτους.



Σχήμα 6-32 Ετήσια Χρονοσειρά Ροής Ενέργειας Συσσωρευτών Πολιτικής 2 για  $Pb/Pw = 0.25$



Σχήμα 6-33 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Ροής Ενέργειας Συσσωρευτών Πολιτικής 2 για  $Pb/Pw = 0.25$

Το γεγονός ότι η καμπύλη φόρτισης είναι πάνω από την καμπύλη εκφόρτισης οφείλεται τους απώλειες φόρτισης και εκφόρτισης οι οποίες συνεπάγονται απόδοση κύκλου ίση με 81%.

Είναι προφανές ξανά ότι ο συντελεστής χρησιμοποίησης των συσσωρευτών είναι αρκετά μικρός και αυτό οφείλεται στην μικρή τους χωρητικότητα.

Τέλος, στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται οι περιορισμοί που επιβάλλονται στη φόρτιση ή την εκφόρτιση των συσσωρευτών σε κάθε 10λεπτο.

		<b>10 – min</b>	<b>Ποσοστό Χρόνου</b>
<b>Εκφόρτιση</b>	Κανένας περιορισμός	2566	10,65%
	Περιορισμός Χωρητικότητας	6508	27%
	Περιορισμός Ισχύος Συσσωρευτών	1577	6,54%
	Περιορισμός Ισχύος Σταθμού	1226	5,09%
	Εκφορτισμένοι Συσσωρευτές	12223	50.72%
	<b>Σύνολο</b>	<b>24100</b>	<b>100%</b>
<b>Φόρτιση</b>	Κανένας περιορισμός	4058	14,39%
	Περιορισμός Χωρητικότητας	576	2,04%
	Περιορισμός Ισχύος Συσσωρευτών	956	3,39%

Φορτισμένοι Συσσωρευτές	22614	80,18%
<b>Σύνολο</b>	<b>28204</b>	<b>100%</b>

Πίνακας 6-30 Ορια Ενεργειακής Συναλλαγής Συσσωρευτών Πολιτικής 2 για  $Pb/Pw = 0.25$

Είναι εντυπωσιακό ότι το 80% των στιγμών που θα μπορούσε να αποθηκευτεί ενέργεια στους συσσωρευτές, αυτοί είναι ήδη πλήρεις, ενώ το 50% των στιγμών που θα μπορούσαμε να εγχυθεί ενέργεια από τους συσσωρευτές προς το Δίκτυο, αυτοί είναι στο χαμηλότερο επιτρεπτό επίπεδο φόρτισης. Το συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι σίγουρα θα πρέπει να εξετάσουμε λύσεις με μεγαλύτερη χωρητικότητα ώστε να δούμε πώς πραγματικά συμπεριφέρονται οι συσσωρευτές χωρίς τόσο έντονους περιορισμούς.

### 6.2.3 Ανεμογεννήτρια 600 kW – Συσσωρευτές 300 kW / 450 kWh

Εγχεόμενη ενέργεια από την ανεμογεννήτρια (MWh)	1115,31
Εγχεόμενη ενέργεια από συσσωρευτές (MWh)	112,66
Συνολικά εγχεόμενη ενέργεια (MWh)	1227,97 (7,67% του φορτίου)
Απορριπτόμενη ενέργεια (MWh)	1096.17
ΑΩΛ Σταθμού (ώρες)	2046.62 (51.31% των ΣΑΩΛ)
Συντελεστής Χρησιμοποίησης Σταθμού (%)	23,36
Απορριπτόμενη / Δυνητικά Παραγόμενη Ενέργεια (%)	57
Συνολική Παραγωγή ΑΠΕ (MWh)	1763,45 (11,01% του φορτίου)
Συνολικό κόστος (€)	1185000
IRR για 100% ίδια κεφάλαια (%)	1.83

Πίνακας 6-31 Αποτελέσματα Πολιτικής 2 για  $Pb/Pw = 0.5$

Στον επόμενο πίνακα απεικονίζονται οι χρηματοροές του έργου για μια περίοδο 20-ετίας.

Τεχνοοικονομική βελτιστοποίηση συστήματος συσσωρευτών για αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας  
Αιολικού Σταθμού σε ΜΔΝ

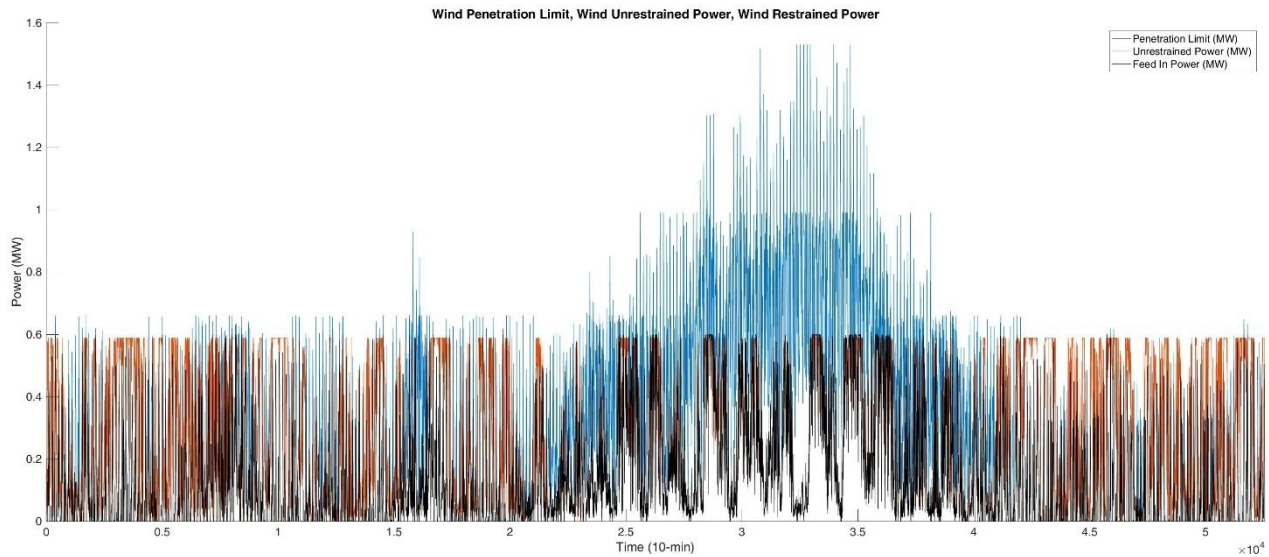
Έτος	Παραγόμενη ενέργεια (kWh)	Τιμή πώλησης (€ / kWh)	Έσοδα (€)	Δόση Δανείου (€)	Συντήρηση (€) (1% κόστους)	Λειτουργικά (€) (1% κόστους)	Repowering (€)	Φόρος (€)	Κέρδη (€)
0	0,00	100,00	-1185000,00						-1185000,00
1	1227,97	100,00	122797,00	0,00	11850,00	11850,00	0,00	24774,25	74322,75
2	1227,97	100,80	123779,38	0,00	12205,50	12205,50	0,00	24842,09	74526,28
3	1227,97	101,61	124769,61	0,00	12571,67	12571,67	0,00	24906,57	74719,71
4	1227,97	102,42	125767,77	0,00	12948,81	12948,81	0,00	24967,53	74902,60
5	1227,97	103,24	126773,91	0,00	13337,28	13337,28	0,00	25024,84	75074,51
6	1227,97	104,06	127788,10	0,00	13737,40	13737,40	0,00	25078,33	75234,98
7	1227,97	104,90	128810,41	0,00	14149,52	14149,52	0,00	25127,84	75383,53
8	1227,97	105,74	129840,89	0,00	14574,01	14574,01	0,00	25173,22	75519,66
9	1227,97	106,58	130879,62	0,00	15011,23	15011,23	0,00	25214,29	75642,87
10	1227,97	107,43	131926,65	0,00	15461,56	15461,56	112500,00	-2874,12	-8622,35
11	1227,97	108,29	132982,07	0,00	15925,41	15925,41	0,00	25282,81	75848,44
12	1227,97	109,16	134045,92	0,00	16403,17	16403,17	0,00	25309,90	75929,69
13	1227,97	110,03	135118,29	0,00	16895,27	16895,27	0,00	25331,94	75995,82
14	1227,97	110,91	136199,24	0,00	17402,12	17402,12	0,00	25348,75	76046,24
15	1227,97	111,80	137288,83	0,00	17924,19	17924,19	0,00	25360,11	76080,34
16	1227,97	112,70	138387,14	0,00	18461,91	18461,91	0,00	25365,83	76097,49
17	1227,97	113,60	139494,24	0,00	19015,77	19015,77	0,00	25365,67	76097,02
18	1227,97	114,51	140610,19	0,00	19586,24	19586,24	0,00	25359,43	76078,28
19	1227,97	115,42	141735,07	0,00	20173,83	20173,83	0,00	25346,85	76040,56
20	1227,97	116,35	142868,95	0,00	20779,05	20779,05	0,00	25327,72	75983,15
		<b>Σύνολο</b>	<b>2651863,28</b>	<b>0,00</b>	<b>318413,94</b>	<b>318413,94</b>	<b>112500,00</b>	<b>475633,85</b>	<b>1426901,55</b>
<b>Επιτόκιο αναγωγής</b>	<b>NPV</b>	<b>Συνολικό κόστος (€)</b>			<b>Ίδια κεφάλαια (€)</b>	<b>Δάνειο (€)</b>	<b>IRR</b>		
<b>0,07</b>	<b>-401.496,41 €</b>	<b>1185000</b>			<b>1185000,00</b>	<b>0,00</b>	<b>1,83%</b>		

Πίνακας 6-32 Χρηματορρέες Πολιτικής 2 για  $Pb/Pw = 0.5$

Σημαντικό στοιχείο είναι ότι παρότι έχουμε θετικό IRR, η καθαρή παρούσα αξία είναι αρνητική αφού το IRR είναι μικρότερο από το επιτόκιο αναγωγής. Αυτό δείχνει ότι σε ένα περιβάλλον με επενδυτικό ρίσκο η επένδυση δεν είναι ελκυστική.

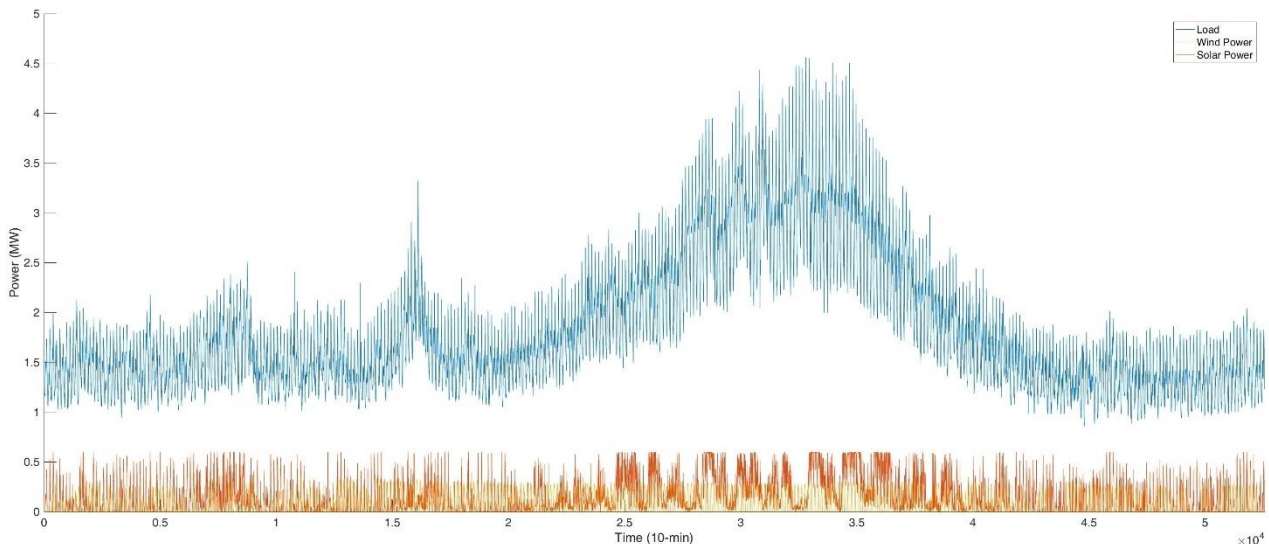
Στο επόμενο διάγραμμα παρουσιάζονται σε παράθεση το όριο διείσδυσης που προσφέρεται στον Σταθμό(μπλε), η παραγωγή που θα είχε χωρίς περιορισμούς διείσδυσης (πορτοκαλί) και η παραγωγή έπειτα από την εφαρμογή των περιορισμών διείσδυσης (μαύρο).

Τεχνοοικονομική βελτιστοποίηση συστήματος συσσωρευτών για αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας  
Αιολικού Σταθμού σε ΜΔΝ



Σχήμα 6-34 Ετήσια Χρονοσειρά Ορίου Διείσδυσης και Αιολικής Ισχύος με και χωρίς Περιορισμούς Πολιτικής 2 για  $P_b/P_w = 0.5$

Στο επόμενο διάγραμμα απεικονίζεται η ισχύς που προέρχεται από ΑΠΕ σε σχέση με φορτίο (μπλε), δηλαδή τον αιολικό σταθμό (πορτοκαλί) και τα φωτοβολταϊκά (κίτρινο).

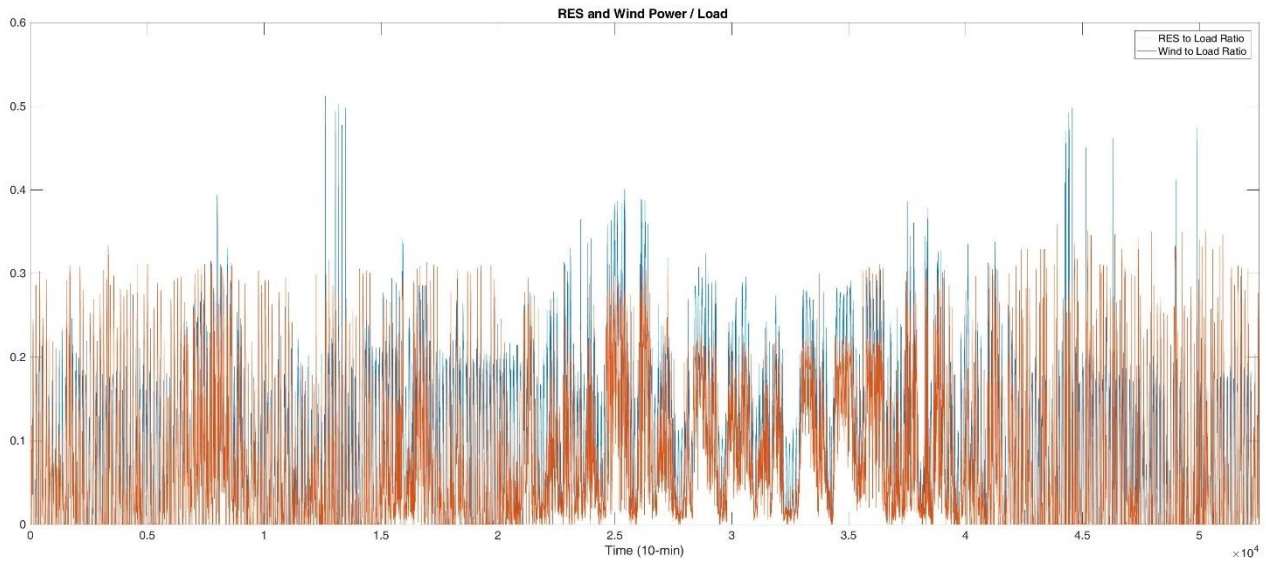


Σχήμα 6-35 Ετήσια Χρονοσειρά Φορτίου προς Αιολική και Φωτοβολταϊκή Παραγωγή Πολιτικής 2 για  $P_b/P_w = 0.5$

Προφανώς οι στιγμές που ο σταθμός υπόκειται σε περικοπές φορτίου, αλλά και η καμπύλη διάρκειας του διαθέσιμου περιθωρίου διείσδυσης παραμένουν ίδιες με την περίπτωση που δεν έχουμε αποθήκευση, καθώς η ισχύς του σταθμού δεν αλλάζει μετά την προσθήκη της αποθήκευσης, αλλά και ο Διαχειριστής συνεχίζει να αντιμετωπίζει τον Σταθμό όπως όταν δεν είχε αποθήκευση.

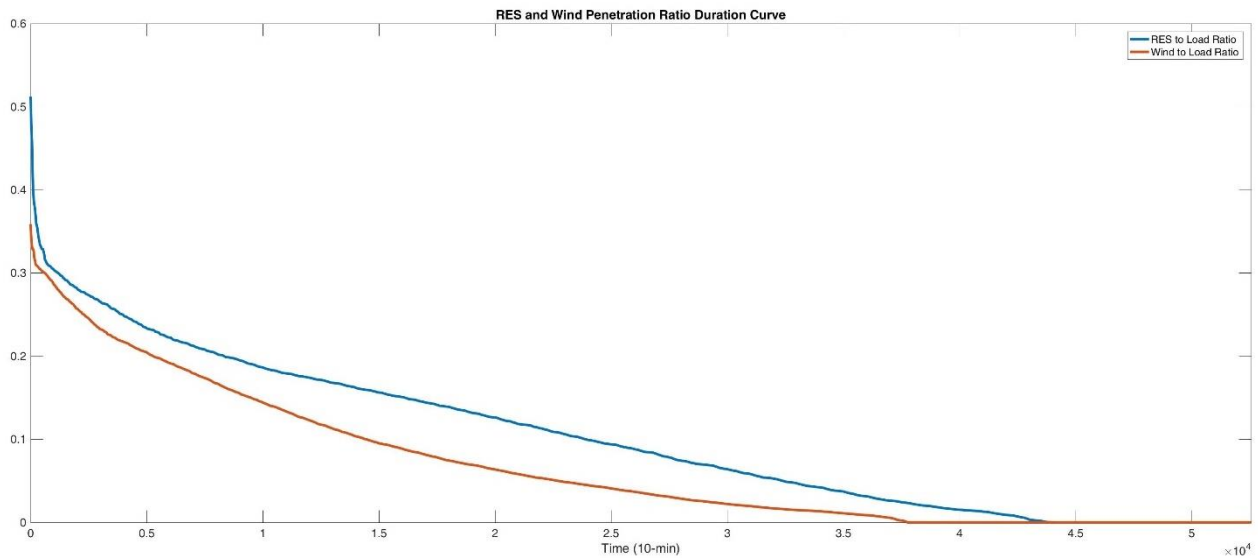


Επίσης, στο επόμενο διάγραμμα παρουσιάζεται το ποσοστό διείσδυσης των ΑΠΕ (μπλε γραμμή) και του αιολικού πάρκου (πορτοκαλί γραμμή) στη διάρκεια του έτους.



Σχήμα 6-36 Ετήσια Χρονοσειρά Ποσοστού Διείσδυσης Αιολικής Παραγωγής και ΑΠΕ Πολιτικής 2 για  $P_b/P_w = 0.5$

Ενδιαφέρον έχει και η καμπύλη διάρκειας του ποσοστού διείσδυσης, τόσο του αιολικού (πορτοκαλί γραμμή) όσο και όλων των ΑΠΕ (μπλε γραμμή), όπως απεικονίζεται στο επόμενο σχήμα.



Σχήμα 6-37 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Ποσοστού Διείσδυσης Αιολικής Παραγωγής και ΑΠΕ Πολιτικής 2 για  $P_b/P_w = 0.5$

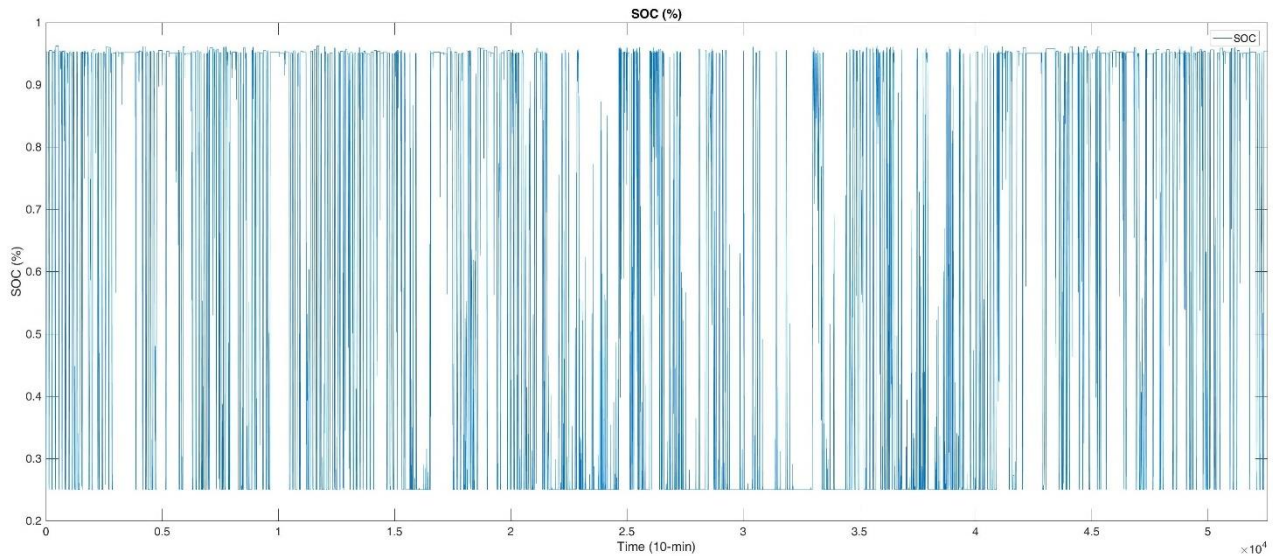
Μερικές χρήσιμες τιμές που μπορούν να εξαχθούν καταγράφονται στον επόμενο πίνακα:

	Ελάχιστο (%)	Μέγιστο (%)	Μέσο (%)
Παραγωγή Σταθμού προς φορτίο	0	35,87	6,9
Συνολική παραγωγή ΑΠΕ προς φορτίο	0	51,22	10,19

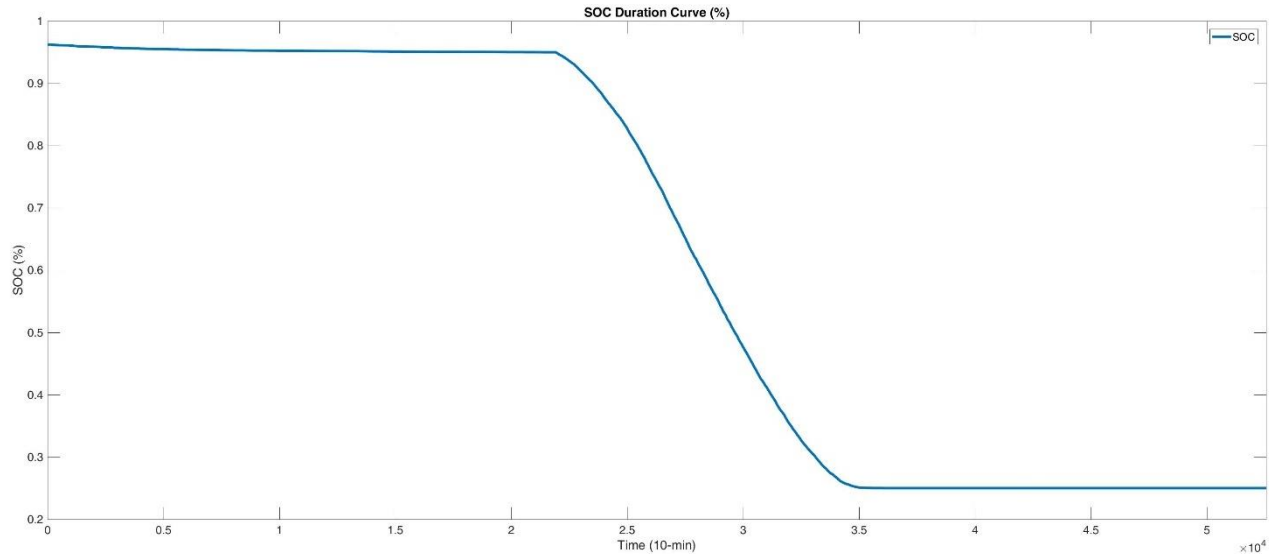
Πίνακας 6-33 Τιμές από Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Ποσοστού Διείσδυσης Αιολικής Παραγωγής και ΑΠΕ Πολιτικής 2 για  $P_b/P_w = 0.5$

Παρατηρούμε ότι η διείσδυση ΑΠΕ ανεβαίνει, έστω και λίγο, σε σχέση με την απουσία αποθήκευσης.

Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν στοιχεία που αφορούν στη λειτουργία των συσσωρευτών. Στο επόμενο διάγραμμα παρουσιάζεται η στάθμη φόρτισης στη διάρκεια του έτους και αμέσως μετά η ετήσια καμπύλη διάρκειας της στάθμης φόρτισης.



Σχήμα 6-38 Ετήσια Χρονοσειρά Στάθμης Φόρτισης Συσσωρευτών Πολιτικής 2 για  $P_b/P_w = 0.5$



Σχήμα 6-39 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Στάθμης Φόρτισης Συσσωρευτών Πολιτικής 2 για  $P_b/P_w = 0.5$

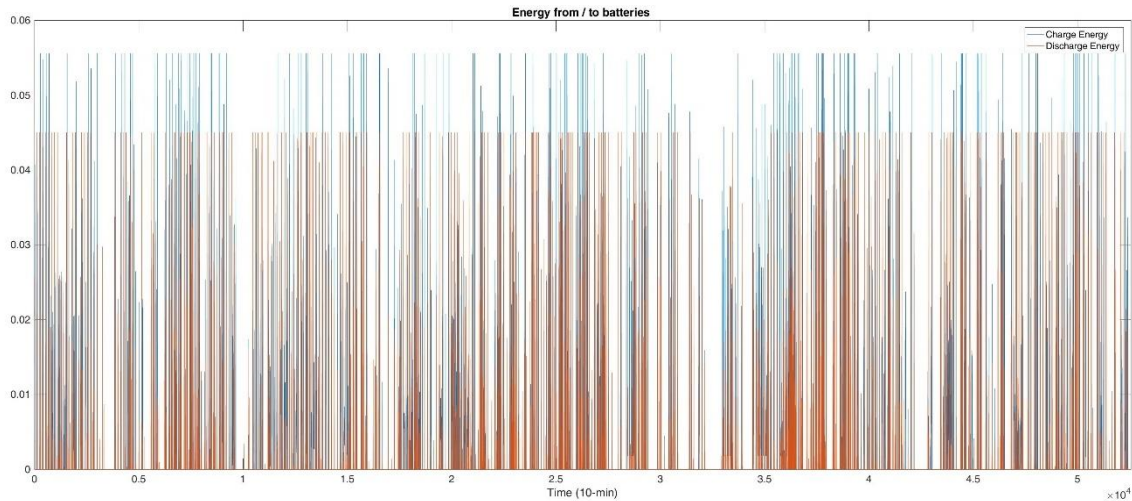
Εξαιρετικό ενδιαφέρον παρουσιάζει η καμπύλη διάρκειας της στάθμης φόρτισης. Από την ανάλυσή της προκύπτουν οι παρακάτω τιμές:

Πλήθος 10-min	
Μέγιστη Στάθμη Φόρτισης	21919 (41,7%)
Ελάχιστη Στάθμη Φόρτισης	12229 (23,27%)
Ενδιάμεση Στάθμη Φόρτισης	18412 (35,03%)

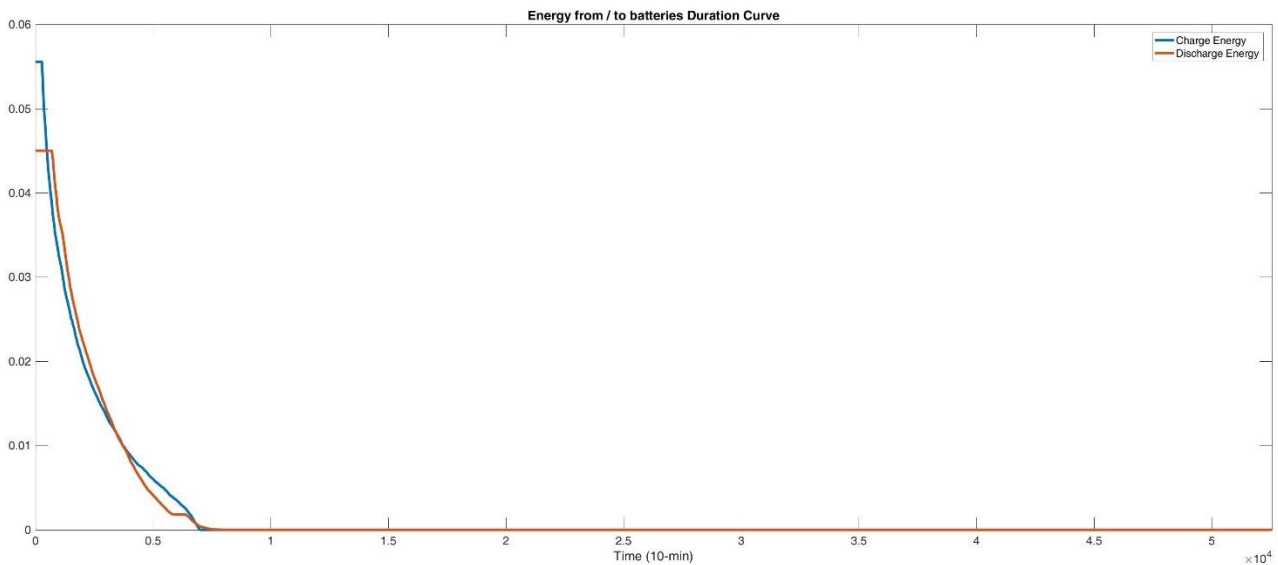
Πίνακας 6-34 Τιμές από Ετήσια Χρονοσειρά Στάθμης Φόρτισης Συσσωρευτών Πολιτικής 2 για  $P_b/P_w = 0.5$

Η μέση στάθμη φόρτισης των συσσωρευτών είναι ίση με 62,8%. Επίσης, παρατηρούμε ότι οι συσσωρευτές συνεχίζουν να χρησιμοποιούνται ενεργά μόνο κατά τη διάρκεια του 1/3 του έτους. Τις υπόλοιπες ώρες είναι είτε πλήρως φορτισμένοι, άρα δεν μπορούν να αποθηκεύσουν επιπλέον ενέργεια, είτε είναι εκφορτισμένοι, άρα δεν μπορούν να αποδώσουν ενέργεια. Η λύση σε αυτό θα ήταν να αυξήσουμε τη χωρητικότητά τους, αλλά αυτό όπως αναδείξαμε θα προκαλούσε σημαντική μείωση στην οικονομική επένδυση του έργου, άρα δεν θα ήταν ελκυστική για κάποιον επενδυτή.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι ετήσιες χρονοσειρές φόρτισης και εκφόρτισης των συσσωρευτών καθώς και οι καμπύλες διάρκειας των ίδιων μεγεθών στη διάρκεια του έτους.



Σχήμα 6-40 Ετήσια Χρονοσειρά Ροής Ενέργειας Συσσωρευτών Πολιτικής 2 για  $Pb/Pw = 0.5$



Σχήμα 6-41 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Ροής Ενέργειας Συσσωρευτών Πολιτικής 2 για  $Pb/Pw = 0.5$

Το γεγονός ότι η καμπύλη φόρτισης είναι πάνω από την καμπύλη εκφόρτισης οφείλεται στις απώλειες φόρτισης και εκφόρτισης οι οποίες συνεπάγονται απόδοση κύκλου ίση με 81%.

Είναι προφανές ξανά ότι ο συντελεστής χρησιμοποίησης των συσσωρευτών είναι αρκετά μικρός και αυτό οφείλεται στην μικρή τους χωρητικότητα.

Τέλος, στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται οι περιορισμοί που επιβάλλονται στη φόρτιση ή την εκφόρτιση των συσσωρευτών σε κάθε 10λεπτο.

		10 – min	Ποσοστό Χρόνου
☒	Κανένας περιορισμός	3738	15,51%

	Περιορισμός Χωρητικότητας	6095	25,29%
	Περιορισμός Ισχύος Συσσωρευτών	699	2,9%
	Περιορισμός Ισχύος Σταθμού	1657	6,88%
	Εκφορτισμένοι Συσσωρευτές	11911	49,42%
	<b>Σύνολο</b>	<b>24100</b>	<b>100%</b>
<b>Φόρτιση</b>	Κανένας περιορισμός	62,19	22,05%
	Περιορισμός Χωρητικότητας	508	1,8%
	Περιορισμός Ισχύος Συσσωρευτών	270	0,96%
	Φορτισμένοι Συσσωρευτές	21207	75,19%
	<b>Σύνολο</b>	<b>28204</b>	<b>100%</b>

Πίνακας 6-35 Όρια Ενεργειακής Συναλλαγής Συσσωρευτών Πολιτικής 2 για  $P_b/P_w = 0.5$

Είναι εντυπωσιακό ότι το 75% των στιγμών που θα μπορούσε να αποθηκευτεί ενέργεια στους συσσωρευτές, αυτοί είναι ήδη πλήρεις, ενώ το 50% των στιγμών που θα μπορούσαμε να εγχυθεί ενέργεια από τους συσσωρευτές προς το Δίκτυο, αυτοί είναι στο χαμηλότερο επιτρεπτό επίπεδο φόρτισης. Το συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι σίγουρα θα πρέπει να εξετάσουμε λύσεις με μεγαλύτερη χωρητικότητα ώστε να δούμε πώς πραγματικά συμπεριφέρονται οι συσσωρευτές χωρίς τόσο έντονους περιορισμούς.

#### 6.2.4 Ανεμογεννήτρια 600 kW – Συσσωρευτές 450 kW / 675 kWh

<b>Εγχεόμενη ενέργεια από την ανεμογεννήτρια (MWh)</b>	1115,31
<b>Εγχεόμενη ενέργεια από συσσωρευτές (MWh)</b>	142,79
<b>Συνολικά εγχεόμενη ενέργεια (MWh)</b>	1258,11 (7.86% του φορτίου)
<b>Απορριπτόμενη ενέργεια (MWh)</b>	1065,93
<b>ΑΩΛ Σταθμού (ώρες)</b>	2096.84 (52.57% των ΣΑΩΛ)
<b>Συντελεστής Χρησιμοποίησης Σταθμού (%)</b>	23,94
<b>Απορριπτόμενη / Δυνητικά Παραγόμενη Ενέργεια (%)</b>	46
<b>Συνολική Παραγωγή ΑΠΕ (MWh)</b>	1793.58 (11.2% του φορτίου)
<b>Συνολικό κόστος (€)</b>	1357500
<b>IRR για 100% ίδια κεφάλαια (%)</b>	0,05

Πίνακας 6-36 Αποτελέσματα Πολιτικής 2 για  $P_b/P_w = 0.75$

Στον επόμενο πίνακα απεικονίζονται οι χρηματοροές του έργου για μια περίοδο 20-ετίας.

Τεχνοοικονομική βελτιστοποίηση συστήματος συσσωρευτών για αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας  
Αιολικού Σταθμού σε ΜΔΝ

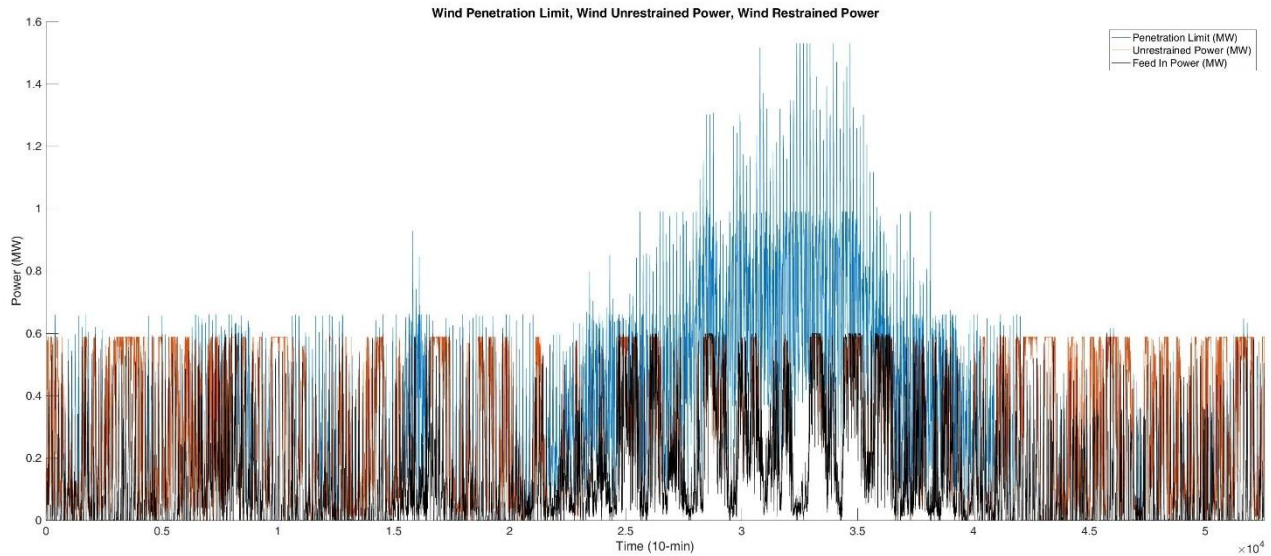
Έτος	Παραγόμενη ενέργεια (kWh)	Τιμή πώλησης (€ / kWh)	Έσοδα (€)	Δόση Δανείου (€)	Συντήρηση (€) (1% κόστους)	Λειτουργικά (€) (1% κόστους)	Repowering (€)	Φόρος (€)	Κέρδη (€)
0	0,00	100,00	-1357500,00						-1357500,00
1	1258,11	100,00	125811,00	0,00	13575,00	13575,00	0,00	24665,25	73995,75
2	1258,11	100,80	126817,49	0,00	13982,25	13982,25	0,00	24713,25	74139,74
3	1258,11	101,61	127832,03	0,00	14401,72	14401,72	0,00	24757,15	74271,44
4	1258,11	102,42	128854,68	0,00	14833,77	14833,77	0,00	24796,79	74390,36
5	1258,11	103,24	129885,52	0,00	15278,78	15278,78	0,00	24831,99	74495,97
6	1258,11	104,06	130924,61	0,00	15737,15	15737,15	0,00	24862,58	74587,74
7	1258,11	104,90	131972,00	0,00	16209,26	16209,26	0,00	24888,37	74665,11
8	1258,11	105,74	133027,78	0,00	16695,54	16695,54	0,00	24909,18	74727,53
9	1258,11	106,58	134092,00	0,00	17196,40	17196,40	0,00	24924,80	74774,39
10	1258,11	107,43	135164,74	0,00	17712,30	17712,30	168750,00	-17252,46	-51757,39
11	1258,11	108,29	136246,05	0,00	18243,66	18243,66	0,00	24939,68	74819,04
12	1258,11	109,16	137336,02	0,00	18790,97	18790,97	0,00	24938,52	74815,56
13	1258,11	110,03	138434,71	0,00	19354,70	19354,70	0,00	24931,33	74793,98
14	1258,11	110,91	139542,19	0,00	19935,35	19935,35	0,00	24917,87	74753,62
15	1258,11	111,80	140658,53	0,00	20533,41	20533,41	0,00	24897,93	74693,79
16	1258,11	112,70	141783,79	0,00	21149,41	21149,41	0,00	24871,24	74613,73
17	1258,11	113,60	142918,07	0,00	21783,89	21783,89	0,00	24837,57	74512,71
18	1258,11	114,51	144061,41	0,00	22437,41	22437,41	0,00	24796,65	74389,95
19	1258,11	115,42	145213,90	0,00	23110,53	23110,53	0,00	24748,21	74244,63
20	1258,11	116,35	146375,61	0,00	23803,84	23803,84	0,00	24691,98	74075,94
		<b>Σύνολο</b>	<b>2716952,13</b>	<b>0,00</b>	<b>364765,33</b>	<b>364765,33</b>	<b>168750,00</b>	<b>454667,87</b>	<b>1364003,60</b>
<b>Επιτόκιο αναγωγής</b>	<b>NPV</b>	<b>Συνολικό κόστος (€)</b>			<b>Ίδια κεφάλαια (€)</b>	<b>Δάνειο (€)</b>	<b>IRR</b>		
<b>0,07</b>	<b>-591.245,59 €</b>	<b>1357500</b>			<b>1357500,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,05%</b>		

Πίνακας 6-37 Χρηματοροές Πολιτικής 2 για  $P_b/P_w = 0.75$

Σημαντικό στοιχείο είναι ότι παρότι έχουμε θετικό IRR, η καθαρή παρούσα αξία είναι αρνητική αφού το IRR είναι μικρότερο από το επιτόκιο αναγωγής. Αυτό δείχνει ότι σε ένα περιβάλλον με επενδυτικό ρίσκο η επένδυση δεν είναι ελκυστική.

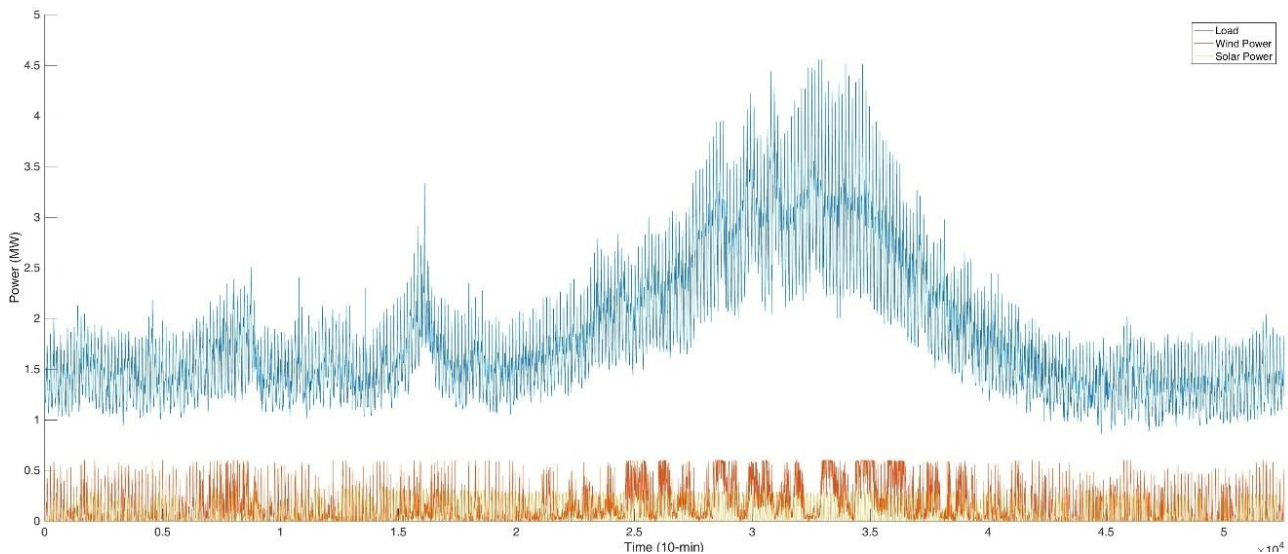
Στο επόμενο διάγραμμα παρουσιάζονται σε παράθεση το όριο διεξόδου που προσφέρεται στον Σταθμό(μπλε), η παραγωγή που θα είχε χωρίς περιορισμούς διεξόδου (πορτοκαλί) και η παραγωγή έπειτα από την εφαρμογή των περιορισμών διεξόδου (μαύρο).

Τεχνοοικονομική βελτιστοποίηση συστήματος συσσωρευτών για αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας  
Αιολικού Σταθμού σε ΜΔΝ



Σχήμα 6-42 Ετήσια Χρονοσειρά Ορίου Διείσδυσης και Αιολικής Ισχύος με και χωρίς Περιορισμούς Πολιτικής 2 για  $P_b/P_w = 0.75$

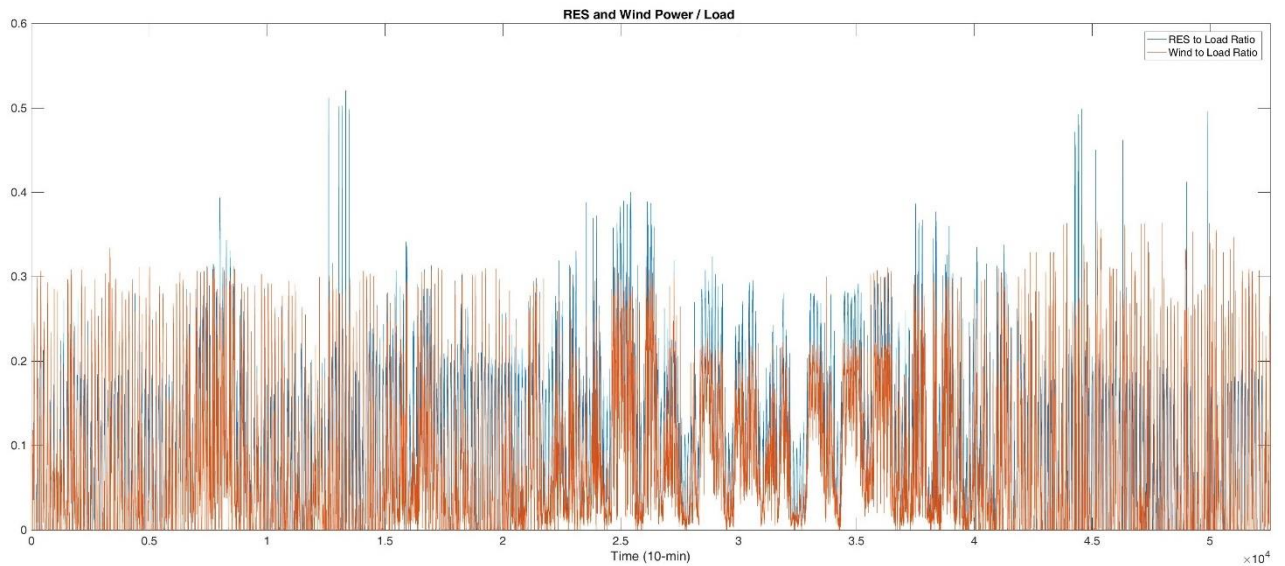
Στο επόμενο διάγραμμα απεικονίζεται η ισχύς που προέρχεται από ΑΠΕ σε σχέση με φορτίο (μπλε), δηλαδή τον αιολικό σταθμό (πορτοκαλί) και τα φωτοβολταϊκά (κίτρινο).



Σχήμα 6-43 Ετήσια Χρονοσειρά Φορτίου προς Αιολική και Φωτοβολταϊκή Παραγωγή Πολιτικής 2 για  $P_b/P_w = 0.75$

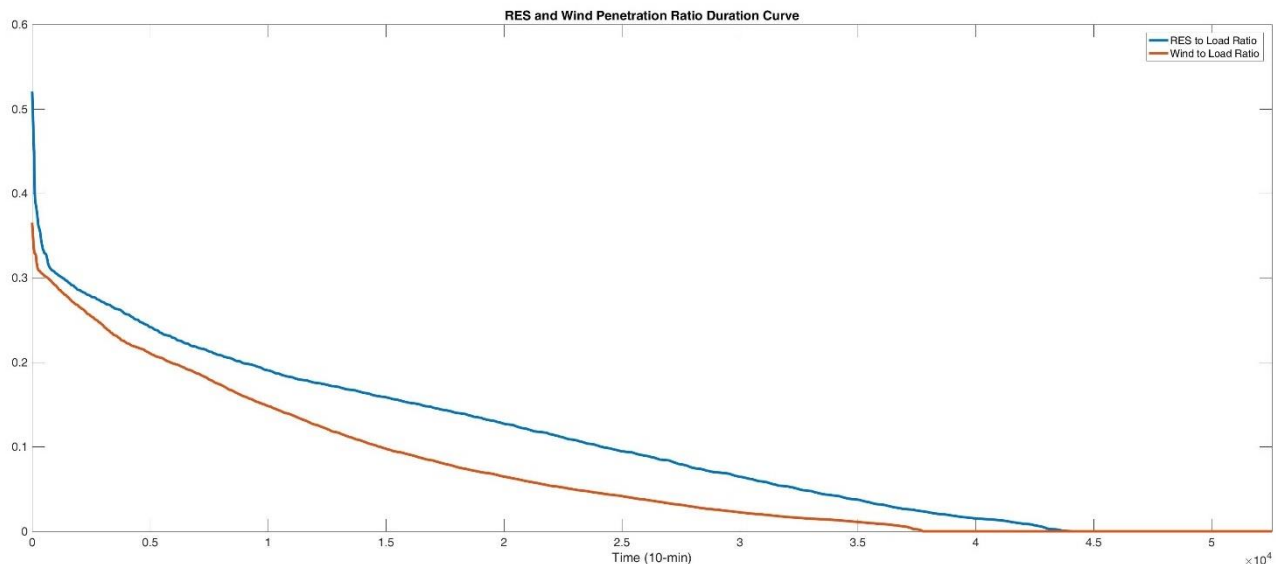
Προφανώς οι στιγμές που ο σταθμός υπόκειται σε περικοπές φορτίου, αλλά και η καμπύλη διάρκειας του διαθέσιμου περιθωρίου διείσδυσης παραμένουν ίδιες με την περίπτωση που δεν έχουμε αποθήκευση, καθώς η ισχύς του σταθμού δεν αλλάζει μετά την προσθήκη της αποθήκευσης, αλλά και ο Διαχειριστής συνεχίζει να αντιμετωπίζει τον Σταθμό όπως όταν δεν είχε αποθήκευση.

Επίσης, στο επόμενο διάγραμμα παρουσιάζεται το ποσοστό διείσδυσης των ΑΠΕ (μπλε γραμμή) και του αιολικού πάρκου (πορτοκαλί γραμμή) στη διάρκεια του έτους.



Σχήμα 6-44 Ετήσια Χρονοσειρά Ποσοστού Διείσδυσης Αιολικής Παραγωγής και ΑΠΕ Πολιτικής 2 για  $P_b/P_w = 0.75$

Ενδιαφέρον έχει και η καμπύλη διάρκειας του ποσοστού διείσδυσης, τόσο του αιολικού (πορτοκαλί γραμμή) όσο και όλων των ΑΠΕ (μπλε γραμμή), όπως απεικονίζεται στο επόμενο σχήμα.



Σχήμα 6-45 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Ποσοστού Διείσδυσης Αιολικής Παραγωγής και ΑΠΕ Πολιτικής 2 για  $P_b/P_w = 0.75$

Μερικές χρήσιμες τιμές που μπορούν να εξαχθούν καταγράφονται στον επόμενο πίνακα:

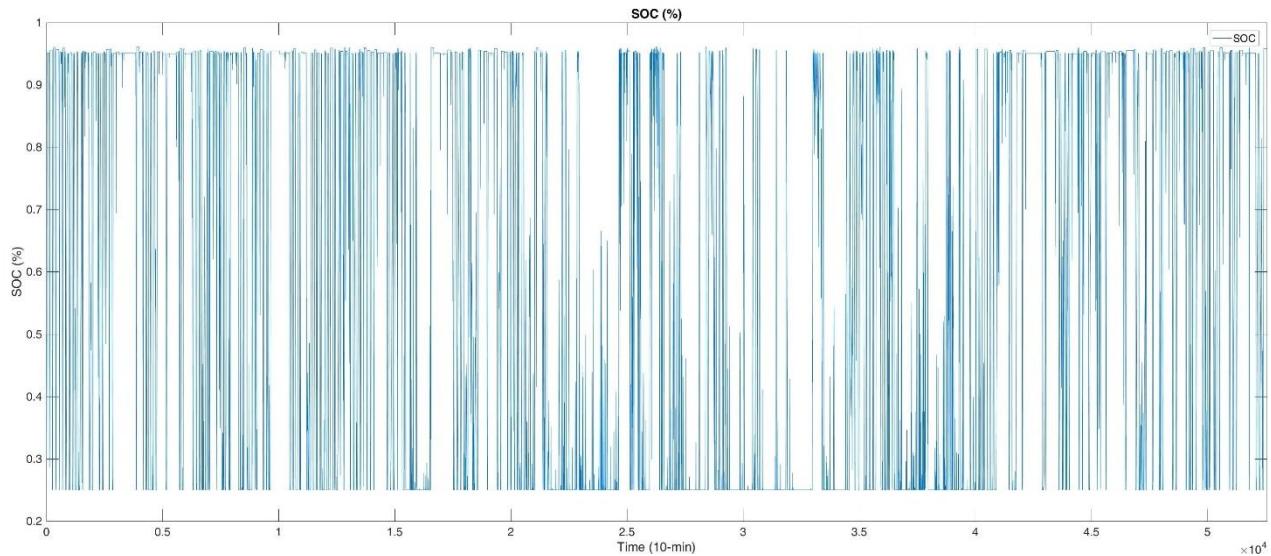


	Ελάχιστο (%)	Μέγιστο (%)	Μέσο (%)
Παραγωγή Σταθμού προς φορτίο	0	36,53	7,1
Συνολική παραγωγή ΑΠΕ προς φορτίο	0	52,06	10,38

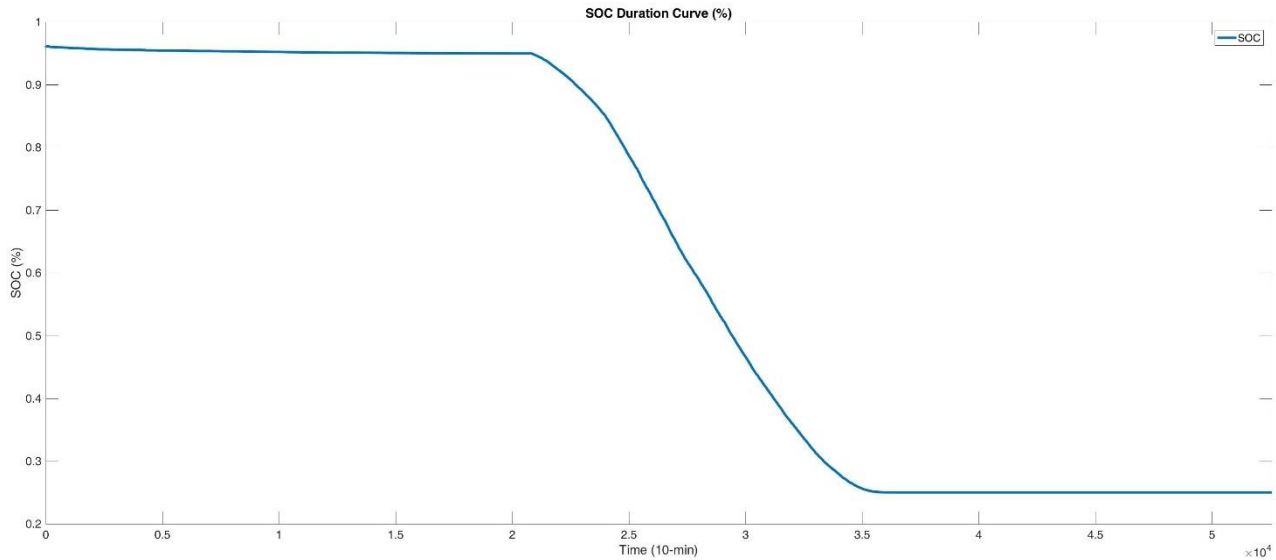
Πίνακας 6-38 Τιμές από Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Ποσοστού Διείσδυσης Αιολικής Παραγωγής και ΑΠΕ Πολιτικής 2 για  $P_b/P_w = 0.75$

Παρατηρούμε ότι η διείσδυση ΑΠΕ ανεβαίνει, έστω και λίγο, σε σχέση με την απουσία αποθήκευσης.

Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν στοιχεία που αφορούν στη λειτουργία των συσσωρευτών. Στο επόμενο διάγραμμα παρουσιάζεται η στάθμη φόρτισης στη διάρκεια του έτους και αμέσως μετά η ετήσια καμπύλη διάρκειας της στάθμης φόρτισης.



Σχήμα 6-46 Ετήσια Χρονοσειρά Στάθμης Φόρτισης Συσσωρευτών Πολιτικής 2 για  $P_b/P_w = 0.75$



Σχήμα 6-47 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Στάθμης Φόρτισης Συσσωρευτών Πολιτικής 2 για  $P_b/P_w = 0.75$

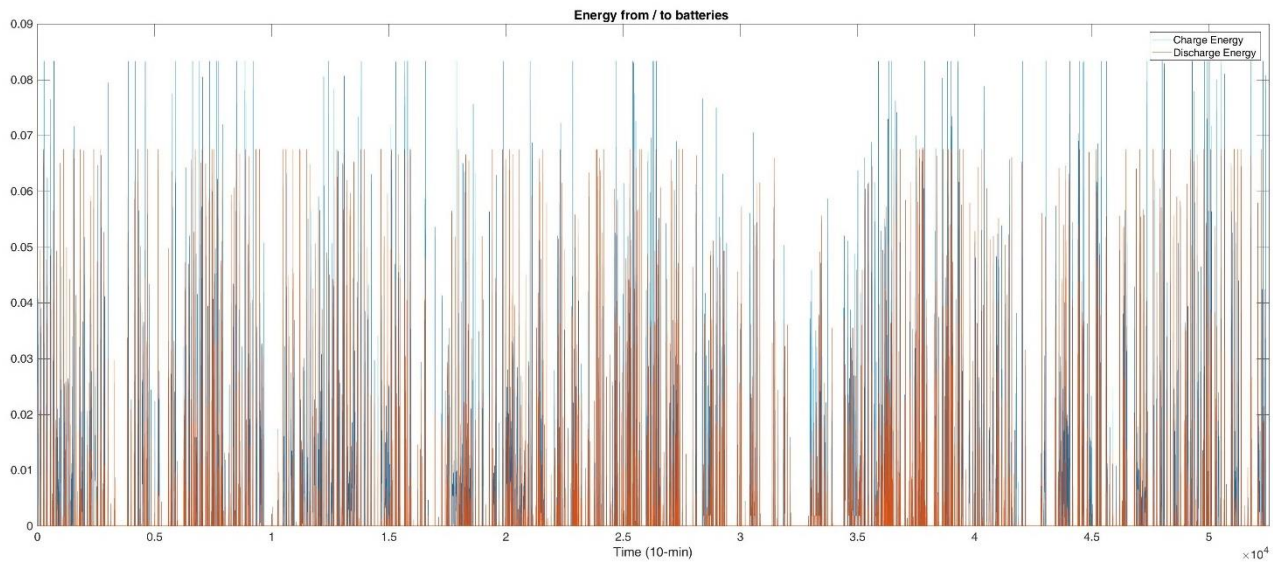
Εξαιρετικό ενδιαφέρον παρουσιάζει η καμπύλη διάρκειας της στάθμης φόρτισης. Από την ανάλυσή της προκύπτουν οι παρακάτω τιμές:

	Πλήθος 10-min
Μέγιστη Στάθμη Φόρτισης	20824 (39,62%)
Ελάχιστη Στάθμη Φόρτισης	11929 (22,97%)
Ενδιάμεση Στάθμη Φόρτισης	19807 (37,68%)

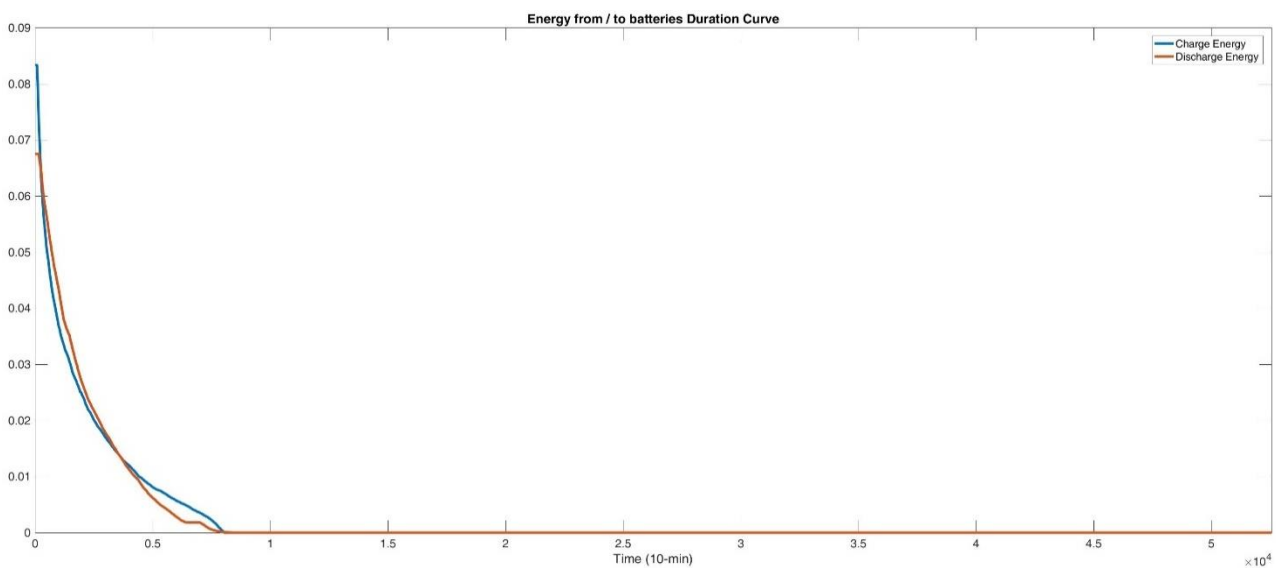
Πίνακας 6-39 Τιμές από Ετήσια Χρονοσειρά Στάθμης Φόρτισης Συσσωρευτών Πολιτικής 2 για  $P_b/P_w = 0.75$

Παρατηρούμε ότι οι συσσωρευτές χρησιμοποιούνται ενεργά λίγο παραπάνω από το 1/3 της διάρκειας του έτους. Τις υπόλοιπες ώρες είναι είτε πλήρως φορτισμένοι, άρα δεν μπορούν να αποθηκεύσουν επιπλέον ενέργεια, είτε είναι εκφορτισμένοι, άρα δεν μπορούν να αποδώσουν ενέργεια. Η λύση σε αυτό θα ήταν να αυξήσουμε τη χωρητικότητά τους, αλλά αυτό όπως αναδείξαμε θα προκαλούσε σημαντική μείωση στην οικονομική επένδυση του έργου, άρα δεν θα ήταν ελκυστική για κάποιον επενδυτή.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι ετήσιες χρονοσειρές φόρτισης και εκφόρτισης των συσσωρευτών καθώς και οι καμπύλες διάρκειας των ίδιων μεγεθών στη διάρκεια του έτους.



Σχήμα 6-48 Ετήσια Χρονοσειρά Ροής Ενέργειας Συσσωρευτών Πολιτικής 2 για  $Pb/Pw = 0.75$



Σχήμα 6-49 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Ροής Ενέργειας Συσσωρευτών Πολιτικής 2 για  $Pb/Pw = 0.75$

Το γεγονός ότι η καμπύλη φόρτισης είναι πάνω από την καμπύλη εκφόρτισης οφείλεται στις απώλειες φόρτισης και εκφόρτισης οι οποίες συνεπάγονται απόδοση κύκλου ίση με 81%.

Τέλος, στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται οι περιορισμοί που επιβάλλονται στη φόρτιση ή την εκφόρτιση των συσσωρευτών σε κάθε 10λεπτο.

		<b>10 – min</b>	<b>Ποσοστό Χρόνου</b>
<b>Εκφόρτιση</b>	Κανένας περιορισμός	4517	18,74%
	Περιορισμός Χωρητικότητας	5748	23,85%
	Περιορισμός Ισχύος Συσσωρευτών	163	0,68%
	Περιορισμός Ισχύος Σταθμού	2049	8,5%
	Εκφορτισμένοι Συσσωρευτές	11623	48,23%
	<b>Σύνολο</b>	<b>24100</b>	<b>100%</b>
<b>Φόρτιση</b>	Κανένας περιορισμός	7493	26,57%
	Περιορισμός Χωρητικότητας	460	1,63%
	Περιορισμός Ισχύος Συσσωρευτών	96	0,34%
	Φορτισμένοι Συσσωρευτές	20155	71,46%
	<b>Σύνολο</b>	<b>28204</b>	<b>100%</b>

Πίνακας 6-40 Ορια Ενεργειακής Συναλλαγής Συσσωρευτών Πολιτικής 2 για  $Pb/Pw = 0.75$

Αξίζει να σημειωθεί ότι το 70% των στιγμών που θα μπορούσε να αποθηκευτεί ενέργεια στους συσσωρευτές, αυτοί είναι ήδη πλήρεις, ενώ το 50% των στιγμών που θα μπορούσαμε να εγχυθεί ενέργεια από τους συσσωρευτές προς το Δίκτυο, αυτοί είναι στο χαμηλότερο επιτρεπτό επίπεδο φόρτισης. Το συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι σίγουρα θα πρέπει να εξετάσουμε λύσεις με μεγαλύτερη χωρητικότητα αλλά αυτό θα σήμαινε ακόμα χαμηλότερη οικονομική απόδοση του έργου.

#### 6.2.5 Ανεμογεννήτρια 600 kW – Συσσωρευτές 600 kW / 900 kWh

Εγχεόμενη ενέργεια από την ανεμογεννήτρια (MWh)	1115,31
Εγχεόμενη ενέργεια από συσσωρευτές (MWh)	168,1
Συνολικά εγχεόμενη ενέργεια (MWh)	1283,41 (8,02% του φορτίου)
Απορριπτόμενη ενέργεια (MWh)	1040,52
ΑΩΛ Σταθμού (ώρες)	2139 (53,62% των ΣΑΩΛ)
Συντελεστής Χρησιμοποίησης Σταθμού (%)	24,42
Απορριπτόμενη / Δυνητικά Παραγόμενη Ενέργεια (%)	45
Συνολική Παραγωγή ΑΠΕ (MWh)	1818,89 (11,36% του φορτίου)
Συνολικό κόστος (€)	1530000
IRR για 100% ίδια κεφάλαια (%)	-1,54

Πίνακας 6-41 Αποτελέσματα Πολιτικής 2 για  $Pb/Pw = 1$

Στον επόμενο πίνακα απεικονίζονται οι χρηματοροές του έργου για μια περίοδο 20-ετίας.

