



**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ  
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**Διπλωματική Εργασία**

**ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ  
ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ  
ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΤΗΡΙΩΝ ΣΕ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟ  
ΧΡΟΝΟ**

**ΣΤΥΛΙΑΝΟΣ ΜΑΥΡΟΜΜΑΤΗΣ**

**ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:**

**Αναπλ. Καθηγητής Κουτρούλης Ευτύχιος (Επιβλέπων)**

**Καθηγητής Σταυρακάκης Γεώργιος**

**Αναπλ. Καθηγητής Κανέλλος Φώτιος**

**Χανιά, Φεβρουάριος 2022**

# Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε υπό την επίβλεψη του Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Κουτρούλη Ευτύχιου της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Πολυτεχνείου Κρήτης. Το αντικείμενο της εργασίας είναι η συγκριτική αξιολόγηση αλγορίθμων για τη διαχείριση ενέργειας κτηρίων σε πραγματικό χρόνο.

Οφείλω θερμές ευχαριστίες στον κ. Κουτρούλη για την καθοδήγησή και βοήθεια που μου πρόσφερε, για την ολοκλήρωση αυτής της εργασίας. Ευχαριστώ επίσης τους καθηγητές κ. Καλαϊτζάκη Κωνσταντίνο και κ. Κανέλλο Φώτιο για τη συμμετοχή τους στην εξεταστική επιτροπή, καθώς και τη σύντροφό μου για τη συνεχή στήριξη καθ' όλη τη διάρκεια της συγγραφής.

## Περίληψη

Η χρήση αλγορίθμων διαχείρισης ηλεκτρικής ενέργειας σε κτήρια αποτελεί έναν πολύ σημαντικό παράγοντα για τη μείωση του συνολικού κόστους ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς επίσης και για τη μείωση της συνολικής ενεργειακής ζήτησης. Οι αλγόριθμοι αυτοί εκμεταλλεύονται τις καινοτόμες τεχνολογίες και τα υλικά που υπάρχουν στη σημερινή εποχή, όπως τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και τα έξυπνα συστήματα. Από τα αποτελέσματα που δίνουν επωφελούνται, εκτός από τους χρήστες μεμονωμένα, και το περιβάλλον. Η χρησιμότητα και η αναγκαιότητα των αλγορίθμων αυτών έχει οδηγήσει πολλούς ερευνητές να ασχοληθούν με την μελέτη και την παραγωγή τους. Η διπλωματική αυτή εργασία πραγματεύεται την υλοποίηση, ανάλυση και συγκριτική αξιολόγηση οκτώ αλγορίθμων διαχείρισης ενέργειας κτηρίων σε πραγματικό χρόνο. Η υλοποίηση των αλγορίθμων γίνεται σε κώδικα MATLAB και εφαρμόζεται σε συγκεκριμένο μοντέλο κτηρίου, το οποίο παράγει ηλεκτρική ενέργεια μέσω ανανεώσιμων πηγών και την καταναλώνει σε ηλεκτρικές συσκευές και ηλεκτρικό όχημα. Σκοπός των αλγορίθμων είναι να χρειαστεί ελάχιστη έως και καθόλου ηλεκτρική ενέργεια από το ηλεκτρικό δίκτυο, το οποίο θα έχει θετική επίδραση στον οικονομικό προϋπολογισμό του κτηρίου αλλά και στο περιβάλλον.

## Περιεχόμενα

<b>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....</b>	<b>8</b>
1.1 Γενικά.....	8
1.2 Αντικείμενο αυτής της διπλωματικής εργασίας .....	9
1.3 Δομή της εργασίας .....	10
<b>2. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ.....</b>	<b>11</b>
2.1 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.....	11
2.1.1 Φωτοβολταϊκό σύστημα .....	12
2.1.1.1 Ηλιακή ενέργεια και ακτινοβολία.....	12
2.1.1.2 Ηλιακή γεωμετρία .....	14
2.1.1.3 Φωτοβολταϊκό στοιχείο .....	15
2.1.1.4 Φωτορεύμα .....	16
2.1.1.5 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκού στοιχείου ..	17
2.1.1.6 Φωτοβολταϊκά πλαίσια.....	19
2.1.1.7 Μετατροπείς συνεχούς-εναλλασσόμενου .....	19
2.1.2 Σύστημα αιολικής ενέργειας .....	20
2.1.2.1 Αιολική ενέργεια .....	20
2.1.2.2 Ανεμογεννήτριες.....	20
2.1.3 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας .....	23
2.2 Σύστημα αποθήκευσης ενέργειας.....	30
2.3 Τιμολόγηση ηλεκτρικής ενέργειας σε πραγματικό χρόνο .....	31
2.4 Ηλεκτρικές συσκευές και ηλεκτρικό όχημα.....	32
2.5 Διάγραμμα εισόδων/εξόδων .....	37
<b>3. ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ .....</b>	<b>39</b>
3.1 Εισαγωγή .....	39
3.2 Μεταβλητές και παράμετροι.....	40
3.3 Αλγόριθμος ελέγχου κατάστασης φόρτισης.....	41
3.4 Αλγόριθμος αναβολής λειτουργιών.....	43
3.5 Αλγόριθμος μείωσης ζήτησης .....	46
3.6 Αλγόριθμος ελέγχου τιμής .....	51
3.7 Αλγόριθμος με ελεγκτή ασαφούς λογικής .....	53

3.8 Αλγόριθμος κυλιόμενου χρονικού ορίζοντα .....	60
3.9 Αλγόριθμος ελέγχου χρονικής περιόδου.....	62
3.10 Αλγόριθμος με προγραμματισμό λειτουργίας ηλεκτρικών συσκευών .....	64
4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ .....	69
4.1 Εισαγωγή .....	69
4.2 Αποτελέσματα μεθόδου ελέγχου κατάστασης φόρτισης.....	71
4.3 Αποτελέσματα μεθόδου αναβολής λειτουργιών .....	81
4.4 Αποτελέσματα μεθόδου μείωσης ζήτησης .....	92
4.5 Αποτελέσματα Μεθόδου Ελέγχου Τιμής .....	102
4.6 Αποτελέσματα μεθόδου με ελεγκτή ασαφούς λογικής .....	112
4.7 Αποτελέσματα μεθόδου κυλιόμενου χρονικού ορίζοντα .....	122
4.8 Αποτελέσματα μεθόδου ελέγχου χρονικής περιόδου.....	132
4.9 Αποτελέσματα μεθόδου με προγραμματισμό λειτουργίας ηλεκτρικών συσκευών. ....	142
5. ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ .....	164
5.1 Συγκριτική αξιολόγηση των αλγορίθμων διαχείρισης ενέργειας .....	164
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	181
7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	184

## Κατάλογος Συμβόλων

$I$	Ένταση ρεύματος ( $A$ )
$V$	Τάση ( $V$ )
$P$	Ισχύς ( $W$ )
$G$	Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας ( $W/m^2$ )
$I_{sc}$	Ρεύμα βραχυκύκλωσης
$V_{oc}$	Τάση ανοικτοκύκλωσης
$A.P.E.$	Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας
$\Phi/B$	Φωτοβολταϊκό
$A/T$	Ανεμογεννήτρια
$A.D.E.$	Αλγόριθμος Διαχείρισης Ενέργειας
$RTP$	Real Time Pricing
$DTP$	Dynamic Threshold Price
$SoC$	State Of Charge
$P_{gen}$	Generated Power
$P_{net}$	Power from grid
$P_{load}$	Power consumed by appliances
$P_{th}$	Power threshold

*BPL*

*Battery Power Level*

*GA*

*Genetic Algorithm*

# 1.

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

---

### 1.1 Γενικά

Αυτό που χαρακτηρίζει τη σημερινή εποχή είναι η συνεχής αύξηση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας. Το γεγονός αυτό δημιουργεί αύξηση της τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και κινδύνους για ενεργειακή ύφεση. Επίσης, σημαντικές είναι και οι αρνητικές επιπτώσεις του στο περιβάλλον, αφού οι μη ανανεώσιμες πηγές που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή του, όπως το πετρέλαιο, οι γαιάνθρακες και το φυσικό αέριο, ρυπαίνουν την ατμόσφαιρα του πλανήτη με την καύση τους.

Επιπλέον είναι σημαντικό να τονιστεί πως το πρόβλημα της αυξημένης ενεργειακής ζήτησης λόγω της πληθώρας αναγκών, νέων τεχνολογιών και του αυξανόμενου πληθυσμού, είναι δύσκολο έως και αδύνατο να περιοριστεί. Όμως τα προβλήματα που αφορούν την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας και τη ρύπανση του περιβάλλοντος μπορούν να αντιμετωπιστούν σε μεγάλο βαθμό, με την χρήση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Α.Π.Ε.) σε συνδυασμό με τις νέες τεχνολογίες, μηχανισμούς και υπολογιστικές μεθόδους που διατίθενται ως εφόδια.

Ως Α.Π.Ε ορίζονται αυτές οι πηγές ενέργειας που προέρχονται από φυσικές διαδικασίες και επομένως δεν προκαλούν ρύπανση στο περιβάλλον, αλλά ούτε και στερεύουν, καθώς υπάρχουν σε αφθονία. Οι πιο ευρέως διαδεδομένες είναι η ηλιακή και η αιολική ενέργεια. Εναλλακτικά, μία ανανεώσιμη πηγή ενέργειας αναφέρεται είτε ως ήπια μορφή ενέργειας, είτε ως πράσινη ενέργεια.



Κλείνοντας, ένα μεγάλο βήμα των τελευταίων δεκαετιών που αξίζει να αναφερθεί είναι η σημαντική μείωση του περιορισμού εκμετάλλευσης των Α.Π.Ε. μόνο σε εκτός κατοικημένης περιοχής εκτάσεις (π.χ. αιολικά και ηλιακά πάρκα). Κι αυτό διότι μπορούν πλέον εύκολα να ενσωματωθούν σε κτήρια και να προσαρμόσουν τις ανάγκες τους σε πραγματικό χρόνο. Την προσαρμογή αυτή διευκολύνουν οι έξυπνοι μηχανισμοί διαχείρισης ηλεκτρικής ενέργειας, οι οποίοι περιλαμβάνουν όλο το υλικολογισμικό εξοπλισμό που απαιτείται για να ικανοποιήσουν τις ανάγκες του χρήστη και να αξιοποιήσουν πλήρως τις Α.Π.Ε.

## 1.2 Αντικείμενο αυτής της διπλωματικής εργασίας

Το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, είναι η παρουσίαση της υλοποίησης οκτώ εναλλακτικών αλγορίθμων διαχείρισης ενέργειας κτηρίων σε πραγματικό χρόνο και η συγκριτική αξιολόγησή τους. Το χρονικό πλαίσιο της αξιολόγησης είναι ένα 24ωρο σε φθινοπωρινή περίοδο, ένα 24ωρο σε χειμερινή περίοδο, ένα 24ωρο σε εαρινή περίοδο και ένα 24ωρο σε θερινή περίοδο. Το μοντέλο επάνω στο οποίο εφαρμόζονται, αποτελείται από ένα κτήριο με Α.Π.Ε. συνδεδεμένο στο ηλεκτρικό δίκτυο. Η ενέργεια που παράγεται ή αγοράζεται καλύπτει τις ανάγκες ενός συνόλου ηλεκτρικών συσκευών, της ψύξης ή της θέρμανσης, καθώς και τη φόρτιση ενός ηλεκτρικού οχήματος. Η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας ακολουθεί τιμολόγηση σε πραγματικό χρόνο. Οι αλγόριθμοι που παρουσιάζονται δέχονται πληροφορίες όπως είναι η διαθέσιμη ενέργεια που έχει στη διάθεσή του να χρησιμοποιήσει το κτήριο-μοντέλο και η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας. Με τα δεδομένα αυτά προγραμματίζουν σύμφωνα με τις προτιμήσεις των χρηστών, τη λειτουργία των ηλεκτρικών συσκευών, με σκοπό την όσο δυνατόν μεγαλύτερη αξιοποίηση της ενέργειας που παράγουν οι Α.Π.Ε. και την όσο δυνατόν λιγότερη αγορά ηλεκτρικής ενέργειας από το ηλεκτρικό δίκτυο. Επισημαίνεται εδώ ότι οι αλγόριθμοι αυτοί δεν εξετάζουν το σενάριο πώλησης της πλεονάζουσας παραγόμενης ενέργειας από τις Α.Π.Ε. πίσω στον πάροχο ηλεκτρικής ενέργειας. Για την ίση αντιμετώπιση και την ορθή αξιολόγηση, τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται ως είσοδοι είναι ίδια σε όλους τους αλγόριθμους. Ως κριτήριο αξιολόγησης ορίζεται ο τρόπος ανταπόκρισης κάθε αλγορίθμου στη συνθήκη τιμολόγησης ηλεκτρικής ενέργειας σε πραγματικό χρόνο αλλά και στις ανά πάσα στιγμή καιρικές συνθήκες που επικρατούν. Λόγω των παραπάνω απαιτούνται στιγμιαίες αποφάσεις χωρίς όμως να παραβιάζονται οι ανάγκες των χρηστών και με μόνο στόχο την αγορά της χαμηλότερο δυνατής ποσότητας ηλεκτρικής ενέργειας από το ηλεκτρικό δίκτυο.

## 1.3 Δομή της εργασίας

Η δομή της εργασίας είναι η εξής:

- Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται αναλυτική περιγραφή των στοιχείων που αποτελούν το μοντέλο του κτηρίου και των μεταβλητών που χρησιμοποιούνται στην υλοποίηση των αλγορίθμων.
- Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφονται και οι οκτώ αλγόριθμοι διαχείρισης ενέργειας. Αναλύονται τα διαγράμματα ροής τους και οι αποφάσεις που προκύπτουν από αυτά.
- Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της υλοποίησης όλων των αλγορίθμων σε κώδικα MATLAB για μία φθινοπωρινή, μία χειμερινή, μία εαρινή και μία καλοκαιρινή ημέρα για τρεις περιπτώσεις ονομαστικής ισχύος του φωτοβολταϊκού συστήματος και της ανεμογεννήτριας.
- Στο πέμπτο κεφάλαιο πραγματοποιείται η συγκριτική αξιολόγηση των αλγορίθμων και ο σχολιασμός των αποτελεσμάτων τους.
- Στο έκτο κεφάλαιο αναφέρονται τα συμπεράσματα της παρούσας διπλωματικής εργασίας και παρατίθενται προτάσεις για μελλοντική μελέτη.

# 2.

## ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

---

### 2.1 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Α.Π.Ε) υπάρχουν σε άφθονη ποσότητα στο φυσικό περιβάλλον και ανανεώνονται συνεχώς. Συχνά, αναφέρονται είτε ως «καθαρές» είτε ως «ήπιες» μορφές ενέργειας, καθώς δεν έχουν αρνητική επίδραση στο περιβάλλον και η αξιοποίηση τους δεν προϋποθέτει κάποια ενεργητική παρέμβαση, αφού εκμεταλλεύονται την ροή ενέργειας που υπάρχει παντού στη φύση. Επίσης σε αυτό το σημείο καλό θα ήταν να υπογραμμιστεί πως οι Α.Π.Ε. δεν απαιτούν τη δημιουργία μεγάλων εγκαταστάσεων παραγωγής ενέργειας και ο εξοπλισμός που χρειάζονται δεν είναι καθόλου περίπλοκος στην κατασκευή αλλά ούτε και στη συντήρηση του.

Παρ' όλα αυτά, έχουν μεγάλο κόστος παραγωγής το οποίο όμως σταδιακά μειώνεται, χωρίς βέβαια να είναι δεδομένη η παραγωγή ενέργειας την εκάστοτε χρονική στιγμή δημιουργώντας έτσι την ανάγκη η τιμή της να βασίζεται σε εκτιμήσεις. Αυτό συμβαίνει, διότι παρεμβαίνουν παράγοντες όπως το γεωγραφικό πλάτος, οι εποχές, το κλίμα, το έδαφος αλλά και διάφορες άλλες μη σταθερές μεταβλητές.

Τα είδη ενέργειας που αποτελούν τις Α.Π.Ε. είναι:

- Αιολική Ενέργεια.

- Ηλιακή Ενέργεια.
- Υδροηλεκτρική Ενέργεια.
- Βιομάζα.
- Γεωθερμία.
- Βιοαέριο
- Πυρηνική Ενέργεια.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία αναφέρονται μόνο η ηλιακή και αιολική ενέργεια και θα αναλυθούν στις επόμενες ενότητες.

## **2.1.1 Φωτοβολταϊκό σύστημα**

### **2.1.1.1 Ηλιακή ενέργεια και ακτινοβολία**

Ο Ήλιος είναι ένας αστέρας που έχει μάζα  $2 \times 10^{30}$  Kg, διάμετρο  $1.39 \times 10^9$  m και η ηλικία του εκτιμάται ότι είναι περίπου  $5 \times 10^9$  χρόνια. Η επιφάνειά και το εσωτερικό του έχουν θερμοκρασία περίπου 5800 K και 15.000.000 K αντίστοιχα. Επιπλέον, υπολογίζεται πως για κάθε γραμμάριο υδρογόνου που μετατρέπεται σε ήλιο παράγεται ενέργεια ίση με

$$U = 1.67 \times 10^5 \text{ kWh.}$$

Η ενέργεια που παράγεται θα μεταφερθεί στην επιφάνεια και από εκεί διοχετεύεται στο ηλιακό σύστημα με τη μορφή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Επιπλέον, ο Ήλιος εκπέμπει και μία μικρή σωματιδιακή ακτινοβολία φορτισμένων σωματιδίων, τα οποία είναι κυρίως ηλεκτρόνια και πρωτόνια. Η ακτινοβολία αυτή ορίζεται ως ηλιακός άνεμος. Ο Ήλιος απέχει κατά μέσο όρο από τη Γη 150.000.000 km και το φως για την απόσταση αυτή χρειάζεται περίπου 8μιση λεπτά, για να φτάσει στον πλανήτη [1].

Σημειώνεται επίσης πως η ηλιακή ακτινοβολία είναι μία τεράστια πηγή ενέργειας για τη γη, καθώς για κάθε στιγμή περίπου 173.000 TW ηλιακής ισχύος εισέρχονται στην ατμόσφαιρα του πλανήτη.

Για τη μέτρηση της διαθέσιμης ηλιακής ενέργειας ενός φωτοβολταϊκού συστήματος, χρειάζεται ο προσδιορισμός της προσπίπτουσας ακτινοβολίας σε μία επιφάνεια μαζί με τον προσανατολισμό και την κλίση της. Σημαντικοί είναι επίσης και ο χρόνος και ο τρόπος μελέτης.

Η ηλιακή ακτινοβολία που εισέρχεται στη γήινη ατμόσφαιρα αλλοιώνεται και επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες. Οι νεφώσεις για παράδειγμα αντανakλούν την ακτινοβολία του Ήλιου και το οξυγόνο μαζί με το όζον την απορροφούν. Ακόμη, τα μόρια σκόνης και οι σταγόνες νερού της ατμόσφαιρας διασπείρουν την ηλιακή ακτινοβολία, και ένα μέρος αυτής που τελικά θα φτάσει στο έδαφος ανακλάται και ένα άλλο απορροφάται.

Η ολική ακτινοβολία του Ήλιου  $G_T$  που θα δεχθεί ένα σώμα στην επιφάνεια του εδάφους, αποτελείται από τις τρεις συνιστώσες που ακολουθούν:

- Άμεση ακτινοβολία (direct radiation),  $G_b$  : είναι η ακτινοβολία που προέρχεται αμέσως από το δίσκο του Ήλιου.
- Ανακλώμενη ακτινοβολία (albedo radiation),  $G_r$ : είναι η ακτινοβολία η οποία προέρχεται από ανακλάσεις του εδάφους.
- Διάχυτη ακτινοβολία (diffuse radiation),  $G_{diff}$  : η ακτινοβολία η οποία προέρχεται από τις ανακλάσεις στον ουράνιο θόλο.

Η ένταση της ακτινοβολίας του Ήλιου επηρεάζει άμεσα την ποσότητα της ενέργειας που δέχεται μία επιφάνεια. Η ένταση  $B$  της ακτινοβολίας του Ήλιου ορίζεται ως την ποσότητα της ενέργειας του Ήλιου που προσπίπτει σε ένα τετραγωνικό μέτρο επιφάνειας σε ένα δευτερόλεπτο. Η σχέση που υπολογίζει την ένταση της ακτινοβολίας του Ήλιου είναι:

$$B = \frac{dE}{dS \times dt} = \frac{dP}{dS} \left( \frac{W}{m^2} \right) \quad (2.1)$$

όπου:

$E$ : η ποσότητα της ηλιακής ενέργειας

$P$ : η ισχύς της ακτινοβολίας που προσπίπτει στη επιφάνεια

$S$ : το εμβαδόν της επιφάνειας

$t$ : ο χρόνος.

Η ακτινοβολία του Ήλιου που εκπέμπεται θα απομακρυνθεί ακτινικά προς το διάστημα από τον Ήλιο και θα μεταβληθεί αντιστρόφως ανάλογα με το τετράγωνο της απόστασης όπως φαίνεται στη Σχέση 2.2:

$$B_r = \frac{E_0}{4\pi R^2 t} = \frac{P_0}{4\pi R^2} \quad (2.2)$$

Η ένταση της ακτινοβολίας του Ήλιου μειώνεται μέχρι να φτάσει στην επιφάνεια της Γης. Αρκετοί παράγοντες επηρεάζουν τη μείωση αυτή, με πιο σημαντικούς το υψόμετρο, τη γεωγραφική θέση και τη σύσταση της ατμόσφαιρας, όπου εκεί παρατηρείται το φαινόμενο της απορρόφησης από ορισμένα στοιχεία τα οποία την αποτελούν. Το φαινόμενο αυτό προκαλεί μείωση της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας [1].

### **2.1.1.2 Ηλιακή γεωμετρία**

Η Γη χρειάζεται 365.25 ημέρες για μία πλήρη περιστροφή γύρω από τον Ήλιο κινούμενη με ελαφρώς ελλειπτική τροχιά. Η τροχιά παρουσιάζει 2 ακραίες θέσεις. Στις 22 Ιουνίου και στις 22 Δεκεμβρίου, έχουμε την μεγαλύτερη και τη μικρότερη μέρα του έτους αντίστοιχα. Επίσης, στις 21 Μαρτίου και στις 23 Σεπτεμβρίου, η διάρκεια της νύχτας είναι ίση με αυτή της ημέρας. Οι δύο αυτές μέρες αποτελούν την εαρινή και φθινοπωρινή ισημερία αντίστοιχα.

Η Γη περιστρέφεται γύρω από έναν φανταστικό άξονα, κατά την κατεύθυνση δύσης-ανατολής, που την τέμνει σε δύο σημεία, τον Βόρειο και τον Νότιο γεωγραφικό Πόλο. Η Γη χωρίζεται από τον ισημερινό σε νότιο και σε βόρειο ημισφαίριο. Ο ισημερινός είναι ο μεγαλύτερης διαμέτρου κύκλος που η επιφάνεια του τέμνει κάθετα τον άξονα του πλανήτη. Παράλληλα του ισημερινού, είτε προς το νότιο είτε προς το βόρειο ημισφαίριο, υπάρχουν και άπειροι μικρότερης διαμέτρου κύκλοι που τέμνουν την υδρόγειο. Η ευθεία που ενώνει τα κέντρα Γης-Ήλιου και το επίπεδο του ισημερινού σχηματίζουν μία γωνία που ονομάζεται ηλιακή απόκλιση  $\delta$  και μεταβάλλεται από  $23.5^\circ$  έως  $-23.5^\circ$ .

Η απόκλιση του Ήλιου  $\delta$  για μία μέρα του έτους υπολογίζεται από την Σχέση 2.3:

$$\delta = 23.45 \times \eta\mu \left( 360 \times \left( D + \frac{284}{365} \right) \right) \quad (2.3)$$

όπου:

D: ο αριθμός που αντιστοιχεί στη μέρα του έτους με έναρξη αρίθμησης από την 1<sup>η</sup> Ιανουαρίου.

Ωστόσο, μία πολύ σημαντική παράμετρος είναι η αζιμούθια γωνία και η κλίση της επιφάνειας σε μία εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων ως προς την ηλιακή φαινόμενη κίνηση, καθώς επηρεάζεται η ισχύς της ακτινοβολίας του Ήλιου που απορροφά το μέρος όπου είναι η εγκατάσταση.

Ανάμεσα στον ορίζοντα και στο επίπεδο του φωτοβολταϊκού συλλέκτη σχηματίζεται μία διέδρη γωνία που ονομάζεται κλίση του συλλέκτη ( $\beta_s$ ). Η γωνία αυτή δείχνει πόση κλίση έχει ο συλλέκτης και οι τιμές της κυμαίνονται από  $0^\circ$  έως  $180^\circ$ . Το επίπεδο του συλλέκτη είναι στραμμένο προς τα κάτω για γωνίες  $\beta_s > 90^\circ$ .

Πάνω στο οριζόντιο επίπεδο σχηματίζεται γωνία ανάμεσα στον τοπικό μεσημβρινό νότου-βορρά και στην προβολή της κατακόρυφου του φωτοβολταϊκού συλλέκτη η οποία ονομάζεται αζιμούθια γωνία του συλλέκτη ( $\theta_s$ ). Οι τιμές της κυμαίνονται από  $-180^\circ$  έως  $+180^\circ$ . Η γωνία  $0^\circ$  αντιπροσωπεύει την τοποθέτηση προς το νότο, η γωνία  $+90^\circ$  προς τη δύση, η γωνία  $-90^\circ$  προς την ανατολή, ενώ οι γωνίες  $\pm 180^\circ$  προς τον βορρά [1].

### 2.1.1.3 Φωτοβολταϊκό στοιχείο

Μόλις τα φωτοβολταϊκά στοιχεία εκτεθούν στην ακτινοβολία του Ήλιου, μετατρέπουν το 5-25% της ενέργειας του Ήλιου απευθείας σε ηλεκτρική ενέργεια. Το ποσοστό αυτό επηρεάζεται από την εκάστοτε τεχνολογία κατασκευής τους που θα χρησιμοποιηθεί. Για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τον ήλιο με φωτοβολταϊκά στοιχεία δεν απαιτείται η θερμότητά της ηλιακής ακτινοβολίας, αλλά το φως της. Αυτό σημαίνει ότι τα φωτοβολταϊκά στοιχεία παράγουν ηλεκτρισμό και σε μία συννεφιασμένη χειμωνιάτικη μέρα, καθώς το διάχυτο φως είναι άφθονο. Στην περίπτωση που οι ενεργειακές ανάγκες είναι αυξημένες, θα καταναλωθεί ηλεκτρική ενέργεια από το ηλεκτρικό δίκτυο συμπληρωματικά.

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία κατασκευάζονται από ημιαγωγά υλικά όπως το πυρίτιο και μπορεί να είναι μονοκρυσταλλικά, πολυκρυσταλλικά ή και άμορφα. Από τα διάφορα ημιαγωγά υλικά, το πυρίτιο έχει επικρατήσει ως υλικό κατασκευής, καθώς βρίσκεται σε αφθονία στην επιφάνεια του εδάφους. Επιπλέον, το πυρίτιο παρουσιάζει μεγάλη καθαρότητα, είναι ελεύθερο από ανεπιθύμητες προσμίξεις και δημιουργεί καλό κρυσταλλικό πλέγμα. Το κρυσταλλικό πλέγμα του πυριτίου δημιουργείται αφού τα άτομα που το αποτελούν διατάσσονται με τέτοιο τρόπο ώστε να συνεισφέρουν ηλεκτρόνια με καθένα από τα γειτονικά τους άτομα. Σαν αποτέλεσμα, το πυρίτιο,

στην κρυσταλλική του μορφή είναι σταθερό και τα ηλεκτρικά του χαρακτηριστικά είναι παρόμοια με αυτά ενός μονωτή.

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία είναι δίοδοι ημιαγωγού που δέχονται την ηλιακή ακτινοβολία. Οι δίοδοι αυτοί δημιουργούνται από την επαφή ενός στρώματος τύπου- n με ένα στρώμα τύπου- p. Με αυτό τον τρόπο, η λειτουργία των φωτοβολταϊκών στοιχείων στηρίζεται στη δημιουργία ενός ηλεκτροστατικού φράγματος δυναμικού, το οποίο βρίσκεται κατανεμημένο σε βάθος μικρό από την επιφάνεια του φωτοβολταϊκού στοιχείου και θα τοποθετηθεί από την πλευρά από την οποία προσπίπτει το φως. Έτσι, κάθε ένα από τα φωτόνια της προσπίπτουσας ακτινοβολίας που έχει ενέργεια μεγαλύτερη ή ίση από το ενεργειακό χάσμα του ημιαγωγού, μπορεί να ελευθερώσει ένα ζεύγος φορέων και να απορροφηθεί σε ένα χημικό δεσμό. Το ζεύγος φορέων που ελευθερώνεται έχει ένα ηλεκτρόνιο της ζώνης αγωγιμότητας αλλά και μια οπή της ζώνης σθένους.

Στην περιοχή ένωσης p-n, τα παραγόμενα ζεύγη φορέων που βρίσκονται εκεί, θα δεχθούν τη δύναμη του ηλεκτρικού πεδίου της διόδου. Τότε, τα ηλεκτρόνια μετακινούνται προς την περιοχή τύπου-n και οι οπές προς την περιοχή τύπου-p. Έτσι δημιουργείται διαφορά δυναμικού στους ακροδέκτες της διόδου. Για όσο διάστημα εκτίθεται στην ακτινοβολία, η διάταξη που αναφέρθηκε συμπεριφέρεται ως ορθά πολωμένη δίοδος και ως πηγή ηλεκτρικής ενέργειας. Φωτοβολταϊκό φαινόμενο είναι η ονομασία της διαδικασίας που αναλύθηκε παραπάνω [1].

### 2.1.1.4 Φωτορεύμα

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία δεν μπορούν να μετατρέψουν όλη την ενέργεια του Ήλιου σε ηλεκτρική ενέργεια, καθώς ένα μέρος της ακτινοβολίας διαχέεται στο περιβάλλον από την ανάκλασή της στην επιφάνεια του φωτοβολταϊκού στοιχείου, και από την υπόλοιπη ποσότητα θα απορροφηθούν συγκεκριμένα μήκη κύματος. Από την πίσω όψη του φωτοβολταϊκού στοιχείου χάνονται ως θερμικές απώλειες, τα φωτόνια με ενέργεια λιγότερη του ενεργειακού χάσματος του ημιαγωγού, ενώ απορροφώνται από το υλικό τα φωτόνια των που έχουν ενέργεια μεγαλύτερη από το ενεργειακό χάσμα του ημιαγωγού, με αποτέλεσμα να παραχθεί ηλεκτρική ενέργεια[1].

Το ρεύμα αυτό  $I_{\phi}$  ονομάζεται φωτορεύμα του στοιχείου και δίνεται από τη σχέση:

$$I_{\phi} = e \int_0^{\lambda_{\max g}} S(\lambda)[1 - R(\lambda)]\Phi(\lambda)d\lambda \quad (2.4)$$



όπου:

$S(\lambda)$ : η φασματική απόκριση του στοιχείου.

$R(\lambda)$ : ο δείκτης ανάκλασης για κάθε μήκος κύματος.

$\Phi(\lambda)$ : η φωτονική ροή, δηλαδή το πλήθος των φωτονίων της ακτινοβολίας που δέχεται το στοιχείο ανά μονάδα επιφάνειας και χρόνου.

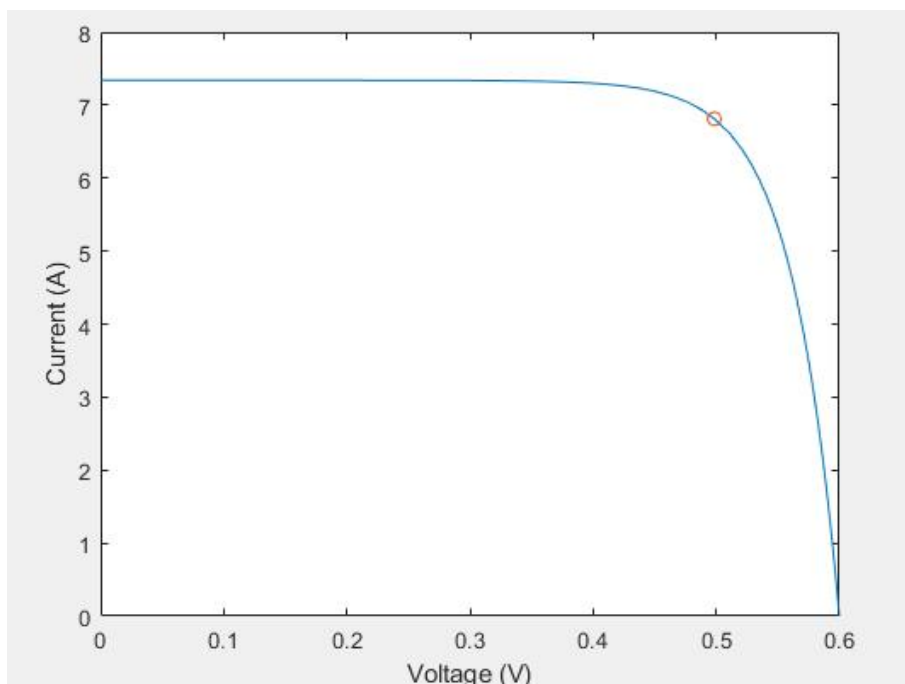
$e$ : το φορτίο του ηλεκτρονίου.

### **2.1.1.5 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκού στοιχείου**

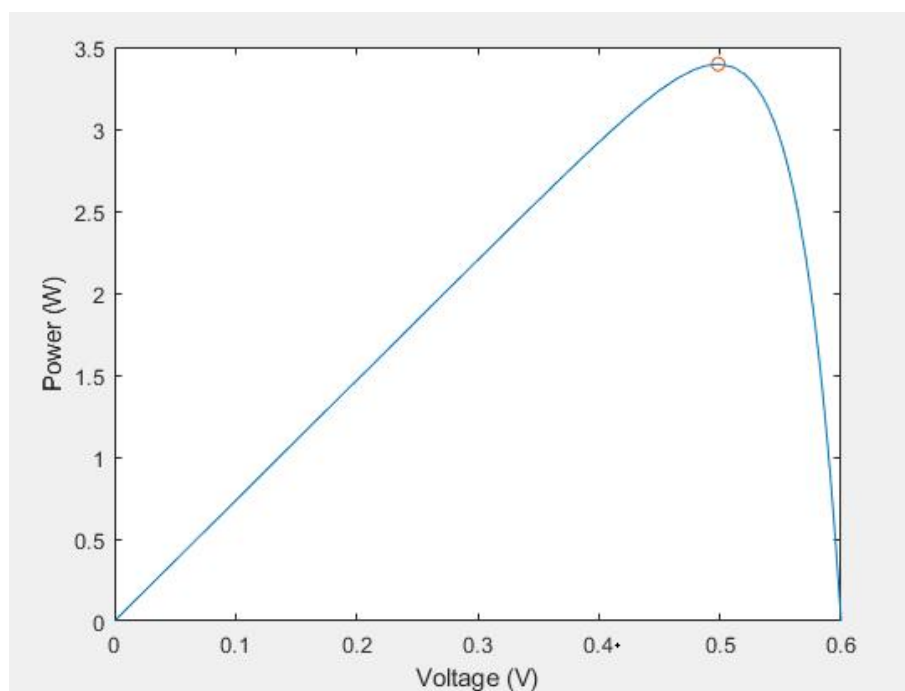
Χαρακτηριστικό διάγραμμα ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου αποτελεί η καμπύλη ρεύματος-τάσης ( $I$ - $V$ ) που φαίνεται στο Σχήμα 2.1. Η χαρακτηριστική αυτή αφορά φωτοβολταϊκό στοιχείο με τιμές  $I_{sc}=5.7$  A και  $V_{oc}=0.57$  V, το οποίο δέχεται προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία ίση με  $1000$  W/m<sup>2</sup>. Η τάση για την οποία έχουμε  $V = 0$  ονομάζεται τάση ανοικτοκυκλώματος  $V_{OC}$ , ενώ το ρεύμα για το οποίο έχουμε  $I = 0$  ονομάζεται ρεύμα βραχυκύκλωσης  $I_{SC}$ .

Αντίστοιχα η χαρακτηριστική ισχύος - τάσης ενός Φ/Β στοιχείου φαίνεται στο Σχήμα 2.2. Όμοια με προηγουμένως, η χαρακτηριστική αυτή αφορά φωτοβολταϊκό στοιχείο με τιμές  $I_{sc}=5.7$  A και  $V_{oc}=0.57$  V, το οποίο δέχεται προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία ίση με  $1000$  W/m<sup>2</sup>. Στο σημείο ( $V_m$ ,  $I_m$ ) της χαρακτηριστικής καμπύλης  $I$ - $V$  η ισχύς έχει τη μέγιστη τιμή της. Το σημείο ( $V_m$ ,  $I_m$ ) είναι σημείο μέγιστης ισχύος (maximum power point, MPP). Η μέγιστη ισχύς των φωτοβολταϊκών στοιχείων δίνεται από τη σχέση:

$$P_m = I_m V_m \quad (2.5)$$



Σχήμα 2.1: Παράδειγμα χαρακτηριστικής καμπύλης ρεύματος – τάσης ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου.



Σχήμα 2.2: Παράδειγμα χαρακτηριστικής καμπύλης ισχύος – τάσης ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου.

Επιπλέον, ο λόγος των εμβαδών του μέγιστου ορθογωνίου που δύναται να εγγραφεί στην χαρακτηριστική καμπύλη I-V, προς το εμβαδόν του ορθογωνίου που ορίζεται από τις τιμές  $V_{OC}$

και  $I_{SC}$  δίνει τον παράγοντα πλήρωσης FF (Fill Factor). Με το πηλίκο της μέγιστης ηλεκτρικής ισχύς  $P_L$  προς το γινόμενο του ρεύματος βραχυκύκλωσης  $I_{SC}$  και της τάσης ανοιχτού κυκλώματος  $V_{OC}$ , υπολογίζεται η αριθμητική του τιμή ως εξής:

$$FF = \frac{P_m}{V_{OC}I_{SC}} = \frac{V_m I_m}{V_{OC}I_{SC}} \quad (2.6)$$

Όσον αφορά την αξιολόγηση των φωτοβολταϊκών στοιχείων ως προς τη λειτουργία τους, εξετάζεται η ενεργειακή τους απόδοση  $\eta$ . Αυτή εξαρτάται από την τάση ανοικτοκυκλώματος  $V_{OC}$ , το ρεύμα βραχυκύκλωσης  $I_{SC}$ , και το συντελεστή πλήρωσης FF. Όπως φαίνεται στη Σχέση 2.7, είναι ίση με το λόγο της μέγιστης αποδιδόμενης ισχύος του φωτοβολταϊκού στοιχείου, προς την προσπίπτουσα ακτινοβολία σε όλη την επιφάνεια [1]:

$$\eta = \frac{P_m}{G} = \frac{I_m V_m}{G * A} = \frac{FF * I_{SC} * V_{OC}}{G * A} \quad (2.7)$$

όπου:

G: η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει πάνω στην επιφάνεια A του φωτοβολταϊκού στοιχείου.

### 2.1.1.6 Φωτοβολταϊκά πλαίσια

Ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο αποτελείται από πολλά συνδεδεμένα φωτοβολταϊκά στοιχεία με κοινή ηλεκτρική έξοδο. Αυτό είναι αναγκαίο, διότι η τάση και η ισχύς ενός μεμονωμένου φωτοβολταϊκού στοιχείου είναι πολύ μικρή ώστε να μπορέσει να χρησιμοποιηθεί για να τροφοδοτήσει ένα σύνολο ηλεκτρικών εφαρμογών [1].

### 2.1.1.7 Μετατροπείς συνεχούς-εναλλασσόμενου

Οι περισσότερες εφαρμογές που τροφοδοτούνται από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια χρειάζονται εναλλασσόμενη τάση. Η τάση εξόδου των φωτοβολταϊκών πλαισίων όμως είναι συνεχής. Οπότε θα πρέπει να γίνει μετατροπή της τάσης εξόδου σε εναλλασσόμενη. Η συσκευή που θα κάνει την αναγκαία μετατροπή ονομάζεται μετατροπέας (DC/AC inverter) [1].

## **2.1.2 Σύστημα αιολικής ενέργειας**

### **2.1.2.1 Αιολική ενέργεια**

Η μετακινήσεις των αέριων μαζών της ατμόσφαιρας έχουν ως αποτέλεσμα τη δημιουργία της αιολικής ενέργειας. Οι μεταβολές και οι διακυμάνσεις της ατμοσφαιρικής πίεσης κατά τόπους, προκαλούν τις μετακινήσεις του αέρα και των ανέμων.

Οι διαφορετικές τιμές ατμοσφαιρικής πίεσης που προκύπτουν από διακυμάνσεις της θέρμανσης της ατμόσφαιρας κατά τόπους, δημιουργούν οριζόντιες μετακινήσεις μάζας ατμοσφαιρικού αέρα. Οι μετακινήσεις αυτές ονομάζονται άνεμοι. Ο άνεμος προσδιορίζεται από τη διεύθυνση και από την ταχύτητα κίνησης της αέριας μάζας [1].

### **2.1.2.2 Ανεμογεννήτριες**

Οι ανεμογεννήτριες είναι αιολικές μηχανές που μετατρέπουν την ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρικό ρεύμα αξιοποιώντας την κινητική του ενέργεια.

Η αιολική ενέργεια είναι η κινητική ενέργεια του ανέμου και υπολογίζεται ως εξής:

$$E_k = \frac{1}{2} * m * V^2 \quad (2.8)$$

όπου:

m: η μάζα ενός σώματος

V: η ταχύτητα του ανέμου.

Η μάζα του σώματος ισούται με:

$$m = \rho * U = \rho * A * S = \rho * A * V * t \quad (2.9)$$

όπου:

$\rho$ : η πυκνότητα του αέρα

A: το εμβαδόν της επιφάνειας

V: η ταχύτητα του ανέμου

t: ο χρόνος.

Στον παραπάνω τύπο το  $A \cdot V \cdot t$  είναι ο όγκος του αέρα που διέρχεται από την επιφάνεια με εμβαδόν A, κάθετης προς την κατεύθυνση του ανέμου με στιγμιαία ταχύτητα  $V = S/t$ .