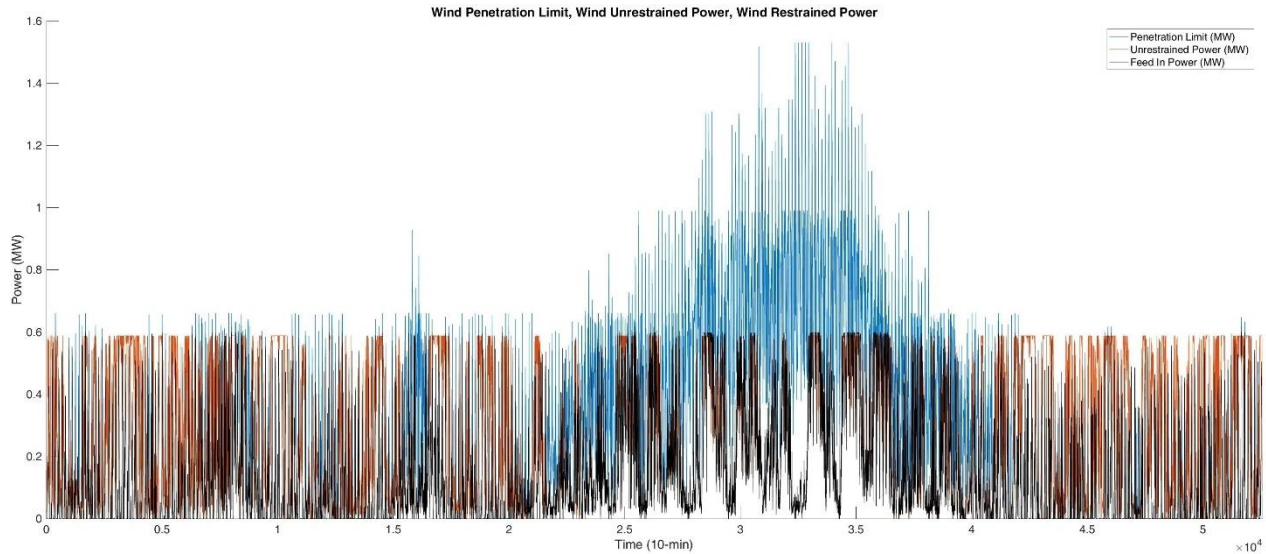
Έτος	Παραγόμενη ενέργεια (kWh)	Τιμή πώλησης (€ / kWh)	Έσοδα (€)	Δόση Δανείου (€)	Συντήρηση (€) (1% κόστους)	Λειτουργικά (€) (1% κόστους)	Repowering (€)	Φόρος (€)	Κέρδη (€)
0	0,00	100,00	-1530000,00						-1530000,00
1	1283,41	100,00	128341,00	0,00	15300,00	15300,00	0,00	24435,25	73305,75
2	1283,41	100,80	129367,73	0,00	15759,00	15759,00	0,00	24462,43	73387,30
3	1283,41	101,61	130402,67	0,00	16231,77	16231,77	0,00	24484,78	73454,35
4	1283,41	102,42	131445,89	0,00	16718,72	16718,72	0,00	24502,11	73506,33
5	1283,41	103,24	132497,46	0,00	17220,28	17220,28	0,00	24514,22	73542,67
6	1283,41	104,06	133557,44	0,00	17736,89	17736,89	0,00	24520,91	73562,74
7	1283,41	104,90	134625,90	0,00	18269,00	18269,00	0,00	24521,97	73565,92
8	1283,41	105,74	135702,90	0,00	18817,07	18817,07	0,00	24517,19	73551,57
9	1283,41	106,58	136788,53	0,00	19381,58	19381,58	0,00	24506,34	73519,02
10	1283,41	107,43	137882,84	0,00	19963,03	19963,03	225000,00	-31760,81	-95282,42
11	1283,41	108,29	138985,90	0,00	20561,92	20561,92	0,00	24465,51	73396,54
12	1283,41	109,16	140097,79	0,00	21178,78	21178,78	0,00	24435,06	73305,17
13	1283,41	110,03	141218,57	0,00	21814,14	21814,14	0,00	24397,57	73192,71
14	1283,41	110,91	142348,32	0,00	22468,57	22468,57	0,00	24352,80	73058,39
15	1283,41	111,80	143487,10	0,00	23142,62	23142,62	0,00	24300,46	72901,39
16	1283,41	112,70	144635,00	0,00	23836,90	23836,90	0,00	24240,30	72720,90
17	1283,41	113,60	145792,08	0,00	24552,01	24552,01	0,00	24172,02	72516,05
18	1283,41	114,51	146958,42	0,00	25288,57	25288,57	0,00	24095,32	72285,96
19	1283,41	115,42	148134,08	0,00	26047,23	26047,23	0,00	24009,91	72029,72
20	1283,41	116,35	149319,16	0,00	26828,64	26828,64	0,00	23915,47	71746,40
		<b>Σύνολο</b>	<b>2771588,76</b>	<b>0,00</b>	<b>411116,73</b>	<b>411116,73</b>	<b>225000,00</b>	<b>431088,83</b>	<b>1293266,48</b>
<b>Επιτόκιο αναγωγής</b>	<b>NPV</b>	<b>Συνολικό κόστος (€)</b>			<b>Ίδια κεφάλαια (€)</b>	<b>Δάνειο (€)</b>	<b>IRR</b>		
<b>0,07</b>	<b>-784.808,27 €</b>	<b>1530000</b>			<b>1530000,00</b>	<b>0,00</b>	<b>-1,54%</b>		

Πίνακας 6-42 Χρηματοροές Πολιτικής 2 για  $P_b/P_w = 1$

Σημαντικό στοιχείο είναι ότι έχουμε αρνητικό IRR, καθώς και καθαρή παρούσα αξία. Αυτό δείχνει ότι η επένδυση είναι άκρως ασύμφορη.

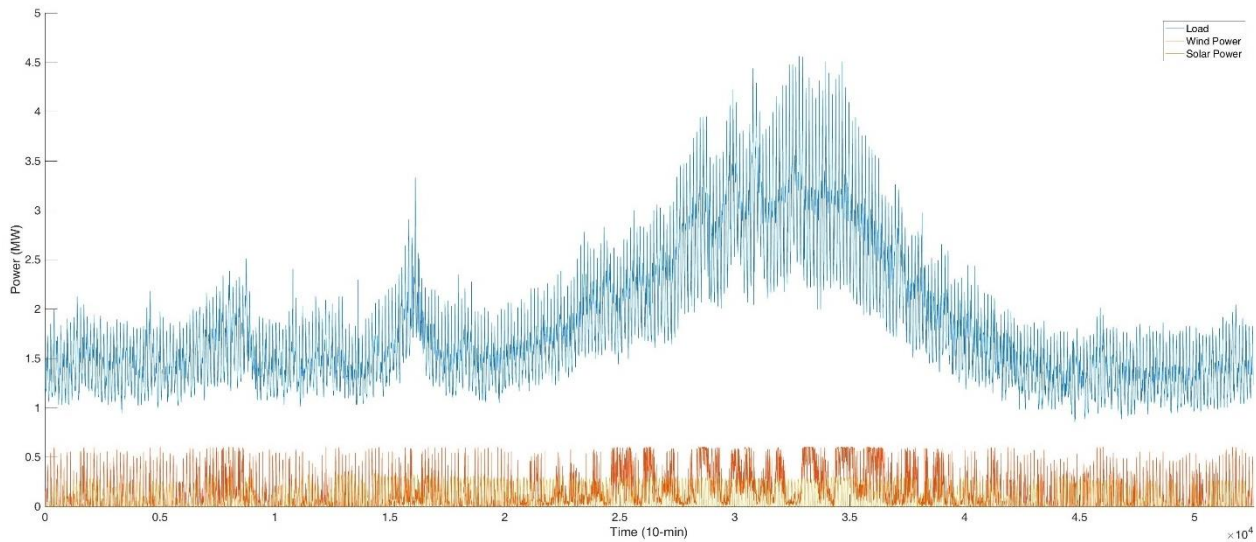
Στο επόμενο διάγραμμα παρουσιάζονται σε παράθεση το όριο διείσδυσης που προσφέρεται στον Σταθμό(μπλε), η παραγωγή που θα είχε χωρίς περιορισμούς διείσδυσης (πορτοκαλί) και η παραγωγή έπειτα από την εφαρμογή των περιορισμών διείσδυσης (μαύρο).

Τεχνοοικονομική βελτιστοποίηση συστήματος συσσωρευτών για αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας  
Αιολικού Σταθμού σε ΜΔΝ



Σχήμα 6-50 Ετήσια Χρονοσειρά Ορίου Διείσδυσης και Αιολικής Ισχύος με και χωρίς Περιορισμούς Πολιτικής 2 για  $P_b/P_w = 1$

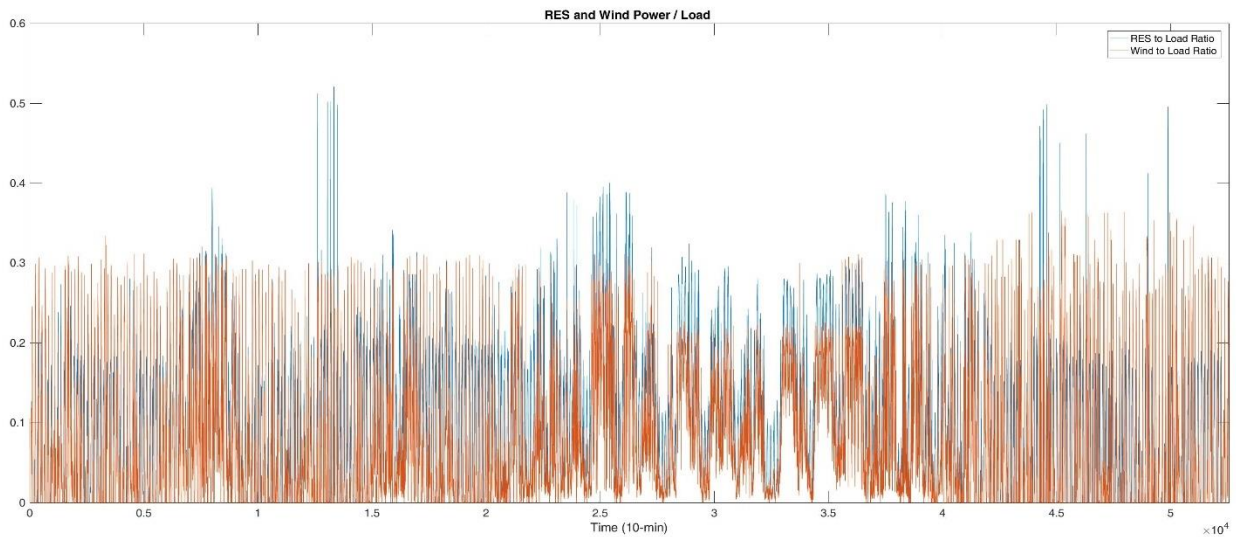
Στο επόμενο διάγραμμα απεικονίζεται η ισχύς που προέρχεται από ΑΠΕ σε σχέση με φορτίο (μπλε), δηλαδή τον αιολικό σταθμό (πορτοκαλί) και τα φωτοβολταϊκά (κίτρινο).



Σχήμα 6-51 Ετήσια Χρονοσειρά Φορτίου προς Αιολική και Φωτοβολταϊκή Παραγωγή Πολιτικής 2 για  $P_b/P_w = 1$

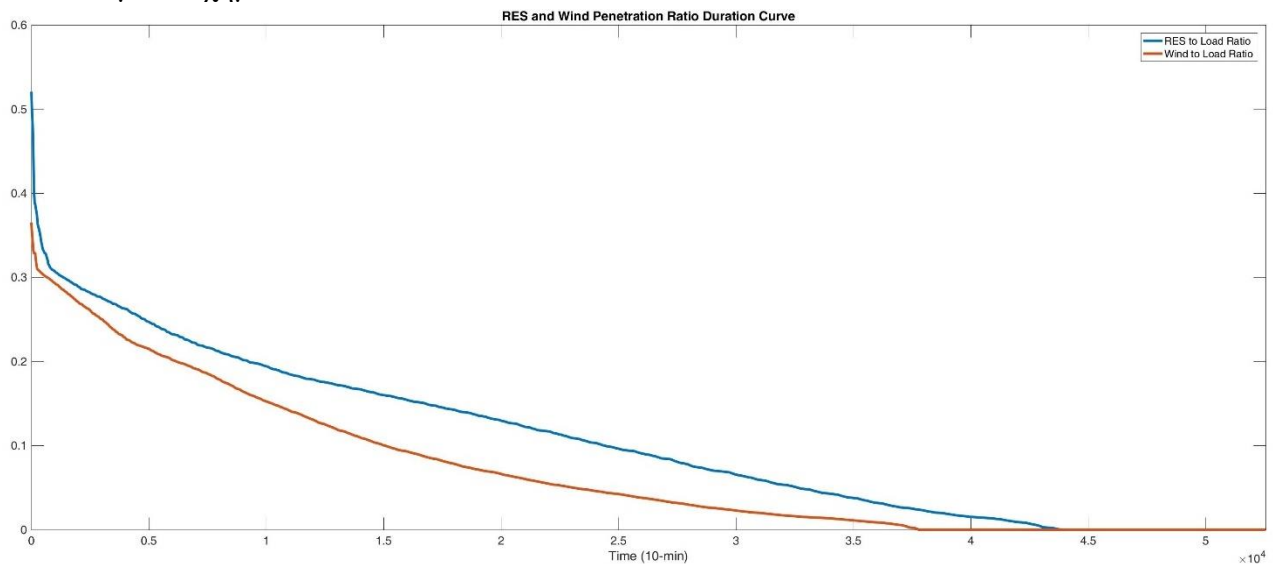
Προφανώς οι στιγμές που ο σταθμός υπόκειται σε περικοπές φορτίου, αλλά και η καμπύλη διάρκειας του διαθέσιμου περιθωρίου διείσδυσης παραμένουν ίδιες με την περίπτωση που δεν έχουμε αποθήκευση, καθώς η ισχύς του σταθμού δεν αλλάζει μετά την προσθήκη της αποθήκευσης, αλλά και ο Διαχειριστής συνεχίζει να αντιμετωπίζει τον Σταθμό όπως όταν δεν είχε αποθήκευση.

Επίσης, στο επόμενο διάγραμμα παρουσιάζεται το ποσοστό διείσδυσης των ΑΠΕ (μπλε γραμμή) και του αιολικού πάρκου (πορτοκαλί γραμμή) στη διάρκεια του έτους.



Σχήμα 6-52 Ετήσια Χρονοσειρά Ποσοστού Διείσδυσης Αιολικής Παραγωγής και ΑΠΕ Πολιτικής 2 για  $P_b/P_w = 1$

Ενδιαφέρον έχει και η καμπύλη διάρκειας του ποσοστού διείσδυσης, τόσο του αιολικού (πορτοκαλί γραμμή) όσο και όλων των ΑΠΕ (μπλε γραμμή), όπως απεικονίζεται στο επόμενο σχήμα.



Σχήμα 6-53 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Ποσοστού Διείσδυσης Αιολικής Παραγωγής και ΑΠΕ Πολιτικής 2 για  $P_b/P_w = 1$

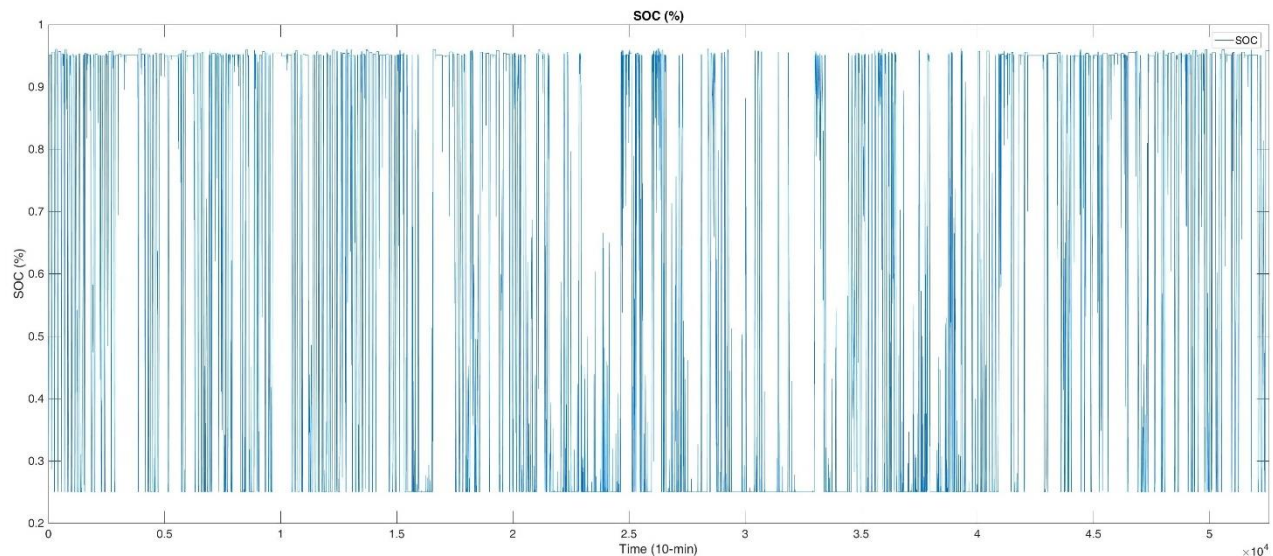
Μερικές χρήσιμες τιμές που μπορούν να εξαχθούν καταγράφονται στον επόμενο πίνακα:

	Ελάχιστο (%)	Μέγιστο (%)	Μέσο (%)
Παραγωγή Σταθμού προς φορτίο	0	36.53	7,2
Συνολική παραγωγή ΑΠΕ προς φορτίο	0	52,06	10,53

Πίνακας 6-43 Τιμές από Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Ποσοστού Διείσδυσης Αιολικής Παραγωγής και ΑΠΕ Πολιτικής 2 για  $P_b/P_w = 1$

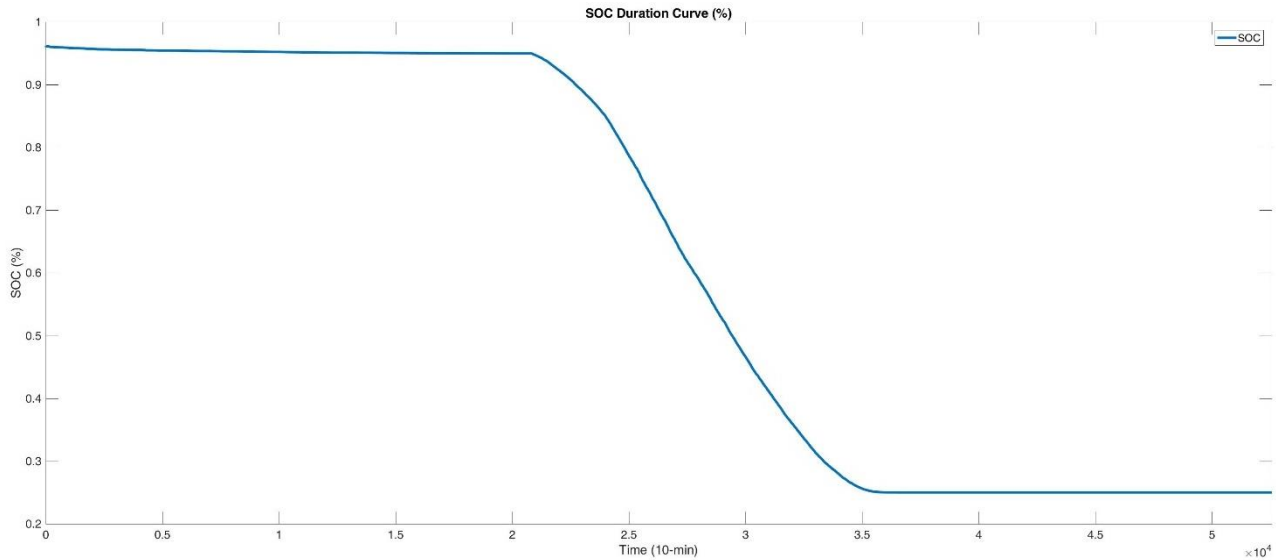
Παρατηρούμε ότι η διείσδυση ΑΠΕ ανεβαίνει, έστω και λίγο, σε σχέση με την απουσία αποθήκευσης.

Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν στοιχεία που αφορούν στη λειτουργία των συσσωρευτών. Στο επόμενο διάγραμμα παρουσιάζεται η στάθμη φόρτισης στη διάρκεια του έτους και αμέσως μετά η ετήσια καμπύλη διάρκειας της στάθμης φόρτισης.



Σχήμα 6-54 Ετήσια Χρονοσειρά Στάθμης Φόρτισης Συσσωρευτών Πολιτικής 2 για  $P_b/P_w = 1$





Σχήμα 6-55 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Στάθμης Φόρτισης Συσσωρευτών Πολιτικής 2 για  $Pb/Pw = 1$

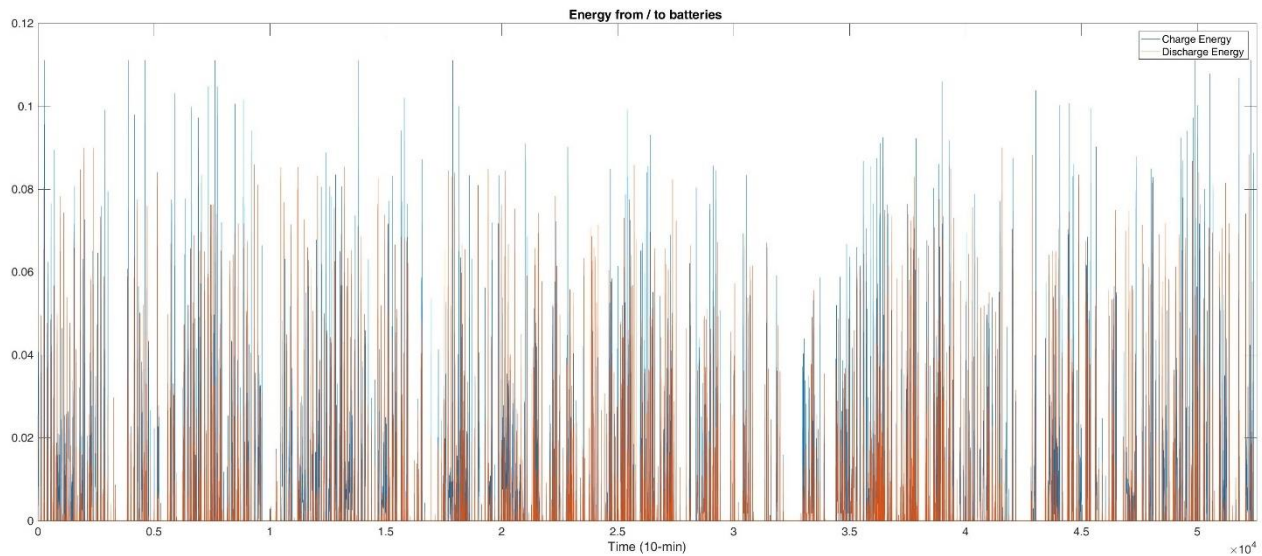
Εξαιρετικό ενδιαφέρον παρουσιάζει η καμπύλη διάρκειας της στάθμης φόρτισης. Από την ανάλυσή της προκύπτουν οι παρακάτω τιμές:

	Πλήθος 10-min
Μέγιστη Στάθμη Φόρτισης	19936 (37.93%)
Ελάχιστη Στάθμη Φόρτισης	11626 (22.12%)
Ενδιάμεση Στάθμη Φόρτισης	20998 (39.95%)

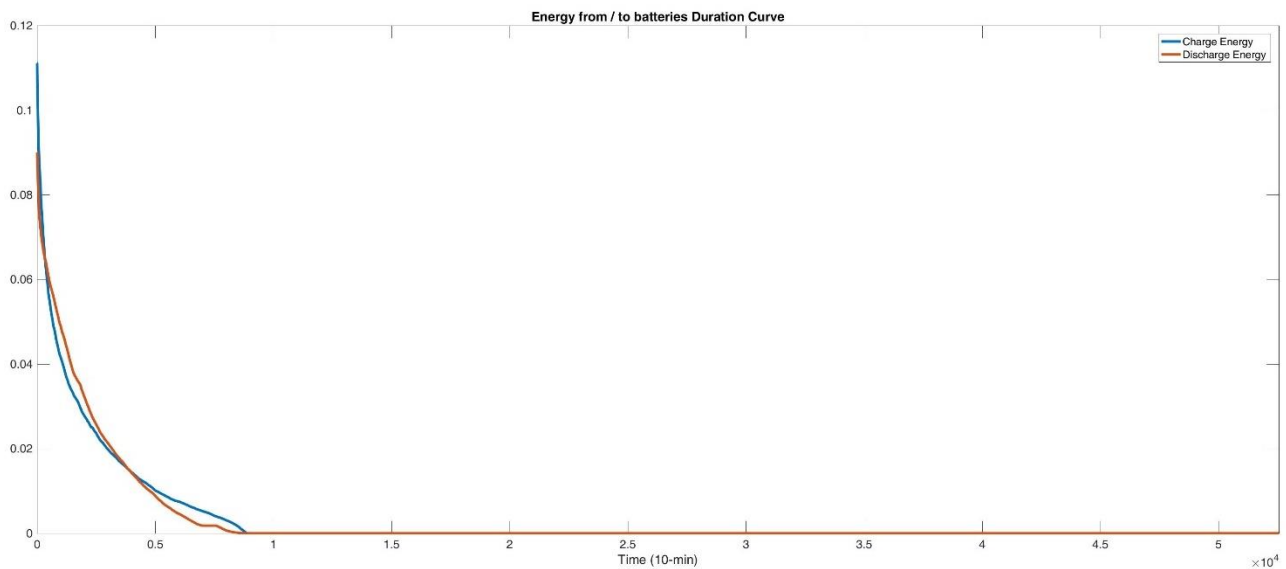
Πίνακας 6-44 Τιμές από Ετήσια Χρονοσειρά Στάθμης Φόρτισης Συσσωρευτών Πολιτικής 2 για  $Pb/Pw = 1$

Παρατηρούμε ότι οι συσσωρευτές χρησιμοποιούνται ενεργά μόνο κατά τη διάρκεια του 40% του έτους. Τις υπόλοιπες ώρες είναι είτε πλήρως φορτισμένοι, άρα δεν μπορούν να αποθηκεύσουν επιπλέον ενέργεια, είτε είναι εκφορτισμένοι, άρα δεν μπορούν να αποδώσουν ενέργεια. Η λύση σε αυτό θα ήταν να αυξήσουμε τη χωρητικότητά τους, αλλά αυτό όπως αναδείξαμε θα προκαλούσε σημαντική μείωση στην οικονομική επένδυση του έργου, άρα δεν θα ήταν ελκυστική για κάποιον επενδυτή.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι ετήσιες χρονοσειρές φόρτισης και εκφόρτισης των συσσωρευτών καθώς και οι καμπύλες διάρκειας των ίδιων μεγεθών στη διάρκεια του έτους.



Σχήμα 6-56 Ετήσια Χρονοσειρά Ροής Ενέργειας Συσσωρευτών Πολιτικής 2 για  $Pb/Pw = 1$



Σχήμα 6-57 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Ροής Ενέργειας Συσσωρευτών Πολιτικής 2 για  $Pb/Pw = 1$

Το γεγονός ότι η καμπύλη φόρτισης είναι πάνω από την καμπύλη εκφόρτισης οφείλεται στις απώλειες φόρτισης και εκφόρτισης οι οποίες συνεπάγονται απόδοση κύκλου ίση με 81%.

Τέλος, στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται οι περιορισμοί που επιβάλλονται στη φόρτιση ή την εκφόρτιση των συσσωρευτών σε κάθε 10λεπτο.

		<b>10 – min</b>	<b>Ποσοστό Χρόνου</b>
<b>Εκφόρτιση</b>	Κανένας περιορισμός (Στάθμη 1)	4992	20,71%
	Περιορισμός Χωρητικότητας (Στάθμη 2)	5412	22,46%
	Περιορισμός Ισχύος Συσσωρευτών (Στάθμη 3)	4	0,02%
	Περιορισμός Ισχύος Σταθμού (Στάθμη 4)	2360	9,79%
	Εκφορτισμένοι Συσσωρευτές	11332	47%
	<b>Σύνολο</b>	<b>24100</b>	<b>100%</b>
<b>Φόρτιση</b>	Κανένας περιορισμός (Στάθμη 1)	8435	29,91%
	Περιορισμός Χωρητικότητας (Στάθμη 2)	437	1,55%
	Περιορισμός Ισχύος Συσσωρευτών (Στάθμη 3)	10	0,04%
	Φορτισμένοι Συσσωρευτές	19322	68,51%
	<b>Σύνολο</b>	<b>28204</b>	<b>100%</b>

Πίνακας 6-45 Όρια Ενεργειακής Συναλλαγής Συσσωρευτών Πολιτικής 2 για  $P_b/P_w = 1$

Αξίζει να σημειωθεί ότι σχεδόν το 70% των στιγμών που θα μπορούσε να αποθηκευτεί ενέργεια στους συσσωρευτές, αυτοί είναι ήδη πλήρεις, ενώ σχεδόν το 50% των στιγμών που θα μπορούσαμε να εγχυθεί ενέργεια από τους συσσωρευτές προς το Δίκτυο, αυτοί είναι στο χαμηλότερο επιτρεπτό επίπεδο φόρτισης. Το συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι σίγουρα θα πρέπει να εξετάσουμε λύσεις με μεγαλύτερη χωρητικότητα αλλά αυτό θα σήμαινε ακόμα χαμηλότερη οικονομική απόδοση του έργου.

#### 6.2.6 Συμπεράσματα 2<sup>ης</sup> πολιτικής

Εξετάζοντας τα αποτελέσματα της 2<sup>ης</sup> πολιτικής λειτουργίας γίνεται σαφές ότι το όφελος που προκύπτει από την εγκατάσταση συστήματος αποθήκευσης είναι δυσανάλογα μικρό σε σχέση με την αύξηση του κόστους. Μάλιστα στον παρακάτω πίνακα βλέπουμε όλα αυτά τα στοιχεία συγκεντρωμένα:

Σχέση ισχύος συσσωρευτών / ισχύ ανεμογεννήτριας (%)	<b>25</b>	<b>50</b>	<b>75</b>	<b>100</b>
<b>Ισχύς – Χωρητικότητα Συσσωρευτών</b>	150 kW / 225 kWh	300 kW / 450 kWh	450 kW / 675 kWh	600 kW / 900 kWh
<b>Εγγεόμενη ενέργεια από την ανεμογεννήτρια (MWh)</b>	1115,31	1115,31	1115,31	1115,31
<b>Εγγεόμενη ενέργεια από συσσωρευτές (MWh)</b>	72,02	112,66	142,79	168,1
<b>Συνολικά εγγεόμενη ενέργεια (MWh) του φορτίου)</b>	1187,33 (7,42%	1227,97 (7,67%	1258,11 (7,86%	1283,41 (8,02%
<b>Απορριπτόμενη ενέργεια (MWh)</b>	1136,91	1096,17	1065,93	1040,52

<b>ΑΩΛ Σταθμού (ώρες)</b>	1979 (49,61% των ΣΑΩΛ)	2046.62 (51.31% των ΣΑΩΛ)	2096.84 (52.57% των ΣΑΩΛ)	2139 (53,62% των ΣΑΩΛ)
<b>Συντελεστής Χρησιμοποίησης Σταθμού (%)</b>	22,59	23,36	23,94	24,42
<b>Απορριπτόμενη / Δυνητικά Παραγόμενη Ενέργεια (%)</b>	49	57	46	45
<b>Συνολική Παραγωγή ΑΠΕ (MWh) του φορτίου)</b>	1722,81 (10,76%	1763,45 (11,01%	1793.58 (11.2%	1818,89 (11,36%
<b>Συνολικό κόστος (€)</b>	1012500	1185000	1357500	1530000
<b>IRR για 100% ίδια κεφάλαια (%)</b>	3,84	1.83	0,05	-1,54

Πίνακας 6-46 Συμπεράσματα 2<sup>ης</sup> Πολιτικής

Αναλυτικά, μπορεί κανείς να μελετήσει τα αποτελέσματα της ανάλυσης ευαισθησίας που έχει προηγηθεί για να καταλήξει στο ότι αν δεν μειωθεί σημαντικά το κόστος αποθήκευσης, τότε δεν υπάρχει οικονομικό ενδιαφέρον. Αλλά και το ενεργειακό ενδιαφέρον είναι ασθενές καθώς τα προβλήματα διείσδυσης συνεχίζουν να παραμένουν στο Δίκτυο. Αυτό που επιτυγχάνεται απλώς είναι να αυξηθούν οι Ανηγμένες Ώρες Λειτουργίας, δηλαδή να πετύχουμε καλύτερη εκμετάλλευσης του περιθωρίου διείσδυσης που προσφέρει ο Διαχειριστής. Σε καμία περίπτωση όμως δε θα μπορούσαμε να βελτιώσουμε το περιθώριο διείσδυσης ώστε να συζητήσουμε για την ένταξη Σταθμού μεγαλύτερου των 600 kW. Για να γίνει αυτό θα καταλήξουμε στην 3<sup>η</sup> πολιτική λειτουργίας.

### 6.3 3<sup>η</sup> πολιτική λειτουργίας

Σε αυτήν την πολιτικής λειτουργίας, στην ουσία προσφέρουμε τη δυνατότητα στο Σταθμό να γίνει κατανεμόμενος, αλλά ο Σταθμός θα πρέπει να προσφέρει ως αντάλλαγμα αξιοπιστία. Η αξιοπιστία θα προέλθει από την ορθολογική διαστασιολόγηση των συσσωρευτών ώστε να μπορούν να καλύπτουν τα σφάλματα πρόβλεψης. Η διαστασιολόγηση των συσσωρευτών θα πρέπει να γίνει με τέτοιο τρόπο ώστε να καλύψει το δυσμενέστερο σενάριο από πλευρά ισχύος και ενέργειας. Το δυσμενέστερο σενάριο προκύπτει αν προβλέψουμε ότι την επόμενη στιγμή θα έχουμε ονομαστική ισχύ εξόδου στο αιολικό πάρκο και τελικά έχουμε μηδενική ισχύ λόγω απότομης μείωσης της ταχύτητας του ανέμου κάτω από το επίπεδο V cut-in είτε λόγω απότομης αύξησης ταχύτητας του ανέμου πάνω από το επίπεδο V cut-off. Επίσης, θα πρέπει να λάβουμε υπόψη ότι έχουμε απώλειες φόρτισης και εκφόρτισης και για το λόγο αυτό θα θεωρήσουμε ως απόδοση ενός κύκλο φόρτισης - εκφόρτισης την τιμή 81 %. Τέλος, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη η σχέση χωρητικότητας – ισχύος για έναν τυπικό συσσωρευτή Λιθίου, η οποία είναι 1.5 / 1 MWh / MW.

Θα εξετάσουμε 4 σενάρια ισχύος του αιολικού πάρκου: 600 kW, 900 kW, 1200 kW, 1500 kW.

Σε κάθε επίπεδο ισχύος, σύμφωνα με την προηγούμενη απαίτηση για το δυσμενέστερο σενάριο, προκύπτουν τα εξής επίπεδα ισχύος και χωρητικότητα για τους συσσωρευτές:

- Ως προς το θέμα της ισχύος, για να καλύψουν οι συσσωρευτές την απώλεια της αιολικής παραγωγής θα πρέπει να έχουν ισχύ ίση με το αιολικού, προσαυξημένη κατά το ποσοστό των απωλειών εκφόρτισης, άρα ίση με το 110% της ισχύος της ανεμογεννήτριας. Δεδομένου ότι για τους συσσωρευτές Λιθίου ισχύει ότι η σχέση ισχύος προς χωρητικότητα είναι  $1 / 1,5$ , δηλαδή με χωρητικότητα 1,5 MWh ο σταθμός μπορεί να αποδώσει 1 MW ισχύος, τότε καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η χωρητικότητα των συσσωρευτών θα πρέπει να ισούται με  $1,5 * 1,1 * P_w$
- Ως προς το θέμα της χωρητικότητας, θα πρέπει οι συσσωρευτές να μπορούν να προσφέρουν μέσα στο διάστημα των 10 λεπτών όση ενέργεια θα προσέφερε και η ανεμογεννήτρια. Άρα, η ανεμογεννήτρια με ισχύ  $P_w$  MW μπορεί αν αποδώσει ενέργεια ίση με  $P_w / 6$  MWh μέσα σε 10 λεπτά. Επομένως, θα πρέπει οι συσσωρευτές να μπορούν να αποδώσουν ενέργεια  $1,1 * P_w / 6$  λόγω των απωλειών εκφόρτισης. Καθώς όμως οι συσσωρευτές έχουν ένα εύρος λειτουργίας ως προς το επίπεδο φόρτισης από το 25% έως το 95% της ονομαστικής τους χωρητικότητας, προκύπτει ότι η για να καλυφθεί η ανάγκη παροχής ενέργεια θα πρέπει η χωρητικότητά τους να είναι ίση με  $1,1 * P_w / 6 / 0,7$ .
- Από τους ως άνω δυο περιορισμούς υπερισχύει αυτός που θα δώσει τη μεγαλύτερη χωρητικότητα.

Ακολουθώντας την παραπάνω μεθοδολογία καταλήγουμε στον επόμενο πίνακα και άρα στην επιθυμητή χωρητικότητα των συσσωρευτών για κάθε επίπεδο ισχύος της ανεμογεννήτριας.

	0.6 MW	0.9 MW	1.2 MW	1.5 MW
<b>Ισχύς</b>	0.66 MW	0.99 MW	1.32 MW	1.65 MW
<b>Χωρητικότητα</b>	0.16 MWh	0.24 MWh	0.31 MWh	0.39 MWh
<b>Ισχύς λόγω ελάχιστης χωρητικότητας</b>	0.18 MW	0.27 MW	0.36 MW	0.45 MW
<b>Τελική ισχύς</b>	0.66 MW	0.99 MW	1.32 MW	1.65 MW
<b>Τελική χωρητικότητα</b>	0.99 MWh	1.49 MWh	1.98 MWh	2.475 MWh

Πίνακας 6-47 Υπολογισμός Χωρητικότητας Συσσωρευτών 3<sup>ης</sup> Πολιτικής

Παρατηρούμε, όπως ήταν αναμενόμενο, ότι η χωρητικότητα των συσσωρευτών φτάνει να καλύψει 9 συνεχόμενα 10λεπτα με μηδενική παραγωγή από το αιολικό, αφού υπερισχύει

ο πρώτος περιορισμός, δηλαδή η σχέση χωρητικότητας των συσσωρευτών προς την ισχύ της ανεμογεννήτριας ισούται με 1,65 MWh / MW. Λαμβάνοντας όμως υπόψη και το ελάχιστον βάθος εκφόρτισης καθώς και τις απώλειες εκφόρτισης, το διάστημα αυτό γίνεται 6 10λεπτα, δηλαδή μια συνεχόμενη ώρα λειτουργίας.

Οι παραδοχές που θα κάνουμε σε αυτή την πολιτική, πέραν όσων έχουν ήδη αναφερθεί είναι οι εξής:

- Οικονομικά μεγέθη:
  - Χρέωση Απόκλισης Φορτίου (ΧΑΦ): 150 € / MWh
  - Περιθώριο απόκλισης για ΧΑΦ: 10%
- Τεχνικά μεγέθη:
  - Σχέση χωρητικότητας – ισχύος συσσωρευτών: 1.66 MWh / MW
  - Σχέση ισχύος συσσωρευτών – ισχύος ανεμογεννήτριας = 1.1 MW / MW
  - Διάστημα πρόβλεψης: 20 min – 60 min

#### 6.3.1 Ανεμογεννήτρια 600 kW – Συσσωρευτές 0.66 MW/0.99 MWh – 20 min πρόβλεψης

<b>Εγγεόμενη ενέργεια από την ανεμογεννήτρια (MWh)</b>	1895,9 (91,44% της εγγεόμενης)
<b>Εγγεόμενη ενέργεια από συσσωρευτές (MWh)</b>	177,31 (8,55% της εγγεόμενης)
<b>Συνολικά εγγεόμενη ενέργεια (MWh)</b>	2073,21 (12,95% του φορτίου)
<b>Απορριπτόμενη ενέργεια (MWh)</b>	251,52
<b>Συντελεστής Χρησιμοποίησης Σταθμού (%)</b>	39,44
<b>Συνολική Παραγωγή ΑΠΕ (MWh)</b>	2608,68 (16,29% του φορτίου)
<b>Μέσο SOC συσσωρευτών (%)</b>	81,87%
<b>ΧΑΦ</b>	56 € για 0,37 MWh
<b>Συνολικό κόστος (€)</b>	1599000
<b>IRR για 100% ίδια κεφάλαια (%)</b>	4,77

Πίνακας 6-48 Αποτελέσματα Πολιτικής 3 για Α/Γ 600 kW – 20min πρόβλεψης

Στον επόμενο πίνακα απεικονίζονται οι χρηματοροές του έργου για μια περίοδο 20-ετίας.

Έτος	Τιμή πώλησης (€ / kWh)	Έσοδα (€)	Συντήρηση (1% κόστους)	Λειτουργικά (1% κόστους)	Repowering (€)	Τιμή ΧΑΦ (€/MWh)	ΧΑΦ (€)	Φόρος (€)	Καθαρά Κέρδη (€)
0	100,00	-1599000,00							-1599000,00
1	100,00	207321,00	15990,00	15990,00	0,00	150,00	55,50	43821,38	131464,13
2	100,80	208979,57	16469,70	16469,70	0,00	151,20	55,94	43996,06	131988,17
3	101,61	210651,40	16963,79	16963,79	0,00	152,41	56,39	44166,86	132500,57
4	102,42	212336,62	17472,70	17472,70	0,00	153,63	56,84	44333,59	133000,77

Τεχνοοικονομική βελτιστοποίηση συστήματος συσσωρευτών για αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας  
Αιολικού Σταθμού σε ΜΔΝ

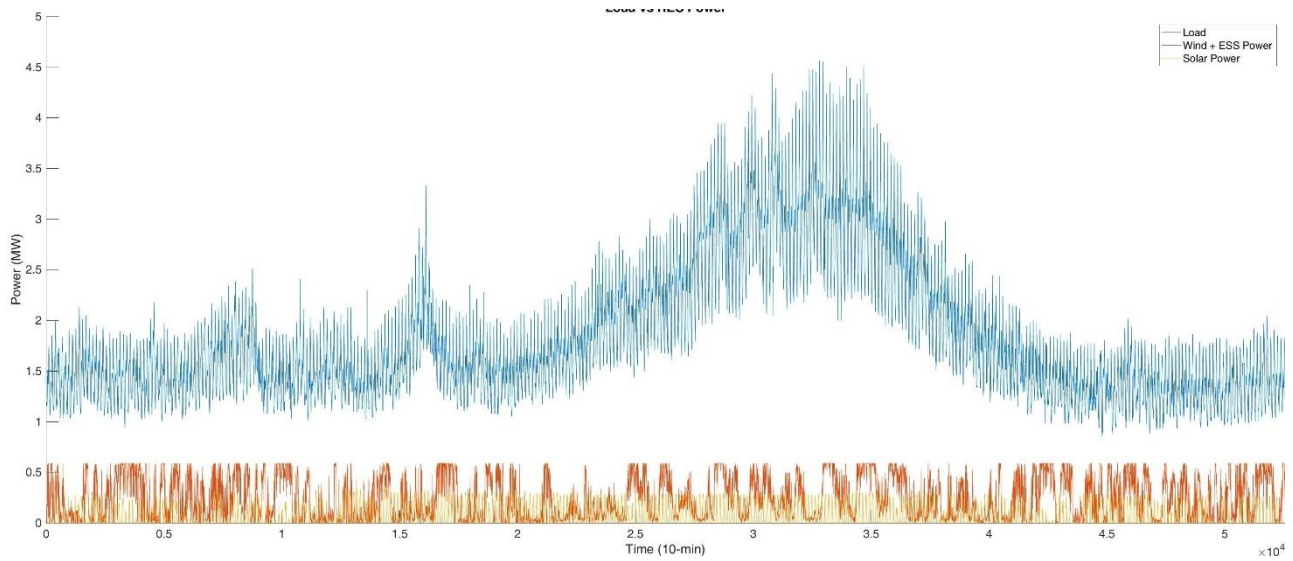
5	103,24	214035,31	17996,89	17996,89	0,00	154,86	57,30	44496,06	133488,18
6	104,06	215747,59	18536,79	18536,79	0,00	156,10	57,76	44654,06	133962,19
7	104,90	217473,57	19092,90	19092,90	0,00	157,35	58,22	44807,39	134422,17
8	105,74	219213,36	19665,68	19665,68	0,00	158,60	58,68	44955,83	134867,48
9	106,58	220967,07	20255,65	20255,65	0,00	159,87	59,15	45099,15	135297,46
10	107,43	222734,80	20863,32	20863,32	247500,00	161,15	59,63	-16637,87	-49913,60
11	108,29	224516,68	21489,22	21489,22	0,00	162,44	60,10	45369,53	136108,60
12	109,16	226312,82	22133,90	22133,90	0,00	163,74	60,58	45496,11	136488,32
13	110,03	228123,32	22797,92	22797,92	0,00	165,05	61,07	45616,60	136849,81
14	110,91	229948,30	23481,85	23481,85	0,00	166,37	61,56	45730,76	137192,28
15	111,80	231787,89	24186,31	24186,31	0,00	167,70	62,05	45838,31	137514,92
16	112,70	233642,19	24911,90	24911,90	0,00	169,04	62,55	45938,96	137816,89
17	113,60	235511,33	25659,26	25659,26	0,00	170,40	63,05	46032,44	138097,33
18	114,51	237395,42	26429,03	26429,03	0,00	171,76	63,55	46118,45	138355,35
19	115,42	239294,59	27221,90	27221,90	0,00	173,13	64,06	46196,68	138590,04
20	116,35	241208,94	28038,56	28038,56	0,00	174,52	64,57	46266,81	138800,44
	<b>Σύνολο</b>	<b>4477201,78</b>	<b>429657,29</b>	<b>429657,29</b>	<b>247500,00</b>	<b>3239,33</b>	<b>1198,55</b>	<b>842297,16</b>	<b>2526891,49</b>
	<b>Επιτόκιο αναγωγής</b>	<b>Συνολικό κόστος (€)</b>	<b>Ίδια κεφάλαια (€)</b>	<b>Δάνειο (€)</b>	<b>IRR</b>	<b>Παραγόμενη Ενέργεια (MWh)</b>	<b>Απόκλιση Φορτίου (MWh)</b>	<b>NPV</b>	
	0,07	1599000	1599000,00	0,00	4,77%	2073,21	0,37	-248.350,47	

Πίνακας 6-49 Χρηματοροές Πολιτικής 3 για Α/Γ 600 kW – 20min πρόβλεψη

Παρατηρούμε ότι η επένδυση έχει θετικό IRR, αλλά αρνητική καθαρή παρούσα αξία καθώς το IRR είναι μικρότερο από το επιτόκιο αναγωγής. Πιθανότατα με μια μικρή μείωση του κόστους της επένδυσης ή με αύξηση της τιμής αποζημίωσης για την πωλούμενη ενέργεια να παρουσιάσει θετική καθαρή παρούσα αξία.

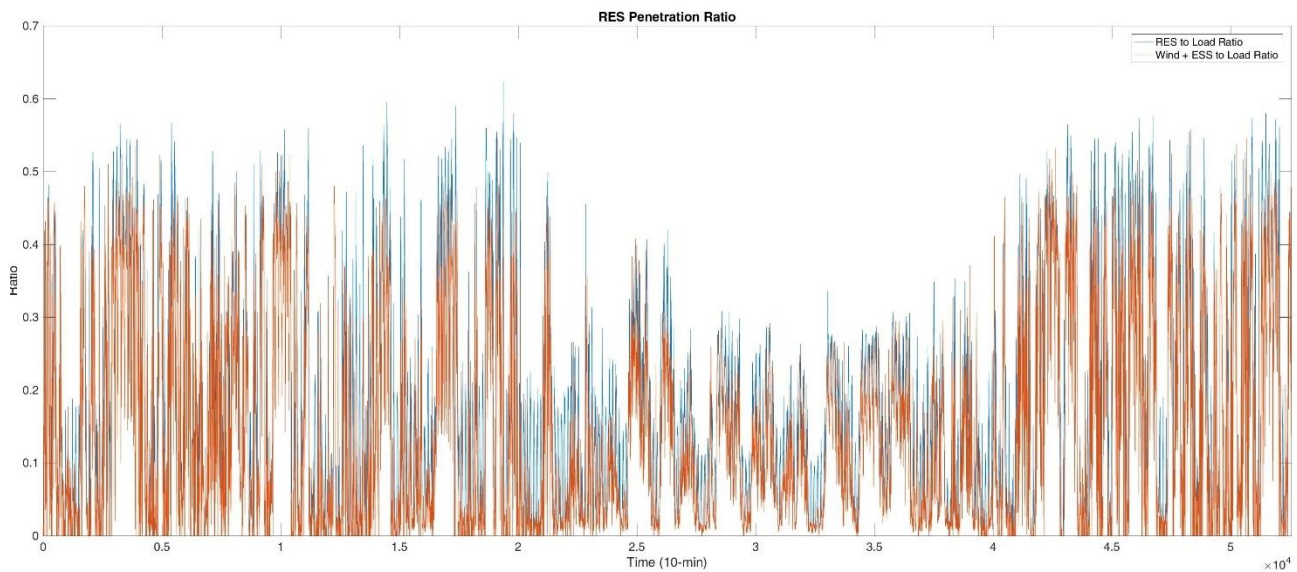
Στο επόμενο διάγραμμα απεικονίζεται η ισχύς που προέρχεται από ΑΠΕ σε σχέση με φορτίο (μπλε), δηλαδή τον αιολικό σταθμό (πορτοκαλί) και τα φωτοβολταϊκά (κίτρινο).

Τεχνοοικονομική βελτιστοποίηση συστήματος συσσωρευτών για αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας  
Αιολικού Σταθμού σε ΜΔΝ



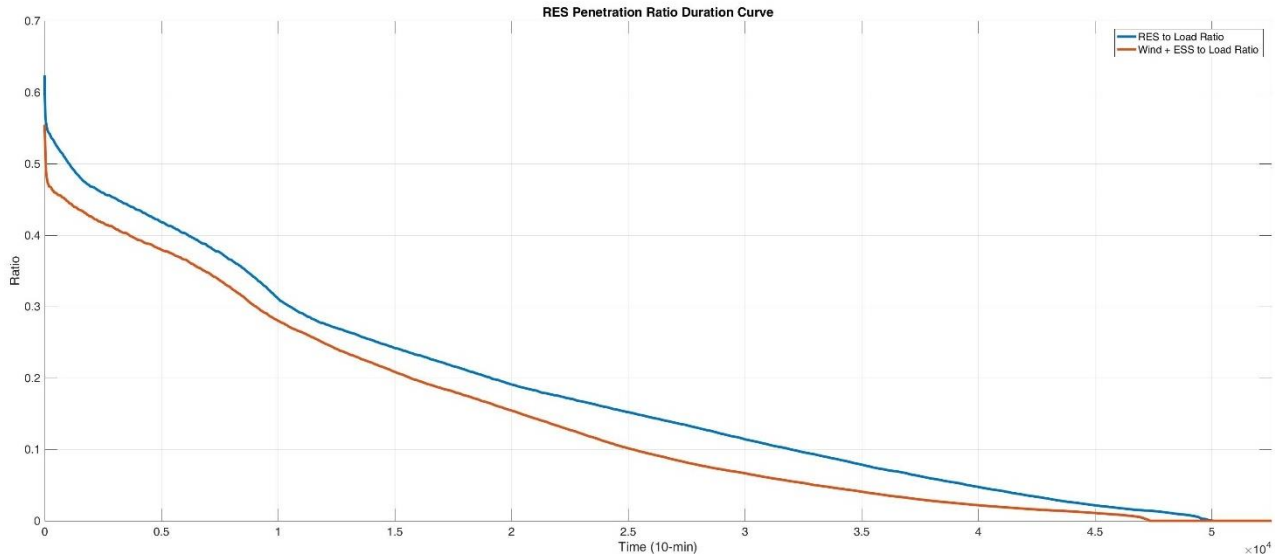
Σχήμα 6-58 Ετήσια Χρονοσειρά Φορτίου προς Αιολική και Φωτοβολταϊκή Παραγωγή Πολιτικής 3 για Α/Γ  
600 kW – 20min πρόβλεψης

Επίσης, στα επόμενα δυο διαγράμματα παρουσιάζεται το ποσοστό διείσδυσης των ΑΠΕ (μπλε γραμμή) και του Σταθμού (πορτοκαλί γραμμή) στη διάρκεια του έτους, τόσο ως χρονοσειρά όσο και ως καμπύλη διάρκειας.



Σχήμα 6-59 Ετήσια Χρονοσειρά Ποσοστού Διείσδυσης Αιολικής Παραγωγής και ΑΠΕ Πολιτικής 3 για Α/Γ  
600 kW – 20min πρόβλεψης





Σχήμα 6-60 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Ποσοστού Διείσδυσης Αιολικής Παραγωγής και ΑΠΕ Πολιτικής 3 για Α/Γ 600 kW – 20min πρόβλεψης

Μερικές χρήσιμες τιμές που μπορούν να εξαχθούν καταγράφονται στον επόμενο πίνακα:

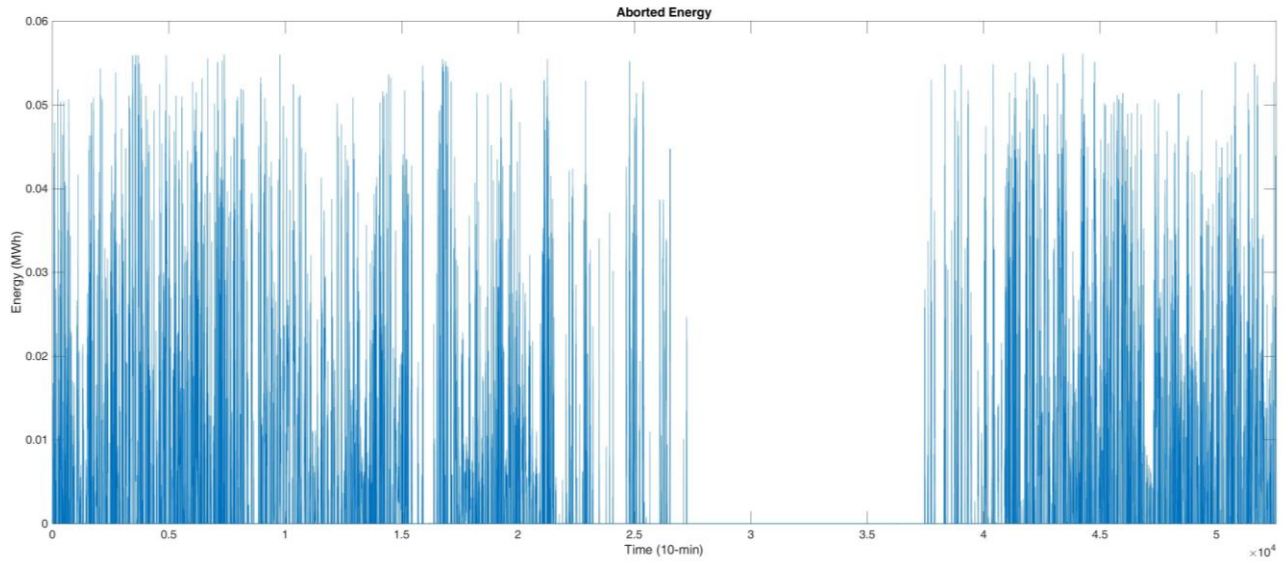
	Ελάχιστο (%)	Μέγιστο (%)	Μέσο (%)
Παραγωγή Σταθμού προς φορτίο	0	55,47	14,19
Συνολική παραγωγή ΑΠΕ προς φορτίο	0	62,37	17,49

Πίνακας 6-50 Τιμές από Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Ποσοστού Διείσδυσης Αιολικής Παραγωγής και ΑΠΕ Πολιτικής 3 για Α/Γ 600 kW – 20min πρόβλεψη

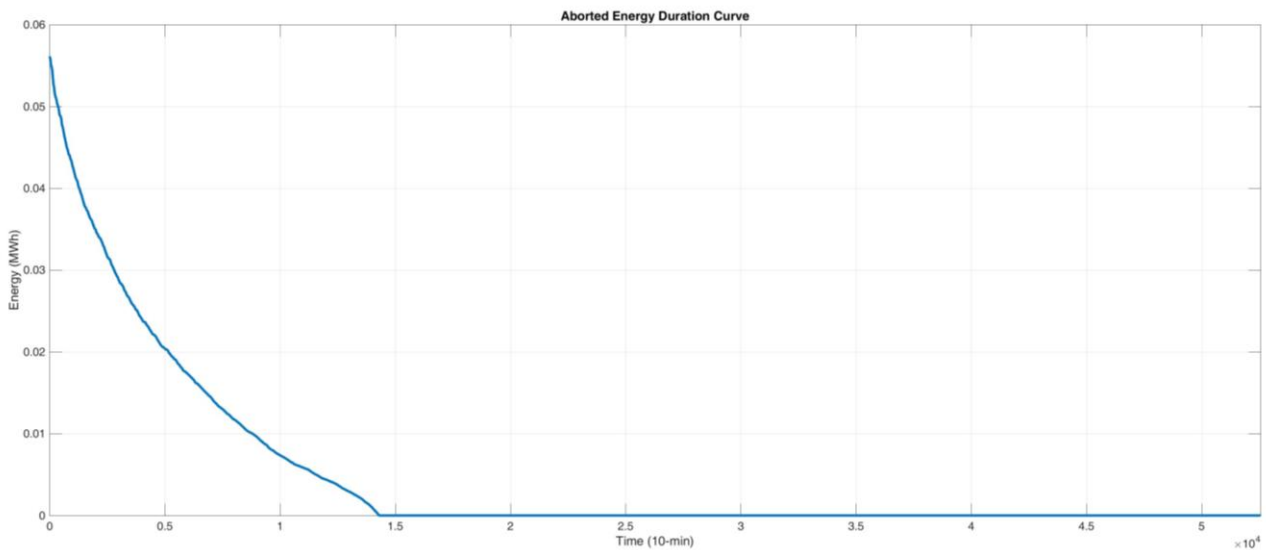
Παρατηρούμε ότι η διείσδυση ΑΠΕ ανεβαίνει σημαντικά σε σχέση με τις 2 προηγούμενες πολιτικές λειτουργίας. Αυτό οφείλεται στην άρση των περιορισμών διείσδυσης που έθεταν χαμηλά το διαθέσιμο περιθώριο διείσδυσης των ΑΠΕ.

Ωστόσο, ακόμα και σε αυτή την πολιτική λειτουργίας ο Σταθμός υπόκειται σε περικοπές ισχύος καθώς πρέπει να τηρούνται τα τεχνικά ελάχιστα των θερμικών μηχανών αλλά και η απαίτηση για ένταξη τουλάχιστον μιας θερμικής μηχανής.

Η χρονοσειρά της απορριπτόμενης ενέργειας καθώς η αντίστοιχη καμπύλη διάρκειας παρουσιάζονται στα επόμενα δυο διαγράμματα.



Σχήμα 6-61 Ετήσια Χρονοσειρά Περικοπών Πολιτικής 3 για Α/Γ 600 kW – 20min πρόβλεψης



Σχήμα 6-62 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Περικοπών Πολιτικής 3 για Α/Γ 600 kW – 20min πρόβλεψης

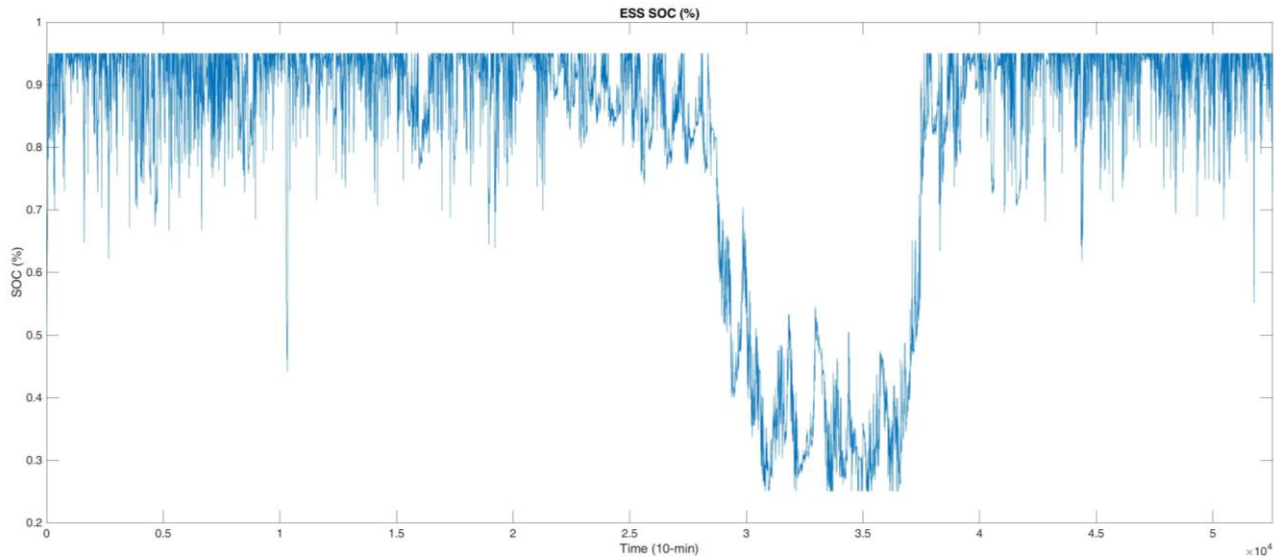
Παρατηρούμε ότι κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού οι περικοπές είναι μηδενικές καθώς έχουμε αρκετά υψηλότερα φορτία που επιτρέπουν την απορρόφηση μερικές μερικές παραγωγής του Σταθμού.

Μερικές χρήσιμες τιμές που προκύπτουν από τα παραπάνω διαγράμματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

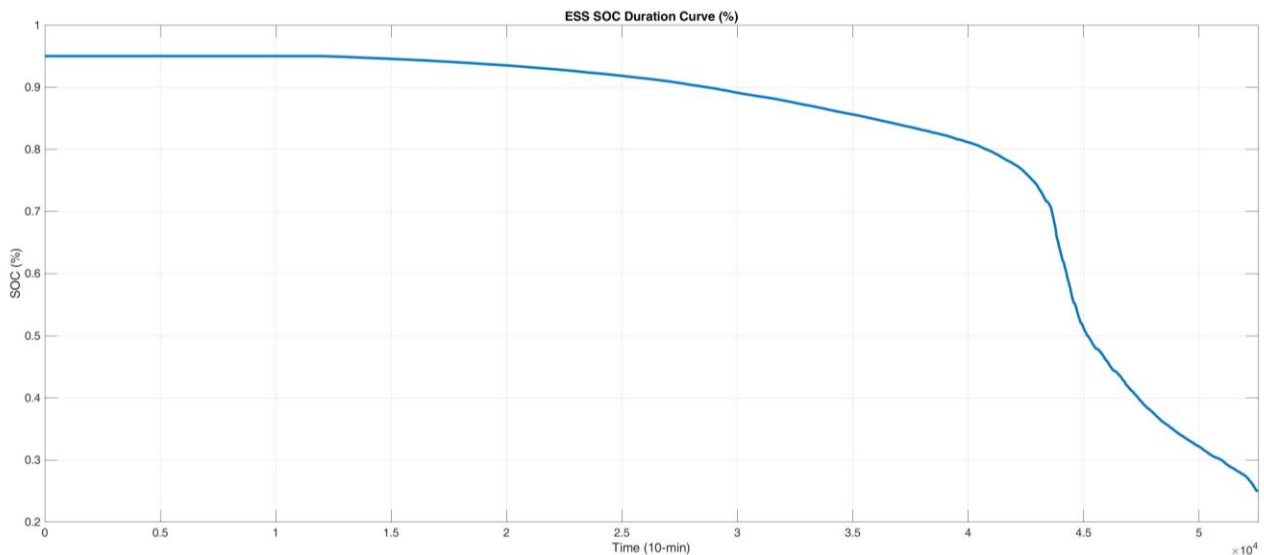
	Σύνολο (MWh)	Μέγιστο (MWh)	Μέσο (MWh)
Περικοπές Ενέργειας	251,52	0,06	0,005

Πίνακας 6-51 Τιμές Ετήσιων Περικοπών Πολιτικής 3 για Α/Γ 600 kW – 20min πρόβλεψη

Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν στοιχεία που αφορούν στη λειτουργία των συσσωρευτών. Στο επόμενο διάγραμμα παρουσιάζεται η στάθμη φόρτισης στη διάρκεια του έτους και αμέσως μετά η ετήσια καμπύλη διάρκειας της στάθμης φόρτισης.



Σχήμα 6-63 Ετήσια Χρονοσειρά Στάθμης Φόρτισης Συσσωρευτών Πολιτικής 3 για Α/Γ 600 kW – 20min πρόβλεψης



Σχήμα 6-64 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Στάθμης Φόρτισης Συσσωρευτών Πολιτικής 3 για Α/Γ 600 kW – 20min πρόβλεψης

Παρατηρούμε ότι το καλοκαίρι που έχουμε την μόνη περίοδο που μειώνεται σημαντικά το επίπεδο φόρτισης των συσσωρευτών. Αυτό προκύπτει επειδή έχουμε μεγάλο φορτίο και άρα δεν υπάρχουν περικοπές ενέργειας από το Σταθμό. Αυτό σημαίνει ότι δεν

κατευθύνονται μεγάλα ποσά ενέργειας προς τους συσσωρευτές. Στην ουσία οι συσσωρευτές απορροφούν και αποδίδουν συνεχώς μικρά ποσά ενέργειας που οφείλονται στα μικρά σφάλματα πρόβλεψης κατά τη διάρκεια του 20λέπτου. Επομένως το επίπεδο φόρτισής τους παραμένει χαμηλά και είναι έντονα μεταβαλλόμενο.

Η μέση στάθμη φόρτισης των συσσωρευτών είναι ίση με 81,87%, ενώ στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται κάποιες επιπλέον χρήσιμες τιμές για το επίπεδο φόρτισης των συσσωρευτών.

Πλήθος 10-min	
Μέγιστη Στάθμη Φόρτισης	11074 (21,07%)
Ελάχιστη Στάθμη Φόρτισης	70 (13,32%)
Ενδιάμεση Στάθμη Φόρτισης	41416 (78,8%)

Πίνακας 6-52 Τιμές από Ετήσια Χρονοσειρά Στάθμης Φόρτισης Συσσωρευτών Πολιτικής 3 για Α/Γ 600 kW – 20min πρόβλεψης

Είναι προφανές ότι οι συσσωρευτές λειτουργούν το 80% του έτους, αλλά εκτελούν πολύ μικρές συναλλαγές ενέργειας λόγω του μικρού διαστήματος πρόβλεψης.

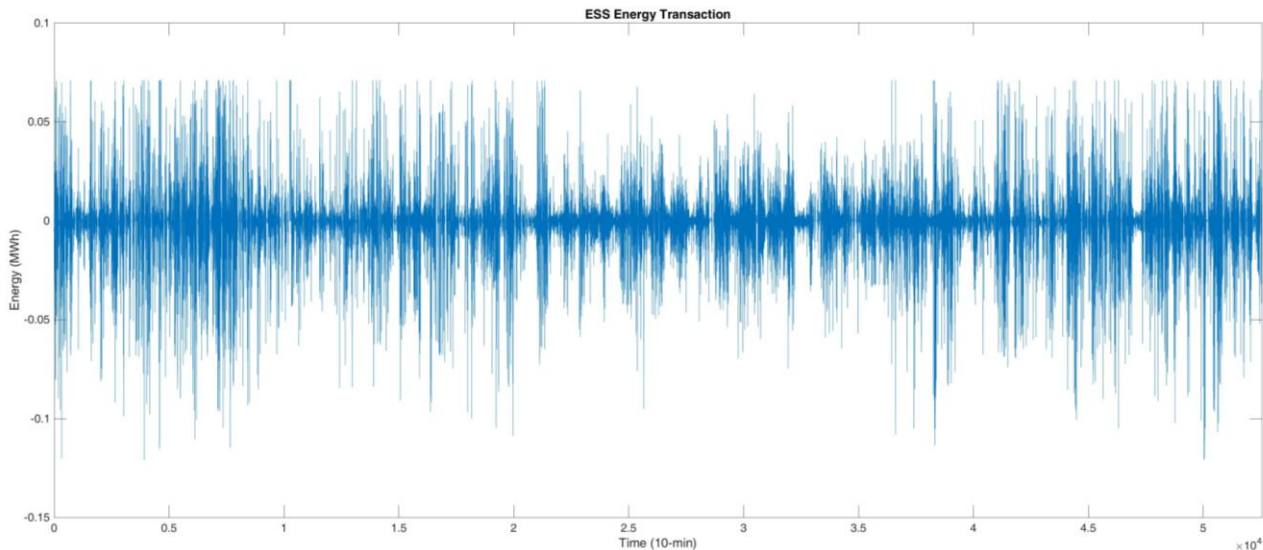
Για να κατανοήσουμε τη ροή ενέργειας από και προς τους συσσωρευτές, μπορούμε να παρατηρήσουμε τον επόμενο πίνακα στον οποίο παρουσιάζεται η κατάσταση των συσσωρευτών καθώς και οι περιορισμοί που επιβάλλονται στην χρήση τους κατά τη διάρκεια του έτους.

		10 – min	Ποσοστό Χρόνου
Εκφόρτιση	Κανένας περιορισμός	21037	99,26%
	Περιορισμός Χωρητικότητας	38	0,18%
	Περιορισμός Ισχύος Συσσωρευτών	0	0%
	Εκφορτισμένοι Συσσωρευτές	118	0,56%
	<b>Σύνολο</b>	<b>21193</b>	<b>100%</b>
Φόρτιση	Κανένας περιορισμός	20296	64,7%
	Περιορισμός Χωρητικότητας	2282	7,28%
	Περιορισμός Ισχύος Συσσωρευτών	0	0%
	Φορτισμένοι Συσσωρευτές	8789	28,02%
	<b>Σύνολο</b>	<b>31367</b>	<b>100%</b>

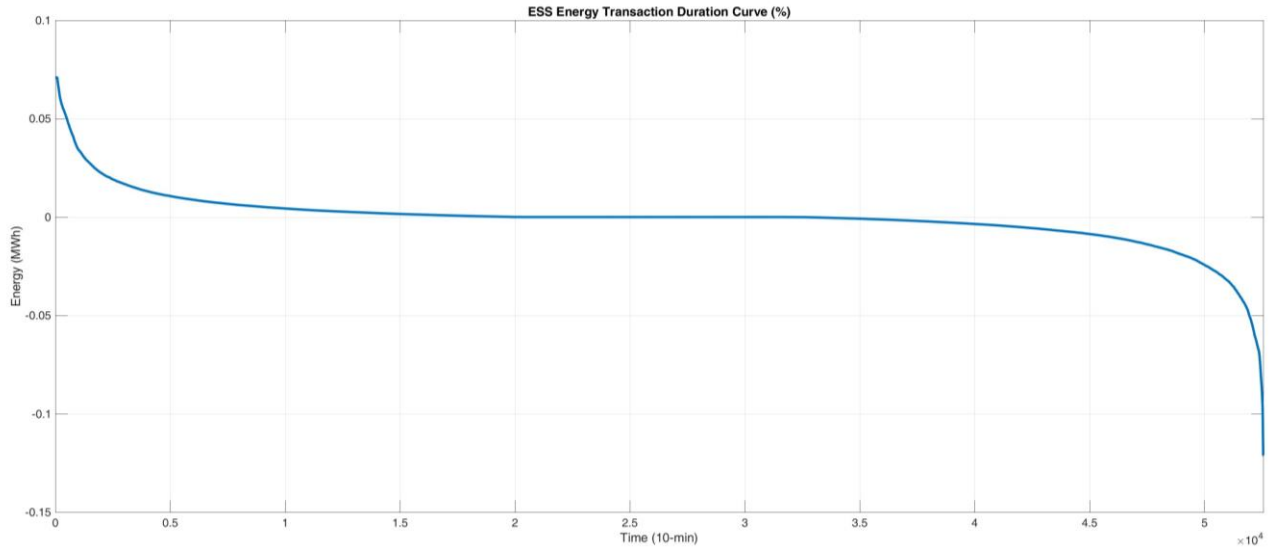
Πίνακας 6-53 Όρια Ενεργειακής Συναλλαγής Συσσωρευτών Πολιτικής 3 για Α/Γ 600 kW – 20min πρόβλεψης

Παρατηρούμε ότι κατά κύριο λόγο η λειτουργία των συσσωρευτών δεν υπόκειται σε περιορισμούς, πέρα από κάποιες στιγμές που είναι πλήρως φορτισμένοι. Αυτό συμβαίνει κυρίως τις στιγμές που έχουμε περικοπές φορτίου, άρα στους συσσωρευτές οδηγείται όχι μόνο η διαφορά μεταξύ πρόβλεψης και πραγματικής παραγωγής του πάρκου, αλλά και η ενέργεια που απορρίπτει ο Διαχειριστής. Επομένως είναι λογικό οι στιγμές που οι συσσωρευτές είναι πλήρεις να είναι περισσότερες από τις στιγμές που οι συσσωρευτές είναι εκφορτισμένοι.

Επιπλέον, μπορούμε να δούμε στα παρακάτω δυο διαγράμματα τη ροή ενέργεια από και προς τους συσσωρευτές, τόσο με τη μορφή χρονοσειράς όσο και με τη μορφή καμπύλης διάρκειας για ένα έτος.



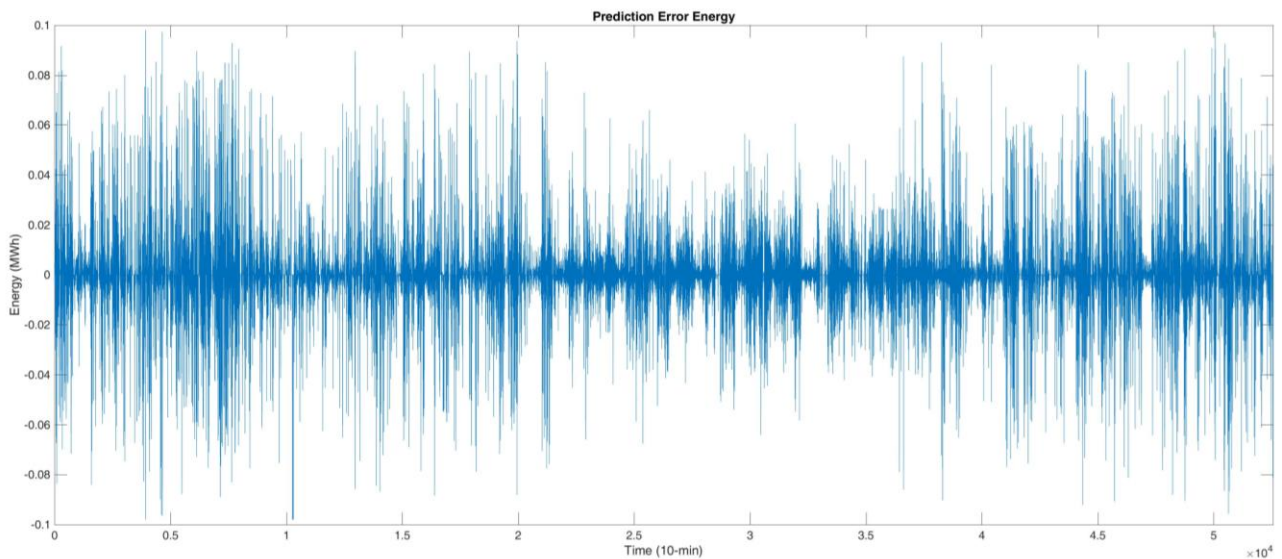
Σχήμα 6-65 Ετήσια Χρονοσειρά Ροής Ενέργειας Συσσωρευτών Πολιτικής 3 για Α/Γ 600 kW – 20min πρόβλεψης



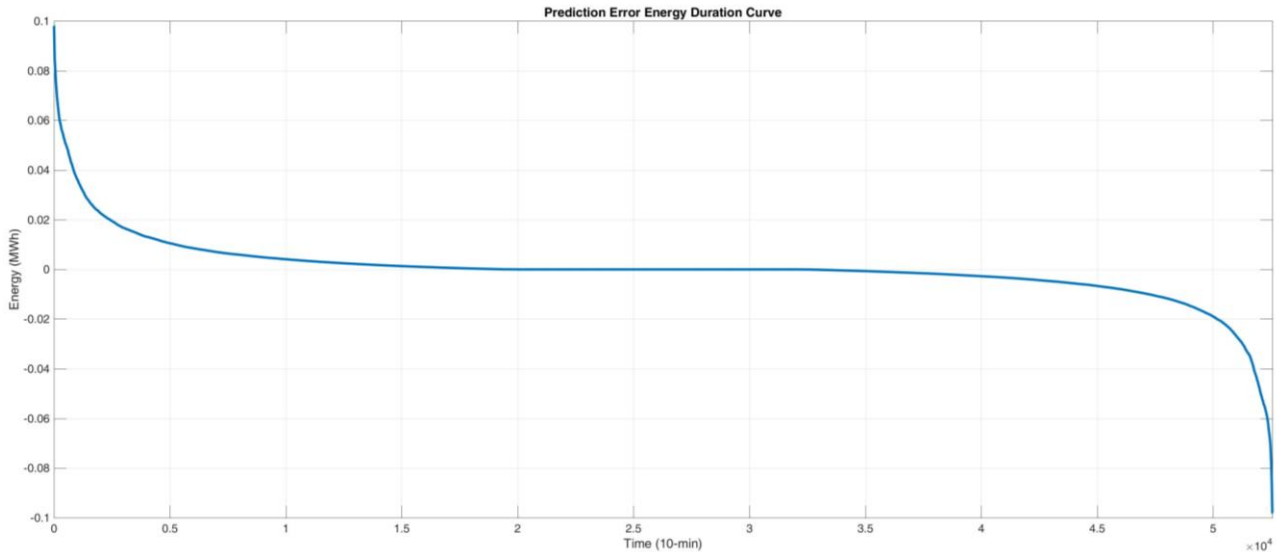
Σχήμα 6-66 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Ροής Ενέργειας Συσσωρευτών Πολιτικής 3 για Α/Γ 600 kW – 20min πρόβλεψης

Στη συνέχεια θα μελετήσουμε τα μεγέθη που αφορούν στην πρόβλεψη της αιολικής παραγωγής και πώς αυτή επηρεάζει τη λειτουργία του σταθμού.

Στα παρακάτω δυο διαγράμματα παρουσιάζεται η απόκλιση μεταξύ πρόβλεψης και πραγματικής παραγωγής του Σταθμού, τόσο ως ετήσια χρονοσειρά, όσο και ως καμπύλη διάρκειας.



Σχήμα 6-67 Ετήσια Χρονοσειρά Απόκλισης Πρόβλεψης Πολιτικής 3 για Α/Γ 600 kW – 20min πρόβλεψης



Σχήμα 6-68 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Απόκλισης Πρόβλεψης Πολιτικής 3 για Α/Γ 600 kW – 20min πρόβλεψης

Συμπληρωματικά των παραπάνω διαγραμμάτων μπορούμε να αποτυπώσουμε ορισμένες χρήσιμες τιμές στον επόμενο πίνακα:

	Σύνολο (MWh)	Ποσοστό (%) επί της ενέργειας πρόβλεψης	Μέγιστη τιμή (MWh)	Μέση τιμή (MWh)
Απόκλιση πρόβλεψης – παραγωγής	355,64	17,14		
Απόκλιση φόρτισης (Παραγωγή > Πρόβλεψη)	176,92	8,52	0.098	0.009
Απόκλιση εκφόρτισης (Παραγωγή < Πρόβλεψη)	178,72	8,61	0.098	0.009

Πίνακας 6-54 Τιμές Απόκλισης Πρόβλεψης Πολιτικής 3 για Α/Γ 600 kW – 20min πρόβλεψη

Παρατηρούμε ότι το πρόσημο των αποκλίσεων είναι μοιρασμένο 50 – 50 ανάμεσα σε αποκλίσεις που οδηγούν σε φόρτιση και αποκλίσεις που οδηγούν σε εκφόρτιση.

Το ποσοστό των αποκλίσεων δεν είναι ιδιαίτερα υψηλό και όπως βλέπουμε οι συσσωρευτές είναι σε θέση να το διαχειριστούν με επιτυχία

Όταν έχουμε μια απόκλιση που οδηγεί σε εκφόρτιση τότε δεν είναι πάντα δεδομένο ότι οι συσσωρευτές θα ανταποκριθούν και θα προσφέρουν την ενέργεια που απαιτείται. Αν μάλιστα στο τέλος η διαφορά μεταξύ της ενέργειας που είχε υποσχεθεί ο Σταθμός και της ενέργειας που τελικά προσέφερε είναι μεγαλύτερη του 10% της υποσχεθείσας, τότε επιβάλλεται στον Σταθμό πρόστιμο, το οποίο στο πλαίσιο της παρούσας Μεταπτυχιακής

τιμολογείται με 150 € / MWh. Αυτή η χρέωση ονομάζεται Χρέωση Απόκλισης Φορτίου (ΧΑΦ). Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται τα μεγέθη που αφορούν στις αδυναμίες κάλυψης της πρόβλεψης αλλά και το πόσες από αυτές τις αδυναμίες χρεώνονται στον Σταθμό.

	Σύνολο (MWh)	Ποσοστό (%) επί της ενέργειας πρόβλεψης	Μέγιστη τιμή (MWh)	Μέση τιμή (MWh)
Αδυναμία Κάλυψης Απόκλισης Πρόβλεψης	1,41	0,07	0,0334	0,0091
Χρέωση Απόκλισης Φορτίου	0,37	0,018	0,0334	0,0081

Πίνακας 6-55 Τιμές Αδυναμίας Κάλυψης της Απόκλισης Πρόβλεψης Πολιτικής 3 για Α/Γ 600 kW – 20min πρόβλεψης

Η συνολική Χρέωση Απόκλισης Φορτίου ανέρχεται σε 56 € και προκύπτει στο 26,44% των 10 min που έχουμε αδυναμία κάλυψης της απόκλισης πρόβλεψης. Φυσικά το ποσό είναι αμελητέο και δεν επηρεάζει καθόλου την οικονομική απόδοση του έργου.

### 6.3.2 Ανεμογεννήτρια 900 kW – Συσσωρευτές 0.99 MW/1.49 MWh – 20 min πρόβλεψης

<b>Εγχεόμενη ενέργεια από την ανεμογεννήτρια (MWh)</b>	2717,57 (92,11% της εγχεόμενης)
<b>Εγχεόμενη ενέργεια από συσσωρευτές (MWh)</b>	232,96 (7,89% της εγχεόμενης)
<b>Συνολικά εγχεόμενη ενέργεια (MWh)</b>	2950,35 (19,81% του φορτίου)
<b>Απορριπτόμενη ενέργεια (MWh)</b>	538,43
<b>Συντελεστής Χρησιμοποίησης Σταθμού (%)</b>	37,42
<b>Συνολική Παραγωγή ΑΠΕ (MWh)</b>	3485,83 (23,11% του φορτίου)
<b>Μέσο SOC συσσωρευτών (%)</b>	86,3%
<b>ΧΑΦ</b>	0 € για 0 MWh
<b>Συνολικό κόστος (€)</b>	2398500
<b>IRR για 100% ίδια κεφάλαια (%)</b>	3,94

Πίνακας 6-56 Αποτελέσματα Πολιτικής 3 για Α/Γ 900 kW – 20min πρόβλεψης

Στον επόμενο πίνακα απεικονίζονται οι χρηματοροές του έργου για μια περίοδο 20-ετίας.

Έτος	Τιμή πώλησης (€ / kWh)	Έσοδα (€)	Συντήρηση (1% κόστους)	Λειτουργικά (1% κόστους)	Repowering (€)	Τιμή ΧΑΦ (€/MWh)	ΧΑΦ (€)	Φόρος (€)	Καθαρά Κέρδη (€)
0	100,00	-2398500,00							-2398500,00
1	100,00	295035,00	23985,00	23985,00	0,00	150,00	751,50	61578,38	184735,13
2	100,80	297395,28	24704,55	24704,55	0,00	151,20	757,51	61807,17	185421,50



Τεχνοοικονομική βελτιστοποίηση συστήματος συσσωρευτών για αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας  
Αιολικού Σταθμού σε ΜΔΝ

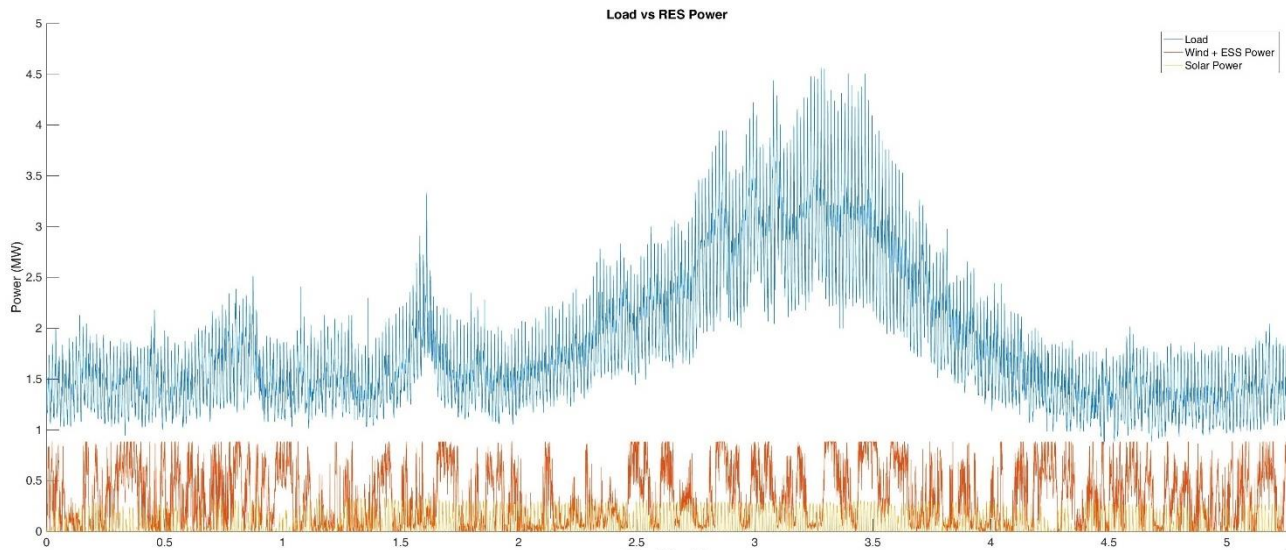
3	101,61	299774,44	25445,69	25445,69	0,00	152,41	763,57	62029,87	186089,62
4	102,42	302172,64	26209,06	26209,06	0,00	153,63	769,68	62246,21	186738,63
5	103,24	304590,02	26995,33	26995,33	0,00	154,86	775,84	62455,88	187367,64
6	104,06	307026,74	27805,19	27805,19	0,00	156,10	782,04	62658,58	187975,74
7	104,90	309482,95	28639,34	28639,34	0,00	157,35	788,30	62853,99	188561,97
8	105,74	311958,82	29498,52	29498,52	0,00	158,60	794,61	63041,79	189125,37
9	106,58	314454,49	30383,48	30383,48	0,00	159,87	800,96	63221,64	189664,92
10	107,43	316970,12	31294,98	31294,98	371250,00	161,15	807,37	-29419,30	-88257,91
11	108,29	319505,88	32233,83	32233,83	0,00	162,44	813,83	63556,10	190668,29
12	109,16	322061,93	33200,85	33200,85	0,00	163,74	820,34	63709,97	191129,92
13	110,03	324638,43	34196,87	34196,87	0,00	165,05	826,90	63854,44	191563,33
14	110,91	327235,53	35222,78	35222,78	0,00	166,37	833,52	63989,11	191967,34
15	111,80	329853,42	36279,46	36279,46	0,00	167,70	840,19	64113,58	192340,73
16	112,70	332492,25	37367,85	37367,85	0,00	169,04	846,91	64227,41	192682,23
17	113,60	335152,18	38488,88	38488,88	0,00	170,40	853,68	64330,18	192990,55
18	114,51	337833,40	39643,55	39643,55	0,00	171,76	860,51	64421,45	193264,34
19	115,42	340536,07	40832,86	40832,86	0,00	173,13	867,40	64500,74	193502,22
20	116,35	343260,36	42057,84	42057,84	0,00	174,52	874,34	64567,58	193702,75
	Σύνολο	6371429,95	644485,93	644485,93	371250,00	3239,33	16229,02	1173744,76	3521234,29
	<b>Επιτόκιο αναγωγής</b>	<b>Συνολικό κόστος (€)</b>	<b>Ίδια κεφάλαια (€)</b>	<b>Δάνειο (€)</b>	<b>IRR</b>	<b>Παραγόμενη Ενέργεια (MWh)</b>	<b>Απόκλιση Φορτίου (MWh)</b>	<b>NPV</b>	
	0,07	2398500	2398500,00	0,00	3,94%	2950,35	5,01	-503.435,51	

*Πίνακας 6-57 Χρηματορρέες Πολιτικής 3 για Α/Γ 900 kW – 20min πρόβλεψη*

Παρατηρούμε ότι η επένδυση έχει θετικό IRR, αλλά αρνητική καθαρή παρούσα αξία καθώς το IRR είναι μικρότερο από το επιτόκιο αναγωγής. Πιθανότατα με μια μικρή μείωση του κόστους της επένδυσης ή με αύξηση της τιμής αποζημίωσης για την πωλούμενη ενέργεια να παρουσιάσει θετική καθαρή παρούσα αξία.

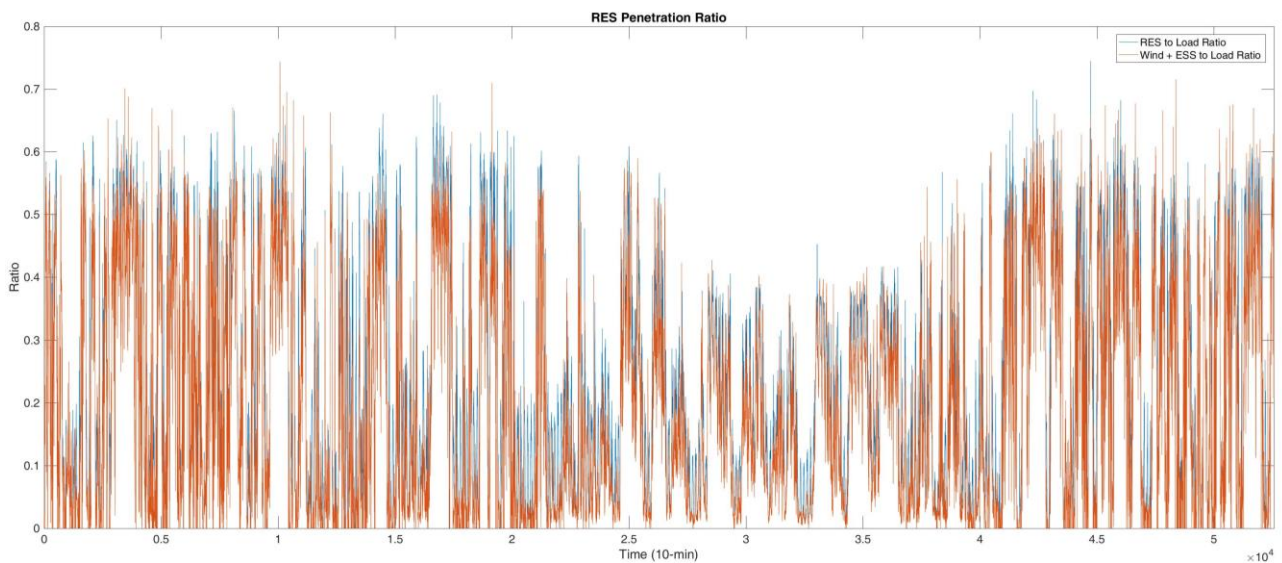
Στο επόμενο διάγραμμα απεικονίζεται η ισχύς που προέρχεται από ΑΠΕ σε σχέση με φορτίο (μπλε), δηλαδή τον αιολικό σταθμό (πορτοκαλί) και τα φωτοβολταϊκά (κίτρινο).

Τεχνοοικονομική βελτιστοποίηση συστήματος συσσωρευτών για αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας  
Αιολικού Σταθμού σε ΜΔΝ

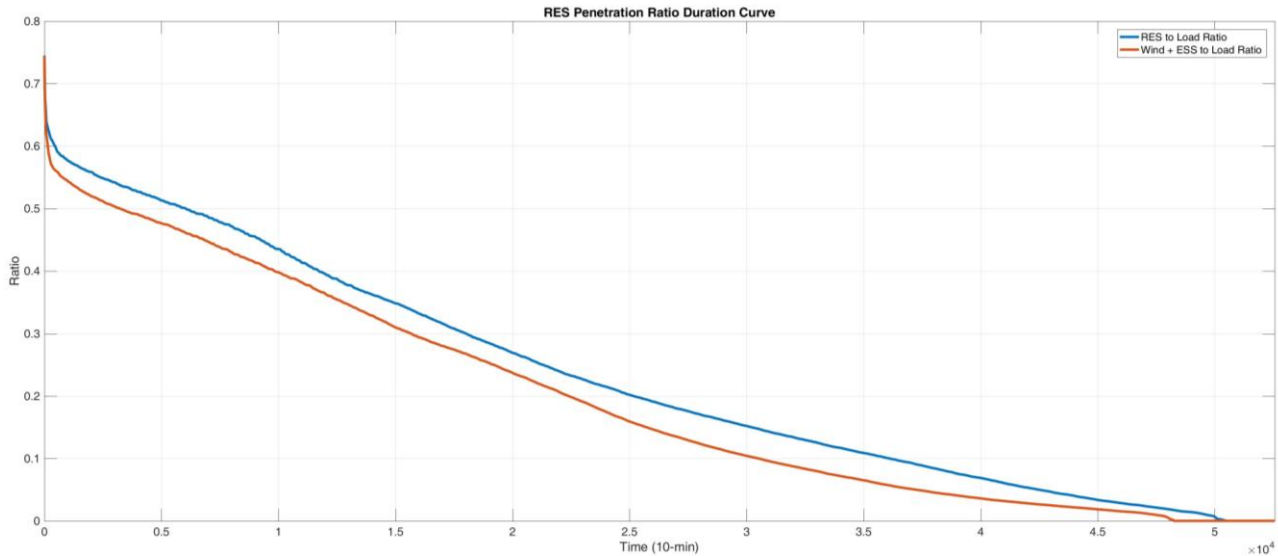


Σχήμα 6-69 Ετήσια Χρονοσειρά Φορτίου προς Αιολική και Φωτοβολταϊκή Παραγωγή Πολιτικής 3 για Α/Γ 900 kW – 20min πρόβλεψης

Επίσης, στα επόμενα δυο διαγράμματα παρουσιάζεται το ποσοστό διείσδυσης των ΑΠΕ (μπλε γραμμή) και του Σταθμού (πορτοκαλί γραμμή) στη διάρκεια του έτους, τόσο ως χρονοσειρά όσο και ως καμπύλη διάρκειας.



Σχήμα 6-70 Ετήσια Χρονοσειρά Ποσοστού Διείσδυσης Αιολικής Παραγωγής και ΑΠΕ Πολιτικής 3 για Α/Γ 900 kW – 20min πρόβλεψης



Σχήμα 6-71 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Ποσοστού Διείσδυσης Αιολικής Παραγωγής και ΑΠΕ Πολιτικής 3 για Α/Γ 900 kW – 20min πρόβλεψης

Μερικές χρήσιμες τιμές που μπορούν να εξαχθούν καταγράφονται στον επόμενο πίνακα:

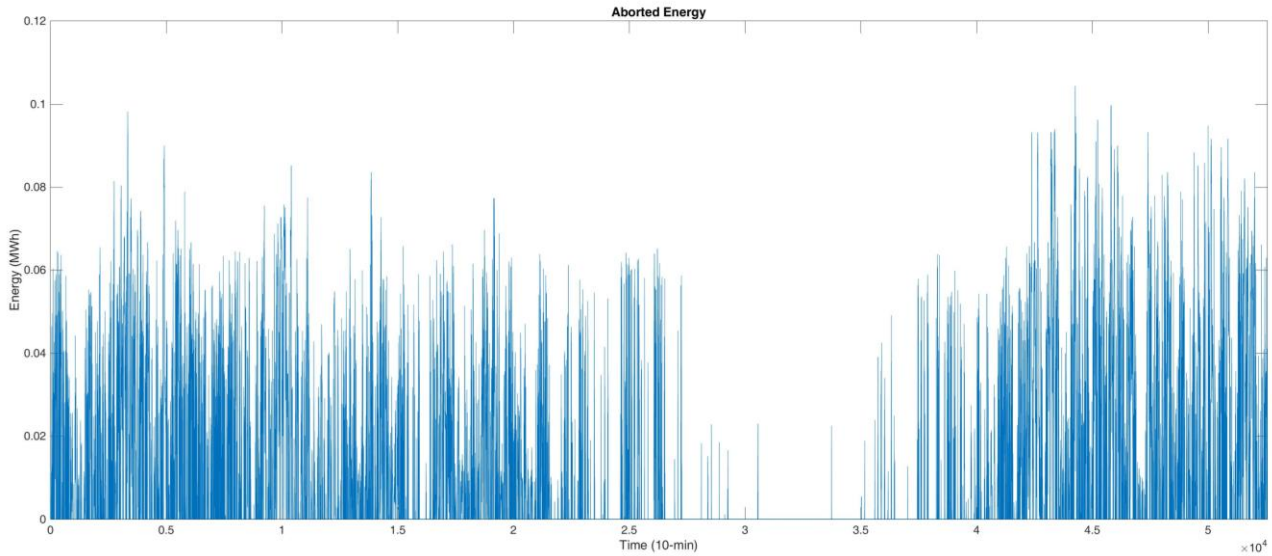
	Ελάχιστο (%)	Μέγιστο (%)	Μέσο (%)
Παραγωγή Σταθμού προς φορτίο	0	74,38	19,81
Συνολική παραγωγή ΑΠΕ προς φορτίο	0	74,78	23,11

Πίνακας 6-58 Τιμές από Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Ποσοστού Διείσδυσης Αιολικής Παραγωγής και ΑΠΕ Πολιτικής 3 για Α/Γ 900 kW – 20min πρόβλεψη

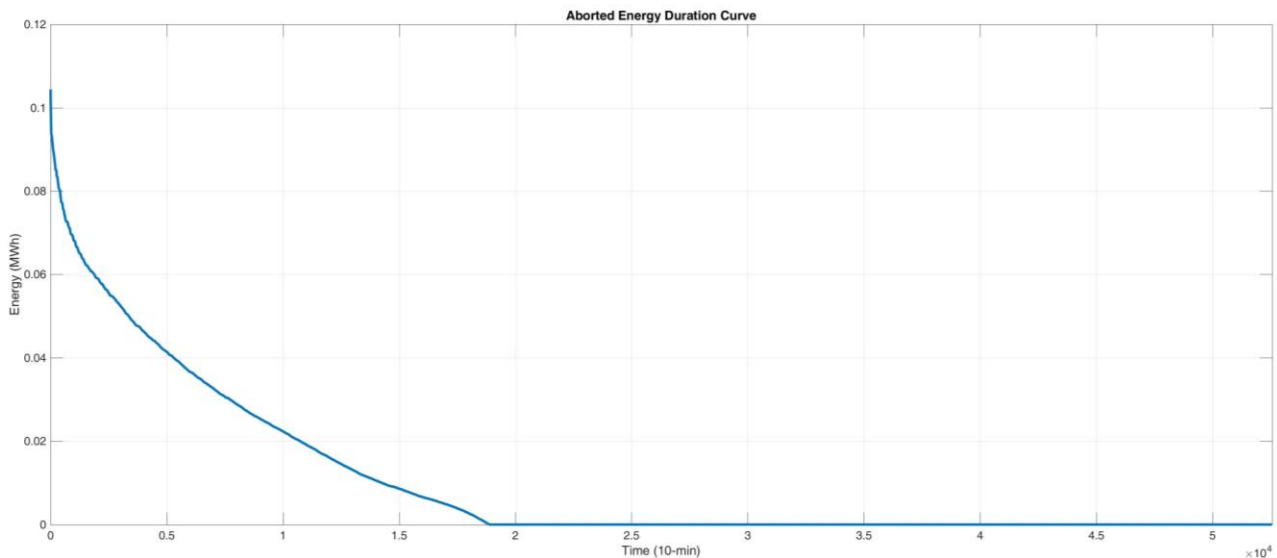
Παρατηρούμε ότι η διείσδυση ΑΠΕ ανεβαίνει σημαντικά σε σχέση με τις 2 προηγούμενες πολιτικές λειτουργίας. Αυτό οφείλεται στην άρση των περιορισμών διείσδυσης που έθεταν χαμηλά το διαθέσιμο περιθώριο διείσδυσης των ΑΠΕ.

Ωστόσο, ακόμα και σε αυτή την πολιτική λειτουργίας ο Σταθμός υπόκειται σε περικοπές ισχύος καθώς πρέπει να τηρούνται τα τεχνικά ελάχιστα των θερμικών μηχανών αλλά και η απαίτηση για ένταξη τουλάχιστον μιας θερμικής μηχανής.

Η χρονοσειρά της απορριπτόμενης ενέργειας καθώς η αντίστοιχη καμπύλη διάρκειας παρουσιάζονται στα επόμενα δυο διαγράμματα.



Σχήμα 6-72 Ετήσια Χρονοσειρά Περικοπών Πολιτικής 3 για Α/Γ 900 kW – 20min πρόβλεψης



Σχήμα 6-73 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Περικοπών Πολιτικής 3 για Α/Γ 900 kW – 20min πρόβλεψης

Παρατηρούμε ότι κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού οι περικοπές είναι μηδενικές καθώς έχουμε αρκετά υψηλότερα φορτία που επιτρέπουν την απορρόφηση όλης της παραγωγής του Σταθμού.

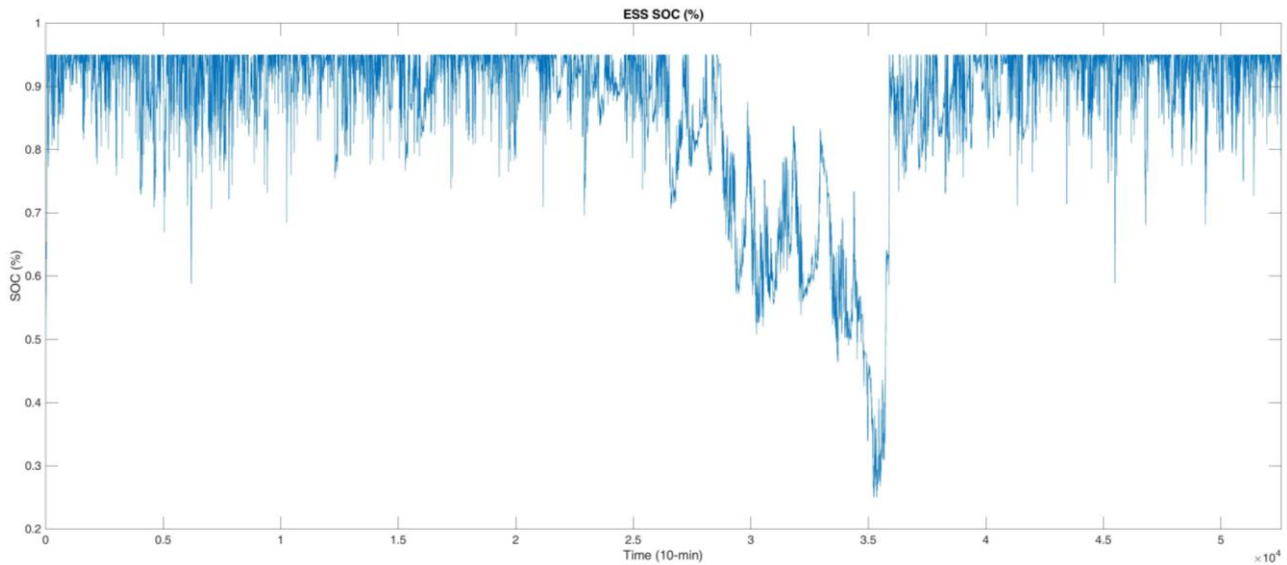
Μερικές χρήσιμες τιμές που προκύπτουν από τα παραπάνω διαγράμματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

	Σύνολο (MWh)	Μέγιστο (MWh)	Μέσο (MWh)
Περικοπές Ενέργειας	538.43	0.1	0.01

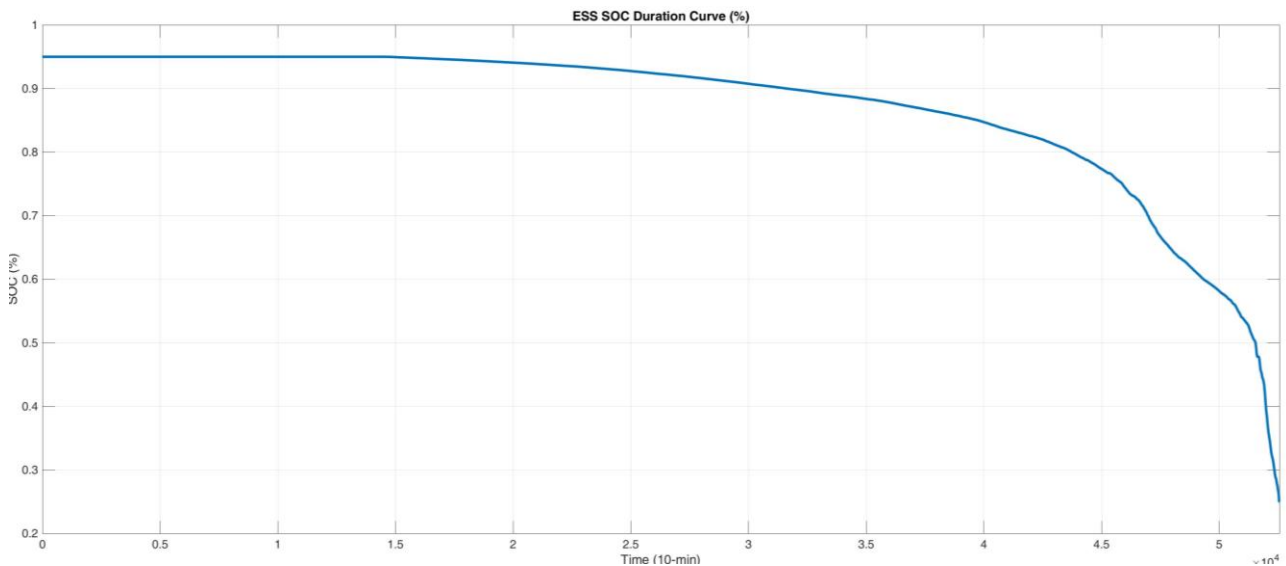
Πίνακας 6-59 Τιμές Ετήσιων Περικοπών Πολιτικής 3 για Α/Γ 600 kW – 20min πρόβλεψ

Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν στοιχεία που αφορούν στη λειτουργία των συσσωρευτών.

Στο επόμενο διάγραμμα παρουσιάζεται η στάθμη φόρτισης στη διάρκεια του έτους και αμέσως μετά η ετήσια καμπύλη διάρκειας της στάθμης φόρτισης.



Σχήμα 6-74 Ετήσια Χρονοσειρά Στάθμης Φόρτισης Συσσωρευτών Πολιτικής 3 για Α/Γ 900 kW – 20min πρόβλεψης



Σχήμα 6-75 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Στάθμης Φόρτισης Συσσωρευτών Πολιτικής 3 για Α/Γ 900 kW – 20min πρόβλεψης

Παρατηρούμε ότι το καλοκαίρι που έχουμε την μόνη περίοδο που μειώνεται σημαντικά το επίπεδο φόρτισης των συσσωρευτών. Αυτό προκύπτει επειδή έχουμε μεγάλο φορτίο και

άρα δεν υπάρχουν περικοπές ενέργειας από το Σταθμό. Αυτό σημαίνει ότι δεν κατευθύνονται μεγάλα ποσά ενέργειας προς τους συσσωρευτές. Στην ουσία οι συσσωρευτές απορροφούν και αποδίδουν συνεχώς μικρά ποσά ενέργειας που οφείλονται στα μικρά σφάλματα πρόβλεψης κατά τη διάρκεια του 20λέπτου. Επομένως το επίπεδο φόρτισής τους παραμένει χαμηλά και είναι έντονα μεταβαλλόμενο.

Η μέση στάθμη φόρτισης των συσσωρευτών είναι ίση με 86,3%, ενώ στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται κάποιες επιπλέον χρήσιμες τιμές για το επίπεδο φόρτισης των συσσωρευτών.

Πλήθος 10-min	
Μέγιστη Στάθμη Φόρτισης	6061 (11,53%)
Ελάχιστη Στάθμη Φόρτισης	422 (0,8%)
Ενδιάμεση Στάθμη Φόρτισης	46077 (87,67%)

Πίνακας 6-60 Τιμές από Ετήσια Χρονοσειρά Στάθμης Φόρτισης Συσσωρευτών Πολιτικής 3 για Α/Γ 900 kW – 20min πρόβλεψη

Είναι προφανές ότι οι συσσωρευτές λειτουργούν σχεδόν το 90% του έτους, αλλά εκτελούν πολύ μικρές συναλλαγές ενέργειας λόγω του μικρού διαστήματος πρόβλεψης.

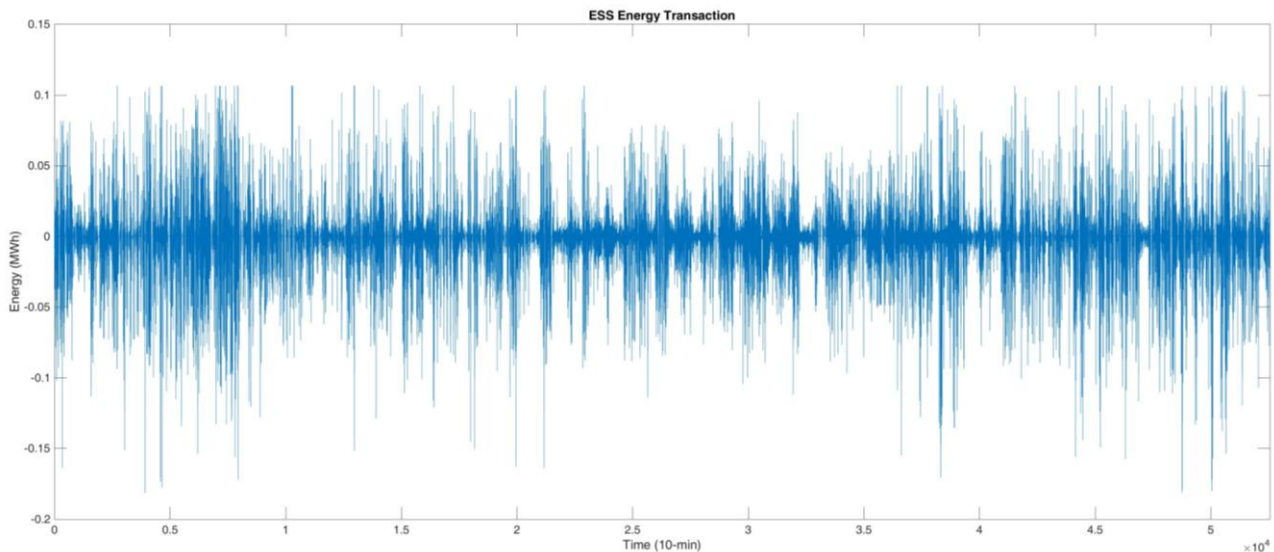
Για να κατανοήσουμε τη ροή ενέργειας από και προς τους συσσωρευτές, μπορούμε να παρατηρήσουμε τον επόμενο πίνακα στον οποίο παρουσιάζεται η κατάσταση των συσσωρευτών καθώς και οι περιορισμοί που επιβάλλονται στην χρήση τους κατά τη διάρκεια του έτους.

		10 – min	Ποσοστό Χρόνου
Εκφόρτιση	Κανένας περιορισμός	25469	98,19
	Περιορισμός Χωρητικότητας	97	0,38%
	Περιορισμός Ισχύος Συσσωρευτών	0	0%
	Εκφορτισμένοι Συσσωρευτές	370	1,43%
	<b>Σύνολο</b>	<b>25936</b>	<b>100%</b>
Φόρτιση	Κανένας περιορισμός	20564	77,24%
	Περιορισμός Χωρητικότητας	910	3,42%
	Περιορισμός Ισχύος Συσσωρευτών	0	0%
	Φορτισμένοι Συσσωρευτές	5150	19,34%
	<b>Σύνολο</b>	<b>26624</b>	<b>100%</b>

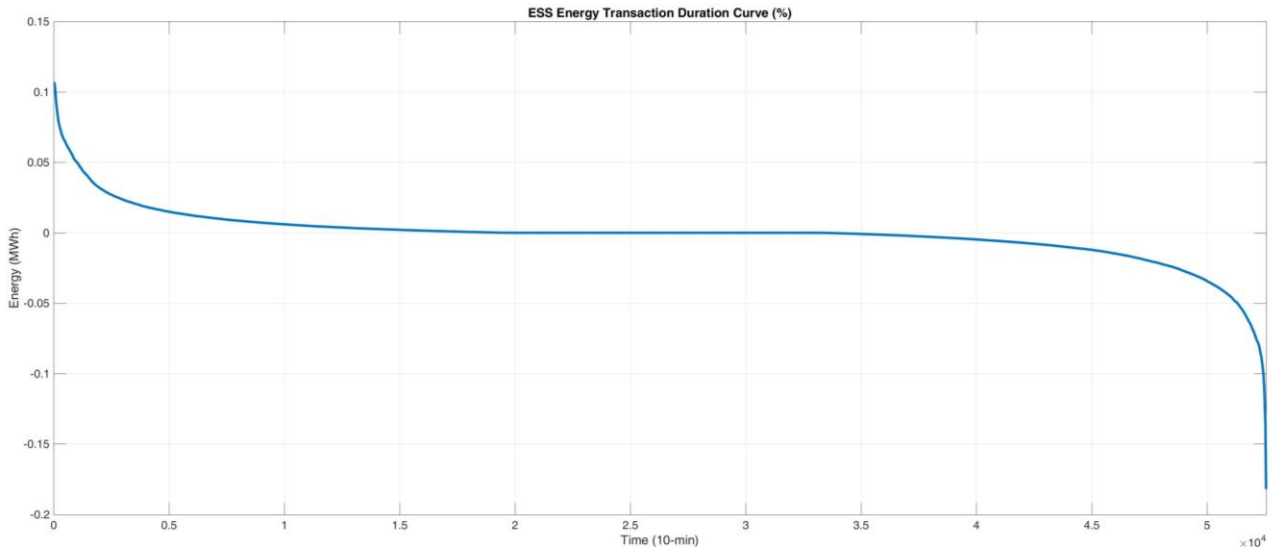
Πίνακας 6-61 Όρια Ενεργειακής Συναλλαγής Συσσωρευτών Πολιτικής 3 για Α/Γ 900 kW – 20min πρόβλεψη

Παρατηρούμε ότι κατά κύριο λόγο η λειτουργία των συσσωρευτών δεν υπόκειται σε περιορισμούς, πέρα από κάποιες στιγμές που είναι πλήρως φορτισμένοι. Αυτό συμβαίνει κυρίως τις στιγμές που έχουμε περικοπές φορτίου, άρα στους συσσωρευτές οδηγείται όχι μόνο η διαφορά μεταξύ πρόβλεψης και πραγματικής παραγωγής του πάρκου, αλλά και η ενέργεια που απορρίπτει ο Διαχειριστής. Επομένως είναι λογικό οι στιγμές που οι συσσωρευτές είναι πλήρεις να είναι περισσότερες από τις στιγμές που οι συσσωρευτές είναι εκφορτισμένοι.

Επιπλέον, μπορούμε να δούμε στα παρακάτω δυο διαγράμματα τη ροή ενέργεια από και προς τους συσσωρευτές, τόσο με τη μορφή χρονοσειράς όσο και με τη μορφή καμπύλης διάρκειας για ένα έτος.



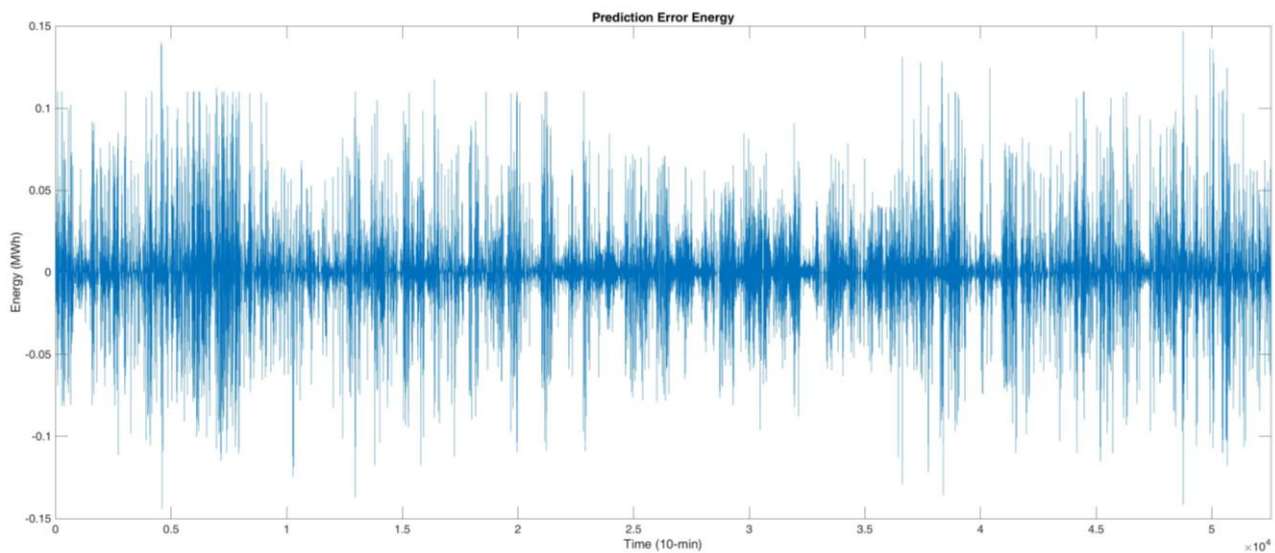
Σχήμα 6-76 Ετήσια Χρονοσειρά Ροής Ενέργειας Συσσωρευτών Πολιτικής 3 για Α/Γ 900 kW – 20min πρόβλεψης



Σχήμα 6-77 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Ροής Ενέργειας Συσσωρευτών Πολιτικής 3 για Α/Γ 900 kW – 20min πρόβλεψης

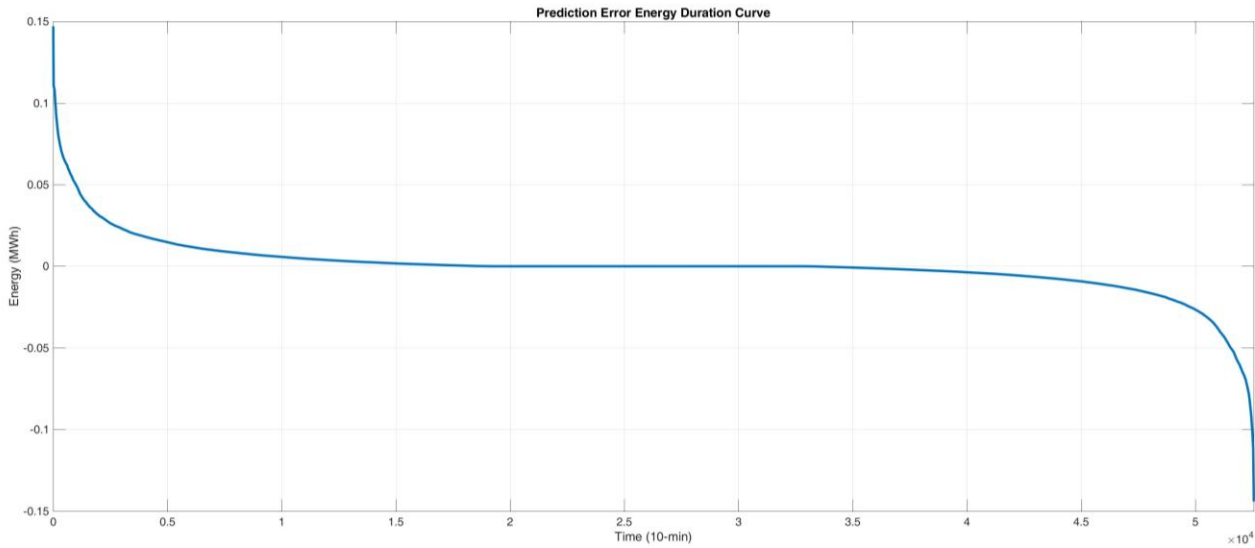
Στη συνέχεια θα μελετήσουμε τα μεγέθη που αφορούν στην πρόβλεψη της αιολικής παραγωγής και πώς αυτή επηρεάζει τη λειτουργία του σταθμού.

Στα παρακάτω δυο διαγράμματα παρουσιάζεται η απόκλιση μεταξύ πρόβλεψης και πραγματικής παραγωγής του Σταθμού, τόσο ως ετήσια χρονοσειρά, όσο και ως καμπύλη διάρκειας.



Σχήμα 6-78 Ετήσια Χρονοσειρά Απόκλισης Πρόβλεψης Πολιτικής 3 για Α/Γ 900 kW – 20min πρόβλεψης





Σχήμα 6-79 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Απόκλισης Πρόβλεψης Πολιτικής 3 για Α/Γ 900 kW – 20min πρόβλεψης

Συμπληρωματικά των παραπάνω διαγραμμάτων μπορούμε να αποτυπώσουμε ορισμένες χρήσιμες τιμές στον επόμενο πίνακα:

	Σύνολο (MWh)	Ποσοστό (%) επί της ενέργειας πρόβλεψης	Μέγιστη τιμή (MWh)	Μέση τιμή (MWh)
Απόκλιση πρόβλεψης – παραγωγής	468,19	15,83		
Απόκλιση φόρτισης (Παραγωγή > Πρόβλεψη)	231,56	7,83	0,147	0,01
Απόκλιση εκφόρτισης (Παραγωγή < Πρόβλεψη)	236,63	8	0,144	0,011

Πίνακας 6-62 Τιμές Απόκλισης Πρόβλεψης Πολιτικής 3 για Α/Γ 900 kW – 20min πρόβλεψη

Παρατηρούμε ότι το πρόσημο των αποκλίσεων είναι μοιρασμένο 50 – 50 ανάμεσα σε αποκλίσεις που οδηγούν σε φόρτιση και αποκλίσεις που οδηγούν σε εκφόρτιση

Το ποσοστό των αποκλίσεων δεν είναι ιδιαίτερα υψηλό και όπως βλέπουμε οι συσσωρευτές είναι σε θέση να το διαχειριστούν με επιτυχία

Όταν έχουμε μια απόκλιση που οδηγεί σε εκφόρτιση τότε δεν είναι πάντα δεδομένο ότι οι συσσωρευτές θα ανταποκριθούν και θα προσφέρουν την ενέργεια που απαιτείται. Αν μάλιστα στο τέλος η διαφορά μεταξύ της ενέργειας που είχε υποσχεθεί ο Σταθμός και της ενέργειας που τελικά προσέφερε είναι μεγαλύτερη του 10% της υποσχεθείσας, τότε επιβάλλεται στον Σταθμό πρόστιμο, το οποίο στο πλαίσιο της παρούσας Μεταπτυχιακής

τιμολογείται με 150 € / MWh. Αυτή η χρέωση ονομάζεται Χρέωση Απόκλισης Φορτίου (ΧΑΦ). Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται τα μεγέθη που αφορούν στις αδυναμίες κάλυψης της πρόβλεψης αλλά και το πόσες από αυτές τις αδυναμίες χρεώνονται στον Σταθμό.

	Σύνολο (MWh)	Ποσοστό (%) επί της ενέργειας πρόβλεψης	Μέγιστη τιμή (MWh)	Μέση τιμή (MWh)
Αδυναμία Κάλυψης Απόκλισης Πρόβλεψης	0,95	0,03	0,02	0,001
Χρέωση Απόκλισης Φορτίου	0	0	0	0

Πίνακας 6-63 Τιμές Αδυναμίας Κάλυψης της Απόκλισης Πρόβλεψης Πολιτικής 3 για Α/Γ 900 kW – 20min πρόβλεψη

Η συνολική Χρέωση Απόκλισης Φορτίου ανέρχεται σε 0 € και προκύπτει στο 0% των 10 min που έχουμε αδυναμία κάλυψης της απόκλισης πρόβλεψης. Στην ουσία δεν προκύπτει θέμα απόκλισης φορτίου λόγω της ικανοποιητικής διαστασιολόγησης των συσσωρευτών και του μικρού διαστήματος πρόβλεψης.

### 6.3.3 Ανεμογεννήτρια 1200 kW – Συσσωρευτές 1,32 MW/1.98 MWh – 20 min πρόβλεψης

<b>Εγχεόμενη ενέργεια από την ανεμογεννήτρια (MWh)</b>	3344,4 (92% της εγχεόμενης)
<b>Εγχεόμενη ενέργεια από συσσωρευτές (MWh)</b>	292,2 (8% της εγχεόμενης)
<b>Συνολικά εγχεόμενη ενέργεια (MWh)</b>	3636,6 (23,84% του φορτίου)
<b>Απορριπτόμενη ενέργεια (MWh)</b>	1014,78
<b>Συντελεστής Χρησιμοποίησης Σταθμού (%)</b>	34,59
<b>Συνολική Παραγωγή ΑΠΕ (MWh)</b>	4172,08 (26,06% του φορτίου)
<b>Μέσο SOC συσσωρευτών (%)</b>	90,69
<b>ΧΑΦ</b>	0 € για 0 MWh
<b>Συνολικό κόστος (€)</b>	3198000
<b>IRR για 100% ίδια κεφάλαια (%)</b>	2,8

Πίνακας 6-64 Αποτελέσματα Πολιτικής 3 για Α/Γ 1200 kW – 20min πρόβλεψης

Στον επόμενο πίνακα απεικονίζονται οι χρηματοροές του έργου για μια περίοδο 20-ετίας.

Έτος	Τιμή πώλησης (€ / kWh)	Έσοδα (€)	Συντήρηση (1% κόστους)	Λειτουργικά (1% κόστους)	Repowering (€)	Τιμή ΧΑΦ (€/MWh)	ΧΑΦ (€)	Φόρος (€)	Καθαρά Κέρδη (€)
0	100,00	-3198000,00							-3198000,00
1	100,00	363660,00	31980,00	31980,00	0,00	150,00	55,50	74911,13	224733,38

Τεχνοοικονομική βελτιστοποίηση συστήματος συσσωρευτών για αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας  
Αιολικού Σταθμού σε ΜΔΝ

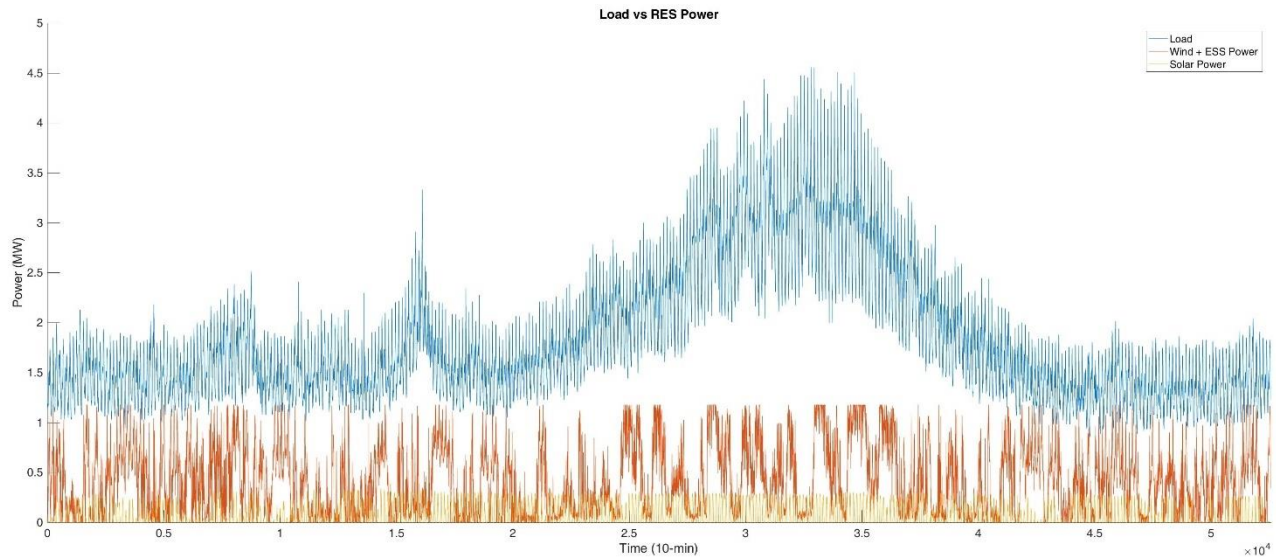
2	100,80	366569,28	32939,40	32939,40	0,00	151,20	55,94	75158,63	225475,90
3	101,61	369501,83	33927,58	33927,58	0,00	152,41	56,39	75397,57	226192,71
4	102,42	372457,85	34945,41	34945,41	0,00	153,63	56,84	75627,55	226882,64
5	103,24	375437,51	35993,77	35993,77	0,00	154,86	57,30	75848,17	227544,50
6	104,06	378441,01	37073,58	37073,58	0,00	156,10	57,76	76059,02	228177,06
7	104,90	381468,54	38185,79	38185,79	0,00	157,35	58,22	76259,68	228779,05
8	105,74	384520,29	39331,37	39331,37	0,00	158,60	58,68	76449,72	229349,15
9	106,58	387596,45	40511,31	40511,31	0,00	159,87	59,15	76628,67	229886,01
10	107,43	390697,22	41726,65	41726,65	495000,00	161,15	59,63	-46953,92	-140861,77
11	108,29	393822,80	42978,45	42978,45	0,00	162,44	60,10	76951,45	230854,35
12	109,16	396973,38	44267,80	44267,80	0,00	163,74	60,58	77094,30	231282,90
13	110,03	400149,17	45595,83	45595,83	0,00	165,05	61,07	77224,11	231672,33
14	110,91	403350,36	46963,71	46963,71	0,00	166,37	61,56	77340,35	232021,04
15	111,80	406577,17	48372,62	48372,62	0,00	167,70	62,05	77442,47	232327,41
16	112,70	409829,78	49823,80	49823,80	0,00	169,04	62,55	77529,91	232589,73
17	113,60	413108,42	51318,51	51318,51	0,00	170,40	63,05	77602,09	232806,26
18	114,51	416413,29	52858,07	52858,07	0,00	171,76	63,55	77658,40	232975,20
19	115,42	419744,59	54443,81	54443,81	0,00	173,13	64,06	77698,23	233094,69
20	116,35	423102,55	56077,12	56077,12	0,00	174,52	64,57	77720,93	233162,80
	<b>Σύνολο</b>	<b>7853421,51</b>	<b>859314,58</b>	<b>859314,58</b>	<b>495000,00</b>	<b>3239,33</b>	<b>1198,55</b>	<b>1409648,45</b>	<b>4228945,35</b>
	<b>Επιτόκιο αναγωγής</b>	<b>Συνολικό κόστος (€)</b>	<b>Ίδια κεφάλαια (€)</b>	<b>Δάνειο (€)</b>	<b>IRR</b>	<b>Παραγόμενη Ενέργεια (MWh)</b>	<b>Απόκλιση Φορτίου (MWh)</b>	<b>NPV</b>	
	0,07	3198000	3198000,00	0,00	2,80%	3636,60	0,37	-897.957,55	

Πίνακας 6-65 Χρηματοροές Πολιτικής 3 για Α/Γ 1200 kW – 20min πρόβλεψη

Παρατηρούμε ότι η επένδυση έχει θετικό IRR, αλλά αρνητική καθαρή παρούσα αξία καθώς το IRR είναι μικρότερο από το επιτόκιο αναγωγής. Πιθανότατα με μια μικρή μείωση του κόστους της επένδυσης ή με αύξηση της τιμής αποζημίωσης για την πωλούμενη ενέργεια να παρουσιάσει θετική καθαρή παρούσα αξία.