Η ισχύς P είναι ενέργεια ανά μονάδα χρόνου, επομένως η ισχύς της αιολικής ενέργειας μέσω μιας επιφάνειας A είναι:

$$E_k = \frac{1}{2} * \rho * V^3 * t \Rightarrow P = \frac{1}{2} * \rho * A * V^3 \quad (2.10)$$

όπου:

$\rho$ : η πυκνότητα του αέρα

A: το εμβαδόν (επιφάνεια ροής) της επιφάνειας σε  $m^2$

V: η ταχύτητα του ανέμου.

Αν στη ροή του ανέμου βάλουμε μία ανεμογεννήτρια με επιφάνεια προσβολής  $A_\delta$  και συντελεστή αεροδυναμικής απόδοσης  $C_p$ , η ισχύς που θα δεσμευθεί από την ανεμογεννήτρια θα δωθεί από τη σχέση:

$$P = \frac{1}{2} * C_p * \rho * A_\delta * V^3 \quad (2.11)$$

όπου:

V: η ταχύτητα του ανέμου.

$\rho$ : η πυκνότητα του αέρα

$A_\delta$ : η επιφάνεια προσβολής των πτερυγίων της ανεμογεννήτριας

$C_p$ : ο συντελεστή αεροδυναμικής απόδοσης.

Ο συντελεστής αεροδυναμικής απόδοσης προσδιορίζει σε τι βαθμό θα μετατραπεί η κινητική ενέργεια του ανέμου σε μηχανική (περιστροφή του ρότορα). Πιο συγκεκριμένα, μόνο ένα ποσοστό της συνολικής αιολικής ισχύος δύναται να δεσμευτεί από μια ανεμογεννήτρια, καθώς ο άνεμος, από τη μία, απομακρύνεται από την περιοχή του ρότορα με μία ταχύτητα και από την άλλη, τα πτερύγια εκτρέπουν ένα μέρος του αέρα με αποτέλεσμα να παρακάμπτει την ανεμογεννήτρια και τελικά να μην μπορεί να τη διαπεράσει. Το κλάσμα της ισχύος του ανέμου που θα δεσμευθεί από την ανεμογεννήτρια ονομάζεται αεροδυναμικός συντελεστής απόδοσης.

Ο συντελεστής  $C_p$ , δεν είναι σταθερός, αλλά εξαρτάται από τη γωνιακή ταχύτητα περιστροφής της έλικας, την ταχύτητα του ανέμου, τον τύπο της ανεμογεννήτριας, το σχήμα και την γωνία των περυγίων. Η ανώτατη τιμή του συντελεστή  $C_p$  αποδεικνύεται και είναι γνωστή ως όριο Betz και αντιστοιχεί στην τιμή:

$$C_{p,max} = \frac{16}{27} = 59\% \quad (2.12)$$

Ο νόμος του Betz αναφέρει ότι το μέγιστο της κινητικής ενέργειας του ανέμου που θα δεσμευθεί από την ανεμογεννήτρια και μπορεί να μετατραπεί σε μηχανική ενέργεια είναι 59%.

Τα δομικά στοιχεία των ανεμογεννητριών είναι τα εξής:

Ρότορας: ο ρότορας ή δρομέας φέρει τα περύγια τα οποία έχουν σχεδιαστεί ώστε να περιστρέφονται γύρω από τον άξονά τους.

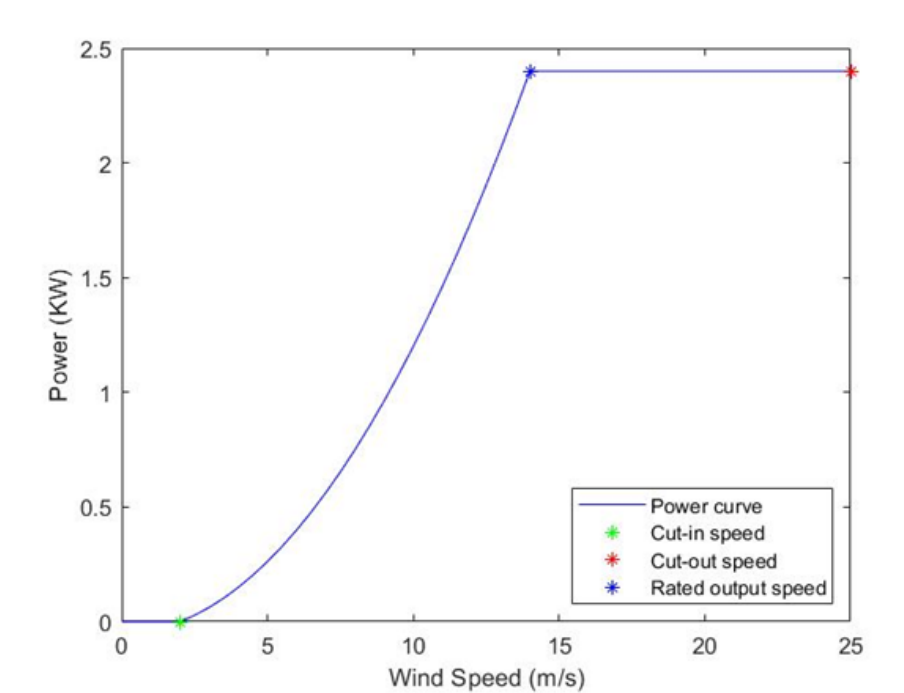
Πτερύγια: τα περύγια έχουν αεροδυναμικό σχεδιασμό τέτοιον ώστε να δημιουργείται άνωση από τον προσπίπτοντα άνεμο, ώστε να εμφανιστεί ροπή στον άξονα περιστροφής τους.

Κέλυφος: περικλείει τα περισσότερα μηχανικά και ηλεκτρονικά τμήματα της ανεμογεννήτριας, όπως το κιβώτιο ταχυτήτων, την γεννήτρια και το φρένο.

Γεννήτρια: είναι η μηχανή παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας. Οι γεννήτριες διακρίνονται σε σύγχρονες και ασύγχρονες.

Κιβώτιο Ταχυτήτων: το κιβώτιο ταχυτήτων είναι υπεύθυνο για την μεταβολή των στροφών του άξονα που καταλήγει στη γεννήτρια.

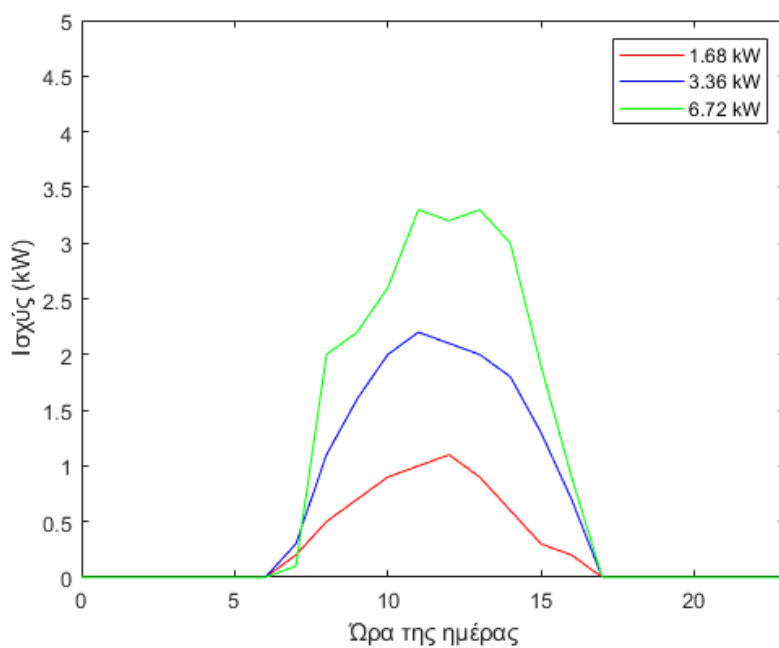
Η ισχύς εξόδου κάθε ανεμογεννήτριας εξαρτάται από την ταχύτητα του ανέμου. Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.3 [1], για cut-in speed = 2 m/s, cut-out speed = 25 m/s, rated output speed = 14 m/s και rated power = 2.4 kW, η καμπύλη που προκύπτει καθορίζει και την απόδοση της ανεμογεννήτριας ανάλογα με την ταχύτητα του ανέμου και εξαρτάται από την ταχύτητα εκκίνησης, την ταχύτητα λειτουργίας και την ταχύτητα αποκοπής. Η ταχύτητα εκκίνησης (cut in speed) είναι η ταχύτητα με την οποία η ανεμογεννήτρια ξεκινάει την παραγωγή ισχύος. Η ταχύτητα λειτουργίας (rated output speed) είναι η ταχύτητα με την οποία η ανεμογεννήτρια παράγει την ονομαστική της ισχύ (rated power). Η ταχύτητα αποκοπής (cut out speed) είναι η τιμή της ταχύτητας όπου η ανεμογεννήτρια για λόγους ασφαλείας σταματά την περιστροφή της.



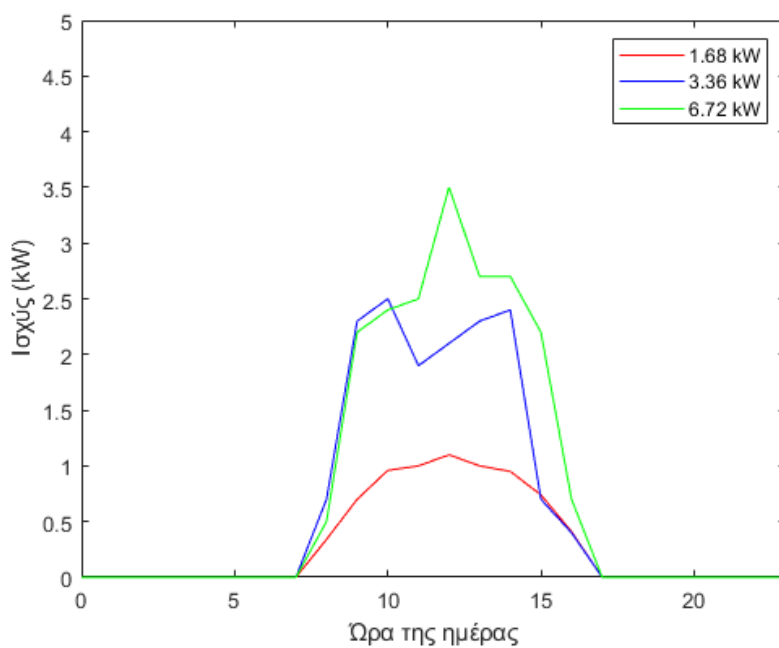
Σχήμα 2.3: Παράδειγμα καμπύλης ισχύος ανεμογεννήτριας.

### 2.1.3 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

Το μοντέλο κτηρίου που χρησιμοποιείται σε αυτή τη διπλωματική εργασία διαθέτει ενσωματωμένο φωτοβολταϊκό σύστημα και ανεμογεννήτρια. Στα Σχήματα 2.4, 2.5, 2.6 και 2.7 παρουσιάζονται ενδεικτικά διαγράμματα παραγωγής ενέργειας του φωτοβολταϊκού συστήματος σε μια φθινοπωρινή, μία χειμερινή, μία εαρινή και μία καλοκαιρινή ημέρα, για περιπτώσεις ονομαστικής του ισχύος 1.68kW, 3.36kW και 6.72kW, αντίστοιχα. Περιοχή εγκατάστασης πολιτεία Illinois, USA [2].

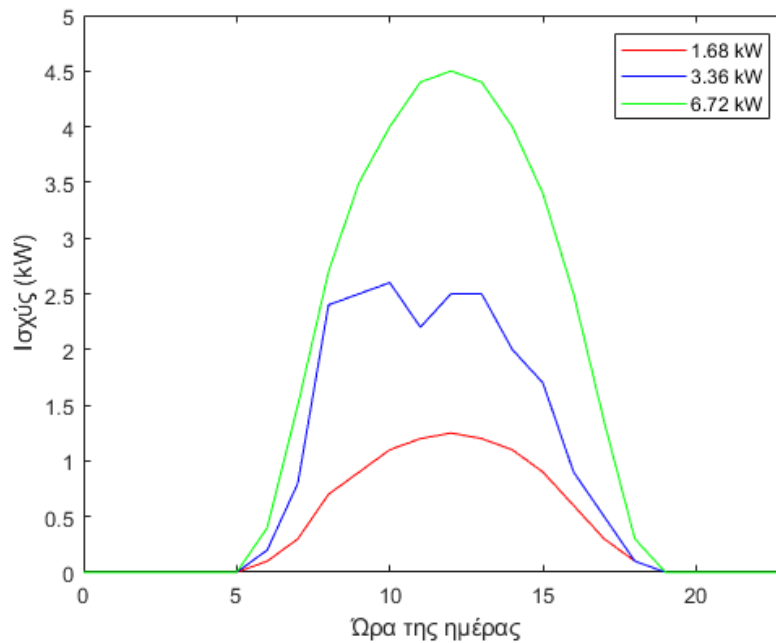


Σχήμα 2.4: Διάγραμμα παραγόμενης ισχύος Φ/Β συστήματος σε μία φθινοπωρινή ημέρα.

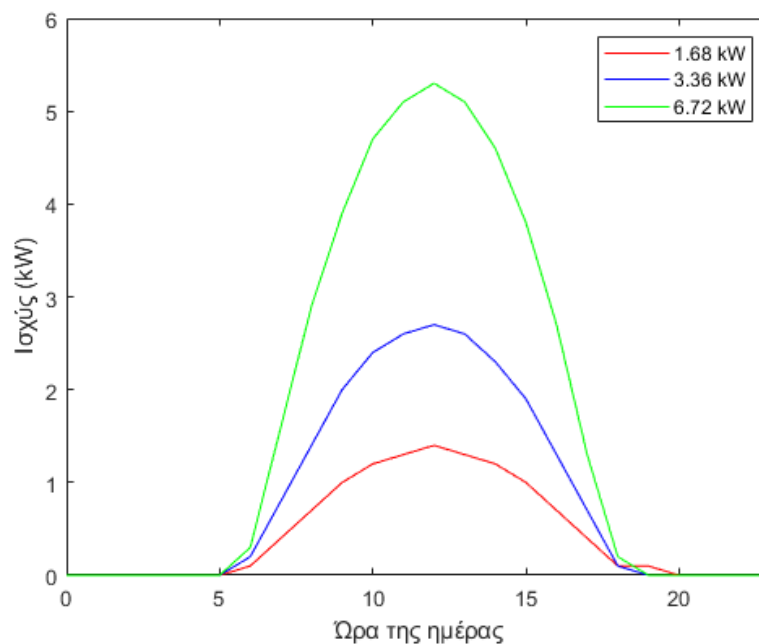


Σχήμα 2.5: Διάγραμμα παραγόμενης ισχύος Φ/Β συστήματος σε μία χειμερινή ημέρα.



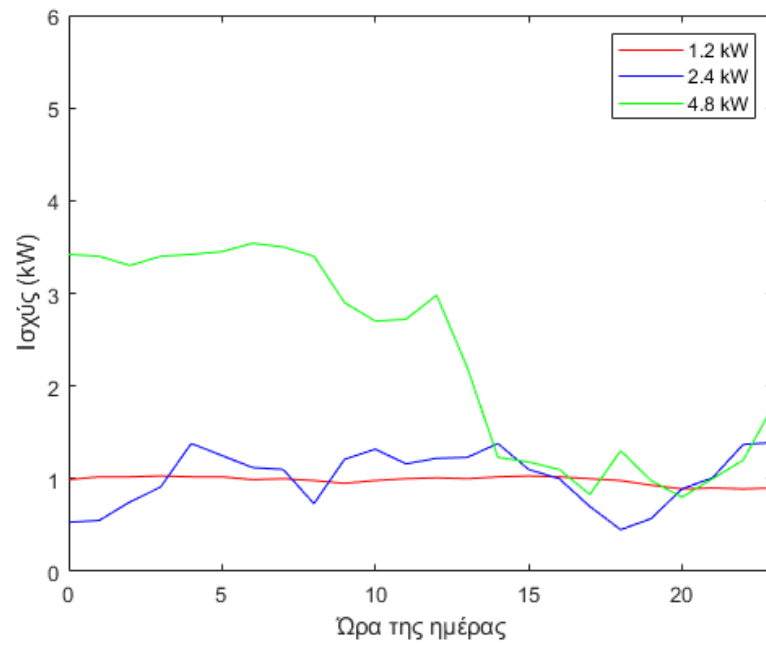


Σχήμα 2.6: Διάγραμμα παραγόμενης ισχύος Φ/Β συστήματος σε μία εαρινή ημέρα.

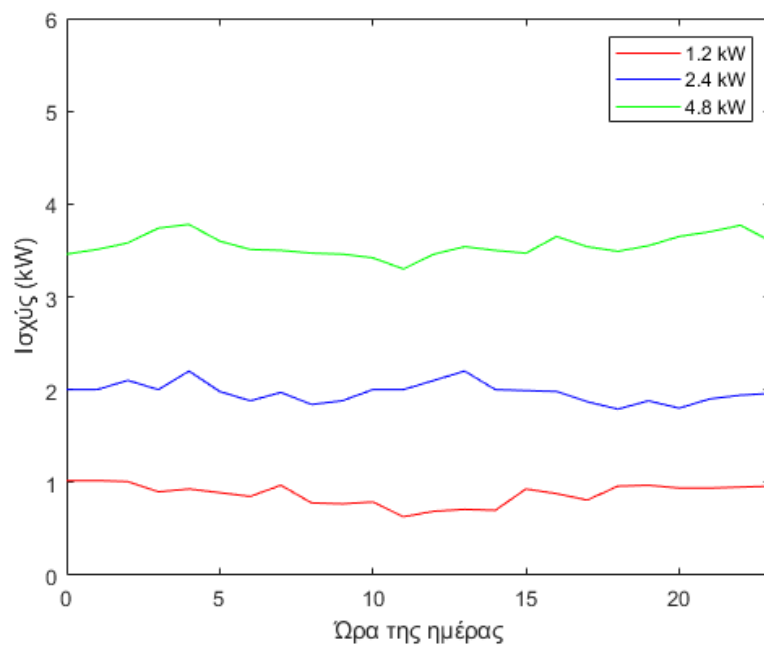


Σχήμα 2.7: Διάγραμμα παραγόμενης ισχύος Φ/Β συστήματος σε μία καλοκαιρινή ημέρα.

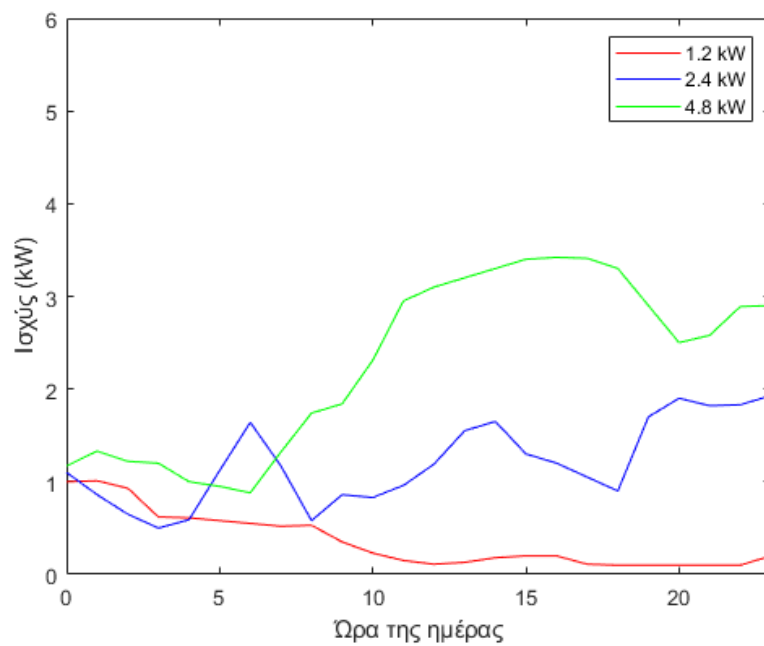
Όσον αφορά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας της ανεμογεννήτριας, στα Σχήματα 2.8, 2.9, 2.10 και στο Σχήμα 2.11 παρουσιάζονται ενδεικτικά διαγράμματα παραγωγής σε μία φθινοπωρινή, σε μία χειμερινή, σε μία εαρινή και σε μία θερινή ημέρα, για περιπτώσεις ονομαστικής ισχύος 1.2kW, 2.4kW και 4.8kW, αντίστοιχα [3].



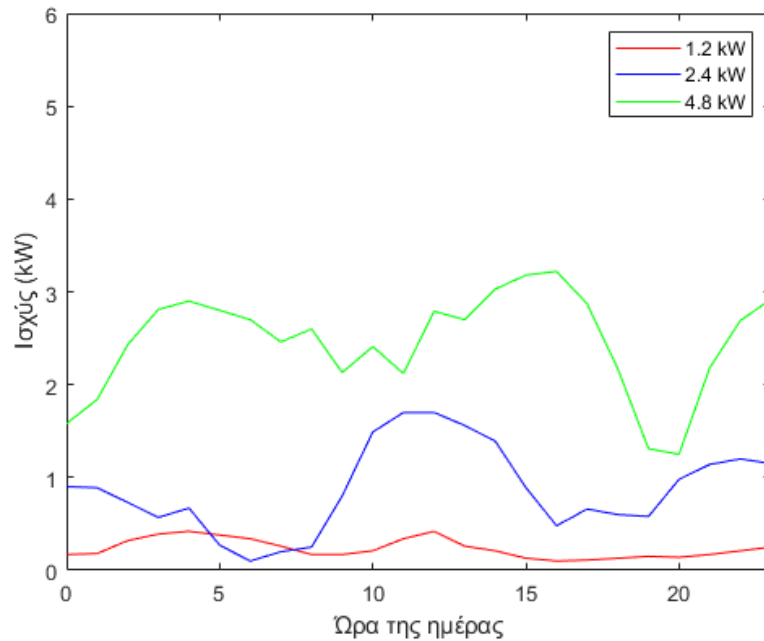
Σχήμα 2.8: Διάγραμμα παραγόμενης ισχύος Α/Γ σε μία φθινοπωρινή ημέρα.



Σχήμα 2.9: Διάγραμμα παραγόμενης ισχύος Α/Γ σε μία χειμερινή ημέρα.

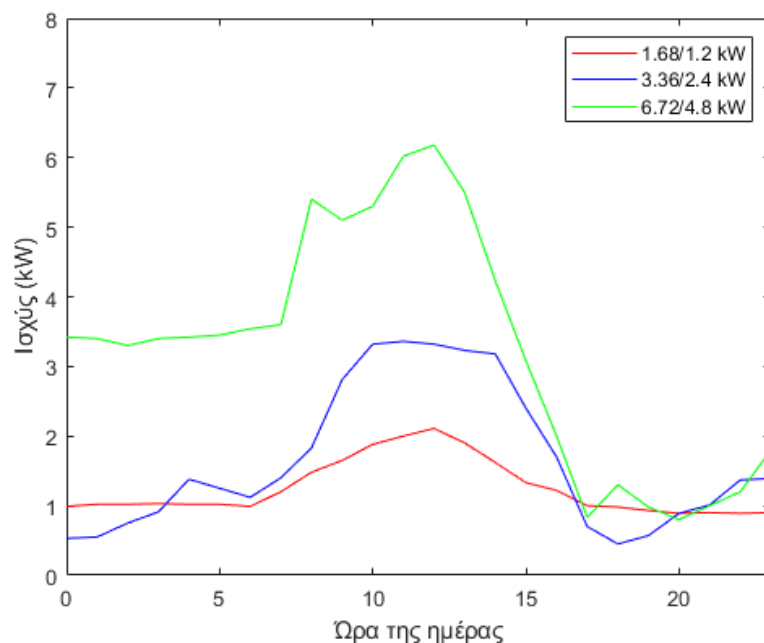


Σχήμα 2.10: Διάγραμμα παραγόμενης ισχύος Α/Γ σε μία εαρινή ημέρα

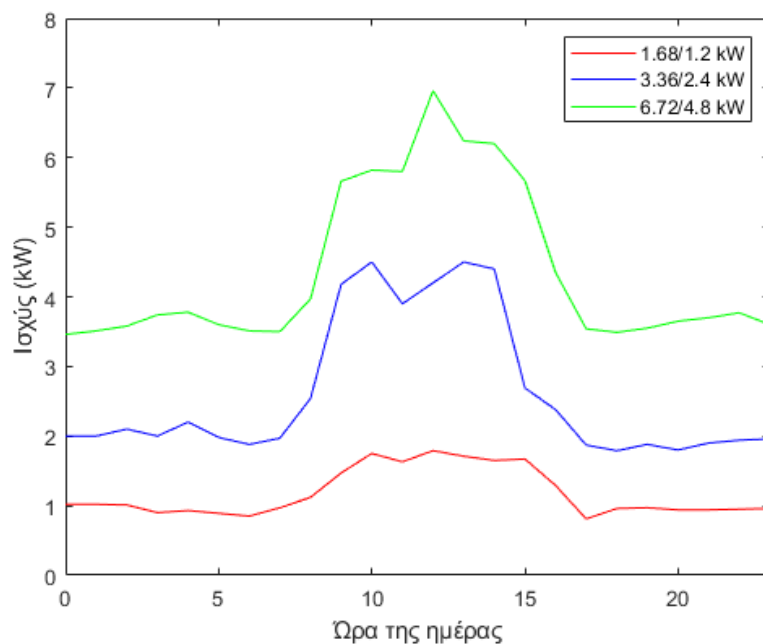


Σχήμα 2.11: Διάγραμμα παραγόμενης ισχύος Α/Γ σε μία καλοκαιρινή ημέρα

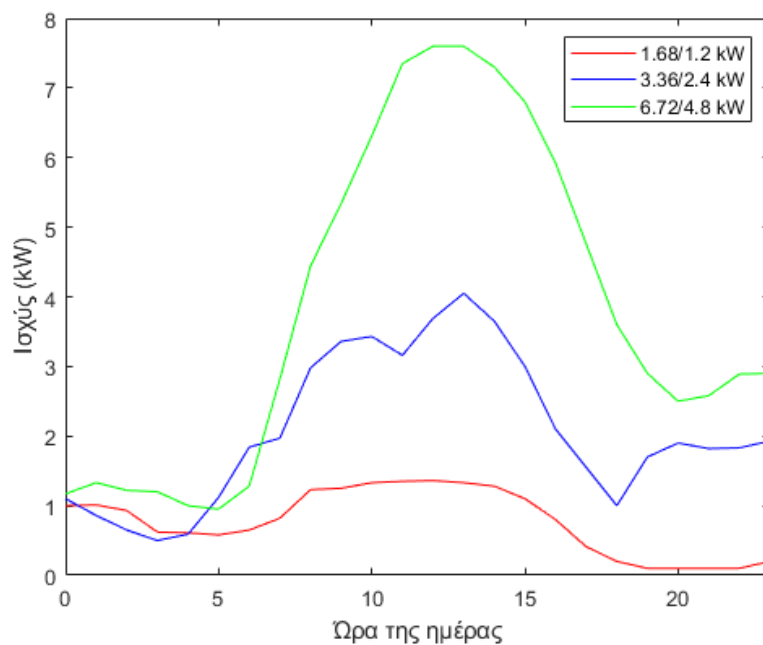
Αθροίζοντας τη συνολική παραγόμενη ισχύ από το φωτοβολταϊκό σύστημα και την ανεμογεννήτρια προκύπτουν τα Σχήματα 2.12, 2.13, 2.14 και 2.15 για την κάθε ημέρα ανά εποχή, αντίστοιχα. Παρατηρείται ότι στη θερινή και την εαρινή ημέρα υπάρχει μεγαλύτερη αιχμή (peak) στην παραγόμενη ισχύ αλλά μικρότερη περίοδος υψηλής παραγωγής, ενώ στη χειμερινή ημέρα συμβαίνει το αντίθετο.



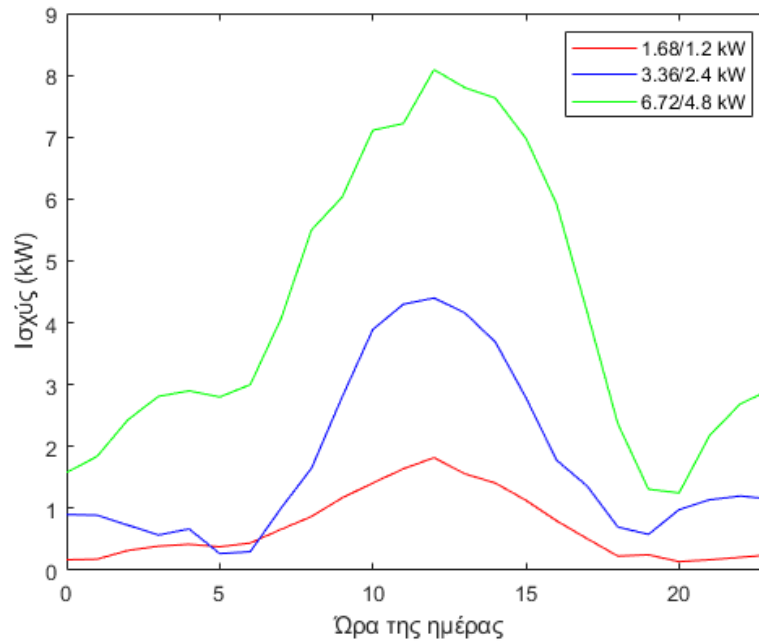
Σχήμα 2.12: Διάγραμμα συνολικής παραγόμενης ισχύος σε μία φθινοπωρινή ημέρα.



Σχήμα 2.13: Διάγραμμα συνολικής παραγόμενης ισχύος σε μία χειμερινή ημέρα.



Σχήμα 2.14: Διάγραμμα συνολικής παραγόμενης ισχύος σε μία εαρινή ημέρα.



Σχήμα 2.15: Διάγραμμα συνολικής παραγόμενης ισχύος σε μία καλοκαιρινή ημέρα.

## 2.2 Σύστημα αποθήκευσης ενέργειας

Το μοντέλο που εξετάζεται στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία διαθέτει ένα έξυπνο σύστημα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας, το οποίο περιλαμβάνει κεντρική μονάδα διαχείρισης και μία συστοιχία μπαταριών 12 Volt συνολικής χωρητικότητας 1.84kAh. Είναι συνδεδεμένο με τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και το ηλεκτρικό δίκτυο[4].

Ο ρόλος του συστήματος αυτού είναι ζωτικός, καθώς τροφοδοτεί με ηλεκτρική ενέργεια τις ηλεκτρικές συσκευές του κτηρίου που εξετάζεται. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας φορτίζουν τη συστοιχία μπαταριών, όμως σε περίπτωση που δεν επαρκούν και το επίπεδο φόρτισης είναι χαμηλό, οι μπαταρίες θα φορτιστούν απορροφώντας ενέργεια από το ηλεκτρικό δίκτυο.

Ο εκάστοτε αλγόριθμος διαχείρισης ηλεκτρικής ενέργειας είναι αυτός που σε πραγματικό χρόνο διαχειρίζεται το σύστημα αποθήκευσης ενέργειας, μέσω της κεντρικής μονάδας διαχείρισης, με κύριο στόχο την οικονομία ηλεκτρικής ενέργειας και την υγεία των μπαταριών [2], χωρίς όμως να παραβιάζονται οι προτιμήσεις των χρηστών.

## **2.3 Τιμολόγηση ηλεκτρικής ενέργειας σε πραγματικό χρόνο**

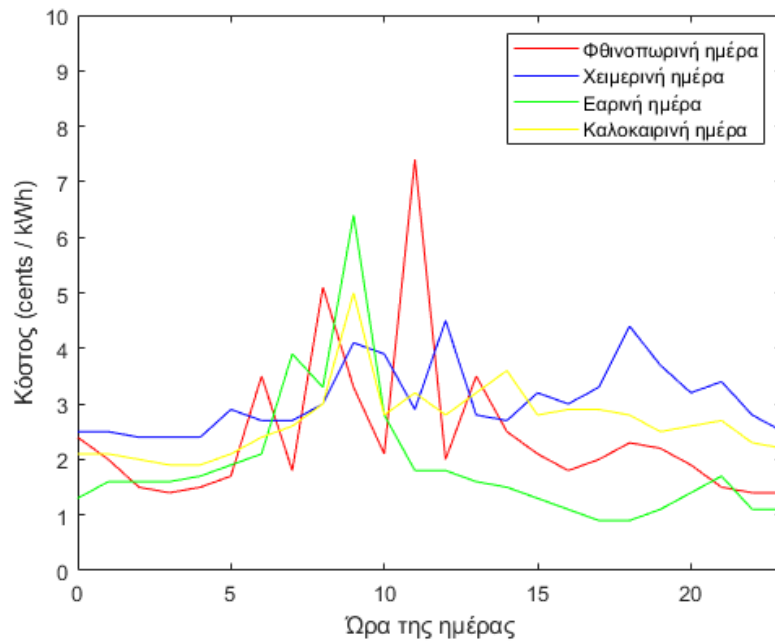
Για το συγκεκριμένο μοντέλο, όλοι οι αλγόριθμοι διαχείρισης ενέργειας που θα παρουσιαστούν και θα αναλυθούν στο επόμενο κεφάλαιο είναι σχεδιασμένοι για αγορές όπου εφαρμόζεται τιμολόγηση ηλεκτρικής ενέργειας σε πραγματικό χρόνο (Real Time Pricing ή RTP) [5].

Στην τιμολόγηση σε πραγματικό χρόνο, η χρέωση της kWh ποικίλλει ανά ώρα με βάση το κόστος παραγωγής και τη ζήτηση την εκάστοτε χρονική στιγμή. Επομένως, τις ώρες αιχμής οι τιμές είναι υψηλότερες. Οι πελάτες του ηλεκτρικού δικτύου έχουν εγκαταστημένους μετρητές οι οποίοι στέλνουν δεδομένα για ανάλυση και εκτίμηση.

Έτσι, με την τιμολόγηση σε πραγματικό χρόνο δίνεται η δυνατότητα στους καταναλωτές να επωφεληθούν από τιμές οι οποίες μπορεί να φτάσουν και πολύ κοντά σε τιμές χονδρικής αλλά και να αναπτύξουν αλγορίθμους ελέγχου και διαχείρισης της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας στα σπίτια και τις επιχειρήσεις τους.

Ένα ακόμη όφελος είναι ότι σταματάει πλέον να υπάρχει υπερβολική ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας στις ώρες αιχμής, καθώς υπάρχει το κίνητρο αγοράς σε χαμηλότερη τιμή σε μεταγενέστερη ή προγενέστερη ώρα μέσα στην ημέρα. Έτσι το χρονικό πλαίσιο της ζήτησης διευρύνεται και ο διαμοιρασμός και η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας πραγματοποιούνται πιο ομαλά. Παρ' όλα αυτά όπως θα αναλυθεί και παρακάτω, χωρίς την ύπαρξη ενός αλγόριθμου διαχείρισης ηλεκτρικής ενέργειας τα οφέλη δεν δύναται να μεγιστοποιηθούν.

Στο παρακάτω Σχήμα 2.16 ακολουθούν ενδεικτικά διαγράμματα της RTP για μία φθινοπωρινή, μία χειμερινή, μία εαρινή και μία θερινή ημέρα [5].



Σχήμα 2.16: Διάγραμμα τιμολόγησης ηλεκτρικής ενέργειας σε πραγματικό χρόνο για μία φθινοπωρινή, μία χειμερινή, μία εαρινή και μία καλοκαιρινή ημέρα.

## 2.4 Ηλεκτρικές συσκευές και ηλεκτρικό όχημα

Το μοντέλο κτηρίου που εξετάζεται διαθέτει ένα σύνολο έξυπνων ηλεκτρικών συσκευών, καθώς και μία θέση φόρτισης ηλεκτρικού οχήματος. Η κεντρική μονάδα που εκτελεί τους αλγορίθμους διαχείρισης ηλεκτρικής ενέργειας εκτός από τη συλλογή δεδομένων μπορεί και να ανοιγοκλείνει(ON/OFF) τις συσκευές και να αναπρογραμματίζει τη λειτουργία τους, με κύρια προϋπόθεση να μην παραβιάζονται οι προτιμήσεις του χρήστη. Επομένως, κάποιες συσκευές είναι ελεγχόμενες και κάποιες άλλες μη-ελεγχόμενες. Για τις ελεγχόμενες είναι εφικτή η ανάθεση του χρόνου και τρόπου λειτουργίας τους στον αλγόριθμο διαχείρισης ενέργειας, χωρίς να προκαλείται δυσαρέσκεια στο χρήστη. Στον Πίνακα 2.1 ακολουθεί η λίστα των ελεγχόμενων ηλεκτρικών συσκευών και στον Πίνακα 2.2 των μη-ελεγχόμενων. Στους Πίνακες αναγράφονται επίσης οι ονομαστικές τιμές ισχύος και οι χρόνοι λειτουργίας[4].

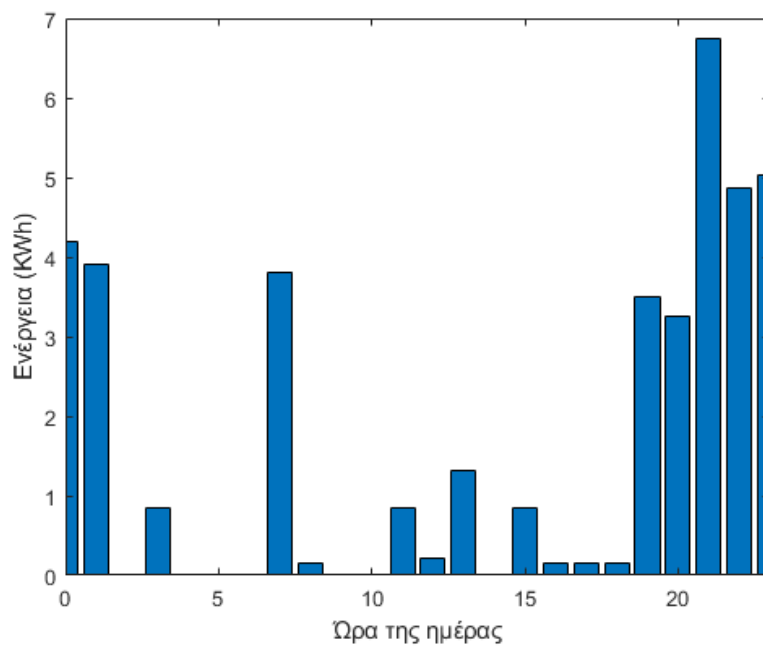


Πίνακας 2.1: Ελεγχόμενες ηλεκτρικές συσκευές		
ΟΝΟΜΑ	ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΙΣΧΥΣ (kW)	ΧΡΟΝΟΣ ΧΡΗΣΗΣ
ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΟΧΗΜΑ	3	5 ΩΡΕΣ
ΘΕΡΜΑΝΣΗ	1.79	30ΛΕΠΤΑ/ΩΡΑ ΕΞΑΡΤΑΤΑΙ ΑΠΟ ΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ
ΘΕΡΜΟΣΙΦΩΝΟ	2	20 ΛΕΠΤΑ ΤΟΝ ΧΕΙΜΩΝΑ 30 ΛΕΠΤΑ ΤΟ ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ
ΚΛΙΜΑΤΙΣΤΙΚΟ	1.6	30 ΛΕΠΤΑ/ΩΡΑ ΕΞΑΡΤΑΤΑΙ ΑΠΟ ΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ
ΠΛΥΝΤΗΡΙΟ ΠΙΑΤΩΝ	1.32	60 ΛΕΠΤΑ
ΠΛΥΝΤΗΡΙΟ ΡΟΥΧΩΝ	1.4	90 ΛΕΠΤΑ
ΨΥΓΕΙΟ	1.666	30 ΛΕΠΤΑ/4 ΩΡΕΣ

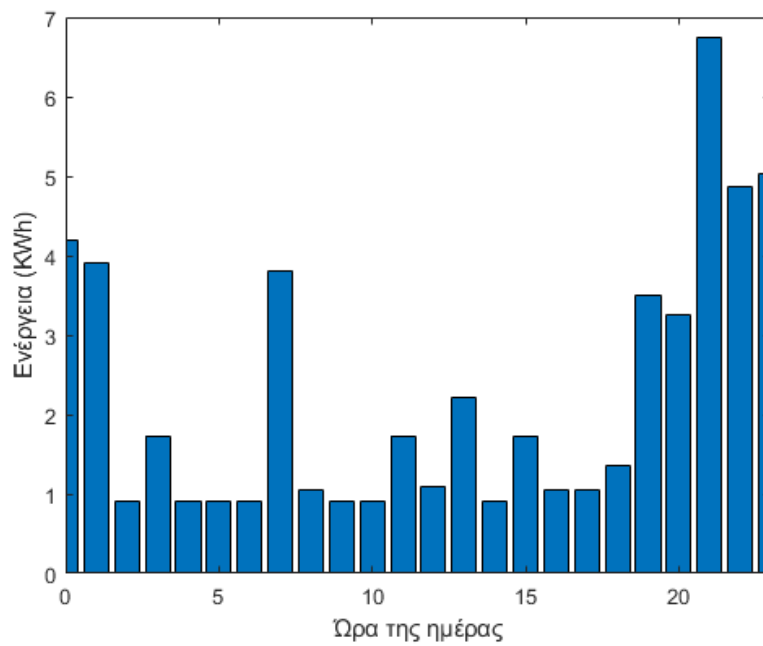
Πίνακας 2.2: Ελεγχόμενες ηλεκτρικές συσκευές		
ΟΝΟΜΑ	ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΙΣΧΥΣ (kW)	ΧΡΟΝΟΣ ΧΡΗΣΗΣ
ΑΠΟΡΡΟΦΗΤΗΡΑΣ	0.225	60 ΛΕΠΤΑ
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΗΣ	0.15	5 ΩΡΕΣ
ΣΙΔΕΡΟ	2.4	60 ΛΕΠΤΑ
ΣΤΕΓΝΩΤΗΡΑΣ ΜΑΛΛΙΩΝ	1.8	10 ΛΕΠΤΑ
ΤΗΛΕΟΡΑΣΗ	0.083	5 ΩΡΕΣ
ΤΗΛΕΦΩΝΟ	0.005	24 ΩΡΕΣ
ΤΟΣΤΙΕΡΑ	0.8	16 ΛΕΠΤΑ
ΦΟΥΡΝΟΣ	2.4	60 ΛΕΠΤΑ
ΦΟΥΡΝΟΣ ΜΙΚΡΟΚΥΜΑΤΩΝ	1.2	10 ΛΕΠΤΑ
ΦΩΤΙΣΜΟΣ	0.3	7 ΩΡΕΣ ΤΟΝ ΧΕΙΜΩΝΑ 5 ΩΡΕΣ ΤΟ ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ

Αξίζει να σημειωθεί, ότι ειδικά για τον κλιματισμό και τη θέρμανση παίζουν ρόλο οι θερμοκρασίες του εξωτερικού περιβάλλοντος για τις οποίες η κεντρική μονάδα ενημερώνεται ωριαία από τα κατάλληλα όργανα εντός και εκτός του κτηρίου. Με τα δεδομένα που συλλέγει ο αλγόριθμος διαχείρισης ενέργειας πράττει αναλόγως ώστε η θερμοκρασία εσωτερικά να διατηρείται στα επιθυμητά επίπεδα.