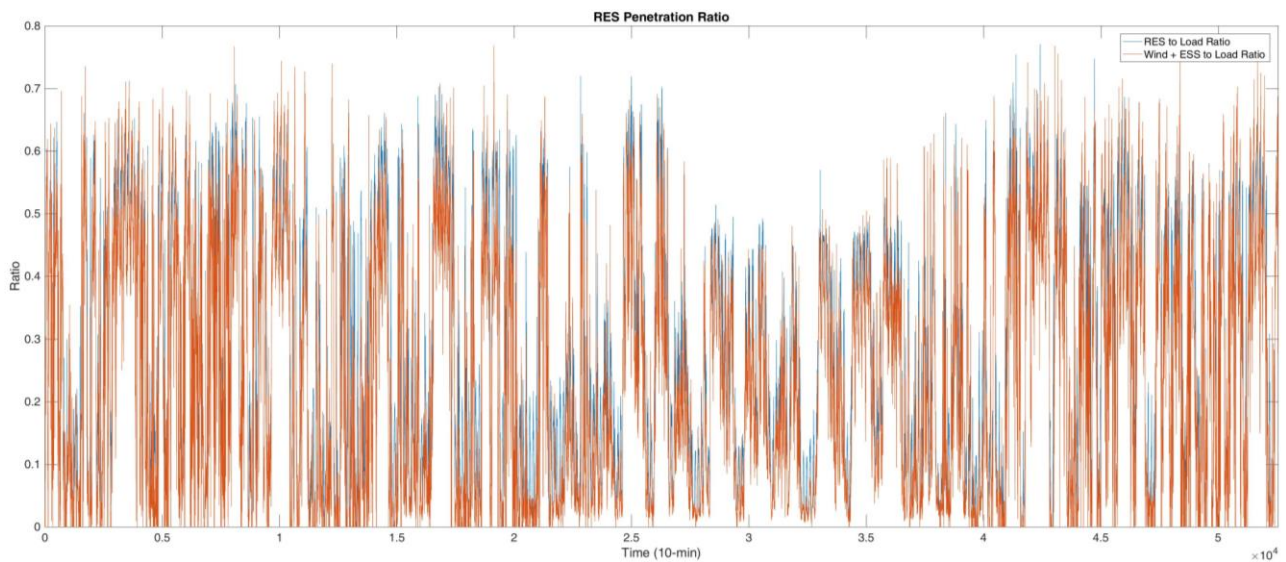
Στο επόμενο διάγραμμα απεικονίζεται η ισχύς που προέρχεται από ΑΠΕ σε σχέση με φορτίο (μπλε), δηλαδή τον αιολικό σταθμό (πορτοκαλί) και τα φωτοβολταϊκά (κίτρινο).

Τεχνοοικονομική βελτιστοποίηση συστήματος συσσωρευτών για αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας  
Αιολικού Σταθμού σε ΜΔΝ

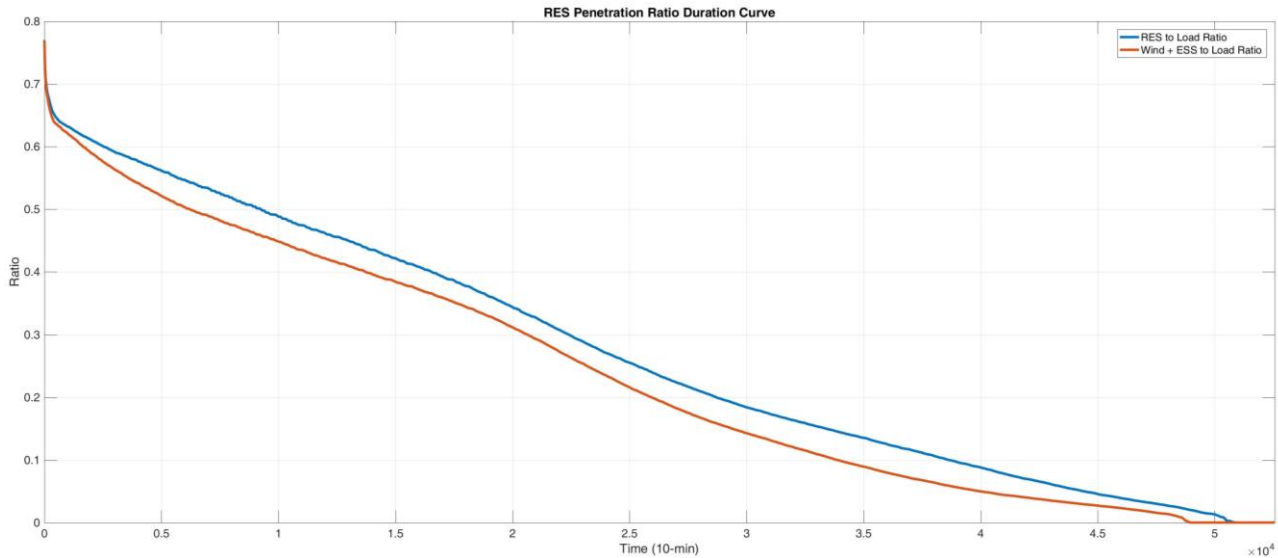


Σχήμα 6-80 Ετήσια Χρονοσειρά Φορτίου προς Αιολική και Φωτοβολταϊκή Παραγωγή Πολιτικής 3 για Α/Γ  
1200 kW – 20min πρόβλεψης

Επίσης, στα επόμενα δυο διαγράμματα παρουσιάζεται το ποσοστό διείσδυσης των ΑΠΕ (μπλε γραμμή) και του Σταθμού (πορτοκαλί γραμμή) στη διάρκεια του έτους, τόσο ως χρονοσειρά όσο και ως καμπύλη διάρκειας.



Σχήμα 6-81 Ετήσια Χρονοσειρά Ποσοστού Διείσδυσης Αιολικής Παραγωγής και ΑΠΕ Πολιτικής 3 για Α/Γ  
1200 kW – 20min πρόβλεψης



Σχήμα 6-82 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Ποσοστού Διείσδυσης Αιολικής Παραγωγής και ΑΠΕ Πολιτικής 3 για Α/Γ 1200 kW – 20min πρόβλεψη

Μερικές χρήσιμες τιμές που μπορούν να εξαχθούν καταγράφονται στον επόμενο πίνακα:

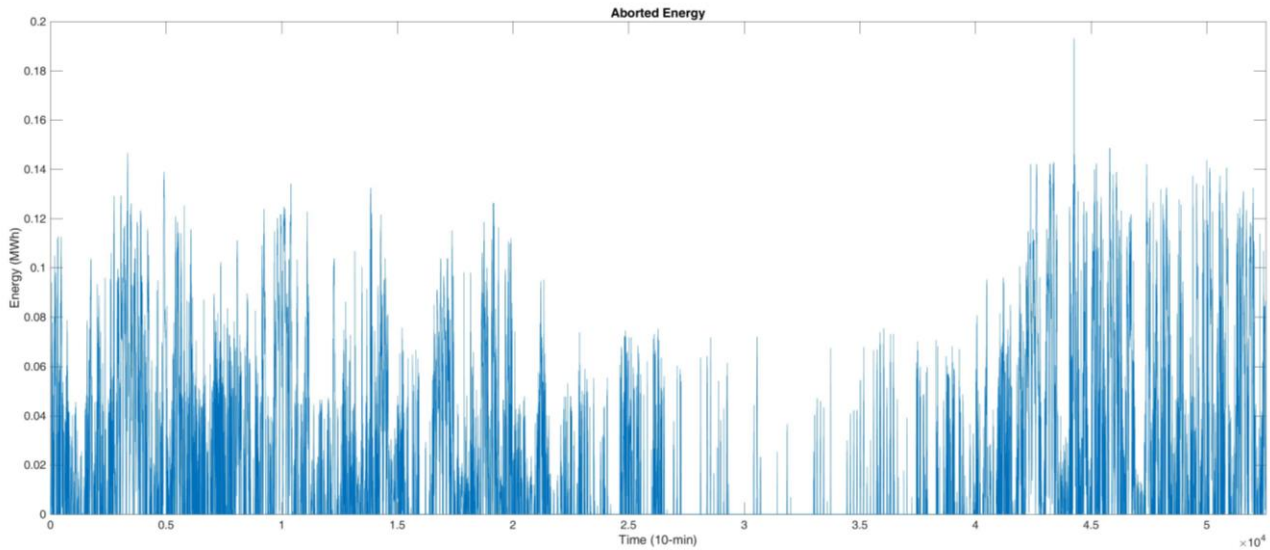
	Ελάχιστο (%)	Μέγιστο (%)	Μέσο (%)
Παραγωγή Σταθμού προς φορτίο	0	76,8	23,84
Συνολική παραγωγή ΑΠΕ προς φορτίο	0	76,99	27,15

Πίνακας 6-66 Τιμές από Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Ποσοστού Διείσδυσης Αιολικής Παραγωγής και ΑΠΕ Πολιτικής 3 για Α/Γ 1200 kW – 20min πρόβλεψη

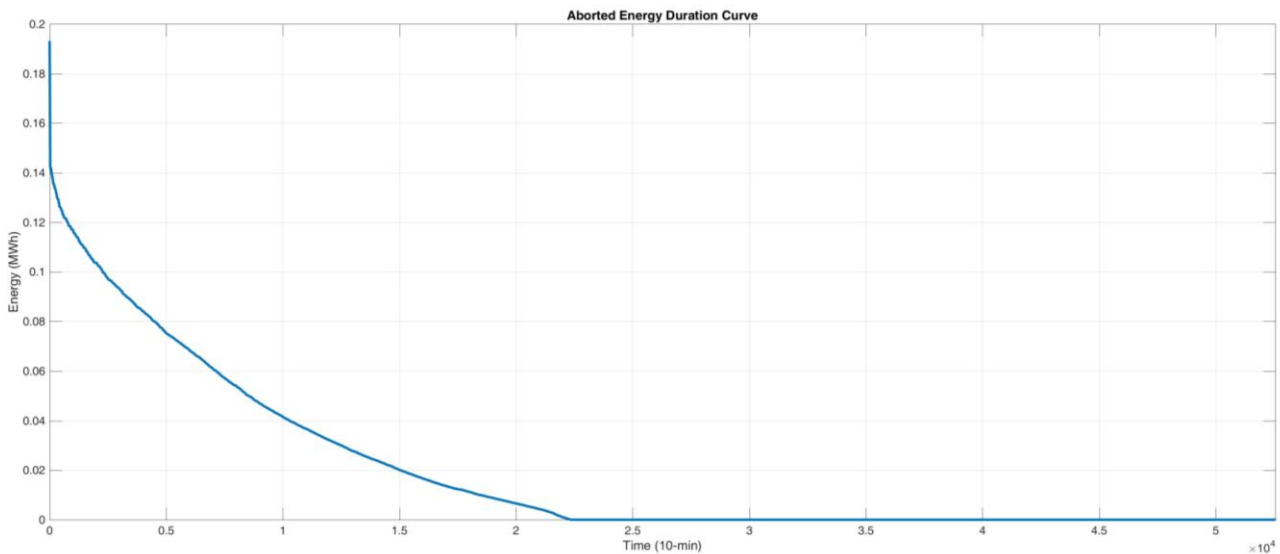
Παρατηρούμε ότι η διείσδυση ΑΠΕ ανεβαίνει σημαντικά σε σχέση με τις 2 προηγούμενες πολιτικές λειτουργίας. Αυτό οφείλεται στην άρση των περιορισμών διείσδυσης που έθεταν χαμηλά το διαθέσιμο περιθώριο διείσδυσης των ΑΠΕ.

Ωστόσο, ακόμα και σε αυτή την πολιτική λειτουργίας ο Σταθμός υπόκειται σε περικοπές ισχύος καθώς πρέπει να τηρούνται τα τεχνικά ελάχιστα των θερμικών μηχανών αλλά και η απαίτηση για ένταξη τουλάχιστον μιας θερμικής μηχανής.

Η χρονοσειρά της απορριπτόμενης ενέργειας καθώς η αντίστοιχη καμπύλη διάρκειας παρουσιάζονται στα επόμενα δυο διαγράμματα.



Σχήμα 6-83 Ετήσια Χρονοσειρά Περικοπών Πολιτικής 3 για Α/Γ 1200 kW – 20min πρόβλεψης



Σχήμα 6-84 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Περικοπών Πολιτικής 3 για Α/Γ 1200 kW – 20min πρόβλεψης

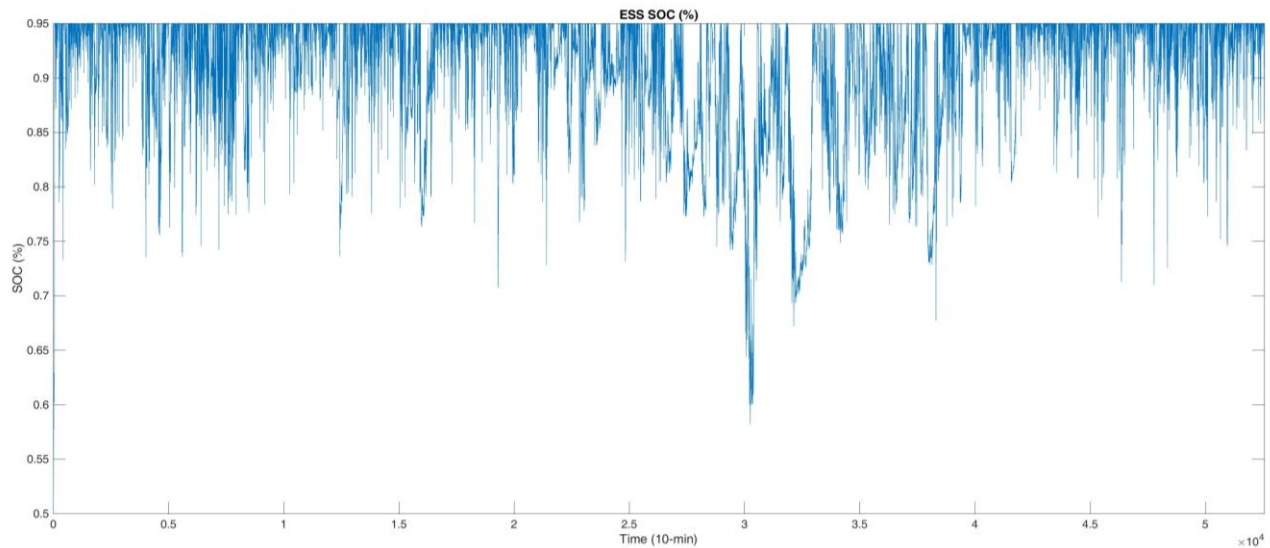
Παρατηρούμε ότι κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού οι περικοπές είναι μηδενικές καθώς έχουμε αρκετά υψηλότερα φορτία που επιτρέπουν την απορρόφηση όλης της παραγωγής του Σταθμού.

Μερικές χρήσιμες τιμές που προκύπτουν από τα παραπάνω διαγράμματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

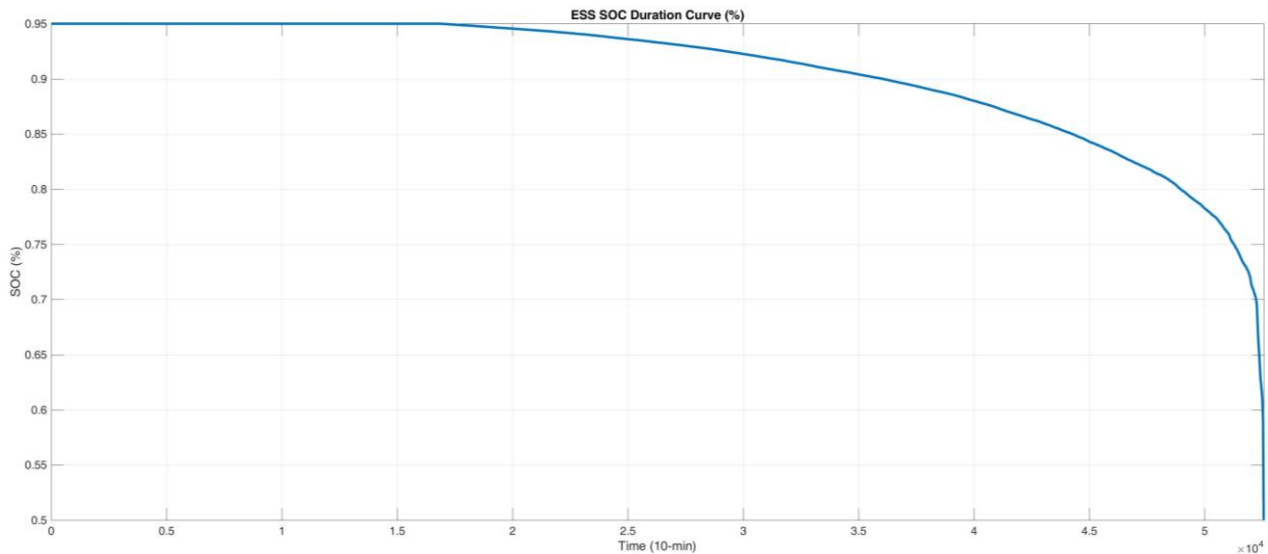
	Σύνολο (MWh)	Μέγιστο (MWh)	Μέσο (MWh)
Περικοπές Ενέργειας	1014,78	0,193	0,019

Πίνακας 6-67 Τιμές Ετήσιων Περικοπών Πολιτικής 3 για Α/Γ 600 kW – 20min πρόβλεψη

Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν στοιχεία που αφορούν στη λειτουργία των συσσωρευτών. Στο επόμενο διάγραμμα παρουσιάζεται η στάθμη φόρτισης στη διάρκεια του έτους και αμέσως μετά η ετήσια καμπύλη διάρκειας της στάθμης φόρτισης.



Σχήμα 6-85 Ετήσια Χρονοσειρά Στάθμης Φόρτισης Συσσωρευτών Πολιτικής 3 για Α/Γ 1200 kW – 20min πρόβλεψης



Σχήμα 6-86 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Στάθμης Φόρτισης Συσσωρευτών Πολιτικής 3 για Α/Γ 1200 kW – 20min πρόβλεψης

Παρατηρούμε ότι το καλοκαίρι μειώνεται ελαφρά το επίπεδο φόρτισης των συσσωρευτών, αλλά σε πολύ μικρότερο βαθμό σε σχέση με τους σταθμούς των 900 και 1200 kW. Η μέση στάθμη φόρτισης των συσσωρευτών είναι ίση με 90,69%, ενώ στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται κάποιες επιπλέον χρήσιμες τιμές για το επίπεδο φόρτισης των συσσωρευτών.

Πλήθος 10-min	
Μέγιστη Στάθμη Φόρτισης	16348 (31,1%)
Ελάχιστη Στάθμη Φόρτισης	0 (0%)
Ενδιάμεση Στάθμη Φόρτισης	36212 (68,9%)

Πίνακας 6-68 Τιμές από Ετήσια Χρονοσειρά Στάθμης Φόρτισης Συσσωρευτών Πολιτικής 3 για Α/Γ 1200 kW – 20min πρόβλεψης

Είναι προφανές ότι οι συσσωρευτές λειτουργούν σχεδόν το 70% του έτους, αλλά εκτελούν πολύ μικρές συναλλαγές ενέργειας λόγω του μικρού διαστήματος πρόβλεψης. Επίσης, είναι σημαντικό ότι οι συσσωρευτές δεν φτάνουν το ελάχιστο επίπεδο φόρτισης, γεγονός που καταδεικνύει ότι οι συσσωρευτές πάντα ανταποκρίνονται στην ενέργεια που ζητείται από αυτούς.

Για να κατανοήσουμε τη ροή ενέργειας από και προς τους συσσωρευτές, μπορούμε να παρατηρήσουμε τον επόμενο πίνακα στον οποίο παρουσιάζεται η κατάσταση των συσσωρευτών καθώς και οι περιορισμοί που επιβάλλονται στην χρήση τους κατά τη διάρκεια του έτους.

		10 – min	Ποσοστό Χρόνου
<b>Εκφόρτιση</b>	Κανένας περιορισμός	19520	99,9%
	Περιορισμός Χωρητικότητας	19	0,1%
	Περιορισμός Ισχύος Συσσωρευτών	0	0%
	Εκφορτισμένοι Συσσωρευτές	0	0%
	<b>Σύνολο</b>	<b>19539</b>	<b>100%</b>
<b>Φόρτιση</b>	Κανένας περιορισμός	16677	50,5%
	Περιορισμός Χωρητικότητας	3027	9,17%
	Περιορισμός Ισχύος Συσσωρευτών	0	0%
	Φορτισμένοι Συσσωρευτές	13317	40,33%
	<b>Σύνολο</b>	<b>33021</b>	<b>100%</b>

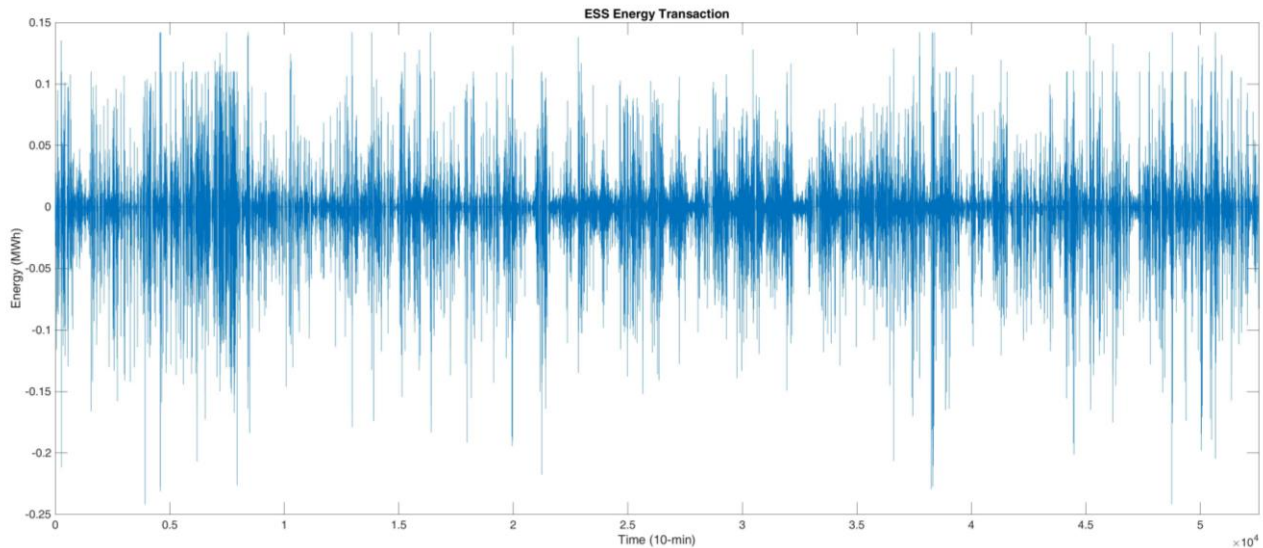
Πίνακας 6-69 Όρια Ενεργειακής Συναλλαγής Συσσωρευτών Πολιτικής 3 για Α/Γ 1200 kW – 20min πρόβλεψης

Παρατηρούμε ότι κατά κύριο λόγο η λειτουργία των συσσωρευτών δεν υπόκειται σε περιορισμούς, πέρα από κάποιες στιγμές που είναι πλήρως φορτισμένοι. Αυτό συμβαίνει

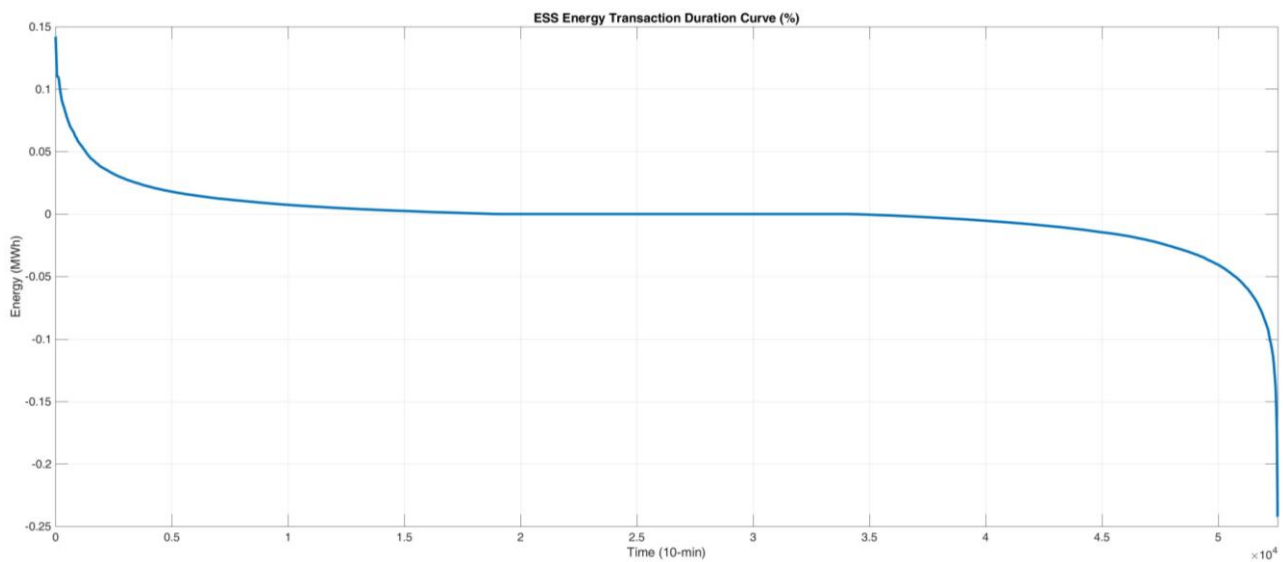


κυρίως τις στιγμές που έχουμε περικοπές φορτίου, άρα στους συσσωρευτές οδηγείται όχι μόνο η διαφορά μεταξύ πρόβλεψης και πραγματικής παραγωγής του πάρκου, αλλά και η ενέργεια που απορρίπτει ο Διαχειριστής. Επομένως είναι λογικό οι στιγμές που οι συσσωρευτές είναι πλήρεις να είναι περισσότερες από τις στιγμές που οι συσσωρευτές είναι εκφορτισμένοι.

Επιπλέον, μπορούμε να δούμε στα παρακάτω δυο διαγράμματα τη ροή ενέργεια από και προς τους συσσωρευτές, τόσο με τη μορφή χρονοσειράς όσο και με τη μορφή καμπύλης διάρκειας για ένα έτος.



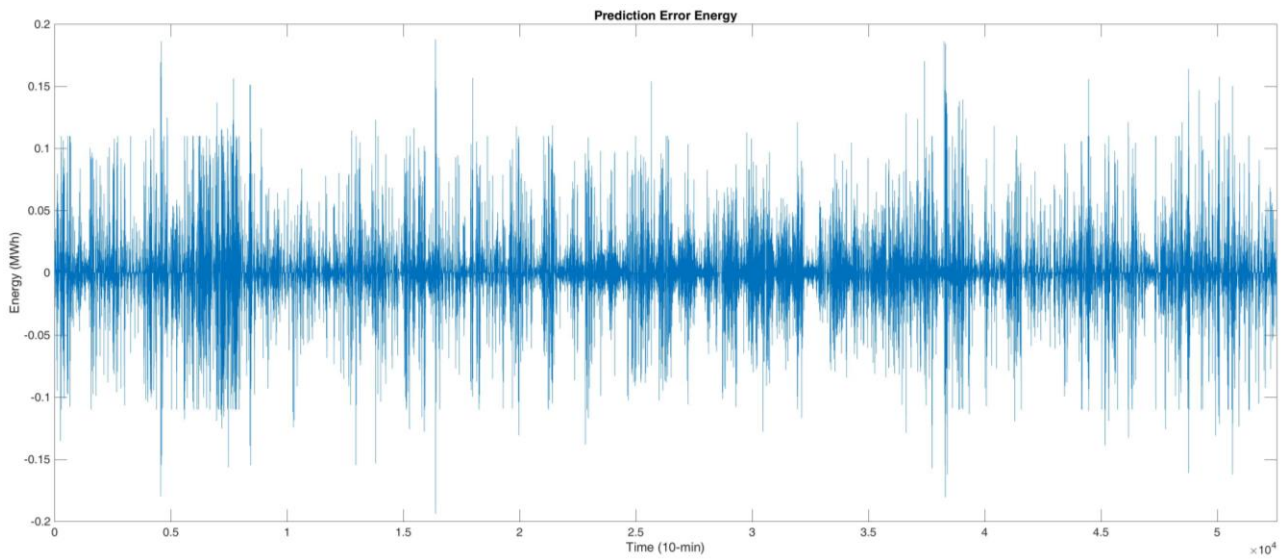
Σχήμα 6-87 Ετήσια Χρονοσειρά Ροής Ενέργειας Συσσωρευτών Πολιτικής 3 για Α/Γ 1200 kW – 20min πρόβλεψης



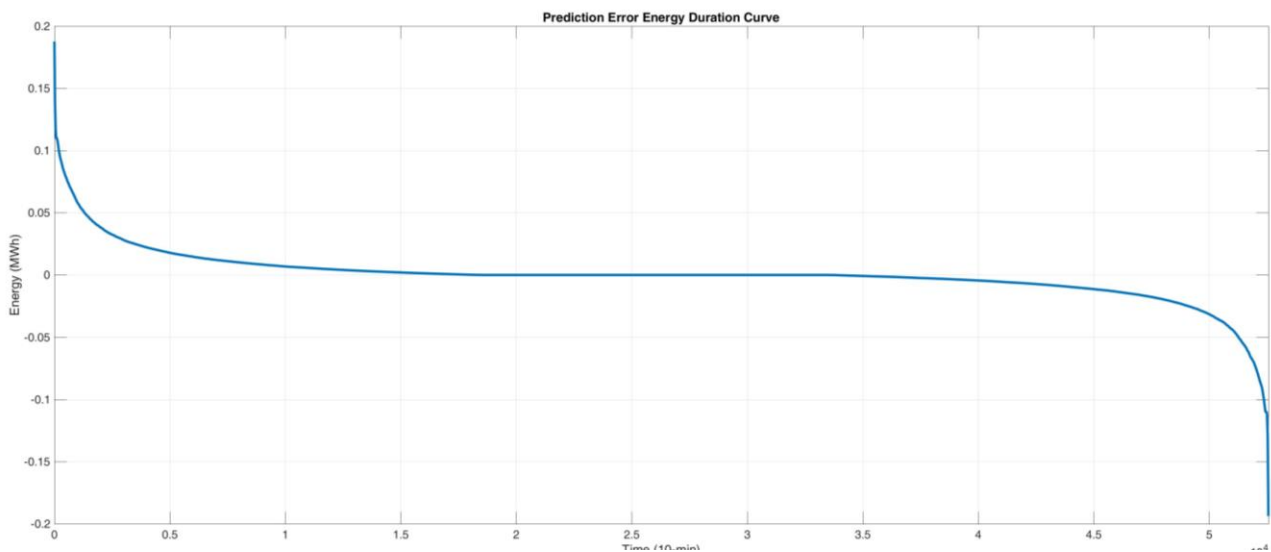
Σχήμα 6-88 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Ροής Ενέργειας Συσσωρευτών Πολιτικής 3 για Α/Γ 1200 kW – 20min πρόβλεψης

Στη συνέχεια θα μελετήσουμε τα μεγέθη που αφορούν στην πρόβλεψη της αιολικής παραγωγής και πώς αυτή επηρεάζει τη λειτουργία του σταθμού.

Στα παρακάτω δυο διαγράμματα παρουσιάζεται η απόκλιση μεταξύ πρόβλεψης και πραγματικής παραγωγής του Σταθμού, τόσο ως ετήσια χρονοσειρά, όσο και ως καμπύλη διάρκειας.



Σχήμα 6-89 Ετήσια Χρονοσειρά Απόκλισης Πρόβλεψης Πολιτικής 3 για Α/Γ 1200 kW – 20min πρόβλεψης



Σχήμα 6-90 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Απόκλισης Πρόβλεψης Πολιτικής 3 για Α/Γ 1200 kW – 20min πρόβλεψης

Συμπληρωματικά των παραπάνω διαγραμμάτων μπορούμε να αποτυπώσουμε ορισμένες χρήσιμες τιμές στον επόμενο πίνακα:

	Σύνολο (MWh)	Ποσοστό (%) επί της ενέργειας πρόβλεψης	Μέγιστη τιμή (MWh)	Μέση τιμή (MWh)
Απόκλιση πρόβλεψης – παραγωγής	582,09	16		
Απόκλιση φόρτισης (Παραγωγή > Πρόβλεψη)	289,5	7,96	0,188	0,0156
Απόκλιση εκφόρτισης (Παραγωγή < Πρόβλεψη)	292,58	8,04	0,194	0,015

Πίνακας 6-70 Τιμές Απόκλισης Πρόβλεψης Πολιτικής 3 για A/G 1200 kW – 20min πρόβλεψη

Παρατηρούμε ότι το πρόσημο των αποκλίσεων είναι μοιρασμένο 50 – 50 ανάμεσα σε αποκλίσεις που οδηγούν σε φόρτιση και αποκλίσεις που οδηγούν σε εκφόρτιση.

Το ποσοστό των αποκλίσεων δεν είναι ιδιαίτερα υψηλό και όπως βλέπουμε οι συσσωρευτές είναι σε θέση να το διαχειριστούν με επιτυχία

Όταν έχουμε μια απόκλιση που οδηγεί σε εκφόρτιση τότε δεν είναι πάντα δεδομένο ότι οι συσσωρευτές θα ανταποκριθούν και θα προσφέρουν την ενέργεια που απαιτείται. Αν μάλιστα στο τέλος η διαφορά μεταξύ της ενέργειας που είχε υποσχεθεί ο Σταθμός και της ενέργειας που τελικά προσέφερε είναι μεγαλύτερη του 10% της υποσχεθείσας, τότε επιβάλλεται στον Σταθμό πρόστιμο, το οποίο στο πλαίσιο της παρούσας Μεταπτυχιακής τιμολογείται με 150 € / MWh. Αυτή η χρέωση ονομάζεται Χρέωση Απόκλισης Φορτίου (ΧΑΦ). Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται τα μεγέθη που αφορούν στις αδυναμίες κάλυψης της πρόβλεψης αλλά και το πόσες από αυτές τις αδυναμίες χρεώνονται στον Σταθμό.

	Σύνολο (MWh)	Ποσοστό (%) επί της ενέργειας πρόβλεψης	Μέγιστη τιμή (MWh)	Μέση τιμή (MWh)
Αδυναμία Κάλυψης Απόκλισης Πρόβλεψης	0,38	0,011	0,052	0,0202
Χρέωση Απόκλισης Φορτίου	0	0	0	0

Πίνακας 6-71 Τιμές Αδυναμίας Κάλυψης της Απόκλισης Πρόβλεψης Πολιτικής 3 για A/G 1200 kW – 20min πρόβλεψης

Η συνολική Χρέωση Απόκλισης Φορτίου ανέρχεται σε 0 € και προκύπτει στο 0% των 10 min που έχουμε αδυναμία κάλυψης της απόκλισης πρόβλεψης. Στην ουσία δεν προκύπτει θέμα απόκλισης φορτίου λόγω της ικανοποιητικής διαστασιολόγησης των συσσωρευτών και του μικρού διαστήματος πρόβλεψης.

6.3.4 Ανεμογεννήτρια 1500 kW – Συσσωρευτές 1,5 MW/2,48 MWh – 20 min πρόβλεψης

<b>Εγχεόμενη ενέργεια από την ανεμογεννήτρια (MWh)</b>	3727,53 (91,5% της εγχεόμενης)
<b>Εγχεόμενη ενέργεια από συσσωρευτές (MWh)</b>	347,36 (8,5% της εγχεόμενης)
<b>Συνολικά εγχεόμενη ενέργεια (MWh)</b>	4074,89 (25,45% του φορτίου)
<b>Απορριπτόμενη ενέργεια (MWh)</b>	1741,04
<b>Συντελεστής Χρησιμοποίησης Σταθμού (%)</b>	31,01
<b>Συνολική Παραγωγή ΑΠΕ (MWh)</b>	4610,36 (28,79% του φορτίου)
<b>Μέσο SOC συσσωρευτών (%)</b>	91,31
<b>ΧΑΦ</b>	0 € για 0 MWh
<b>Συνολικό κόστος (€)</b>	3997500
<b>IRR για 100% ίδια κεφάλαια (%)</b>	1,2

Πίνακας 6-72 Αποτελέσματα Πολιτικής 3 για Α/Γ 1500 kW – 20min πρόβλεψης

Στον επόμενο πίνακα απεικονίζονται οι χρηματοροές του έργου για μια περίοδο 20-ετίας.

Έτος	Τιμή πώλησης (€/kWh)	Έσοδα (€)	Συντήρηση (1% κόστους)	Λειτουργικά (1% κόστους)	Repowering (€)	Τιμή ΧΑΦ (€/MWh)	ΧΑΦ (€)	Φόρος (€)	Καθαρά Κέρδη (€)
0	100,00	-3997500,00							-3997500,00
1	100,00	407489,00	39975,00	39975,00	0,00	150,00	55,50	81870,88	245612,63
2	100,80	410748,91	41174,25	41174,25	0,00	151,20	55,94	82086,12	246258,35
3	101,61	414034,90	42409,48	42409,48	0,00	152,41	56,39	82289,89	246869,67
4	102,42	417347,18	43681,76	43681,76	0,00	153,63	56,84	82481,70	247445,11
5	103,24	420685,96	44992,21	44992,21	0,00	154,86	57,30	82661,06	247983,17
6	104,06	424051,45	46341,98	46341,98	0,00	156,10	57,76	82827,43	248482,30
7	104,90	427443,86	47732,24	47732,24	0,00	157,35	58,22	82980,29	248940,87
8	105,74	430863,41	49164,21	49164,21	0,00	158,60	58,68	83119,08	249357,23
9	106,58	434310,32	50639,13	50639,13	0,00	159,87	59,15	83243,22	249729,67
10	107,43	437784,80	52158,31	52158,31	618750,00	161,15	59,63	-71335,36	-214006,08
11	108,29	441287,08	53723,06	53723,06	0,00	162,44	60,10	83445,22	250335,65
12	109,16	444817,37	55334,75	55334,75	0,00	163,74	60,58	83521,82	250565,47
13	110,03	448375,91	56994,79	56994,79	0,00	165,05	61,07	83581,32	250743,95
14	110,91	451962,92	58704,64	58704,64	0,00	166,37	61,56	83623,02	250869,07
15	111,80	455578,62	60465,77	60465,77	0,00	167,70	62,05	83646,26	250938,77
16	112,70	459223,25	62279,75	62279,75	0,00	169,04	62,55	83650,30	250950,91
17	113,60	462897,04	64148,14	64148,14	0,00	170,40	63,05	83634,43	250903,28
18	114,51	466600,22	66072,58	66072,58	0,00	171,76	63,55	83597,87	250793,62
19	115,42	470333,02	68054,76	68054,76	0,00	173,13	64,06	83539,86	250619,58
20	116,35	474095,68	70096,40	70096,40	0,00	174,52	64,57	83459,58	250378,73

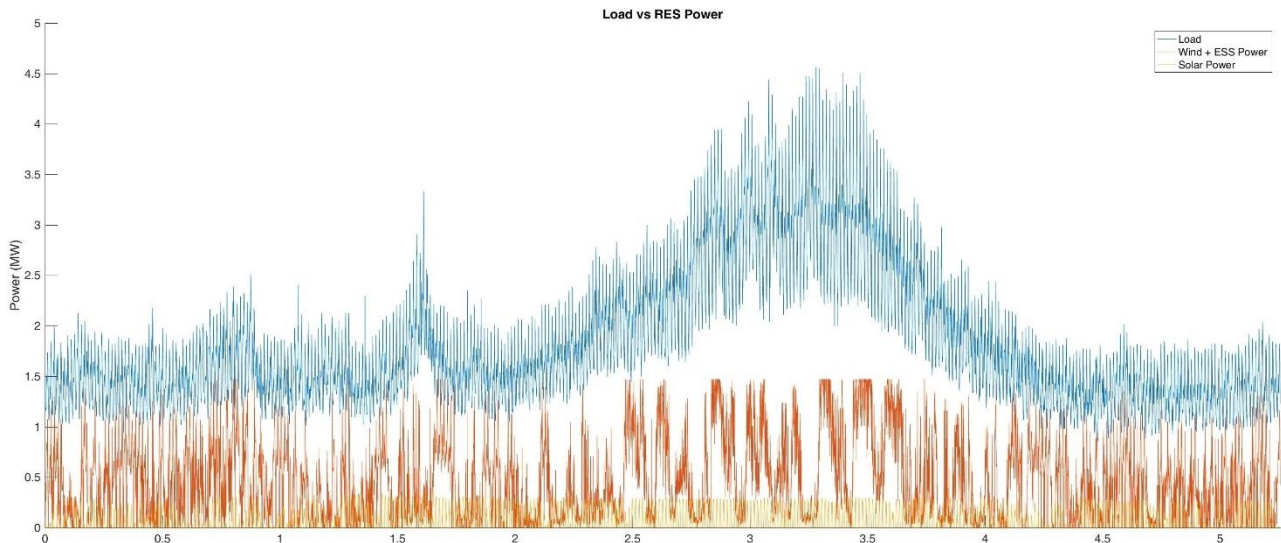
Τεχνοοικονομική βελτιστοποίηση συστήματος συσσωρευτών για αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας  
Αιολικού Σταθμού σε ΜΔΝ

Σύνολο	8799930,91	1074143,22	1074143,22	618750,00	3239,33	1198,55	1507923,98	4523771,94
Επιτόκιο αναγωγής	Συνολικό κόστος (€)	Ίδια κεφάλαια (€)	Δάνειο (€)	IRR	Παραγόμενη Ενέργεια (MWh)	Απόκλιση Φορτίου (MWh)	NPV	
0,07	3997500	3997500,00	0,00	1,20%	4074,89	0,37	-1.493.334,43	

Πίνακας 6-73 Χρηματοροές Πολιτικής 3 για Α/Γ 1500 kW – 20min πρόβλεψης

Παρατηρούμε ότι η επένδυση έχει θετικό IRR, αλλά αρνητική καθαρή παρούσα αξία καθώς το IRR είναι μικρότερο από το επιτόκιο αναγωγής. Πιθανότατα με μια μικρή μείωση του κόστους της επένδυσης ή με αύξηση της τιμής αποζημίωσης για την πωλούμενη ενέργεια να παρουσιάσει θετική καθαρή παρούσα αξία.

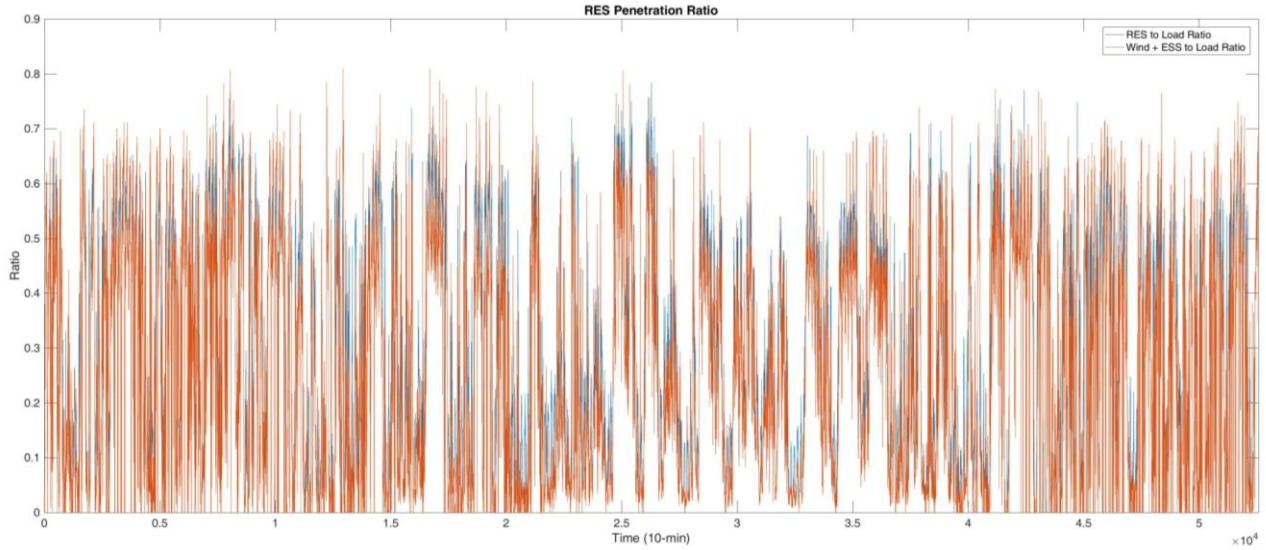
Στο επόμενο διάγραμμα απεικονίζεται η ισχύς που προέρχεται από ΑΠΕ σε σχέση με φορτίο (μπλε), δηλαδή τον αιολικό σταθμό (πορτοκαλί) και τα φωτοβολταϊκά (κίτρινο).



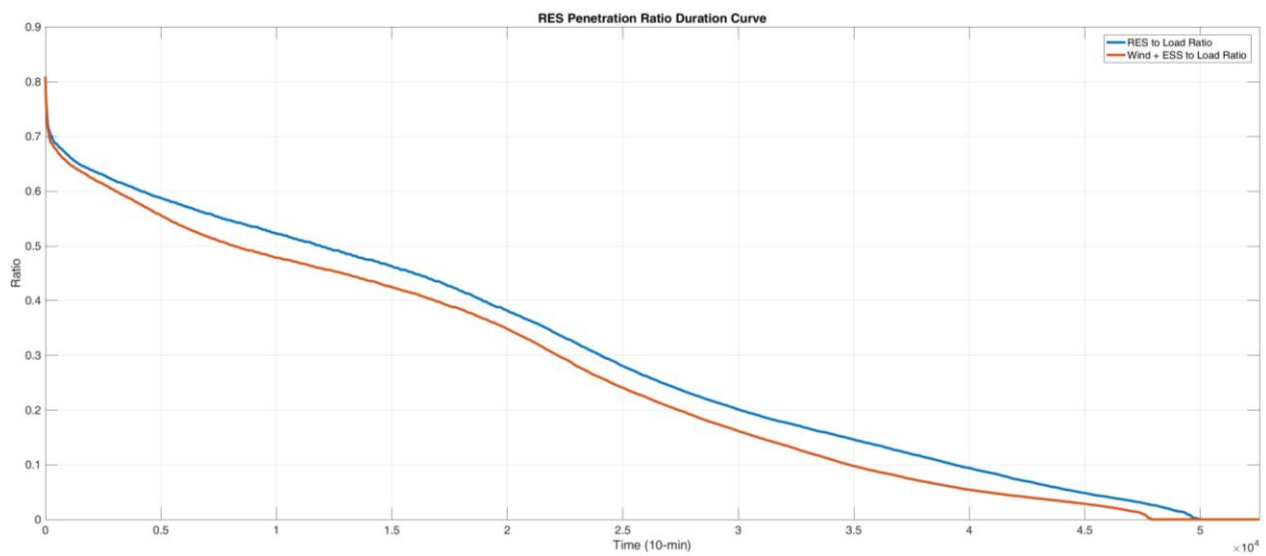
Σχήμα 6-91 Ετήσια Χρονοσειρά Φορτίου προς Αιολική και Φωτοβολταϊκή Παραγωγή Πολιτικής 3 για Α/Γ 1500 kW – 20min πρόβλεψης

Επίσης, στα επόμενα δυο διαγράμματα παρουσιάζεται το ποσοστό διείσδυσης των ΑΠΕ (μπλε γραμμή) και του Σταθμού (πορτοκαλί γραμμή) στη διάρκεια του έτους, τόσο ως χρονοσειρά όσο και ως καμπύλη διάρκειας.

Τεχνοοικονομική βελτιστοποίηση συστήματος συσσωρευτών για αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας  
Αιολικού Σταθμού σε ΜΔΝ



Σχήμα 6-92 Ετήσια Χρονοσειρά Ποσοστού Διείσδυσης Αιολικής Παραγωγής και ΑΠΕ Πολιτικής 3 για Α/Γ 1500 kW – 20min πρόβλεψης



Σχήμα 6-93 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Ποσοστού Διείσδυσης Αιολικής Παραγωγής και ΑΠΕ Πολιτικής 3 για Α/Γ 1500 kW – 20min πρόβλεψης

Μερικές χρήσιμες τιμές που μπορούν να εξαχθούν καταγράφονται στον επόμενο πίνακα:

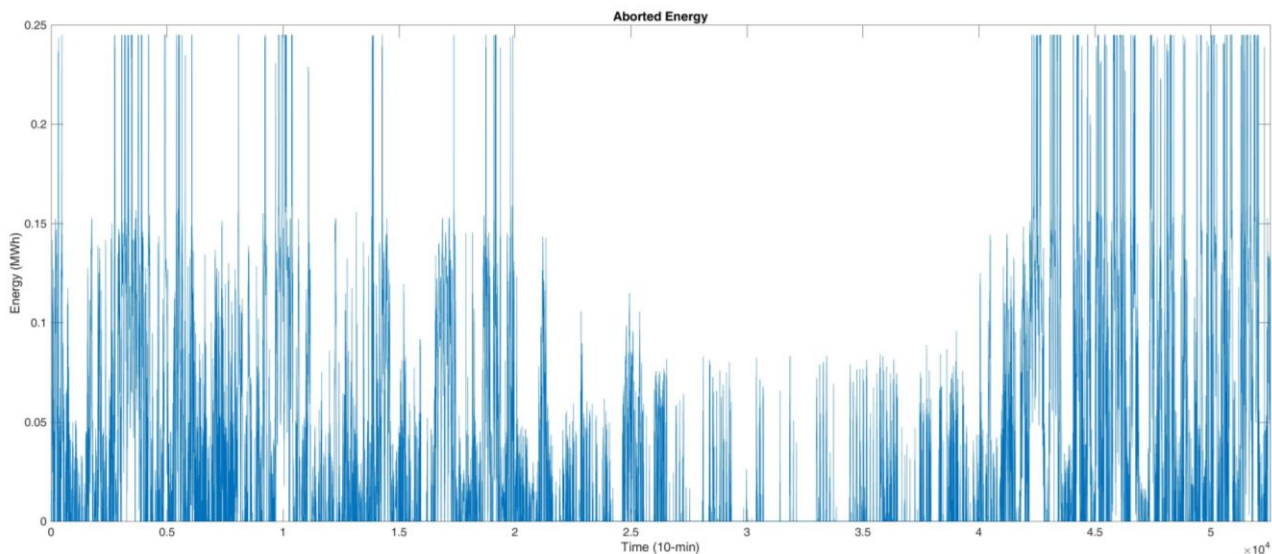
	Ελάχιστο (%)	Μέγιστο (%)	Μέσο (%)
Παραγωγή Σταθμού προς φορτίο	0	80,91	25,87
Συνολική παραγωγή ΑΠΕ προς φορτίο	0	80,91	29,18

Πίνακας 6-74 Τιμές από Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Ποσοστού Διείσδυσης Αιολικής Παραγωγής και ΑΠΕ Πολιτικής 3 για Α/Γ 1500 kW – 20min πρόβλεψης

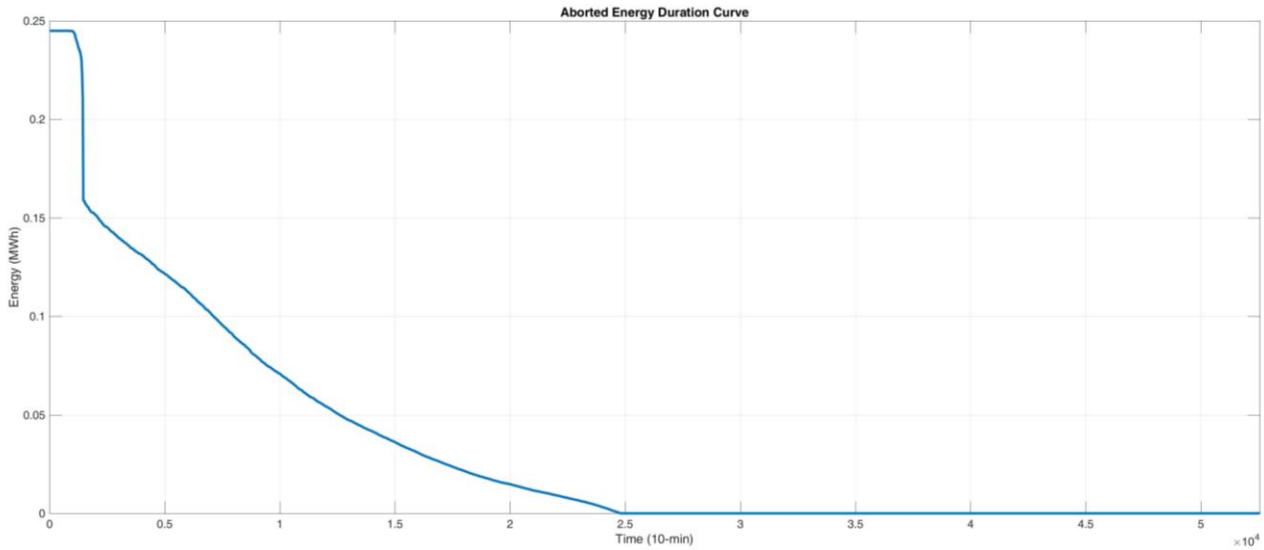
Παρατηρούμε ότι η διείσδυση ΑΠΕ ανεβαίνει σημαντικά σε σχέση με τις 2 προηγούμενες πολιτικές λειτουργίας και φτάνει στο 80% του φορτίου, ένα ποσοστό εξαιρετικά υψηλό. Αυτό οφείλεται στην άρση των περιορισμών διείσδυσης που έθεταν χαμηλά το διαθέσιμο περιθώριο διείσδυσης των ΑΠΕ.

Ωστόσο, ακόμα και σε αυτή την πολιτική λειτουργίας ο Σταθμός υπόκειται σε περικοπές ισχύος καθώς πρέπει να τηρούνται τα τεχνικά ελάχιστα των θερμικών μηχανών αλλά και η απαίτηση για ένταξη τουλάχιστον μιας θερμικής μηχανής.

Η χρονοσειρά της απορριπτόμενης ενέργειας καθώς η αντίστοιχη καμπύλη διάρκειας παρουσιάζονται στα επόμενα δυο διαγράμματα.



Σχήμα 6-94 Ετήσια Χρονοσειρά Περικοπών Πολιτικής 3 για Α/Γ 1500 kW – 20min πρόβλεψης



Σχήμα 6-95 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Περικοπών Πολιτικής 3 για Α/Γ 1500 kW – 20min πρόβλεψης

Παρατηρούμε ότι κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού οι περικοπές είναι μηδενικές καθώς έχουμε αρκετά υψηλότερα φορτία που επιτρέπουν την απορρόφηση όλης της παραγωγής του Σταθμού.

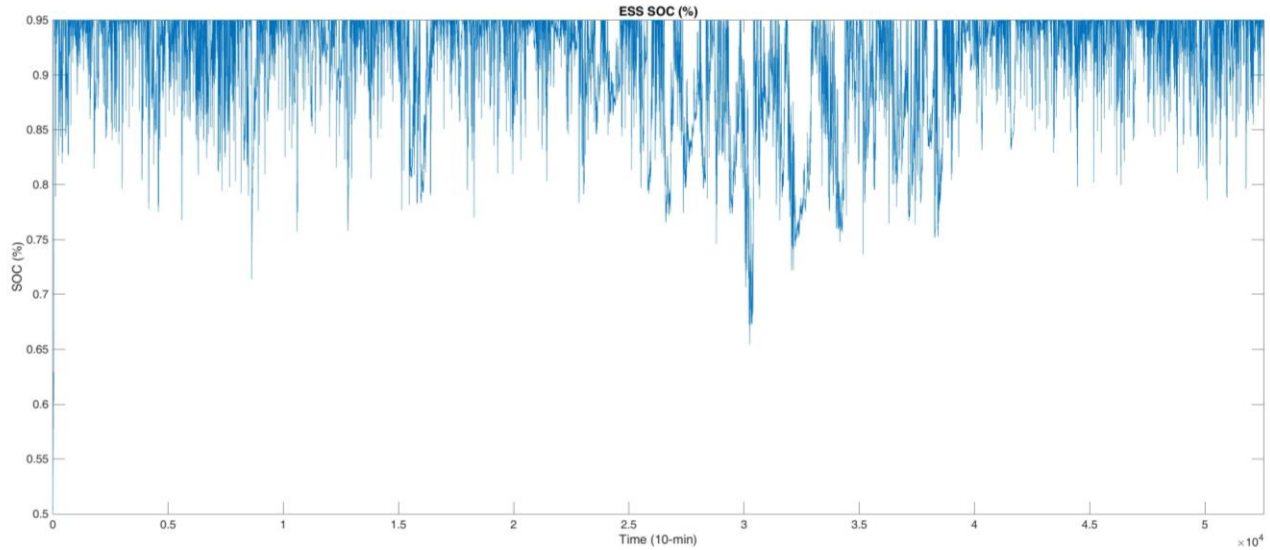
Μερικές χρήσιμες τιμές που προκύπτουν από τα παραπάνω διαγράμματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

	Σύνολο (MWh)	Μέγιστο (MWh)	Μέσο (MWh)
Περικοπές Ενέργειας	1014,78	0,245	0,0331

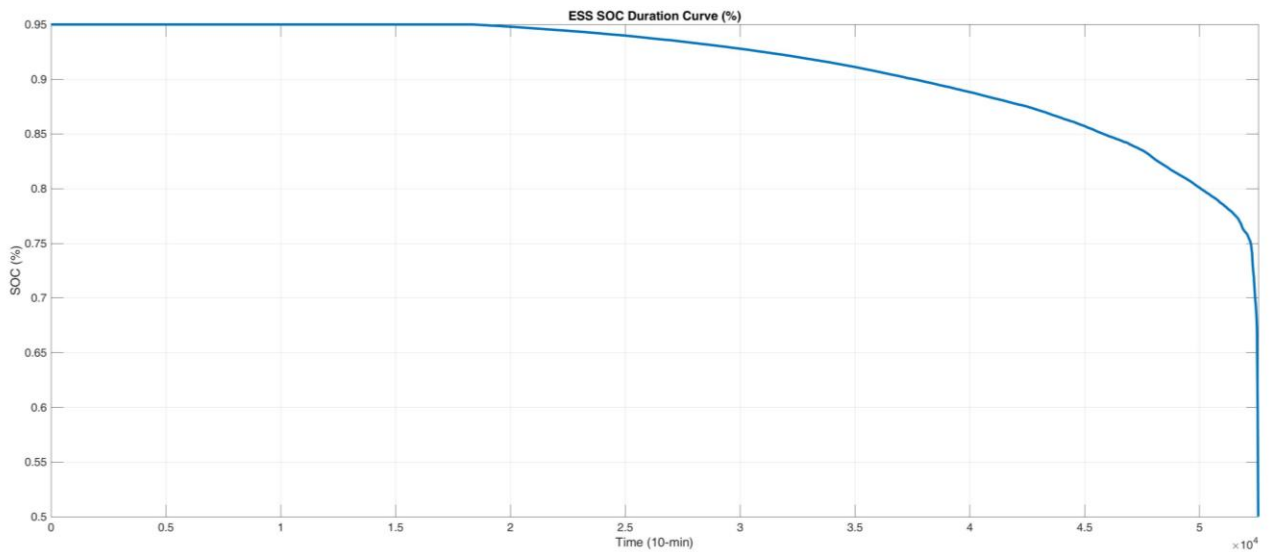
Πίνακας 6-75 Τιμές Ετήσιων Περικοπών Πολιτικής 3 για Α/Γ 600 kW – 20min πρόβλεψ

Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν στοιχεία που αφορούν στη λειτουργία των συσσωρευτών. Στο επόμενο διάγραμμα παρουσιάζεται η στάθμη φόρτισης στη διάρκεια του έτους και αμέσως μετά η ετήσια καμπύλη διάρκειας της στάθμης φόρτισης.





Σχήμα 6-96 Ετήσια Χρονοσειρά Στάθμης Φόρτισης Συσσωρευτών Πολιτικής 3 για Α/Γ 1500 kW – 20min πρόβλεψης



Σχήμα 6-97 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Στάθμης Φόρτισης Συσσωρευτών Πολιτικής 3 για Α/Γ 1500 kW – 20min πρόβλεψης

Παρατηρούμε ότι το καλοκαίρι μειώνεται ελαφρά το επίπεδο φόρτισης των συσσωρευτών, αλλά σε πολύ μικρότερο βαθμό σε σχέση με τους σταθμούς των 900 και 1200 kW. Η μέση στάθμη φόρτισης των συσσωρευτών είναι ίση με 91.31%, ενώ στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται κάποιες επιπλέον χρήσιμες τιμές για το επίπεδο φόρτισης των συσσωρευτών.

Πλήθος 10-min

Μέγιστη Στάθμη Φόρτισης	17961 (34,17%)
Ελάχιστη Στάθμη Φόρτισης	0 (0%)
Ενδιάμεση Στάθμη Φόρτισης	34599 (65,83%)

Πίνακας 6-76 Τιμές από Ετήσια Χρονοσειρά Στάθμης Φόρτισης Συσσωρευτών Πολιτικής 3 για Α/Γ 1500 kW – 20min πρόβλεψης

Είναι προφανές ότι οι συσσωρευτές λειτουργούν σχεδόν το 65% του έτους, αλλά εκτελούν πολύ μικρές συναλλαγές ενέργειας λόγω του μικρού διαστήματος πρόβλεψης. Επίσης, είναι σημαντικό ότι οι συσσωρευτές δεν φτάνουν το ελάχιστο επίπεδο φόρτισης, γεγονός που καταδεικνύει ότι οι συσσωρευτές πάντα ανταποκρίνονται στην ενέργεια που ζητείται από αυτούς.

Για να κατανοήσουμε τη ροή ενέργειας από και προς τους συσσωρευτές, μπορούμε να παρατηρήσουμε τον επόμενο πίνακα στον οποίο παρουσιάζεται η κατάσταση των συσσωρευτών καθώς και οι περιορισμοί που επιβάλλονται στην χρήση τους κατά τη διάρκεια του έτους.

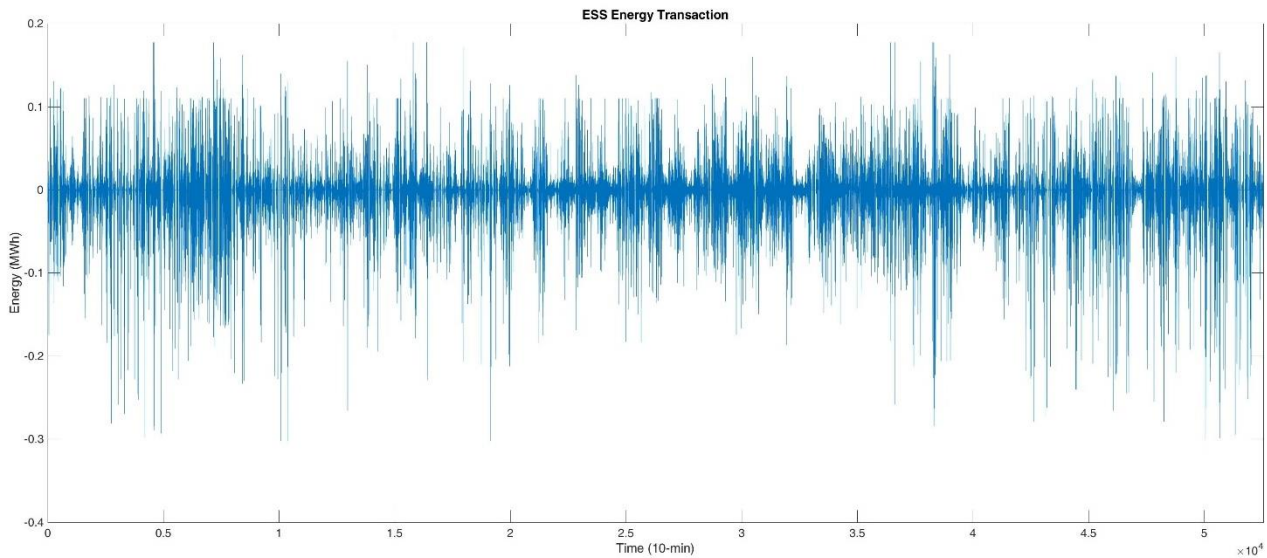
		10 – min	Ποσοστό Χρόνου
<b>Εκφόρτιση</b>	Κανένας περιορισμός	18989	99,93%
	Περιορισμός Χωρητικότητας	13	0,07%
	Περιορισμός Ισχύος Συσσωρευτών	0	0%
	Εκφορτισμένοι Συσσωρευτές	0	0%
	<b>Σύνολο</b>	<b>19002</b>	<b>100%</b>
<b>Φόρτιση</b>	Κανένας περιορισμός	15601	46.49%
	Περιορισμός Χωρητικότητας	3243	9.66%
	Περιορισμός Ισχύος Συσσωρευτών	0	0%
	Φορτισμένοι Συσσωρευτές	14714	43.85%
	<b>Σύνολο</b>	<b>33558</b>	<b>100%</b>

Πίνακας 6-77 Όρια Ενεργειακής Συναλλαγής Συσσωρευτών Πολιτικής 3 για Α/Γ 1500 kW – 20min πρόβλεψης

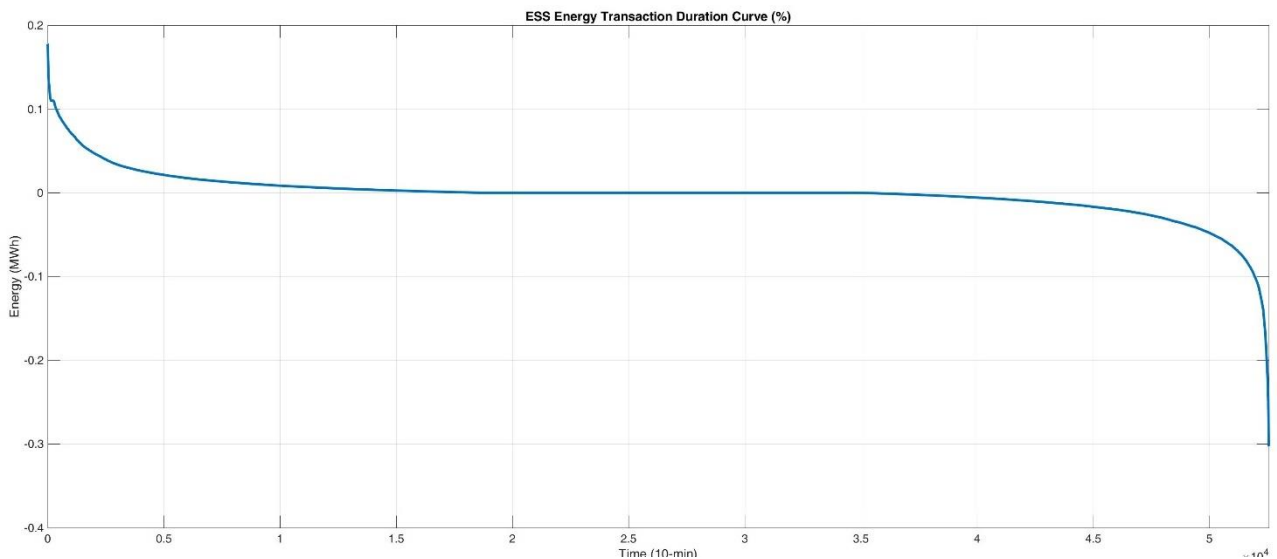
Παρατηρούμε ότι κατά κύριο λόγο η λειτουργία των συσσωρευτών δεν υπόκειται σε περιορισμούς, πέρα από κάποιες στιγμές που είναι πλήρως φορτισμένοι. Αυτό συμβαίνει κυρίως τις στιγμές που έχουμε περικοπές φορτίου, άρα στους συσσωρευτές οδηγείται όχι μόνο η διαφορά μεταξύ πρόβλεψης και πραγματικής παραγωγής του πάρκου, αλλά και η ενέργεια που απορρίπτει ο Διαχειριστής. Επομένως είναι λογικό οι στιγμές που οι

συσσωρευτές είναι πλήρεις να είναι περισσότερες από τις στιγμές που οι συσσωρευτές είναι εκφορτισμένοι.