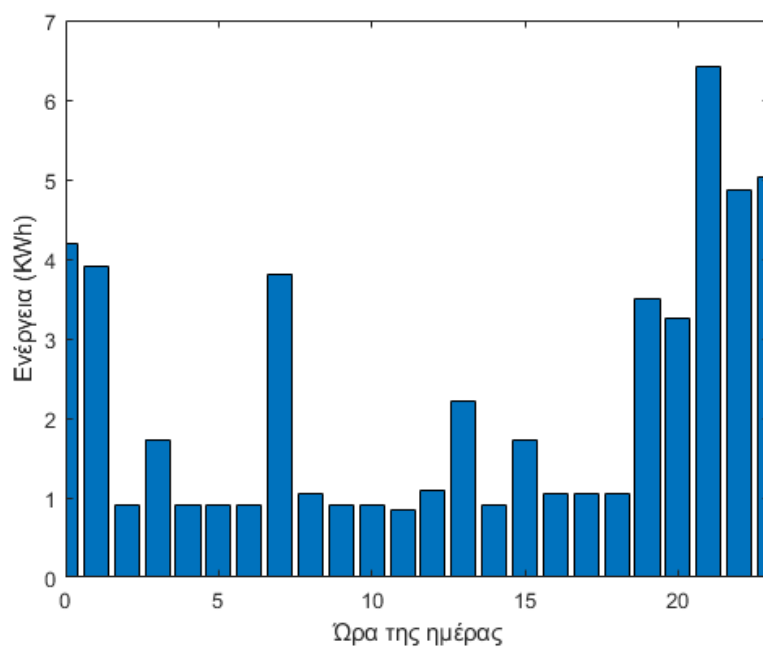
Παρακάτω στα Σχήματα 2.17, 2.18, 2.19 και 2.20 φαίνεται η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σε διάστημα 24 ωρών για μία φθινοπωρινή, μία χειμερινή, μία εαρινή και για μία θερινή ημέρα, αντίστοιχα [4]. Στις αναπαραστάσεις αυτές δεν εφαρμόζεται κάποιος αλγόριθμος διαχείρισης ενέργειας και δεν υπάρχει αξιοποίηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.



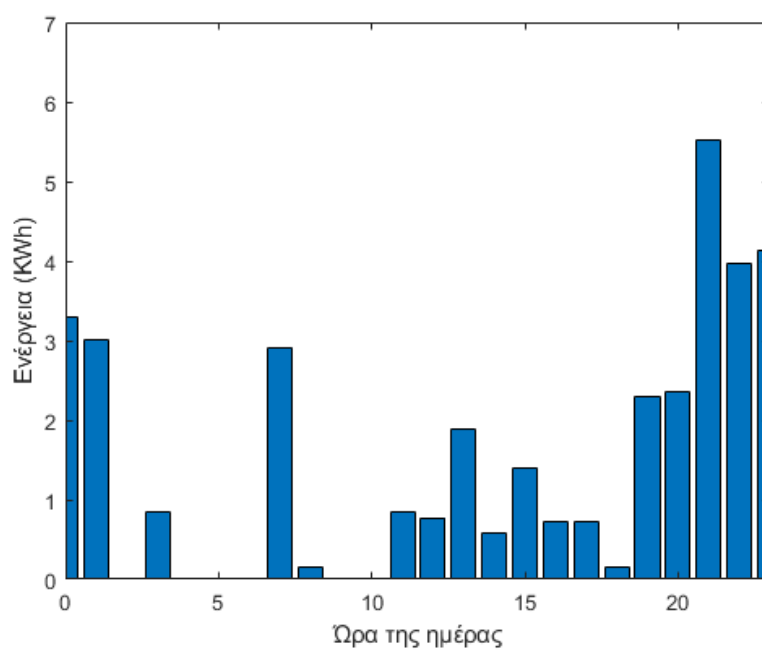
Σχήμα 2.17: Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σε μία φθινοπωρινή ημέρα.



Σχήμα 2.18: Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σε μία χειμερινή ημέρα.



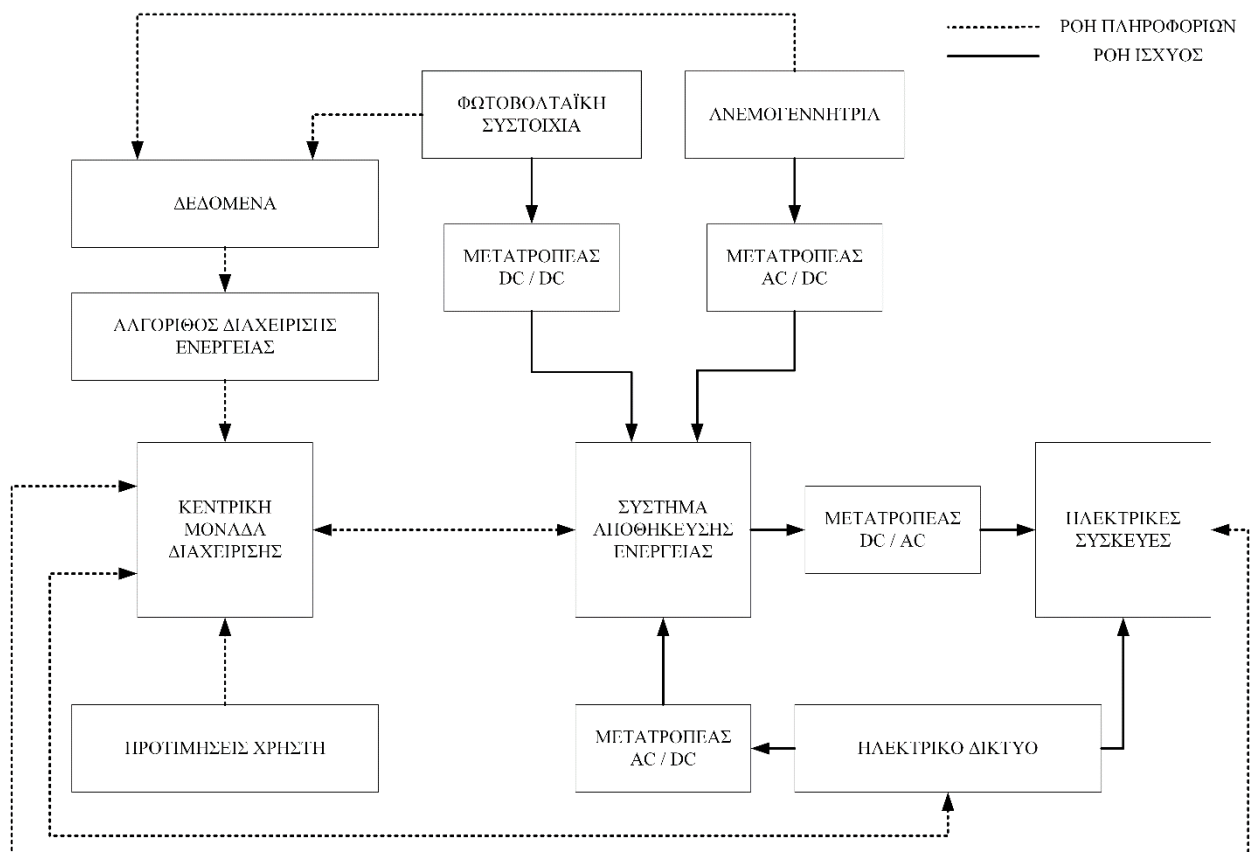
Σχήμα 2.19: Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σε μία εαρινή ημέρα



Σχήμα 2.20: Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σε μία καλοκαιρινή ημέρα

## 2.5 Διάγραμμα εισόδων/εξόδων

Ο τρόπος σύνδεσης και αλληλεπίδρασης των υποσυστημάτων που αναλύθηκαν στις προηγούμενες ενότητες και που αποτελούν το μοντέλο του κτηρίου που χρησιμοποιείται στην παρούσα εργασία, παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.21.



Σχήμα 2.21: Διάγραμμα του συστήματος διαχείρισης ενέργειας του κτηρίου, που εξετάζεται στην παρούσα εργασία.

Τα δεδομένα, όπως η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας, η εσωτερική και εξωτερική θερμοκρασία και η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από τις Α.Π.Ε. εισάγονται ως πληροφορίες στον αλγόριθμο διαχείρισης ενέργειας. Έπειτα, οι προτιμήσεις του χρήστη και ο αλγόριθμος διαχείρισης ενέργειας εισάγονται στην κεντρική μονάδα διαχείρισης, η οποία μπορεί να ενεργοποιεί και να απενεργοποιεί έξυπνες ηλεκτρικές συσκευές, ή συσκευές που τροφοδοτούνται από έξυπνες πρίζες ή διακόπτες. Η κεντρική μονάδα διαχείρισης, με τη βοήθεια του αλγόριθμου διαχείρισης ενέργειας, χωρίς να παραβιάζονται οι προτιμήσεις του χρήστη, ορίζει αν η πηγή ενέργειας των

ηλεκτρικών συσκευών θα είναι το ηλεκτρικό δίκτυο ή το σύστημα αποθήκευσης ενέργειας. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας με τους κατάλληλους μετατροπείς ισχύος μπορούν να αποθηκεύσουν την ενέργεια που παράγουν στο σύστημα αποθήκευσης ενέργειας. Επίσης το ηλεκτρικό δίκτυο, στην περίπτωση που είναι αναγκαίο, μπορεί να φορτίσει το σύστημα αποθήκευσης ενέργειας έπειτα από μετατροπή του εναλλασσόμενου ρεύματος σε συνεχές. Υπενθυμίζεται ότι οι αλγόριθμοι διαχείρισης ενέργειας που αναλύονται στα επόμενα κεφάλαια δεν εξετάζουν το σενάριο πώλησης της πλεονάζουσας παραγόμενης ενέργειας από τις Α.Π.Ε πίσω στον πάροχο ηλεκτρικής ενέργειας.

# 3.

## ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

---

### 3.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται οκτώ εναλλακτικοί αλγόριθμοι διαχείρισης ενέργειας (ΑΔΕ) σε πραγματικό χρόνο. Οι αλγόριθμοι εφαρμόζονται στο μοντέλο που παρουσιάστηκε και αναλύθηκε στο δεύτερο κεφάλαιο. Για λόγους ίσης αντιμετώπισης σε όλους τους αλγόριθμους εισάγονται τα ίδια δεδομένα. Καθώς οι αποφάσεις παίρνονται σε πραγματικό χρόνο, τα δεδομένα εισάγονται ανά ώρα.

Πιο συγκεκριμένα, το σύνολο των δεδομένων αποτελείται από τις καιρικές συνθήκες, από την ενέργεια που παράγουν οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, από την τιμολόγηση ηλεκτρικής ενέργειας σε πραγματικό χρόνο και από τις προτιμήσεις του χρήστη για τη λειτουργία των έξυπνων συσκευών και εφαρμογών.

Για κάθε αλγόριθμο αναφέρονται και εξηγούνται όλες οι μεταβλητές που περιλαμβάνουν και αναλύονται τα διαγράμματα ροής τους με όλες τις περιπτώσεις που μπορούν να προκύψουν. Στους αλγόριθμους που ακολουθούν ο βαθμός απόδοσης φόρτισης και εκφόρτισης των μπαταριών καθώς και των μετατροπέων DC/AC, AC/DC, DC/DC είναι 95%. [6]. Σε συνέχεια των παραπάνω, θα ακολουθήσουν στο κεφάλαιο 4 τα αποτελέσματα των υλοποιήσεων και στοιχεία που χρησιμοποιούνται στην αξιολόγηση των αλγορίθμων.

## 3.2 Μεταβλητές και παράμετροι

Σε αυτή την ενότητα αναφέρονται και εξηγούνται οι μεταβλητές και οι παράμετροι που περιλαμβάνονται στους αλγορίθμους διαχείρισης ενέργειας:

- Battery Power Level (BPL): αποτελεί την ποσότητα ενέργειας που είναι αποθηκευμένη στη συστοιχία μπαταριών σε μία συγκεκριμένη χρονική στιγμή  $t$ .

$$BPL(t) = BPL(t-1) - \frac{P_{discharge}}{n} \Delta t + P_{charge} * n \Delta t \quad (3.1)$$

όπου:

$P_{discharge}$ : η ισχύς εκφόρτισης κατά το χρονικό διάστημα από  $t-1$  έως  $t$ .

$P_{charge}$ : η ισχύς φόρτισης κατά το χρονικό διάστημα από  $t-1$  έως  $t$ .

$n$ : ο βαθμός απόδοσης φόρτισης/εκφόρτισης.

- $D$ : είναι ένας δείκτης ο οποίος υποδεικνύει αν οι μπαταρίες εκφορτίζονται ή φορτίζονται. Αν για μια συγκεκριμένη ώρα, η ενέργεια που χρειάζεται να προσφέρει το σύστημα αποθήκευσης είναι μεγαλύτερη από την ενέργεια που μπορούν να παράγουν οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ο δείκτης αυτός θα είναι αρνητικός. Σε αντίθετη περίπτωση, δηλαδή αν υπάρχει περίσσεια παραγόμενης ενέργειας η οποία θα φορτίσει και τις μπαταρίες ή αν το σύστημα αποθήκευσης δεν προσφέρει κάποιο ποσό ενέργειας, ο δείκτης αυτός θα είναι μηδενικός ή με θετικό πρόσημο.
- Dynamic Threshold Price (DTP): η DTP είναι ένα κατώφλι το οποίο ορίζεται από το χρήστη και αποτελεί κριτήριο για το εάν η τιμή της κιλοβατώρας την εκάστοτε χρονική στιγμή, χαρακτηρίζεται ως ακριβή ή ως φθηνή.
- $P_{gen}$ : είναι η ενέργεια που παράγουν οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.
- $P_{load}$ : υπολογίζεται στην αρχή κάθε ώρας και είναι το ποσό της εκτιμώμενης ισχύος που θα ζητηθεί για κατανάλωση από τις ηλεκτρικές συσκευές για τη συγκεκριμένη ώρα.
- $P_{load\_new}$ : είναι μια επανυπολογισμένη εκτιμώμενη κατανάλωση ενέργειας, για μια συγκεκριμένη ώρα, έπειτα από επεμβάσεις σε πραγματικό χρόνο του αλγόριθμου διαχείρισης ενέργειας, στον τρόπο λειτουργίας των ηλεκτρικών συσκευών.
- $P_{loadUC}$ : είναι η εκτιμώμενη κατανάλωση ενέργειας των μη-ελεγχόμενων ηλεκτρικών συσκευών ενός χρονικού βήματος.
- $P_{loadC}$ : είναι η εκτιμώμενη κατανάλωση ενέργειας των ελεγχόμενων ηλεκτρικών συσκευών ενός χρονικού βήματος.



- $P_{net}$ : υπολογίζεται στην αρχή κάθε ώρας και είναι για την ώρα εκείνη και μόνο, η διαφορά μεταξύ της παραγόμενης ισχύος από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και της ισχύος που εκτιμάται ότι θα ζητηθεί από τις ηλεκτρικές συσκευές.
- $P_{th}$ : είναι μία τιμή κατωφλίου που ορίζεται από το χρήστη και εκφράζει το επιθυμητό μέγιστο της κατανάλωσης ισχύος για κάθε ώρα.
- Real Time Pricing (RTP): είναι η τιμή της κιλοβατώρας σε πραγματικό χρόνο που αγοράζεται από την εταιρεία παροχής ηλεκτρικής ενέργειας για μια συγκεκριμένη ώρα. Όπως έχει προαναφερθεί, η τιμή αυτή εξαρτάται από τη ζήτηση. Έτσι στις ώρες αιχμής η ηλεκτρική ενέργεια είναι ακριβότερη.
- State of Charge (SoC): εκφράζει το ποσοστιαίο επίπεδο φόρτισης στο οποίο βρίσκεται σε μία χρονική στιγμή  $t$  η συστοιχία μπαταριών. Υπολογίζεται εκ νέου στην αρχή κάθε ώρας και έχει ζωτικό ρόλο στη λήψη των αποφάσεων.

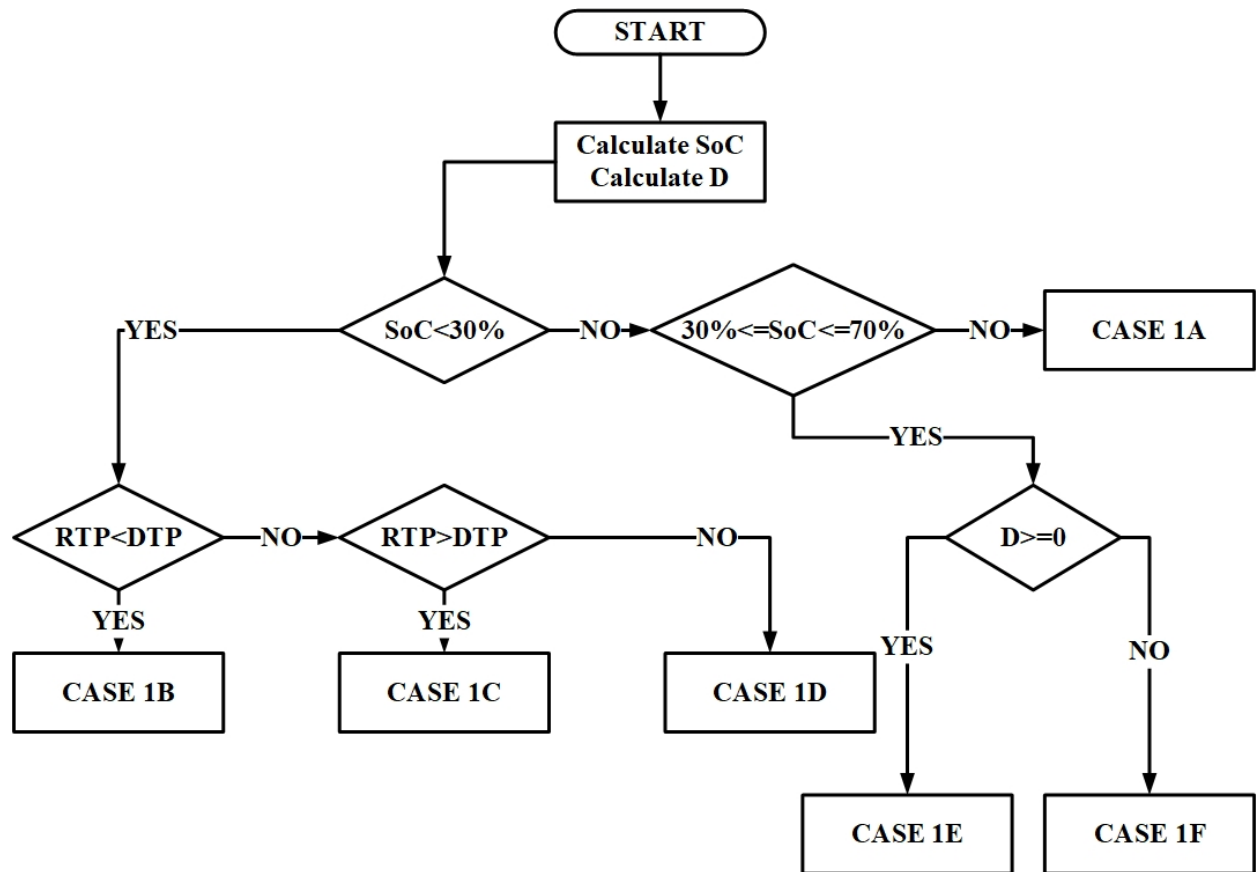
$$SoC(t) = \frac{BPL(t)}{BPL_{max}} \quad (3.2)$$

- $SoC_{safe1}$ : είναι το εύρος των επιθυμητών ποσοστιαίων επιπέδων φόρτισης των μπαταριών. Κυμαίνεται μεταξύ 60% και 75% του επιπέδου φόρτισης.
- $SoC_{safe2}$ : είναι το εύρος των επιθυμητών ποσοστιαίων επιπέδων φόρτισης των μπαταριών. Κυμαίνεται μεταξύ 25% και 35% του επιπέδου φόρτισης.

Τα εύρη  $SoC_{safe1}$  και  $SoC_{safe2}$  χρησιμοποιούνται στον τρίτο αλγόριθμο και εκφράζουν επιθυμητά όρια στα οποία πρέπει να βρίσκεται το επίπεδο φόρτισης των μπαταριών.

### 3.3 Αλγόριθμος ελέγχου κατάστασης φόρτισης

Ο αλγόριθμος αυτός έχει ως κύριο χαρακτηριστικό το ότι παίρνει αποφάσεις κυρίως ελέγχοντας σε πρώτη φάση το επίπεδο φόρτισης της μπαταρίας και σε δεύτερη φάση ελέγχοντας την τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας. Επίσης, οι ηλεκτρικές συσκευές κατηγοριοποιούνται σε τέσσερις ομάδες ανάλογα με τις προτιμήσεις του χρήστη και την κατανάλωση. Στην πρώτη ομάδα είναι συσκευές όπως η τηλεόραση και ο φωτισμός. Η δεύτερη ομάδα περιλαμβάνει το ψυγείο και το θερμοσίφωνο. Η τρίτη ομάδα περιέχει την ψύξη και τη θέρμανση και η τέταρτη το πλυντήριο πιάτων και ρούχων. Στο Σχήμα 3.1 φαίνεται το διάγραμμα ροής του αλγορίθμου, του οποίου οι διεργασίες αναλύονται στη συνέχεια [4].



Σχήμα 3.1: Διάγραμμα ροής πρώτου αλγόριθμου.

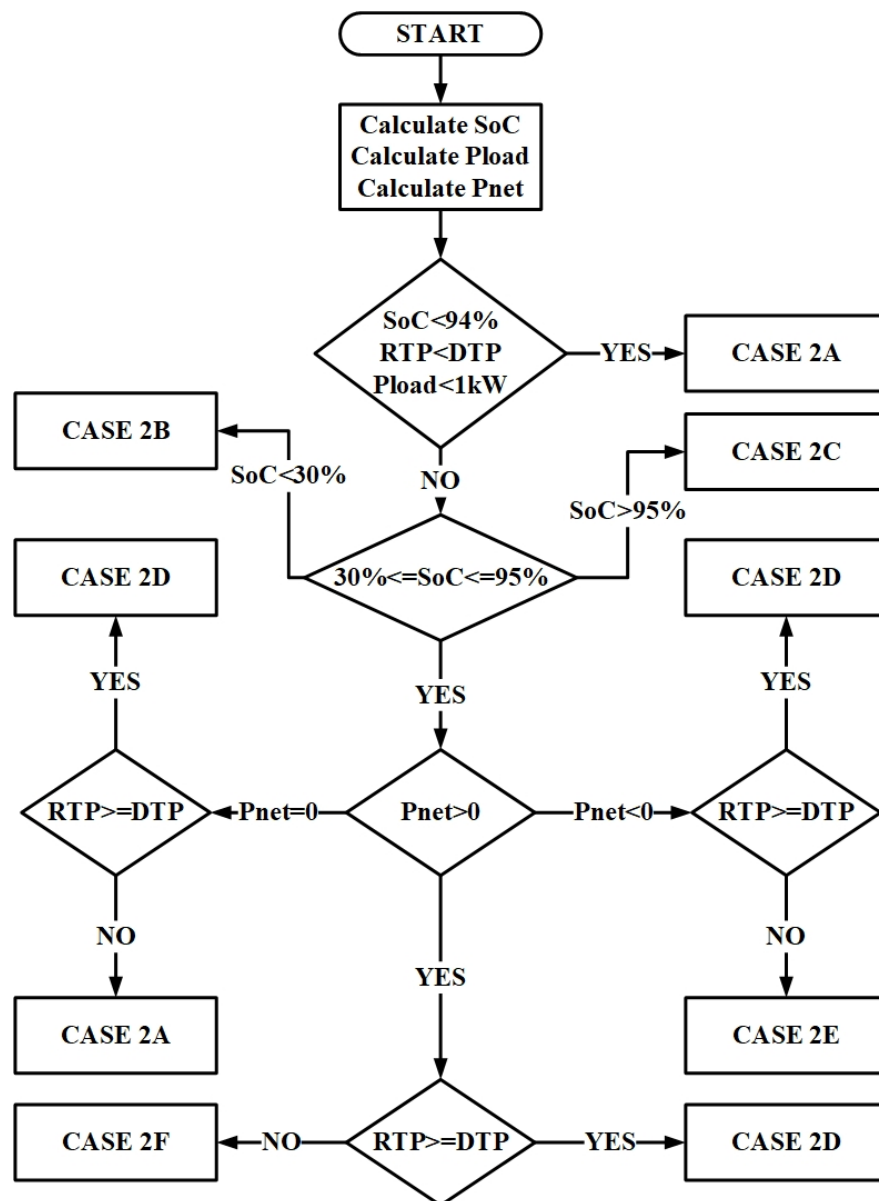
- CASE 1A: Στην περίπτωση αυτή το επίπεδο φόρτισης των μπαταριών είναι σε υψηλό επίπεδο, πάνω από 70%. Ο αλγόριθμος εκμεταλλεύεται το γεγονός αυτό και αναθέτει το σύνολο της κατανάλωσης των συσκευών στο σύστημα αποθήκευσης ενέργειας.
- CASE 1B: Στην περίπτωση αυτή το επίπεδο φόρτισης των μπαταριών είναι σε πολύ χαμηλό επίπεδο, μικρότερο από 30%. Όμως, το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας κρίνεται χαμηλό καθώς  $RTP < DTP$ . Επομένως, οι ηλεκτρικές συσκευές και εφαρμογές θα λειτουργήσουν ως έχουν και οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας θα αναλάβουν μόνο τη φόρτιση των μπαταριών, άρα η ζητούμενη ενέργεια καλύπτεται αποκλειστικά από το ηλεκτρικό δίκτυο.
- CASE 1C: Στην περίπτωση αυτή το επίπεδο φόρτισης των μπαταριών είναι σε πολύ χαμηλό επίπεδο, μικρότερο από 30%. Όμως, το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας κρίνεται υψηλό καθώς  $RTP > DTP$ . Επομένως, ο αλγόριθμος θα αυξήσει την τιμή της θερμοκρασίας που έχει ορίσει ο χρήστης ως επιθυμητή εσωτερικά του κτηρίου κατά τρεις μονάδες το καλοκαίρι και θα μειώσει την τιμή αυτή κατά τρεις μονάδες το χειμώνα. Επίσης, η λειτουργία των συσκευών της τέταρτης ομάδας αναβάλλονται για την επόμενη ώρα. Οι

ανανεώσιμες πηγές ενέργειας θα αναλάβουν μόνο τη φόρτιση των μπαταριών και η ζητούμενη ενέργεια καλύπτεται αποκλειστικά από το ηλεκτρικό δίκτυο.

- **CASE 1D:** Στην περίπτωση αυτή το επίπεδο φόρτισης των μπαταριών είναι σε πολύ χαμηλό επίπεδο, μικρότερο από 30%. Όμως, το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας δεν είναι ούτε υψηλό ούτε χαμηλό καθώς  $RTP=DTP$ . Επομένως, ο αλγόριθμος θα αυξήσει την τιμή της θερμοκρασίας που έχει ορίσει ο χρήστης ως επιθυμητή εσωτερικά του κτηρίου κατά δύο μονάδες το καλοκαίρι και θα μειώσει την τιμή αυτή κατά δύο μονάδες το χειμώνα. Επίσης, η λειτουργία των συσκευών της τέταρτης ομάδας αναβάλλονται για την επόμενη ώρα. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας θα αναλάβουν μόνο τη φόρτιση των μπαταριών και η ζητούμενη ενέργεια καλύπτεται αποκλειστικά από το ηλεκτρικό δίκτυο.
- **CASE 1E:** Στην περίπτωση αυτή το επίπεδο φόρτισης βρίσκεται μεταξύ 30% και 70%. Επίσης, η μεταβλητή  $D$  είναι μη αρνητική, επομένως οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας φορτίζουν τις μπαταρίες και ο αλγόριθμος αναθέτει τις ηλεκτρικές συσκευές της πρώτης και δεύτερης ομάδας στο σύστημα αποθήκευσης ενέργειας.
- **CASE 1F:** Στην περίπτωση αυτή το επίπεδο φόρτισης βρίσκεται μεταξύ 30% και 70%. Επίσης, η μεταβλητή  $D$  είναι αρνητική, επομένως οι μπαταρίες δεν βρίσκονται σε κατάσταση φόρτισης και ο αλγόριθμος αναθέτει τις ηλεκτρικές συσκευές της πρώτης ομάδας στο σύστημα αποθήκευσης ενέργειας, ενώ οι υπόλοιπες ανάγκες καλύπτονται από ηλεκτρικό δίκτυο.

### **3.4 Αλγόριθμος αναβολής λειτουργιών**

Ο αλγόριθμος αναβολής λειτουργιών έχει ως κύριο χαρακτηριστικό την τάση να αναβάλλει τη λειτουργία ελεγχόμενων ηλεκτρικών συσκευών σε επόμενη ή και σε επόμενες ώρες [5]. Χρησιμοποιεί για κάθε ώρα, ως κύρια κριτήρια για τη λήψη αποφάσεων, το επίπεδο φόρτισης των μπαταριών, την τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας σε πραγματικό χρόνο και την εκτιμωμένη κατανάλωση ενέργειας από τις ηλεκτρικές συσκευές. Στο Σχήμα 3.2 απεικονίζεται το διάγραμμα ροής του αλγόριθμου και στη συνέχεια επεξηγούνται όλες οι διεργασίες που μπορούν να προκύψουν.



Σχήμα 3.2: Διάγραμμα ροής δεύτερου αλγόριθμου.

- CASE 2A: Η περίπτωση αυτή ισχύει όταν:

- 1) για μια συγκεκριμένη ώρα το επίπεδο φόρτισης των μπαταριών είναι μικρότερο από 94%, η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας είναι μικρότερη από το όριο DTP και η συνολική εκτιμώμενη ισχύς που πρόκειται να καταναλωθεί από τις ηλεκτρικές συσκευές και εφαρμογές είναι μικρότερη από 3kW [5].
- 2) για μια συγκεκριμένη ώρα το επίπεδο φόρτισης είναι σε μεσαία προς υψηλά επίπεδα μεταξύ 30% και 95%, η συνολική παραγόμενη ισχύς από τις ανανεώσιμες πηγές

ενέργειας είναι υψηλότερη από την εκτιμώμενη ζήτηση ισχύος από τις ηλεκτρικές συσκευές, αλλά η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας είναι μικρότερη από το όριο DTP.

Αυτό που θα συμβεί είναι φόρτιση των μπαταριών και διατήρησή τους στο υψηλότερο δυνατό επίπεδο φόρτισης, καθώς και κάλυψη των ενεργειακών αναγκών από το ηλεκτρικό δίκτυο.

- **CASE 2B:** Στην περίπτωση αυτή το επίπεδο φόρτισης είναι μικρότερο από 30% και οι μπαταρίες βρίσκονται σε κρίσιμη κατάσταση. Για το λόγο αυτό, θα ξεκινήσει διαδικασία φόρτισης των μπαταριών από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και για να μειωθεί η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, αναβάλλεται η λειτουργία των ελεγχόμενων συσκευών για την επόμενη ώρα. Η ενέργεια που θα καταναλωθεί θα προέρχεται από το ηλεκτρικό δίκτυο.
- **CASE 2C:** Στην περίπτωση αυτή το επίπεδο φόρτισης των μπαταριών είναι μεγαλύτερο από 95%. Επομένως, είναι δυνατό να γίνει πλήρης ανάθεση της κάλυψης των ενεργειακών αναγκών από το σύστημα αποθήκευσης ενέργειας. Έτσι, δεν θα καταναλωθεί ενέργεια από το ηλεκτρικό δίκτυο.
- **CASE 2D:** Η περίπτωση αυτή ισχύει όταν:
  - 1) το επίπεδο φόρτισης είναι μεταξύ 30% και 95%, η συνολική παραγόμενη ισχύς από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι ίση από την εκτιμώμενη ζήτηση ισχύος από τις ηλεκτρικές συσκευές-εφαρμογές και όταν η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας είναι υψηλή.
  - 2) το επίπεδο φόρτισης είναι μεταξύ 30% και 95%, η συνολική παραγόμενη ισχύς από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι μεγαλύτερη από την εκτιμώμενη ζήτηση ισχύος από τις ηλεκτρικές συσκευές και όταν η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας είναι μεγαλύτερη από το όριο DTP.
  - 3) το επίπεδο φόρτισης είναι μεταξύ 30% και 95%, η συνολική παραγόμενη ισχύς από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι μικρότερη από την εκτιμώμενη ζήτηση ισχύος από τις ηλεκτρικές συσκευές και όταν η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας είναι μεγαλύτερη από το όριο DTP.

Τότε, οι ενεργειακές ανάγκες θα καλυφθούν από το σύστημα αποθήκευσης ενέργειας και εάν η εκτιμώμενη ζήτηση ισχύος των ηλεκτρικών συσκευών-εφαρμογών είναι μεγαλύτερη από το κατώφλι  $P_{th}$ , θα αναβληθεί η λειτουργία των ελεγχόμενων συσκευών για την επόμενη ώρα.

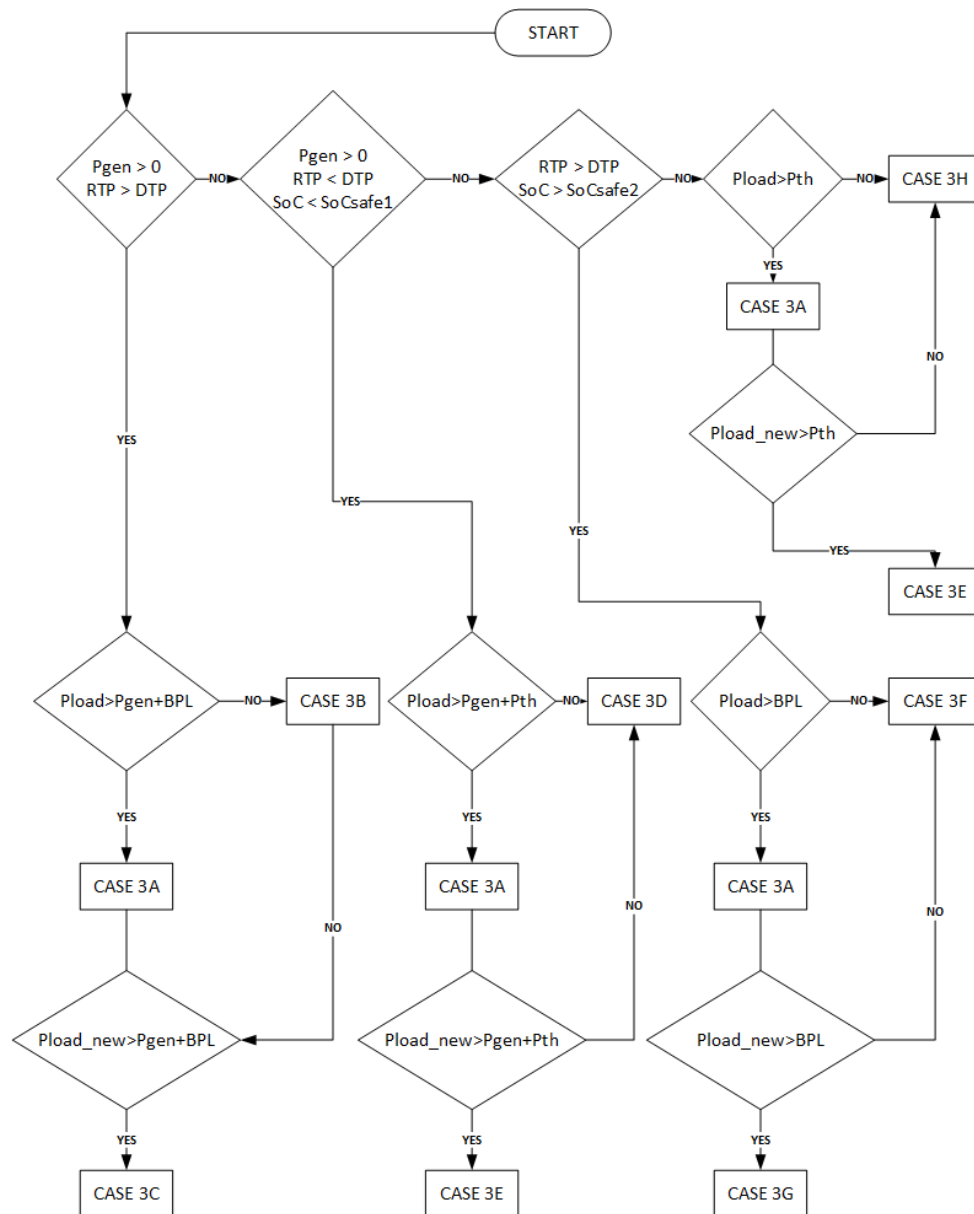
**CASE 2E:** Στην περίπτωση αυτή, το επίπεδο φόρτισης των μπαταριών βρίσκεται μεταξύ 30% και 95%, η παραγόμενη ισχύς είναι μικρότερη από την εκτιμώμενη

ζήτηση ισχύος από τις ηλεκτρικές συσκευές και η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας είναι μικρότερη από το όριο DTP. Έτσι, η ενέργεια που καταναλώνεται προέρχεται από το ηλεκτρικό δίκτυο και εάν η εκτιμώμενη κατανάλωση ισχύος ξεπερνάει το κατώφλι  $P_{th}$ , αναβάλλεται η λειτουργία των ελεγχόμενων συσκευών.

- CASE 2F: Εδώ, το επίπεδο φόρτισης των μπαταριών βρίσκεται μεταξύ 30% και 95%, η παραγόμενη ισχύς από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι μεγαλύτερη από την εκτιμώμενη κατανάλωση ισχύος των ηλεκτρικών συσκευών και η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας είναι μικρότερη από το όριο DTP. Για την περίπτωση αυτή οι ενεργειακές ανάγκες θα καλυφθούν αποκλειστικά από το ηλεκτρικό δίκτυο.

### **3.5 Αλγόριθμος μείωσης ζήτησης**

Ο Αλγόριθμος μείωσης ζήτησης, έχει ως κύριο χαρακτηριστικό σε κρίσιμες καταστάσεις να μειώνει την εκτιμώμενη ζήτηση ισχύος των ηλεκτρικών συσκευών, αναβάλλοντας ή τροποποιώντας το πρόγραμμα λειτουργίας των ελεγχόμενων ηλεκτρικών συσκευών [6]. Επίσης, και αυτός ο αλγόριθμος εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την τιμολόγηση ηλεκτρικής ενέργειας σε πραγματικό χρόνο, από το εκάστοτε επίπεδο φόρτισης του συστήματος αποθήκευσης ενέργειας και από τη συνολική παραγόμενη ισχύς από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Στο Σχήμα 3.3 απεικονίζεται το διάγραμμα ροής του αλγόριθμου και στη συνέχεια επεξηγούνται όλες διεργασίες που μπορούν να προκύψουν.



Σχήμα 3.3: Διάγραμμα ροής τρίτου αλγόριθμου.

- CASE 3A1: Η περίπτωση αυτή ισχύει όταν η παραγόμενη ισχύς από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι επαρκής, η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας είναι μεγαλύτερη από το όριο DTP ή το επίπεδο φόρτισης των μπαταριών είναι πάνω από το δείκτη  $SoC_{safe1}$  και η τιμή της μεταβλητής  $P_{load}$  είναι μεγαλύτερη από το άθροισμα της παραγόμενης ενέργειας και της ενέργειας του συστήματος αποθήκευσης για εκείνη τη στιγμή.

Τότε, ο αλγόριθμος επεμβαίνει σε πραγματικό χρόνο στο πρόγραμμα και στον τρόπο λειτουργίας των ελεγχόμενων ηλεκτρικών συσκευών, με σκοπό να μειωθεί η τιμή της μεταβλητής  $P_{load}$ . Ο τρόπος με τον οποίο θα γίνει η μείωση είναι αναστέλλοντας τη

λειτουργία των ελεγχόμενων ηλεκτρικών συσκευών, που ήταν προγραμματισμένες να λειτουργήσουν στο συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.

- CASE 3A2: Η περίπτωση αυτή ισχύει όταν η παραγόμενη ισχύς είναι επαρκής, η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας είναι μικρότερη από το όριο DTP, το επίπεδο φόρτισης των μπαταριών είναι κάτω από το δείκτη  $SoC_{safe1}$  και η μεταβλητή  $P_{load}$  είναι μεγαλύτερη από το άθροισμα της παραγόμενης ενέργειας και του μέγιστου ενέργειας που επιτρέπεται να αγοραστεί από το ηλεκτρικό δίκτυο.

Τότε, ο αλγόριθμος αναστέλλει τη λειτουργία των ελεγχόμενων ηλεκτρικών συσκευών που ήταν προγραμματισμένες να λειτουργήσουν στο συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, με σκοπό να μειωθεί η τιμή της μεταβλητής  $P_{load}$ .

- CASE 3A3: Η περίπτωση αυτή ισχύει όταν η παραγόμενη ισχύς δεν είναι επαρκής, η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας είναι μεγαλύτερη από το όριο DTP, το επίπεδο φόρτισης των μπαταριών είναι πάνω από το δείκτη  $SoC_{safe2}$  και η μεταβλητή  $P_{load}$  είναι μεγαλύτερη από την ενέργεια του συστήματος αποθήκευσης ενέργειας εκείνης της στιγμής.

Τότε, ο αλγόριθμος επεμβαίνει σε πραγματικό χρόνο στο πρόγραμμα και στον τρόπο λειτουργίας των ελεγχόμενων ηλεκτρικών συσκευών, αναστέλλοντας τη λειτουργία τους στο συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, με σκοπό να μειωθεί η τιμή της μεταβλητής  $P_{load}$ .

- CASE 3A4: Η περίπτωση αυτή ισχύει όταν η παραγόμενη ισχύς δεν είναι επαρκής, η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας είναι μικρότερη από το όριο DTP και η τιμή της μεταβλητής  $P_{load}$  είναι μικρότερη από το μέγιστο ενέργειας που επιτρέπεται να αγοραστεί από το ηλεκτρικό δίκτυο.