Επιπλέον, μπορούμε να δούμε στα παρακάτω δυο διαγράμματα τη ροή ενέργεια από και προς τους συσσωρευτές, τόσο με τη μορφή χρονοσειράς όσο και με τη μορφή καμπύλης διάρκειας για ένα έτος.



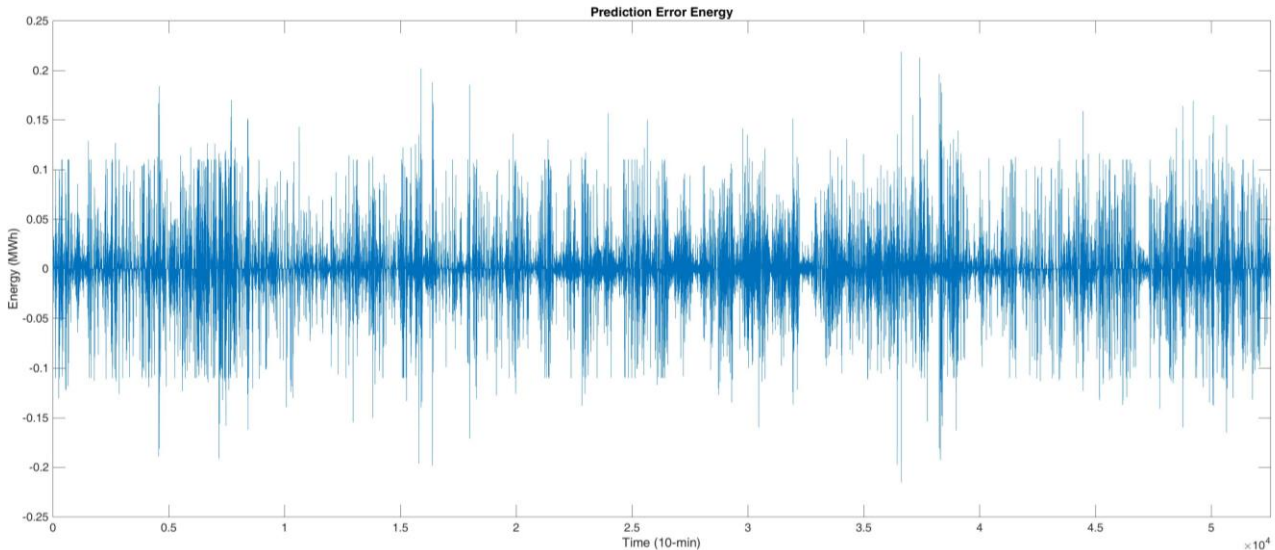
Σχήμα 6-98 Ετήσια Χρονοσειρά Ροής Ενέργειας Συσσωρευτών Πολιτικής 3 για Α/Γ 1500 kW – 20min πρόβλεψης



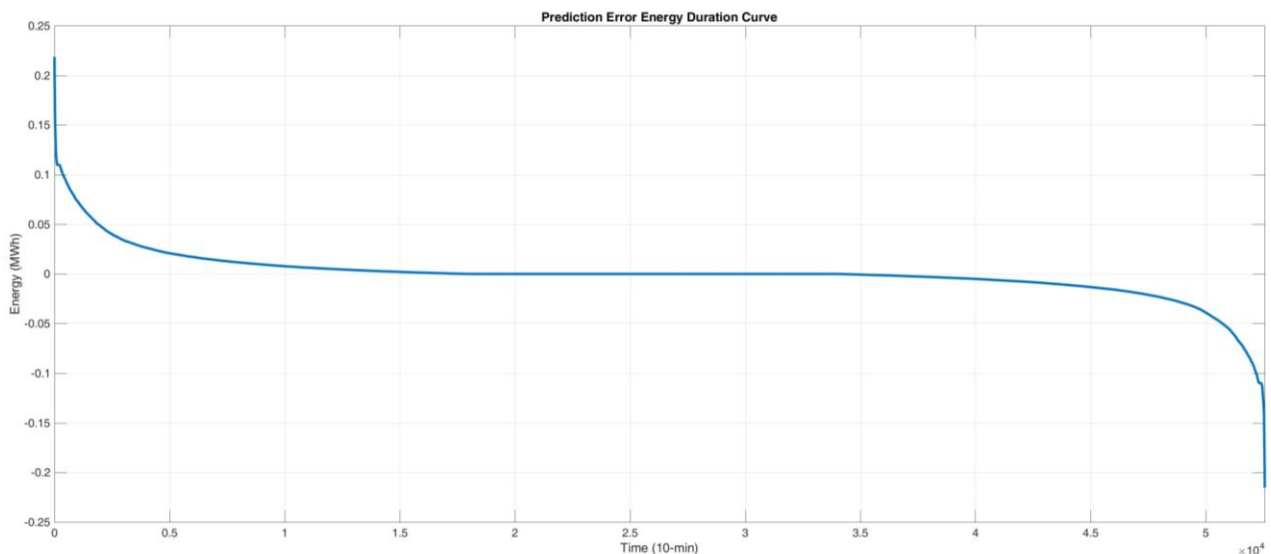
Σχήμα 6-99 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Ροής Ενέργειας Συσσωρευτών Πολιτικής 3 για Α/Γ 1500 kW – 20min πρόβλεψης

Στη συνέχεια θα μελετήσουμε τα μεγέθη που αφορούν στην πρόβλεψη της αιολικής παραγωγής και πώς αυτή επηρεάζει τη λειτουργία του σταθμού.

Στα παρακάτω δυο διαγράμματα παρουσιάζεται η απόκλιση μεταξύ πρόβλεψης και πραγματικής παραγωγής του Σταθμού, τόσο ως ετήσια χρονοσειρά, όσο και ως καμπύλη διάρκειας.



Σχήμα 6-100 Ετήσια Χρονοσειρά Απόκλισης Πρόβλεψης Πολιτικής 3 για Α/Γ 1500 kW – 20min πρόβλεψης



Σχήμα 6-101 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Απόκλισης Πρόβλεψης Πολιτικής 3 για Α/Γ 1500 kW – 20min πρόβλεψης

Συμπληρωματικά των παραπάνω διαγραμμάτων μπορούμε να αποτυπώσουμε ορισμένες χρήσιμες τιμές στον επόμενο πίνακα:

	Σύνολο (MWh)	Ποσοστό (%) επί της ενέργειας πρόβλεψης	Μέγιστη τιμή (MWh)	Μέση τιμή (MWh)
Απόκλιση πρόβλεψης – παραγωγής	689.85	16.93		
Απόκλιση φόρτισης (Παραγωγή > Πρόβλεψη)	342.29	8.4	0.2186	0.019
Απόκλιση εκφόρτισης (Παραγωγή < Πρόβλεψη)	347.55	8.53	0.2153	0.0183

Πίνακας 6-78 Τιμές Απόκλισης Πρόβλεψης Πολιτικής 3 για Α/Γ 1500 kW – 20min πρόβλεψης

Παρατηρούμε ότι το πρόσημο των αποκλίσεων είναι μοιρασμένο 50 – 50 ανάμεσα σε αποκλίσεις που οδηγούν σε φόρτιση και αποκλίσεις που οδηγούν σε εκφόρτιση.

Το ποσοστό των αποκλίσεων δεν είναι ιδιαίτερα υψηλό και όπως βλέπουμε οι συσσωρευτές είναι σε θέση να το διαχειριστούν με επιτυχία

Όταν έχουμε μια απόκλιση που οδηγεί σε εκφόρτιση τότε δεν είναι πάντα δεδομένο ότι οι συσσωρευτές θα ανταποκριθούν και θα προσφέρουν την ενέργεια που απαιτείται. Αν μάλιστα στο τέλος η διαφορά μεταξύ της ενέργειας που είχε υποσχεθεί ο Σταθμός και της ενέργειας που τελικά προσέφερε είναι μεγαλύτερη του 10% της υποσχεθείσας, τότε επιβάλλεται στον Σταθμό πρόστιμο, το οποίο στο πλαίσιο της παρούσας Μεταπτυχιακής τιμολογείται με 150 € / MWh. Αυτή η χρέωση ονομάζεται Χρέωση Απόκλισης Φορτίου (ΧΑΦ). Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται τα μεγέθη που αφορούν στις αδυναμίες κάλυψης της πρόβλεψης αλλά και το πόσες από αυτές τις αδυναμίες χρεώνονται στον Σταθμό.

	Σύνολο (MWh)	Ποσοστό (%) επί της ενέργειας πρόβλεψης	Μέγιστη τιμή (MWh)	Μέση τιμή (MWh)
Αδυναμία Κάλυψης Απόκλισης Πρόβλεψης	0.167	0.005	0.038	0.0151
Χρέωση Απόκλισης Φορτίου	0	0	0	0

Πίνακας 6-79 Τιμές Αδυναμίας Κάλυψης της Απόκλισης Πρόβλεψης Πολιτικής 3 για Α/Γ 1500 kW – 20min πρόβλεψης

Η συνολική Χρέωση Απόκλισης Φορτίου ανέρχεται σε 0 € και προκύπτει στο 0% των 10 min που έχουμε αδυναμία κάλυψης της απόκλισης πρόβλεψης. Στην ουσία δεν προκύπτει θέμα απόκλισης φορτίου λόγω της ικανοποιητικής διαστασιολόγησης των συσσωρευτών και του μικρού διαστήματος πρόβλεψης.

6.3.5 Ανεμογεννήτρια 600 kW – Συσσωρευτές 0.66 MW/0.99 MWh – 60 min  
πρόβλεψης

<b>Εγγεόμενη ενέργεια από την ανεμογεννήτρια (MWh)</b>	1798,1 (87,2% της εγγεόμενης)
<b>Εγγεόμενη ενέργεια από συσσωρευτές (MWh)</b>	263,95 (12,8% της εγγεόμενης)
<b>Συνολικά εγγεόμενη ενέργεια (MWh)</b>	2062,05 (12,88% του φορτίου)
<b>Απορριπτόμενη ενέργεια (MWh)</b>	251,52
<b>Συντελεστής Χρησιμοποίησης Σταθμού (%)</b>	39,23
<b>Συνολική Παραγωγή ΑΠΕ (MWh)</b>	2062,05 (12,88% του φορτίου)
<b>Μέσο SOC συσσωρευτών (%)</b>	69,38%
<b>ΧΑΦ</b>	904,5 € για 9,05 MWh
<b>Συνολικό κόστος (€)</b>	1599000
<b>IRR για 100% ίδια κεφάλαια (%)</b>	4,59

Πίνακας 6-80 Αποτελέσματα Πολιτικής 3 για Α/Γ 600 kW – 60min πρόβλεψης

Στον επόμενο πίνακα απεικονίζονται οι χρηματοροές του έργου για μια περίοδο 20-ετίας.

Έτος	Τιμή πώλησης (€ / kWh)	Έσοδα (€)	Συντήρηση (1% κόστους)	Λειτουργικά (1% κόστους)	Repowering (€)	Τιμή ΧΑΦ (€/MWh)	ΧΑΦ (€)	Φόρος (€)	Καθαρά Κέρδη (€)
0	100,00	-1599000,00							<b>-1599000,00</b>
1	100,00	206205,00	15990,00	15990,00	0,00	150,00	1357,50	43216,88	129650,63
2	100,80	207854,64	16469,70	16469,70	0,00	151,20	1368,36	43386,72	130160,16
3	101,61	209517,48	16963,79	16963,79	0,00	152,41	1379,31	43552,65	130657,94
4	102,42	211193,62	17472,70	17472,70	0,00	153,63	1390,34	43714,47	131143,40
5	103,24	212883,17	17996,89	17996,89	0,00	154,86	1401,46	43871,98	131615,95
6	104,06	214586,23	18536,79	18536,79	0,00	156,10	1412,68	44024,99	132074,98
7	104,90	216302,92	19092,90	19092,90	0,00	157,35	1423,98	44173,29	132519,86
8	105,74	218033,34	19665,68	19665,68	0,00	158,60	1435,37	44316,65	132949,96
9	106,58	219777,61	20255,65	20255,65	0,00	159,87	1446,85	44454,86	133364,59
10	107,43	221535,83	20863,32	20863,32	247500,00	161,15	1458,43	-17287,31	-51861,93
11	108,29	223308,12	21489,22	21489,22	0,00	162,44	1470,09	44714,89	134144,68
12	109,16	225094,58	22133,90	22133,90	0,00	163,74	1481,85	44836,23	134508,70
13	110,03	226895,34	22797,92	22797,92	0,00	165,05	1493,71	44951,45	134854,35
14	110,91	228710,50	23481,85	23481,85	0,00	166,37	1505,66	45060,28	135180,85
15	111,80	230540,19	24186,31	24186,31	0,00	167,70	1517,70	45162,47	135487,40
16	112,70	232384,51	24911,90	24911,90	0,00	169,04	1529,85	45257,72	135773,15
17	113,60	234243,58	25659,26	25659,26	0,00	170,40	1542,09	45345,75	136037,24
18	114,51	236117,53	26429,03	26429,03	0,00	171,76	1554,42	45426,26	136278,78
19	115,42	238006,47	27221,90	27221,90	0,00	173,13	1566,86	45498,95	136496,86
20	116,35	239910,53	28038,56	28038,56	0,00	174,52	1579,39	45563,50	136690,51

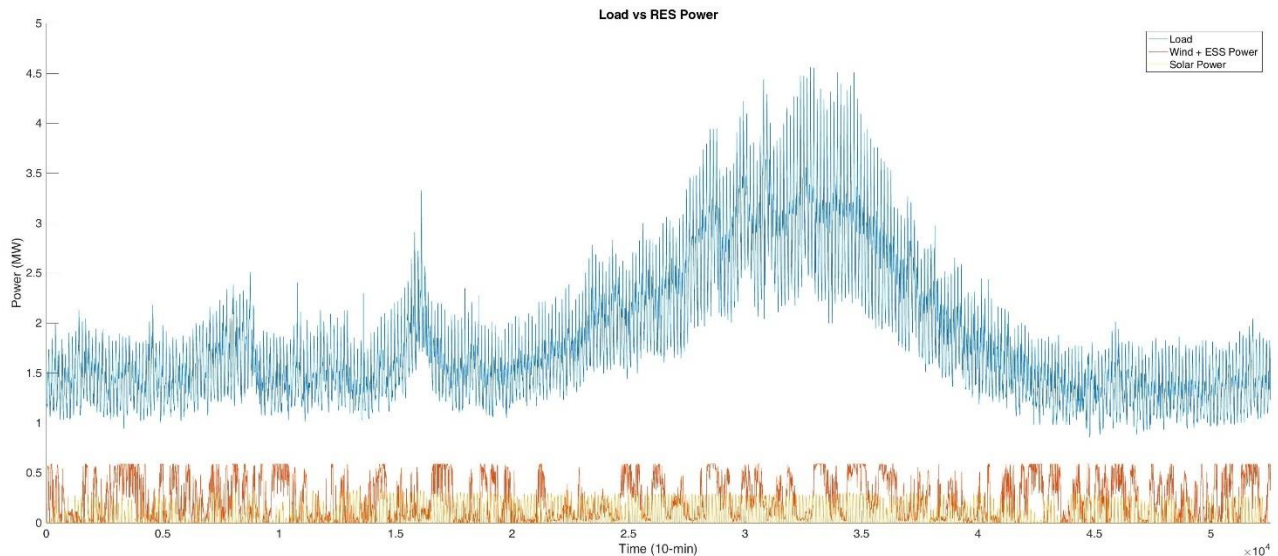
Τεχνοοικονομική βελτιστοποίηση συστήματος συσσωρευτών για αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας  
Αιολικού Σταθμού σε ΜΔΝ

Σύνολο	4453101,20	429657,29	429657,29	247500,00	3239,33	29315,90	829242,68	2487728,04
Επιτόκιο αναγωγής	Συνολικό κόστος (€)	Ίδια κεφάλαια (€)	Δάνειο (€)	IRR	Παραγόμενη Ενέργεια (MWh)	Απόκλιση Φορτίου (MWh)	NPV	
0,07	1599000	1599000,00	0,00	4,59%	2062,05	9,05	-267.402,21	

Πίνακας 6-81 Χρηματοροές Πολιτικής 3 για Α/Γ 600 kW – 60min πρόβλεψη

Παρατηρούμε ότι η επένδυση έχει θετικό IRR, αλλά αρνητική καθαρή παρούσα αξία καθώς το IRR είναι μικρότερο από το επιτόκιο αναγωγής. Πιθανότατα με μια μικρή μείωση του κόστους της επένδυσης ή με αύξηση της τιμής αποζημίωσης για την πωλούμενη ενέργεια να παρουσιάσει θετική καθαρή παρούσα αξία.

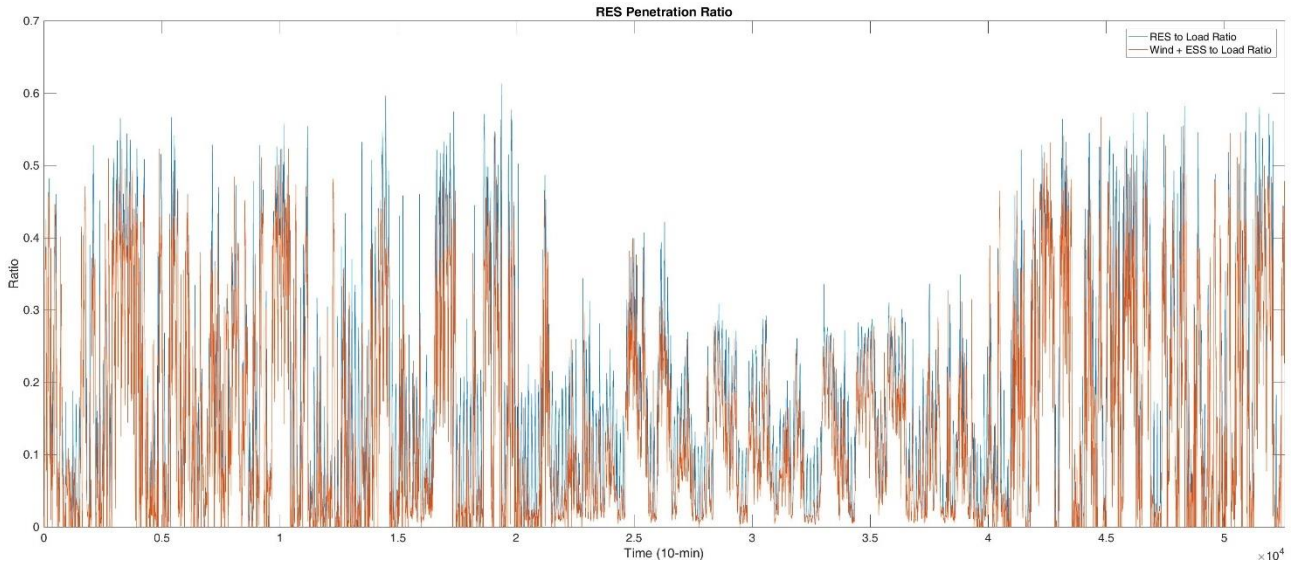
Στο επόμενο διάγραμμα απεικονίζεται η ισχύς που προέρχεται από ΑΠΕ σε σχέση με φορτίο (μπλε), δηλαδή τον αιολικό σταθμό (πορτοκαλί) και τα φωτοβολταϊκά (κίτρινο).



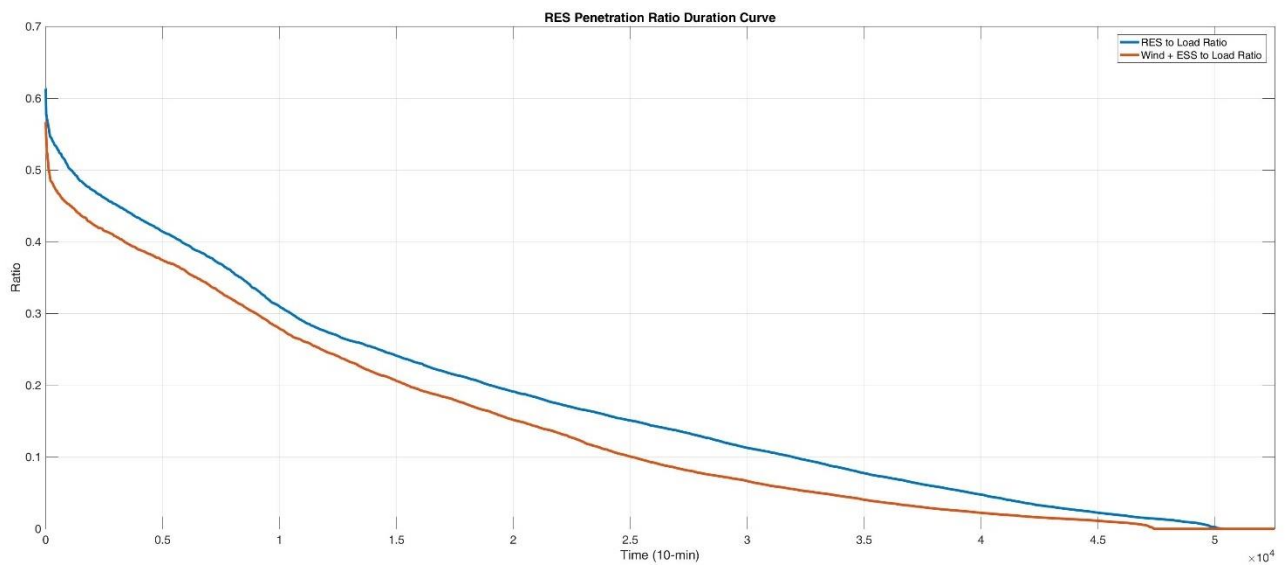
Σχήμα 6-102 Ετήσια Χρονοσειρά Φορτίου προς Αιολική και Φωτοβολταϊκή Παραγωγή Πολιτικής 3 για Α/Γ 600 kW – 60min πρόβλεψης

Επίσης, στα επόμενα δυο διαγράμματα παρουσιάζεται το ποσοστό διείσδυσης των ΑΠΕ (μπλε γραμμή) και του Σταθμού (πορτοκαλί γραμμή) στη διάρκεια του έτους, τόσο ως χρονοσειρά όσο και ως καμπύλη διάρκειας.

Τεχνοοικονομική βελτιστοποίηση συστήματος συσσωρευτών για αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας  
Αιολικού Σταθμού σε ΜΔΝ



Σχήμα 6-103 Ετήσια Χρονοσειρά Ποσοστού Διείσδυσης Αιολικής Παραγωγής και ΑΠΕ Πολιτικής 3 για Α/Γ 600 kW – 60min πρόβλεψης



Σχήμα 6-104 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Ποσοστού Διείσδυσης Αιολικής Παραγωγής και ΑΠΕ Πολιτικής 3 για Α/Γ 600 kW – 60min πρόβλεψης

Μερικές χρήσιμες τιμές που μπορούν να εξαχθούν καταγράφονται στον επόμενο πίνακα:

	Ελάχιστο (%)	Μέγιστο (%)	Μέσο (%)
Παραγωγή Σταθμού προς φορτίο	0	56,68	14,11
Συνολική παραγωγή ΑΠΕ προς φορτίο	0	61,3	17,41

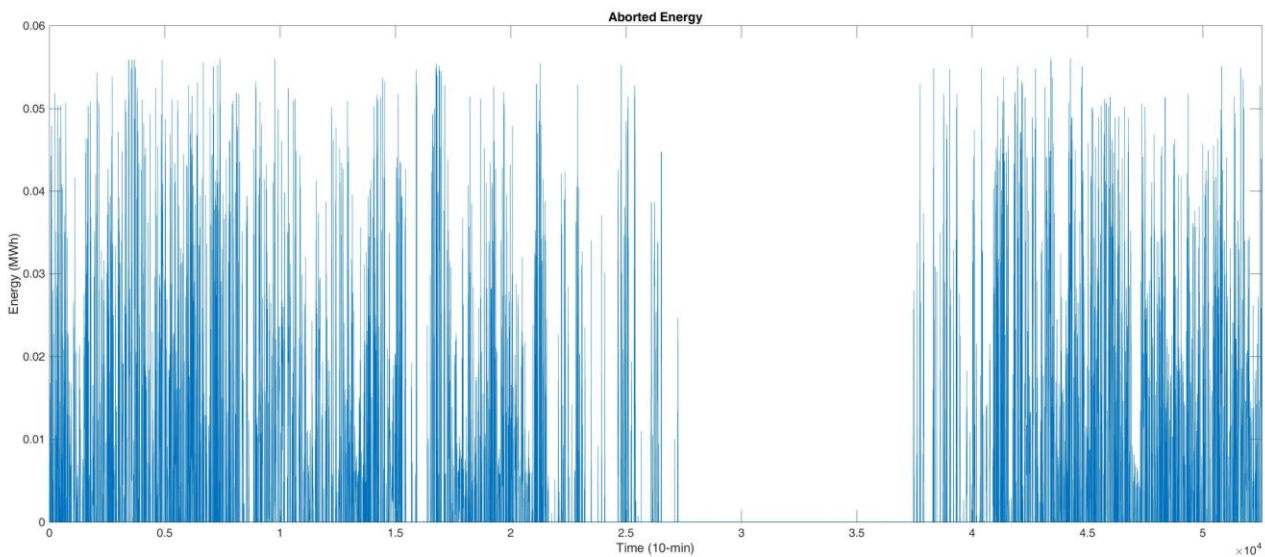
Πίνακας 6-82 Τιμές από Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Ποσοστού Διείσδυσης Αιολικής Παραγωγής και ΑΠΕ Πολιτικής 3 για Α/Γ 600 kW – 60min πρόβλεψης



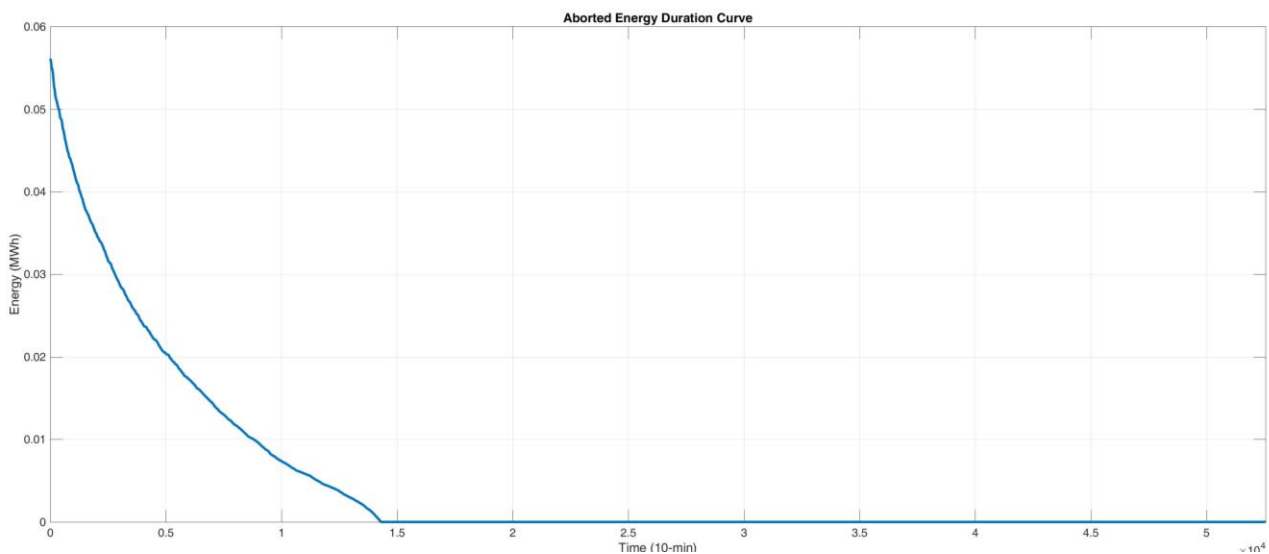
Παρατηρούμε ότι η διείσδυση ΑΠΕ ανεβαίνει σημαντικά σε σχέση με τις 2 προηγούμενες πολιτικές λειτουργίας. Αυτό οφείλεται στην άρση των περιορισμών διείσδυσης που έθεταν χαμηλά το διαθέσιμο περιθώριο διείσδυσης των ΑΠΕ.

Ωστόσο, ακόμα και σε αυτή την πολιτική λειτουργίας ο Σταθμός υπόκειται σε περικοπές ισχύος καθώς πρέπει να τηρούνται τα τεχνικά ελάχιστα των θερμικών μηχανών αλλά και η απαίτηση για ένταξη τουλάχιστον μιας θερμικής μηχανής.

Η χρονοσειρά της απορριπτόμενης ενέργειας καθώς η αντίστοιχη καμπύλη διάρκειας παρουσιάζονται στα επόμενα δυο διαγράμματα.



Σχήμα 6-105 Ετήσια Χρονοσειρά Περικοπών Πολιτικής 3 για Α/Γ 600 kW – 60min πρόβλεψης



Σχήμα 6-106 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Περικοπών Πολιτικής 3 για Α/Γ 600 kW – 60min πρόβλεψης

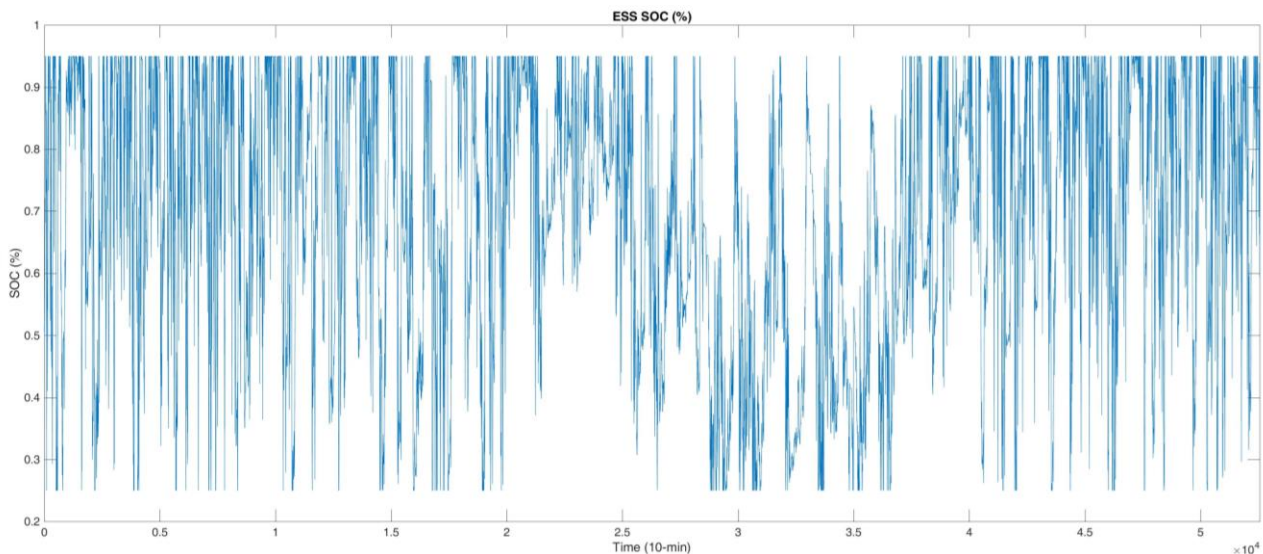
Παρατηρούμε ότι κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού οι περικοπές είναι μηδενικές καθώς έχουμε αρκετά υψηλότερα φορτία που επιτρέπουν την απορρόφηση όλης της παραγωγής του Σταθμού.

Μερικές χρήσιμες τιμές που προκύπτουν από τα παραπάνω διαγράμματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

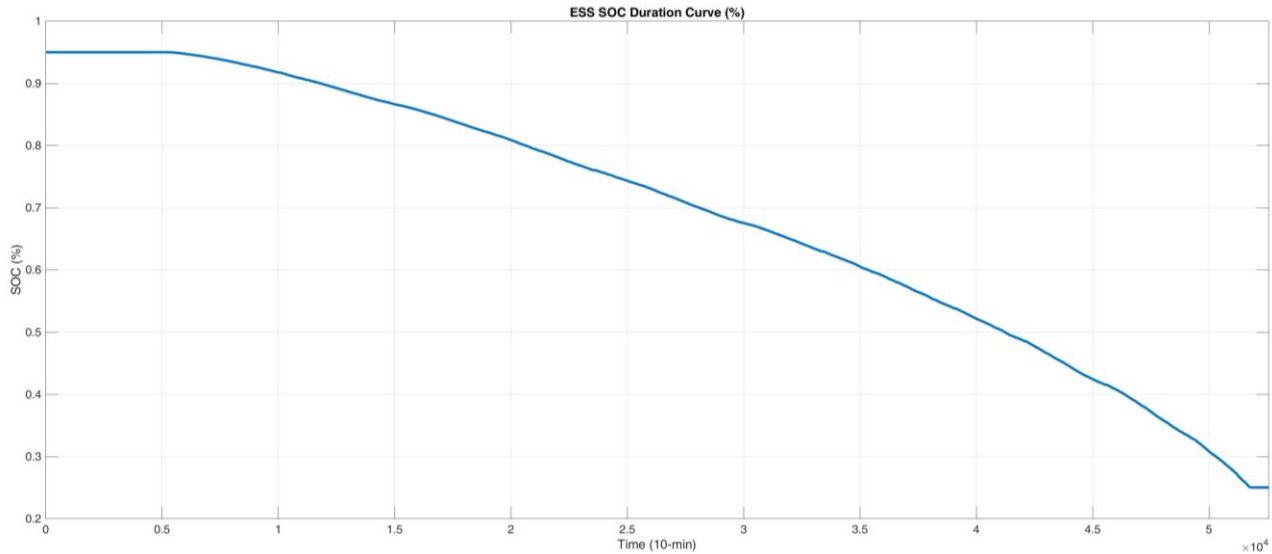
	Σύνολο (MWh)	Μέγιστο (MWh)	Μέσο (MWh)
Περικοπές Ενέργειας	251,52	0,056	0,0048

Πίνακας 6-83 Τιμές Ετήσιων Περικοπών Πολιτικής 3 για Α/Γ 600 kW – 60min πρόβλεψη

Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν στοιχεία που αφορούν στη λειτουργία των συσσωρευτών. Στο επόμενο διάγραμμα παρουσιάζεται η στάθμη φόρτισης στη διάρκεια του έτους και αμέσως μετά η ετήσια καμπύλη διάρκειας της στάθμης φόρτισης.



Σχήμα 6-107 Ετήσια Χρονοσειρά Στάθμης Φόρτισης Συσσωρευτών Πολιτικής 3 για Α/Γ 600 kW – 60min πρόβλεψης



Σχήμα 6-108 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Στάθμης Φόρτισης Συσσωρευτών Πολιτικής 3 για Α/Γ 600 kW – 60min πρόβλεψης

Παρατηρούμε ότι το καλοκαίρι μειώνεται ελαφρώς το επίπεδο φόρτισης των συσσωρευτών. Αυτό προκύπτει επειδή έχουμε μεγάλο φορτίο και άρα δεν υπάρχουν περικοπές ενέργειας από το Σταθμό. Αυτό σημαίνει ότι δεν κατευθύνονται μεγάλα ποσά ενέργειας προς τους συσσωρευτές. Στην ουσία οι συσσωρευτές απορροφούν και αποδίδουν συνεχώς μικρά ποσά ενέργειας που οφείλονται στα μικρά σφάλματα πρόβλεψης κατά τη διάρκεια του 20λέπτου. Επομένως το επίπεδο φόρτισής τους παραμένει πιο χαμηλά και είναι έντονα μεταβαλλόμενο.

Επίσης, παρατηρούμε σε σχέση με την πρόβλεψη των 60 min ότι η χρήση των συσσωρευτών έχει μεγαλύτερο χρονικό και ενεργειακό εύρος.

Η μέση στάθμη φόρτισης των συσσωρευτών είναι ίση με 69,38%, ενώ στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται κάποιες επιπλέον χρήσιμες τιμές για το επίπεδο φόρτισης των συσσωρευτών.

Πλήθος 10-min	
Μέγιστη Στάθμη Φόρτισης	4895 (9,31%)
Ελάχιστη Στάθμη Φόρτισης	756 (1,44%)
Ενδιάμεση Στάθμη Φόρτισης	46909 (89,24%)

Πίνακας 6-84 Τιμές από Ετήσια Χρονοσειρά Στάθμης Φόρτισης Συσσωρευτών Πολιτικής 3 για Α/Γ 600 kW – 60min πρόβλεψης

Είναι προφανές ότι οι συσσωρευτές λειτουργούν το 90% του έτους, 10% παραπάνω από το αντίστοιχο ποσοστό με πρόβλεψη 20 min. Επίσης, παρατηρούμε ότι οι στιγμές που είναι

πλήρως φορτισμένοι είναι αρκετά λιγότερες και αυτό οφείλεται στο ότι έχουν μεγαλύτερες ενεργειακές συναλλαγές

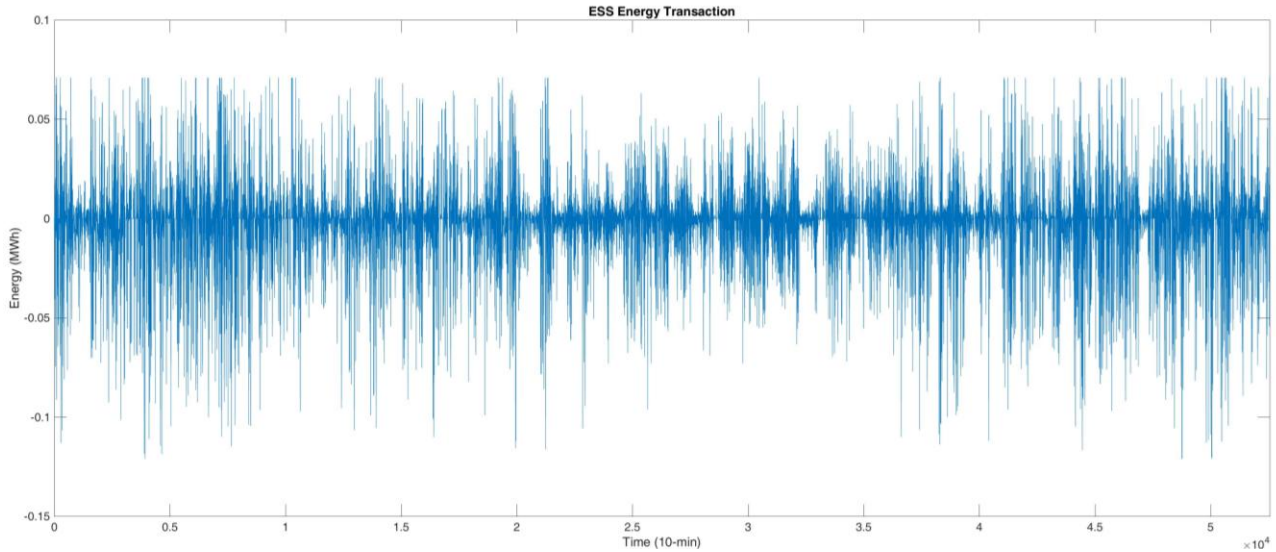
Για να κατανοήσουμε τη ροή ενέργειας από και προς τους συσσωρευτές, μπορούμε να παρατηρήσουμε τον επόμενο πίνακα στον οποίο παρουσιάζεται η κατάσταση των συσσωρευτών καθώς και οι περιορισμοί που επιβάλλονται στην χρήση τους κατά τη διάρκεια του έτους.

		<b>10 – min</b>	<b>Ποσοστό Χρόνου</b>
<b>Εκφόρτιση</b>	Κανένας περιορισμός	24591	96,68%
	Περιορισμός Χωρητικότητας	150	0,59%
	Περιορισμός Ισχύος Συσσωρευτών	0	0%
	Εκφορτισμένοι Συσσωρευτές	692	2,71%
	<b>Σύνολο</b>	<b>25433</b>	<b>100%</b>
<b>Φόρτιση</b>	Κανένας περιορισμός	22233	81,96%
	Περιορισμός Χωρητικότητας	805	2,97%
	Περιορισμός Ισχύος Συσσωρευτών	0	0%
	Φορτισμένοι Συσσωρευτές	4089	15,07%
	<b>Σύνολο</b>	<b>27127</b>	<b>100%</b>

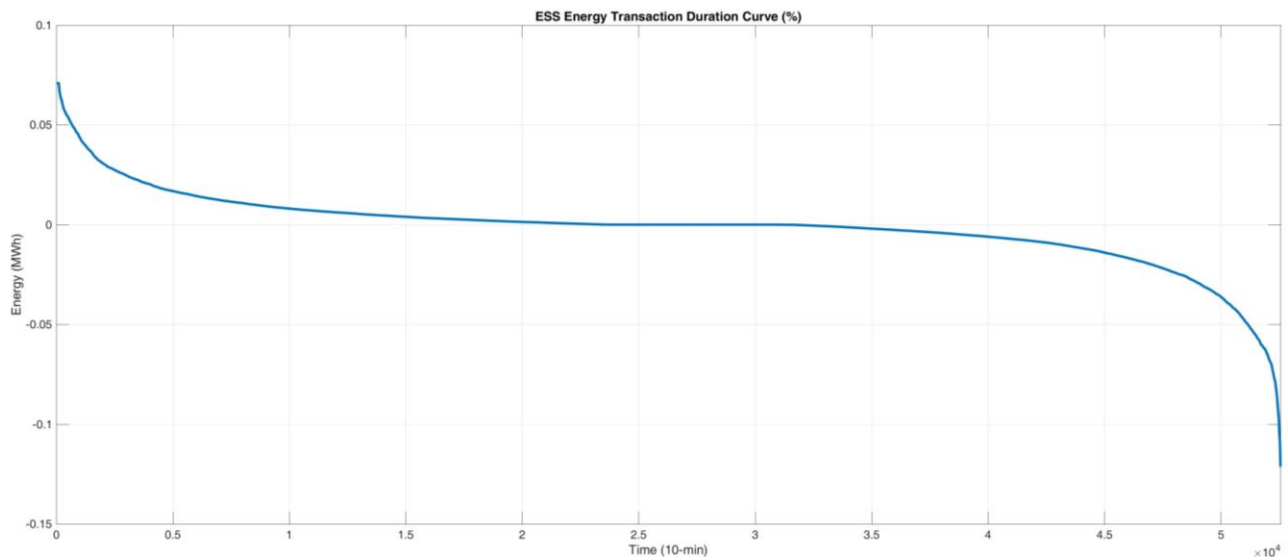
Πίνακας 6-85 Όρια Ενεργειακής Συναλλαγής Συσσωρευτών Πολιτικής 3 για Α/Γ 600 kW – 60min πρόβλεψης

Παρατηρούμε ότι κατά κύριο λόγο η λειτουργία των συσσωρευτών δεν υπόκειται σε περιορισμούς, πέρα από κάποιες στιγμές που είναι πλήρως φορτισμένοι. Αυτό συμβαίνει κυρίως τις στιγμές που έχουμε περικοπές φορτίου, άρα στους συσσωρευτές οδηγείται όχι μόνο η διαφορά μεταξύ πρόβλεψης και πραγματικής παραγωγής του πάρκου, αλλά και η ενέργεια που απορρίπτει ο Διαχειριστής. Επομένως είναι λογικό οι στιγμές που οι συσσωρευτές είναι πλήρεις να είναι περισσότερες από τις στιγμές που οι συσσωρευτές είναι εκφορτισμένοι.

Επιπλέον, μπορούμε να δούμε στα παρακάτω δυο διαγράμματα τη ροή ενέργεια από και προς τους συσσωρευτές, τόσο με τη μορφή χρονοσειράς όσο και με τη μορφή καμπύλης διάρκειας για ένα έτος.



Σχήμα 6-109 Ετήσια Χρονοσειρά Ροής Ενέργειας Συσσωρευτών Πολιτικής 3 για Α/Γ 600 kW – 60min πρόβλεψης

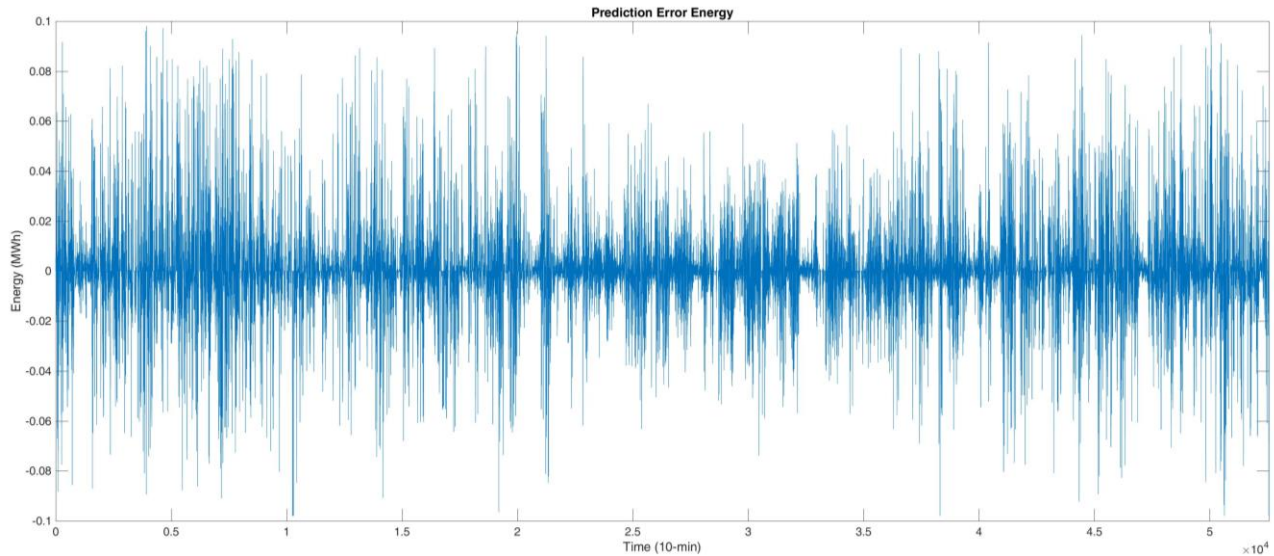


Σχήμα 6-110 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Ροής Ενέργειας Συσσωρευτών Πολιτικής 3 για Α/Γ 600 kW – 60min πρόβλεψης

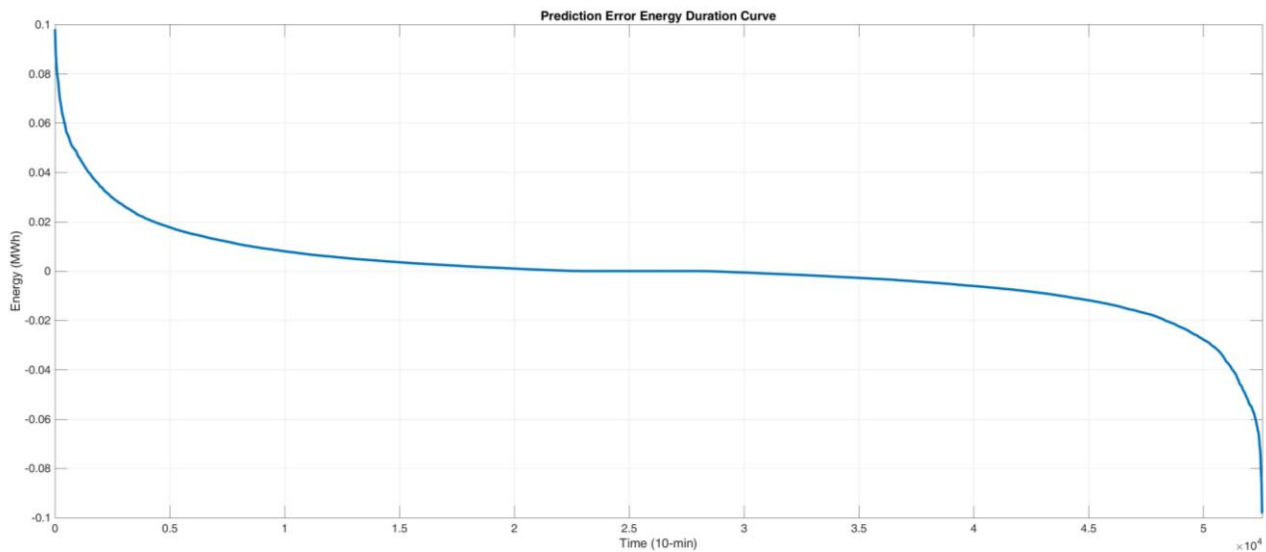
Στη συνέχεια θα μελετήσουμε τα μεγέθη που αφορούν στην πρόβλεψη της αιολικής παραγωγής και πώς αυτή επηρεάζει τη λειτουργία του σταθμού.

Στα παρακάτω δυο διαγράμματα παρουσιάζεται η απόκλιση μεταξύ πρόβλεψης και πραγματικής παραγωγής του Σταθμού, τόσο ως ετήσια χρονοσειρά, όσο και ως καμπύλη διάρκειας.

Τεχνοοικονομική βελτιστοποίηση συστήματος συσσωρευτών για αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας  
Αιολικού Σταθμού σε ΜΔΝ



Σχήμα 6-111 Ετήσια Χρονοσειρά Απόκλισης Πρόβλεψης Πολιτικής 3 για Α/Γ 600 kW – 60min πρόβλεψης



Σχήμα 6-112 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Απόκλισης Πρόβλεψης Πολιτικής 3 για Α/Γ 600 kW – 60min πρόβλεψης

Συμπληρωματικά των παραπάνω διαγραμμάτων μπορούμε να αποτυπώσουμε ορισμένες χρήσιμες τιμές στον επόμενο πίνακα:

	Σύνολο (MWh)	Ποσοστό (%) επί της ενέργειας πρόβλεψης	Μέγιστη τιμή (MWh)	Μέση τιμή (MWh)
Απόκλιση πρόβλεψης – παραγωγής	549,54	26,51		
Απόκλιση φόρτισης (Παραγωγή > Πρόβλεψη)	274,73	13,25	0.098	0,0117

Απόκλιση εκφόρτισης (Παραγωγή < Πρόβλεψη)	274,82	13,26	0.098	0,011
--	--------	-------	-------	-------

Πίνακας 6-86 Τιμές Απόκλισης Πρόβλεψης Πολιτικής 3 για Α/Γ 600 kW – 60min πρόβλεψης

Παρατηρούμε ότι το πρόσημο των αποκλίσεων είναι μοιρασμένο 50 – 50 ανάμεσα σε αποκλίσεις που οδηγούν σε φόρτιση και αποκλίσεις που οδηγούν σε εκφόρτιση.

Το ποσοστό των αποκλίσεων δεν είναι ιδιαίτερα υψηλό και όπως βλέπουμε οι συσσωρευτές είναι σε θέση να το διαχειριστούν με επιτυχία

Όταν έχουμε μια απόκλιση που οδηγεί σε εκφόρτιση τότε δεν είναι πάντα δεδομένο ότι οι συσσωρευτές θα ανταποκριθούν και θα προσφέρουν την ενέργεια που απαιτείται. Αν μάλιστα στο τέλος η διαφορά μεταξύ της ενέργειας που είχε υποσχεθεί ο Σταθμός και της ενέργειας που τελικά προσέφερε είναι μεγαλύτερη του 10% της υποσχεθείσας, τότε επιβάλλεται στον Σταθμό πρόστιμο, το οποίο στο πλαίσιο της παρούσας Μεταπτυχιακής τιμολογείται με 150 € / MWh. Αυτή η χρέωση ονομάζεται Χρέωση Απόκλισης Φορτίου (ΧΑΦ). Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται τα μεγέθη που αφορούν στις αδυναμίες κάλυψης της πρόβλεψης αλλά και το πόσες από αυτές τις αδυναμίες χρεώνονται στον Σταθμό.

	Σύνολο (MWh)	Ποσοστό (%) επί της ενέργειας πρόβλεψης	Μέγιστη τιμή (MWh)	Μέση τιμή (MWh)
Αδυναμία Κάλυψης Απόκλισης Πρόβλεψης	10,87	0,52	0,076	0,013
Χρέωση Απόκλισης Φορτίου	9,04	0,44	0,076	0,005

Πίνακας 6-87 Τιμές Αδυναμίας Κάλυψης της Απόκλισης Πρόβλεψης Πολιτικής 3 για Α/Γ 600 kW – 60min πρόβλεψης

Η συνολική Χρέωση Απόκλισης Φορτίου ανέρχεται σε 904,49 € και προκύπτει στο 83,25% των 643 δεκαλέπτων που έχουμε αδυναμία κάλυψης της απόκλισης πρόβλεψης. Φυσικά το ποσό είναι αμελητέο και δεν επηρεάζει καθόλου την οικονομική απόδοση του έργου.

#### 6.3.6 Ανεμογεννήτρια 900 kW – Συσσωρευτές 0.99 MW/1.49 MWh – 60 min πρόβλεψης

<b>Εγγεόμενη ενέργεια από την ανεμογεννήτρια (MWh)</b>	2574,12 (87,25% της εγγεόμενης)
<b>Εγγεόμενη ενέργεια από συσσωρευτές (MWh)</b>	376,23 (12,75% της εγγεόμενης)
<b>Συνολικά εγγεόμενη ενέργεια (MWh)</b>	2950,35 (18,43% του φορτίου)

Τεχνοοικονομική βελτιστοποίηση συστήματος συσσωρευτών για αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας  
Αιολικού Σταθμού σε ΜΔΝ

<b>Απορριπτόμενη ενέργεια (MWh)</b>	538,43
<b>Συντελεστής Χρησιμοποίησης Σταθμού (%)</b>	37,42
<b>Συνολική Παραγωγή ΑΠΕ (MWh)</b>	3485,83 (21,77% του φορτίου)
<b>Μέσο SOC συσσωρευτών (%)</b>	71,2
<b>ΧΑΦ</b>	751,5 € για 5,01 MWh
<b>Συνολικό κόστος (€)</b>	2398500
<b>IRR για 100% ίδια κεφάλαια (%)</b>	3,94

Πίνακας 6-88 Αποτελέσματα Πολιτικής 3 για Α/Γ 900 kW – 60min πρόβλεψης

Στον επόμενο πίνακα απεικονίζονται οι χρηματοροές του έργου για μια περίοδο 20-ετίας.

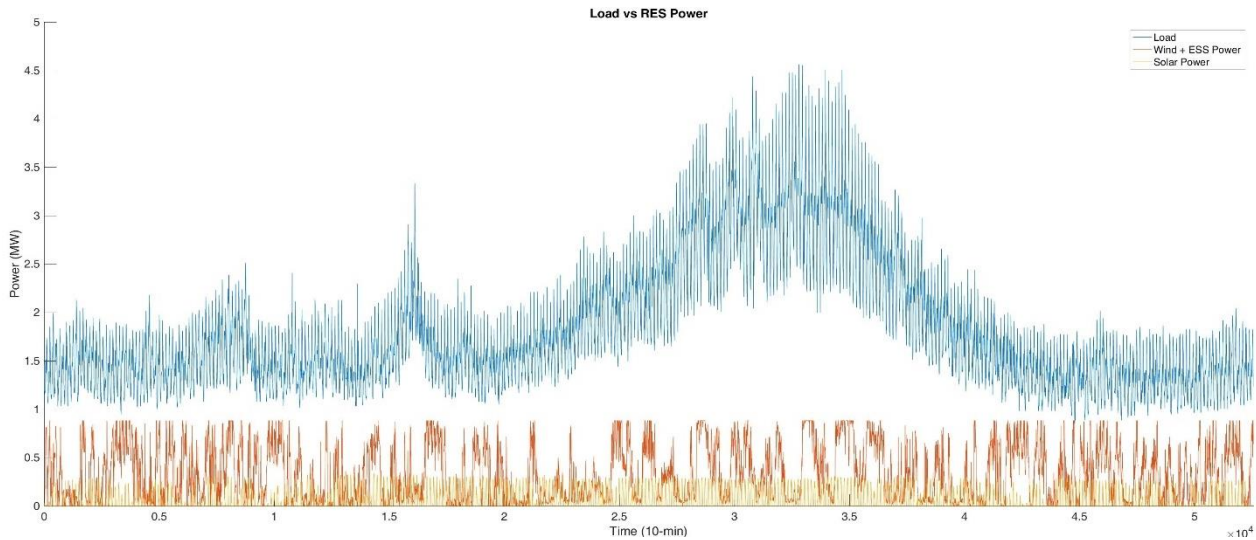
Έτος	Τιμή πώλησης (€ / kWh)	Έσοδα (€)	Συντήρηση (1% κόστους)	Λειτουργικά (1% κόστους)	Repowering (€)	Τιμή ΧΑΦ (€/MWh)	ΧΑΦ (€)	Φόρος (€)	Καθαρά Κέρδη (€)
0	100,00	-2398500,00							<b>-2398500,00</b>
1	100,00	295035,00	23985,00	23985,00	0,00	150,00	751,50	61578,38	184735,13
2	100,80	297395,28	24704,55	24704,55	0,00	151,20	757,51	61807,17	185421,50
3	101,61	299774,44	25445,69	25445,69	0,00	152,41	763,57	62029,87	186089,62
4	102,42	302172,64	26209,06	26209,06	0,00	153,63	769,68	62246,21	186738,63
5	103,24	304590,02	26995,33	26995,33	0,00	154,86	775,84	62455,88	187367,64
6	104,06	307026,74	27805,19	27805,19	0,00	156,10	782,04	62658,58	187975,74
7	104,90	309482,95	28639,34	28639,34	0,00	157,35	788,30	62853,99	188561,97
8	105,74	311958,82	29498,52	29498,52	0,00	158,60	794,61	63041,79	189125,37
9	106,58	314454,49	30383,48	30383,48	0,00	159,87	800,96	63221,64	189664,92
10	107,43	316970,12	31294,98	31294,98	371250,00	161,15	807,37	-29419,30	-88257,91
11	108,29	319505,88	32233,83	32233,83	0,00	162,44	813,83	63556,10	190668,29
12	109,16	322061,93	33200,85	33200,85	0,00	163,74	820,34	63709,97	191129,92
13	110,03	324638,43	34196,87	34196,87	0,00	165,05	826,90	63854,44	191563,33
14	110,91	327235,53	35222,78	35222,78	0,00	166,37	833,52	63989,11	191967,34
15	111,80	329853,42	36279,46	36279,46	0,00	167,70	840,19	64113,58	192340,73
16	112,70	332492,25	37367,85	37367,85	0,00	169,04	846,91	64227,41	192682,23
17	113,60	335152,18	38488,88	38488,88	0,00	170,40	853,68	64330,18	192990,55
18	114,51	337833,40	39643,55	39643,55	0,00	171,76	860,51	64421,45	193264,34
19	115,42	340536,07	40832,86	40832,86	0,00	173,13	867,40	64500,74	193502,22
20	116,35	343260,36	42057,84	42057,84	0,00	174,52	874,34	64567,58	193702,75
	<b>Σύνολο</b>	<b>6371429,95</b>	<b>644485,93</b>	<b>644485,93</b>	<b>371250,00</b>	<b>3239,33</b>	<b>16229,02</b>	<b>1173744,76</b>	<b>3521234,29</b>
	<b>Επιτόκιο αναγωγής</b>	<b>Συνολικό κόστος (€)</b>	<b>Ίδια κεφάλαια (€)</b>	<b>Δάνειο (€)</b>	<b>IRR</b>	<b>Παραγόμενη Ενέργεια (MWh)</b>	<b>Απόκλιση Φορτίου (MWh)</b>	<b>NPV</b>	
	0,07	2398500	2398500,00	0,00	3,94%	2950,35	5,01	<b>-503.435,51</b>	

Πίνακας 6-89 Χρηματοροές Πολιτικής 3 για Α/Γ 900 kW – 60min πρόβλεψης



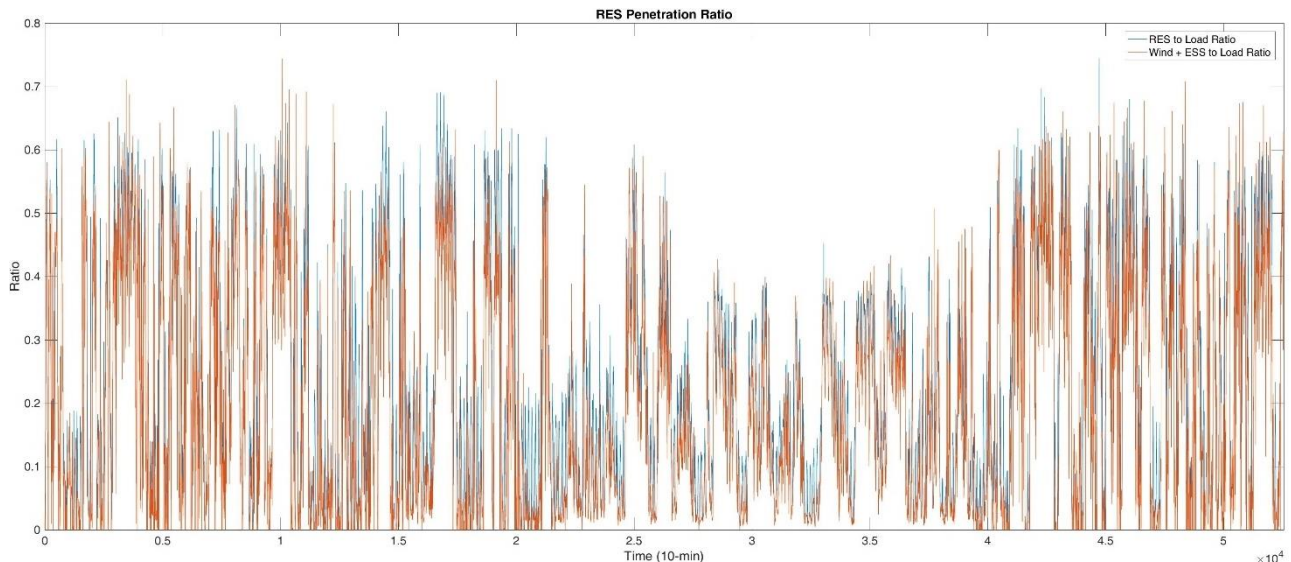
Παρατηρούμε ότι η επένδυση έχει θετικό IRR, αλλά αρνητική καθαρή παρούσα αξία καθώς το IRR είναι μικρότερο από το επιτόκιο αναγωγής. Πιθανότατα με μια μικρή μείωση του κόστους της επένδυσης ή με αύξηση της τιμής αποζημίωσης για την πωλούμενη ενέργεια να παρουσιάσει θετική καθαρή παρούσα αξία.

Στο επόμενο διάγραμμα απεικονίζεται η ισχύς που προέρχεται από ΑΠΕ σε σχέση με φορτίο (μπλε), δηλαδή τον αιολικό σταθμό (πορτοκαλί) και τα φωτοβολταϊκά (κίτρινο).