Τότε, ο αλγόριθμος επεμβαίνει σε πραγματικό χρόνο στο πρόγραμμα και στον τρόπο λειτουργίας των ελεγχόμενων ηλεκτρικών συσκευών, αναστέλλοντας τη λειτουργία τους για εκείνη τη χρονική στιγμή, με σκοπό να μειώσει την τιμή της μεταβλητής  $P_{load}$ .

- CASE 3B: Η περίπτωση αυτή ισχύει όταν:

- 1) η παραγόμενη ισχύς είναι επαρκής, η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας είναι υψηλή ή το επίπεδο φόρτισης των μπαταριών είναι πάνω από το δείκτη  $SoC_{safe1}$  και η τιμή της μεταβλητής  $P_{load}$  είναι μικρότερη από το άθροισμα της παραγόμενης ενέργειας και της ενέργειας του συστήματος αποθήκευσης για εκείνη τη στιγμή.



2) γίνεται εφαρμογή της περίπτωσης 3A1 και η τιμή της μεταβλητής  $P_{load\_new}$  είναι μικρότερη από το άθροισμα της παραγόμενης ενέργειας και της ενέργειας που βρίσκεται στο σύστημα αποθήκευσης ενέργειας.

Τότε, ο αλγόριθμος θα αναθέσει την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και στο σύστημα αποθήκευσης ενέργειας. Σε περίπτωση που αποθηκευμένη ενέργεια δεν επαρκεί, τότε η διαφορά ενέργειας θα αναπληρωθεί από το ηλεκτρικό δίκτυο.

- CASE 3C: Η περίπτωση αυτή ισχύει όταν γίνεται εφαρμογή της περίπτωσης 3A1 και η τιμή της μεταβλητής  $P_{load\_new}$  είναι μεγαλύτερη από το άθροισμα της παραγόμενης ενέργειας και της ενέργειας που είναι αποθηκευμένη στο σύστημα αποθήκευσης.

Τότε, η διαφορά ενέργειας αναγκαστικά θα αναπληρωθεί από το ηλεκτρικό δίκτυο.

- CASE 3D: Η περίπτωση αυτή ισχύει όταν:

- 1) η παραγόμενη ισχύς είναι επαρκής, η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας είναι χαμηλή, το επίπεδο φόρτισης των μπαταριών είναι κάτω από το δείκτη  $SoC_{safe1}$  και η τιμή της μεταβλητής  $P_{load}$  είναι μικρότερη από το άθροισμα της παραγόμενης ενέργειας και της μέγιστης επιτρεπόμενης ενέργειας που μπορεί να αγοραστεί από το ηλεκτρικό δίκτυο.
- 2) γίνεται εφαρμογή της περίπτωσης 3A2 και η τιμή της μεταβλητής  $P_{load\_new}$  είναι μικρότερη από το άθροισμα της παραγόμενης ενέργειας και της μέγιστης επιτρεπόμενης ενέργειας που μπορεί να αγοραστεί από το ηλεκτρικό δίκτυο.

Τότε, ο αλγόριθμος θα αναθέσει την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και στο ηλεκτρικό δίκτυο.

- CASE 3E1: Η περίπτωση αυτή ισχύει όταν γίνεται εφαρμογή της περίπτωσης 3A2 και η τιμή της μεταβλητής  $P_{load\_new}$  είναι μεγαλύτερη από το άθροισμα της παραγόμενης ενέργειας και της μέγιστης επιτρεπόμενης ενέργειας που μπορεί να αγοραστεί από το ηλεκτρικό δίκτυο.

Τότε, η διαφορά ενέργειας αναγκαστικά θα αναπληρωθεί από το σύστημα αποθήκευσης ενέργειας.

- CASE 3E2: Η περίπτωση αυτή ισχύει όταν γίνεται εφαρμογή της περίπτωσης 3A4 και η τιμή της μεταβλητής  $P_{load\_new}$  είναι μεγαλύτερη από τη μέγιστη επιτρεπόμενη ενέργεια που μπορεί να αγοραστεί από το ηλεκτρικό δίκτυο.

Τότε, η διαφορά ενέργειας αναγκαστικά θα αναπληρωθεί από το σύστημα αποθήκευσης ενέργειας. Σε περίπτωση που αποθηκευμένη ενέργεια δεν επαρκεί, τότε η διαφορά ενέργειας θα αναπληρωθεί από το ηλεκτρικό δίκτυο.

- CASE 3F: Η περίπτωση αυτή ισχύει όταν:

- 1) η παραγόμενη ισχύς είναι μη επαρκής, η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας είναι μεγαλύτερη από το όριο DTP, το επίπεδο φόρτισης των μπαταριών είναι πάνω από το δείκτη  $SoC_{safe2}$  και η τιμή της μεταβλητής  $P_{load}$  είναι μικρότερη από την ενέργεια που είναι αποθηκευμένη στο σύστημα αποθήκευσης ενέργειας.
- 2) γίνει εφαρμογή της περίπτωσης 3A3 και η τιμή της μεταβλητής  $P_{load\_new}$  είναι μικρότερη από την ενέργεια που είναι αποθηκευμένη στο σύστημα αποθήκευσης ενέργειας.

Τότε, ο αλγόριθμος θα αναθέσει την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών στο σύστημα αποθήκευσης ενέργειας. Σε περίπτωση που αποθηκευμένη ενέργεια δεν επαρκεί, τότε η διαφορά ενέργειας θα αναπληρωθεί από το ηλεκτρικό δίκτυο.

- CASE 3G: Η περίπτωση αυτή ισχύει όταν γίνει εφαρμογή της περίπτωσης 3A3 και η τιμή της μεταβλητής  $P_{load\_new}$  είναι μεγαλύτερη από την ενέργεια που είναι αποθηκευμένη στο σύστημα αποθήκευσης ενέργειας.

Τότε, η διαφορά ενέργειας αναγκαστικά θα αναπληρωθεί από το ηλεκτρικό δίκτυο.

- CASE 3H: Η περίπτωση αυτή ισχύει όταν:

- 1) η παραγόμενη ισχύς είναι μη επαρκής, η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας είναι μικρότερη από το όριο DTP, το επίπεδο φόρτισης των μπαταριών είναι κάτω από το δείκτη  $SoC_{safe2}$  και η τιμή της μεταβλητής  $P_{load}$  είναι μικρότερη από τη μέγιστη επιτρεπόμενη ενέργεια που μπορεί να αγοραστεί από το ηλεκτρικό δίκτυο.
- 2) γίνει εφαρμογή της περίπτωσης 3A4 και η τιμή της μεταβλητής  $P_{load\_new}$  είναι μικρότερη από τη μέγιστη επιτρεπόμενη ενέργεια που μπορεί να αγοραστεί από το ηλεκτρικό δίκτυο.

Τότε, ο αλγόριθμος θα αναθέσει την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών στο ηλεκτρικό δίκτυο.

### 3.6 Αλγόριθμος ελέγχου τιμής

Ο αλγόριθμος ελέγχου τιμής έχει ως κύριο κριτήριο για τις αποφάσεις του, την τιμή σε πραγματικό χρόνο της ηλεκτρικής ενέργειας [7]. Σε πρώτη φάση ελέγχει αν αυτή η τιμή είναι υψηλή ή χαμηλή και στη συνέχεια, με τη βοήθεια και άλλων μεταβλητών, όπως το εκάστοτε επίπεδο φόρτισης των μπαταριών και το κατώφλι επιτρεπόμενης κατανάλωσης ενέργειας από το ηλεκτρικό δίκτυο, θα πάρει τις αποφάσεις που πρέπει. Στο Σχήμα 3.4 ακολουθεί το διάγραμμα ροής του αλγόριθμου και η ανάλυση των περιπτώσεων του.

- CASE 4A: Η περίπτωση αυτή ισχύει όταν η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας είναι υψηλή και το επίπεδο φόρτισης των μπαταριών είναι κάτω από 50%.

Τότε, ο αλγόριθμος θα επέμβει στον τρόπο λειτουργίας και στον προγραμματισμό των ελεγχόμενων ηλεκτρικών συσκευών αναστέλλοντας τη λειτουργία τους, θα φορτίσει με τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας τις μπαταρίες του συστήματος αποθήκευσης ενέργειας και θα καλύψει τις ενεργειακές ανάγκες του κτηρίου με αγορά ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο.

- CASE 4B: Η περίπτωση αυτή ισχύει όταν η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας είναι μεγαλύτερη από το κατώφλι DTP, το επίπεδο φόρτισης των μπαταριών είναι πάνω από 50% και η συνολική εκτιμώμενη κατανάλωση ενέργειας των ηλεκτρικών συσκευών είναι μεγαλύτερη από την ενέργεια που μπορεί να προσφέρει εκείνη τη στιγμή το σύστημα αποθήκευσης.

Τότε, ο αλγόριθμος θα επέμβει στον προγραμματισμό και στον τρόπο λειτουργίας των ηλεκτρικών συσκευών αναστέλλοντας τη λειτουργία τους για τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή, ώστε να μειωθεί η ζήτηση.

- CASE 4C: Η περίπτωση αυτή ισχύει όταν:

- 1) η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας είναι μεγαλύτερη από το κατώφλι DTP το επίπεδο φόρτισης των μπαταριών είναι πάνω από 50% και η συνολική εκτιμώμενη κατανάλωση ενέργειας των ηλεκτρικών συσκευών είναι μικρότερη από την ενέργεια που μπορεί να προσφέρει εκείνη τη στιγμή το σύστημα αποθήκευσης.
- 2) μετά την εφαρμογή της περίπτωσης 4B η νέα συνολική εκτιμώμενη κατανάλωση είναι μικρότερη από την ενέργεια που μπορεί να προσφέρει το σύστημα αποθήκευσης.

Τότε, ο αλγόριθμος θα αναθέσει την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών αποκλειστικά στο σύστημα αποθήκευσης ενέργειας.

- CASE 4D: Η περίπτωση αυτή ισχύει αν μετά την εφαρμογή της περίπτωσης 4B, η νέα συνολική εκτιμώμενη κατανάλωση εξακολουθεί να είναι μεγαλύτερη από την ενέργεια που μπορεί να προσφέρει το σύστημα αποθήκευσης.

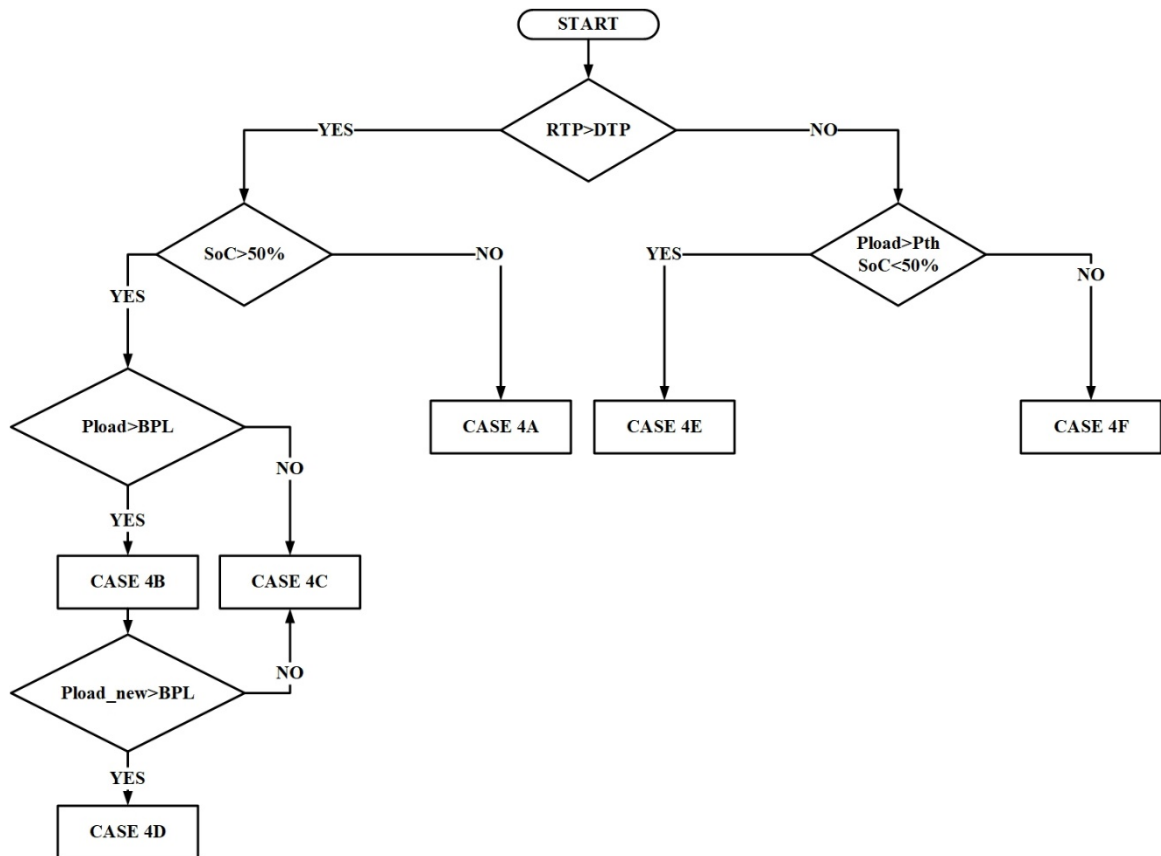
Τότε, ο αλγόριθμος θα χρησιμοποιήσει για όσο μπορεί το σύστημα αποθήκευσης ενέργειας ως τροφοδοσία και θα αναπληρώσει την απαιτούμενη ενέργεια αγοράζοντας από το ηλεκτρικό δίκτυο.

- CASE 4E: Η περίπτωση αυτή ισχύει όταν η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας είναι μικρότερη από το δείκτη DTP και η συνολική εκτιμώμενη κατανάλωση των ηλεκτρικών συσκευών είναι μικρότερη από το κατώφλι της μέγιστης επιτρεπόμενης κατανάλωσης από το ηλεκτρικό δίκτυο.

Τότε, ο αλγόριθμος θα αναθέσει την κάλυψη των αναγκών στο ηλεκτρικό δίκτυο και αν το επίπεδο των μπαταριών είναι κάτω από 50%, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας θα τις φορτίσουν.

- CASE 4F: Η περίπτωση αυτή ισχύει όταν η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας είναι μικρότερη από το όριο DTP και η συνολική εκτιμώμενη κατανάλωση των ηλεκτρικών συσκευών είναι μεγαλύτερη από το κατώφλι της μέγιστης επιτρεπόμενης κατανάλωσης από το ηλεκτρικό δίκτυο.

Τότε, ο αλγόριθμος θα αναθέσει την κάλυψη των αναγκών στο ηλεκτρικό δίκτυο, αφού πρώτα παρέμβει στον προγραμματισμό και τη λειτουργία των ελεγχόμενων συσκευών, αναστέλλοντας τη λειτουργία της για τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή, ώστε να μειώσει τη ζήτηση. Επίσης, αν το επίπεδο φόρτισης των μπαταριών είναι πάνω από 50%, το σύστημα αποθήκευσης ενέργειας μπορεί να βοηθήσει στην τροφοδότηση.



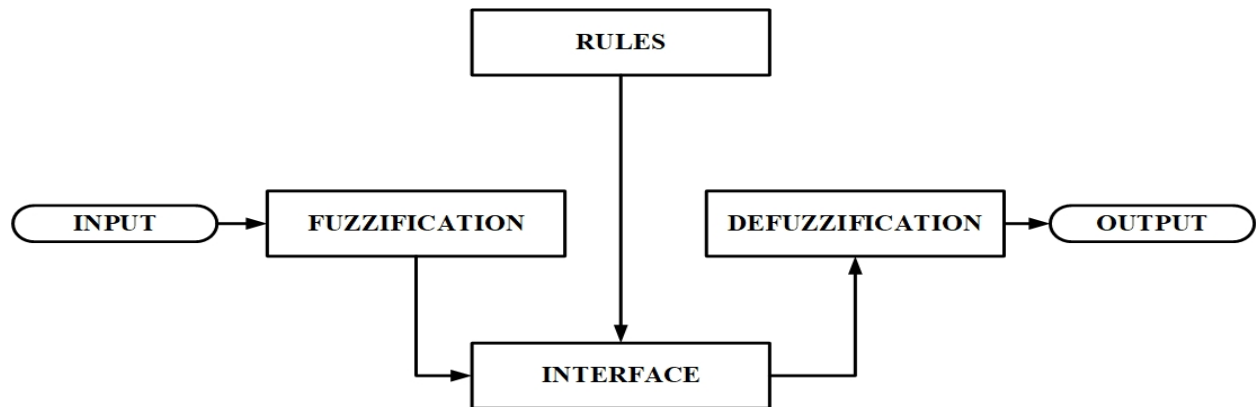
Σχήμα 3.4: Διάγραμμα ροής τέταρτου αλγόριθμου.

### 3.7 Αλγόριθμος με ελεγκτή ασαφούς λογικής

Ο αλγόριθμος που παρουσιάζεται σε αυτή την ενότητα διαφέρει κατά πολύ από τους προηγούμενους, καθώς οι αποφάσεις του καθορίζονται από την έξοδο ενός ελεγκτή ασαφούς λογικής (Fuzzy Logic Controller), με συναρτήσεις συμμετοχής τραπεζοειδούς μορφής (Trapezoidal Membership Function) και με τύπο συνεπαγωγής Mamdani (Mamdani Type Interface) [8]. Οι μεταβλητές εισόδου είναι η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας (price) και το επίπεδο φόρτισης των μπαταριών (SoC).

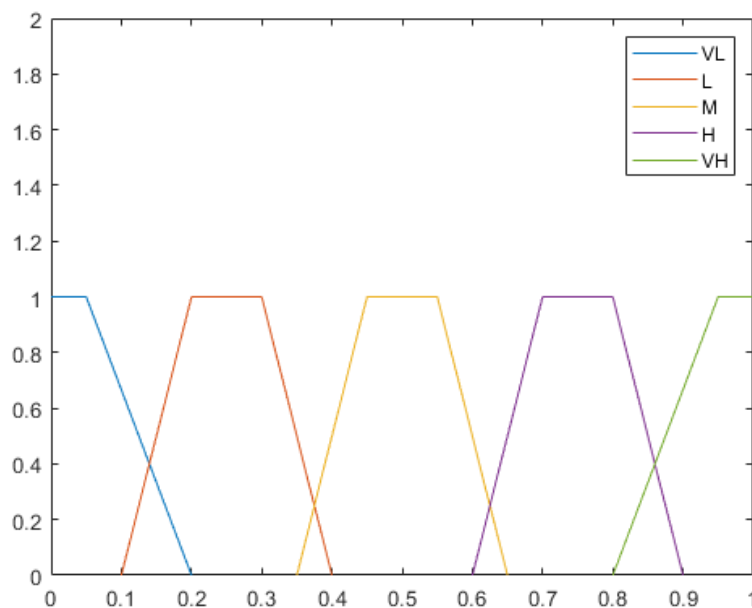
Η ασαφής λογική στηρίζεται στην επέκταση της έννοιας του κλασσικού συνόλου, που ορίζεται στο σύνολο  $\{0,1\}$ . Δηλαδή, η τιμή μίας μεταβλητής δεν είναι μόνο 1 ή 0, αλλά μπορεί να είναι οποιαδήποτε στο κλειστό διάστημα  $[0,1]$ . Έτσι οι τιμές είναι άπειρες. Ακόμα, στην ασαφή λογική ένα στοιχείο μπορεί και να είναι μέρος ενός συνόλου αλλά και να μην είναι. Αυτό εξαρτάται από τον βαθμό συμμετοχής του στο σύνολο αυτό. Ωστόσο, έρχεται σε αντίθεση με την κλασσική λογική, καθώς εκεί υπάρχει διαυγής διάκριση των στοιχείων που περιλαμβάνονται ή που δεν περιλαμβάνονται σε ένα σύνολο [9].

Οι είσοδοι και οι έξοδοι ενός ασαφούς ελεγκτή [9] είναι φυσικές μεταβλητές. Επομένως, για την ασαφοποίηση (Fuzzification) των εισόδων εκτελεί τη διαδικασία fuzzification και για την αποασαφοποίηση (Defuzzification) των εξόδων εκτελεί τη διαδικασία defuzzification. Στο Σχήμα 3.5 φαίνεται η βασική δομή ενός ασαφούς ελεγκτή.



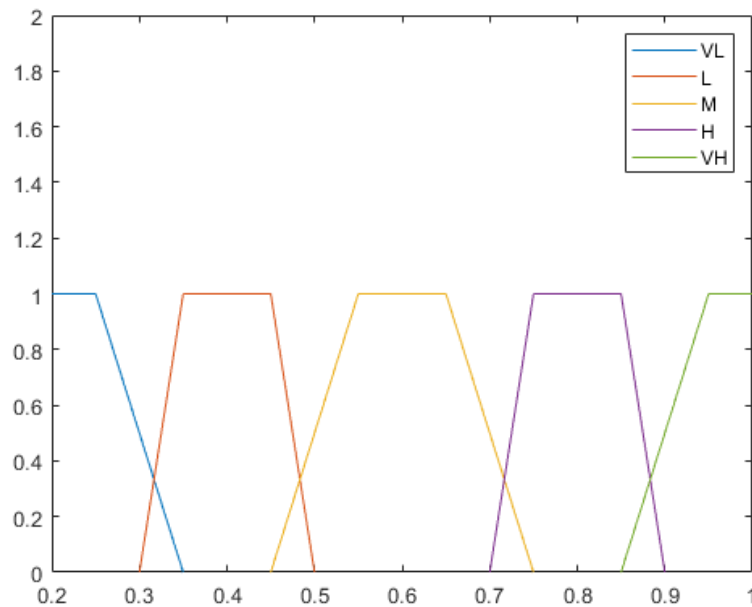
Σχήμα 3.5: Βασική δομή ελεγκτή ασαφούς λογικής.

Για τη μεταβλητή εισόδου price, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.6 [8], δημιουργήθηκαν πέντε συναρτήσεις συμμετοχής με λεκτικές τιμές: VL (Very Low), L (Low), M (Medium), H (High), VH (Very High).



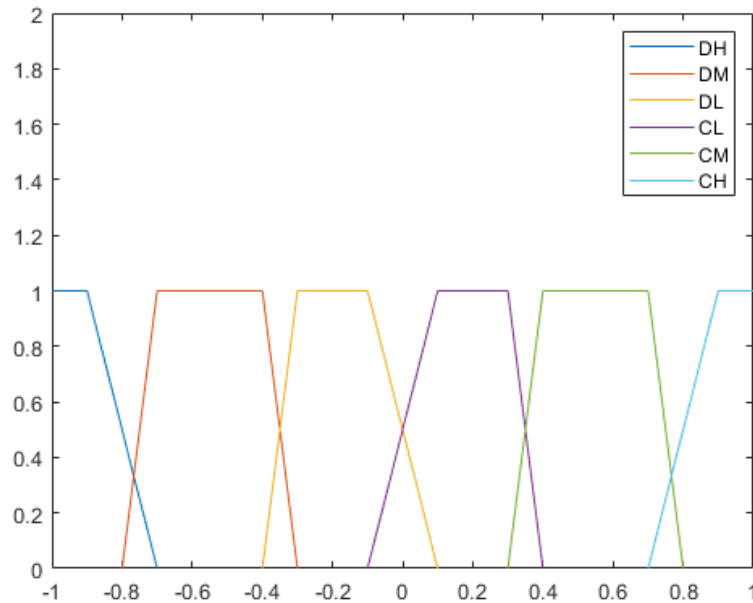
Σχήμα 3.6: Συναρτήσεις συμμετοχής μεταβλητής price.

Για τη μεταβλητή εισόδου SoC, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.7 [8], δημιουργήθηκαν πέντε συναρτήσεις συμμετοχής με λεκτικές τιμές: VL (Very Low), L (Low), M (Medium), H (High), VH (Very High).



Σχήμα 3.7: Συναρτήσεις συμμετοχής της μεταβλητής SoC.

Για τη μεταβλητή εξόδου BPL (BatteryPowerLevel), όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.8[8], δημιουργήθηκαν έξι συναρτήσεις συμμετοχής με λεκτικές τιμές: DH (Discharged High), DM (Discharge Medium), DL (Discharge Low), CL (Charge Low), CM (Charge Medium), CH (Charge High).



Σχήμα 3.8: Συναρτήσεις συμμετοχής μεταβλητής εξόδου.

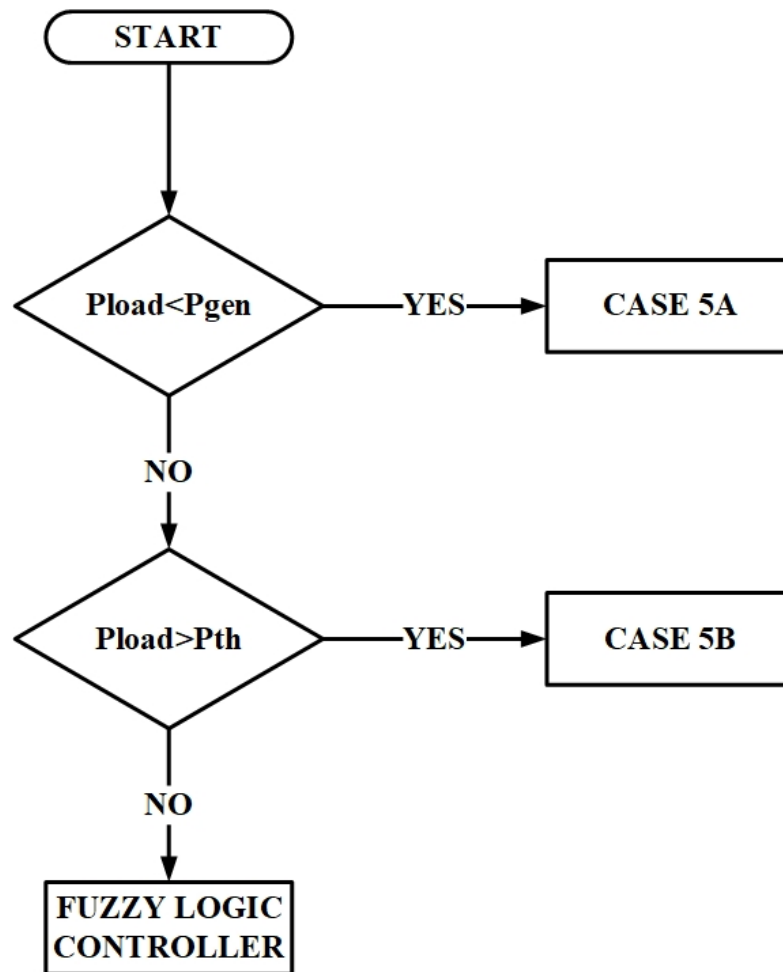
Ένα σύνολο “IF-THEN” ασαφών κανόνων (Rules) αποτελούν το ασαφές σύστημα. Οι κανόνες αυτοί αποτελούν τη βάση γνώσης (knowledge base) και χρησιμοποιούν ένα σύνολο από λέξεις εισόδου, τις οποίες αντιστοιχούν σε λέξεις εξόδου. Οι λέξεις εισόδου σχετίζονται με την τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας και το SOC και διακρίνονται σε πολύ χαμηλή (VL), χαμηλή (L), μεσαία (M), υψηλή (H) και πολύ υψηλή (VH). Οι λέξεις εξόδου αντιστοιχούν στην ισχύ της μπαταρίας και εκφράζονται στις γλωσσικές μεταβλητές: υψηλή εκφόρτιση (DH), μεσαία εκφόρτιση (DM), χαμηλή εκφόρτιση (DL), χαμηλή φόρτιση (CL), μεσαία φόρτιση (CM) και υψηλή φόρτιση (CH). Το πλήθος των ασαφών μεταβλητών και των ασαφών συνόλων προσδιορίζουν τον αριθμό των ασαφών λεκτικών κανόνων, που θα αποτελούν το ασαφές σύστημα ελέγχου [9]. Για να υπολογιστεί ο βαθμός συμμετοχής, στη διαδικασία εξαγωγής αποτελεσμάτων (interface) πραγματοποιείται ανίχνευση των ασαφών κανόνων στη βάση γνώσης. Στον Πίνακα 3.1 φαίνεται το σύνολο των κανόνων.



Πίνακας 3.1: Ασαφείς λεκτικοί κανόνες.

<b>SoC\Price</b>	<b>VL</b>	<b>L</b>	<b>M</b>	<b>H</b>	<b>VH</b>
<b>VL</b>	CH	CH	CH	CH	CH
<b>L</b>	CH	CM	CL	CL	CL
<b>M</b>	CM	CL	DM	DM	DM
<b>H</b>	DL	DM	DM	DH	DH
<b>VH</b>	DH	DH	DH	DH	DH

Στη συνέχεια ακολουθεί το διάγραμμα ροής του αλγορίθμου με χρήση ελεγκτή Ασαφούς Λογικής και η ανάλυση των περιπτώσεων του και των κανόνων του ελεγκτή ασαφούς λογικής.



Σχήμα 3.9: Διάγραμμα ροής πέμπτου αλγόριθμου.

- **CASE 5A:** Η περίπτωση αυτή ισχύει όταν η συνολική εκτιμώμενη ισχύς που θα καταναλώσουν οι ηλεκτρικές συσκευές είναι μικρότερη από την παραγόμενη ισχύ των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Τότε, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας θα καλύψουν την προβλεπόμενη ζήτηση και η περίσσεια ισχύος θα φορτίσει τις μπαταρίες.

- **CASE 5B:** Η περίπτωση αυτή ισχύει όταν η συνολική προβλεπόμενη ισχύς που επίκειται να καταναλωθεί είναι μεγαλύτερη από την παραγόμενη ισχύ των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και μεγαλύτερη από το κατώφλι  $P_{th}$ .

Τότε, με σκοπό να αποφευχθεί η αγορά ενέργειας από το ηλεκτρικό δίκτυο, η παραγόμενη ενέργεια μαζί με την ενέργεια του συστήματος αποθήκευσης, θα καλύψουν τις ενεργειακές ανάγκες του κτηρίου. Όμως εάν δεν επαρκούν, η υπολειπόμενη ενέργεια θα καλυφθεί από το ηλεκτρικό δίκτυο.

- Fuzzy Logic Controller: Η ροή του αλγόριθμου θα εισέλθει στον ελεγκτή ασαφούς λογικής όταν η συνολική προβλεπόμενη ισχύς που επίκειται να καταναλωθεί από τις ηλεκτρικές συσκευές είναι μεγαλύτερη από την παραγόμενη ισχύ των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και μικρότερη από το κατώφλι  $P_{th}$ .

Τότε σύμφωνα με τον Πίνακα 3.1 για το κάθε ζεύγος εισόδου έχουμε και την κατάλληλη έξοδο:

- 1) Charge High (CH): Οι μπαταρίες του συστήματος αποθήκευσης ενέργειας βρίσκονται σε κρίσιμο επίπεδο και όλοι οι πόροι διοχετεύονται στη φόρτιση τους. Οι ενεργειακές ανάγκες καλύπτονται από το ηλεκτρικό δίκτυο.
- 2) Charge Medium (CM): Οι μπαταρίες του συστήματος αποθήκευσης ενέργειας βρίσκονται σε σχεδόν κρίσιμο επίπεδο και η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας είναι χαμηλή. Επομένως, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας θα φορτίσουν τις μπαταρίες και οι ενεργειακές ανάγκες του κτηρίου θα καλύπτονται από το ηλεκτρικό δίκτυο.
- 3) Charge Low (CL): Οι μπαταρίες του συστήματος αποθήκευσης ενέργειας βρίσκονται σε σχεδόν ικανοποιητικό επίπεδο και η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας είναι μεγαλύτερη από το όριο DTP. Επομένως, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας θα καλύψουν τις ενεργειακές ανάγκες του κτηρίου, ώστε να αποφευχθεί η αγορά ηλεκτρικής ενέργειας από το ηλεκτρικό δίκτυο. Εάν η παραγόμενη από τις Α.Π.Ε. ενέργεια δεν επαρκεί τότε θα βοηθήσει και το σύστημα αποθήκευσης ενέργειας καταναλώνοντας ενέργεια από τα αποθέματα του, ενώ αν υπάρχει περίσσεια παραγόμενης ενέργειας θα διοχετευτεί για τη φόρτιση των μπαταριών.
- 4) Discharge Low (DL): Η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας είναι ίση με το όριο DTP και το επίπεδο φόρτισης των μπαταριών είναι πάνω από 50% και χρησιμοποιούνται μαζί με την παραγόμενη ενέργεια, ώστε να επιτευχθεί όσο το δυνατόν λιγότερη αγορά ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο. Η αγορά από το δίκτυο πραγματοποιείται εάν τα παραπάνω δεν επαρκούν.
- 5) Discharge Medium (DM): Το επίπεδο φόρτισης των μπαταριών είναι αρκετά υψηλό, όπως και η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας. Για το λόγο αυτό, ο αλγόριθμος θα αναθέσει, στο σύστημα αποθήκευσης ενέργειας και στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του κτηρίου. Εάν τα παραπάνω δεν επαρκούν, τότε αναγκαστικά θα αγοραστεί ενέργεια από το ηλεκτρικό δίκτυο για να καλυφθούν οι ανάγκες.

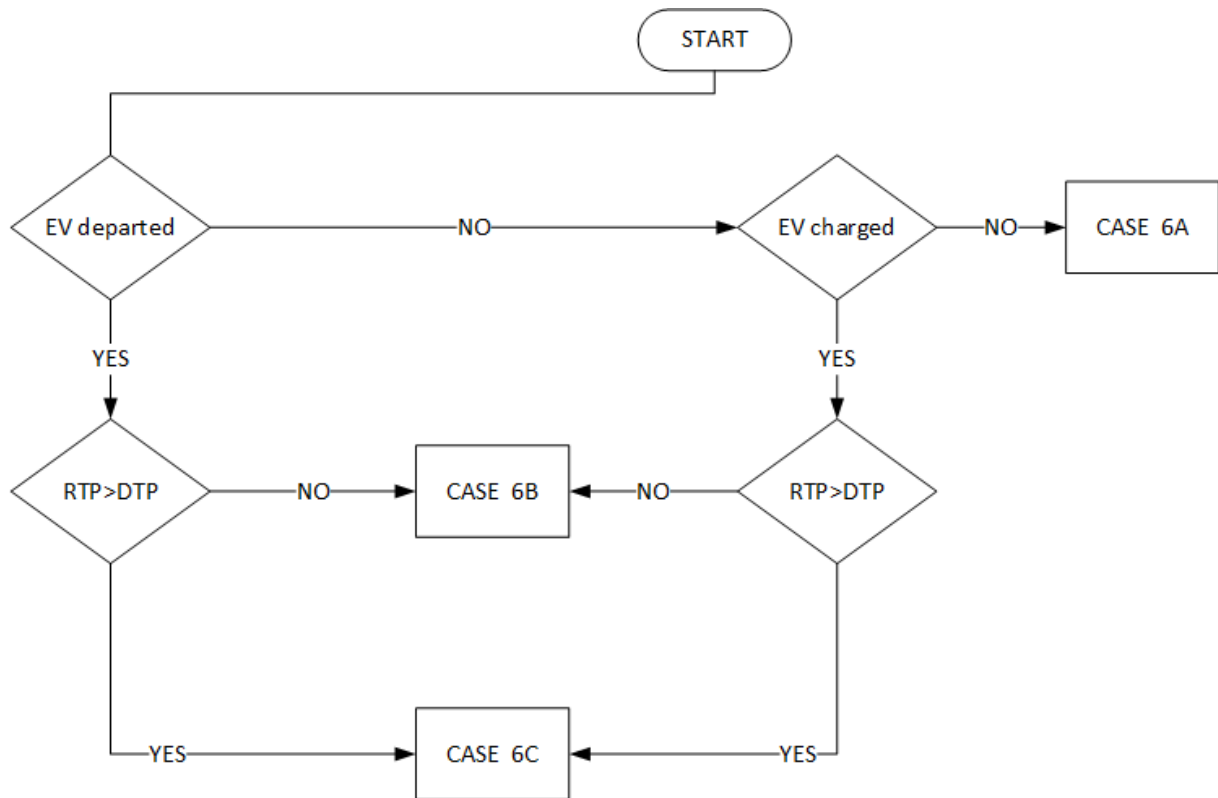
- 6) Discharge High (DH): Οι μπαταρίες είναι γεμάτες ή σχεδόν γεμάτες και η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας υψηλή. Επομένως, αναλαμβάνουν την πλήρη κάλυψη των ενεργειακών αναγκών, έτσι ώστε να μην αγοραστεί ενέργεια από το ηλεκτρικό δίκτυο.

### **3.8 Αλγόριθμος κυλιόμενου χρονικού ορίζοντα**

Για αυτόν τον αλγόριθμο, θα πρέπει να είναι γνωστή η κατάσταση μπαταρίας και η ώρα άφιξης και αναχώρησης του ηλεκτρικού οχήματος [10]. Αυτές οι παράμετροι είναι απαραίτητες καθώς επηρεάζουν τις αποφάσεις σχετικά με τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας. Το ηλεκτρικό όχημα καταναλώνει αρκετή ενέργεια για τη φόρτισή του, ενώ θα πρέπει να είναι φορτισμένο ανά πάσα στιγμή έτσι ώστε να μπορεί να καλύψει την ανάγκη μετακίνησης του τελικού χρήστη. Έτσι, ο αλγόριθμος αυτός ελέγχοντας τις διαδρομές του ηλεκτρικού οχήματος και υπολογίζοντας τη μέση τιμή των χιλιομέτρων που διανύει ημερησίως, θα παρέχει σε αυτό την απαραίτητη ηλεκτρική ενέργεια που χρειάζεται για να καλυφθούν οι ανάγκες του χρήστη και να αγοραστεί όσο το δυνατόν λιγότερη ηλεκτρική ενέργεια από το δίκτυο.

Όσον αφορά τους υπόλοιπους αλγορίθμους σε σχέση με το ηλεκτρικό όχημα, ο πρώτος, δεύτερος και πέμπτος αλγόριθμος, αντιμετωπίζουν το ηλεκτρικό όχημα ως μία αυτοματοποιημένη συσκευή όμοια με όλες τις υπόλοιπες έξυπνες συσκευές. Ο έβδομος αλγόριθμός χρησιμοποιεί το ηλεκτρικό όχημα ως συσκευή αποθήκευσης ενέργειας, η οποία στη συνέχεια συνδέεται στο κτήριο για την παροχή φορτίου. Τέλος, ο τρίτος, τέταρτος και όγδοος αλγόριθμός το διαχειρίζεται ως μία κοινή συσκευή.

Στη συνέχεια, ακολουθεί το διάγραμμα ροής του αλγόριθμου και η ανάλυση των περιπτώσεων του.

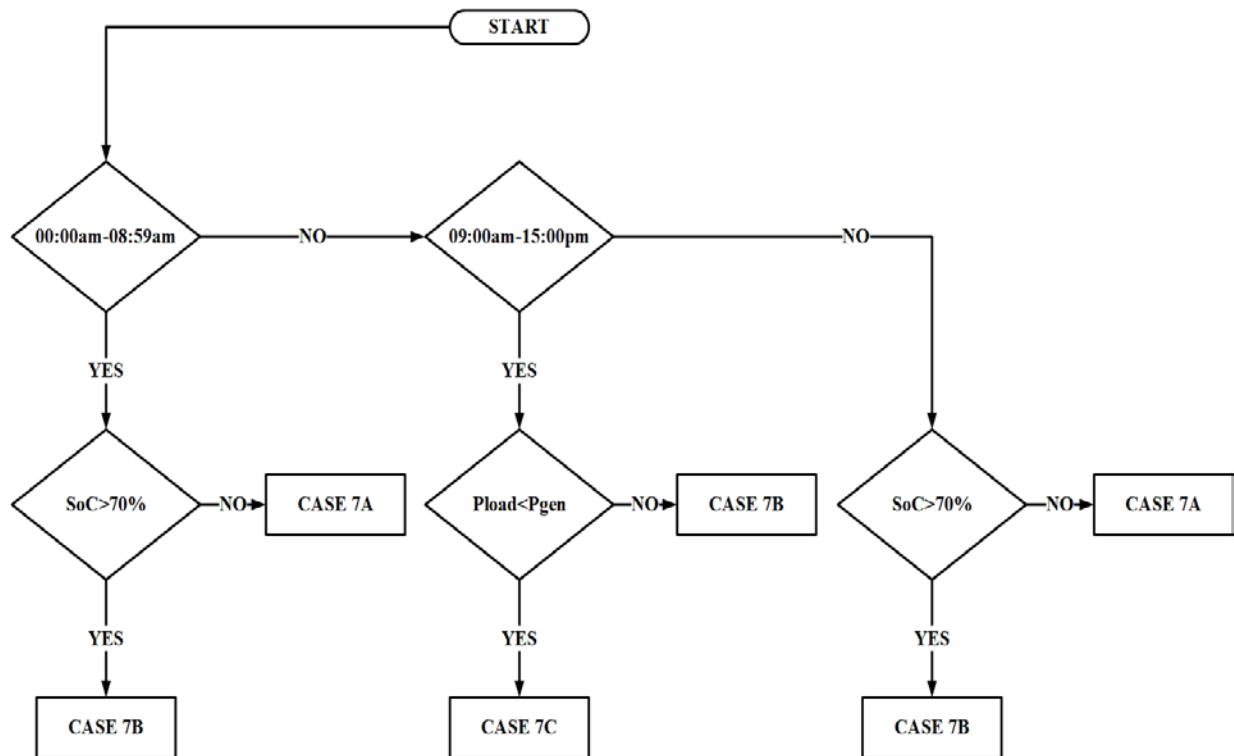


Σχήμα 3.10: Διάγραμμα ροής έκτου αλγόριθμου.

- **CASE 6A:** Στην περίπτωση αυτή το ηλεκτρικό όχημα δεν έχει αναχωρήσει και ούτε είναι πλήρως φορτισμένο. Επομένως, θα πρέπει να φορτιστεί τουλάχιστον όσο χρειάζεται για να καλυφθούν οι χιλιομετρικές ανάγκες του χρήστη. Εάν η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας είναι μεγαλύτερη από το όριο DTP, τότε θα ανασταλεί η λειτουργία των ελεγχόμενων συσκευών και το ηλεκτρικό όχημα θα φορτιστεί από την αποθηκευμένη ενέργεια. Εάν αυτό δεν επαρκεί θα χρησιμοποιηθεί ενέργεια και από το ηλεκτρικό δίκτυο.
- **CASE 6B:** Στην περίπτωση αυτή το ηλεκτρικό όχημα απουσιάζει από το κτήριο ή βρίσκεται σε αυτό πλήρως φορτισμένο και η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας είναι μικρότερη από το όριο DTP. Οι Α.Π.Ε θα φορτίσουν τις μπαταρίες και οι ανάγκες των ηλεκτρικών συσκευών θα καλυφθούν από το δίκτυο.
- **CASE 6C:** Η περίπτωση αυτή ισχύει όταν το ηλεκτρικό όχημα απουσιάζει από το κτήριο ή βρίσκεται σε αυτό πλήρως φορτισμένο και η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας είναι πάνω από το όριο DTP. Η λειτουργία των ελεγχόμενων συσκευών θα ανασταλεί και το σύστημα αποθήκευσης ενέργειας θα καλύψει τις ενεργειακές ανάγκες. Σε περίπτωση που δεν επαρκεί τότε αναγκαστικά θα αγοραστεί ενέργεια από το ηλεκτρικό δίκτυο.