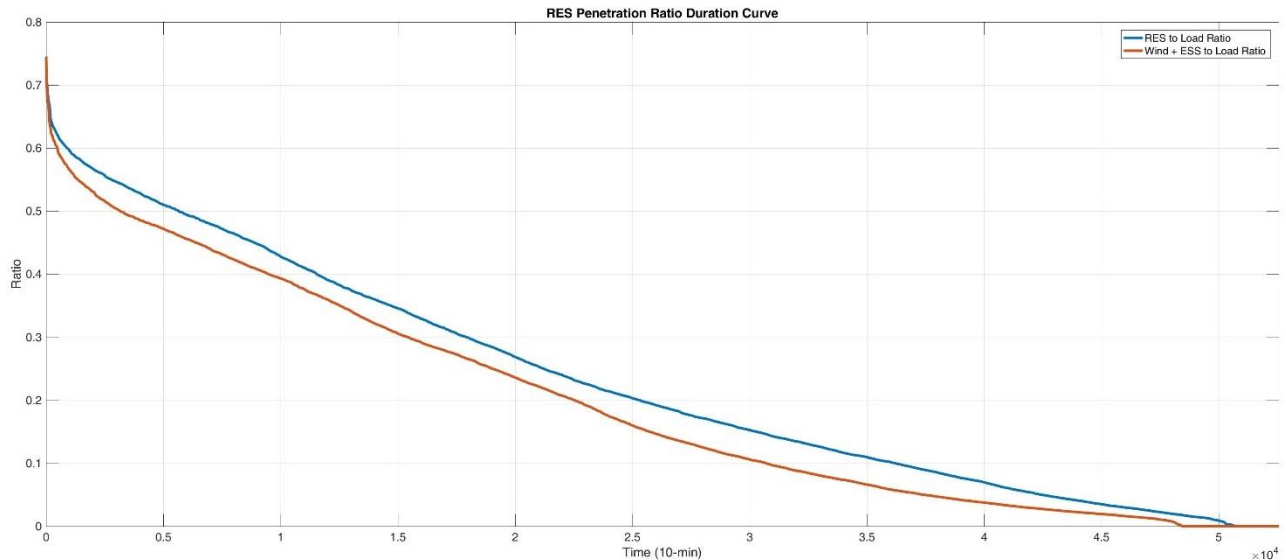


Σχήμα 6-113 Ετήσια Χρονοσειρά Φορτίου προς Αιολική και Φωτοβολταϊκή Παραγωγή Πολιτικής 3 για Α/Γ 900 kW – 60min πρόβλεψη

Επίσης, στα επόμενα δυο διαγράμματα παρουσιάζεται το ποσοστό διείσδυσης των ΑΠΕ (μπλε γραμμή) και του Σταθμού (πορτοκαλί γραμμή) στη διάρκεια του έτους, τόσο ως χρονοσειρά όσο και ως καμπύλη διάρκειας.



Σχήμα 6-114 Ετήσια Χρονοσειρά Ποσοστού Διείδυσης Αιολικής Παραγωγής και ΑΠΕ Πολιτικής 3 για Α/Γ 900 kW – 60min πρόβλεψης



Σχήμα 6-115 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Ποσοστού Διείδυσης Αιολικής Παραγωγής και ΑΠΕ Πολιτικής 3 για Α/Γ 900 kW – 60min πρόβλεψης

Μερικές χρήσιμες τιμές που μπορούν να εξαχθούν καταγράφονται στον επόμενο πίνακα:

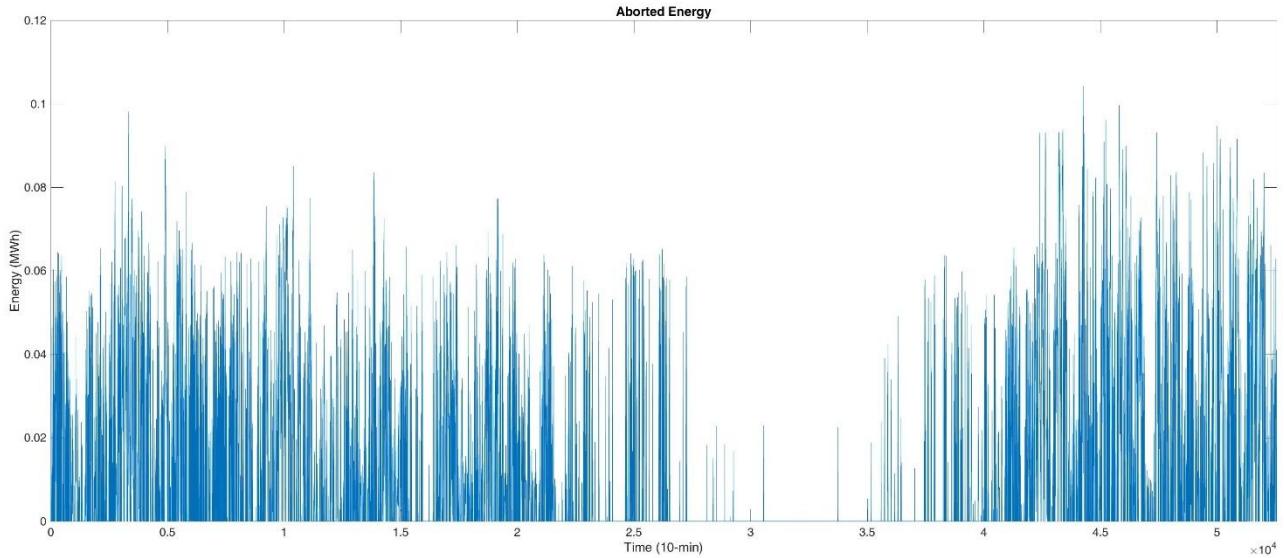
	Ελάχιστο (%)	Μέγιστο (%)	Μέσο (%)
Παραγωγή Σταθμού προς φορτίο	0	74,38	19,81
Συνολική παραγωγή ΑΠΕ προς φορτίο	0	74,48	23,11

Πίνακας 6-90 Τιμές από Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Ποσοστού Διείδυσης Αιολικής Παραγωγής και ΑΠΕ Πολιτικής 3 για Α/Γ 900 kW – 60min πρόβλεψης

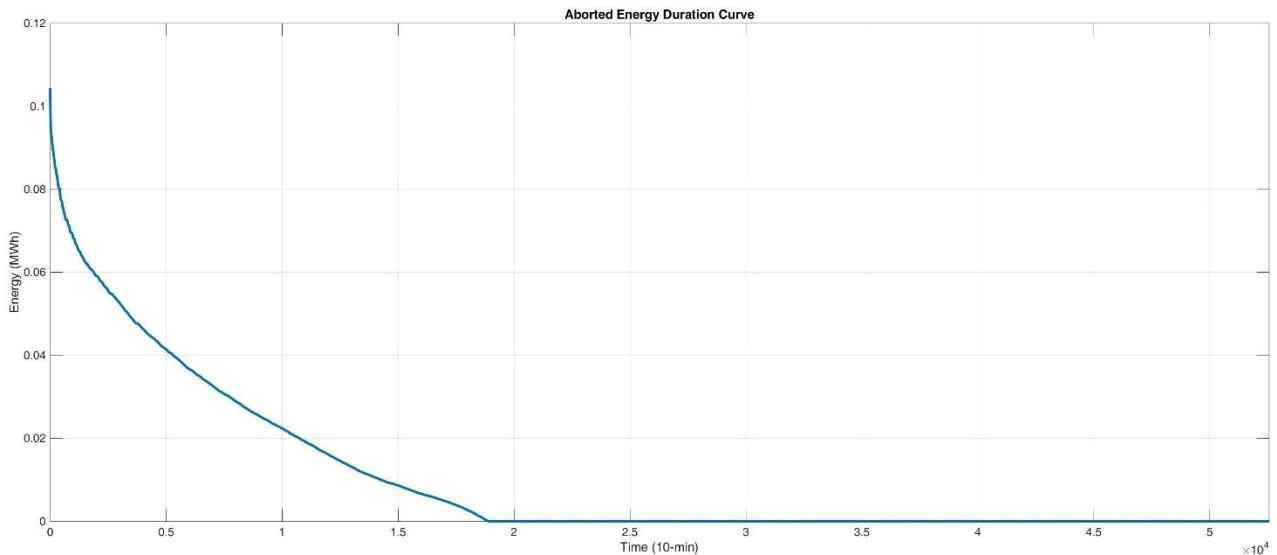
Παρατηρούμε ότι η διείδυση ΑΠΕ ανεβαίνει σημαντικά σε σχέση με τις 2 προηγούμενες πολιτικές λειτουργίας. Αυτό οφείλεται στην άρση των περιορισμών διείδυσης που έθεταν χαμηλά το διαθέσιμο περιθώριο διείδυσης των ΑΠΕ.

Ωστόσο, ακόμα και σε αυτή την πολιτική λειτουργίας ο Σταθμός υπόκειται σε περικοπές ισχύος καθώς πρέπει να τηρούνται τα τεχνικά ελάχιστα των θερμικών μηχανών αλλά και η απαίτηση για ένταξη τουλάχιστον μιας θερμικής μηχανής.

Η χρονοσειρά της απορριπτόμενης ενέργειας καθώς η αντίστοιχη καμπύλη διάρκειας παρουσιάζονται στα επόμενα δυο διαγράμματα.



Σχήμα 6-116 Ετήσια Χρονοσειρά Περικοπών Πολιτικής 3 για Α/Γ 900 kW – 60min πρόβλεψης



Σχήμα 6-117 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Περικοπών Πολιτικής 3 για Α/Γ 900 kW – 60min πρόβλεψης

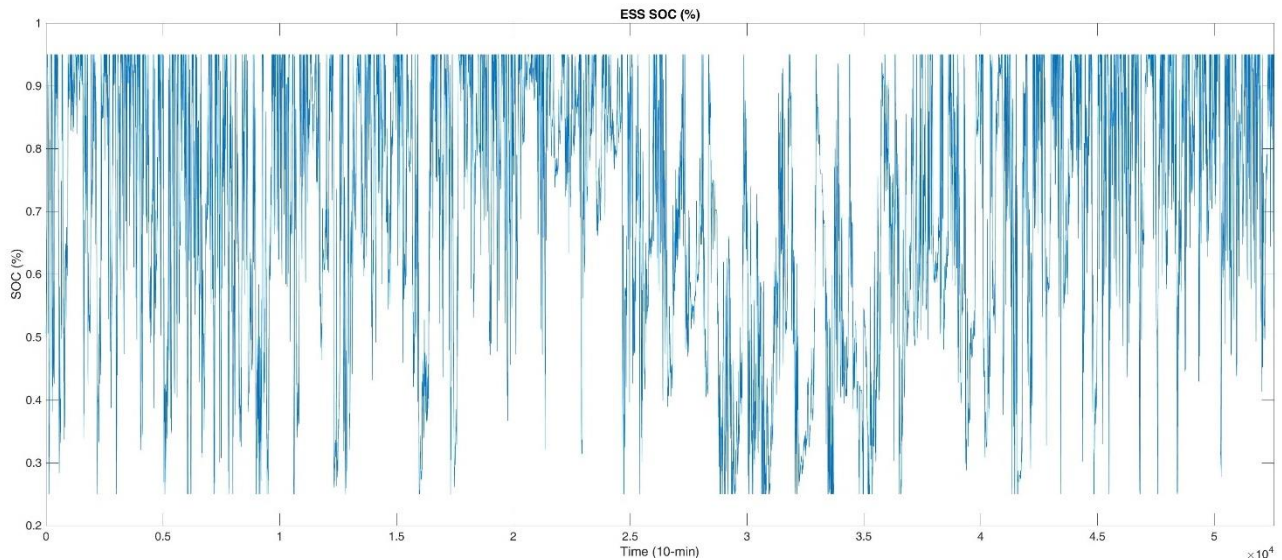
Παρατηρούμε ότι κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού οι περικοπές είναι μηδενικές καθώς έχουμε αρκετά υψηλότερα φορτία που επιτρέπουν την απορρόφηση όλης της παραγωγής του Σταθμού.

Μερικές χρήσιμες τιμές που προκύπτουν από τα παραπάνω διαγράμματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

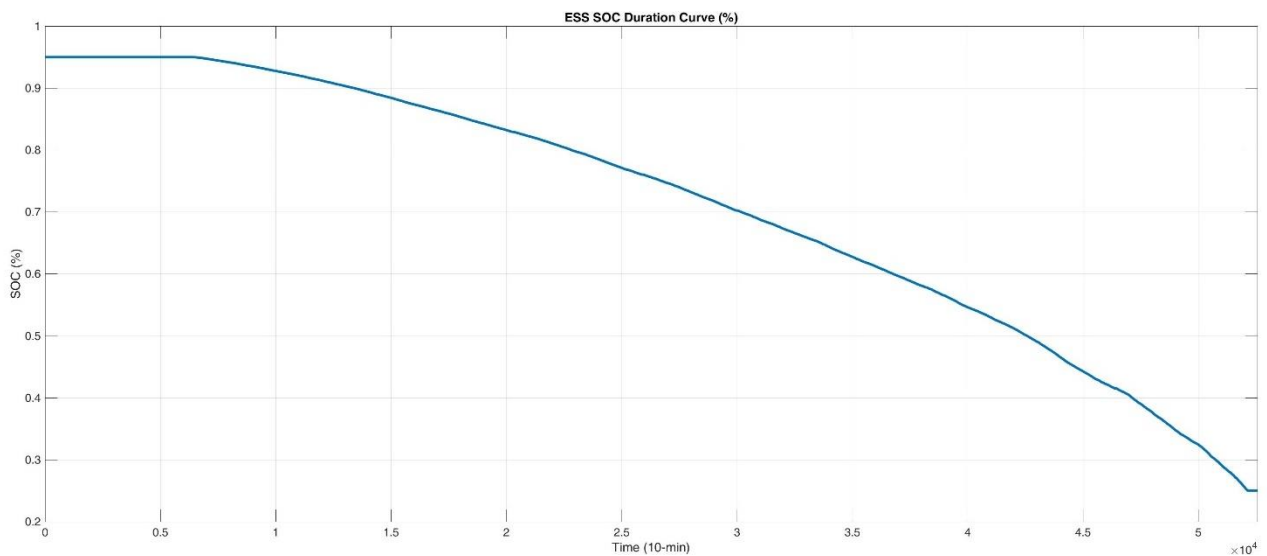
	Σύνολο (MWh)	Μέγιστο (MWh)	Μέσο (MWh)
Περικοπές Ενέργειας	538,43	0,1	0,01

Πίνακας 6-91 Τιμές Ετήσιων Περικοπών Πολιτικής 3 για Α/Γ 600 kW – 60min πρόβλεψη

Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν στοιχεία που αφορούν στη λειτουργία των συσσωρευτών. Στο επόμενο διάγραμμα παρουσιάζεται η στάθμη φόρτισης στη διάρκεια του έτους και αμέσως μετά η ετήσια καμπύλη διάρκειας της στάθμης φόρτισης.



Σχήμα 6-118 Ετήσια Χρονοσειρά Στάθμης Φόρτισης Συσσωρευτών Πολιτικής 3 για Α/Γ 900 kW – 60min πρόβλεψης



Σχήμα 6-119 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Στάθμης Φόρτισης Συσσωρευτών Πολιτικής 3 για Α/Γ 900 kW – 60min πρόβλεψης

Παρατηρούμε ότι το καλοκαίρι μειώνεται ελαφρώς το επίπεδο φόρτισης των συσσωρευτών. Αυτό προκύπτει επειδή έχουμε μεγάλο φορτίο και άρα δεν υπάρχουν περικοπές ενέργειας από το Σταθμό. Αυτό σημαίνει ότι δεν κατευθύνονται μεγάλα ποσά ενέργειας προς τους συσσωρευτές. Στην ουσία οι συσσωρευτές απορροφούν και

αποδίδουν συνεχώς μικρά ποσά ενέργειας που οφείλονται στα μικρά σφάλματα πρόβλεψης κατά τη διάρκεια του 20λέπτου. Επομένως το επίπεδο φόρτισής τους παραμένει πιο χαμηλά και είναι έντονα μεταβαλλόμενο.

Επίσης, παρατηρούμε σε σχέση με την πρόβλεψη των 60 min ότι η χρήση των συσσωρευτών έχει μεγαλύτερο χρονικό και ενεργειακό εύρος.

Η μέση στάθμη φόρτισης των συσσωρευτών είναι ίση με 71,2%, ενώ στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται κάποιες επιπλέον χρήσιμες τιμές για το επίπεδο φόρτισης των συσσωρευτών.

Πλήθος 10-min	
Μέγιστη Στάθμη Φόρτισης	6061 (11,53%)
Ελάχιστη Στάθμη Φόρτισης	422 (0.8%)
Ενδιάμεση Στάθμη Φόρτισης	46077 (87.67%)

Πίνακας 6-92 Τιμές από Ετήσια Χρονοσειρά Στάθμης Φόρτισης Συσσωρευτών Πολιτικής 3 για Α/Γ 900 kW – 60min πρόβλεψης

Είναι προφανές ότι οι συσσωρευτές λειτουργούν το 90% του έτους, 10% παραπάνω από το αντίστοιχο ποσοστό με πρόβλεψη 20 min. Επίσης, παρατηρούμε ότι οι στιγμές που είναι πλήρως φορτισμένοι είναι αρκετά λιγότερες και αυτό οφείλεται στο ότι έχουν μεγαλύτερες ενεργειακές συναλλαγές

Για να κατανοήσουμε τη ροή ενέργειας από και προς τους συσσωρευτές, μπορούμε να παρατηρήσουμε τον επόμενο πίνακα στον οποίο παρουσιάζεται η κατάσταση των συσσωρευτών καθώς και οι περιορισμοί που επιβάλλονται στην χρήση τους κατά τη διάρκεια του έτους.

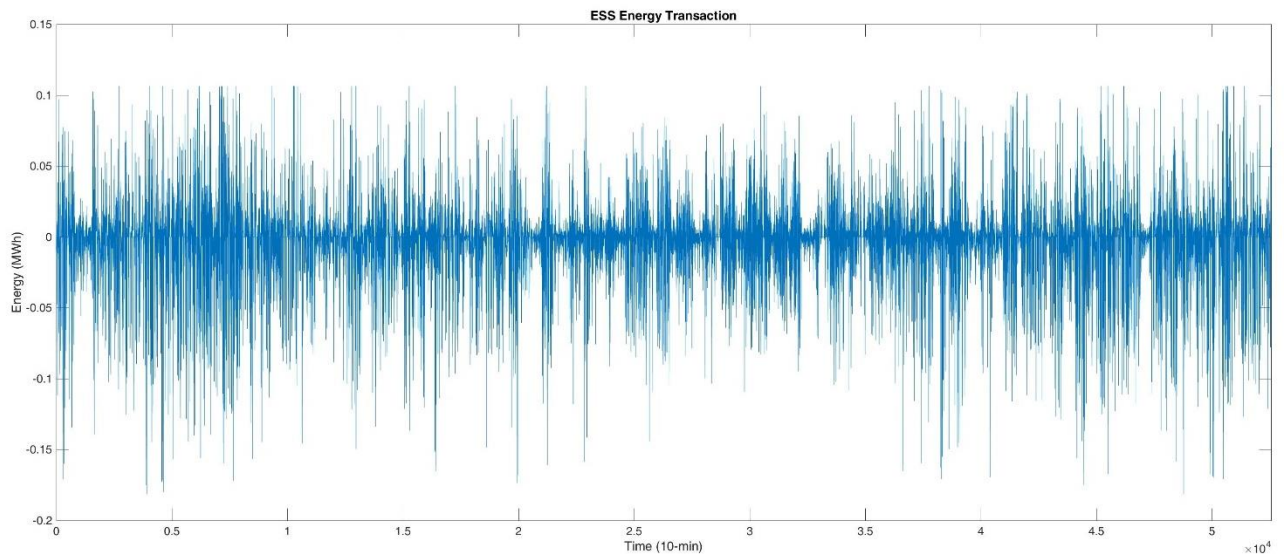
		10 – min	Ποσοστό Χρόνου
Εκφόρτιση	Κανένας περιορισμός	25470	98,2%
	Περιορισμός Χωρητικότητας	96	0,37%
	Περιορισμός Ισχύος Συσσωρευτών	0	0%
	Εκφορτισμένοι Συσσωρευτές	370	1,43%
	<b>Σύνολο</b>	<b>25936</b>	<b>100%</b>
Φόρτιση	Κανένας περιορισμός	20564	77,24%
	Περιορισμός Χωρητικότητας	910	3,42%
	Περιορισμός Ισχύος Συσσωρευτών	0	0%

Φορτισμένοι Συσσωρευτές	5150	19,34%
<b>Σύνολο</b>	<b>26624</b>	<b>100%</b>

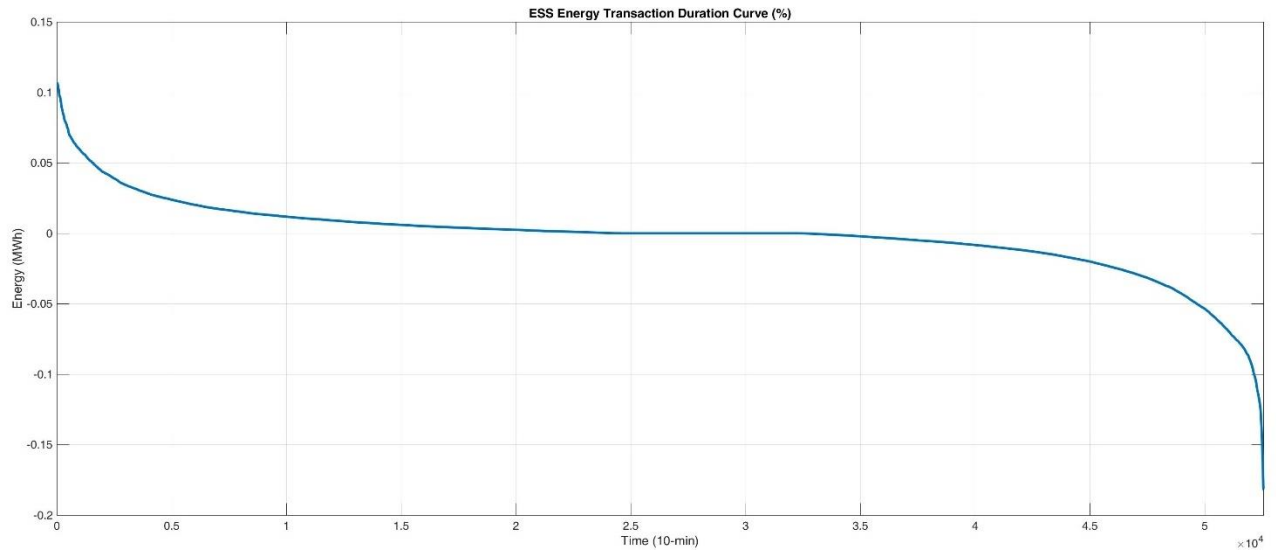
Πίνακας 6-93 Όρια Ενεργειακής Συναλλαγής Συσσωρευτών Πολιτικής 3 για Α/Γ 900 kW – 60min πρόβλεψης

Παρατηρούμε ότι κατά κύριο λόγο η λειτουργία των συσσωρευτών δεν υπόκειται σε περιορισμούς, πέρα από κάποιες στιγμές που είναι πλήρως φορτισμένοι. Αυτό συμβαίνει κυρίως τις στιγμές που έχουμε περικοπές φορτίου, άρα στους συσσωρευτές οδηγείται όχι μόνο η διαφορά μεταξύ πρόβλεψης και πραγματικής παραγωγής του πάρκου, αλλά και η ενέργεια που απορρίπτει ο Διαχειριστής. Επομένως είναι λογικό οι στιγμές που οι συσσωρευτές είναι πλήρεις να είναι περισσότερες από τις στιγμές που οι συσσωρευτές είναι εκφορτισμένοι.

Επιπλέον, μπορούμε να δούμε στα παρακάτω δυο διαγράμματα τη ροή ενέργεια από και προς τους συσσωρευτές, τόσο με τη μορφή χρονοσειράς όσο και με τη μορφή καμπύλης διάρκειας για ένα έτος.



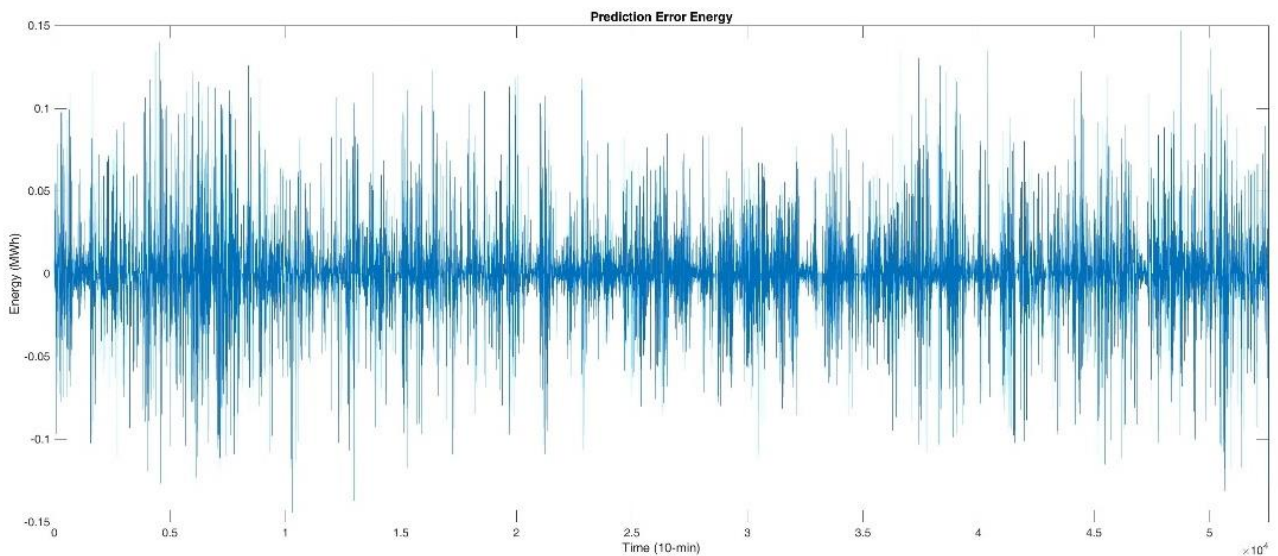
Σχήμα 6-120 Ετήσια Χρονοσειρά Ροής Ενέργειας Συσσωρευτών Πολιτικής 3 για Α/Γ 900 kW – 60min πρόβλεψης



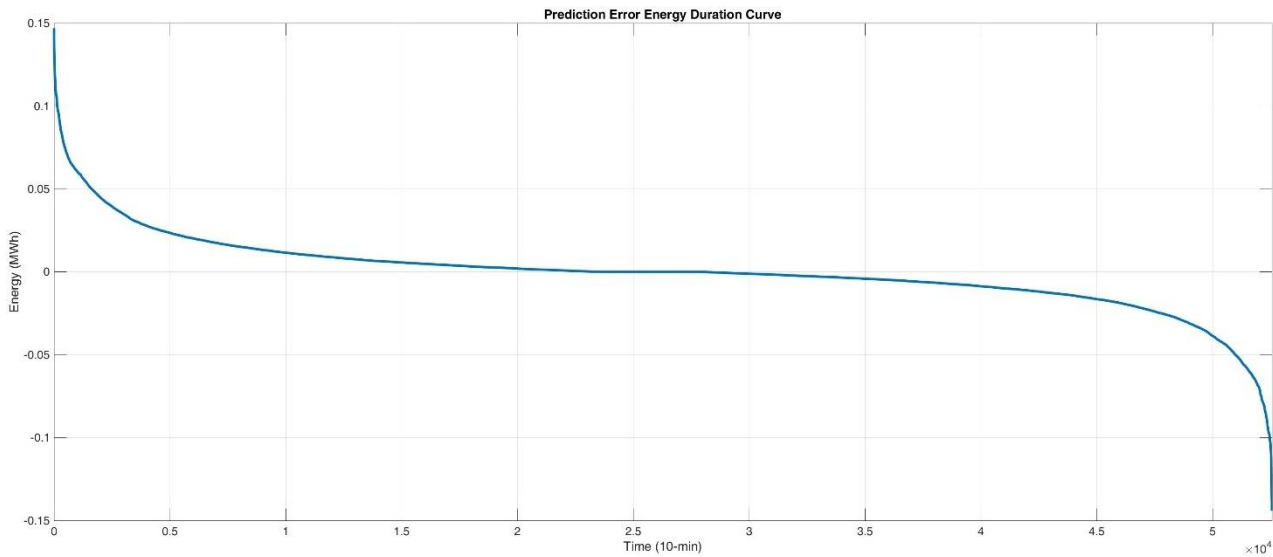
Σχήμα 6-121 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Ροής Ενέργειας Συσσωρευτών Πολιτικής 3 για Α/Γ 900 kW – 60min πρόβλεψης

Στη συνέχεια θα μελετήσουμε τα μεγέθη που αφορούν στην πρόβλεψη της αιολικής παραγωγής και πώς αυτή επηρεάζει τη λειτουργία του σταθμού.

Στα παρακάτω δυο διαγράμματα παρουσιάζεται η απόκλιση μεταξύ πρόβλεψης και πραγματικής παραγωγής του Σταθμού, τόσο ως ετήσια χρονοσειρά, όσο και ως καμπύλη διάρκειας.



Σχήμα 6-122 Ετήσια Χρονοσειρά Απόκλισης Πρόβλεψης Πολιτικής 3 για Α/Γ 900 kW – 60min πρόβλεψης



Σχήμα 6-123 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Απόκλισης Πρόβλεψης Πολιτικής 3 για Α/Γ 900 kW – 60min πρόβλεψης

Συμπληρωματικά των παραπάνω διαγραμμάτων μπορούμε να αποτυπώσουμε ορισμένες χρήσιμες τιμές στον επόμενο πίνακα:

	Σύνολο (MWh)	Ποσοστό (%) επί της ενέργειας πρόβλεψης	Μέγιστη τιμή (MWh)	Μέση τιμή (MWh)
Απόκλιση πρόβλεψης – παραγωγής	756,12	25,28		
Απόκλιση φόρτισης (Παραγωγή > Πρόβλεψη)	373,96	12,65	0,147	0,0157
Απόκλιση εκφόρτισης (Παραγωγή < Πρόβλεψη)	382,16	12,93	0,144	0,0147

Πίνακας 6-94 Τιμές Απόκλισης Πρόβλεψης Πολιτικής 3 για Α/Γ 900 kW – 60min πρόβλεψης

Παρατηρούμε ότι το πρόσημο των αποκλίσεων είναι μοιρασμένο 50 – 50 ανάμεσα σε αποκλίσεις που οδηγούν σε φόρτιση και αποκλίσεις που οδηγούν σε εκφόρτιση.

Το ποσοστό των αποκλίσεων δεν είναι ιδιαίτερα υψηλό και όπως βλέπουμε οι συσσωρευτές είναι σε θέση να το διαχειριστούν με επιτυχία

Όταν έχουμε μια απόκλιση που οδηγεί σε εκφόρτιση τότε δεν είναι πάντα δεδομένο ότι οι συσσωρευτές θα ανταποκριθούν και θα προσφέρουν την ενέργεια που απαιτείται. Αν μάλιστα στο τέλος η διαφορά μεταξύ της ενέργειας που είχε υποσχεθεί ο Σταθμός και της ενέργειας που τελικά προσέφερε είναι μεγαλύτερη του 10% της υποσχεθείσας, τότε επιβάλλεται στον Σταθμό πρόστιμο, το οποίο στο πλαίσιο της παρούσας Μεταπτυχιακής



τιμολογείται με 150 € / MWh. Αυτή η χρέωση ονομάζεται Χρέωση Απόκλισης Φορτίου (ΧΑΦ). Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται τα μεγέθη που αφορούν στις αδυναμίες κάλυψης της πρόβλεψης αλλά και το πόσες από αυτές τις αδυναμίες χρεώνονται στον Σταθμό.

	Σύνολο (MWh)	Ποσοστό (%) επί της ενέργειας πρόβλεψης	Μέγιστη τιμή (MWh)	Μέση τιμή (MWh)
Αδυναμία Κάλυψης Απόκλισης Πρόβλεψης	5,93	0,2	0,073	0,013
Χρέωση Απόκλισης Φορτίου	5,01	0,17	0,073	0,014

Πίνακας 6-95 Τιμές Αδυναμίας Κάλυψης της Απόκλισης Πρόβλεψης Πολιτικής 3 για Α/Γ 900 kW – 60min πρόβλεψης

Η συνολική Χρέωση Απόκλισης Φορτίου ανέρχεται σε 751,5 € και προκύπτει στο 84,54% των 355 δεκαλέπτων που έχουμε αδυναμία κάλυψης της απόκλισης πρόβλεψης. Φυσικά το ποσό είναι αμελητέο και δεν επηρεάζει καθόλου την οικονομική απόδοση του έργου.

#### 6.3.7 Ανεμογεννήτρια 1200 kW – Συσσωρευτές 1,32 MW/1.98 MWh – 60 min πρόβλεψης

<b>Εγχεόμενη ενέργεια από την ανεμογεννήτρια (MWh)</b>	3187,77 (87,59% της εγχεόμενης)
<b>Εγχεόμενη ενέργεια από συσσωρευτές (MWh)</b>	451,86 (12,41% της εγχεόμενης)
<b>Συνολικά εγχεόμενη ενέργεια (MWh)</b>	3639,63 (22,73% του φορτίου)
<b>Απορριπτόμενη ενέργεια (MWh)</b>	1014,78
<b>Συντελεστής Χρησιμοποίησης Σταθμού (%)</b>	34,62
<b>Συνολική Παραγωγή ΑΠΕ (MWh)</b>	4175,11 (26,08% του φορτίου)
<b>Μέσο SOC συσσωρευτών (%)</b>	74,9
<b>ΧΑΦ</b>	751,5 € για 5,01 MWh
<b>Συνολικό κόστος (€)</b>	3198000
<b>IRR για 100% ίδια κεφάλαια (%)</b>	2,67

Πίνακας 6-96 Αποτελέσματα Πολιτικής 3 για Α/Γ 1200 kW – 60min πρόβλεψης

Στον επόμενο πίνακα απεικονίζονται οι χρηματοροές του έργου για μια περίοδο 20-ετίας.

Έτος	Τιμή πώλησης (€ / kWh)	Έσοδα (€)	Συντήρηση (1% κόστους)	Λειτουργικά (1% κόστους)	Repowering (€)	Τιμή ΧΑΦ (€/MWh)	ΧΑΦ (€)	Φόρος (€)	Καθαρά Κέρδη (€)
0	100,00	-3198000,00							-3198000,00
1	100,00	360806,00	31980,00	31980,00	0,00	150,00	406,50	74109,88	222329,63
2	100,80	363692,45	32939,40	32939,40	0,00	151,20	409,75	74350,97	223052,92

Τεχνοοικονομική βελτιστοποίηση συστήματος συσσωρευτών για αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας  
Αιολικού Σταθμού σε ΜΔΝ

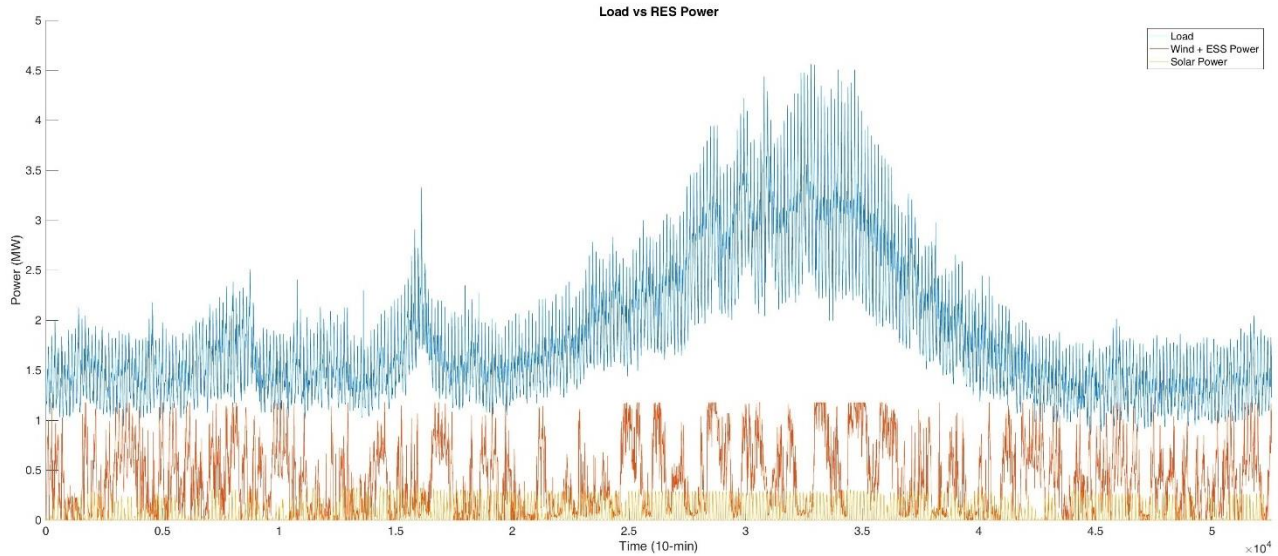
3	101,61	366601,99	33927,58	33927,58	0,00	152,41	413,03	74583,45	223750,35
4	102,42	369534,80	34945,41	34945,41	0,00	153,63	416,33	74806,91	224420,74
5	103,24	372491,08	35993,77	35993,77	0,00	154,86	419,66	75020,97	225062,91
6	104,06	375471,01	37073,58	37073,58	0,00	156,10	423,02	75225,20	225675,61
7	104,90	378474,78	38185,79	38185,79	0,00	157,35	426,41	75419,20	226257,59
8	105,74	381502,58	39331,37	39331,37	0,00	158,60	429,82	75602,51	226807,52
9	106,58	384554,60	40511,31	40511,31	0,00	159,87	433,26	75774,68	227324,05
10	107,43	387631,03	41726,65	41726,65	495000,00	161,15	436,72	-47814,75	-143444,24
11	108,29	390732,08	42978,45	42978,45	0,00	162,44	440,22	76083,74	228251,23
12	109,16	393857,94	44267,80	44267,80	0,00	163,74	443,74	76219,65	228658,95
13	110,03	397008,80	45595,83	45595,83	0,00	165,05	447,29	76342,46	229027,39
14	110,91	400184,87	46963,71	46963,71	0,00	166,37	450,87	76451,65	229354,94
15	111,80	403386,35	48372,62	48372,62	0,00	167,70	454,47	76546,66	229639,98
16	112,70	406613,44	49823,80	49823,80	0,00	169,04	458,11	76626,93	229880,80
17	113,60	409866,35	51318,51	51318,51	0,00	170,40	461,77	76691,89	230075,66
18	114,51	413145,28	52858,07	52858,07	0,00	171,76	465,47	76740,92	230222,76
19	115,42	416450,44	54443,81	54443,81	0,00	173,13	469,19	76773,41	230320,23
20	116,35	419782,05	56077,12	56077,12	0,00	174,52	472,95	76788,71	230366,14
	<b>Σύνολο</b>	<b>7791787,93</b>	<b>859314,58</b>	<b>859314,58</b>	<b>495000,00</b>	<b>3239,33</b>	<b>8778,57</b>	<b>1392345,05</b>	<b>4177035,16</b>
	<b>Επιτόκιο αναγωγής</b>	<b>Συνολικό κόστος (€)</b>	<b>Ίδια κεφάλαια (€)</b>	<b>Δάνειο (€)</b>	<b>IRR</b>	<b>Παραγόμενη Ενέργεια (MWh)</b>	<b>Απόκλιση Φορτίου (MWh)</b>	<b>NPV</b>	
	0,07	3198000	3198000,00	0,00	2,67%	3608,06	2,71	-923.210,17	

Πίνακας 6-97 Χρηματοροές Πολιτικής 3 για Α/Γ 1200 kW – 60min πρόβλεψης

Παρατηρούμε ότι η επένδυση έχει θετικό IRR, αλλά αρνητική καθαρή παρούσα αξία καθώς το IRR είναι μικρότερο από το επιτόκιο αναγωγής. Πιθανότατα με μια μικρή μείωση του κόστους της επένδυσης ή με αύξηση της τιμής αποζημίωσης για την πωλούμενη ενέργεια να παρουσιάσει θετική καθαρή παρούσα αξία.

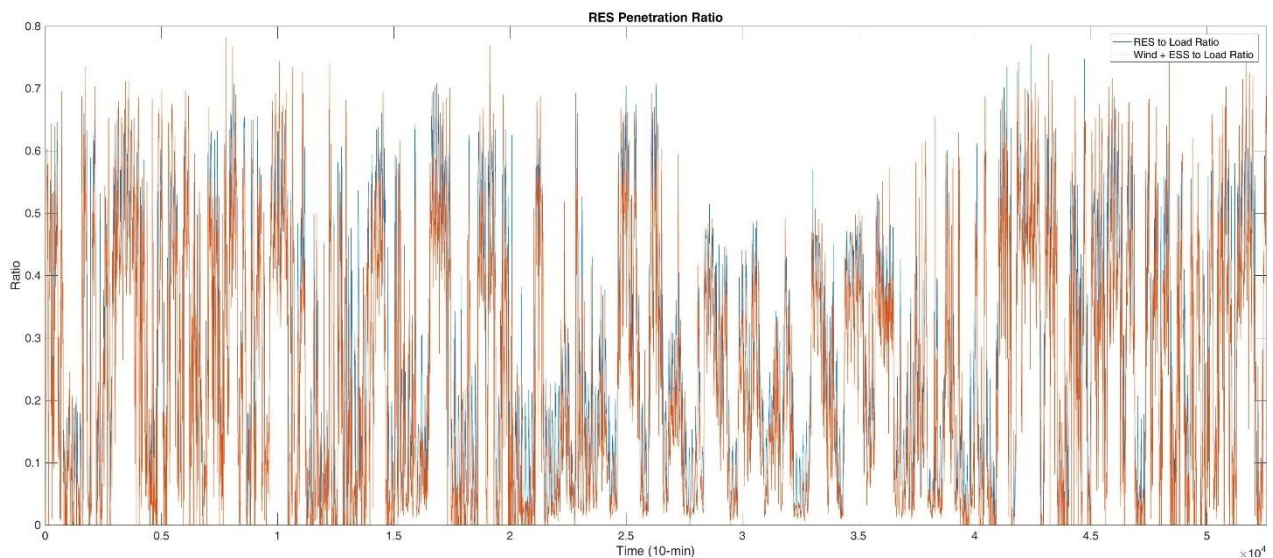
Στο επόμενο διάγραμμα απεικονίζεται η ισχύς που προέρχεται από ΑΠΕ σε σχέση με φορτίο (μπλε), δηλαδή τον αιολικό σταθμό (πορτοκαλί) και τα φωτοβολταϊκά (κίτρινο).

Τεχνοοικονομική βελτιστοποίηση συστήματος συσσωρευτών για αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας  
Αιολικού Σταθμού σε ΜΔΝ

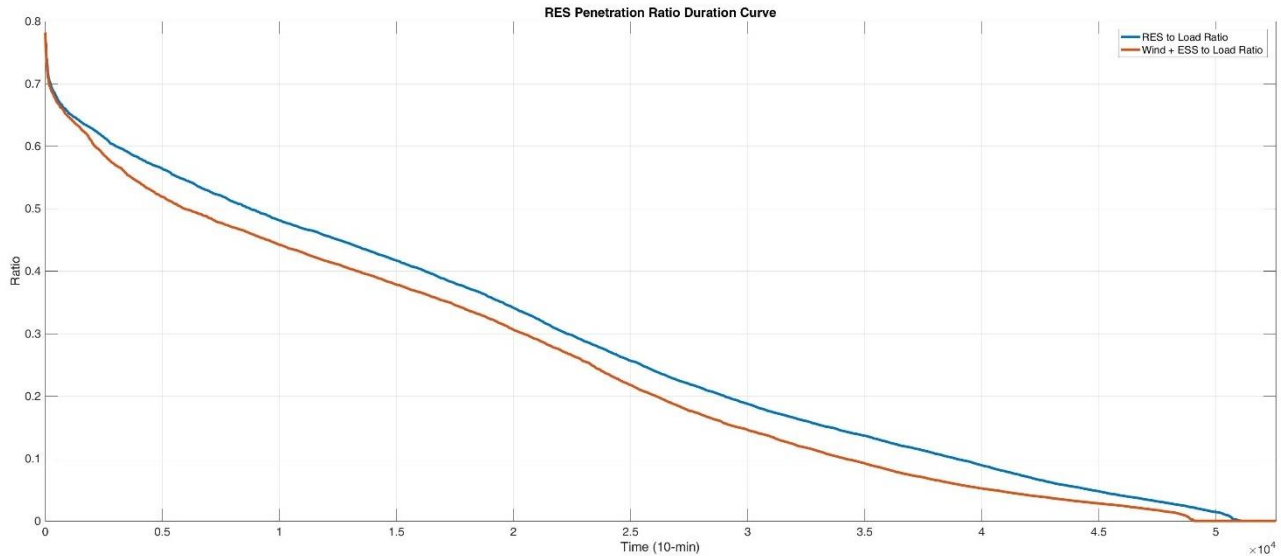


Σχήμα 6-124 Ετήσια Χρονοσειρά Φορτίου προς Αιολική και Φωτοβολταϊκή Παραγωγή Πολιτικής 3 για Α/Γ  
1200 kW – 60min πρόβλεψης

Επίσης, στα επόμενα δυο διαγράμματα παρουσιάζεται το ποσοστό διείσδυσης των ΑΠΕ (μπλε γραμμή) και του Σταθμού (πορτοκαλί γραμμή) στη διάρκεια του έτους, τόσο ως χρονοσειρά όσο και ως καμπύλη διάρκειας.



Σχήμα 6-125 Ετήσια Χρονοσειρά Ποσοστού Διείσδυσης Αιολικής Παραγωγής και ΑΠΕ Πολιτικής 3 για Α/Γ  
1200 kW – 60min πρόβλεψης



Σχήμα 6-126 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Ποσοστού Διείσδυσης Αιολικής Παραγωγής και ΑΠΕ Πολιτικής 3 για Α/Γ 1200 kW – 60min πρόβλεψης

Μερικές χρήσιμες τιμές που μπορούν να εξαχθούν καταγράφονται στον επόμενο πίνακα:

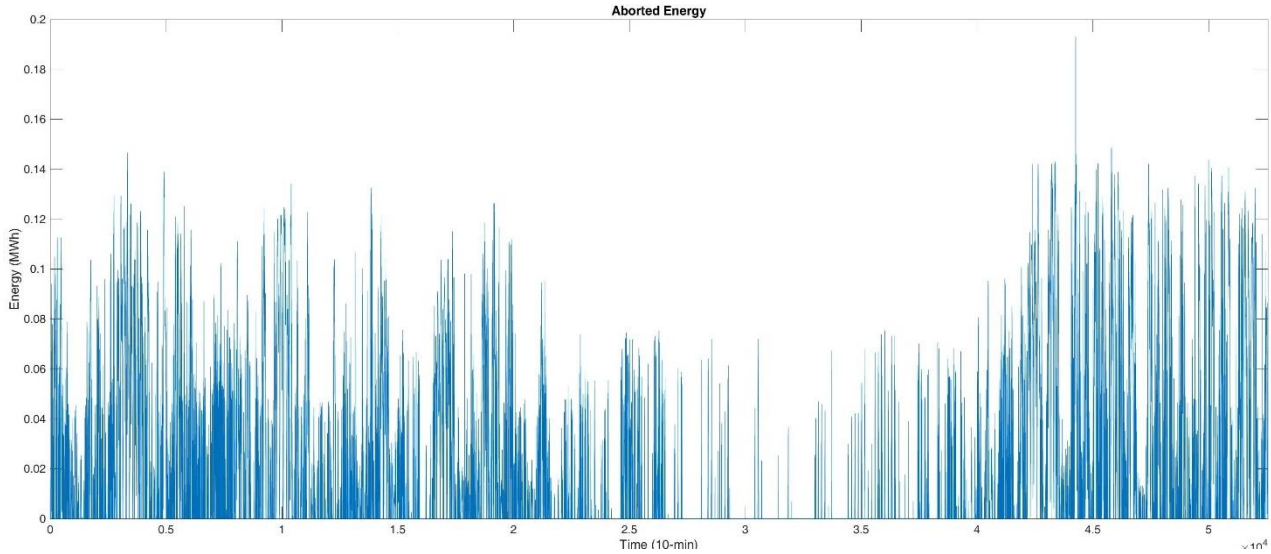
	Ελάχιστο (%)	Μέγιστο (%)	Μέσο (%)
Παραγωγή Σταθμού προς φορτίο	0	78,15	23,92
Συνολική παραγωγή ΑΠΕ προς φορτίο	0	78,15	27,22

Πίνακας 6-98 Τιμές από Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Ποσοστού Διείσδυσης Αιολικής Παραγωγής και ΑΠΕ Πολιτικής 3 για Α/Γ 1200 kW – 60min πρόβλεψης

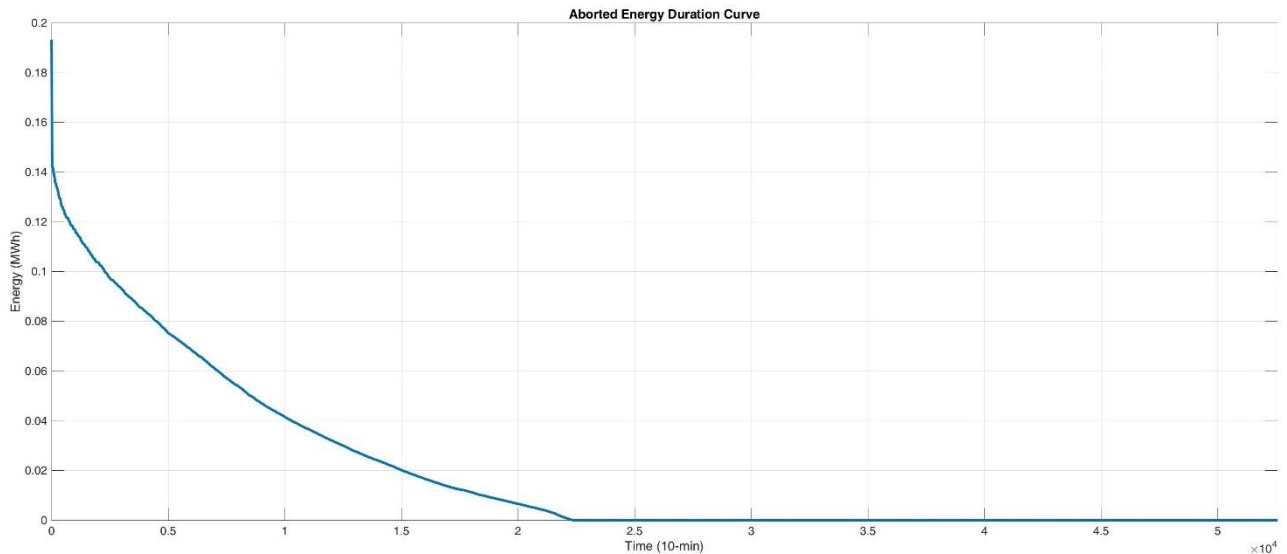
Παρατηρούμε ότι η διείσδυση ΑΠΕ ανεβαίνει σημαντικά σε σχέση με τις 2 προηγούμενες πολιτικές λειτουργίας. Αυτό οφείλεται στην άρση των περιορισμών διείσδυσης που έθεταν χαμηλά το διαθέσιμο περιθώριο διείσδυσης των ΑΠΕ.

Ωστόσο, ακόμα και σε αυτή την πολιτική λειτουργίας ο Σταθμός υπόκειται σε περικοπές ισχύος καθώς πρέπει να τηρούνται τα τεχνικά ελάχιστα των θερμικών μηχανών αλλά και η απαίτηση για ένταξη τουλάχιστον μιας θερμικής μηχανής.

Η χρονοσειρά της απορριπτόμενης ενέργειας καθώς η αντίστοιχη καμπύλη διάρκειας παρουσιάζονται στα επόμενα δυο διαγράμματα.



Σχήμα 6-127 Ετήσια Χρονοσειρά Περικοπών Πολιτικής 3 για Α/Γ 1200 kW – 60min πρόβλεψης



Σχήμα 6-128 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Περικοπών Πολιτικής 3 για Α/Γ 1200 kW – 60min πρόβλεψης

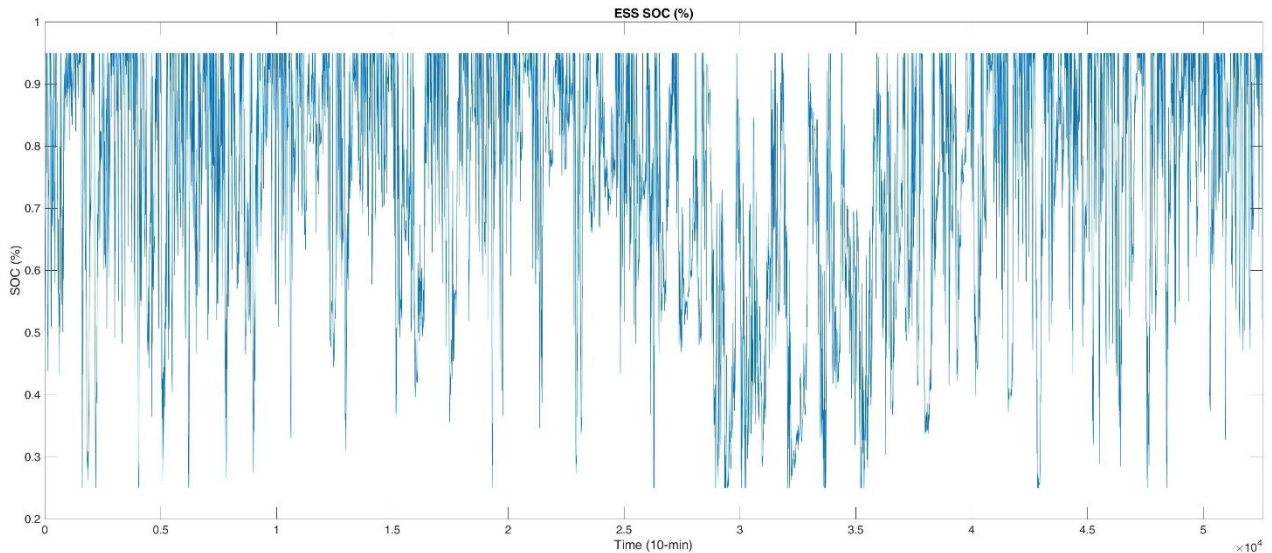
Παρατηρούμε ότι κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού οι περικοπές είναι μηδενικές καθώς έχουμε αρκετά υψηλότερα φορτία που επιτρέπουν την απορρόφηση όλης της παραγωγής του Σταθμού.

Μερικές χρήσιμες τιμές που προκύπτουν από τα παραπάνω διαγράμματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

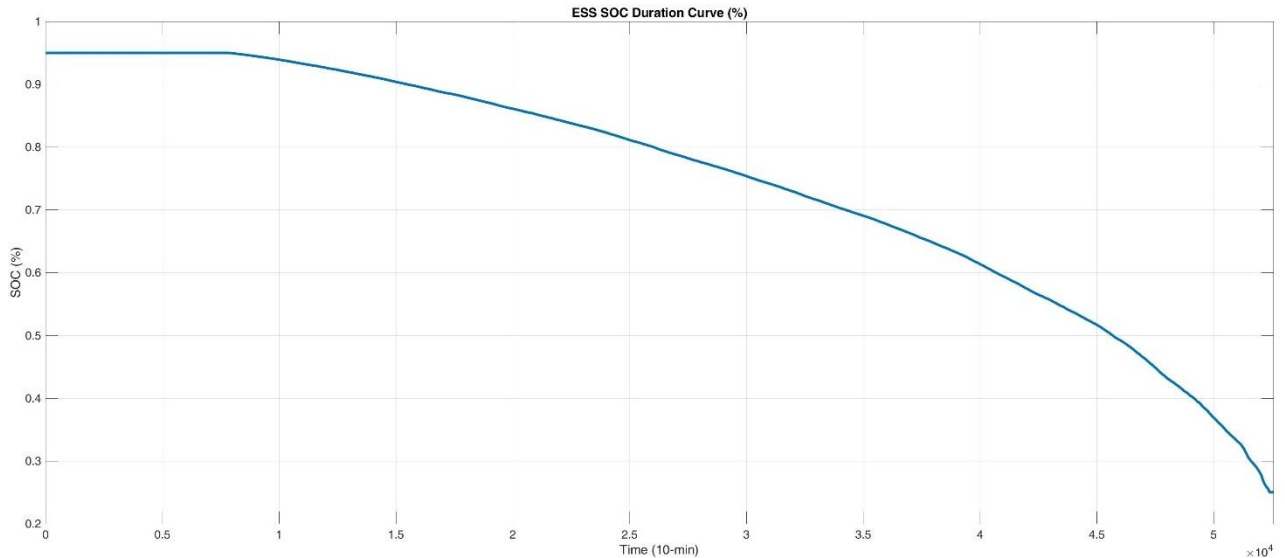
	Σύνολο (MWh)	Μέγιστο (MWh)	Μέσο (MWh)
Περικοπές Ενέργειας	1014,78	0,193	0,0193

Πίνακας 6-99 Τιμές Ετήσιων Περικοπών Πολιτικής 3 για Α/Γ 600 kW – 60min πρόβλεψη

Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν στοιχεία που αφορούν στη λειτουργία των συσσωρευτών. Στο επόμενο διάγραμμα παρουσιάζεται η στάθμη φόρτισης στη διάρκεια του έτους και αμέσως μετά η ετήσια καμπύλη διάρκειας της στάθμης φόρτισης.



Σχήμα 6-129 Ετήσια Χρονοσειρά Στάθμης Φόρτισης Συσσωρευτών Πολιτικής 3 για Α/Γ 1200 kW – 60min πρόβλεψης



Σχήμα 6-130 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Στάθμης Φόρτισης Συσσωρευτών Πολιτικής 3 για Α/Γ 1200 kW – 60min πρόβλεψης

Παρατηρούμε ότι το καλοκαίρι μειώνεται ελαφρώς το επίπεδο φόρτισης των συσσωρευτών. Αυτό προκύπτει επειδή έχουμε μεγάλο φορτίο και άρα δεν υπάρχουν περικοπές ενέργειας από το Σταθμό. Αυτό σημαίνει ότι δεν κατευθύνονται μεγάλα ποσά ενέργειας προς τους συσσωρευτές. Στην ουσία οι συσσωρευτές απορροφούν και

αποδίδουν συνεχώς μικρά ποσά ενέργειας που οφείλονται στα μικρά σφάλματα πρόβλεψης κατά τη διάρκεια του 20λέπτου. Επομένως το επίπεδο φόρτισής τους παραμένει πιο χαμηλά και είναι έντονα μεταβαλλόμενο.

Επίσης, παρατηρούμε σε σχέση με την πρόβλεψη των 60 min ότι η χρήση των συσσωρευτών έχει μεγαλύτερο χρονικό και ενεργειακό εύρος.

Η μέση στάθμη φόρτισης των συσσωρευτών είναι ίση με 71,2%., ενώ στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται κάποιες επιπλέον χρήσιμες τιμές για το επίπεδο φόρτισης των συσσωρευτών.

	Πλήθος 10-min
Μέγιστη Στάθμη Φόρτισης	7558 (14,38%)
Ελάχιστη Στάθμη Φόρτισης	160 (0,3%)
Ενδιάμεση Στάθμη Φόρτισης	44842 (85,32%)

Πίνακας 6-100 Τιμές από Ετήσια Χρονοσειρά Στάθμης Φόρτισης Συσσωρευτών Πολιτικής 3 για A/T 1200 kW – 60min πρόβλεψης

Είναι προφανές ότι οι συσσωρευτές λειτουργούν το 85% του έτους, 10% παραπάνω από το αντίστοιχο ποσοστό με πρόβλεψη 20 min. Επίσης, παρατηρούμε ότι οι στιγμές που είναι πλήρως φορτισμένοι είναι αρκετά λιγότερες και αυτό οφείλεται στο ότι έχουν μεγαλύτερες ενεργειακές συναλλαγές

Για να κατανοήσουμε τη ροή ενέργειας από και προς τους συσσωρευτές, μπορούμε να παρατηρήσουμε τον επόμενο πίνακα στον οποίο παρουσιάζεται η κατάσταση των συσσωρευτών καθώς και οι περιορισμοί που επιβάλλονται στην χρήση τους κατά τη διάρκεια του έτους.

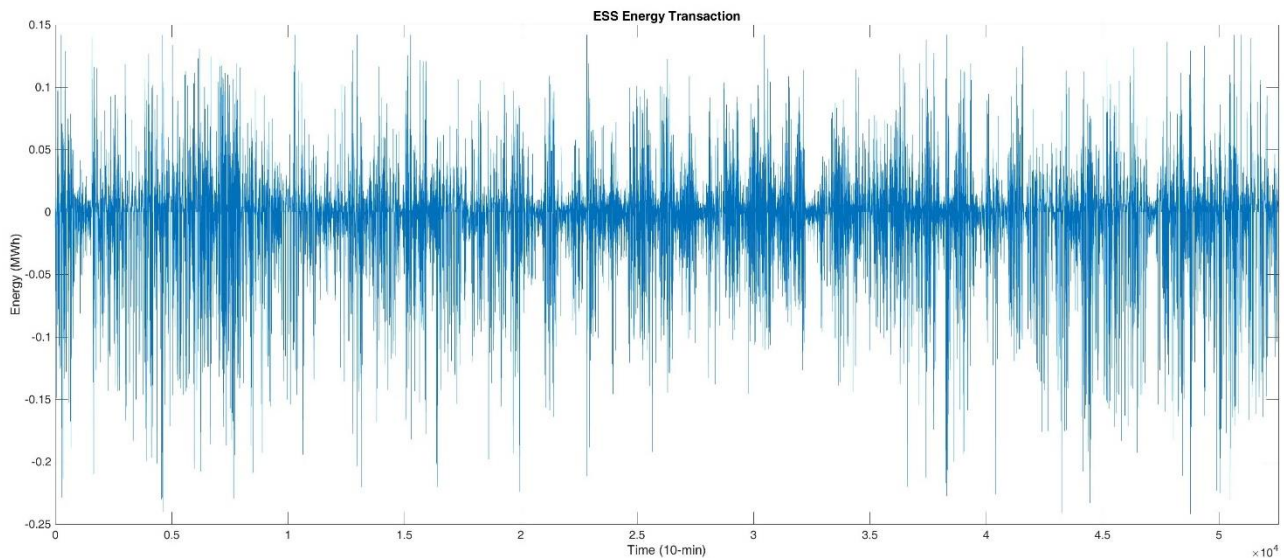
		10 – min	Ποσοστό Χρόνου
<b>Εκφόρτιση</b>	Κανένας περιορισμός	26371	99,31%
	Περιορισμός Χωρητικότητας	36	0,14%
	Περιορισμός Ισχύος Συσσωρευτών	0	0%
	Εκφορτισμένοι Συσσωρευτές	146	0,55%
	<b>Σύνολο</b>	<b>26553</b>	<b>100%</b>
<b>Φόρτ</b>	Κανένας περιορισμός	18451	70,95%
	Περιορισμός Χωρητικότητας	1004	3,86%

Περιορισμός Ισχύος Συσσωρευτών	0	0%
Φορτισμένοι Συσσωρευτές	6552	25,19%
<b>Σύνολο</b>	<b>26007</b>	<b>100%</b>

Πίνακας 6-101 Όρια Ενεργειακής Συναλλαγής Συσσωρευτών Πολιτικής 3 για Α/Γ 1200 kW – 60min πρόβλεψης

Παρατηρούμε ότι κατά κύριο λόγο η λειτουργία των συσσωρευτών δεν υπόκειται σε περιορισμούς, πέρα από κάποιες στιγμές που είναι πλήρως φορτισμένοι. Αυτό συμβαίνει κυρίως τις στιγμές που έχουμε περικοπές φορτίου, άρα στους συσσωρευτές οδηγείται όχι μόνο η διαφορά μεταξύ πρόβλεψης και πραγματικής παραγωγής του πάρκου, αλλά και η ενέργεια που απορρίπτει ο Διαχειριστής. Επομένως είναι λογικό οι στιγμές που οι συσσωρευτές είναι πλήρεις να είναι περισσότερες από τις στιγμές που οι συσσωρευτές είναι εκφορτισμένοι.

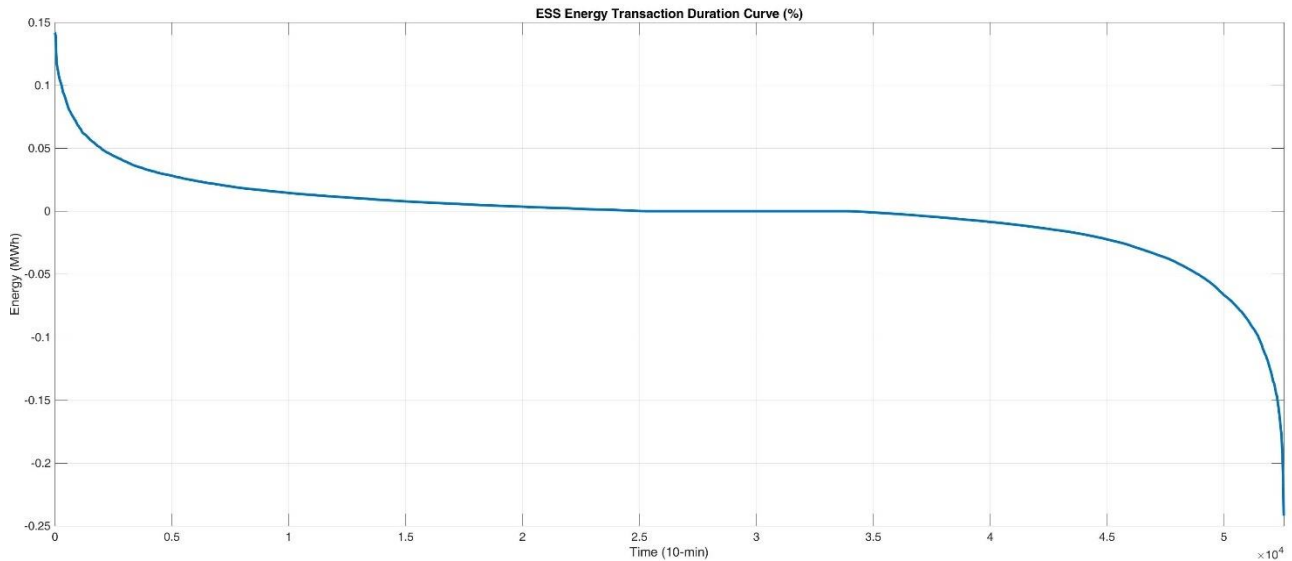
Επιπλέον, μπορούμε να δούμε στα παρακάτω δυο διαγράμματα τη ροή ενέργεια από και προς τους συσσωρευτές, τόσο με τη μορφή χρονοσειράς όσο και με τη μορφή καμπύλης διάρκειας για ένα έτος.