### 3.9 Αλγόριθμος ελέγχου χρονικής περιόδου

Ο Αλγόριθμος ελέγχου χρονικής περιόδου χωρίζει ουσιαστικά το 24ωρο σε τρεις χρονικές περιόδους, με κριτήριο την επιβάρυνση του ηλεκτρικού δικτύου από το σύνολο των χρηστών [11]. Το κριτήριο αυτό υπάρχει γιατί όπως έχει προαναφερθεί στις αγορές ηλεκτρικής ενέργειας σε πραγματικό χρόνο, οι τιμές είναι υψηλότερες τις ώρες αιχμής. Στη συνέχεια, ακολουθεί στο Σχήμα 3.11 το διάγραμμα ροής του αλγορίθμου και η ανάλυση των περιπτώσεών του.



Σχήμα 3.11: Διάγραμμα ροής έβδομου αλγορίθμου.

- CASE 7A: Η περίπτωση αυτή ισχύει όταν:

- 1) μία συγκεκριμένη χρονική στιγμή, η ώρα είναι μεταξύ 00:00πμ και 08:59πμ και το επίπεδο φόρτισης των μπαταριών είναι μικρότερο από 70%.
- 2) μία συγκεκριμένη χρονική στιγμή, η ώρα είναι μεταξύ 15:01μμ και 23:59μμ και το επίπεδο φόρτισης των μπαταριών είναι μικρότερο από 70%.

Τότε, ο αλγόριθμος θα εκμεταλλευτεί το γεγονός ότι η συγκεκριμένη χρονική στιγμή είναι εκτός ωρών αιχμής, το οποίο σημαίνει ότι η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας είναι συνήθως μικρότερη από το όριο DTP. Επομένως, οι ανάγκες ηλεκτρικής ενέργειας θα καλυφθούν

από το δίκτυο και οι μπαταρίες θα φορτίσουν από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας με στόχο την πλήρη φόρτιση και ετοιμότητά τους.

- **CASE 7B:** Η περίπτωση αυτή ισχύει όταν:

- 1) μία συγκεκριμένη χρονική στιγμή, η ώρα είναι μεταξύ 00:00πμ και 08:59πμ και το επίπεδο φόρτισης των μπαταριών είναι μεγαλύτερο από 70%.
- 2) μία συγκεκριμένη χρονική στιγμή, η ώρα είναι μεταξύ 15:01μμ και 23:59μμ και το επίπεδο φόρτισης των μπαταριών είναι μεγαλύτερο από 70%.
- 3) μία συγκεκριμένη χρονική στιγμή, η ώρα είναι μεταξύ 09:00πμ και 15:00μμ και η εκτιμώμενη συνολική κατανάλωση ενέργειας των ηλεκτρικών συσκευών είναι μικρότερη από την παραγόμενη ενέργεια των ανανεώσιμων πηγών.

Τότε, ο αλγόριθμος θα αναθέσει την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών εξολοκλήρου στο σύστημα αποθήκευσης ενέργειας και θα χρησιμοποιήσει ενέργεια από το ηλεκτρικό δίκτυο μόνο σε περίπτωση ανάγκης. Στο σύστημα αποθήκευσης ενέργειας αυτού του αλγορίθμου συμπεριλαμβάνεται και η μπαταρία του ηλεκτρικού οχήματος, η οποία συνδέεται στο κτήριο για την παροχή φορτίου. Έτσι, είτε εκμεταλλεύεται τα υψηλά επίπεδα φόρτισης των μπαταριών είτε αποφεύγει αγορά ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο στις ώρες αιχμής όπου το κόστος είναι πιο υψηλό.

- **CASE 7C:** Η περίπτωση αυτή ισχύει όταν η ώρα για εκείνη τη χρονική στιγμή είναι μεταξύ 09:00πμ και 15:00μμ και η εκτιμώμενη συνολική κατανάλωση ενέργειας των ηλεκτρικών συσκευών είναι μεγαλύτερη από την παραγόμενη ενέργεια των ανανεώσιμων πηγών.

Τότε, ο αλγόριθμος θα επέμβει στο πρόγραμμα και στον τρόπο λειτουργίας των ελεγχόμενων ηλεκτρικών συσκευών και θα αναθέσει την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών στο σύστημα αποθήκευσης και τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Σε κάθε περίπτωση αποφεύγεται η αγορά ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο στις ώρες αιχμής, εκτός και αν αυτό είναι αναγκαίο.

### 3.10 Αλγόριθμος με προγραμματισμό λειτουργίας ηλεκτρικών συσκευών

Ο αλγόριθμος με προγραμματισμό λειτουργίας ηλεκτρικών συσκευών, επεξεργάζεται διαφορετικά τον προγραμματισμό των ελεγχόμενων ηλεκτρικών συσκευών [12]. Ενώ, στις προηγούμενες περιπτώσεις οι αλγόριθμοι λειτουργούσαν ή και τροποποιούσαν ένα προτεινόμενο πρόγραμμα από τον χρήστη εδώ ο προγραμματισμός γίνεται εξ ολοκλήρου από έναν ξεχωριστό μηχανισμό ο οποίος αποτελείται από έναν Γενετικό Αλγόριθμο με την Roulette Wheel μέθοδο επιλογής [12]. Στόχος αυτού, είναι να εξάγει ένα πρόγραμμα λειτουργίας το οποίο θα επιφέρει όσο το δυνατόν λιγότερη ή φθηνότερη αγορά ηλεκτρικής ενέργειας από το ηλεκτρικό δίκτυο.

Οι Γενετικοί Αλγόριθμοι (Genetic Algorithms, GA) [13] αποτελούν μια ειδική κατηγορία εξελικτικής υπολογιστικής (evolutionary computing) και είναι εμπνευσμένοι από την θεωρία εξέλιξης του Δαρβίνου. Ένας Γενετικός Αλγόριθμος μπορεί να εξελίξει προγράμματα που εκτελούν ορισμένες εργασίες. Η μέθοδος αυτή ονομάζεται «γενετικός προγραμματισμός» (genetic programming).

Τα δομικά μέρη του Roulette Wheel Γενετικού Αλγόριθμου που αναλύεται στην ενότητα αυτή είναι εξής:

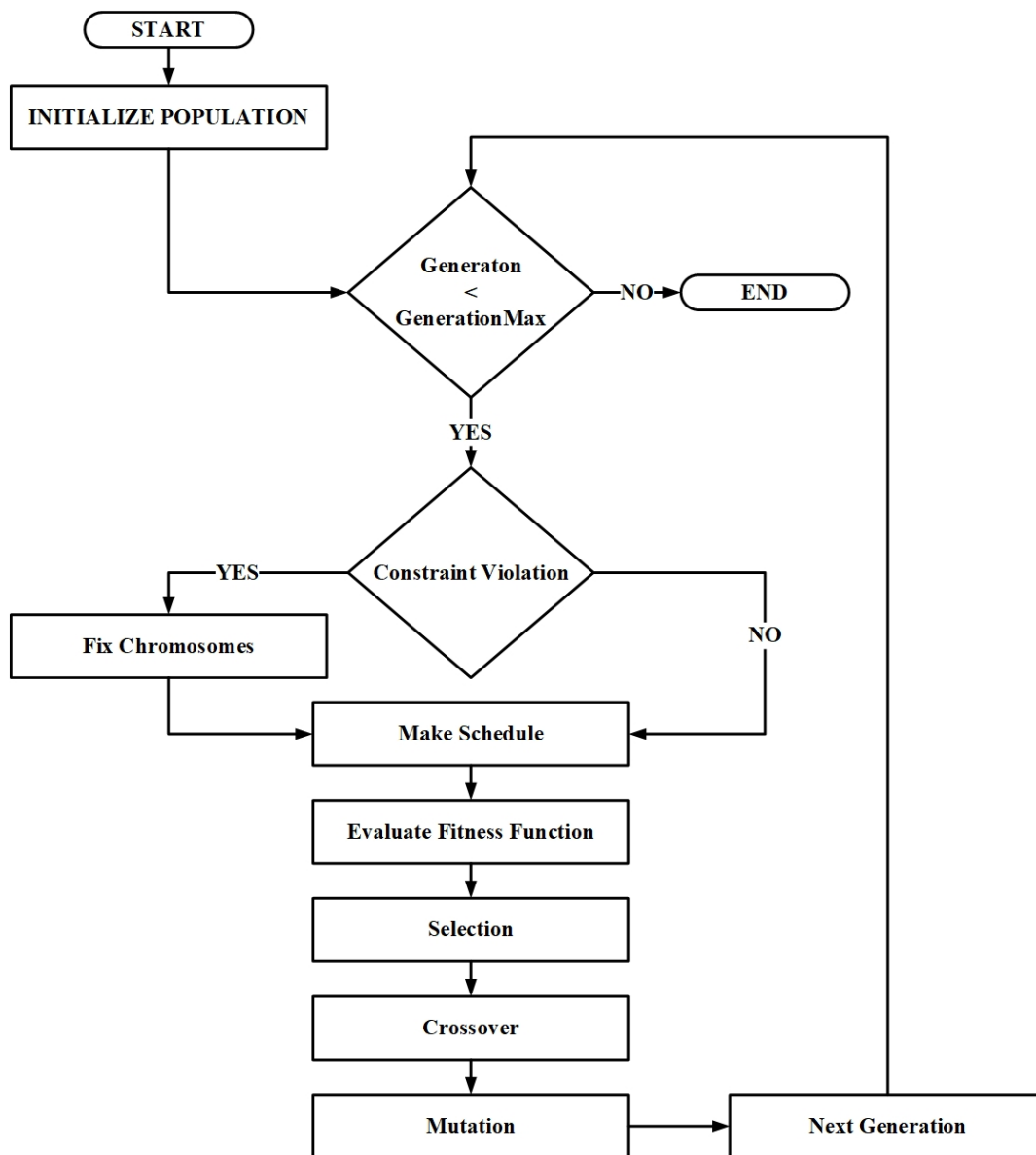
- Χρωμόσωμα: το χρωμόσωμα είναι κάθε δυνατή λύση του προβλήματος και αποτελείται από ένα διάνυσμα  $n$  στοιχείων. Η κωδικοποίηση (encoding) των χρωμοσωμάτων στην περίπτωση αυτή δυαδική (bits). Συγκεκριμένα, κάθε χρωμόσωμα αποτελείται από 144 bits και αναπαριστά το πρόγραμμα έξι ηλεκτρικών συσκευών-εφαρμογών σε ένα 24ωρο.
  - 1) Ψυγείο: 1-24 bits
  - 2) Κλιματισμός ή Θέρμανση: 25-48 bits
  - 3) Ηλεκτρικό Όχημα: 49-72 bits
  - 4) Θερμοσίφωνο: 73-96 bits
  - 5) Πλυντήριο Πιάτων: 97-120 bits
  - 6) Πλυντήριο Ρούχων: 121-144 bits
- Πληθυσμός: ο πληθυσμός  $m$  είναι το σύνολο των χρωμοσωμάτων (λύσεων). Το μέγεθος του πληθυσμού εδώ είναι  $m=40$ .
- Γενιές (Generations): οι γενιές είναι ο αριθμός των ανανεώσεων του πληθυσμού. Για την περίπτωση αυτή οι γενιές είναι εκατό.
- Γονείς: ως γονείς ορίζονται δύο χρωμοσώματα που επιλέγονται για διασταύρωση.



- Παιδιά: ως παιδιά ορίζονται τα νέα χρωμοσώματα που προκύπτουν από τη διασταύρωση των γονέων.
- Fitness Function: είναι η συνάρτηση αξιολόγησης η οποία προσδιορίζει το πόσο κοντά βρίσκεται η λύση στο επιθυμητό αποτέλεσμα. Εδώ, ο στόχος είναι η επίτευξη της μέγιστης δυνατής οικονομίας στον ηλεκτρικό λογαριασμό που εκδίδεται. Επομένως, η συνάρτηση αξιολόγησης εξαρτάται από την τιμολόγηση της ηλεκτρικής ενέργειας σε πραγματικό χρόνο και από την ονομαστική ισχύ κάθε ηλεκτρικής συσκευής. Έτσι, για κάθε λύση η συνάρτηση αξιολόγησης δίνει το συνολικό καθαρό κόστος ηλεκτρικής ενέργειας για ένα 24ωρο και δημιουργεί μία βαθμολογία χρωμοσωμάτων ώστε να βρεθεί η καλύτερη λύση. Καθώς το κόστος για το σύστημα διαχείρισης της ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να είναι αρνητικό, χρησιμοποιείται ένας συντελεστής, ο οποίος αθροίζεται με τη τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας. Το άθροισμα αυτό ισούται με τη συνάρτηση φυσικής κατάστασης fitness. Το κόστος κάθε χρωμοσώματος υπολογίζεται από το πηλίκο  $1/\text{fitness}$ .
- Αρχικοποίηση (Initialization): Η αρχικοποίηση είναι το στάδιο όπου ορίζεται ο αρχικός πληθυσμός. Στον πληθυσμό αυτό θα πραγματοποιηθούν οι λειτουργίες του ΓΑ.
- Μέθοδος Επιλογής Roulette Wheel: μετά την ταξινόμηση για την επιλογή του νέου πληθυσμού, οι τιμές της συνάρτησης αξιολόγησης (βαθμολογία) κανονικοποιούνται. Η βέλτιστη λύση θα πάρει τιμή 1 και η χειρότερη θα πάρει τιμή 0. Στη συνέχεια, επιλέγεται ένας τυχαίος αριθμός R με εύρος τιμής από το 0 έως το άθροισμα των κανονικοποιημένων χρωμοσωμάτων. Το τυχερό χρωμόσωμα είναι εκείνο του οποίου η σωρευμένη τιμή, δηλαδή το άθροισμα όλων των τιμών μέχρι και αυτό, είναι μεγαλύτερη από την τιμή R. Η παραπάνω διαδικασία ονομάζεται Μέθοδος Επιλογής Roulette Wheel.
- Διασταύρωση: οι γονείς χωρίζονται στα δύο σε ένα τυχαίο σημείο και τα τμήματα τους εναλλάσσονται.
- Μετάλλαξη: κάθε στοιχείο του χρωμοσώματος έχει μία μικρή πιθανότητα (mutation factor) να αλλάξει τιμή. Σε κάποιες περιπτώσεις όπως και εδώ, τα χρωμοσώματα έχουν κάποιους περιορισμούς (constraints). Δηλαδή, κάθε ηλεκτρική συσκευή έχει έναν συγκεκριμένο αριθμό ωρών ή λεπτών λειτουργίας. Κάποιες από τις ηλεκτρικές συσκευές θα πρέπει να συνεχίσουν να λειτουργούν μέχρι την ολοκλήρωση της εργασίας τους χωρίς τη δυνατότητα διακοπής τους, ενώ κάποιες άλλες, όπως για παράδειγμα το πλυντήριο μπορεί να διακόψει τη λειτουργία του για αργότερα. Κάθε ομάδα bit αντιπροσωπεύει μία συγκεκριμένη ηλεκτρική συσκευή. Για το λόγο αυτό υπάρχει μία συνάρτηση επιδιόρθωσης λανθασμένων μεταλλαγμένων χρωμοσωμάτων. Η συνάρτηση επιδιόρθωσης

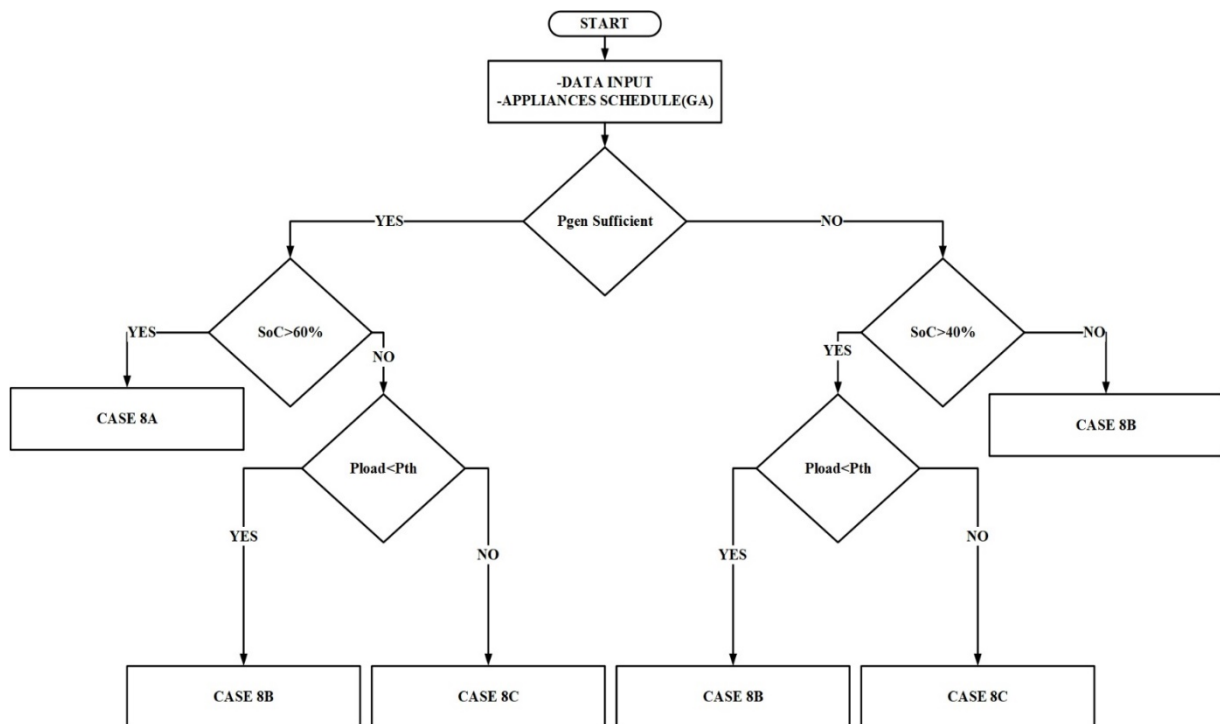
ελέγχει αν τηρούνται οι περιορισμοί του γενετικού αλγόριθμου. Ελέγχει για το κάθε χρωμόσωμα ότι οι ηλεκτρικές συσκευές τηρούν τον χρόνο χρήσης που έχει θέσει ο χρήστης βάση των πινάκων 2.1 και 2.2 στο κεφάλαιο 2.

Παρακάτω στο Σχήμα 3.12 ακολουθεί το διάγραμμα ροής του γενετικού αλγόριθμου.



Σχήμα 3.12: Διάγραμμα ροής γενετικού αλγόριθμου.

Στη συνέχεια, στο Σχήμα 3.13 ακολουθεί το διάγραμμα ροής του Αλγόριθμου με προγραμματισμό λειτουργίας ηλεκτρικών συσκευών και η ανάλυση των περιπτώσεών του.



Σχήμα 3.13: Διάγραμμα ροής όγδοου αλγόριθμου.

Ο αλγόριθμος διαχείρισης ενέργειας βασίζεται στο γενετικό αλγόριθμο, του Σχήματος 3.12, και ο οποίος χρησιμοποιείται για να βελτιστοποιήσει τον προγραμματισμό λειτουργίας των ηλεκτρικών συσκευών.

- CASE 8A: Στην περίπτωση αυτή ο αλγόριθμος θα αναθέσει την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών στο σύστημα αποθήκευσης ενέργειας και στις ανανεώσιμες πηγές, επειδή η παραγόμενη ενέργεια είναι επαρκής και το επίπεδο φόρτισης των μπαταριών είναι πάνω από 60%.
- CASE 8B: Η περίπτωση αυτή ισχύει όταν:
  - 1) η παραγόμενη ενέργεια από τις ανανεώσιμες πηγές είναι μεγαλύτερη από την τιμή Pload, το επίπεδο φόρτισης των μπαταριών είναι κάτω από 60% και η συνολική εκτιμώμενη ενέργεια (Pload) που θα καταναλώσουν οι ηλεκτρικές συσκευές είναι μικρότερη από την τιμή του κατωφλίου Pth.
  - 2) η παραγόμενη ενέργεια από τις ανανεώσιμες πηγές είναι μικρότερη από την τιμή Pload, το επίπεδο φόρτισης των μπαταριών είναι πάνω από 40% και η συνολική εκτιμώμενη

ενέργεια (Pload) που θα καταναλώσουν οι ηλεκτρικές συσκευές είναι μικρότερη από την τιμή του κατωφλίου Pth.

- 3) η παραγόμενη ενέργεια από τις ανανεώσιμες πηγές είναι μεγαλύτερη από την τιμή Pload και το επίπεδο φόρτισης των μπαταριών είναι κάτω από 40%.

Τότε, ο αλγόριθμος θα αναθέσει την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών κυρίως στο ηλεκτρικό δίκτυο και οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας θα φορτίσουν τις μπαταρίες. Σε περίπτωση που υπάρχει περίσσεια παραγόμενης ενέργειας, θα χρησιμοποιηθεί ώστε να μειωθεί η ποσότητα ενέργειας που αγοράζεται από το δίκτυο.

- **CASE 8C:** Η περίπτωση αυτή ισχύει όταν:

- 1) η παραγόμενη ενέργεια από τις ανανεώσιμες πηγές είναι μεγαλύτερη από την τιμή Pload, το επίπεδο φόρτισης των μπαταριών είναι κάτω από 60% και η συνολική εκτιμώμενη ενέργεια που θα καταναλώσουν οι ηλεκτρικές συσκευές (Pload) είναι μεγαλύτερη από την τιμή του κατωφλίου Pth.
- 2) η παραγόμενη ενέργεια από τις ανανεώσιμες πηγές είναι μικρότερη από την τιμή Pload, το επίπεδο φόρτισης των μπαταριών είναι πάνω από 40% και η συνολική εκτιμώμενη ενέργεια που θα καταναλώσουν οι ηλεκτρικές συσκευές (Pload) είναι μεγαλύτερη από την τιμή του κατωφλίου Pth.

Τότε, ο αλγόριθμος θα αναθέσει την κάλυψη των ενεργειακών στο ηλεκτρικό δίκτυο με την προϋπόθεση ότι δεν θα παραβιαστεί το κατώφλι Pth. Σε περίπτωση ανάγκης όπου θα χρειαστεί παραπάνω ενέργεια, αυτή θα προσφερθεί από το σύστημα αποθήκευσης και από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Επιπροσθέτως, αν υπάρξει περίσσεια παραγόμενης ενέργειας θα χρησιμοποιηθεί για φόρτιση των μπαταριών. Αν αυτές είναι πλήρεις θα χρησιμοποιηθεί στην κάλυψη της ζήτησης ώστε να μειωθεί η ποσότητα ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο.

# 4.

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

---

### 4.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο αρχικά παρουσιάζονται και σχολιάζονται τα αποτελέσματα των αλγορίθμων διαχείρισης ενέργειας και στην τελευταία ενότητα γίνεται η συγκριτική αξιολόγηση τους. Οι υλοποιήσεις των αλγορίθμων έχουν πραγματοποιηθεί σε κώδικα MATLAB. Το χρονικό πλαίσιο όπως έχει προαναφερθεί είναι ένα 24ωρο σε χειμερινή περίοδο και ένα 24ωρο σε θερινή περίοδο. Για κάθε χρονική περίπτωση λαμβάνουν χώρα τρεις διαφορετικές υποπεριπτώσεις σύμφωνα με τον Πίνακα 4.1.

Πίνακας 4.1: Περιπτώσεις υλοποίησης αλγορίθμων.		
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ	ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΙΣΧΥΣ Φ/Β	ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΙΣΧΥΣ Α/Γ
A	1.68 kW	1.2kW
B	3.36 kW	2.4 kW
Γ	6.72 kW	4.8 kW

Οι υποπεριπτώσεις αυτές αφορούν την μέγιστη δυνατή ισχύ που μπορεί να παράγει το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια. Στην Περίπτωση Α η ονομαστική ισχύς του Φ/Β συστήματος είναι 1.68kW και της Α/Γ 1.2kW, στην Περίπτωση Β είναι 3.36kW και 2.4kW αντίστοιχα και στην Περίπτωση Γ είναι 6.72kW και 4.8kW αντίστοιχα. Η ύπαρξη τριών διαφορετικών περιπτώσεων για κάθε εποχή βοηθά στην εκτίμηση των αποτελεσμάτων αλλά και στην αξιολόγηση των αλγορίθμων.

Στις επόμενες ενότητες παρουσιάζονται για κάθε περίπτωση τα διαγράμματα ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο. Ωστόσο, για καλύτερη εκτίμηση της χρησιμότητας των αλγορίθμων διαχείρισης και των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, κάθε διάγραμμα περιλαμβάνει και την περίπτωση μη χρήσης αλγόριθμου διαχείρισης και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Επιπροσθέτως, παρουσιάζονται και τα διαγράμματα επιπέδου φόρτισης των μπαταριών, ώστε να παρατηρηθεί η συμπεριφορά του συστήματος αποθήκευσης ενέργειας και επιπλέον να παρατηρηθεί αν οι αυξομειώσεις είναι ομαλές ή αν οι μπαταρίες βρίσκονται συχνά σε πολύ χαμηλά επίπεδα φόρτισης.

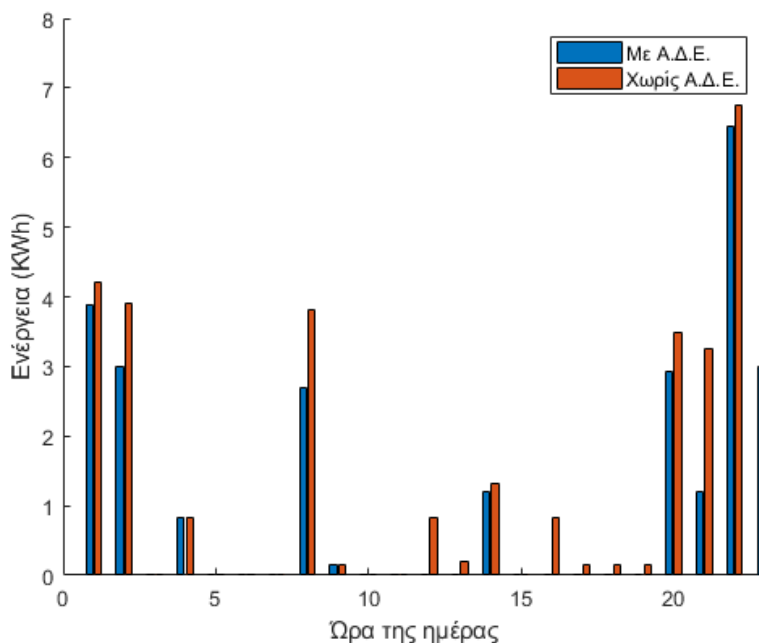
Η συγκριτική αξιολόγηση θα πραγματοποιηθεί βάσει ενός άμεσου και ενός έμμεσου οικονομικού κριτηρίου, τα οποία είναι:

- 1)η διαφοροποίηση της συνολικής ημερήσιας χρέωσης με τη χρήση του αλγόριθμου διαχείρισης ενέργειας σε σχέση με τη συνολική ημερήσια χρέωση χωρίς τη χρήση αυτού. Το κόστος για μία χρονική στιγμή  $t$  προκύπτει από το γινόμενο της ηλεκτρικής ενέργειας με την τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας σε εκείνο το χρονικό σημείο.
- 2)η ομαλότητα των διακυμάνσεων στο επίπεδο φόρτισης των μπαταριών μέσα στην ημέρα.

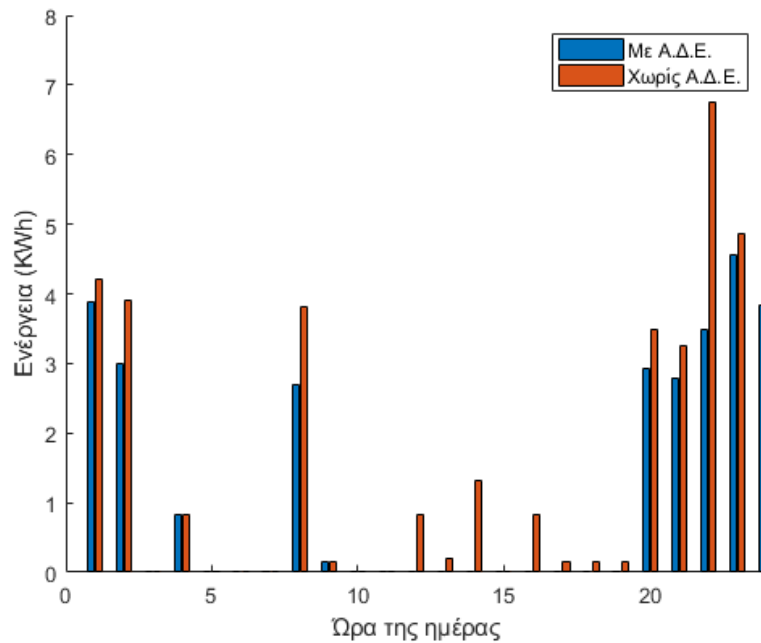
Ο συσχετισμός του πρώτου κριτηρίου με την οικονομία του κτηρίου είναι προφανής, καθώς η τιμή της διαφοράς αποτελεί καθαρό κέρδος. Ωστόσο, όσον αφορά το δεύτερο κριτήριο, αν οι αυξομειώσεις στο σύστημα αποθήκευσης ενέργειας είναι απότομες και εκτεταμένες, καθώς επίσης και αν οι μπαταρίες βρίσκονται συχνά σε χαμηλά επίπεδα φόρτισης, τότε θα μειωθεί σημαντικά το προσδόκιμο ζωής τους. Συγκεκριμένα, για να μην βρίσκεται η μπαταρία σε επιβλαβή κατάσταση θα πρέπει το επίπεδο φόρτισης να είναι πάνω από 30% [5]. Σε αυτή την περίπτωση θα είναι απαραίτητη η αντικατάστασή τους, σε σύντομο χρονικό διάστημα, η οποία είναι και δαπανηρή.

## 4.2 Αποτελέσματα μεθόδου ελέγχου κατάστασης φόρτισης

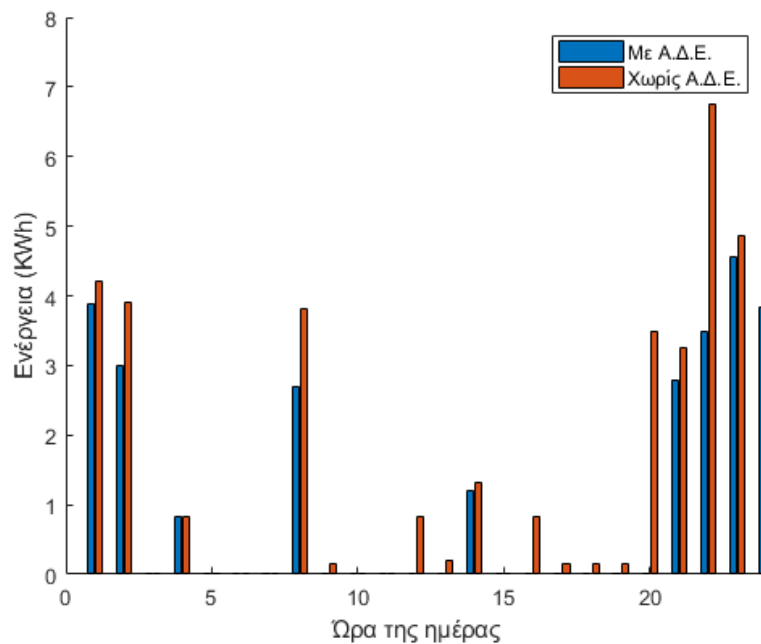
Για τον αλγόριθμο ελέγχου κατάστασης φόρτισης ακολουθούν τα Σχήματα 4.1, 4.2, 4.3 με τα γραφήματα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο με την ύπαρξη και χωρίς την ύπαρξη Α.Π.Ε. και αλγόριθμου διαχείρισης ενέργειας (Α.Δ.Ε.), για μία φθινοπωρινή ημέρα για κάθε περίπτωση ζεύγους ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.



Σχήμα 4.1: Γράφημα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια μίας φθινοπωρινής ημέρας, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 1.68 kW και 1.2 kW αντίστοιχα.



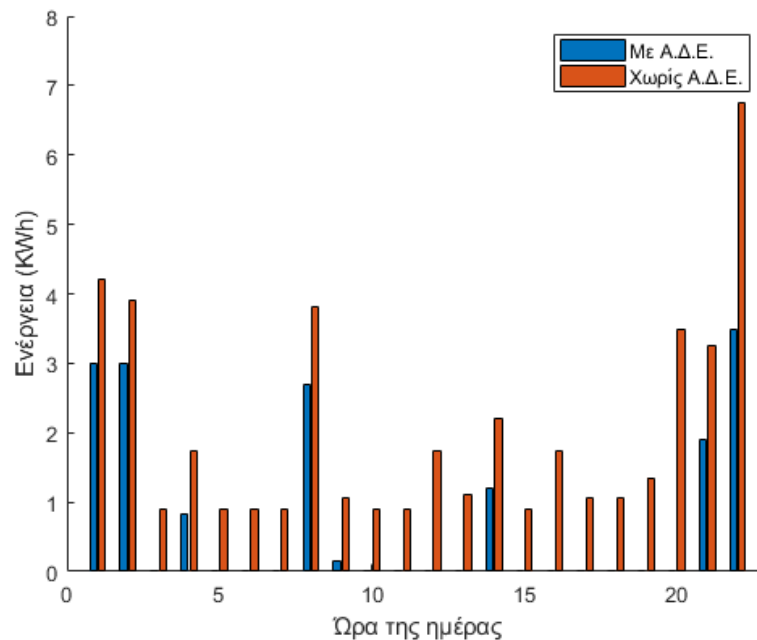
Σχήμα 4.2: Γράφημα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια μίας φθινοπωρινής ημέρας, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 3.36 kW και 2.4 kW αντίστοιχα.



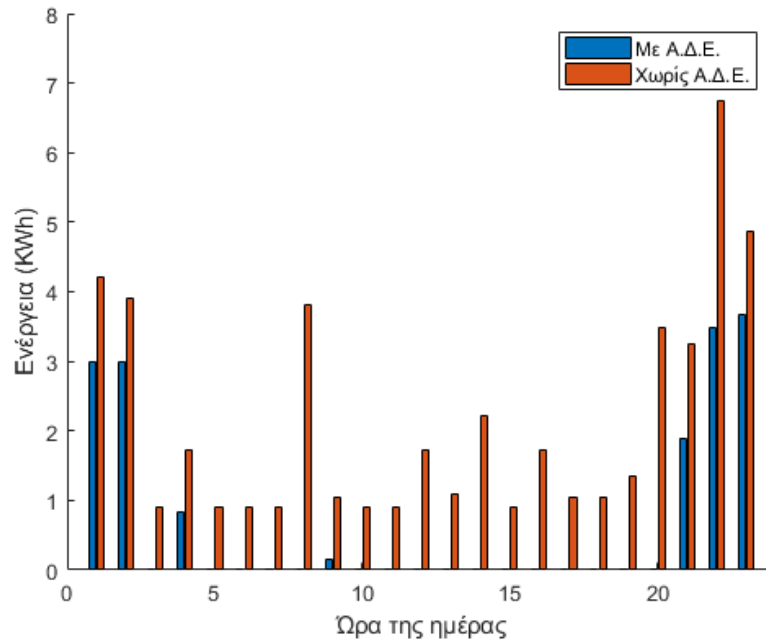
Σχήμα 4.3: Γράφημα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια μίας φθινοπωρινής ημέρας, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 6.72 kW και 4.8 kW αντίστοιχα.



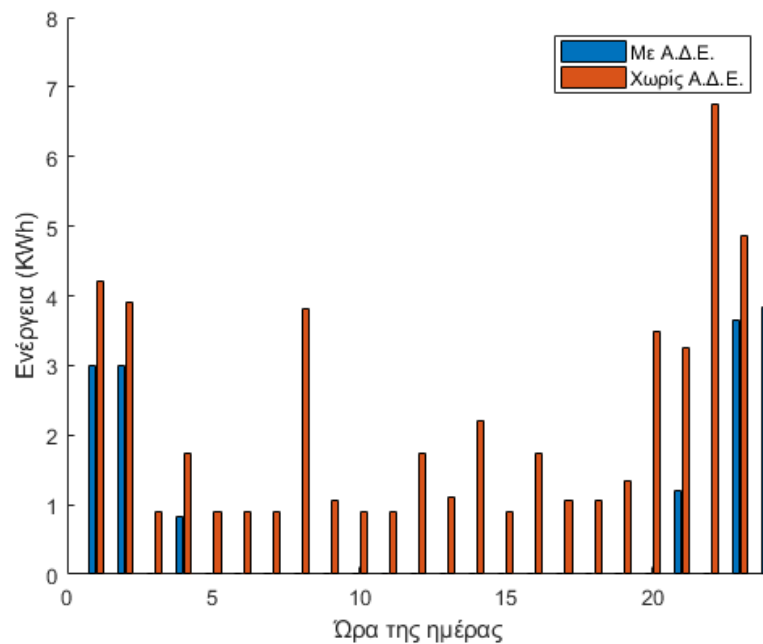
Στη συνέχεια ακολουθούν τα Σχήματα 4.4, 4.5, 4.6 με τα γραφήματα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο, με την ύπαρξη και χωρίς την ύπαρξη Α.Π.Ε. και αλγόριθμου διαχείρισης ενέργειας (Α.Δ.Ε.) για μία χειμερινή ημέρα και για κάθε περίπτωση ζεύγους ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.



Σχήμα 4.4: Γράφημα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια μίας χειμερινής ημέρας, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 1.68 kW και 1.2 kW αντίστοιχα.

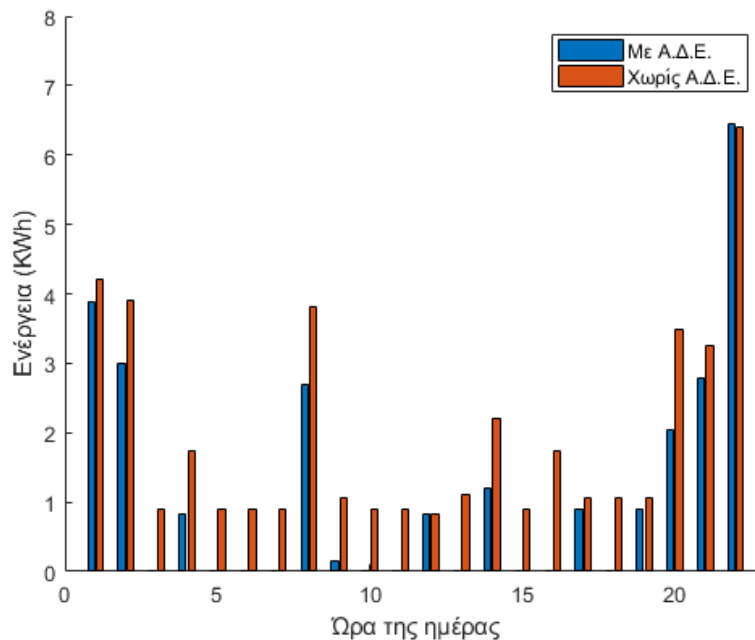


Σχήμα 4.5: Γράφημα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια μίας χειμερινής ημέρας, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 3.36 kW και 2.4 kW αντίστοιχα.

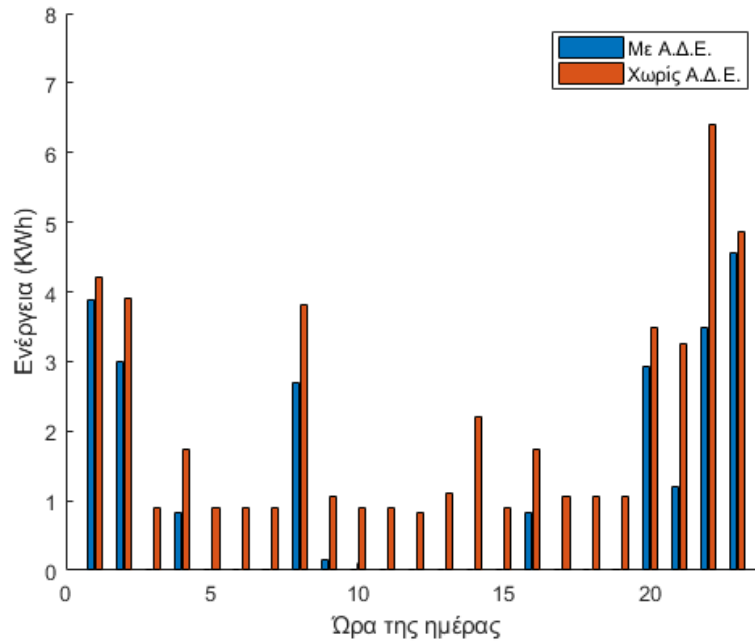


Σχήμα 4.6: Γράφημα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια μίας χειμερινής ημέρας, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 6.72 kW και 4.8 kW αντίστοιχα.

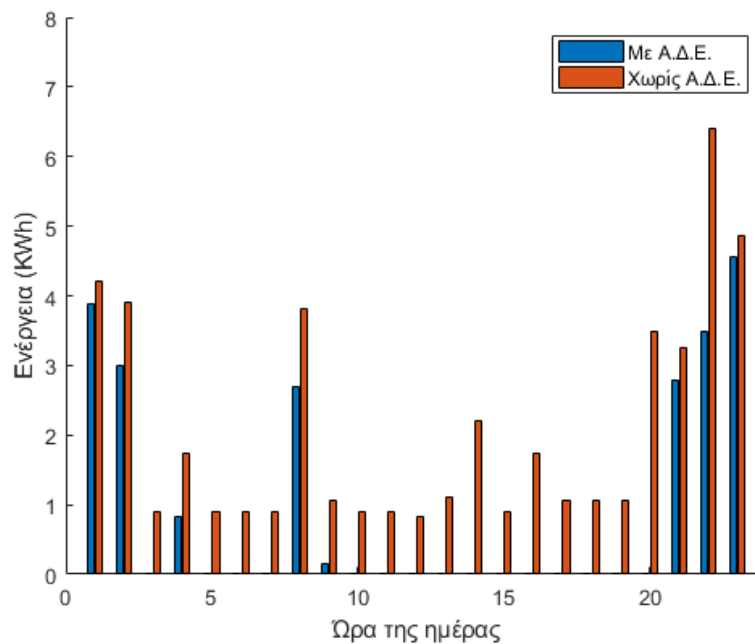
Στη συνέχεια ακολουθούν τα Σχήματα 4.7, 4.8, 4.9 με τα γραφήματα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο, με την ύπαρξη και χωρίς την ύπαρξη Α.Π.Ε. και αλγόριθμου διαχείρισης ενέργειας (Α.Δ.Ε.) για μία εαρινή ημέρα και για κάθε περίπτωση ζεύγους ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.



Σχήμα 4.7: Γράφημα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια μίας εαρινής ημέρας, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 1.68 kW και 1.2 kW αντίστοιχα.

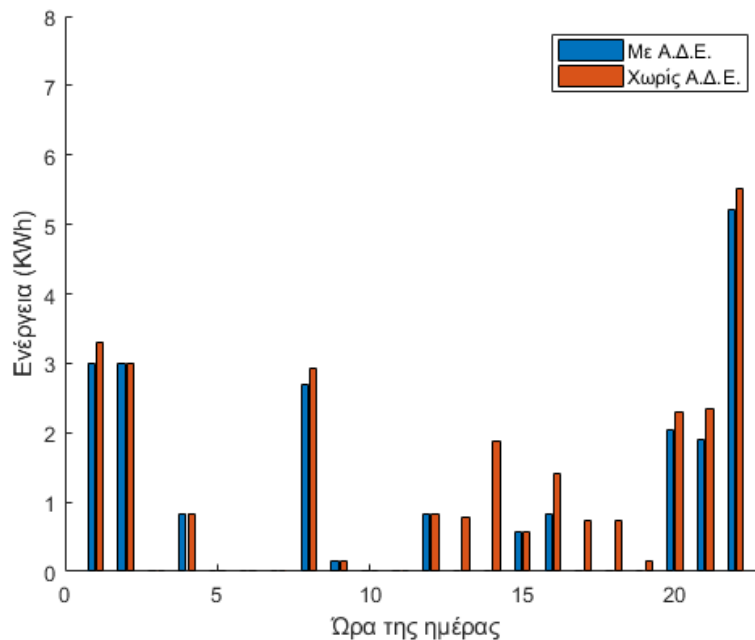


Σχήμα 4.8: Γράφημα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια μίας εαρινής ημέρας, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 3.36 kW και 2.4 kW αντίστοιχα.

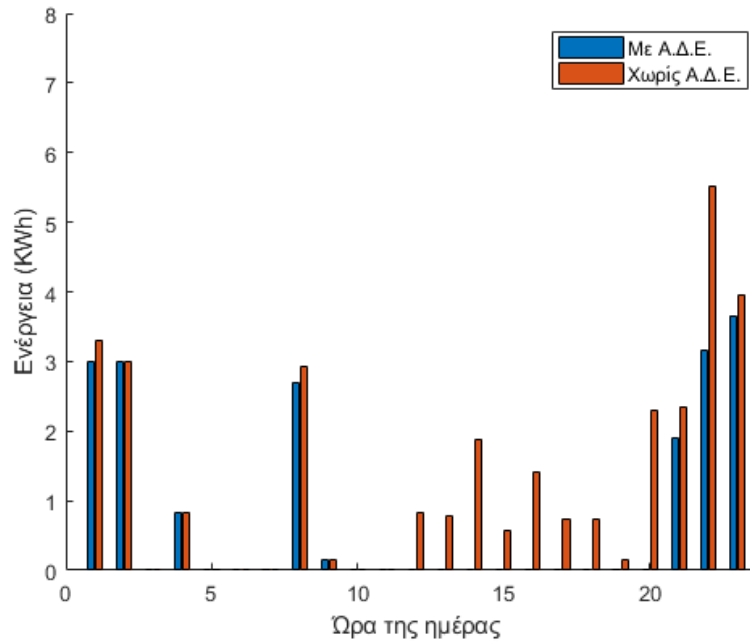


Σχήμα 4.9: Γράφημα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια μίας εαρινής ημέρας, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 6.72 kW και 4.8 kW αντίστοιχα.

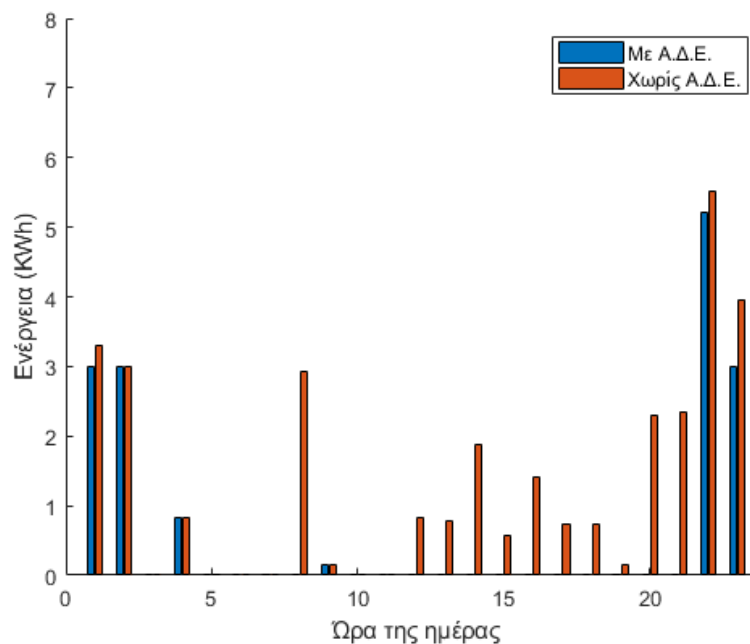
Στη συνέχεια ακολουθούν τα Σχήματα 4.10, 4.11, 4.12 με τα γραφήματα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο, με την ύπαρξη και χωρίς την ύπαρξη Α.Π.Ε. και αλγόριθμου διαχείρισης ενέργειας (Α.Δ.Ε.) για μία καλοκαιρινή ημέρα και για κάθε περίπτωση ζεύγους ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.



Σχήμα 4.10: Γράφημα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια μίας καλοκαιρινής ημέρας, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 1.68 kW και 1.2 kW αντίστοιχα.

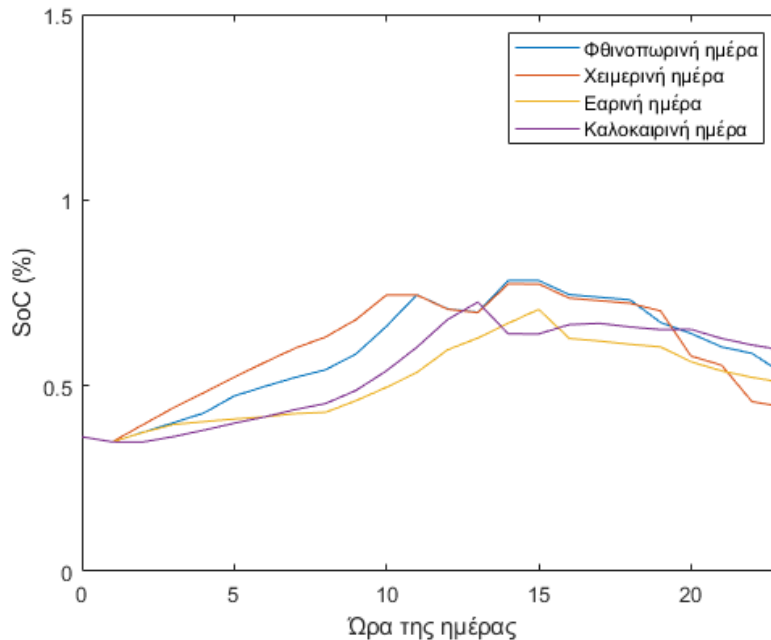


Σχήμα 4.11: Γράφημα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια μίας καλοκαιρινής ημέρας, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 3.36 kW και 2.4 kW αντίστοιχα.

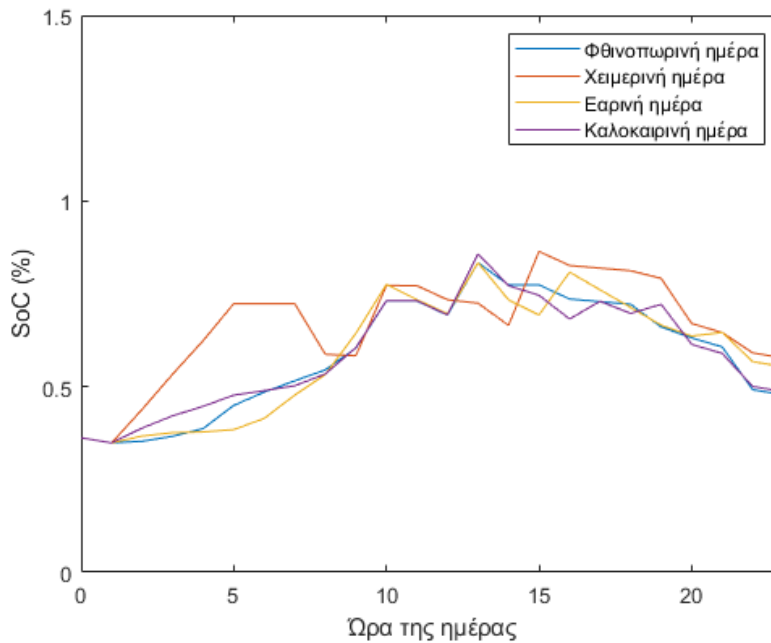


Σχήμα 4.12: Γράφημα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια μίας καλοκαιρινής ημέρας, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 6.72 kW και 4.8 kW αντίστοιχα.

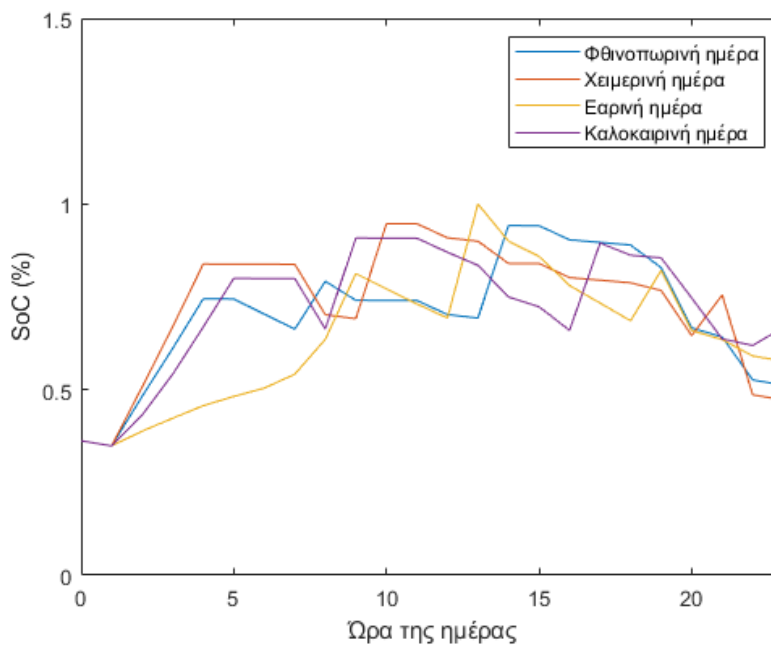
Παρακάτω στα Σχήματα 4.13, 4.14, 4.15 φαίνονται τα διαγράμματα των διακυμάνσεων του επιπέδου φόρτισης της συστοιχίας των μπαταριών της φθινοπωρινής, της χειμερινής, της εαρινής και της καλοκαιρινής ημέρας, για κάθε περίπτωση ζεύγους ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.



Σχήμα 4.13: Διαγράμματα διακυμάνσεων επιπέδου φόρτισης της συστοιχίας μπαταριών σε μία φθινοπωρινή, μία χειμερινή, μία εαρινή και μία καλοκαιρινή ημέρα, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 1.68 kW και 1.2 kW αντίστοιχα.



Σχήμα 4.14: Διαγράμματα διακυμάνσεων επιπέδου φόρτισης της συστοιχίας μπαταριών σε μία φθινοπωρινή, μία χειμερινή, μία εαρινή και μία καλοκαιρινή ημέρα, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 3.36 kW και 2.4 kW αντίστοιχα.



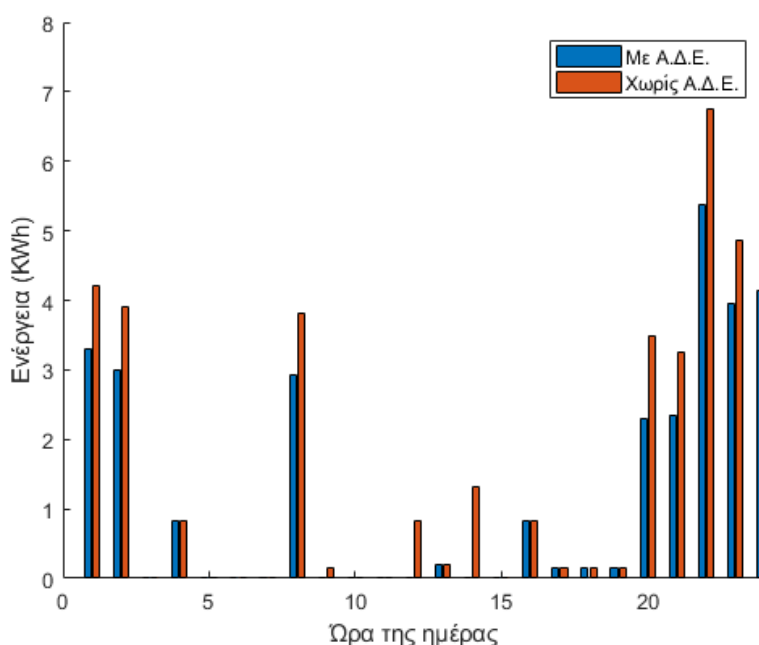
Σχήμα 4.15: Διαγράμματα διακυμάνσεων επιπέδου φόρτισης της συστοιχίας μπαταριών σε μία φθινοπωρινή, μία χειμερινή, μία εαρινή και μία καλοκαιρινή ημέρα, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 6.72 kW και 4.8 kW αντίστοιχα.



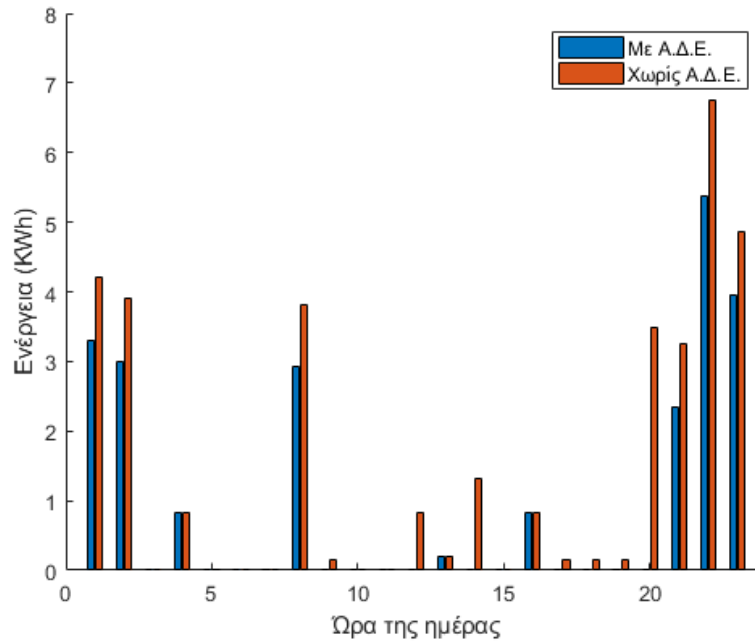
Από τα παραπάνω διαγράμματα, παρατηρείται ότι για τον αλγόριθμο αυτόν υπάρχουν αρκετές αυξομειώσεις του επιπέδου φόρτισης της συστοιχίας των μπαταριών, χωρίς όμως το επίπεδο αυτό να πέφτει σε κρίσιμα επίπεδα για την υγεία των μπαταριών. Στην περίπτωση όπου το ζεύγος φωτοβολταϊκού συστήματος και ανεμογεννήτριας έχει ονομαστική ισχύ 1.68 kW και 1.2 kW αντίστοιχα, παρατηρούνται λιγότερες αυξομειώσεις και ομαλότερες διακυμάνσεις.

### 4.3 Αποτελέσματα μεθόδου αναβολής λειτουργιών

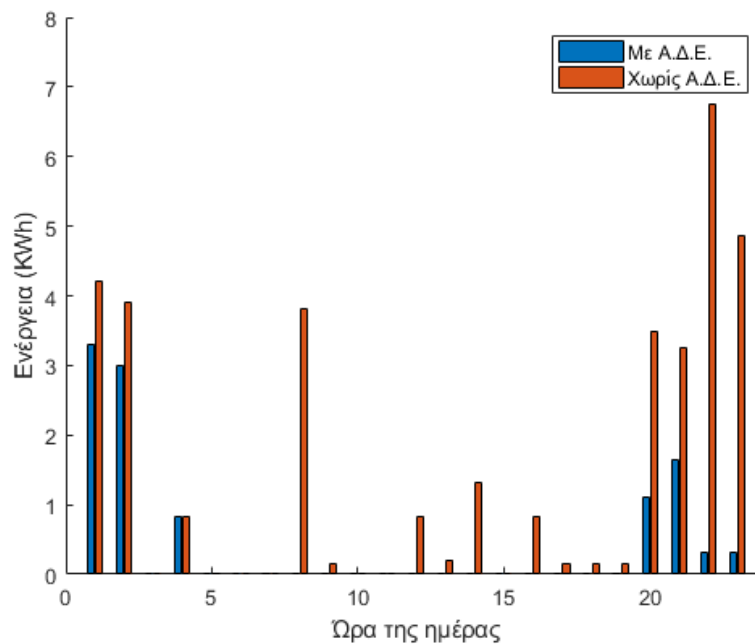
Για τον αλγόριθμο αναβολής λειτουργιών ακολουθούν τα Σχήματα 4.16, 4.17, 4.18 με τα γραφήματα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο με την ύπαρξη και χωρίς την ύπαρξη Α.Π.Ε. και αλγόριθμου διαχείρισης ενέργειας (Α.Δ.Ε.), για μία φθινοπωρινή ημέρα για κάθε περίπτωση ζεύγους ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.



Σχήμα 4.16: Γράφημα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια μίας φθινοπωρινής ημέρας, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 1.68 kW και 1.2 kW αντίστοιχα.

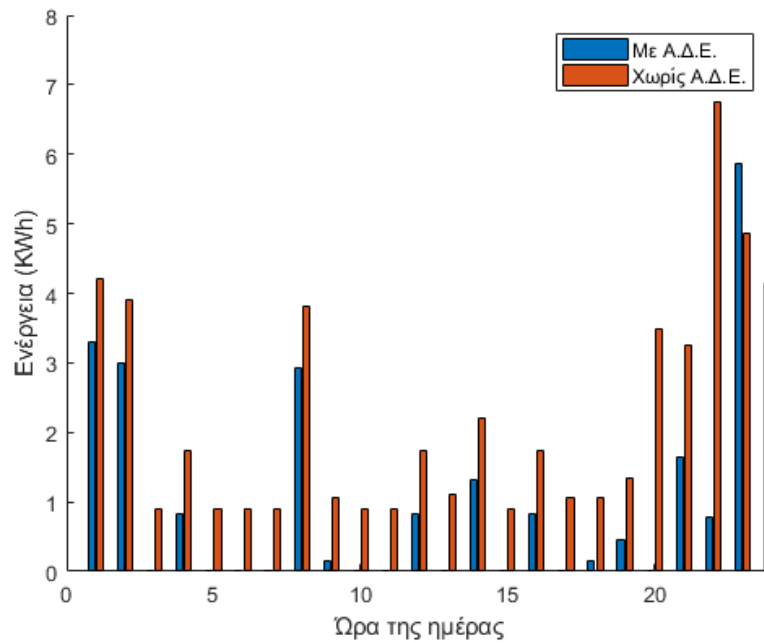


Σχήμα 4.17: Γράφημα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια μίας φθινοπωρινής ημέρας, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 3.36 kW και 2.4 kW αντίστοιχα.

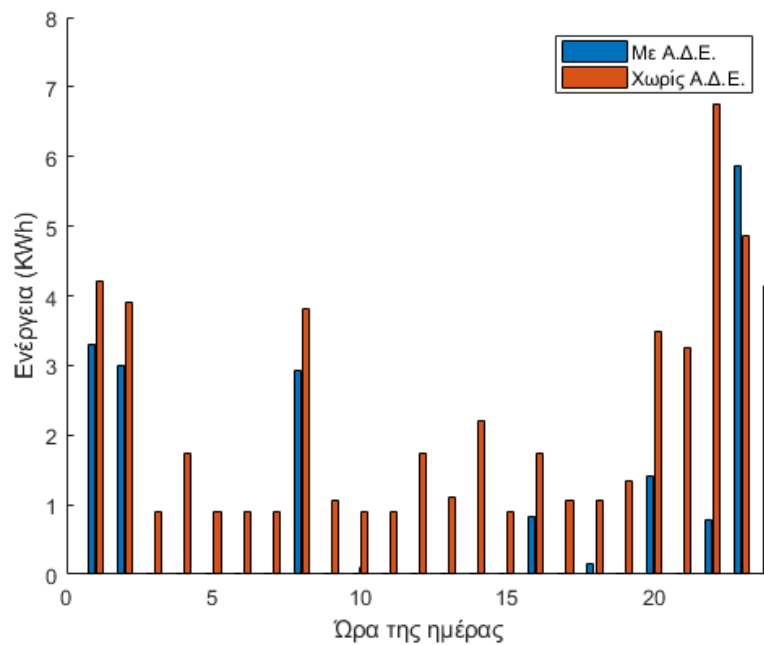


Σχήμα 4.18: Γράφημα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια μίας φθινοπωρινής ημέρας, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 6.72 kW και 4.8 kW αντίστοιχα.

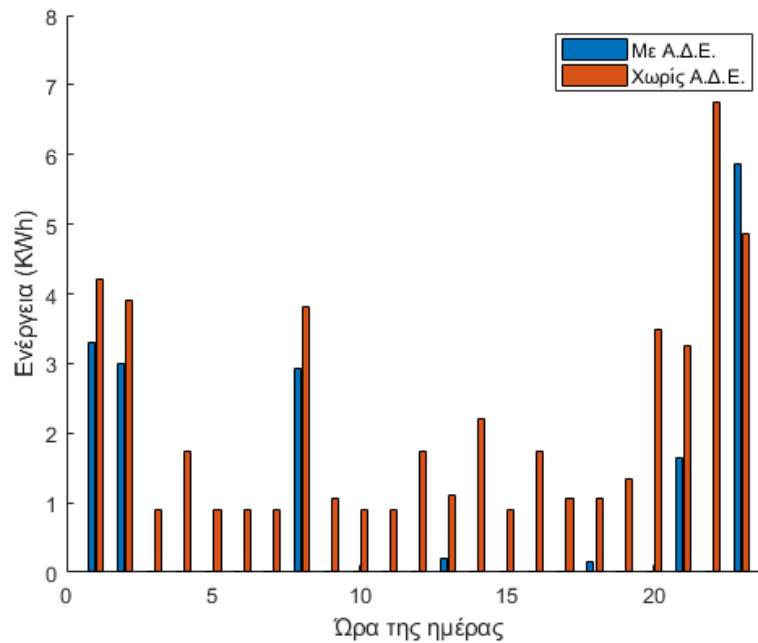
Στη συνέχεια ακολουθούν τα Σχήματα 4.19, 4.20, 4.21 με τα γραφήματα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο, με την ύπαρξη και χωρίς την ύπαρξη Α.Π.Ε. και αλγόριθμου διαχείρισης ενέργειας (Α.Δ.Ε.) για μία χειμερινή ημέρα και για κάθε περίπτωση ζεύγους ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.



Σχήμα 4.19: Γράφημα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια μίας χειμερινής ημέρας, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 1.68 kW και 1.2 kW αντίστοιχα.

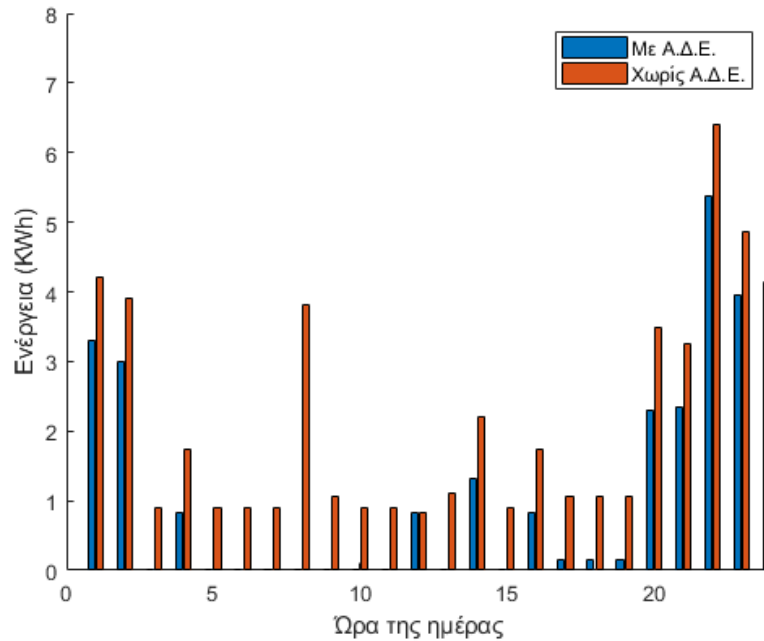


Σχήμα 4.20: Γράφημα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια μίας χειμερινής ημέρας, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 3.36 kW και 2.4 kW αντίστοιχα.

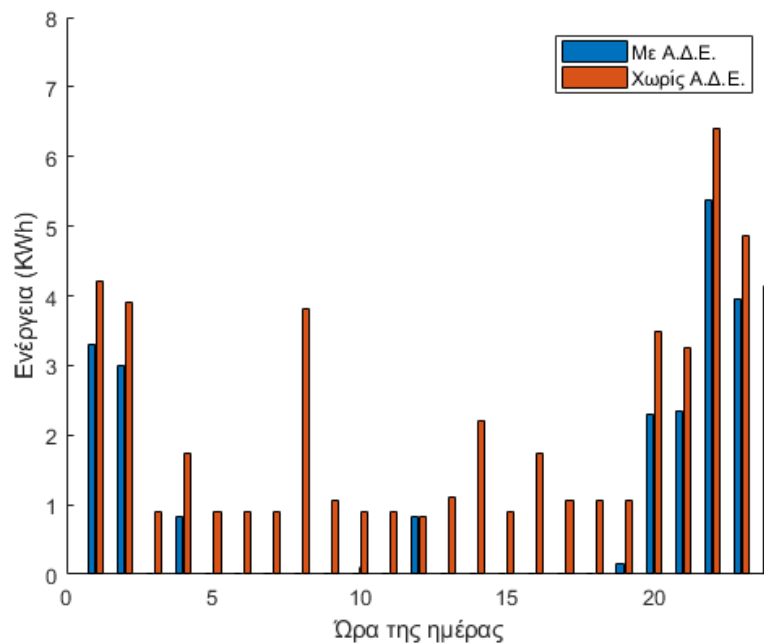


Σχήμα 4.21: Γράφημα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια μίας χειμερινής ημέρας, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 6.72 kW και 4.8 kW αντίστοιχα.

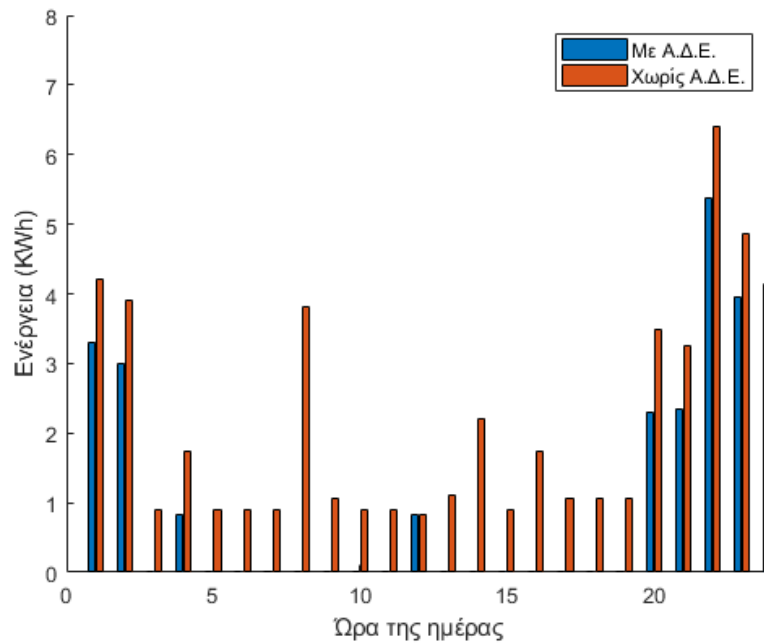
Στη συνέχεια ακολουθούν τα Σχήματα 4.22, 4.23, 4.24 με τα γραφήματα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο, με την ύπαρξη και χωρίς την ύπαρξη Α.Π.Ε. και αλγόριθμου διαχείρισης ενέργειας (Α.Δ.Ε.) για μία εαρινή ημέρα και για κάθε περίπτωση ζεύγους ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.



Σχήμα 4.22: Γράφημα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια μίας εαρινής ημέρας, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 1.68 kW και 1.2 kW αντίστοιχα.

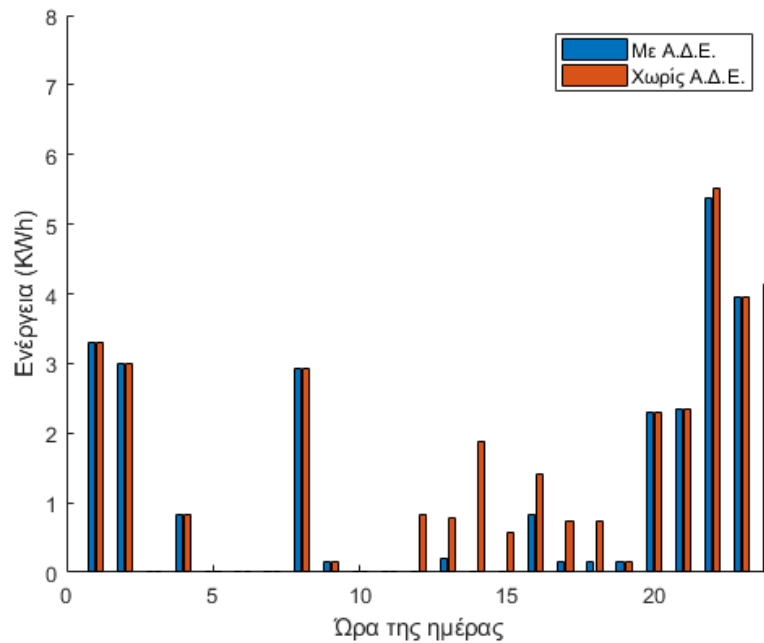


Σχήμα 4.23: Γράφημα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια μίας εαρινής ημέρας, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 3.36 kW και 2.4 kW αντίστοιχα.

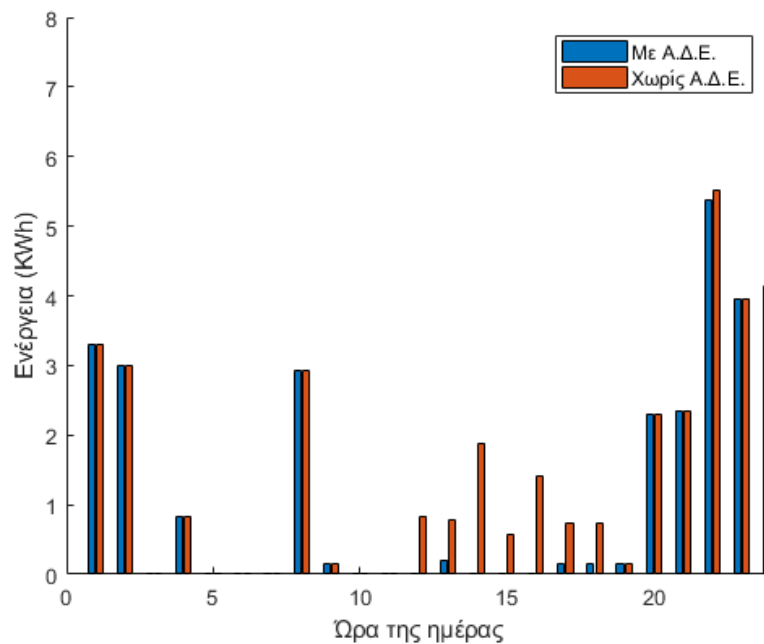


Σχήμα 4.24: Γράφημα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια μίας εαρινής ημέρας, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 6.72 kW και 4.8 kW αντίστοιχα.

Στη συνέχεια ακολουθούν τα Σχήματα 4.25, 4.26, 4.27 με τα γραφήματα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο, με την ύπαρξη και χωρίς την ύπαρξη Α.Π.Ε. και αλγόριθμου διαχείρισης ενέργειας (Α.Δ.Ε.) για μία καλοκαιρινή ημέρα και για κάθε περίπτωση ζεύγους ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

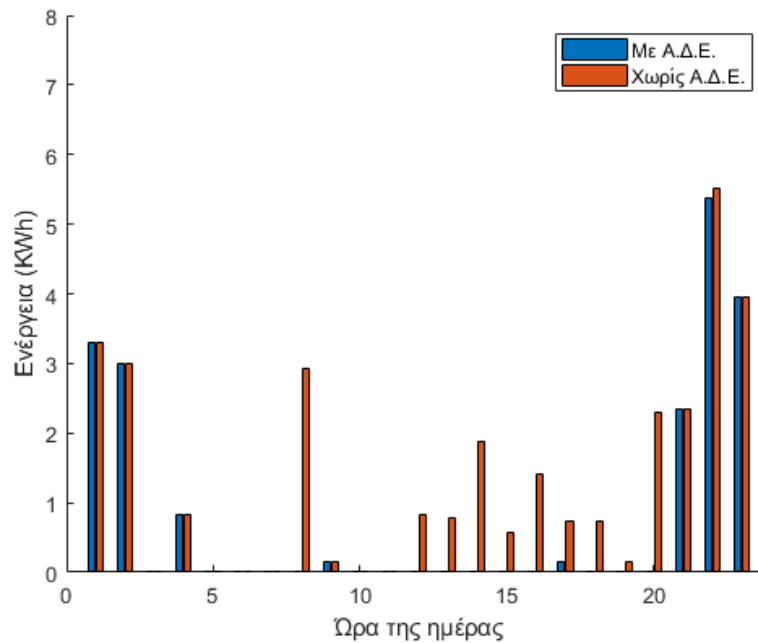


Σχήμα 4.25: Γράφημα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια μίας καλοκαιρινής ημέρας, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 1.68 kW και 1.2 kW αντίστοιχα.



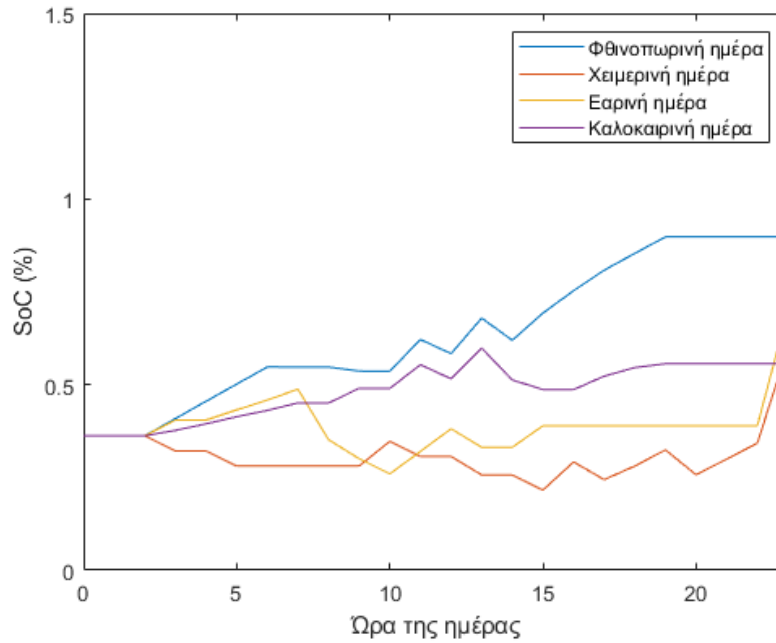
Σχήμα 4.26: Γράφημα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια μίας καλοκαιρινής ημέρας, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 3.36 kW και 2.4 kW αντίστοιχα.



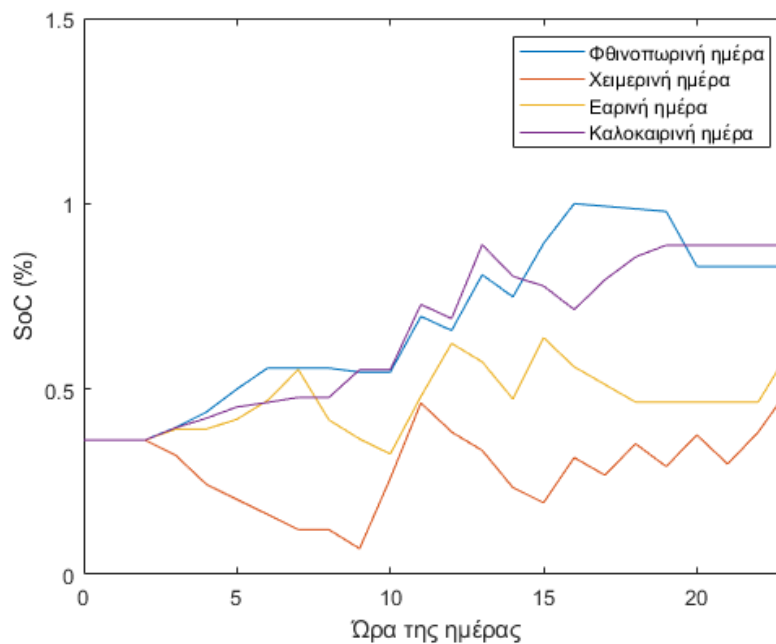


Σχήμα 4.27: Γράφημα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια μίας καλοκαιρινής ημέρας, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 6.72 kW και 4.8 kW αντίστοιχα.

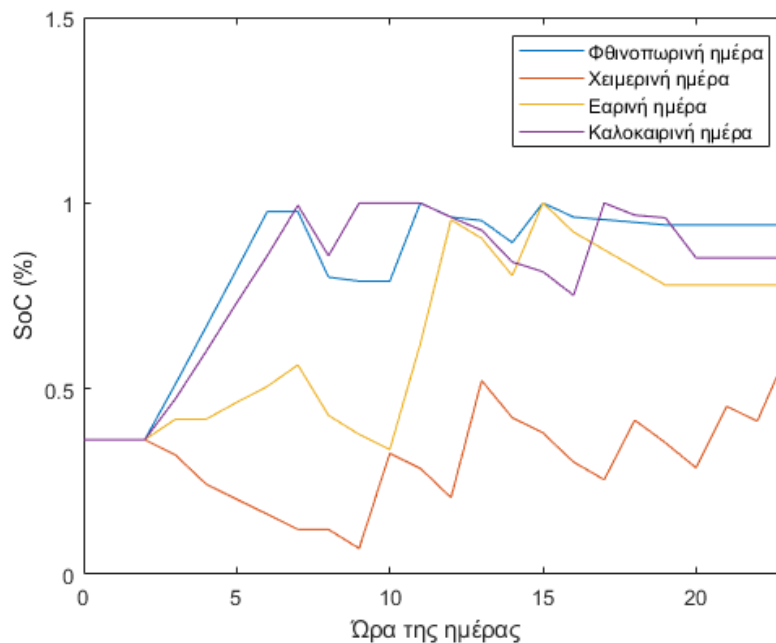
Παρακάτω στα Σχήματα 4.28, 4.29, 4.30 φαίνονται τα διαγράμματα των διακυμάνσεων του επιπέδου φόρτισης της συστοιχίας των μπαταριών της φθινοπωρινής, της χειμερινής, της εαρινής και της καλοκαιρινής ημέρας, για κάθε περίπτωση ζεύγους ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.



Σχήμα 4.28: Διαγράμματα διακυμάνσεων επιπέδου φόρτισης της συστοιχίας μπαταριών σε μία φθινοπωρινή, μία χειμερινή, μία εαρινή και μία καλοκαιρινή ημέρα, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 1.68 kW και 1.2 kW αντίστοιχα.



Σχήμα 4.29: Διαγράμματα διακυμάνσεων επιπέδου φόρτισης της συστοιχίας μπαταριών σε μία φθινοπωρινή, μία χειμερινή, μία εαρινή και μία καλοκαιρινή ημέρα, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 3.36 kW και 2.4 kW αντίστοιχα.

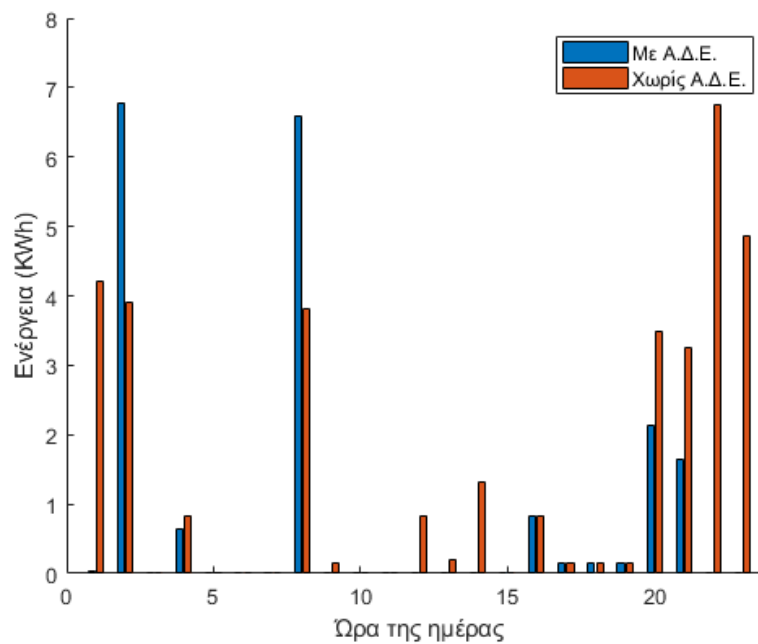


Σχήμα 4.30: Διαγράμματα διακυμάνσεων επιπέδου φόρτισης της συστοιχίας μπαταριών σε μία φθινοπωρινή, μία χειμερινή, μία εαρινή και μία καλοκαιρινή ημέρα, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 6.72 kW και 4.8 kW αντίστοιχα.