Σχήμα 6-131 Ετήσια Χρονοσειρά Ροής Ενέργειας Συσσωρευτών Πολιτικής 3 για Α/Γ 1200 kW – 60min πρόβλεψης



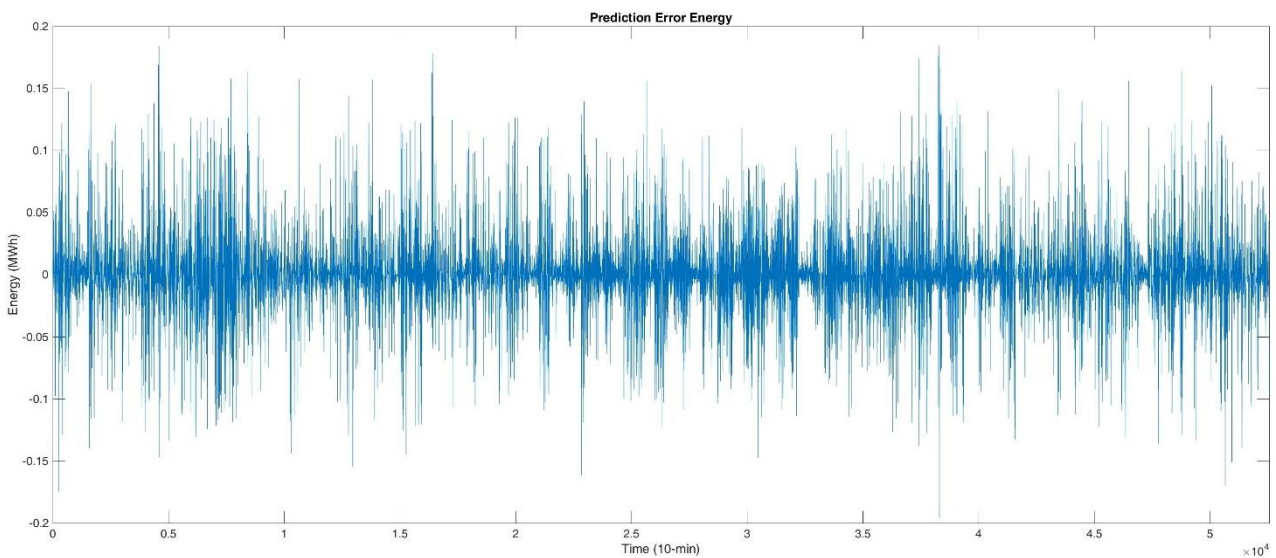
Τεχνοοικονομική βελτιστοποίηση συστήματος συσσωρευτών για αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας  
Αιολικού Σταθμού σε ΜΔΝ



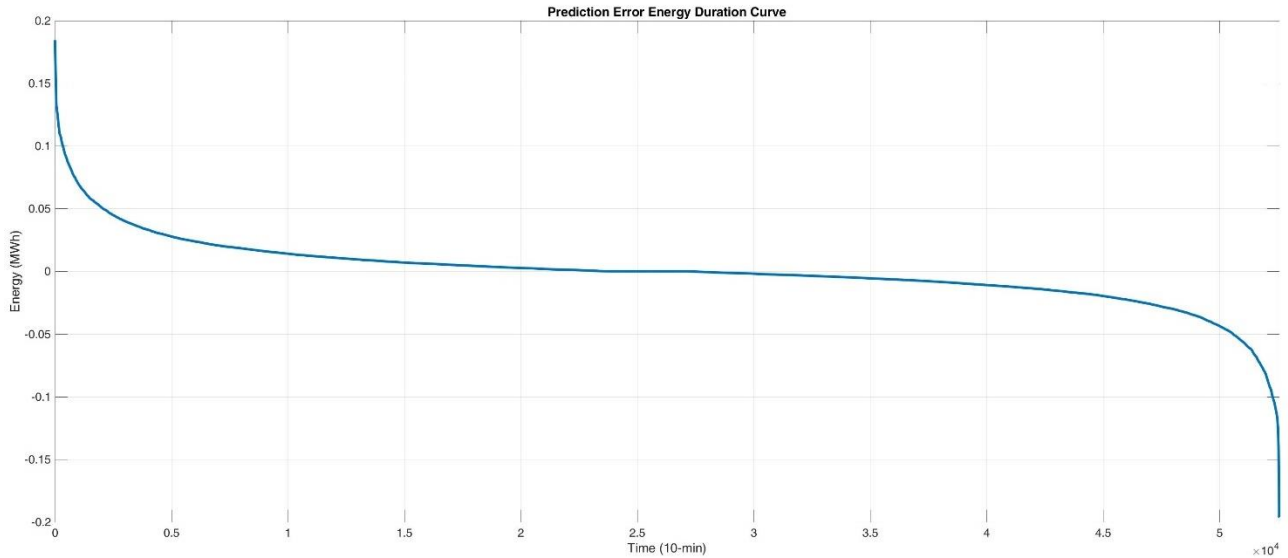
Σχήμα 6-132 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Ροής Ενέργειας Συσσωρευτών Πολιτικής 3 για Α/Γ 1200 kW – 60min πρόβλεψης

Στη συνέχεια θα μελετήσουμε τα μεγέθη που αφορούν στην πρόβλεψη της αιολικής παραγωγής και πώς αυτή επηρεάζει τη λειτουργία του σταθμού.

Στα παρακάτω δυο διαγράμματα παρουσιάζεται η απόκλιση μεταξύ πρόβλεψης και πραγματικής παραγωγής του Σταθμού, τόσο ως ετήσια χρονοσειρά, όσο και ως καμπύλη διάρκειας.



Σχήμα 6-133 Ετήσια Χρονοσειρά Απόκλισης Πρόβλεψης Πολιτικής 3 για Α/Γ 1200 kW – 60min πρόβλεψης



Σχήμα 6-134 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Απόκλισης Πρόβλεψης Πολιτικής 3 για Α/Γ 1200 kW – 60min πρόβλεψης

Συμπληρωματικά των παραπάνω διαγραμμάτων μπορούμε να αποτυπώσουμε ορισμένες χρήσιμες τιμές στον επόμενο πίνακα:

	Σύνολο (MWh)	Ποσοστό (%) επί της ενέργειας πρόβλεψης	Μέγιστη τιμή (MWh)	Μέση τιμή (MWh)
Απόκλιση πρόβλεψης – παραγωγής	901,38	24,74		
Απόκλιση φόρτισης (Παραγωγή > Πρόβλεψη)	446,14	12,25	0,18	0,019
Απόκλιση εκφόρτισης (Παραγωγή < Πρόβλεψη)	455,24	12,49	0,196	0,017

Πίνακας 6-102 Τιμές Απόκλισης Πρόβλεψης Πολιτικής 3 για Α/Γ 1200 kW – 60min πρόβλεψης

Παρατηρούμε ότι το πρόσημο των αποκλίσεων είναι μοιρασμένο 50 – 50 ανάμεσα σε αποκλίσεις που οδηγούν σε φόρτιση και αποκλίσεις που οδηγούν σε εκφόρτιση.

Το ποσοστό των αποκλίσεων δεν είναι ιδιαίτερα υψηλό και όπως βλέπουμε οι συσσωρευτές είναι σε θέση να το διαχειριστούν με επιτυχία

Όταν έχουμε μια απόκλιση που οδηγεί σε εκφόρτιση τότε δεν είναι πάντα δεδομένο ότι οι συσσωρευτές θα ανταποκριθούν και θα προσφέρουν την ενέργεια που απαιτείται. Αν μάλιστα στο τέλος η διαφορά μεταξύ της ενέργειας που είχε υποσχεθεί ο Σταθμός και της ενέργειας που τελικά προσέφερε είναι μεγαλύτερη του 10% της υποσχεθείσας, τότε

επιβάλλεται στον Σταθμό πρόστιμο, το οποίο στο πλαίσιο της παρούσας Μεταπτυχιακής τιμολογείται με 150 € / MWh. Αυτή η χρέωση ονομάζεται Χρέωση Απόκλισης Φορτίου (ΧΑΦ). Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται τα μεγέθη που αφορούν στις αδυναμίες κάλυψης της πρόβλεψης αλλά και το πόσες από αυτές τις αδυναμίες χρεώνονται στον Σταθμό.

	Σύνολο (MWh)	Ποσοστό (%) επί της ενέργειας πρόβλεψης	Μέγιστη τιμή (MWh)	Μέση τιμή (MWh)
Αδυναμία Κάλυψης Απόκλισης Πρόβλεψης	3,38	0,09	0,123	0,0186
Χρέωση Απόκλισης Φορτίου	2,71	0,07	0,123	0,02

Πίνακας 6-103 Τιμές Αδυναμίας Κάλυψης της Απόκλισης Πρόβλεψης Πολιτικής 3 για Α/Γ 1200 kW – 60min πρόβλεψης

Η συνολική Χρέωση Απόκλισης Φορτίου ανέρχεται σε 406.25 € και προκύπτει στο 80,1% των 136 δεκαλέπτων που έχουμε αδυναμία κάλυψης της απόκλισης πρόβλεψης. Φυσικά το ποσό είναι αμελητέο και δεν επηρεάζει καθόλου την οικονομική απόδοση του έργου.

#### 6.3.8 Ανεμογεννήτρια 1500 kW – Συσσωρευτές 1,5 MW/2,48 MWh – 20 min πρόβλεψης – 60 min πρόβλεψης

<b>Εγγεόμενη ενέργεια από την ανεμογεννήτρια (MWh)</b>	3533,17 (87,59% της εγγεόμενης)
<b>Εγγεόμενη ενέργεια από συσσωρευτές (MWh)</b>	551,34 (12,41% της εγγεόμενης)
<b>Συνολικά εγγεόμενη ενέργεια (MWh)</b>	4084,51 (25,51% του φορτίου)
<b>Απορριπτόμενη ενέργεια (MWh)</b>	1741,04
<b>Συντελεστής Χρησιμοποίησης Σταθμού (%)</b>	31,08
<b>Συνολική Παραγωγή ΑΠΕ (MWh)</b>	4619,99 (28,85% του φορτίου)
<b>Μέσο SOC συσσωρευτών (%)</b>	77,5
<b>ΧΑΦ</b>	220,5 € για 1,47 MWh
<b>Συνολικό κόστος (€)</b>	3997500
<b>IRR για 100% ίδια κεφάλαια (%)</b>	1,23

Πίνακας 6-104 Αποτελέσματα Πολιτικής 3 για Α/Γ 1500 kW – 60min πρόβλεψης

Στον επόμενο πίνακα απεικονίζονται οι χρηματοροές του έργου για μια περίοδο 20-ετίας.

Έτος	Τιμή πώλησης (€ / kWh)	Έσοδα (€)	Συντήρηση (1% κόστους)	Λειτουργικά (1% κόστους)	Repowering (€)	Τιμή ΧΑΦ (€/MWh)	ΧΑΦ (€)	Φόρος (€)	Καθαρά Κέρδη (€)
100,00	-3997500,00							-3997500,00	-3997500,00
100,00	408451,00	39975,00	39975,00	0,00	150,00	220,50	82070,13	246210,38	70,50

Τεχνοοικονομική βελτιστοποίηση συστήματος συσσωρευτών για αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας  
Αιολικού Σταθμού σε ΜΑΝ

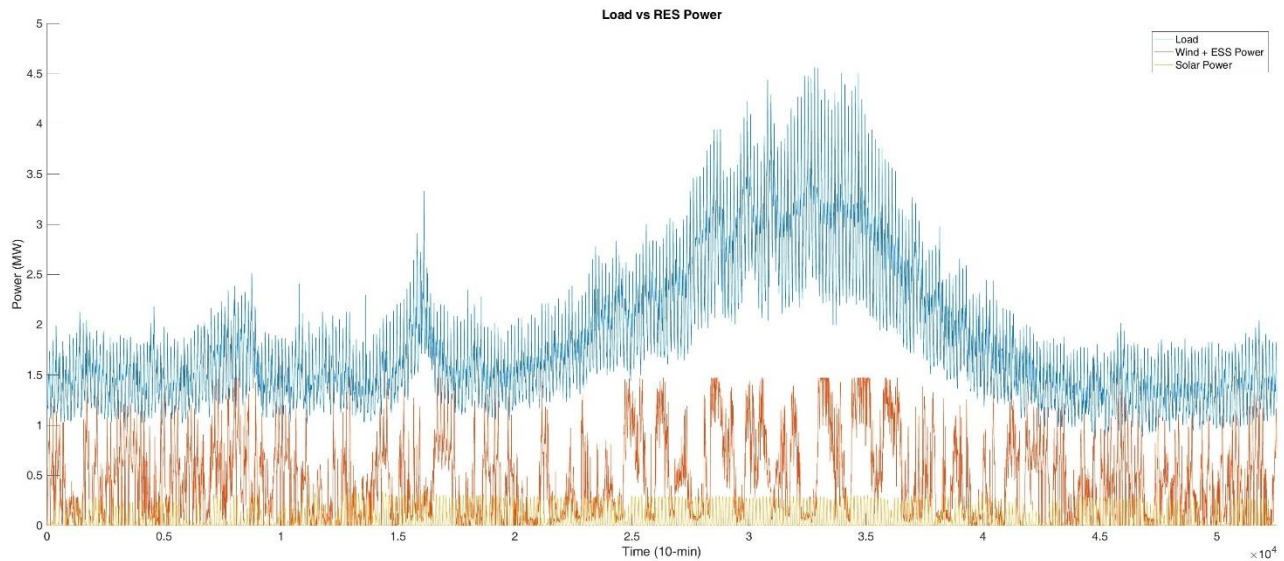
100,80	411718,61	41174,25	41174,25	0,00	151,20	222,26	82286,96	246860,88	71,06
101,61	415012,36	42409,48	42409,48	0,00	152,41	224,04	82492,34	247477,02	71,63
102,42	418332,46	43681,76	43681,76	0,00	153,63	225,83	82685,77	248057,32	72,21
103,24	421679,12	44992,21	44992,21	0,00	154,86	227,64	82866,76	248600,28	72,78
104,06	425052,55	46341,98	46341,98	0,00	156,10	229,46	83034,78	249104,34	73,37
104,90	428452,97	47732,24	47732,24	0,00	157,35	231,30	83189,30	249567,89	73,95
105,74	431880,59	49164,21	49164,21	0,00	158,60	233,15	83329,76	249989,27	74,54
106,58	435335,64	50639,13	50639,13	0,00	159,87	235,01	83455,59	250366,77	75,14
107,43	438818,32	52158,31	52158,31	618750,00	161,15	236,89	-71121,30	-213363,89	75,74
108,29	442328,87	53723,06	53723,06	0,00	162,44	238,79	83660,99	250982,97	76,35
109,16	445867,50	55334,75	55334,75	0,00	163,74	240,70	83739,33	251217,98	76,96
110,03	449434,44	56994,79	56994,79	0,00	165,05	242,62	83800,56	251401,67	77,57
110,91	453029,92	58704,64	58704,64	0,00	166,37	244,57	83844,02	251532,06	78,19
111,80	456654,15	60465,77	60465,77	0,00	167,70	246,52	83869,02	251607,06	78,82
112,70	460307,39	62279,75	62279,75	0,00	169,04	248,49	83874,85	251624,55	79,45
113,60	463989,85	64148,14	64148,14	0,00	170,40	250,48	83860,77	251582,31	80,09
114,51	467701,77	66072,58	66072,58	0,00	171,76	252,49	83826,03	251478,08	80,73
115,42	471443,38	68054,76	68054,76	0,00	173,13	254,51	83769,84	251309,51	81,37
116,35	475214,93	70096,40	70096,40	0,00	174,52	256,54	83691,39	251074,18	82,02
Σύνολο	8820705,79	1074143,22	1074143,22	618750,00	3239,33	4761,81	1512226,89	4536680,66	1522,48
	<b>Επιτόκιο αναγωγής</b>	<b>Συνολικό κόστος (€)</b>	<b>Ίδια κεφάλαια (€)</b>	<b>Δάνειο (€)</b>	<b>IRR</b>	<b>Παραγόμενη Ενέργεια (MWh)</b>	<b>Απόκλιση Φορτίου (MWh)</b>	<b>NPV</b>	
	0,07	3997500	3997500,00	0,00	1,23%	4084,51	1,47	-1.487.054,76	

*Πίνακας 6-105 Χρηματοροές Πολιτικής 3 για Α/Γ 1500 kW – 60min πρόβλεψης*

Παρατηρούμε ότι η επένδυση έχει θετικό IRR, αλλά αρνητική καθαρή παρούσα αξία καθώς το IRR είναι μικρότερο από το επιτόκιο αναγωγής. Πιθανότατα με μια μικρή μείωση του κόστους της επένδυσης ή με αύξηση της τιμής αποζημίωσης για την πωλούμενη ενέργεια να παρουσιάσει θετική καθαρή παρούσα αξία.

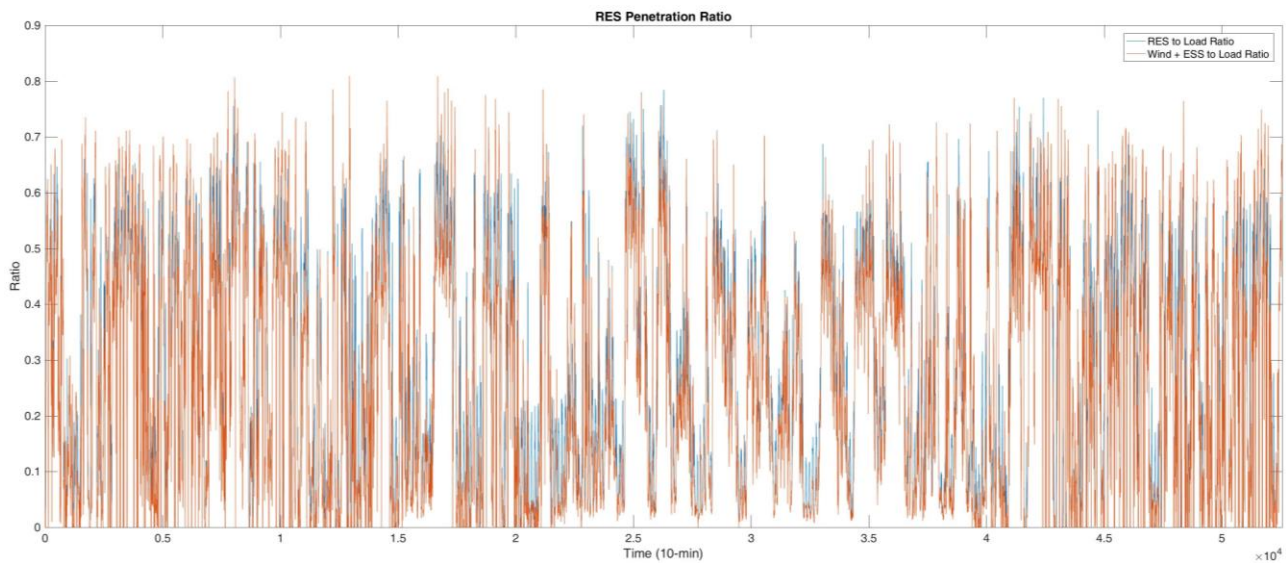
Στο επόμενο διάγραμμα απεικονίζεται η ισχύς που προέρχεται από ΑΠΕ σε σχέση με φορτίο (μπλε), δηλαδή τον αιολικό σταθμό (πορτοκαλί) και τα φωτοβολταϊκά (κίτρινο).

Τεχνοοικονομική βελτιστοποίηση συστήματος συσσωρευτών για αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας  
Αιολικού Σταθμού σε ΜΔΝ

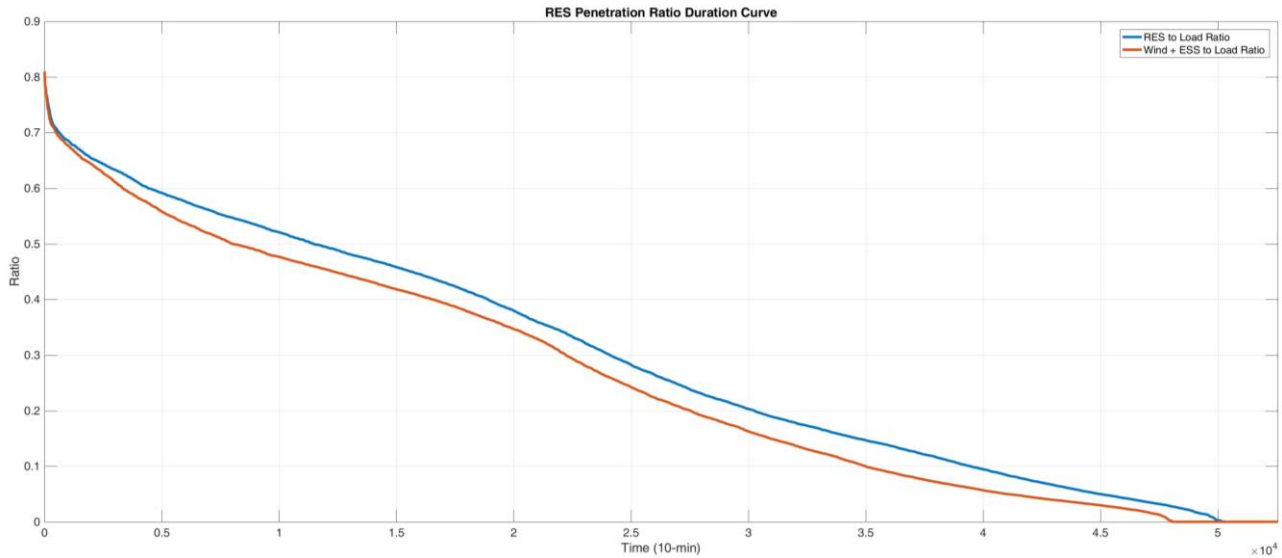


Σχήμα 6-135 Ετήσια Χρονοσειρά Φορτίου προς Αιολική και Φωτοβολταϊκή Παραγωγή Πολιτικής 3 για Α/Γ 1500 kW – 60min πρόβλεψης

Επίσης, στα επόμενα δυο διαγράμματα παρουσιάζεται το ποσοστό διείσδυσης των ΑΠΕ (μπλε γραμμή) και του Σταθμού (πορτοκαλί γραμμή) στη διάρκεια του έτους, τόσο ως χρονοσειρά όσο και ως καμπύλη διάρκειας.



Σχήμα 6-136 Ετήσια Χρονοσειρά Ποσοστού Διείσδυσης Αιολικής Παραγωγής και ΑΠΕ Πολιτικής 3 για Α/Γ 1500 kW – 60min πρόβλεψης



Σχήμα 6-137 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Ποσοστού Διείσδυσης Αιολικής Παραγωγής και ΑΠΕ Πολιτικής 3 για Α/Γ 1500 kW – 60min πρόβλεψης

Μερικές χρήσιμες τιμές που μπορούν να εξαχθούν καταγράφονται στον επόμενο πίνακα:

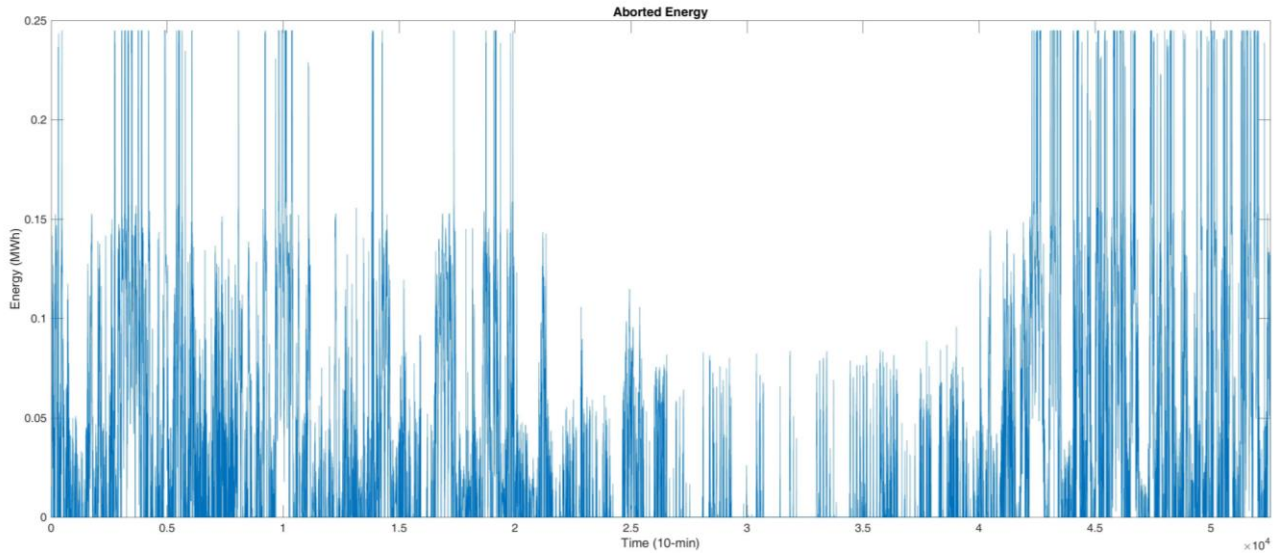
	Ελάχιστο (%)	Μέγιστο (%)	Μέσο (%)
Παραγωγή Σταθμού προς φορτίο	0	80,91	26,02
Συνολική παραγωγή ΑΠΕ προς φορτίο	0	80,91	29,32

Πίνακας 6-106 Τιμές από Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Ποσοστού Διείσδυσης Αιολικής Παραγωγής και ΑΠΕ Πολιτικής 3 για Α/Γ 1500 kW – 60min πρόβλεψης

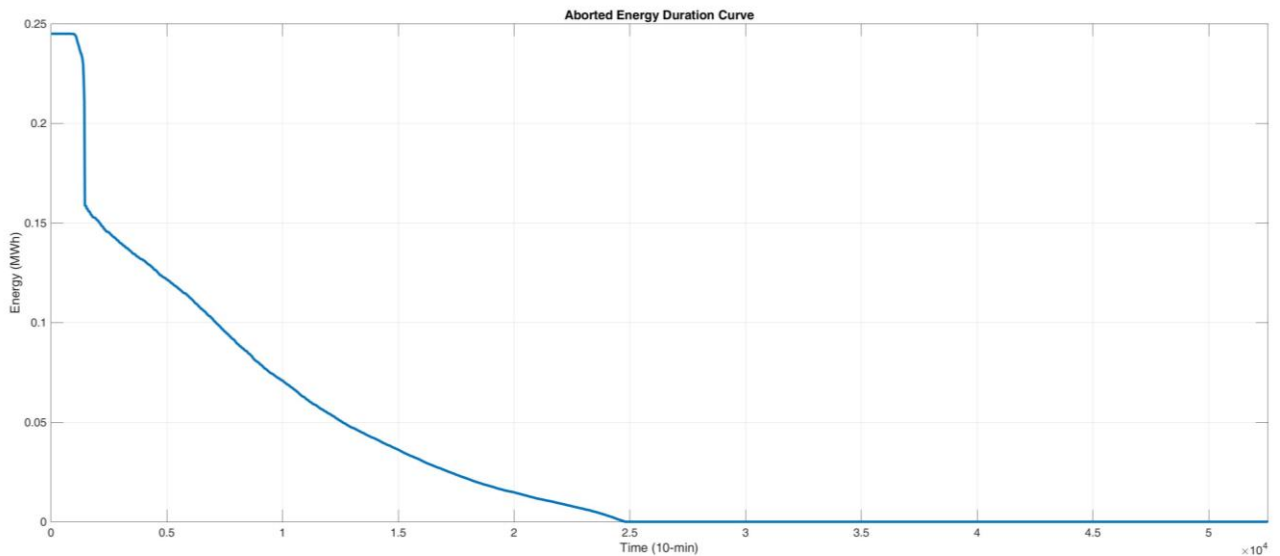
Παρατηρούμε ότι η διείσδυση ΑΠΕ ανεβαίνει σημαντικά σε σχέση με τις 2 προηγούμενες πολιτικές λειτουργίας. Αυτό οφείλεται στην άρση των περιορισμών διείσδυσης που έθεταν χαμηλά το διαθέσιμο περιθώριο διείσδυσης των ΑΠΕ.

Ωστόσο, ακόμα και σε αυτή την πολιτική λειτουργίας ο Σταθμός υπόκειται σε περικοπές ισχύος καθώς πρέπει να τηρούνται τα τεχνικά ελάχιστα των θερμικών μηχανών αλλά και η απαίτηση για ένταξη τουλάχιστον μιας θερμικής μηχανής.

Η χρονοσειρά της απορριπτόμενης ενέργειας καθώς η αντίστοιχη καμπύλη διάρκειας παρουσιάζονται στα επόμενα δυο διαγράμματα.



Σχήμα 6-138 Ετήσια Χρονοσειρά Περικοπών Πολιτικής 3 για Α/Γ 1500 kW – 60min πρόβλεψης



Σχήμα 6-139 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Περικοπών Πολιτικής 3 για Α/Γ 1500 kW – 60min πρόβλεψης

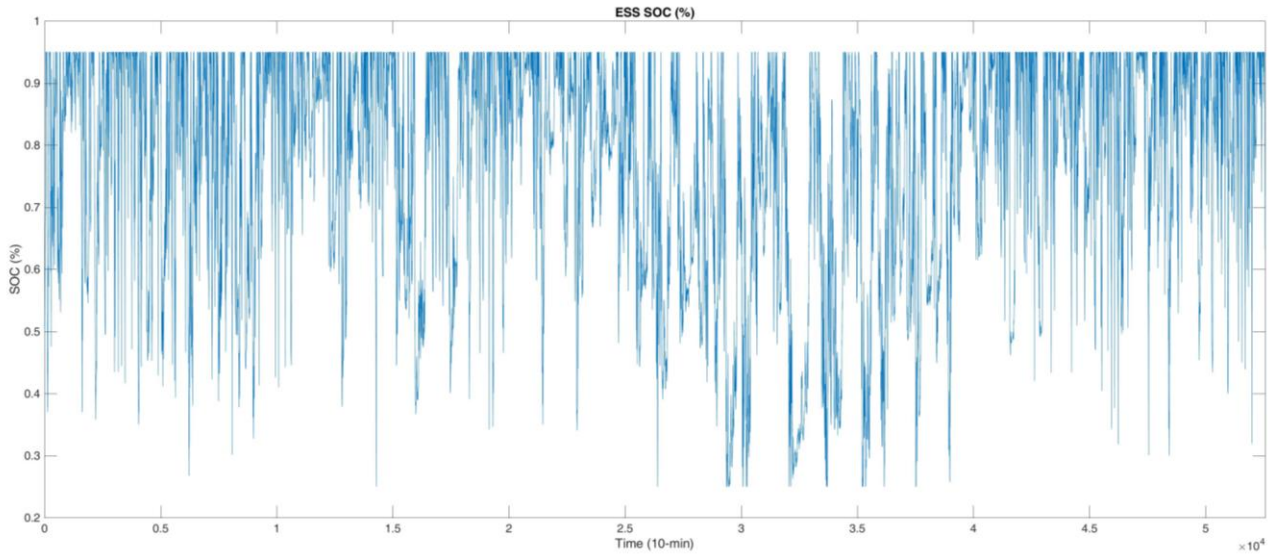
Παρατηρούμε ότι κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού οι περικοπές είναι μηδενικές καθώς έχουμε αρκετά υψηλότερα φορτία που επιτρέπουν την απορρόφηση όλης της παραγωγής του Σταθμού.

Μερικές χρήσιμες τιμές που προκύπτουν από τα παραπάνω διαγράμματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

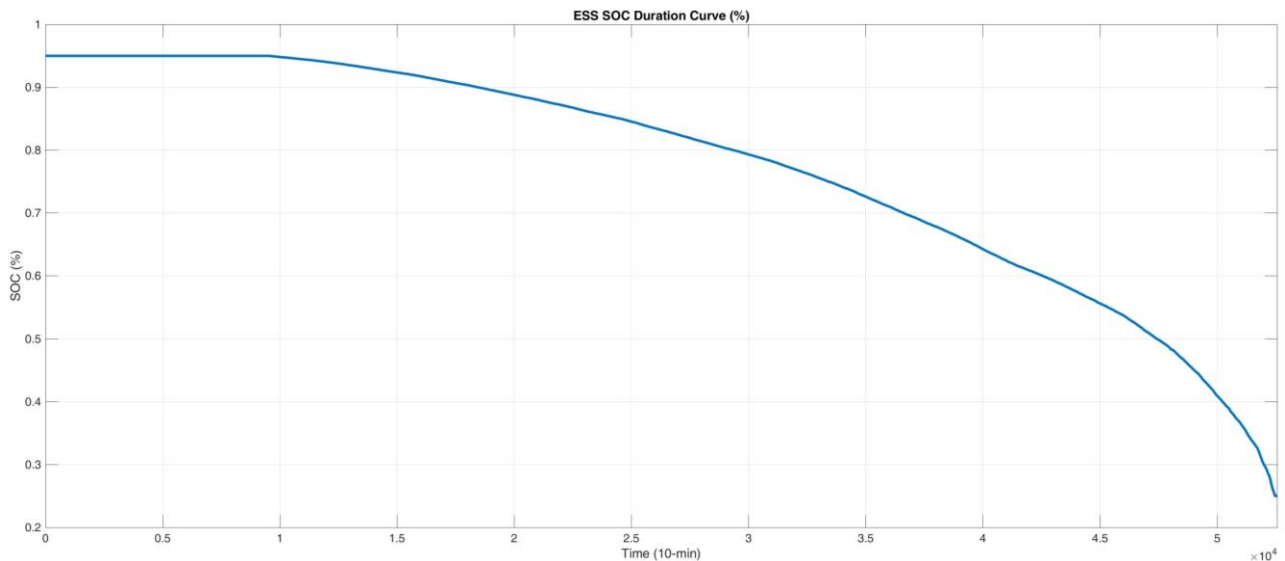
	Σύνολο (MWh)	Μέγιστο (MWh)	Μέσο (MWh)
Περικοπές Ενέργειας	1741,04	0,245	0,0331

Πίνακας 6-107 Τιμές Ετήσιων Περικοπών Πολιτικής 3 για Α/Γ 600 kW – 60min πρόβλεψη

Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν στοιχεία που αφορούν στη λειτουργία των συσσωρευτών. Στο επόμενο διάγραμμα παρουσιάζεται η στάθμη φόρτισης στη διάρκεια του έτους και αμέσως μετά η ετήσια καμπύλη διάρκειας της στάθμης φόρτισης.



Σχήμα 6-140 Ετήσια Χρονοσειρά Στάθμης Φόρτισης Συσσωρευτών Πολιτικής 3 για Α/Γ 1500 kW – 60min πρόβλεψης



Σχήμα 6-141 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Στάθμης Φόρτισης Συσσωρευτών Πολιτικής 3 για Α/Γ 1500 kW – 60min πρόβλεψης

Παρατηρούμε ότι το καλοκαίρι μειώνεται ελαφρώς το επίπεδο φόρτισης των συσσωρευτών. Αυτό προκύπτει επειδή έχουμε μεγάλο φορτίο και άρα δεν υπάρχουν περικοπές ενέργειας από το Σταθμό. Αυτό σημαίνει ότι δεν κατευθύνονται μεγάλα ποσά ενέργειας προς τους συσσωρευτές. Στην ουσία οι συσσωρευτές απορροφούν και



αποδίδουν συνεχώς μικρά ποσά ενέργειας που οφείλονται στα μικρά σφάλματα πρόβλεψης κατά τη διάρκεια του 20λέπτου. Επομένως το επίπεδο φόρτισής τους παραμένει πιο χαμηλά και είναι έντονα μεταβαλλόμενο.

Επίσης, παρατηρούμε σε σχέση με την πρόβλεψη των 60 min ότι η χρήση των συσσωρευτών έχει μεγαλύτερο χρονικό και ενεργειακό εύρος.

Η μέση στάθμη φόρτισης των συσσωρευτών είναι ίση με 77,5%., ενώ στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται κάποιες επιπλέον χρήσιμες τιμές για το επίπεδο φόρτισης των συσσωρευτών.

	Πλήθος 10-min
Μέγιστη Στάθμη Φόρτισης	9202 (17,51%)
Ελάχιστη Στάθμη Φόρτισης	95 (0,18%)
Ενδιάμεση Στάθμη Φόρτισης	43263 (82,31%)

Πίνακας 6-108 Τιμές από Ετήσια Χρονοσειρά Στάθμης Φόρτισης Συσσωρευτών Πολιτικής 3 για Α/Γ 1500 kW – 60min πρόβλεψης

Είναι προφανές ότι οι συσσωρευτές λειτουργούν το 85% του έτους, 10% παραπάνω από το αντίστοιχο ποσοστό με πρόβλεψη 20 min. Επίσης, παρατηρούμε ότι οι στιγμές που είναι πλήρως φορτισμένοι είναι αρκετά λιγότερες και αυτό οφείλεται στο ότι έχουν μεγαλύτερες ενεργειακές συναλλαγές

Για να κατανοήσουμε τη ροή ενέργειας από και προς τους συσσωρευτές, μπορούμε να παρατηρήσουμε τον επόμενο πίνακα στον οποίο παρουσιάζεται η κατάσταση των συσσωρευτών καθώς και οι περιορισμοί που επιβάλλονται στην χρήση τους κατά τη διάρκεια του έτους.

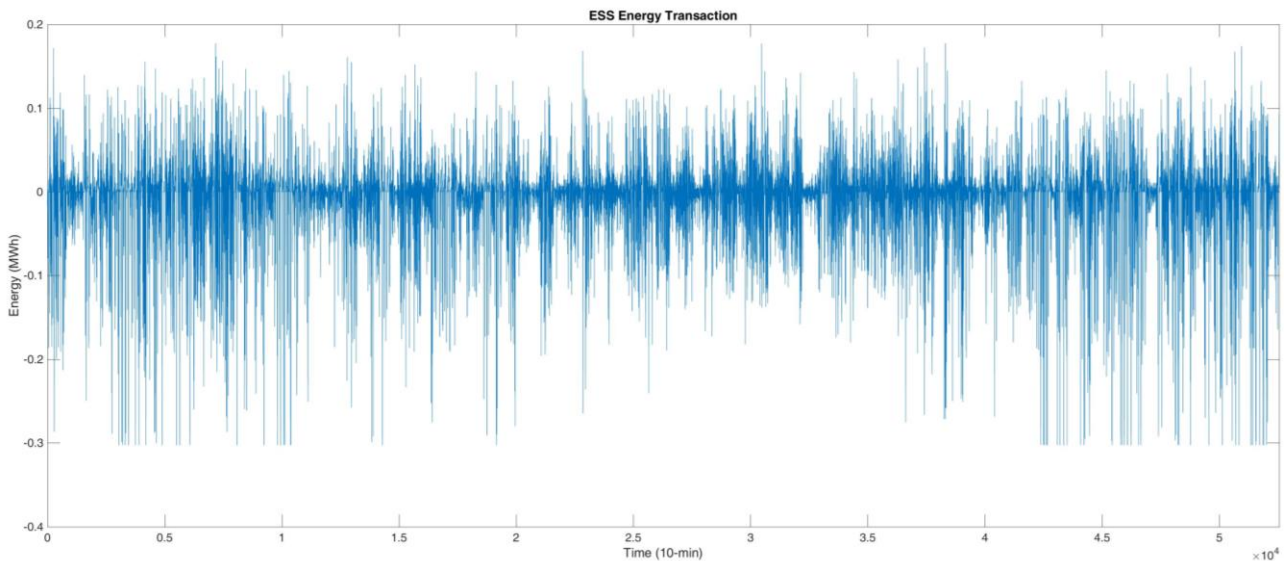
		10 – min	Ποσοστό Χρόνου
Εκφόρτιση	Κανένας περιορισμός	26281	99,61%
	Περιορισμός Χωρητικότητας	25	0,1%
	Περιορισμός Ισχύος Συσσωρευτών	0	0%
	Εκφορτισμένοι Συσσωρευτές	76	0,29%
	<b>Σύνολο</b>	<b>26382</b>	<b>100%</b>
Φόρτ	Κανένας περιορισμός	16977	64,86%
	Περιορισμός Χωρητικότητας	1137	4,34%

Περιορισμός Ισχύος Συσσωρευτών	0	0%
Φορτισμένοι Συσσωρευτές	8064	30,8%
<b>Σύνολο</b>	<b>26178</b>	<b>100%</b>

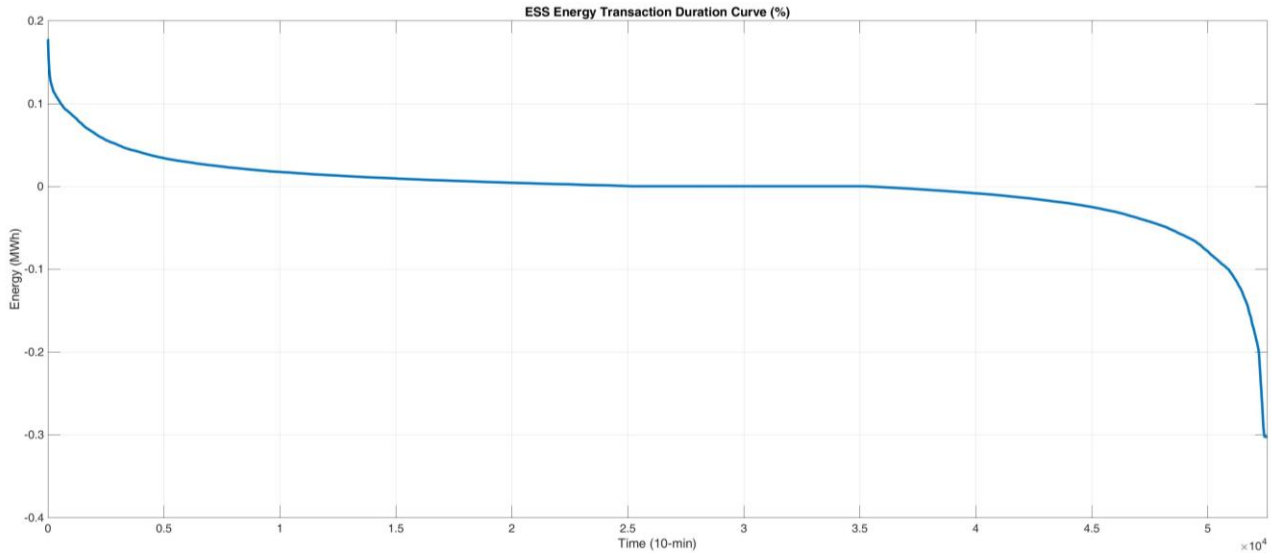
Πίνακας 6-109 Όρια Ενεργειακής Συναλλαγής Συσσωρευτών Πολιτικής 3 για Α/Γ 1500 kW – 60min πρόβλεψης

Παρατηρούμε ότι κατά κύριο λόγο η λειτουργία των συσσωρευτών δεν υπόκειται σε περιορισμούς, πέρα από κάποιες στιγμές που είναι πλήρως φορτισμένοι. Αυτό συμβαίνει κυρίως τις στιγμές που έχουμε περικοπές φορτίου, άρα στους συσσωρευτές οδηγείται όχι μόνο η διαφορά μεταξύ πρόβλεψης και πραγματικής παραγωγής του πάρκου, αλλά και η ενέργεια που απορρίπτει ο Διαχειριστής. Επομένως είναι λογικό οι στιγμές που οι συσσωρευτές είναι πλήρεις να είναι περισσότερες από τις στιγμές που οι συσσωρευτές είναι εκφορτισμένοι.

Επιπλέον, μπορούμε να δούμε στα παρακάτω δυο διαγράμματα τη ροή ενέργεια από και προς τους συσσωρευτές, τόσο με τη μορφή χρονοσειράς όσο και με τη μορφή καμπύλης διάρκειας για ένα έτος.



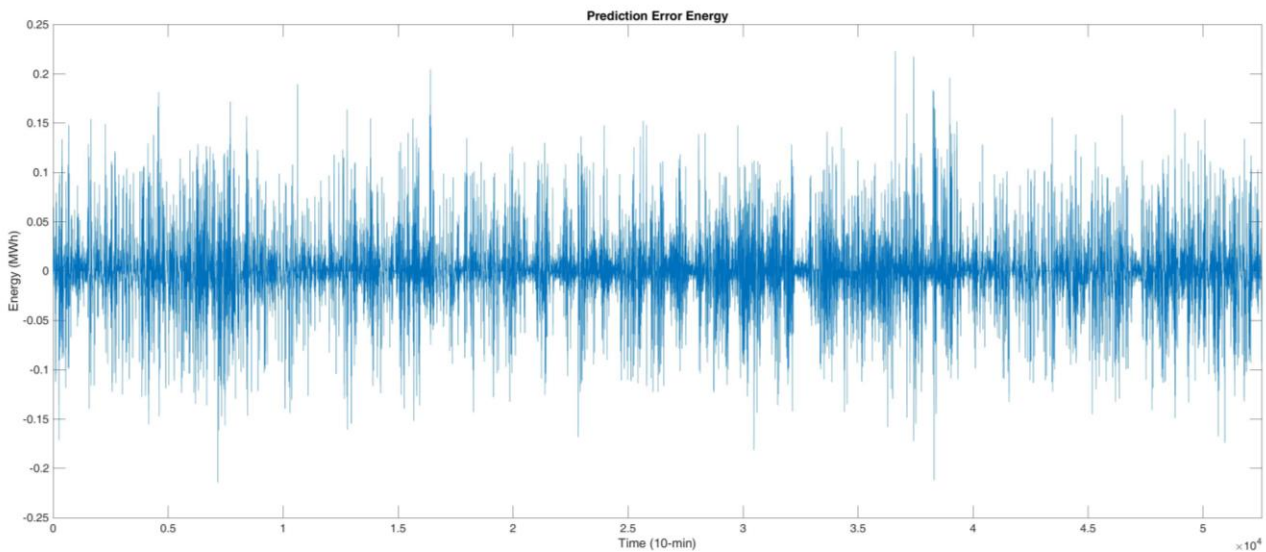
Σχήμα 6-142 Ετήσια Χρονοσειρά Ροής Ενέργειας Συσσωρευτών Πολιτικής 3 για Α/Γ 1500 kW – 60min πρόβλεψης



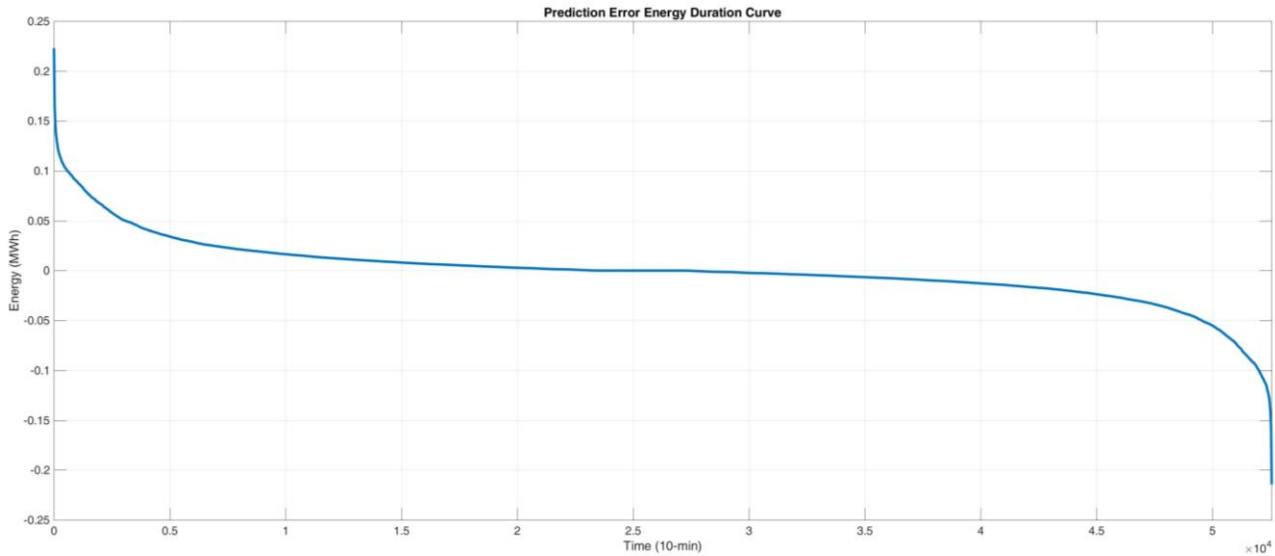
Σχήμα 6-143 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Ροής Ενέργειας Συσσωρευτών Πολιτικής 3 για Α/Γ 1500 kW – 60min πρόβλεψης

Στη συνέχεια θα μελετήσουμε τα μεγέθη που αφορούν στην πρόβλεψη της αιολικής παραγωγής και πώς αυτή επηρεάζει τη λειτουργία του σταθμού.

Στα παρακάτω δυο διαγράμματα παρουσιάζεται η απόκλιση μεταξύ πρόβλεψης και πραγματικής παραγωγής του Σταθμού, τόσο ως ετήσια χρονοσειρά, όσο και ως καμπύλη διάρκειας.



Σχήμα 6-144 Ετήσια Χρονοσειρά Απόκλισης Πρόβλεψης Πολιτικής 3 για Α/Γ 1500 kW – 60min πρόβλεψης



Σχήμα 6-145 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Απόκλισης Πρόβλεψης Πολιτικής 3 για Α/Γ 1500 kW – 60min πρόβλεψης

Συμπληρωματικά των παραπάνω διαγραμμάτων μπορούμε να αποτυπώσουμε ορισμένες χρήσιμες τιμές στον επόμενο πίνακα:

	Σύνολο (MWh)	Ποσοστό (%) επί της ενέργειας πρόβλεψης	Μέγιστη τιμή (MWh)	Μέση τιμή (MWh)
Απόκλιση πρόβλεψης – παραγωγής	1089,87	26,67		
Απόκλιση φόρτισης (Παραγωγή > Πρόβλεψη)	536,65	13,13	0,223	0,0229
Απόκλιση εκφόρτισης (Παραγωγή < Πρόβλεψη)	553,22	13,54	0,2144	0,021

Πίνακας 6-110 Τιμές Απόκλισης Πρόβλεψης Πολιτικής 3 για Α/Γ 1500 kW – 60min πρόβλεψης

Παρατηρούμε ότι το πρόσημο των αποκλίσεων είναι μοιρασμένο 50 – 50 ανάμεσα σε αποκλίσεις που οδηγούν σε φόρτιση και αποκλίσεις που οδηγούν σε εκφόρτιση.

Το ποσοστό των αποκλίσεων δεν είναι ιδιαίτερα υψηλό και όπως βλέπουμε οι συσσωρευτές είναι σε θέση να το διαχειριστούν με επιτυχία

Όταν έχουμε μια απόκλιση που οδηγεί σε εκφόρτιση τότε δεν είναι πάντα δεδομένο ότι οι συσσωρευτές θα ανταποκριθούν και θα προσφέρουν την ενέργεια που απαιτείται. Αν μάλιστα στο τέλος η διαφορά μεταξύ της ενέργειας που είχε υποσχεθεί ο Σταθμός και της ενέργειας που τελικά προσέφερε είναι μεγαλύτερη του 10% της υποσχεθείσας, τότε επιβάλλεται στον Σταθμό πρόστιμο, το οποίο στο πλαίσιο της παρούσας Μεταπτυχιακής

τιμολογείται με 150 € / MWh. Αυτή η χρέωση ονομάζεται Χρέωση Απόκλισης Φορτίου (ΧΑΦ). Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται τα μεγέθη που αφορούν στις αδυναμίες κάλυψης της πρόβλεψης αλλά και το πόσες από αυτές τις αδυναμίες χρεώνονται στον Σταθμό.

	Σύνολο (MWh)	Ποσοστό (%) επί της ενέργειας πρόβλεψης	Μέγιστη τιμή (MWh)	Μέση τιμή (MWh)
Αδυναμία Κάλυψης Απόκλισης Πρόβλεψης	1,88	0,05	0,074	0,0186
Χρέωση Απόκλισης Φορτίου	1,47	0,05	0,123	0,018

Πίνακας 6-111 Τιμές Αδυναμίας Κάλυψης της Απόκλισης Πρόβλεψης Πολιτικής 3 για Α/Γ 1500 kW – 60min πρόβλεψης

Η συνολική Χρέωση Απόκλισης Φορτίου ανέρχεται σε 220,5 € και προκύπτει στο 78,19% των 82 δεκαλέπτων που έχουμε αδυναμία κάλυψης της απόκλισης πρόβλεψης. Φυσικά το ποσό είναι αμελητέο και δεν επηρεάζει καθόλου την οικονομική απόδοση του έργου.

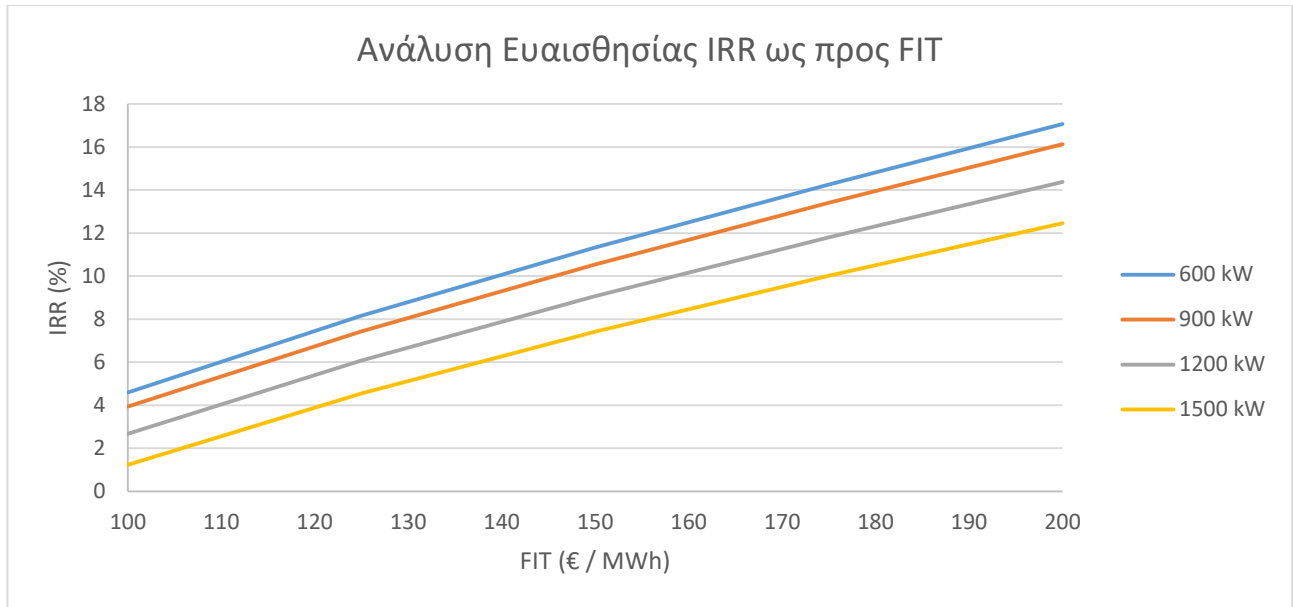
### 6.3.9 Ανάλυση Ευαισθησίας IRR

Δεδομένου ότι ο Σταθμός υποκαθιστά συμβατικές θερμικές μονάδες σε ένα ΜΔΝ και δεδομένου ότι έχει αρκετά αυξημένη αξιοπιστία, θα πρέπει να εξεταστεί κατά πόσο θα μπορούσε να αμείβεται κοντά στο συμβατικό κόστος των συμβατικών θερμικών μονάδων, το οποίο ξεπερνάει αρκετά τα 100 € / MWh.

Αναλύοντας ένα τέτοιο σενάριο για την πολιτική πρόβλεψης των 60 min ως προς την τιμή πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας (FIT) θα οδηγημάσταν στο παρακάτω αποτέλεσμα:

		Ισχύς Σταθμού			
		600 kW	900 kW	1200 kW	1500 kW
FIT (€ / MWh)	100	4,59	3,94	2,67	1,23
	125	8,15	7,43	6,07	4,54
	150	11,32	10,54	9,06	7,41
	175	14,26	13,41	11,8	10,02
	200	17,06	16,13	14,37	12,45

Πίνακας 6-112 Ανάλυση Ευαισθησίας IRR ως προς FIT Πολιτικής 3 60min πρόβλεψης



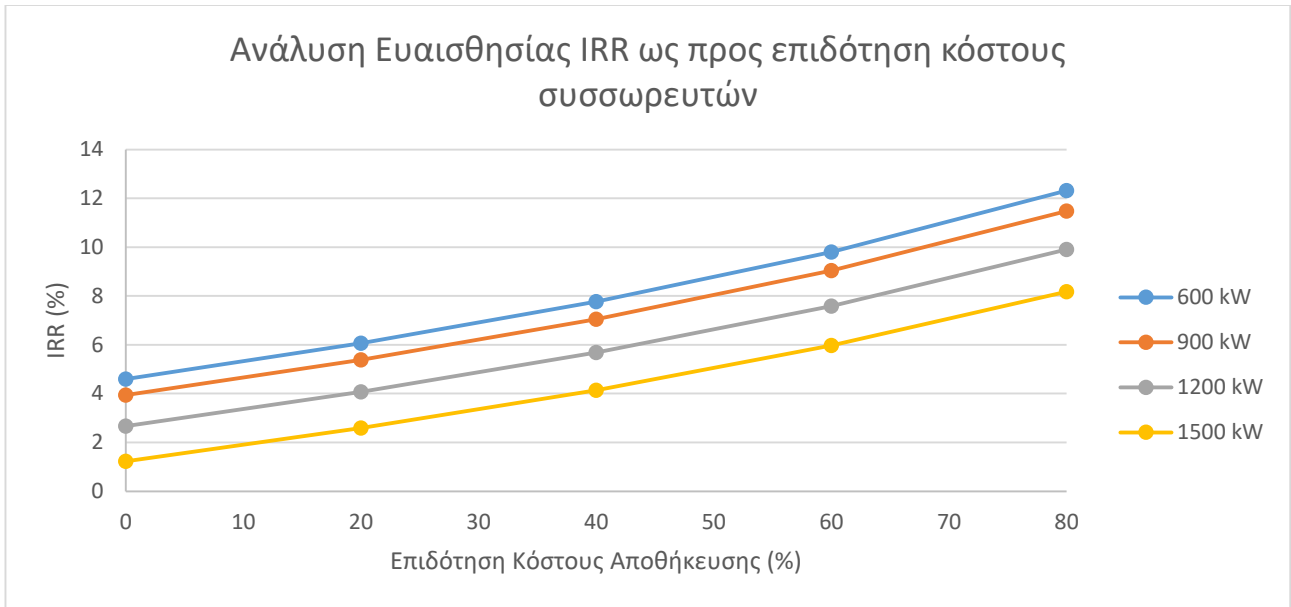
Σχήμα 6-146 Ανάλυση Ευαισθησίας IRR ως προς FIT Πολιτικής 3 60min πρόβλεψης

Είναι προφανές ότι η αύξηση της FIT αυξάνει θεαματικά το IRR της επένδυσης και την καθιστά απόλυτα ελκυστική. Μάλιστα, η αύξηση του IRR είναι γραμμική ως προς την αύξηση της FIT.

Μια εναλλακτική της αύξησης της FIT θα ήταν να δοθεί επιδότηση για το κόστος των συσσωρευτών. Σε αυτή την περίπτωση θα οδηγούμασταν στα παρακάτω αποτελέσματα:

		Ισχύς Σταθμού			
		600 kW	900 kW	1200 kW	1500 kW
Επιδότηση Κόστος Συσσωρευτών (€)	0	4,59	3,94	2,67	1,23
	20	6,06	5,38	4,07	2,59
	40	7,77	7,05	5,68	4,14
	60	9,8	9,04	7,59	5,97
	80	12,31	11,48	9,91	8,18

Πίνακας 6-113 Ανάλυση Ευαισθησίας IRR ως προς Επιδότηση Κόστους Συσσωρευτών Πολιτικής 3 60min πρόβλεψης



Σχήμα 6-147 Ανάλυση Ευαισθησίας IRR ως προς Επιδότηση Κόστους Συσσωρευτών Πολιτικής 3 60min πρόβλεψης

Είναι και σε αυτή την περίπτωση προφανές ότι η προσφορά επιδότησης για το κόστος των συσσωρευτών καθιστά την επένδυση αρκετά ελκυστική, ειδικά αν κυμανθεί από το 20% και πάνω. Μάλιστα η αύξηση του IRR είναι σχεδόν γραμμική σε σχέση με την επιδότηση.

Άλλες μεταβλητές ως προς τις οποίες θα ήταν λογικό να διεξαχθεί ανάλυση ευαισθησίας θα ήταν η ΧΑΦ ή το όριο απόκλισης για εφαρμογή της ΧΑΦ. Όμως η ποινή από τις όποιες τέτοιες χρεώσεις προκύπτουν είναι τόσο μικρή που δε θα επηρέαζε καθόλου τα αποτελέσματα.

### 6.3.10 Συμπεράσματα 3<sup>ης</sup> πολιτικής

Για την πολιτική πρόβλεψης των 20 Min τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

	600 kW	900 kW	1200 kW	1500 kW
<b>Ισχύς / Χωρητικότητα Συσσωρευτών</b>	0,66 MW / 0,99 MWh	0,99 MW / 1,49 MWh	1,32 MW / 1,98 MWh	1,65 MW / 2,48 MWh
<b>Εγχεόμενη ενέργεια από την ανεμογεννήτρια (MWh)</b>	1895,9 (91,44% της εγχεόμενης)	2717,57 (92,11% της εγχεόμενης)	3344,4 (92% της εγχεόμενης)	3727,53 (91,5% της εγχεόμενης)
<b>Εγχεόμενη ενέργεια από συσσωρευτές (MWh)</b>	177,31 (8,55% της εγχεόμενης)	232,96 (7,89% της εγχεόμενης)	292,2 (8% της εγχεόμενης)	347,36 (8,5% της εγχεόμενης)
<b>Συνολικά εγχεόμενη ενέργεια (MWh)</b>	2073,21 (12,95% του φορτίου)	2950,35 (19,81% του φορτίου)	3636,6 (23,84% του φορτίου)	4074,89 (25,45% του φορτίου)
<b>Απορριπτόμενη ενέργεια (MWh)</b>	251,52	538,43	1014,78	1741,04
<b>Συντελεστής Χρησιμοποίησης Σταθμού (%)</b>	39,44	37,42	34,59	31,01
<b>Συνολική Παραγωγή ΑΠΕ (MWh)</b>	2608,68 (16,29% του φορτίου)	3485,83 (23,11% του φορτίου)	4172,08 (26,06% του φορτίου)	4610,36 (28,79% του φορτίου)
<b>Μέσο SOC συσσωρευτών (%)</b>	81,87%	86,3%	90,69	91,31
<b>ΧΑΦ</b>	56 € για 0,37 MWh	0 € για 0 MWh	0 € για 0 MWh	0 € για 0 MWh
<b>Συνολικό κόστος (€)</b>	1599000	2398500	3198000	3997500
<b>IRR για 100% ίδια κεφάλαια (%)</b>	4,77	3,94	2,8	1,2

Πίνακας 6-114 Σύνοψη Αποτελεσμάτων Πολιτικής 3 για 20min πρόβλεψης

Για την πολιτική πρόβλεψης των 60 Min τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

	600 kW	900 kW	1200 kW	1500 kW
<b>Ισχύς / Χωρητικότητα Συσσωρευτών</b>	0,66 MW / 0,99 MWh	0,99 MW / 1,49 MWh	1,32 MW / 1,98 MWh	1,65 MW / 2,48 MWh
<b>Εγχεόμενη ενέργεια από την ανεμογεννήτρια (MWh)</b>	1798,1 (87,2% της εγχεόμενης)	2574,12 (87,25% της εγχεόμενης)	3187,77 (87,59% της εγχεόμενης)	3533,17 (87,59% της εγχεόμενης)
<b>Εγχεόμενη ενέργεια από συσσωρευτές (MWh)</b>	263,95 (12,8% της εγχεόμενης)	376,23 (12,75% της εγχεόμενης)	451,86 (12,41% της εγχεόμενης)	551,34 (12,41% της εγχεόμενης)
<b>Συνολικά εγχεόμενη ενέργεια (MWh)</b>	2062,05 (12,88% του φορτίου)	2950,35 (18,43% του φορτίου)	3639,63 (22,73% του φορτίου)	4084,51 (25,51% του φορτίου)
<b>Απορριπτόμενη ενέργεια (MWh)</b>	251,52	538,43	1014,78	1741,04
<b>Συντελεστής Χρησιμοποίησης Σταθμού (%)</b>	39,23	37,42	34,62	31,08
<b>Συνολική Παραγωγή ΑΠΕ (MWh)</b>	2062,05 (12,88% του φορτίου)	3485,83 (21,77% του φορτίου)	4175,11 (26,08% του φορτίου)	4619,99 (28,85% του φορτίου)
<b>Μέσο SOC συσσωρευτών (%)</b>	69,38%	71,2	74,9	77,5



<b>ΧΑΦ</b>	904,5 € για 9,05 MWh	751,5 € για 5,01 MWh	751,5 € για 5,01 MWh	220,5 € για 1,47 MWh
<b>Συνολικό κόστος (€)</b>	1599000	2398500	3198000	3997500
<b>IRR για 100% ίδια κεφάλαια (%)</b>	4,59	3,94	2,67	1,23

Πίνακας 6-115 Σύνοψη Αποτελεσμάτων Πολιτικής 3 για 60min πρόβλεψη

Από τη σύνοψη των αποτελεσμάτων για πρόβλεψη 20 – min μπορούν να προκύψουν τα εξής συμπεράσματα:

- Οι συσσωρευτές έχουν εξαιρετικά υψηλό μέσο επίπεδο φόρτισης. Αυτό προφανώς συμβαίνει επειδή το διάστημα πρόβλεψης είναι μικρό και έτσι οι όποιες αποκλίσεις προκύπτουν στην πρόβλεψη έχουν μικρή ενέργεια. Θα λέγαμε ότι οι συσσωρευτές κατά κύριο λόγο εκτελούν πολλές μικρές συναλλαγές ενέργειας, οπότε ίσως είναι σκόπιμο να εξεταστεί η χρήση μικρότερων συσσωρευτών για τη μείωση του κόστους
- Όσο αυξάνεται η αποθηκευτική ικανότητα του σταθμού, τόσο μειώνεται το IRR. Αυτό είναι λογικό γιατί η αποθήκευση από μόνη της έχει αρνητικό IRR και επομένως όσο μεγαλώνει η συμμετοχή της στο έργο τόσο περισσότερο ρίχνει τη συνολική απόδοση. Επίσης, η αύξηση της ισχύος της ανεμογεννήτριας οδηγεί σε μεγαλύτερες περικοπές με αποτέλεσμα να μειώνεται ο συντελεστής χρησιμοποίησης του Σταθμού. Αυτό αποτελεί εξίσου μια αιτία μείωσης της οικονομικής απόδοσης.
- Παρατηρούμε ότι η ενεργειακή συμμετοχή των συσσωρευτών κινείται γύρω στο 8% της συνολικής ενέργειας του Σταθμού, όσο δηλαδή για να καλύψει το σφάλμα πρόβλεψης που οδηγεί σε ανάγκη εκφόρτισής τους.
- Τέλος, σχετικά με την αδυναμία κάλυψης των αποκλίσεων, παρατηρούμε ότι αυτή είναι ανύπαρκτη. Στην ουσία δεν υπάρχουν αποκλίσεις που δε μπορεί να διαχειριστεί ο Σταθμός και για αυτό το λόγο έχει και μηδενικές ποινές. Εδώ όμως θα πρέπει να τονιστεί, και φαίνεται από τα αποτελέσματα, ότι οι συσσωρευτές είναι υπερδιαστασιολογημένοι. Πιο συγκεκριμένα, η ανάγκη για να προσφέρουν ισχύ ίση με την ανεμογεννήτρια οδηγεί σε εξαιρετικά μεγάλες χωρητικότητες για τις ανάγκες του σταθμού. Πιο συγκεκριμένα, οι συσσωρευτές μπορούν να αποθηκεύσουν την ενέργεια που αποδίδει η ανεμογεννήτρια για 6 δεκάλεπτα, το οποίο είναι 3 περίοδοι πρόβλεψης. Πρακτικά, δε θα θέλαμε η χωρητικότητα να ξεπερνάει τη μια περίοδο πρόβλεψης, αλλά θα θέλαμε η ισχύς εκφόρτισης να είναι ίση με την ισχύ της ανεμογεννήτρια. Αυτό θα οδηγούσε σε μια σχέση χωρητικότητας / ισχύος των συσσωρευτών ίση με 0,52 MWh / MW, αλλά οι συσσωρευτές λιθίου έχουν σχέση χωρητικότητας / ισχύος ίση με 1.5 MWh / MW, γεγονός που είναι ιδανικό για την περίοδο πρόβλεψης των 60 Min που έχει τις τριπλάσιες ανάγκες σε χωρητικότητα. Επομένως σε μιας τέτοια πολιτική

πρόβλεψης θα ταίριαζαν συσσωρευτές που θα μπορούσαν να λειτουργούν σε C0.5 καταστάσεις χωρίς την έντονη φθορά που συνεπάγεται αυτού του είδους η εκφόρτιση για τις σημερινές τεχνολογίες συσσωρευτών.