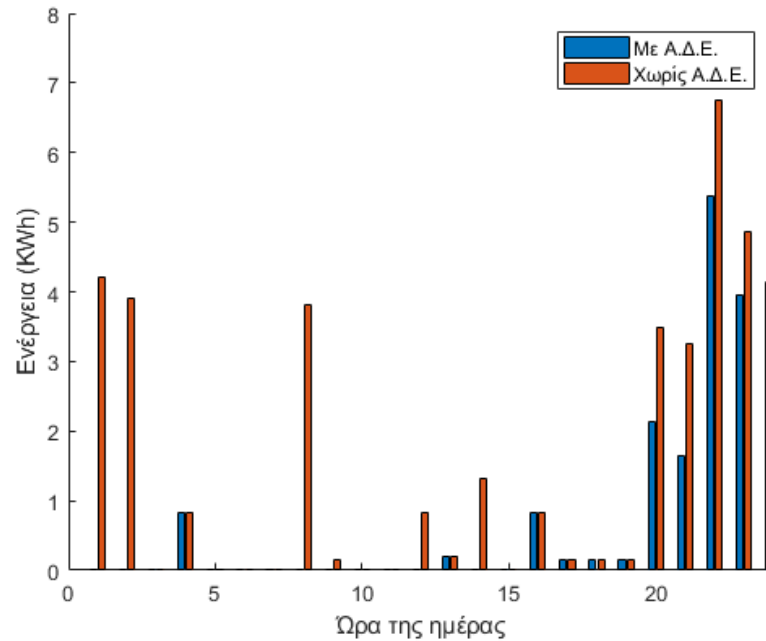
Από τα παραπάνω διαγράμματα που αφορούν το επίπεδο φόρτισης των μπαταριών, παρατηρείται ότι η συμπεριφορά φόρτισης και εκφόρτισης είναι ασταθής. Οι αυξομειώσεις του επιπέδου φόρτισης είναι κυρίως απότομες και οι μπαταρίες ειδικά στην περίπτωση της χειμερινής ημέρας βρίσκονται συχνά σε αρκετά χαμηλά ποσοστά. Παρ' όλα αυτά, υπάρχουν και κάποιες περιπτώσεις όπως στην καλοκαιρινή και φθινοπωρινή ημέρα, όπου τα επίπεδα έχουν ανοδική τάση και τα ποσοστά τους είναι υψηλά.

## 4.4 Αποτελέσματα μεθόδου μείωσης ζήτησης

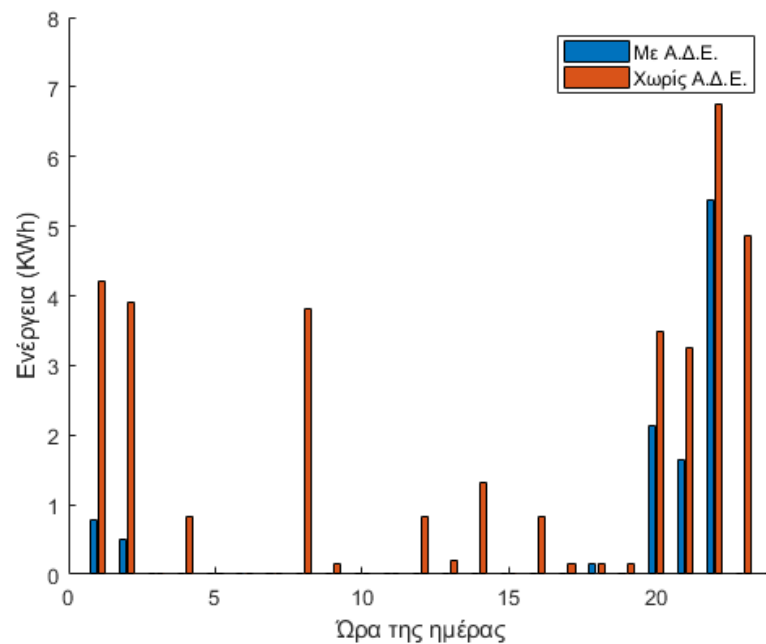
Για τον αλγόριθμο μείωσης ζήτησης ακολουθούν τα Σχήματα 4.31, 4.32, 4.33 με τα γραφήματα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο με την ύπαρξη και χωρίς την ύπαρξη Α.Π.Ε. και αλγόριθμου διαχείρισης ενέργειας (Α.Δ.Ε.), για μία φθινοπωρινή ημέρα για κάθε περίπτωση ζεύγους ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.



Σχήμα 4.31: Γράφημα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια μίας φθινοπωρινής ημέρας, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 1.68 kW και 1.2 kW αντίστοιχα.

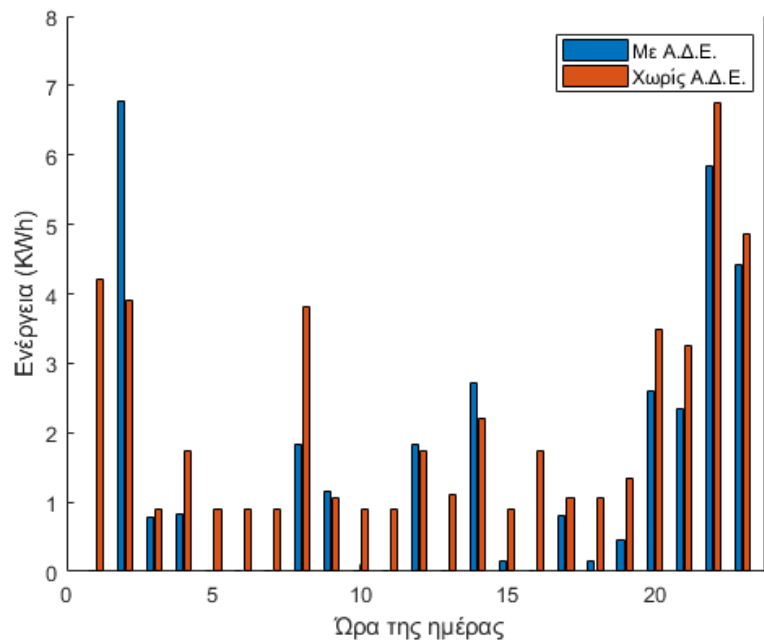


Σχήμα 4.32: Γράφημα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια μίας φθινοπωρινής ημέρας, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 3.36 kW και 2.4 kW αντίστοιχα.

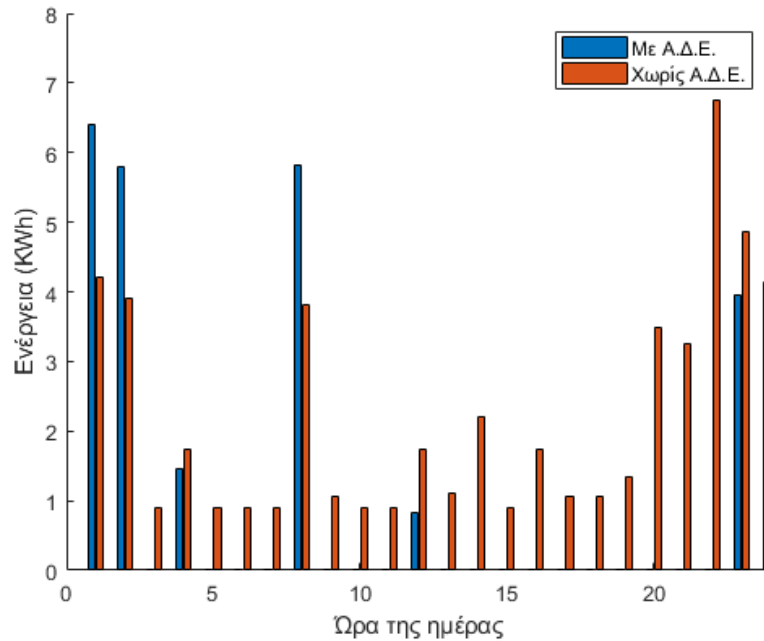


Σχήμα 4.33: Γράφημα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια μίας φθινοπωρινής ημέρας, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 6.72 kW και 4.8 kW αντίστοιχα.

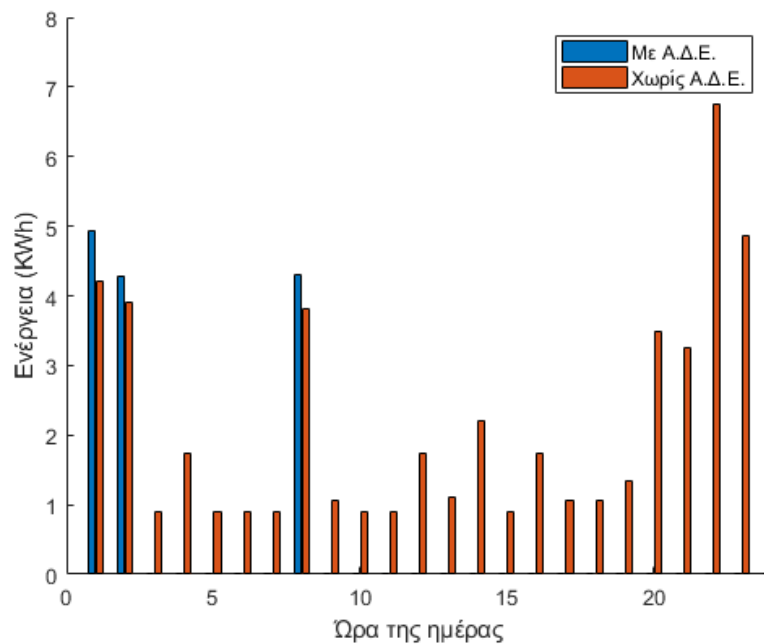
Στη συνέχεια ακολουθούν τα Σχήματα 4.34, 4.35, 4.36 με τα γραφήματα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο, με την ύπαρξη και χωρίς την ύπαρξη Α.Π.Ε. και αλγόριθμου διαχείρισης ενέργειας (Α.Δ.Ε.) για μία χειμερινή ημέρα και για κάθε περίπτωση ζεύγους ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.



Σχήμα 4.34: Γράφημα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια μίας χειμερινής ημέρας, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 1.68 kW και 1.2 kW αντίστοιχα.

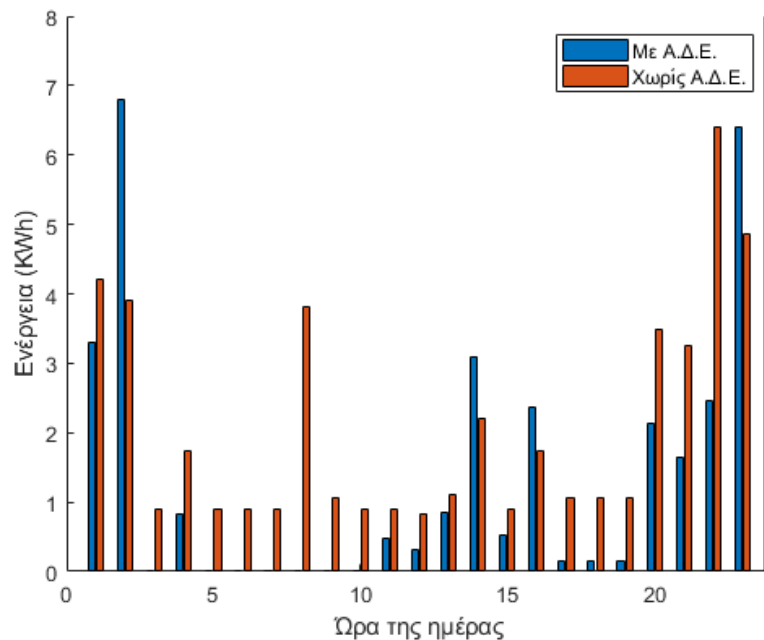


Σχήμα 4.35: Γράφημα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια μίας χειμερινής ημέρας, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 3.36 kW και 2.4 kW αντίστοιχα.



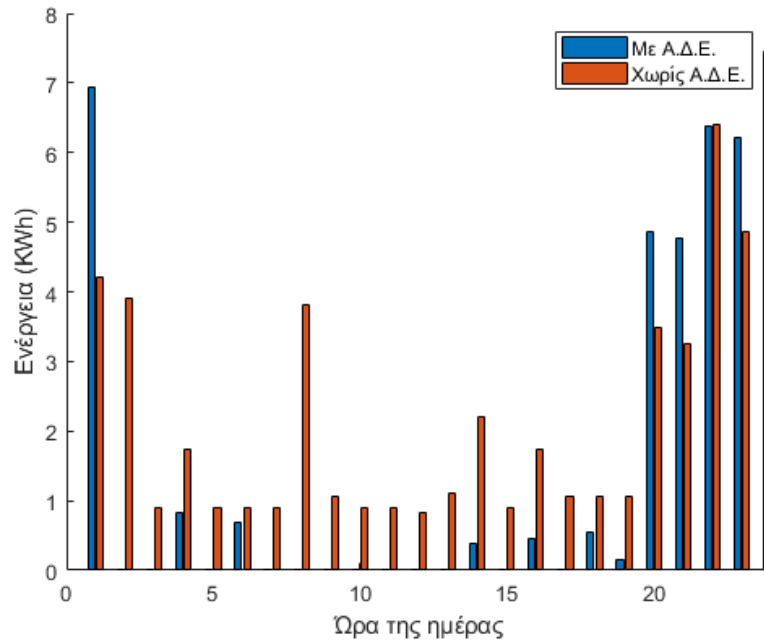
Σχήμα 4.6: Γράφημα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια μίας χειμερινής ημέρας, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 6.72 kW και 4.8 kW αντίστοιχα.

Στη συνέχεια ακολουθούν τα Σχήματα 4.37, 4.38, 4.39 με τα γραφήματα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο, με την ύπαρξη και χωρίς την ύπαρξη Α.Π.Ε. και αλγόριθμου διαχείρισης ενέργειας (Α.Δ.Ε.) για μία εαρινή ημέρα και για κάθε περίπτωση ζεύγους ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

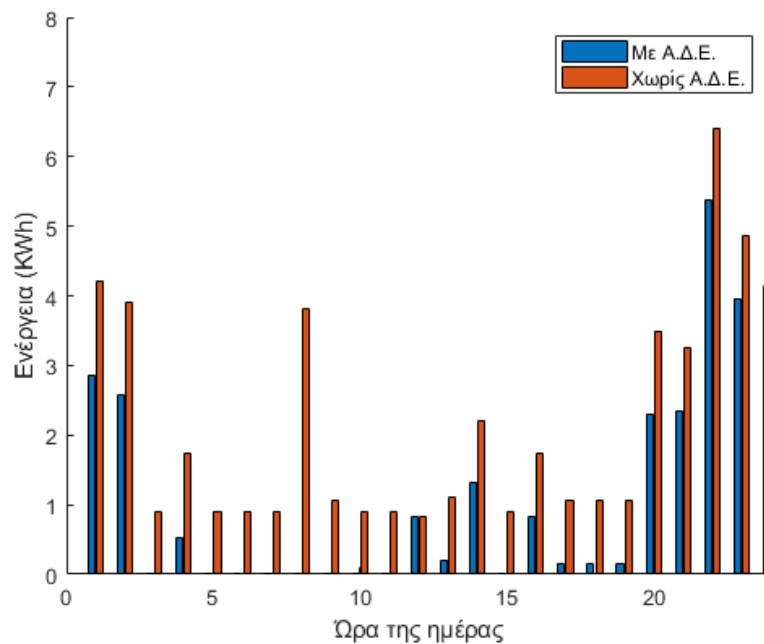


Σχήμα 4.37: Γράφημα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια μίας εαρινής ημέρας, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 1.68 kW και 1.2 kW αντίστοιχα.



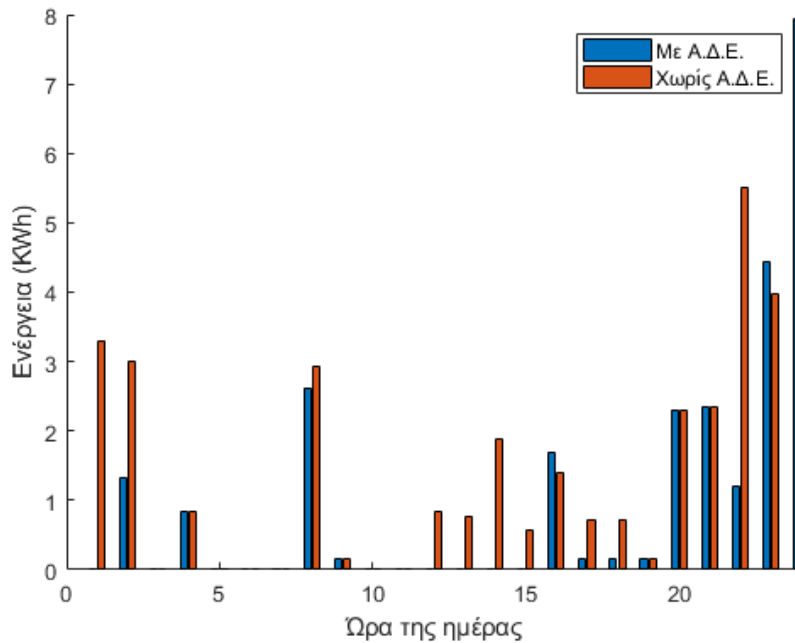


Σχήμα 4.38: Γράφημα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια μίας εαρινής ημέρας, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 3.36 kW και 2.4 kW αντίστοιχα.

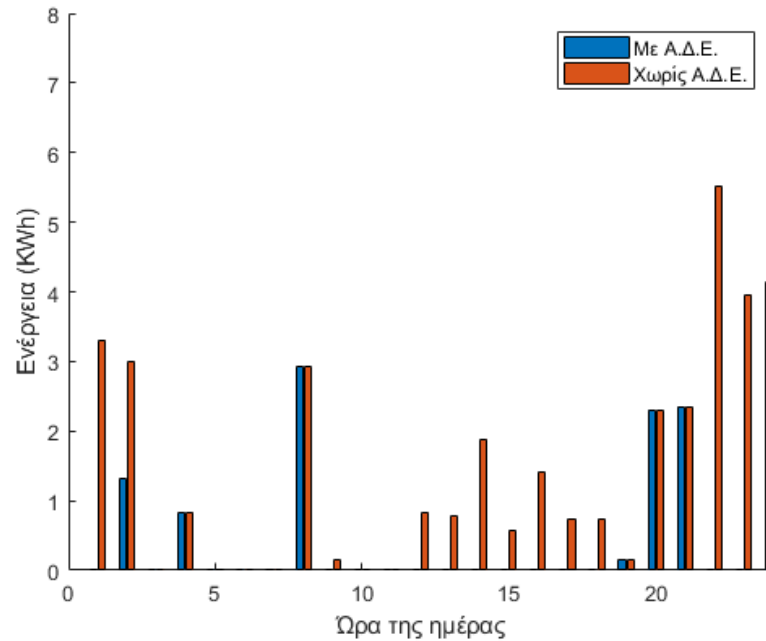


Σχήμα 4.39: Γράφημα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια μίας εαρινής ημέρας, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 6.72 kW και 4.8 kW αντίστοιχα.

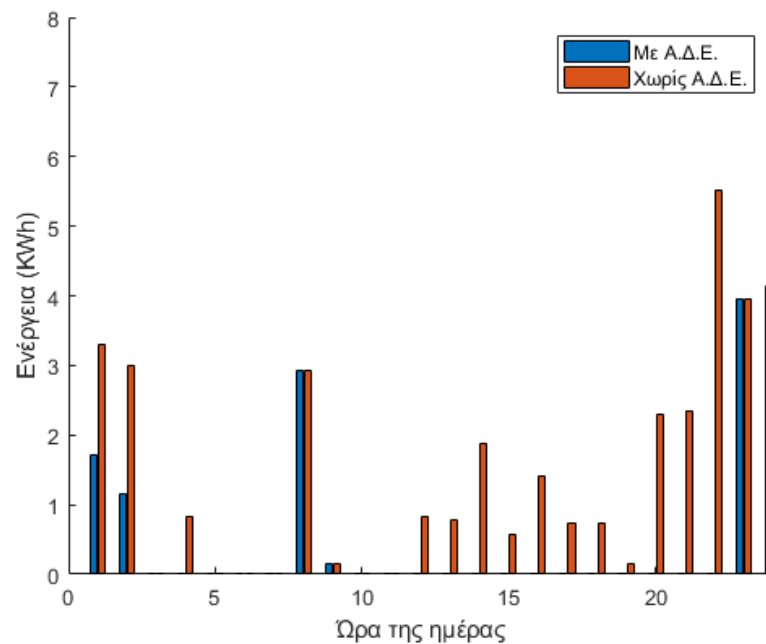
Στη συνέχεια ακολουθούν τα Σχήματα 4.40, 4.41, 4.42 με τα γραφήματα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο, με την ύπαρξη και χωρίς την ύπαρξη Α.Π.Ε. και αλγόριθμου διαχείρισης ενέργειας (Α.Δ.Ε.) για μία καλοκαιρινή ημέρα και για κάθε περίπτωση ζεύγους ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.



Σχήμα 4.40: Γράφημα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια μίας καλοκαιρινής ημέρας, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 1.68 kW και 1.2 kW αντίστοιχα.

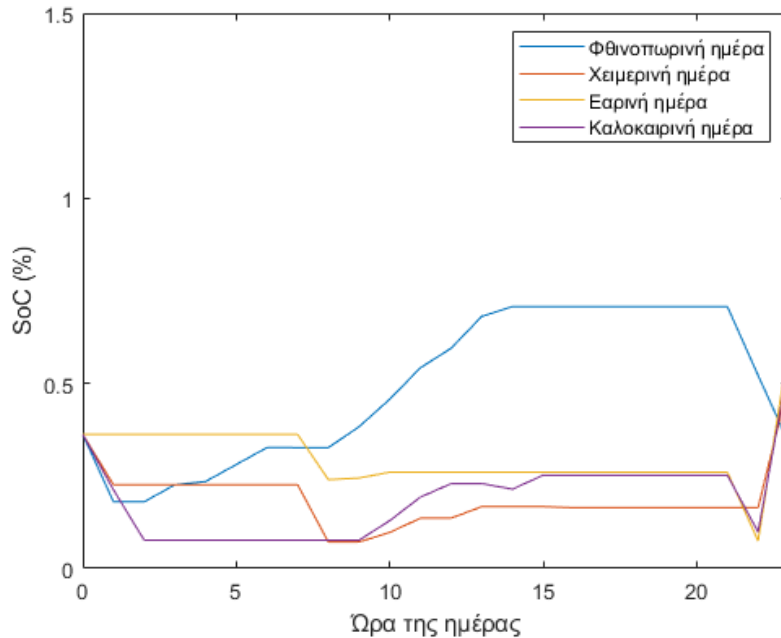


Σχήμα 4.41: Γράφημα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια μίας καλοκαιρινής ημέρας, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 3.36 kW και 2.4 kW αντίστοιχα.

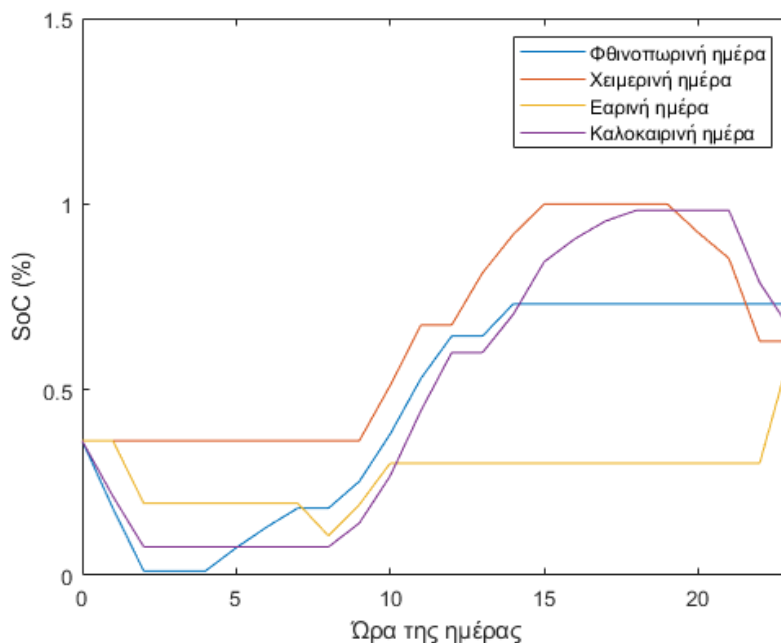


Σχήμα 4.42: Γράφημα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια μίας καλοκαιρινής ημέρας, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 6.72 kW και 4.8 kW αντίστοιχα.

Παρακάτω στα Σχήματα 4.43, 4.44, 4.45 φαίνονται τα διαγράμματα των διακυμάνσεων του επιπέδου φόρτισης της συστοιχίας των μπαταριών της φθινοπωρινής, της χειμερινής, της εαρινής και της καλοκαιρινής ημέρας, για κάθε περίπτωση ζεύγους ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

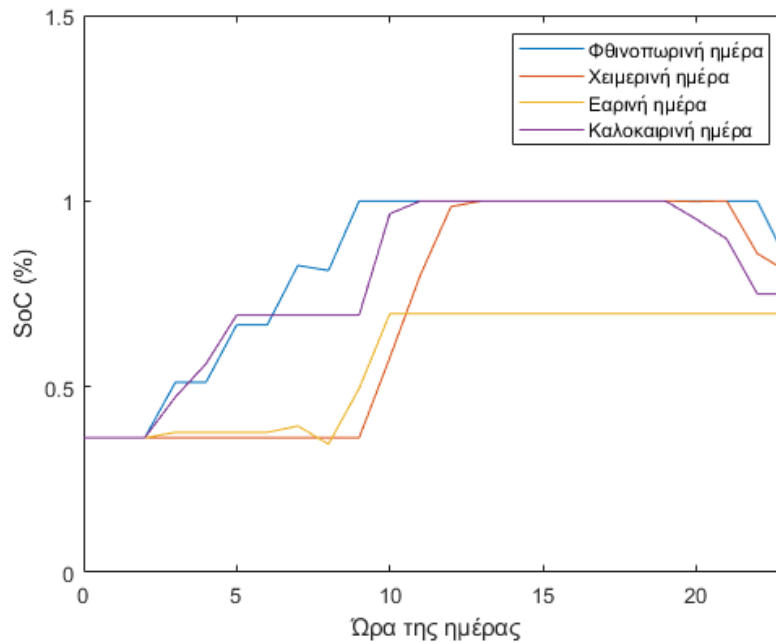


Σχήμα 4.13: Διαγράμματα διακυμάνσεων επιπέδου φόρτισης της συστοιχίας μπαταριών σε μία φθινοπωρινή, μία χειμερινή, μία εαρινή και μία καλοκαιρινή ημέρα, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 1.68 kW και 1.2 kW αντίστοιχα.



Σχήμα 4.44: Διαγράμματα διακυμάνσεων επιπέδου φόρτισης της συστοιχίας μπαταριών σε μία φθινοπωρινή, μία χειμερινή, μία εαρινή και μία καλοκαιρινή ημέρα, στην περίπτωση όπου το

φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ  $3.36\text{ kW}$  και  $2.4\text{ kW}$  αντίστοιχα.

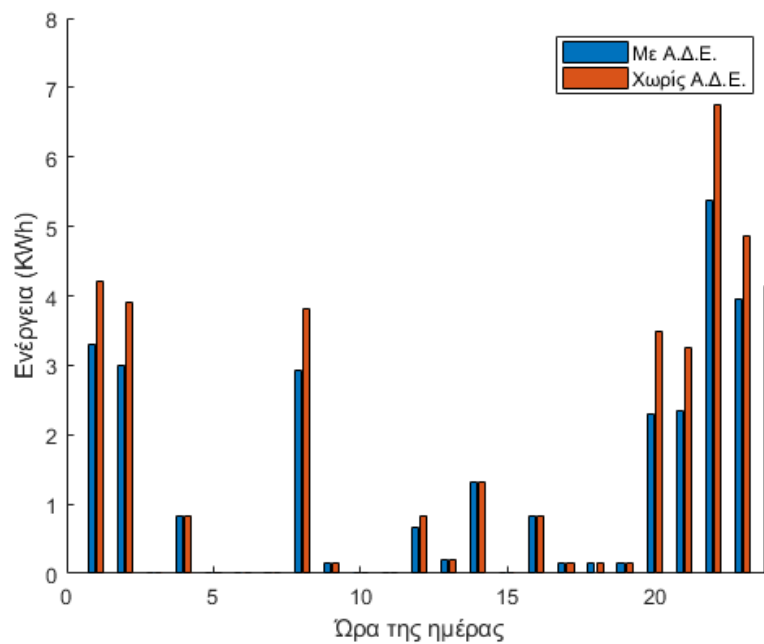


Σχήμα 4.45: Διαγράμματα διακυμάνσεων επιπέδου φόρτισης της συστοιχίας μπαταριών σε μία φθινοπωρινή, μία χειμερινή, μία εαρινή και μία καλοκαιρινή ημέρα, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ  $6.72\text{ kW}$  και  $4.8\text{ kW}$  αντίστοιχα.

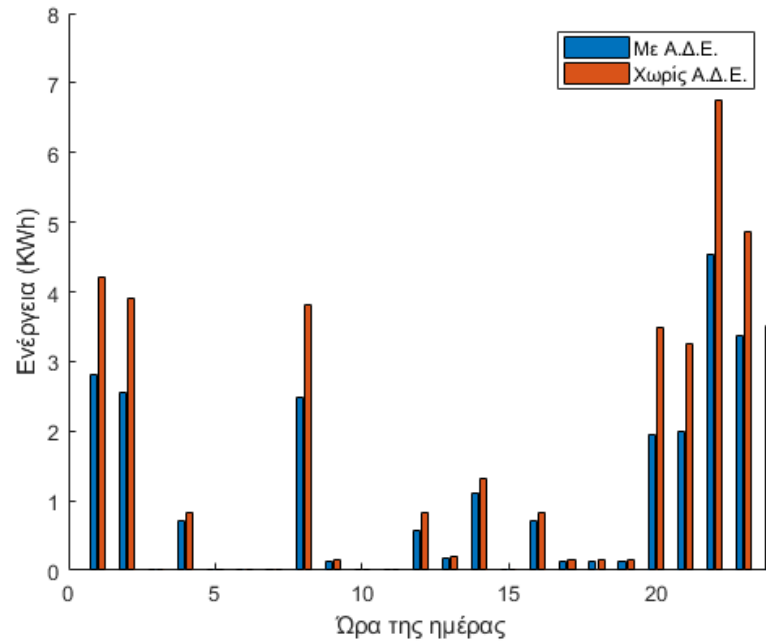
Από τα παραπάνω διαγράμματα που αφορούν το επίπεδο φόρτισης των μπαταριών, παρατηρείται μια ομαλή συμπεριφορά φόρτισης και εκφόρτισης. Οι αυξομειώσεις είναι σχετικά ομαλές και εκτός από την περίπτωση της εαρινής μέρας και που οι Α.Π.Ε. έχουν χαμηλή ονομαστική ισχύς, όπου η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια που αποθηκεύεται στο σύστημα αποθήκευσης ενέργειας είναι χαμηλή, οι μπαταρίες διατηρούνται συχνά σε πολύ ικανοποιητική ή ακόμα και πλήρη κατάσταση φόρτισης.

## 4.5 Αποτελέσματα μεθόδου ελέγχου τιμής

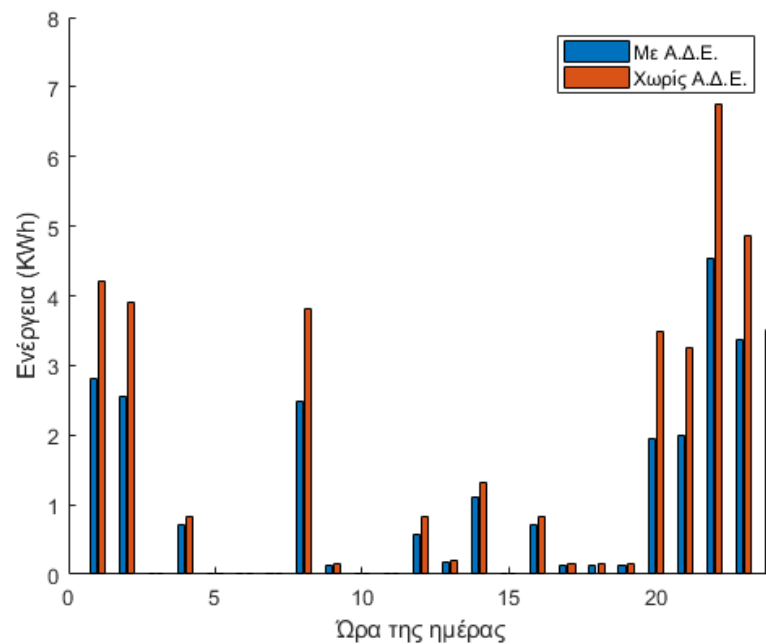
Για τον αλγόριθμο ελέγχου τιμής ακολουθούν τα Σχήματα 4.46, 4.47, 4.48 με τα γραφήματα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο με την ύπαρξη και χωρίς την ύπαρξη Α.Π.Ε. και αλγόριθμου διαχείρισης ενέργειας (Α.Δ.Ε.), για μία φθινοπωρινή ημέρα για κάθε περίπτωση ζεύγους ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.



Σχήμα 4.46: Γράφημα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια μίας φθινοπωρινής ημέρας, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 1.68 kW και 1.2 kW αντίστοιχα.

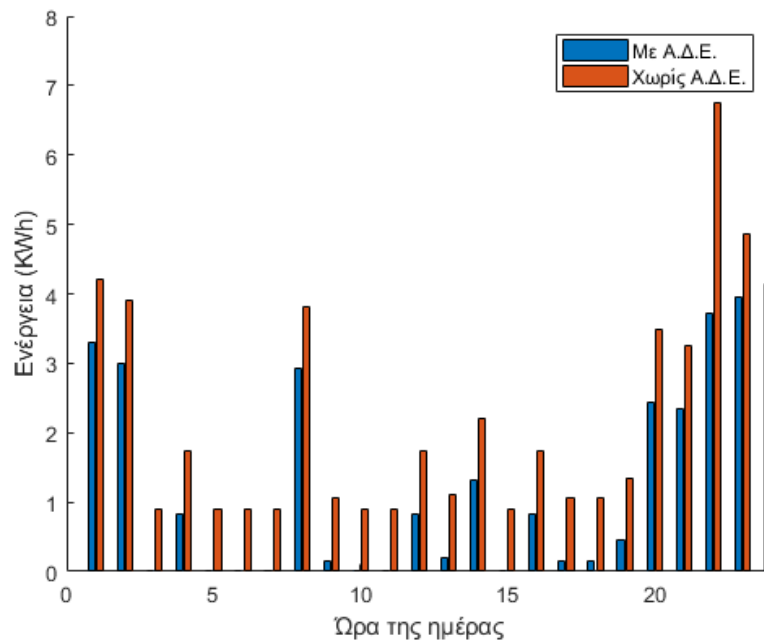


Σχήμα 4.47: Γράφημα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια μίας φθινοπωρινής ημέρας, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 3.36 kW και 2.4 kW αντίστοιχα.



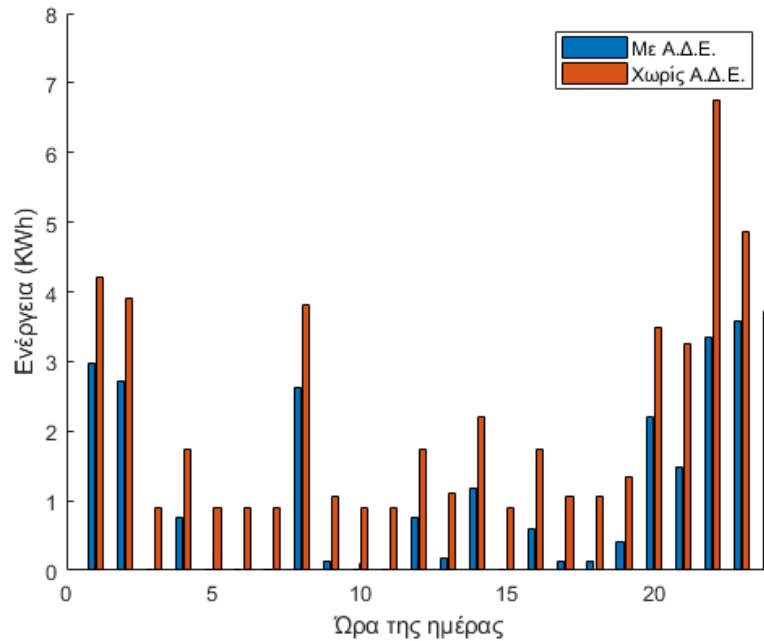
Σχήμα 4.48: Γράφημα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια μίας φθινοπωρινής ημέρας, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 6.72 kW και 4.8 kW αντίστοιχα.

Στη συνέχεια ακολουθούν τα Σχήματα 4.49, 4.50, 4.51 με τα γραφήματα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο, με την ύπαρξη και χωρίς την ύπαρξη Α.Π.Ε. και αλγόριθμου διαχείρισης ενέργειας (Α.Δ.Ε.) για μία χειμερινή ημέρα και για κάθε περίπτωση ζεύγους ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

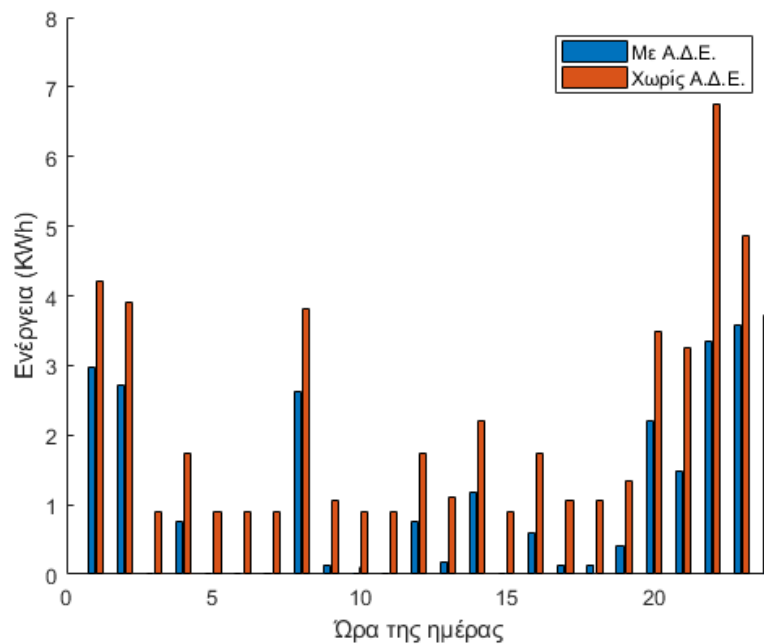


Σχήμα 4.49: Γράφημα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια μίας χειμερινής ημέρας, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 1.68 kW και 1.2 kW αντίστοιχα.



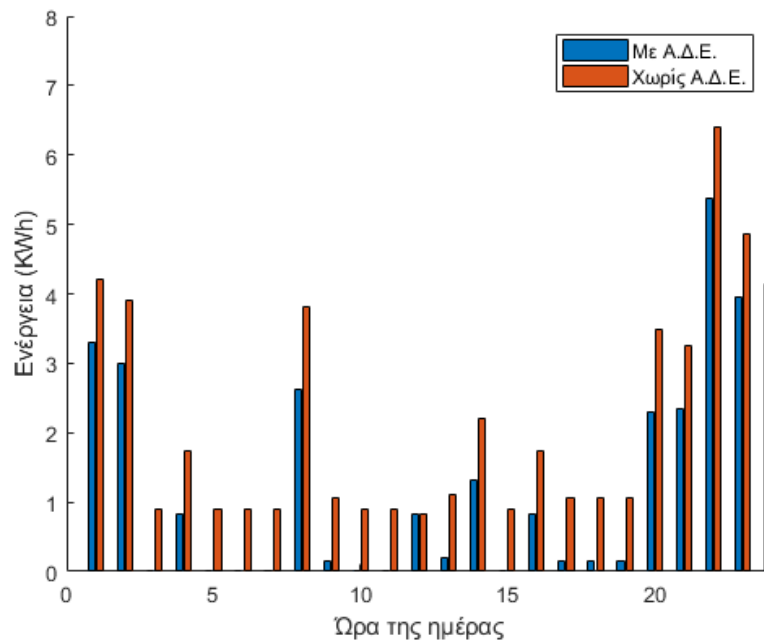


Σχήμα 4.50: Γράφημα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια μίας χειμερινής ημέρας, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 3.36 kW και 2.4 kW αντίστοιχα.

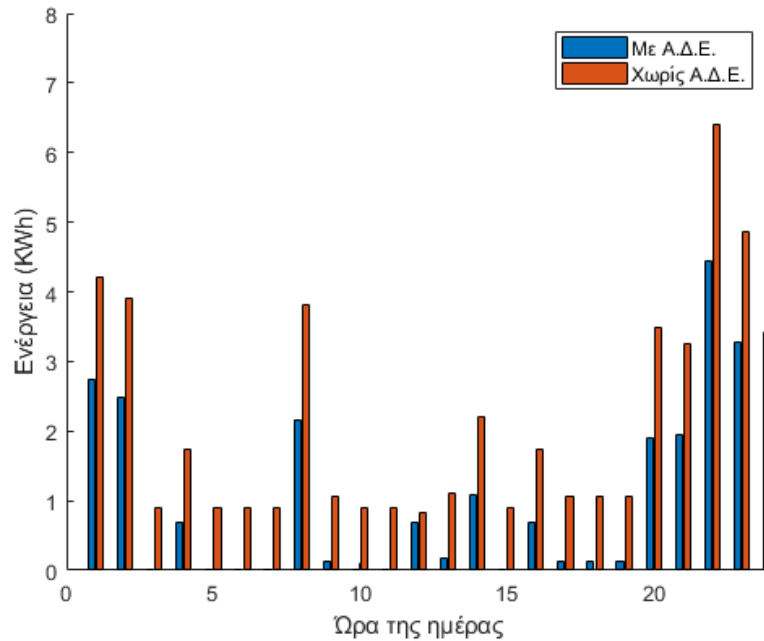


Σχήμα 4.51: Γράφημα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια μίας χειμερινής ημέρας, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 6.72 kW και 4.8 kW αντίστοιχα.