Από τη σύνοψη των αποτελεσμάτων για πρόβλεψη 60 – min μπορούν να προκύψουν τα εξής συμπεράσματα:

- Οι συσσωρευτές συνεχίζουν να έχουν υψηλό επίπεδο φόρτισης, αλλά χαμηλότερο από την πολιτική πρόβλεψης των 20 min. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι εξαιτίας του μεγαλύτερου διαστήματος πρόβλεψης έχουμε και μεγαλύτερες αποκλίσεις που καλούνται να καλύψουν οι συσσωρευτές, άρα και μεγαλύτερες ενεργειακές συναλλαγές.
- Όσο αυξάνεται η αποθηκευτική ικανότητα του σταθμού, τόσο μειώνεται το IRR. Αυτό είναι λογικό γιατί η αποθήκευση από μόνη της έχει αρνητικό IRR και επομένως όσο μεγαλώνει η συμμετοχή της στο έργο τόσο περισσότερο ρίχνει τη συνολική απόδοση. Επίσης, η αύξηση της ισχύος της ανεμογεννήτριας οδηγεί σε μεγαλύτερες περικοπές με αποτέλεσμα να μειώνεται ο συντελεστής χρησιμοποίησης του Σταθμού. Αυτό αποτελεί εξίσου μια αιτία μείωσης της οικονομικής απόδοσης.
- Παρατηρούμε ότι η ενεργειακή συμμετοχή των συσσωρευτών κινείται γύρω στο 12 - 13% της συνολικής ενέργειας του Σταθμού, όσο δηλαδή για να καλύψει το σφάλμα πρόβλεψης που οδηγεί σε ανάγκη εκφόρτισής τους. Φυσικά είναι μεγαλύτερο (κατά 50%) από το αντίστοιχο ποσοστό για πρόβλεψη 20 min, αλλά αυτό είναι αναμενόμενο αφού εξαιτίας του μεγαλύτερου διαστήματος πρόβλεψης έχουμε και μεγαλύτερες αποκλίσεις που καλούνται να καλύψουν οι συσσωρευτές
- Τέλος, σχετικά με την αδυναμία κάλυψης των αποκλίσεων, παρατηρούμε ότι αυτή είναι σχεδόν ανύπαρκτη. Στην ουσία δεν υπάρχουν αποκλίσεις που δε μπορεί να διαχειριστεί ο Σταθμός και για αυτό το λόγο έχει και σχεδόν μηδενικές ποινές. Επομένως, η αρχική μεθοδολογία διαστασιολόγησης των συσσωρευτών αποδεικνύεται βάσιμη. Εδώ φαίνεται ότι η διαστασιολόγηση είναι πιο ορθολογική σε σχέση με την περίπτωση των 20 min πρόβλεψης.

Ως κοινά σχόλια και για τις δυο πολιτικές πρόβλεψης θα μπορούσαμε να αναφέρουμε ότι όσο η ΧΑΦ είναι σε τόσο χαμηλά επίπεδα, θα γίνεται ελκυστικό για τον επενδυτή να δημιουργήσει έναν Σταθμό με σχετικά μικρή αποθηκευτική ικανότητα, αφού το κόστος των ποινών είναι εξαιρετικά χαμηλό μπροστά στο όφελος. Αυτό όμως θα δημιουργούσε σημαντικά προβλήματα αξιοπιστίας για τον Σταθμό και για το λόγο αυτό ο Διαχειριστής θα πρέπει να είναι πολύ αυστηρός με τις προδιαγραφές του Σταθμού ώστε να τον θεωρήσει κατανεμόμενο.

Ίσως μια πιο ορθολογική προσέγγιση της ΧΑΦ θα ήταν να είναι η 10πλάσια της αποζημίωσης πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας, αφού όπως είδαμε το σφάλμα πρόβλεψης που οδηγεί σε ανάγκη έγχυσης ενέργειας από τους συσσωρευτές είναι περίπου το 10% της συνολικά εγγεόμενης ενέργειας. Επίσης, μια καλή προσέγγιση θα ήταν η ΧΑΦ να κλιμακώνεται ανάλογα με το πλήθος των αποκλίσεων, ώστε να μην είναι απαγορευτικό το κόστος για μικρές αποκλίσεις, αλλά να μην επιτρέπει στον επενδυτή να υποκαταστήσει τη χωρητικότητα των συσσωρευτών με κάποιο αμελητέο πρόστιμο.

Επίσης, από την ανάλυση ευαισθησίας για την τιμή πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας, αλλά και πιθανή επιδότηση του κόστους αποθήκευσης, προκύπτει γραμμική αύξηση του IRR με την αύξηση των εσόδων ή την μείωση του αρχικού κόστους επένδυσης.

## Κεφάλαιο 7. Συμπεράσματα - Προβληματισμοί

---

Στην παρούσα εργασία αναλύθηκαν τρεις πολιτικές λειτουργίες ενός αιολικού σταθμού σε ΜΔΝ, εκ των οποίων οι δυο περιλάμβαναν διατάξεις αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας σε συσσωρευτές.

Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων και των αναλύσεων κατέδειξαν ότι χωρίς αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας τα περιθώρια διείσδυσης των ΑΠΕ στα ΜΔΝ είναι εξαιρετικά χαμηλά και δεν υπάρχει δυνατότητα να αυξηθούν εξαιτίας των τεχνικών περιορισμών που τίθεται από τους συμβατικούς θερμικούς σταθμούς και από το Δίκτυο.

Η ιδέα να προσθέσουμε εσωτερική αποθήκευση σε έναν αιολικό σταθμό για να αποθηκεύει τις περικοπές και να αποδίδει αυτήν την ενέργεια όταν υπάρχει διαθέσιμο περιθώριο διείσδυσης ακούγεται ελκυστική, αλλά στην πραγματικότητα δεν δείχνει να έχει σοβαρά οφέλη, ούτε οικονομικά, ούτε ενεργειακά, γιατί θα χρειάζονταν συσσωρευτές αρκετά μεγάλης χωρητικότητας, και επομένως αυξημένου κόστους, ώστε το σύστημα να είναι λειτουργικό και το χειμώνα και το καλοκαίρι. Πιθανόν σε ένα μεγαλύτερο νησί, το οποίο δε θα είχε τόσο μεγάλη διαφοροποίηση του φορτίου του μεταξύ χειμώνα και καλοκαιριού, τα αποτελέσματα να ήταν πιο ενθαρρυντικά. Στην περίπτωση της Σκύρου όμως, το σύστημα αποθήκευσης κατέληγε είτε να υπολειτουργεί ή να είναι υπερδιαστασιολογημένο για το μισό έτος.

Επομένως, η μόνη λύση που απομένει για να έχει όφελος ένας Σταθμός με ανεμογεννήτρια και μονάδες αποθήκευσης είναι να χρησιμοποιήσει την αποθηκευτική του ικανότητα για την αύξηση της αξιοπιστίας του και έτσι να μπορεί να συμμετέχει ως κατανεμόμενη μονάδα στο Δίκτυο. Αυτό συνεπάγεται την υποβολή προσφορών ανά 20 ή 60 λεπτά προς το Διαχειριστή και έπειτα, με την αρωγή των συσσωρευτών, τη συμμόρφωση προς τις υποβληθείσες προσφορές. Η πολιτική αυτή φαίνεται να έχει οικονομικό ενδιαφέρον, ειδικά αν ο Σταθμός αποζημιώνεται με τιμές κοντά στο Μέσο Μεταβλητό Κόστος των συμβατικών θερμικών μονάδων που υπάρχουν στα μικρά νησιά. Θα πρέπει όμως να τεθούν αυστηρές προδιαγραφές από το Διαχειριστή σχετικά με τις τεχνικές προδιαγραφές της αποθήκευσης διότι οι αδυναμίες συμμόρφωσης προς τις υποβληθείσες προσφορές μπορεί να έχουν ένα μικρό οικονομικό αντίκτυπο προς τον επενδυτή, όμως να επιφέρουν μεγάλη διαταραχή, ή ακόμα και κατάρρευση, σε ένα μικρό Δίκτυο, όπως αυτό της Σκύρου. Επίσης, θα είχε ενδιαφέρον να μελετηθεί κατά πόσο μπορούν να υπάρχουν τεχνολογίες συσσωρευτών που θα μπορούν να λειτουργούν απρόσκοπτα σε C μικρότερο της μονάδας, ώστε σε πολιτική με μικρά διαστήματα πρόβλεψης να μπορούμε να έχουμε μειωμένο κόστος αποθήκευσης, αλλά η αξιοπιστία να παραμένει σε υψηλά επίπεδα.

## Κεφάλαιο 8. Βιβλιογραφία

---

- [1] Nishad Mendis, Kashem Muttaqi, Saad Sayeef, Sarath Perera “Autonomous operation of wind-battery hybrid power system with maximum power extraction capability”. *University of Wollongong, Faculty of Engineering and Information Sciences*, 2010.
- [2] Hongkun ehen, Xin Jiang, Yanjuan Yu, Yayi Wu, “ Optimization of Energy Storage System Capacity for Wind Farms based on Cost-Benefit Analysis”. *Department of Electrical Engineering Wuhan University Wuhan, China*, 2016.
- [3] Βασικές αρχές λειτουργίας, διαχείρισης και τιμολόγησης υβριδικών σταθμών σε μη διασυνδεδεμένα νησιά, Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (P.A.E.), <http://www.rae.gr/K2/hybrid-principles.pdf>.
- [4] Κώδικας διαχείρισης ηλεκτρικών συστημάτων, μη διασυνδεδεμένων νησιών (κώδικας ΜΔΝ), ΦΕΚ Β΄ 304/2014.
- [5] Cong-Long Nguyen, Student Member, IEEE, Hong-Hee Lee, Senior Member, IEEE “A Novel Dual-Battery Energy Storage System for Wind Power Applications”. *IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS*, 2016.
- [6] Χοντζόπουλος Ιάσων – Ιωάννης, “Μοντελοποίηση & Διαστασιολόγηση Υβριδικού Σταθμού με Φωτοβολταϊκά και Συσσωρευτές Ιόντων Λιθίου”. *ΕΜΠ, Τομέας Ηλεκτρικής Ισχύος*, 2015.
- [7] McDowall, Jim. ‘*Understandin lithium-ion technology*’ , <http://www.battcon.com> , 2008
- [8] ESA. Energy Storage Association. 2015. <http://energystorage.org/>.
- [9] Battery University <http://batteryuniversity.com/>.
- [10] Βογιατζάκης Γ. (Επιβλέπων: Χατζηαργυρίου Ν.), “Βραχυπρόθεσμος Υδροθερμικός Προγραμματισμός και Μελέτη μη Διασυνδεδεμένου ΣΗΕ με Μεγάλη Διείσδυση ΑΠΕ και Αντλησιοταμίευση με Δυνατότητα Άντλησης από το Δίκτυο σε Συνθήκες Βέλτιστης Ροής Φορτίου”. *ΕΜΠ, Τομέας Ηλεκτρικής Ισχύος*, 2010..
- [11] Καπόλου, Ελένη. ‘*Διερεύνηση των περιθωρίων διείσδυσης Φ/Β και αιολικών σταθμών σε Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά*’, Διπλωματική Εργασία. Αθήνα : Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, 2011
- [12] Σαμαρά, Μαρία. ‘*Υλοποίηση αλγορίθμων ένταξης ΥΒΣ σε αυτόνομο ηλεκτρικό σύστημα ενός ΜΔΝ*’, Διπλωματική Εργασία. Αθήνα : Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, 2014.

- [13] Ν.3468/2006, ‘*Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές και Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλης Απόδοσης και λοιπές Διατάξεις*’, ΦΕΚ 129 τ.Α 27.6.2006
- [14] Σ. Παπαευθυμίου Ε. Καραμάνου, Σ. Παπαθανασίου, Μ. Παπαδόπουλος, Σ., ‘*Αρχές Διαχείρισης Υβριδικών Σταθμών: Εφαρμογή στο σύστημα της Ικαρίας*,’ in Πρακτικά Συνόδου της Ε.Ε. CIGRE, Δεκέμβριος 2009.
- [15] Weber, Adam. ‘*Flow Cells for Energy Storage*’ Washington, DC : Lawrence Berkley National Laboratory, 2012

## Κεφάλαιο 9. Κατάλογος Πινάκων και Σχημάτων

Πίνακας 3-1: Απόδοση κελιών κατά την εκφόρτιση σε 1C, 3C .....	30
Πίνακας 3-2: Σύγκριση μοντέλων διάρκειας ζωής για τις μπαταρίες Li-ion .....	35
Πίνακας 5-1 Στοιχεία από καμπύλη διάρκειας φορτίου .....	46
Πίνακας 5-2 Χαρακτηριστικά Φορτίου Σκύρου .....	47
Πίνακας 5-3 Συμβατικοί Θερμικοί Σταθμοί Σκύρου .....	47
Πίνακας 5-4 Τιμές Ανεμολογικών Δεδομένων .....	47
Πίνακας 5-5 Τιμές από καμπύλη Ισχύος Ανεμογεννήτριας .....	49
Πίνακας 5-6 Τιμές από χρονοσειρά ισχύος εξόδου ανεμογεννήτριας .....	50
Πίνακας 5-7 Στοιχεία Παραγωγής Φωτοβολταϊκών Σταθμών .....	51
Πίνακας 5-8 Τιμές Διαθέσιμου Περιθωρίου Αιολικής Διείσδυσης .....	54
Πίνακας 6-1 Αποτελέσματα Πολιτικής 1 για Α/Γ 600 kW .....	58
Πίνακας 6-2 Χρηματοροές Πολιτικής 1 για Α/Γ 600 kW .....	59
Πίνακας 6-3 Στοιχεία Ορίου Διείσδυσης Πολιτικής 1 για Α/Γ 600 kW .....	60
Πίνακας 6-4 Τιμές από Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Ποσοστού Διείσδυσης Αιολικής Παραγωγής και ΑΠΕ Πολιτικής 1 για Α/Γ 600 kW .....	63
Πίνακας 6-5 Αποτελέσματα Πολιτικής 1 για Α/Γ 900 kW .....	63
Πίνακας 6-6 Χρηματοροές Πολιτικής 1 για Α/Γ 900 kW .....	64
Πίνακας 6-7 Στοιχεία Ορίου Διείσδυσης Πολιτικής 1 για Α/Γ 900 kW .....	65
Πίνακας 6-8 Τιμές από Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Ποσοστού Διείσδυσης Αιολικής Παραγωγής και ΑΠΕ Πολιτικής 1 για Α/Γ 900 kW .....	68
Πίνακας 6-9 Αποτελέσματα Πολιτικής 1 για Α/Γ 1200 kW .....	68
Πίνακας 6-10 Χρηματοροές Πολιτικής 1 για Α/Γ 1200 kW .....	69
Πίνακας 6-11 Στοιχεία Ορίου Διείσδυσης Πολιτικής 1 για Α/Γ 1200 kW .....	70
Πίνακας 6-12 Τιμές από Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Ποσοστού Διείσδυσης Αιολικής Παραγωγής και ΑΠΕ Πολιτικής 1 για Α/Γ 1200 kW .....	72
Πίνακας 6-13 Αποτελέσματα Πολιτικής 1 για Α/Γ 1500 kW .....	73
Πίνακας 6-14 Χρηματοροές Πολιτικής 1 για Α/Γ 1500 kW .....	73
Πίνακας 6-15 Στοιχεία Ορίου Διείσδυσης Πολιτικής 1 για Α/Γ 1500 kW .....	74
Πίνακας 6-16 Τιμές από Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Ποσοστού Διείσδυσης Αιολικής Παραγωγής και ΑΠΕ Πολιτικής 1 για Α/Γ 1500 kW .....	77
Πίνακας 6-17 Συμπεράσματα 1ης πολιτικής λειτουργίας .....	77
Πίνακας 6-18 Ανάλυση Ευαισθησίας 2 <sup>ης</sup> Πολιτικής .....	80
Πίνακας 6-19 Μεταβολή Κόστους – Εγγεόμενης Ενέργειας 2 <sup>ης</sup> Πολιτικής .....	80
Πίνακας 6-20 Μεταβολή Κόστους – Εγγεόμενης Ενέργειας Σύγκριση 1 <sup>ης</sup> - 2 <sup>ης</sup> Πολιτικής .....	81
Πίνακας 6-21 Ανάλυση Ευαισθησίας IRR ως προς κόστος αποθήκευσης 2 <sup>ης</sup> Πολιτικής	83
Πίνακας 6-22 Αποτελέσματα 2 <sup>ης</sup> Πολιτικής για μειωμένο κόστος αποθήκευσης στο ¼ του σημερινού .....	84
Πίνακας 6-23 Ανάλυση Ευαισθησίας IRR ως προς επιδότηση συστήματος αποθήκευσης 2 <sup>ης</sup> Πολιτικής .....	85
Πίνακας 6-24 Αποτελέσματα 2 <sup>ης</sup> Πολιτικής για εφαρμογή επιδότησης 80% του κόστους αποθήκευσης .....	85
Πίνακας 6-25 Ανάλυση ευαισθησίας NPV κόστους αποθήκευσης ως προς τιμή πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας για τη 2 <sup>η</sup> Πολιτική .....	86

Πίνακας 6-26 Αποτελέσματα Πολιτικής 2 για $P_b/P_w = 0.25$ .....	87
Πίνακας 6-27 Χρηματοροές Πολιτικής 2 για $P_b/P_w = 0.25$ .....	88
Πίνακας 6-28 Τιμές από Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Ποσοστού Διείσδυσης Αιολικής Παραγωγής και ΑΠΕ Πολιτικής 2 για $P_b/P_w = 0.25$ .....	91
Πίνακας 6-29 Τιμές από Ετήσια Χρονοσειρά Στάθμης Φόρτισης Συσσωρευτών Πολιτικής 2 για $P_b/P_w = 0.25$ .....	92
Πίνακας 6-30 Όρια Ενεργειακής Συναλλαγής Συσσωρευτών Πολιτικής 2 για $P_b/P_w = 0.25$ .....	94
Πίνακας 6-31 Αποτελέσματα Πολιτικής 2 για $P_b/P_w = 0.5$ .....	94
Πίνακας 6-32 Χρηματοροές Πολιτικής 2 για $P_b/P_w = 0.5$ .....	95
Πίνακας 6-33 Τιμές από Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Ποσοστού Διείσδυσης Αιολικής Παραγωγής και ΑΠΕ Πολιτικής 2 για $P_b/P_w = 0.5$ .....	98
Πίνακας 6-34 Τιμές από Ετήσια Χρονοσειρά Στάθμης Φόρτισης Συσσωρευτών Πολιτικής 2 για $P_b/P_w = 0.5$ .....	99
Πίνακας 6-35 Όρια Ενεργειακής Συναλλαγής Συσσωρευτών Πολιτικής 2 για $P_b/P_w = 0.5$ .....	101
Πίνακας 6-36 Αποτελέσματα Πολιτικής 2 για $P_b/P_w = 0.75$ .....	101
Πίνακας 6-37 Χρηματοροές Πολιτικής 2 για $P_b/P_w = 0.75$ .....	102
Πίνακας 6-38 Τιμές από Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Ποσοστού Διείσδυσης Αιολικής Παραγωγής και ΑΠΕ Πολιτικής 2 για $P_b/P_w = 0.75$ .....	105
Πίνακας 6-39 Τιμές από Ετήσια Χρονοσειρά Στάθμης Φόρτισης Συσσωρευτών Πολιτικής 2 για $P_b/P_w = 0.75$ .....	106
Πίνακας 6-40 Όρια Ενεργειακής Συναλλαγής Συσσωρευτών Πολιτικής 2 για $P_b/P_w = 0.75$ .....	108
Πίνακας 6-41 Αποτελέσματα Πολιτικής 2 για $P_b/P_w = 1$ .....	108
Πίνακας 6-42 Χρηματοροές Πολιτικής 2 για $P_b/P_w = 1$ .....	109
Πίνακας 6-43 Τιμές από Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Ποσοστού Διείσδυσης Αιολικής Παραγωγής και ΑΠΕ Πολιτικής 2 για $P_b/P_w = 1$ .....	112
Πίνακας 6-44 Τιμές από Ετήσια Χρονοσειρά Στάθμης Φόρτισης Συσσωρευτών Πολιτικής 2 για $P_b/P_w = 1$ .....	113
Πίνακας 6-45 Όρια Ενεργειακής Συναλλαγής Συσσωρευτών Πολιτικής 2 για $P_b/P_w = 1$ .....	115
Πίνακας 6-46 Συμπεράσματα 2 <sup>ης</sup> Πολιτικής.....	116
Πίνακας 6-47 Υπολογισμός Χωρητικότητας Συσσωρευτών 3 <sup>ης</sup> Πολιτικής.....	117
Πίνακας 6-48 Αποτελέσματα Πολιτικής 3 για Α/Γ 600 kW – 20min πρόβλεψης .....	118
Πίνακας 6-49 Χρηματοροές Πολιτικής 3 για Α/Γ 600 kW – 20min πρόβλεψης .....	119
Πίνακας 6-50 Τιμές από Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Ποσοστού Διείσδυσης Αιολικής Παραγωγής και ΑΠΕ Πολιτικής 3 για Α/Γ 600 kW – 20min πρόβλεψη .....	121
Πίνακας 6-51 Τιμές Ετήσιων Περικοπών Πολιτικής 3 για Α/Γ 600 kW – 20min πρόβλεψη .....	123
Πίνακας 6-52 Τιμές από Ετήσια Χρονοσειρά Στάθμης Φόρτισης Συσσωρευτών Πολιτικής 3 για Α/Γ 600 kW – 20min πρόβλεψης .....	124
Πίνακας 6-53 Όρια Ενεργειακής Συναλλαγής Συσσωρευτών Πολιτικής 3 για Α/Γ 600 kW – 20min πρόβλεψης.....	125
Πίνακας 6-54 Τιμές Απόκλισης Πρόβλεψης Πολιτικής 3 για Α/Γ 600 kW – 20min πρόβλεψη .....	127



Πίνακας 6-55 Τιμές Αδυναμίας Κάλυψης της Απόκλισης Πρόβλεψης Πολιτικής 3 για Α/Γ 600 kW – 20min πρόβλεψης .....	128
Πίνακας 6-56 Αποτελέσματα Πολιτικής 3 για Α/Γ 900 kW – 20min πρόβλεψης .....	128
Πίνακας 6-57 Χρηματοροές Πολιτικής 3 για Α/Γ 900 kW – 20min πρόβλεψη.....	129
Πίνακας 6-58 Τιμές από Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Ποσοστού Διείσδυσης Αιολικής Παραγωγής και ΑΠΕ Πολιτικής 3 για Α/Γ 900 kW – 20min πρόβλεψη .....	131
Πίνακας 6-59 Τιμές Ετήσιων Περικοπών Πολιτικής 3 για Α/Γ 600 kW – 20min πρόβλεψη .....	132
Πίνακας 6-60 Τιμές από Ετήσια Χρονοσειρά Στάθμης Φόρτισης Συσσωρευτών Πολιτικής 3 για Α/Γ 900 kW – 20min πρόβλεψη.....	134
Πίνακας 6-61 Όρια Ενεργειακής Συναλλαγής Συσσωρευτών Πολιτικής 3 για Α/Γ 900 kW – 20min πρόβλεψη .....	135
Πίνακας 6-62 Τιμές Απόκλισης Πρόβλεψης Πολιτικής 3 για Α/Γ 900 kW – 20min πρόβλεψη .....	137
Πίνακας 6-63 Τιμές Αδυναμίας Κάλυψης της Απόκλισης Πρόβλεψης Πολιτικής 3 για Α/Γ 900 kW – 20min πρόβλεψη.....	138
Πίνακας 6-64 Αποτελέσματα Πολιτικής 3 για Α/Γ 1200 kW – 20min πρόβλεψης .....	138
Πίνακας 6-65 Χρηματοροές Πολιτικής 3 για Α/Γ 1200 kW – 20min πρόβλεψη.....	139
Πίνακας 6-66 Τιμές από Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Ποσοστού Διείσδυσης Αιολικής Παραγωγής και ΑΠΕ Πολιτικής 3 για Α/Γ 1200 kW – 20min πρόβλεψη .....	141
Πίνακας 6-67 Τιμές Ετήσιων Περικοπών Πολιτικής 3 για Α/Γ 600 kW – 20min πρόβλεψη .....	142
Πίνακας 6-68 Τιμές από Ετήσια Χρονοσειρά Στάθμης Φόρτισης Συσσωρευτών Πολιτικής 3 για Α/Γ 1200 kW – 20min πρόβλεψης.....	144
Πίνακας 6-69 Όρια Ενεργειακής Συναλλαγής Συσσωρευτών Πολιτικής 3 για Α/Γ 1200 kW – 20min πρόβλεψης.....	144
Πίνακας 6-70 Τιμές Απόκλισης Πρόβλεψης Πολιτικής 3 για Α/Γ 1200 kW – 20min πρόβλεψη .....	147
Πίνακας 6-71 Τιμές Αδυναμίας Κάλυψης της Απόκλισης Πρόβλεψης Πολιτικής 3 για Α/Γ 1200 kW – 20min πρόβλεψης .....	147
Πίνακας 6-72 Αποτελέσματα Πολιτικής 3 για Α/Γ 1500 kW – 20min πρόβλεψης .....	148
Πίνακας 6-73 Χρηματοροές Πολιτικής 3 για Α/Γ 1500 kW – 20min πρόβλεψης .....	149
Πίνακας 6-74 Τιμές από Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Ποσοστού Διείσδυσης Αιολικής Παραγωγής και ΑΠΕ Πολιτικής 3 για Α/Γ 1500 kW – 20min πρόβλεψης.....	150
Πίνακας 6-75 Τιμές Ετήσιων Περικοπών Πολιτικής 3 για Α/Γ 600 kW – 20min πρόβλεψη .....	152
Πίνακας 6-76 Τιμές από Ετήσια Χρονοσειρά Στάθμης Φόρτισης Συσσωρευτών Πολιτικής 3 για Α/Γ 1500 kW – 20min πρόβλεψης.....	154
Πίνακας 6-77 Όρια Ενεργειακής Συναλλαγής Συσσωρευτών Πολιτικής 3 για Α/Γ 1500 kW – 20min πρόβλεψης.....	154
Πίνακας 6-78 Τιμές Απόκλισης Πρόβλεψης Πολιτικής 3 για Α/Γ 1500 kW – 20min πρόβλεψης.....	157
Πίνακας 6-79 Τιμές Αδυναμίας Κάλυψης της Απόκλισης Πρόβλεψης Πολιτικής 3 για Α/Γ 1500 kW – 20min πρόβλεψης .....	157
Πίνακας 6-80 Αποτελέσματα Πολιτικής 3 για Α/Γ 600 kW – 60min πρόβλεψης .....	158
Πίνακας 6-81 Χρηματοροές Πολιτικής 3 για Α/Γ 600 kW – 60min πρόβλεψη.....	159

Πίνακας 6-82 Τιμές από Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Ποσοστού Διείσδυσης Αιολικής Παραγωγής και ΑΠΕ Πολιτικής 3 για Α/Γ 600 kW – 60min πρόβλεψης.....	160
Πίνακας 6-83 Τιμές Ετήσιων Περικοπών Πολιτικής 3 για Α/Γ 600 kW – 60min πρόβλεψη .....	162
Πίνακας 6-84 Τιμές από Ετήσια Χρονοσειρά Στάθμης Φόρτισης Συσσωρευτών Πολιτικής 3 για Α/Γ 600 kW – 60min πρόβλεψης .....	163
Πίνακας 6-85 Όρια Ενεργειακής Συναλλαγής Συσσωρευτών Πολιτικής 3 για Α/Γ 600 kW – 60min πρόβλεψης.....	164
Πίνακας 6-86 Τιμές Απόκλισης Πρόβλεψης Πολιτικής 3 για Α/Γ 600 kW – 60min πρόβλεψης.....	167
Πίνακας 6-87 Τιμές Αδυναμίας Κάλυψης της Απόκλισης Πρόβλεψης Πολιτικής 3 για Α/Γ 600 kW – 60min πρόβλεψης .....	167
Πίνακας 6-88 Αποτελέσματα Πολιτικής 3 για Α/Γ 900 kW – 60min πρόβλεψης .....	168
Πίνακας 6-89 Χρηματοροές Πολιτικής 3 για Α/Γ 900 kW – 60min πρόβλεψης.....	168
Πίνακας 6-90 Τιμές από Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Ποσοστού Διείσδυσης Αιολικής Παραγωγής και ΑΠΕ Πολιτικής 3 για Α/Γ 900 kW – 60min πρόβλεψης.....	170
Πίνακας 6-91 Τιμές Ετήσιων Περικοπών Πολιτικής 3 για Α/Γ 600 kW – 60min πρόβλεψη .....	171
Πίνακας 6-92 Τιμές από Ετήσια Χρονοσειρά Στάθμης Φόρτισης Συσσωρευτών Πολιτικής 3 για Α/Γ 900 kW – 60min πρόβλεψης .....	173
Πίνακας 6-93 Όρια Ενεργειακής Συναλλαγής Συσσωρευτών Πολιτικής 3 για Α/Γ 900 kW – 60min πρόβλεψης.....	174
Πίνακας 6-94 Τιμές Απόκλισης Πρόβλεψης Πολιτικής 3 για Α/Γ 900 kW – 60min πρόβλεψης.....	176
Πίνακας 6-95 Τιμές Αδυναμίας Κάλυψης της Απόκλισης Πρόβλεψης Πολιτικής 3 για Α/Γ 900 kW – 60min πρόβλεψης .....	177
Πίνακας 6-96 Αποτελέσματα Πολιτικής 3 για Α/Γ 1200 kW – 60min πρόβλεψης .....	177
Πίνακας 6-97 Χρηματοροές Πολιτικής 3 για Α/Γ 1200 kW – 60min πρόβλεψης.....	178
Πίνακας 6-98 Τιμές από Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Ποσοστού Διείσδυσης Αιολικής Παραγωγής και ΑΠΕ Πολιτικής 3 για Α/Γ 1200 kW – 60min πρόβλεψης.....	180
Πίνακας 6-99 Τιμές Ετήσιων Περικοπών Πολιτικής 3 για Α/Γ 600 kW – 60min πρόβλεψη .....	181
Πίνακας 6-100 Τιμές από Ετήσια Χρονοσειρά Στάθμης Φόρτισης Συσσωρευτών Πολιτικής 3 για Α/Γ 1200 kW – 60min πρόβλεψης.....	183
Πίνακας 6-101 Όρια Ενεργειακής Συναλλαγής Συσσωρευτών Πολιτικής 3 για Α/Γ 1200 kW – 60min πρόβλεψης.....	184
Πίνακας 6-102 Τιμές Απόκλισης Πρόβλεψης Πολιτικής 3 για Α/Γ 1200 kW – 60min πρόβλεψης.....	186
Πίνακας 6-103 Τιμές Αδυναμίας Κάλυψης της Απόκλισης Πρόβλεψης Πολιτικής 3 για Α/Γ 1200 kW – 60min πρόβλεψης .....	187
Πίνακας 6-104 Αποτελέσματα Πολιτικής 3 για Α/Γ 1500 kW – 60min πρόβλεψης .....	187
Πίνακας 6-105 Χρηματοροές Πολιτικής 3 για Α/Γ 1500 kW – 60min πρόβλεψης.....	188
Πίνακας 6-106 Τιμές από Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Ποσοστού Διείσδυσης Αιολικής Παραγωγής και ΑΠΕ Πολιτικής 3 για Α/Γ 1500 kW – 60min πρόβλεψης.....	190
Πίνακας 6-107 Τιμές Ετήσιων Περικοπών Πολιτικής 3 για Α/Γ 600 kW – 60min πρόβλεψη .....	191

Πίνακας 6-108 Τιμές από Ετήσια Χρονοσειρά Στάθμης Φόρτισης Συσσωρευτών Πολιτικής 3 για Α/Γ 1500 kW – 60min πρόβλεψης.....	193
Πίνακας 6-109 Όρια Ενεργειακής Συναλλαγής Συσσωρευτών Πολιτικής 3 για Α/Γ 1500 kW – 60min πρόβλεψης.....	194
Πίνακας 6-110 Τιμές Απόκλισης Πρόβλεψης Πολιτικής 3 για Α/Γ 1500 kW – 60min πρόβλεψης.....	196
Πίνακας 6-111 Τιμές Αδυναμίας Κάλυψης της Απόκλισης Πρόβλεψης Πολιτικής 3 για Α/Γ 1500 kW – 60min πρόβλεψης .....	197
Πίνακας 6-112 Ανάλυση Ευαισθησίας IRR ως προς FIT Πολιτικής 3 60min πρόβλεψης .....	197
Πίνακας 6-113 Ανάλυση Ευαισθησίας IRR ως προς Επιδότηση Κόστους Συσσωρευτών Πολιτικής 3 60min πρόβλεψης .....	198
Πίνακας 6-114 Σύνοψη Αποτελεσμάτων Πολιτικής 3 για 20min πρόβλεψης .....	200
Πίνακας 6-115 Σύνοψη Αποτελεσμάτων Πολιτικής 3 για 60min πρόβλεψης .....	201
Σχήμα 1-1 Κάλυψη και φορτίου βάσης από ΑΠΕ – Αποθήκευση για αιχμές και μη διαθεσιμότητα .....	16
Σχήμα 2-1: Αναπαράσταση της ροής ιόντων λιθίου και ηλεκτρονίων.....	19
Σχήμα 2-2: Τάση συνηθισμένων συνδυασμών για κελιά Li-ion .....	22
Σχήμα 2-3: Ενεργειακή πυκνότητα μπαταριών .....	24
Σχήμα 2-4: Μοντέλο μπαταριών li-ion .....	26
Σχήμα 2-5: Ισοδύναμο κύκλωμα Randle .....	27
Σχήμα 3-1: Διαγράμματα φόρτισης (Α) και εκφόρτισης (Β) μπαταριών. Εο είναι η αρχική ενέργεια και $E_{loss}$ οι απώλειες .....	31
Σχήμα 3-2: Απόδοση αντιστροφή για τα διαφορετικά σημεία λειτουργίας.....	32
Σχήμα 3-3: Τυπική καμπύλη διάρκειας ζωής για μπαταρίες Li-ion .....	33
Σχήμα 5-1 Γεωγραφική Θέση Σκύρου.....	45
Σχήμα 5-5-2 Ετήσια Χρονοσειρά Φορτίου Σκύρου .....	46
Σχήμα 5-5-3 Ετήσια Χρονοσειρά Φορτίου Σκύρου .....	46
Σχήμα 5-5-4 Ετήσια Χρονοσειρά Ταχύτητας Ανέμου .....	48
Σχήμα 5-5-5 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Ταχύτητας Ανέμου.....	48
Σχήμα 5-6 Καμπύλη Ισχύος Ανεμογεννήτριας.....	49
Σχήμα 5-7 Ετήσια Χρονοσειρά Ισχύος Εξόδου Ανεμογεννήτριας.....	50
Σχήμα 5-8 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Ισχύος Εξόδου Ανεμογεννήτριας.....	50
Σχήμα 5-9 Ετήσια Χρονοσειρά Φωτοβολταϊκής Ισχύος .....	51
Σχήμα 5-10 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Φωτοβολταϊκής Ισχύος .....	52
Σχήμα 5-11 Ετήσια Χρονοσειρά Διαθέσιμου Περιθωρίου Αιολικής Διείσδυσης.....	54
Σχήμα 5-12 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Διαθέσιμου Περιθωρίου Αιολικής Διείσδυσης.....	54
Σχήμα 6-1 Ετήσια Χρονοσειρά Ορίου Διείσδυσης και Αιολικής Ισχύος με και χωρίς Περιορισμούς Πολιτικής 1 για Α/Γ 600 kW.....	60
Σχήμα 6-2 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Διαφοράς Ορίου Διείσδυσης και Αιολικής Ισχύος Πολιτικής 1 για Α/Γ 600 kW .....	61
Σχήμα 6-3 Ετήσια Χρονοσειρά Φορτίου προς Αιολική και Φωτοβολταϊκή Παραγωγή Πολιτικής 1 για Α/Γ 600 kW .....	61
Σχήμα 6-4 Ετήσια Χρονοσειρά Ποσοστού Διείσδυσης Αιολικής Παραγωγής και ΑΠΕ Πολιτικής 1 για Α/Γ 600 kW .....	62

Σχήμα 6-5 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Ποσοστού Διείσδυσης Αιολικής Παραγωγής και ΑΠΕ Πολιτικής 1 για Α/Γ 600 kW .....	62
Σχήμα 6-6 Ετήσια Χρονοσειρά Ορίου Διείσδυσης και Αιολικής Ισχύος με και χωρίς Περιορισμούς Πολιτικής 1 για Α/Γ 900 kW.....	65
Σχήμα 6-7 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Διαφοράς Ορίου Διείσδυσης και Αιολικής Ισχύος Πολιτικής 1 για Α/Γ 900 kW .....	66
Σχήμα 6-8 Ετήσια Χρονοσειρά Φορτίου προς Αιολική και Φωτοβολταϊκή Παραγωγή Πολιτικής 1 για Α/Γ 900 kW .....	66
Σχήμα 6-9 Ετήσια Χρονοσειρά Ποσοστού Διείσδυσης Αιολικής Παραγωγής και ΑΠΕ Πολιτικής 1 για Α/Γ 900 kW .....	67
Σχήμα 6-10 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Ποσοστού Διείσδυσης Αιολικής Παραγωγής και ΑΠΕ Πολιτικής 1 για Α/Γ 900 kW .....	67
Σχήμα 6-11 Ετήσια Χρονοσειρά Ορίου Διείσδυσης και Αιολικής Ισχύος με και χωρίς Περιορισμούς Πολιτικής 1 για Α/Γ 1200 kW.....	69
Σχήμα 6-12 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Διαφοράς Ορίου Διείσδυσης και Αιολικής Ισχύος Πολιτικής 1 για Α/Γ 1200 kW .....	70
Σχήμα 6-13 Ετήσια Χρονοσειρά Φορτίου προς Αιολική και Φωτοβολταϊκή Παραγωγή Πολιτικής 1 για Α/Γ 1200 kW .....	71
Σχήμα 6-14 Ετήσια Χρονοσειρά Ποσοστού Διείσδυσης Αιολικής Παραγωγής και ΑΠΕ Πολιτικής 1 για Α/Γ 1200 kW .....	71
Σχήμα 6-15 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Ποσοστού Διείσδυσης Αιολικής Παραγωγής και ΑΠΕ Πολιτικής 1 για Α/Γ 1200 kW .....	72
Σχήμα 6-16 Ετήσια Χρονοσειρά Ορίου Διείσδυσης και Αιολικής Ισχύος με και χωρίς Περιορισμούς Πολιτικής 1 για Α/Γ 1500 kW.....	74
Σχήμα 6-17 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Διαφοράς Ορίου Διείσδυσης και Αιολικής Ισχύος Πολιτικής 1 για Α/Γ 1500 kW .....	75
Σχήμα 6-18 Ετήσια Χρονοσειρά Φορτίου προς Αιολική και Φωτοβολταϊκή Παραγωγή Πολιτικής 1 για Α/Γ 1500 kW .....	75
Σχήμα 6-19 Ετήσια Χρονοσειρά Ποσοστού Διείσδυσης Αιολικής Παραγωγής και ΑΠΕ Πολιτικής 1 για Α/Γ 1500 kW .....	76
Σχήμα 6-20 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Ποσοστού Διείσδυσης Αιολικής Παραγωγής και ΑΠΕ Πολιτικής 1 για Α/Γ 1500 kW .....	76
Σχήμα 6-21 Μεταβολή Κόστους – Εγχεόμενης Ενέργειας 2ης Πολιτικής .....	81
Σχήμα 6-22 Μεταβολή Κόστους – Εγχεόμενης Ενέργειας Σύγκριση 1ης - 2ης Πολιτικής .....	82
Σχήμα 6-23 Ανάλυση Ευαισθησίας IRR ως προς κόστος αποθήκευσης 2ης Πολιτικής..	83
Σχήμα 6-24 Ανάλυση Ευαισθησίας IRR ως προς επιδότηση συστήματος αποθήκευσης 2ης Πολιτικής.....	85
Σχήμα 6-25 Ανάλυση ευαισθησίας NPV κόστους αποθήκευσης ως προς τιμή πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας για τη 2η Πολιτική .....	87
Σχήμα 6-26 Ετήσια Χρονοσειρά Ορίου Διείσδυσης και Αιολικής Ισχύος με και χωρίς Περιορισμούς Πολιτικής 2 για $P_b/P_w = 0.25$ .....	89
Σχήμα 6-27 Ετήσια Χρονοσειρά Φορτίου προς Αιολική και Φωτοβολταϊκή Παραγωγή Πολιτικής 2 για $P_b/P_w = 0.25$ .....	89
Σχήμα 6-28 Ετήσια Χρονοσειρά Ποσοστού Διείσδυσης Αιολικής Παραγωγής και ΑΠΕ Πολιτικής 2 για $P_b/P_w = 0.25$ .....	90

Σχήμα 6-29 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Ποσοστού Διείσδυσης Αιολικής Παραγωγής και ΑΠΕ Πολιτικής 2 για $P_b/P_w = 0.25$ .....	90
Σχήμα 6-30 Ετήσια Χρονοσειρά Στάθμης Φόρτισης Συσσωρευτών Πολιτικής 2 για $P_b/P_w = 0.25$ .....	91
Σχήμα 6-31 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Στάθμης Φόρτισης Συσσωρευτών Πολιτικής 2 για $P_b/P_w = 0.25$ .....	92
Σχήμα 6-32 Ετήσια Χρονοσειρά Ροής Ενέργειας Συσσωρευτών Πολιτικής 2 για $P_b/P_w = 0.25$ .....	92
Σχήμα 6-33 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Ροής Ενέργειας Συσσωρευτών Πολιτικής 2 για $P_b/P_w = 0.25$ .....	93
Σχήμα 6-34 Ετήσια Χρονοσειρά Ορίου Διείσδυσης και Αιολικής Ισχύος με και χωρίς Περιορισμούς Πολιτικής 2 για $P_b/P_w = 0.5$ .....	96
Σχήμα 6-35 Ετήσια Χρονοσειρά Φορτίου προς Αιολική και Φωτοβολταϊκή Παραγωγή Πολιτικής 2 για $P_b/P_w = 0.5$ .....	96
Σχήμα 6-36 Ετήσια Χρονοσειρά Ποσοστού Διείσδυσης Αιολικής Παραγωγής και ΑΠΕ Πολιτικής 2 για $P_b/P_w = 0.5$ .....	97
Σχήμα 6-37 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Ποσοστού Διείσδυσης Αιολικής Παραγωγής και ΑΠΕ Πολιτικής 2 για $P_b/P_w = 0.5$ .....	97
Σχήμα 6-38 Ετήσια Χρονοσειρά Στάθμης Φόρτισης Συσσωρευτών Πολιτικής 2 για $P_b/P_w = 0.5$ .....	98
Σχήμα 6-39 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Στάθμης Φόρτισης Συσσωρευτών Πολιτικής 2 για $P_b/P_w = 0.5$ .....	99
Σχήμα 6-40 Ετήσια Χρονοσειρά Ροής Ενέργειας Συσσωρευτών Πολιτικής 2 για $P_b/P_w = 0.5$ .....	100
Σχήμα 6-41 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Ροής Ενέργειας Συσσωρευτών Πολιτικής 2 για $P_b/P_w = 0.5$ .....	100
Σχήμα 6-42 Ετήσια Χρονοσειρά Ορίου Διείσδυσης και Αιολικής Ισχύος με και χωρίς Περιορισμούς Πολιτικής 2 για $P_b/P_w = 0.75$ .....	103
Σχήμα 6-43 Ετήσια Χρονοσειρά Φορτίου προς Αιολική και Φωτοβολταϊκή Παραγωγή Πολιτικής 2 για $P_b/P_w = 0.75$ .....	103
Σχήμα 6-44 Ετήσια Χρονοσειρά Ποσοστού Διείσδυσης Αιολικής Παραγωγής και ΑΠΕ Πολιτικής 2 για $P_b/P_w = 0.75$ .....	104
Σχήμα 6-45 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Ποσοστού Διείσδυσης Αιολικής Παραγωγής και ΑΠΕ Πολιτικής 2 για $P_b/P_w = 0.75$ .....	104
Σχήμα 6-46 Ετήσια Χρονοσειρά Στάθμης Φόρτισης Συσσωρευτών Πολιτικής 2 για $P_b/P_w = 0.75$ .....	105
Σχήμα 6-47 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Στάθμης Φόρτισης Συσσωρευτών Πολιτικής 2 για $P_b/P_w = 0.75$ .....	106
Σχήμα 6-48 Ετήσια Χρονοσειρά Ροής Ενέργειας Συσσωρευτών Πολιτικής 2 για $P_b/P_w = 0.75$ .....	107
Σχήμα 6-49 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Ροής Ενέργειας Συσσωρευτών Πολιτικής 2 για $P_b/P_w = 0.75$ .....	107
Σχήμα 6-50 Ετήσια Χρονοσειρά Ορίου Διείσδυσης και Αιολικής Ισχύος με και χωρίς Περιορισμούς Πολιτικής 2 για $P_b/P_w = 1$ .....	110
Σχήμα 6-51 Ετήσια Χρονοσειρά Φορτίου προς Αιολική και Φωτοβολταϊκή Παραγωγή Πολιτικής 2 για $P_b/P_w = 1$ .....	110

Σχήμα 6-52 Ετήσια Χρονοσειρά Ποσοστού Διείσδυσης Αιολικής Παραγωγής και ΑΠΕ Πολιτικής 2 για $P_b/P_w = 1$ .....	111
Σχήμα 6-53 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Ποσοστού Διείσδυσης Αιολικής Παραγωγής και ΑΠΕ Πολιτικής 2 για $P_b/P_w = 1$ .....	111
Σχήμα 6-54 Ετήσια Χρονοσειρά Στάθμης Φόρτισης Συσσωρευτών Πολιτικής 2 για $P_b/P_w = 1$ .....	112
Σχήμα 6-55 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Στάθμης Φόρτισης Συσσωρευτών Πολιτικής 2 για $P_b/P_w = 1$ .....	113
Σχήμα 6-56 Ετήσια Χρονοσειρά Ροής Ενέργειας Συσσωρευτών Πολιτικής 2 για $P_b/P_w = 1$ .....	114
Σχήμα 6-57 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Ροής Ενέργειας Συσσωρευτών Πολιτικής 2 για $P_b/P_w = 1$ .....	114
Σχήμα 6-58 Ετήσια Χρονοσειρά Φορτίου προς Αιολική και Φωτοβολταϊκή Παραγωγή Πολιτικής 3 για Α/Γ 600 kW – 20min πρόβλεψης.....	120
Σχήμα 6-59 Ετήσια Χρονοσειρά Ποσοστού Διείσδυσης Αιολικής Παραγωγής και ΑΠΕ Πολιτικής 3 για Α/Γ 600 kW – 20min πρόβλεψης.....	120
Σχήμα 6-60 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Ποσοστού Διείσδυσης Αιολικής Παραγωγής και ΑΠΕ Πολιτικής 3 για Α/Γ 600 kW – 20min πρόβλεψης.....	121
Σχήμα 6-61 Ετήσια Χρονοσειρά Περικοπών Πολιτικής 3 για Α/Γ 600 kW – 20min πρόβλεψης.....	122
Σχήμα 6-62 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Περικοπών Πολιτικής 3 για Α/Γ 600 kW – 20min πρόβλεψης .....	122
Σχήμα 6-63 Ετήσια Χρονοσειρά Στάθμης Φόρτισης Συσσωρευτών Πολιτικής 3 για Α/Γ 600 kW – 20min πρόβλεψης.....	123
Σχήμα 6-64 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Στάθμης Φόρτισης Συσσωρευτών Πολιτικής 3 για Α/Γ 600 kW – 20min πρόβλεψης .....	123
Σχήμα 6-65 Ετήσια Χρονοσειρά Ροής Ενέργειας Συσσωρευτών Πολιτικής 3 για Α/Γ 600 kW – 20min πρόβλεψης.....	125
Σχήμα 6-66 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Ροής Ενέργειας Συσσωρευτών Πολιτικής 3 για Α/Γ 600 kW – 20min πρόβλεψης .....	126
Σχήμα 6-67 Ετήσια Χρονοσειρά Απόκλισης Πρόβλεψης Πολιτικής 3 για Α/Γ 600 kW – 20min πρόβλεψης .....	126
Σχήμα 6-68 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Απόκλισης Πρόβλεψης Πολιτικής 3 για Α/Γ 600 kW – 20min πρόβλεψης.....	127
Σχήμα 6-69 Ετήσια Χρονοσειρά Φορτίου προς Αιολική και Φωτοβολταϊκή Παραγωγή Πολιτικής 3 για Α/Γ 900 kW – 20min πρόβλεψης.....	130
Σχήμα 6-70 Ετήσια Χρονοσειρά Ποσοστού Διείσδυσης Αιολικής Παραγωγής και ΑΠΕ Πολιτικής 3 για Α/Γ 900 kW – 20min πρόβλεψης.....	130
Σχήμα 6-71 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Ποσοστού Διείσδυσης Αιολικής Παραγωγής και ΑΠΕ Πολιτικής 3 για Α/Γ 900 kW – 20min πρόβλεψης.....	131
Σχήμα 6-72 Ετήσια Χρονοσειρά Περικοπών Πολιτικής 3 για Α/Γ 900 kW – 20min πρόβλεψης.....	132
Σχήμα 6-73 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Περικοπών Πολιτικής 3 για Α/Γ 900 kW – 20min πρόβλεψης .....	132
Σχήμα 6-74 Ετήσια Χρονοσειρά Στάθμης Φόρτισης Συσσωρευτών Πολιτικής 3 για Α/Γ 900 kW – 20min πρόβλεψης.....	133

Σχήμα 6-75 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Στάθμης Φόρτισης Συσσωρευτών Πολιτικής 3 για Α/Γ 900 kW – 20min πρόβλεψης .....	133
Σχήμα 6-76 Ετήσια Χρονοσειρά Ροής Ενέργειας Συσσωρευτών Πολιτικής 3 για Α/Γ 900 kW – 20min πρόβλεψης.....	135
Σχήμα 6-77 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Ροής Ενέργειας Συσσωρευτών Πολιτικής 3 για Α/Γ 900 kW – 20min πρόβλεψης .....	136
Σχήμα 6-78 Ετήσια Χρονοσειρά Απόκλισης Πρόβλεψης Πολιτικής 3 για Α/Γ 900 kW – 20min πρόβλεψης .....	136
Σχήμα 6-79 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Απόκλισης Πρόβλεψης Πολιτικής 3 για Α/Γ 900 kW – 20min πρόβλεψης.....	137
Σχήμα 6-80 Ετήσια Χρονοσειρά Φορτίου προς Αιολική και Φωτοβολταϊκή Παραγωγή Πολιτικής 3 για Α/Γ 1200 kW – 20min πρόβλεψης .....	140
Σχήμα 6-81 Ετήσια Χρονοσειρά Ποσοστού Διείσδυσης Αιολικής Παραγωγής και ΑΠΕ Πολιτικής 3 για Α/Γ 1200 kW – 20min πρόβλεψης .....	140
Σχήμα 6-82 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Ποσοστού Διείσδυσης Αιολικής Παραγωγής και ΑΠΕ Πολιτικής 3 για Α/Γ 1200 kW – 20min πρόβλεψης.....	141
Σχήμα 6-83 Ετήσια Χρονοσειρά Περικοπών Πολιτικής 3 για Α/Γ 1200 kW – 20min πρόβλεψης.....	142
Σχήμα 6-84 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Περικοπών Πολιτικής 3 για Α/Γ 1200 kW – 20min πρόβλεψης .....	142
Σχήμα 6-85 Ετήσια Χρονοσειρά Στάθμης Φόρτισης Συσσωρευτών Πολιτικής 3 για Α/Γ 1200 kW – 20min πρόβλεψης.....	143
Σχήμα 6-86 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Στάθμης Φόρτισης Συσσωρευτών Πολιτικής 3 για Α/Γ 1200 kW – 20min πρόβλεψης .....	143
Σχήμα 6-87 Ετήσια Χρονοσειρά Ροής Ενέργειας Συσσωρευτών Πολιτικής 3 για Α/Γ 1200 kW – 20min πρόβλεψης.....	145
Σχήμα 6-88 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Ροής Ενέργειας Συσσωρευτών Πολιτικής 3 για Α/Γ 1200 kW – 20min πρόβλεψης .....	145
Σχήμα 6-89 Ετήσια Χρονοσειρά Απόκλισης Πρόβλεψης Πολιτικής 3 για Α/Γ 1200 kW – 20min πρόβλεψης .....	146
Σχήμα 6-90 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Απόκλισης Πρόβλεψης Πολιτικής 3 για Α/Γ 1200 kW – 20min πρόβλεψης.....	146
Σχήμα 6-91 Ετήσια Χρονοσειρά Φορτίου προς Αιολική και Φωτοβολταϊκή Παραγωγή Πολιτικής 3 για Α/Γ 1500 kW – 20min πρόβλεψης .....	149
Σχήμα 6-92 Ετήσια Χρονοσειρά Ποσοστού Διείσδυσης Αιολικής Παραγωγής και ΑΠΕ Πολιτικής 3 για Α/Γ 1500 kW – 20min πρόβλεψης .....	150
Σχήμα 6-93 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Ποσοστού Διείσδυσης Αιολικής Παραγωγής και ΑΠΕ Πολιτικής 3 για Α/Γ 1500 kW – 20min πρόβλεψης.....	150
Σχήμα 6-94 Ετήσια Χρονοσειρά Περικοπών Πολιτικής 3 για Α/Γ 1500 kW – 20min πρόβλεψης.....	151
Σχήμα 6-95 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Περικοπών Πολιτικής 3 για Α/Γ 1500 kW – 20min πρόβλεψης .....	152
Σχήμα 6-96 Ετήσια Χρονοσειρά Στάθμης Φόρτισης Συσσωρευτών Πολιτικής 3 για Α/Γ 1500 kW – 20min πρόβλεψης.....	153
Σχήμα 6-97 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Στάθμης Φόρτισης Συσσωρευτών Πολιτικής 3 για Α/Γ 1500 kW – 20min πρόβλεψης .....	153

Σχήμα 6-98 Ετήσια Χρονοσειρά Ροής Ενέργειας Συσσωρευτών Πολιτικής 3 για Α/Γ 1500 kW – 20min πρόβλεψης.....	155
Σχήμα 6-99 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Ροής Ενέργειας Συσσωρευτών Πολιτικής 3 για Α/Γ 1500 kW – 20min πρόβλεψης .....	155
Σχήμα 6-100 Ετήσια Χρονοσειρά Απόκλισης Πρόβλεψης Πολιτικής 3 για Α/Γ 1500 kW – 20min πρόβλεψης .....	156
Σχήμα 6-101 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Απόκλισης Πρόβλεψης Πολιτικής 3 για Α/Γ 1500 kW – 20min πρόβλεψης.....	156
Σχήμα 6-102 Ετήσια Χρονοσειρά Φορτίου προς Αιολική και Φωτοβολταϊκή Παραγωγή Πολιτικής 3 για Α/Γ 600 kW – 60min πρόβλεψης .....	159
Σχήμα 6-103 Ετήσια Χρονοσειρά Ποσοστού Διείσδυσης Αιολικής Παραγωγής και ΑΠΕ Πολιτικής 3 για Α/Γ 600 kW – 60min πρόβλεψης .....	160
Σχήμα 6-104 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Ποσοστού Διείσδυσης Αιολικής Παραγωγής και ΑΠΕ Πολιτικής 3 για Α/Γ 600 kW – 60min πρόβλεψης.....	160
Σχήμα 6-105 Ετήσια Χρονοσειρά Περικοπών Πολιτικής 3 για Α/Γ 600 kW – 60min πρόβλεψης.....	161
Σχήμα 6-106 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Περικοπών Πολιτικής 3 για Α/Γ 600 kW – 60min πρόβλεψης .....	161
Σχήμα 6-107 Ετήσια Χρονοσειρά Στάθμης Φόρτισης Συσσωρευτών Πολιτικής 3 για Α/Γ 600 kW – 60min πρόβλεψης.....	162
Σχήμα 6-108 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Στάθμης Φόρτισης Συσσωρευτών Πολιτικής 3 για Α/Γ 600 kW – 60min πρόβλεψης .....	163
Σχήμα 6-109 Ετήσια Χρονοσειρά Ροής Ενέργειας Συσσωρευτών Πολιτικής 3 για Α/Γ 600 kW – 60min πρόβλεψης.....	165
Σχήμα 6-110 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Ροής Ενέργειας Συσσωρευτών Πολιτικής 3 για Α/Γ 600 kW – 60min πρόβλεψης .....	165
Σχήμα 6-111 Ετήσια Χρονοσειρά Απόκλισης Πρόβλεψης Πολιτικής 3 για Α/Γ 600 kW – 60min πρόβλεψης .....	166
Σχήμα 6-112 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Απόκλισης Πρόβλεψης Πολιτικής 3 για Α/Γ 600 kW – 60min πρόβλεψης.....	166
Σχήμα 6-113 Ετήσια Χρονοσειρά Φορτίου προς Αιολική και Φωτοβολταϊκή Παραγωγή Πολιτικής 3 για Α/Γ 900 kW – 60min πρόβλεψης .....	169
Σχήμα 6-114 Ετήσια Χρονοσειρά Ποσοστού Διείσδυσης Αιολικής Παραγωγής και ΑΠΕ Πολιτικής 3 για Α/Γ 900 kW – 60min πρόβλεψης .....	170
Σχήμα 6-115 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Ποσοστού Διείσδυσης Αιολικής Παραγωγής και ΑΠΕ Πολιτικής 3 για Α/Γ 900 kW – 60min πρόβλεψης.....	170
Σχήμα 6-116 Ετήσια Χρονοσειρά Περικοπών Πολιτικής 3 για Α/Γ 900 kW – 60min πρόβλεψης.....	171
Σχήμα 6-117 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Περικοπών Πολιτικής 3 για Α/Γ 900 kW – 60min πρόβλεψης .....	171
Σχήμα 6-118 Ετήσια Χρονοσειρά Στάθμης Φόρτισης Συσσωρευτών Πολιτικής 3 για Α/Γ 900 kW – 60min πρόβλεψης.....	172
Σχήμα 6-119 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Στάθμης Φόρτισης Συσσωρευτών Πολιτικής 3 για Α/Γ 900 kW – 60min πρόβλεψης .....	172
Σχήμα 6-120 Ετήσια Χρονοσειρά Ροής Ενέργειας Συσσωρευτών Πολιτικής 3 για Α/Γ 900 kW – 60min πρόβλεψης.....	174



Σχήμα 6-121 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Ροής Ενέργειας Συσσωρευτών Πολιτικής 3 για Α/Γ 900 kW – 60min πρόβλεψης .....	175
Σχήμα 6-122 Ετήσια Χρονοσειρά Απόκλισης Πρόβλεψης Πολιτικής 3 για Α/Γ 900 kW – 60min πρόβλεψης .....	175
Σχήμα 6-123 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Απόκλισης Πρόβλεψης Πολιτικής 3 για Α/Γ 900 kW – 60min πρόβλεψης.....	176
Σχήμα 6-124 Ετήσια Χρονοσειρά Φορτίου προς Αιολική και Φωτοβολταϊκή Παραγωγή Πολιτικής 3 για Α/Γ 1200 kW – 60min πρόβλεψης .....	179
Σχήμα 6-125 Ετήσια Χρονοσειρά Ποσοστού Διείσδυσης Αιολικής Παραγωγής και ΑΠΕ Πολιτικής 3 για Α/Γ 1200 kW – 60min πρόβλεψης .....	179
Σχήμα 6-126 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Ποσοστού Διείσδυσης Αιολικής Παραγωγής και ΑΠΕ Πολιτικής 3 για Α/Γ 1200 kW – 60min πρόβλεψης.....	180
Σχήμα 6-127 Ετήσια Χρονοσειρά Περικοπών Πολιτικής 3 για Α/Γ 1200 kW – 60min πρόβλεψης.....	181
Σχήμα 6-128 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Περικοπών Πολιτικής 3 για Α/Γ 1200 kW – 60min πρόβλεψης .....	181
Σχήμα 6-129 Ετήσια Χρονοσειρά Στάθμης Φόρτισης Συσσωρευτών Πολιτικής 3 για Α/Γ 1200 kW – 60min πρόβλεψης.....	182
Σχήμα 6-130 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Στάθμης Φόρτισης Συσσωρευτών Πολιτικής 3 για Α/Γ 1200 kW – 60min πρόβλεψης .....	182
Σχήμα 6-131 Ετήσια Χρονοσειρά Ροής Ενέργειας Συσσωρευτών Πολιτικής 3 για Α/Γ 1200 kW – 60min πρόβλεψης.....	184
Σχήμα 6-132 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Ροής Ενέργειας Συσσωρευτών Πολιτικής 3 για Α/Γ 1200 kW – 60min πρόβλεψης .....	185
Σχήμα 6-133 Ετήσια Χρονοσειρά Απόκλισης Πρόβλεψης Πολιτικής 3 για Α/Γ 1200 kW – 60min πρόβλεψης .....	185
Σχήμα 6-134 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Απόκλισης Πρόβλεψης Πολιτικής 3 για Α/Γ 1200 kW – 60min πρόβλεψης.....	186
Σχήμα 6-135 Ετήσια Χρονοσειρά Φορτίου προς Αιολική και Φωτοβολταϊκή Παραγωγή Πολιτικής 3 για Α/Γ 1500 kW – 60min πρόβλεψης .....	189
Σχήμα 6-136 Ετήσια Χρονοσειρά Ποσοστού Διείσδυσης Αιολικής Παραγωγής και ΑΠΕ Πολιτικής 3 για Α/Γ 1500 kW – 60min πρόβλεψης .....	189
Σχήμα 6-137 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Ποσοστού Διείσδυσης Αιολικής Παραγωγής και ΑΠΕ Πολιτικής 3 για Α/Γ 1500 kW – 60min πρόβλεψης.....	190
Σχήμα 6-138 Ετήσια Χρονοσειρά Περικοπών Πολιτικής 3 για Α/Γ 1500 kW – 60min πρόβλεψης.....	191
Σχήμα 6-139 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Περικοπών Πολιτικής 3 για Α/Γ 1500 kW – 60min πρόβλεψης .....	191
Σχήμα 6-140 Ετήσια Χρονοσειρά Στάθμης Φόρτισης Συσσωρευτών Πολιτικής 3 για Α/Γ 1500 kW – 60min πρόβλεψης.....	192
Σχήμα 6-141 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Στάθμης Φόρτισης Συσσωρευτών Πολιτικής 3 για Α/Γ 1500 kW – 60min πρόβλεψης .....	192
Σχήμα 6-142 Ετήσια Χρονοσειρά Ροής Ενέργειας Συσσωρευτών Πολιτικής 3 για Α/Γ 1500 kW – 60min πρόβλεψης.....	194
Σχήμα 6-143 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Ροής Ενέργειας Συσσωρευτών Πολιτικής 3 για Α/Γ 1500 kW – 60min πρόβλεψης .....	195

Σχήμα 6-144 Ετήσια Χρονοσειρά Απόκλισης Πρόβλεψης Πολιτικής 3 για Α/Γ 1500 kW – 60min πρόβλεψης .....	195
Σχήμα 6-145 Ετήσια Καμπύλη Διάρκειας Απόκλισης Πρόβλεψης Πολιτικής 3 για Α/Γ 1500 kW – 60min πρόβλεψης.....	196
Σχήμα 6-146 Ανάλυση Ευαισθησίας IRR ως προς FIT Πολιτικής 3 60min πρόβλεψης	198
Σχήμα 6-147 Ανάλυση Ευαισθησίας IRR ως προς Επιδότηση Κόστους Συσσωρευτών Πολιτικής 3 60min πρόβλεψης .....	199