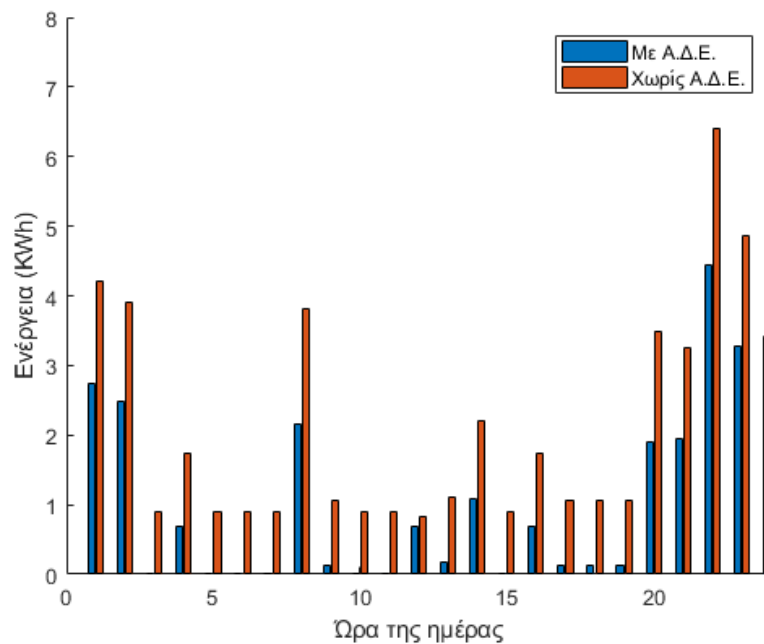
Στη συνέχεια ακολουθούν τα Σχήματα 4.52, 4.53, 4.54 με τα γραφήματα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο, με την ύπαρξη και χωρίς την ύπαρξη Α.Π.Ε. και αλγόριθμου διαχείρισης ενέργειας (Α.Δ.Ε.) για μία εαρινή ημέρα και για κάθε περίπτωση ζεύγους ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.



Σχήμα 4.52: Γράφημα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια μίας εαρινής ημέρας, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 1.68 kW και 1.2 kW αντίστοιχα.

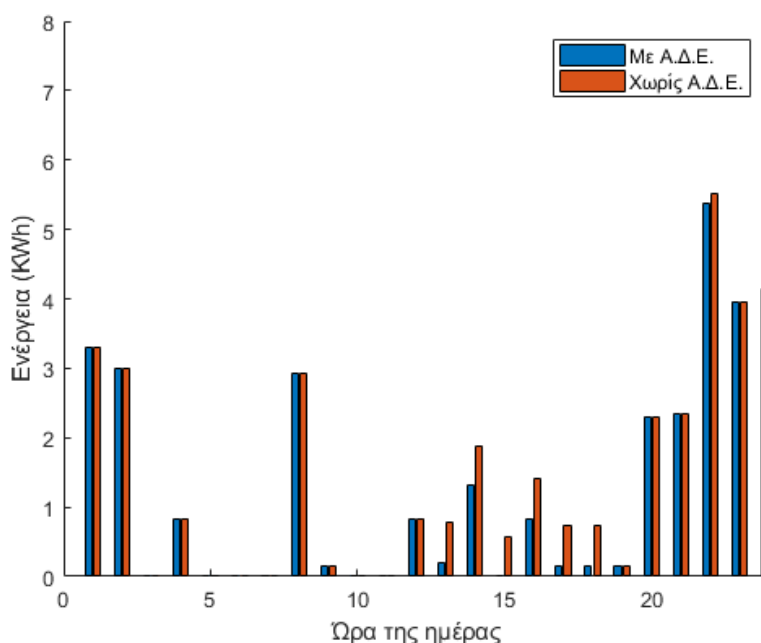


Σχήμα 4.53: Γράφημα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια μίας εαρινής ημέρας, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 3.36 kW και 2.4 kW αντίστοιχα.

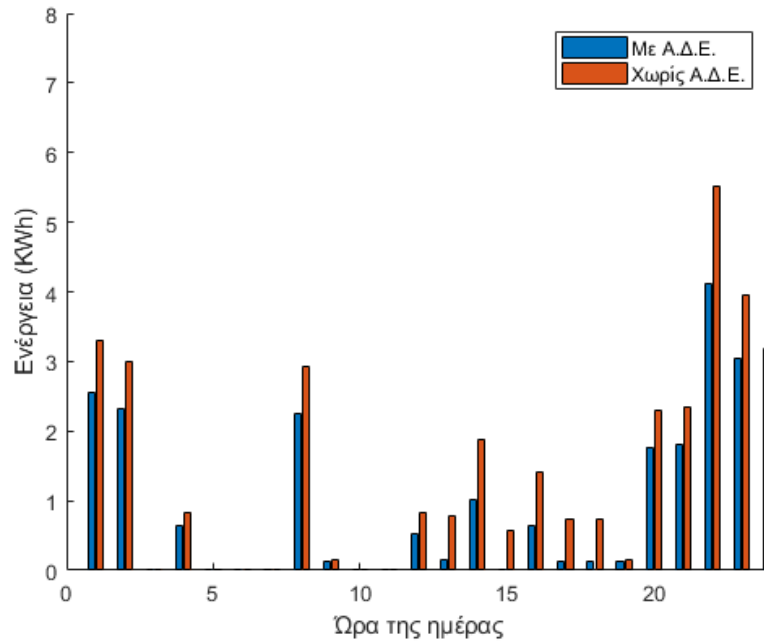


Σχήμα 4.54: Γράφημα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια μίας εαρινής ημέρας, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 6.72 kW και 4.8 kW αντίστοιχα.

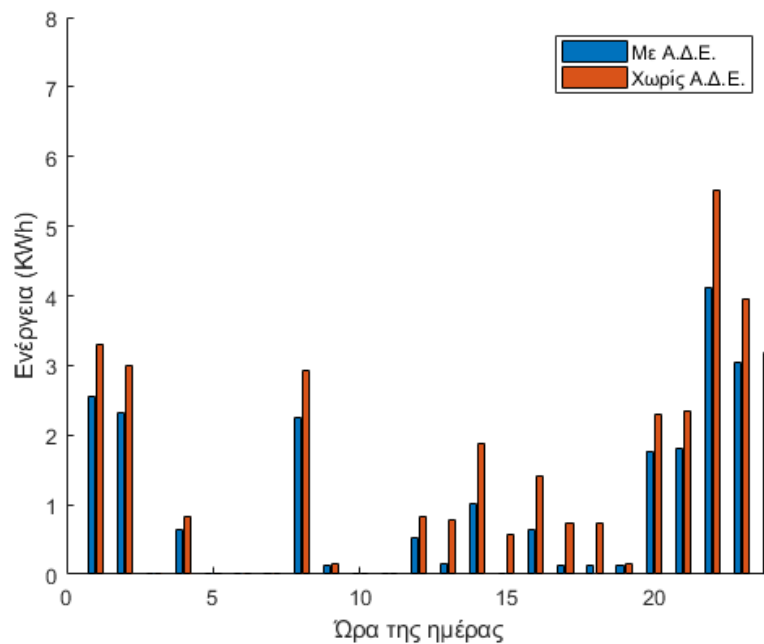
Στη συνέχεια ακολουθούν τα Σχήματα 4.55, 4.56, 4.57 με τα γραφήματα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο, με την ύπαρξη και χωρίς την ύπαρξη Α.Π.Ε. και αλγόριθμου διαχείρισης ενέργειας (Α.Δ.Ε.) για μία καλοκαιρινή ημέρα και για κάθε περίπτωση ζεύγους ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.



Σχήμα 4.55: Γράφημα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια μίας καλοκαιρινής ημέρας, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 1.68 kW και 1.2 kW αντίστοιχα.

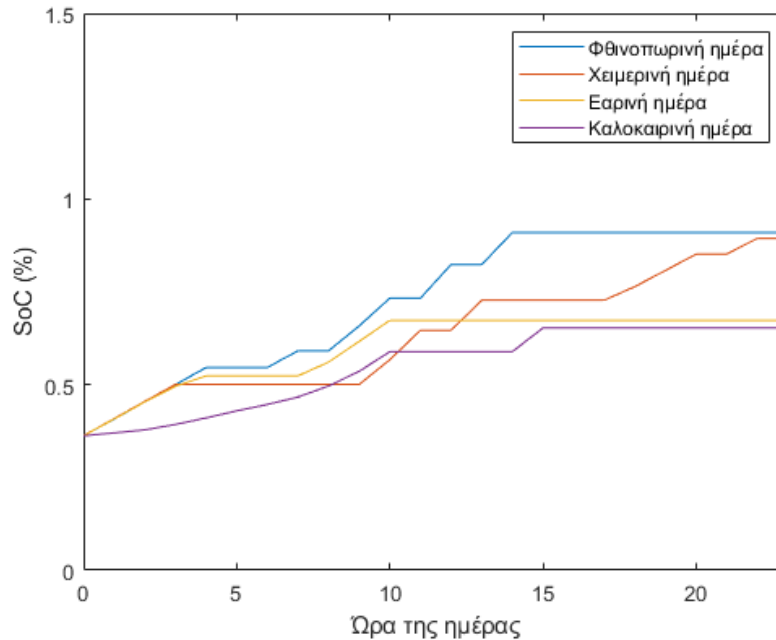


Σχήμα 4.56: Γράφημα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια μίας καλοκαιρινής ημέρας, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 3.36 kW και 2.4 kW αντίστοιχα.

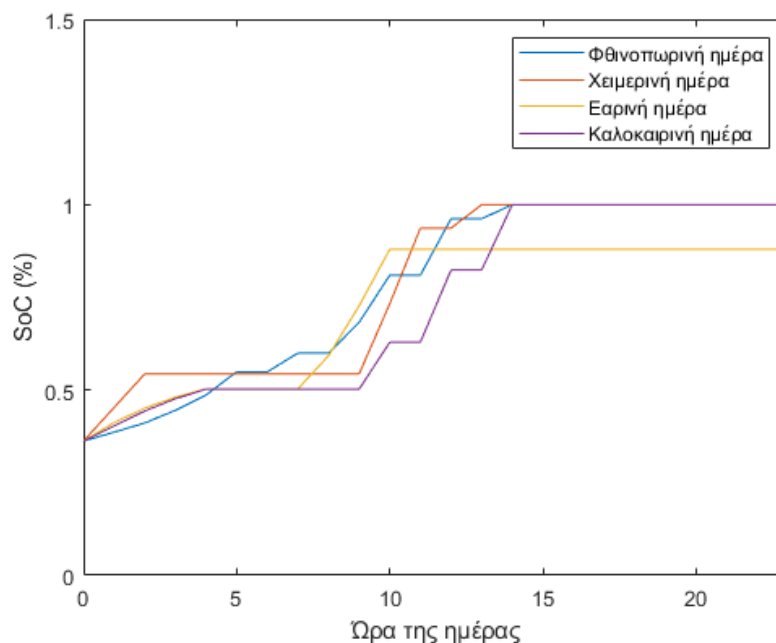


Σχήμα 4.57: Γράφημα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια μίας καλοκαιρινής ημέρας, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 6.72 kW και 4.8 kW αντίστοιχα.

Παρακάτω στα Σχήματα 4.58, 4.59, 4.60 φαίνονται τα διαγράμματα των διακυμάνσεων του επιπέδου φόρτισης της συστοιχίας των μπαταριών της φθινοπωρινής, της χειμερινής, της εαρινής και της καλοκαιρινής ημέρας, για κάθε περίπτωση ζεύγους ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

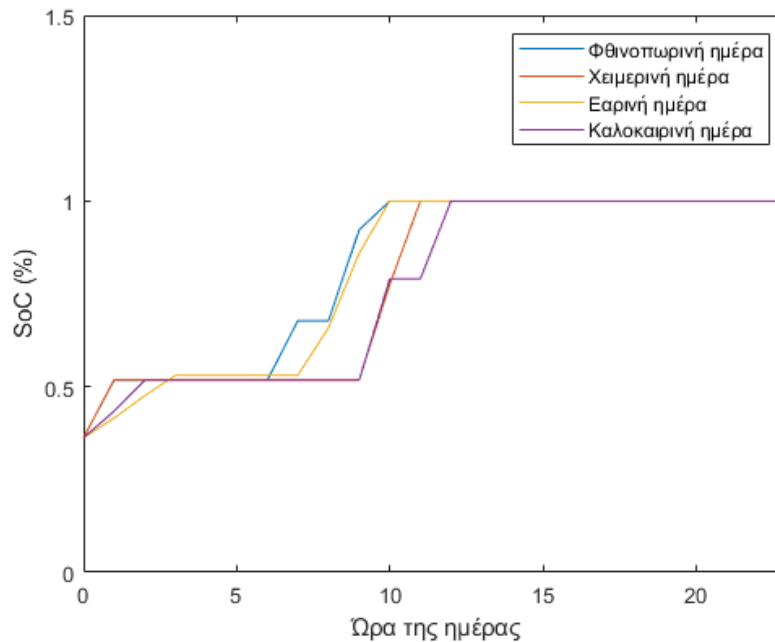


Σχήμα 4.58: Διαγράμματα διακυμάνσεων επιπέδου φόρτισης της συστοιχίας μπαταριών σε μία φθινοπωρινή, μία χειμερινή, μία εαρινή και μία καλοκαιρινή ημέρα, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 1.68 kW και 1.2 kW αντίστοιχα.



Σχήμα 4.59: Διαγράμματα διακυμάνσεων επιπέδου φόρτισης της συστοιχίας μπαταριών σε μία φθινοπωρινή, μία χειμερινή, μία εαρινή και μία καλοκαιρινή ημέρα, στην περίπτωση όπου το

*φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 3.36 kW και 2.4 kW αντίστοιχα.*

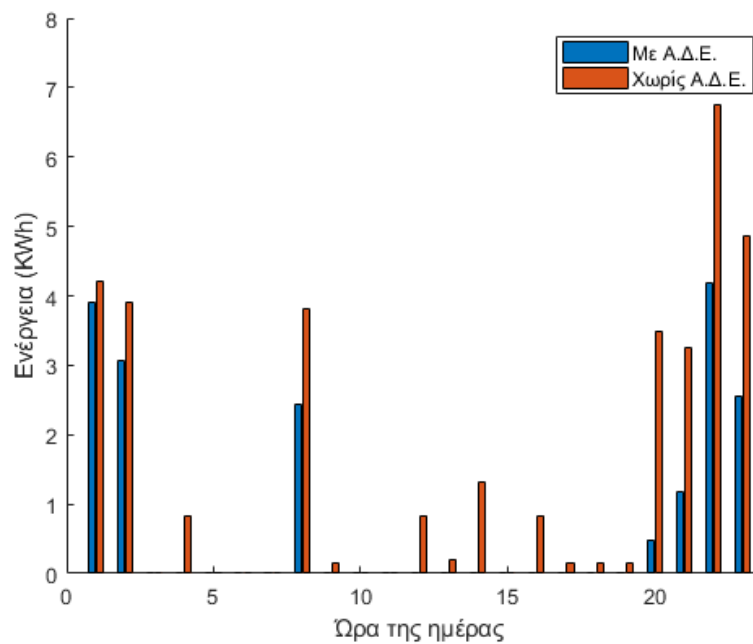


*Σχήμα 4.60: Διαγράμματα διακυμάνσεων επιπέδου φόρτισης της συστοιχίας μπαταριών σε μία φθινοπωρινή, μία χειμερινή, μία εαρινή και μία καλοκαιρινή ημέρα, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 6.72 kW και 4.8 kW αντίστοιχα.*

Από τα παραπάνω διαγράμματα που αφορούν το επίπεδο φόρτισης των μπαταριών, παρατηρείται ότι η συμπεριφορά φόρτισης και εκφόρτισης είναι σχετικά ομαλή, εκτός από την περίπτωση όπου η ονομαστική ισχύς των Α.Π.Ε. είναι η μέγιστη των περιπτώσεων. Τα επίπεδα φόρτισης της συστοιχίας των μπαταριών σε κάθε περίπτωση διατηρούνται είτε σε μεσαία είτε σε υψηλά επίπεδα.

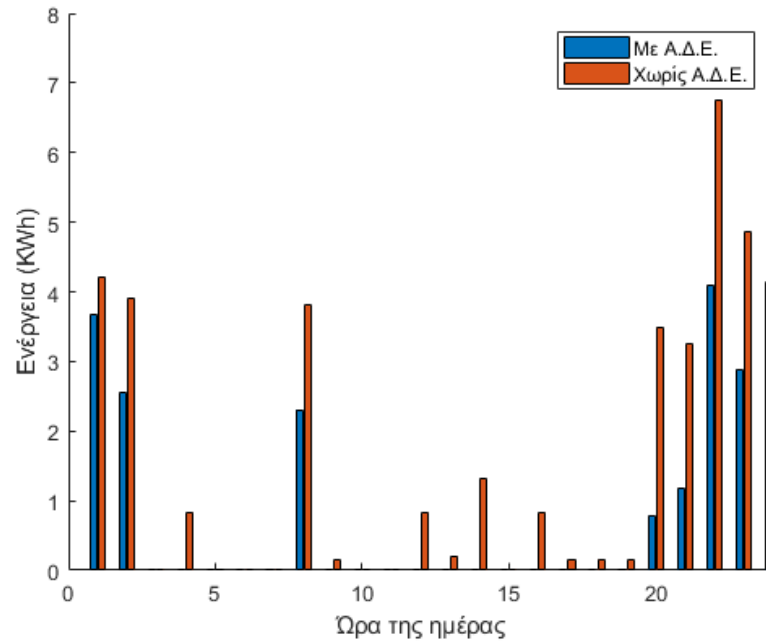
## 4.6 Αποτελέσματα μεθόδου με ελεγκτή ασαφούς λογικής

Για τον αλγόριθμο με ελεγκτή ασαφούς λογικής ακολουθούντα Σχήματα 4.61, 4.62, 4.63 με τα γραφήματα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο με την ύπαρξη και χωρίς την ύπαρξη Α.Π.Ε. και αλγόριθμου διαχείρισης ενέργειας (Α.Δ.Ε.), για μία φθινοπωρινή ημέρα για κάθε περίπτωση ζεύγους ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

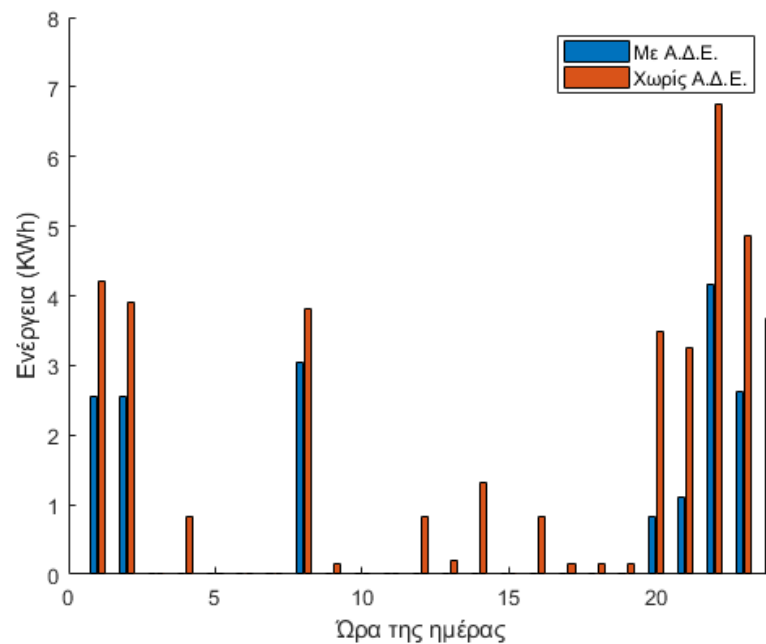


Σχήμα 4.61: Γράφημα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια μίας φθινοπωρινής ημέρας, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 1.68 kW και 1.2 kW αντίστοιχα.



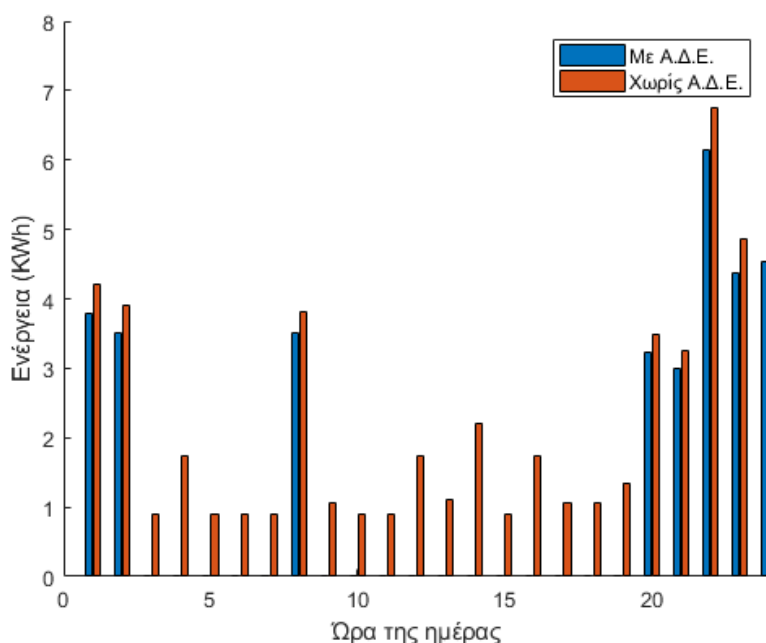


Σχήμα 4.62: Γράφημα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια μίας φθινοπωρινής ημέρας, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 3.36 kW και 2.4 kW αντίστοιχα.

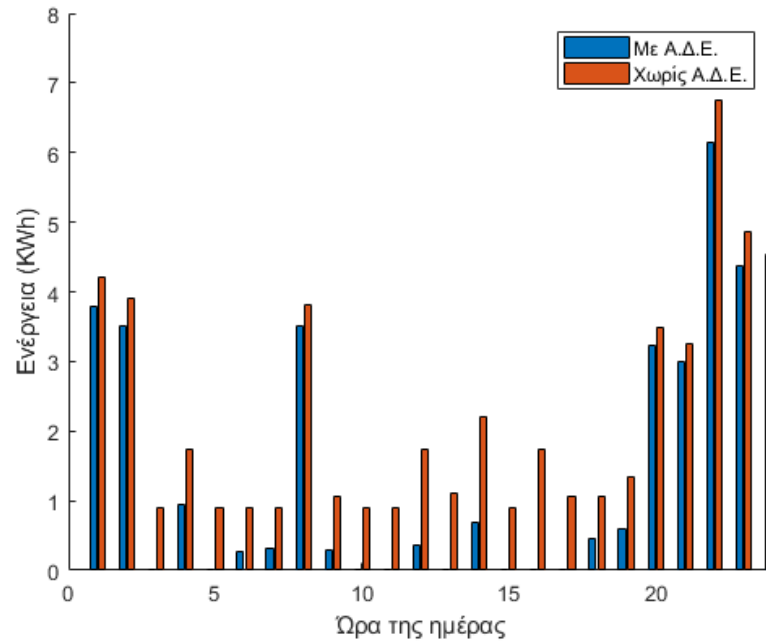


Σχήμα 4.63: Γράφημα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια μίας φθινοπωρινής ημέρας, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 6.72 kW και 4.8 kW αντίστοιχα.

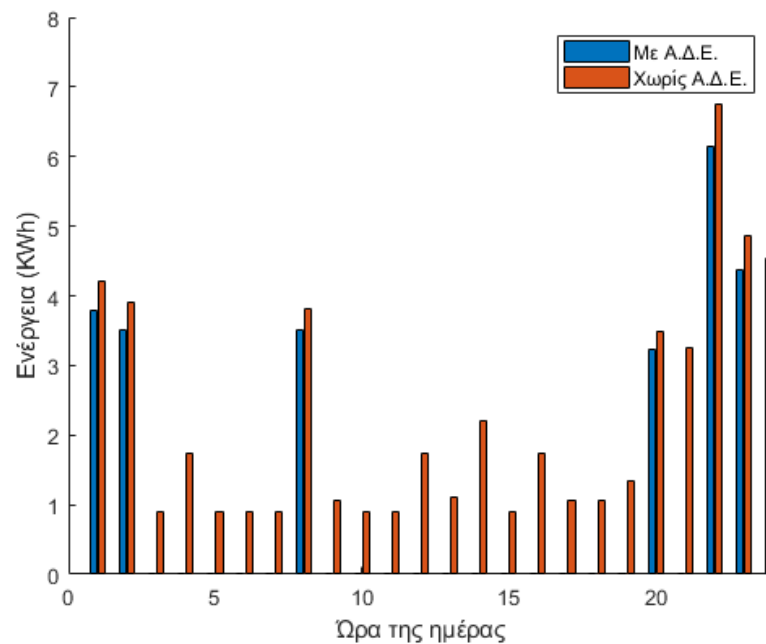
Στη συνέχεια ακολουθούν τα Σχήματα 4.64, 4.65, 4.66 με τα γραφήματα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο, με την ύπαρξη και χωρίς την ύπαρξη Α.Π.Ε. και αλγόριθμου διαχείρισης ενέργειας (Α.Δ.Ε.) για μία χειμερινή ημέρα και για κάθε περίπτωση ζεύγους ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.



Σχήμα 4.64: Γράφημα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια μίας χειμερινής ημέρας, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 1.68 kW και 1.2 kW αντίστοιχα.

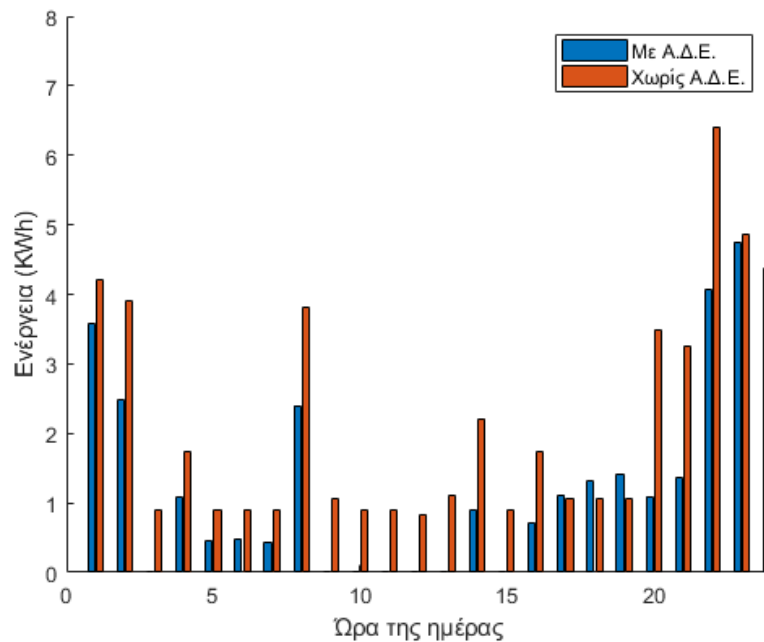


Σχήμα 4.65: Γράφημα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια μίας χειμερινής ημέρας, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 3.36 kW και 2.4 kW αντίστοιχα.

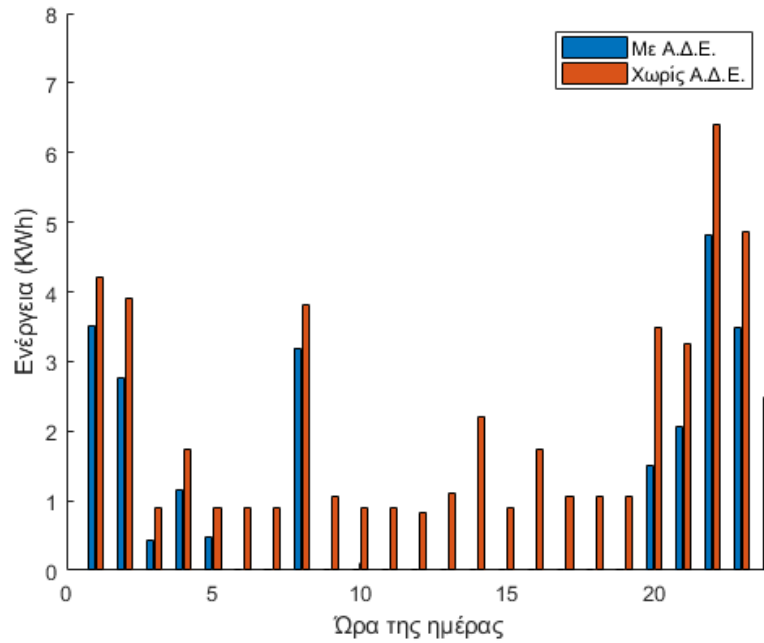


Σχήμα 4.66: Γράφημα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια μίας χειμερινής ημέρας, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 6.72 kW και 4.8 kW αντίστοιχα.

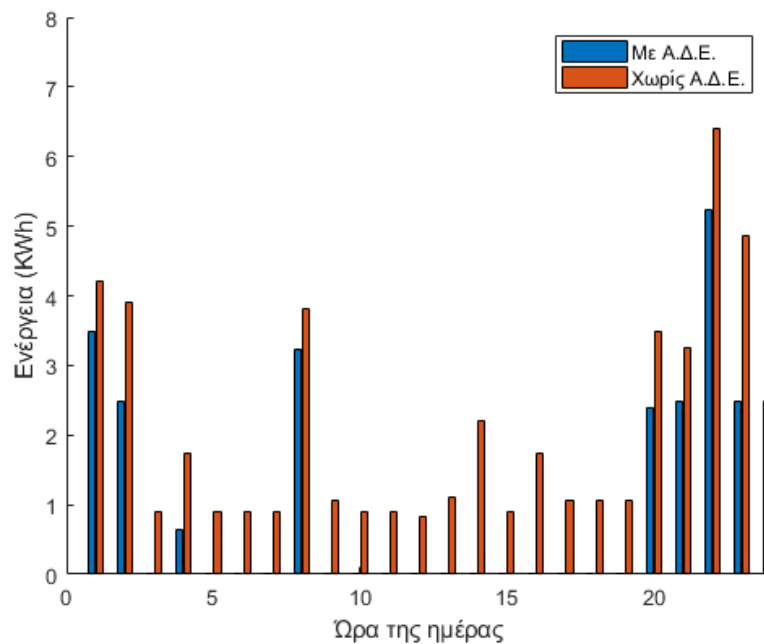
Στη συνέχεια ακολουθούν τα Σχήματα 4.67, 4.68, 4.69 με τα γραφήματα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο, με την ύπαρξη και χωρίς την ύπαρξη Α.Π.Ε. και αλγόριθμου διαχείρισης ενέργειας (Α.Δ.Ε.) για μία εαρινή ημέρα και για κάθε περίπτωση ζεύγους ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.



Σχήμα 4.67: Γράφημα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια μίας εαρινής ημέρας, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 1.68 kW και 1.2 kW αντίστοιχα.

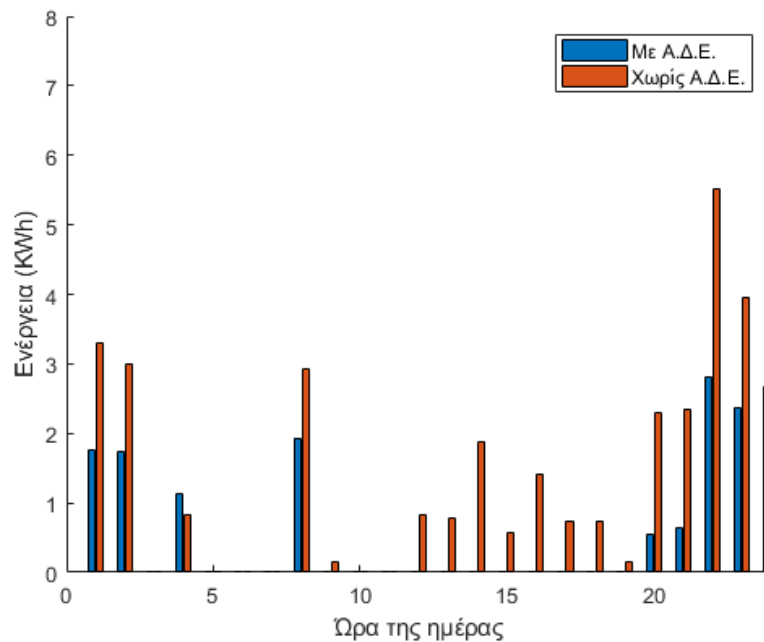


Σχήμα 4.68: Γράφημα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια μίας εαρινής ημέρας, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 3.36 kW και 2.4 kW αντίστοιχα.

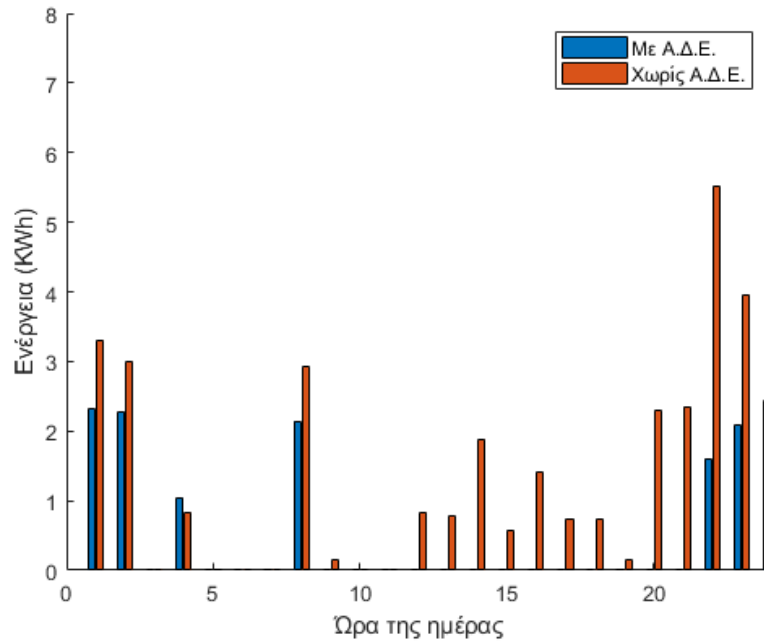


Σχήμα 4.69: Γράφημα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια μίας εαρινής ημέρας, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 6.72 kW και 4.8 kW αντίστοιχα.

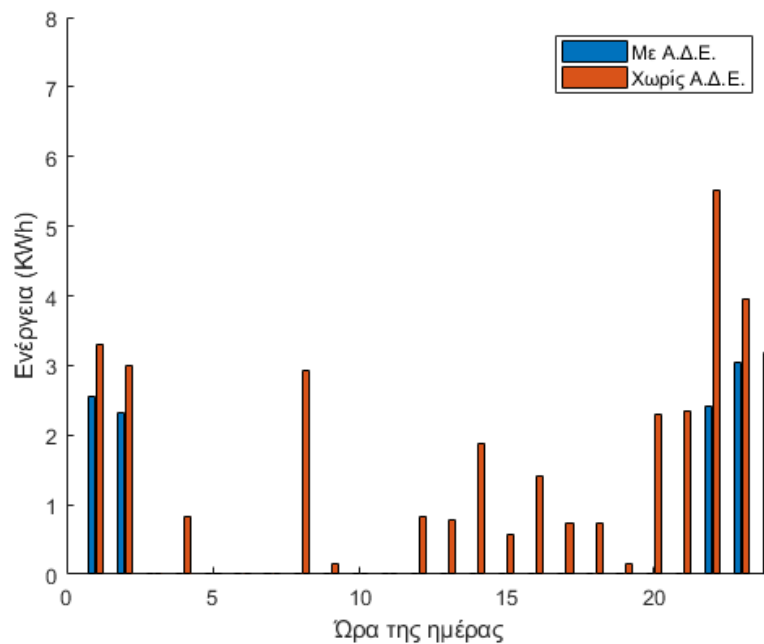
Στη συνέχεια ακολουθούν τα Σχήματα 4.70, 4.71, 4.72 με τα γραφήματα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο, με την ύπαρξη και χωρίς την ύπαρξη Α.Π.Ε. και αλγόριθμου διαχείρισης ενέργειας (Α.Δ.Ε.) για μία καλοκαιρινή ημέρα και για κάθε περίπτωση ζεύγους ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.



Σχήμα 4.70: Γράφημα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια μίας καλοκαιρινής ημέρας, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 1.68 kW και 1.2 kW αντίστοιχα.

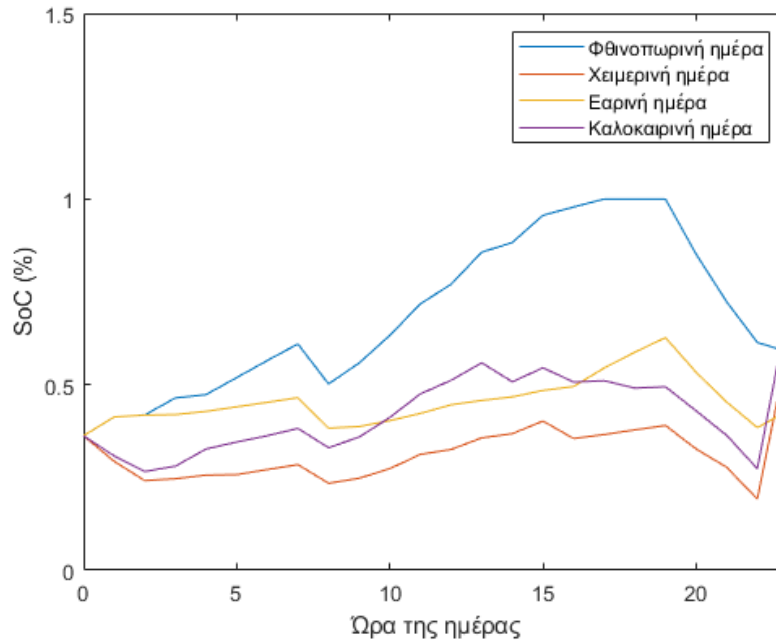


Σχήμα 4.71: Γράφημα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια μίας καλοκαιρινής ημέρας, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 3.36 kW και 2.4 kW αντίστοιχα.

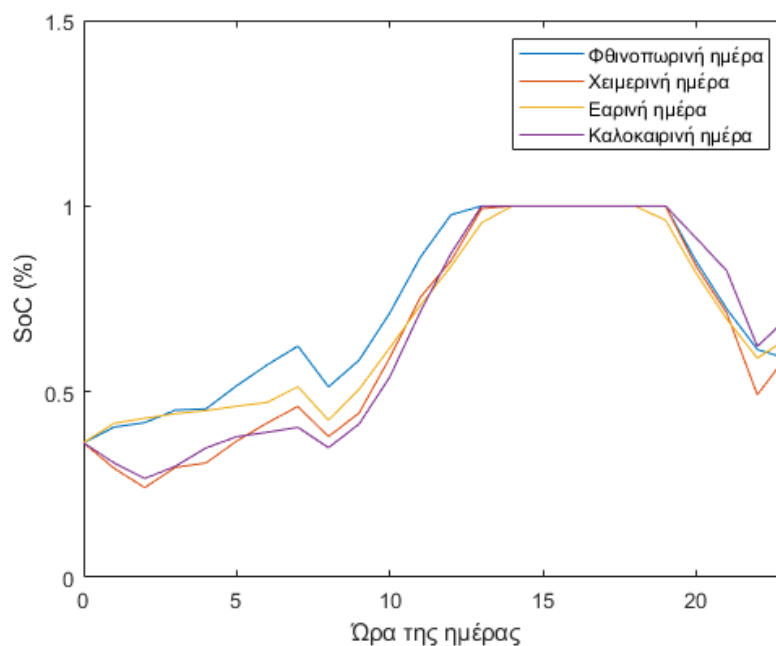


Σχήμα 4.72: Γράφημα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια μίας καλοκαιρινής ημέρας, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 6.72 kW και 4.8 kW αντίστοιχα.

Παρακάτω στα Σχήματα 4.73, 4.74, 4.75 φαίνονται τα διαγράμματα των διακυμάνσεων του επιπέδου φόρτισης της συστοιχίας των μπαταριών της φθινοπωρινής, της χειμερινής, της εαρινής και της καλοκαιρινής ημέρας, για κάθε περίπτωση ζεύγους ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.



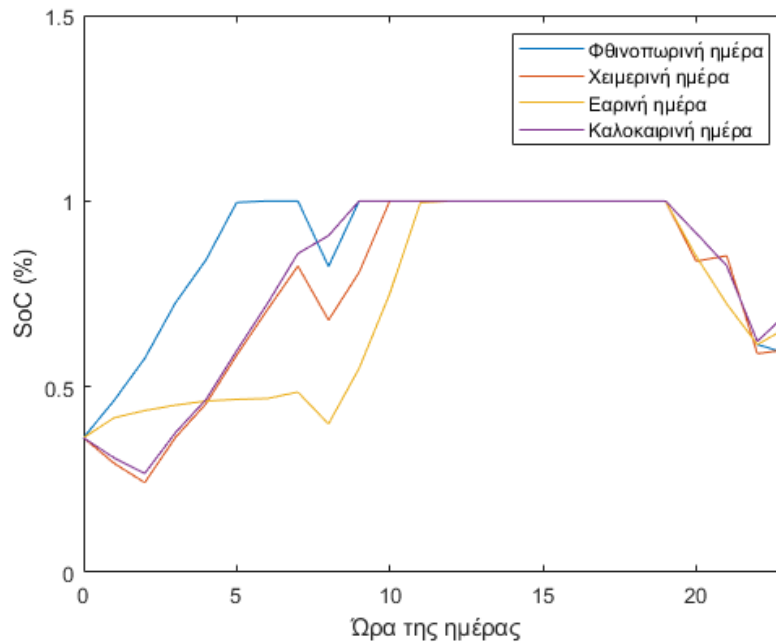
Σχήμα 4.73: Διαγράμματα διακυμάνσεων επιπέδου φόρτισης της συστοιχίας μπαταριών σε μία φθινοπωρινή, μία χειμερινή, μία εαρινή και μία καλοκαιρινή ημέρα, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 1.68 kW και 1.2 kW αντίστοιχα.



Σχήμα 4.74: Διαγράμματα διακυμάνσεων επιπέδου φόρτισης της συστοιχίας μπαταριών σε μία φθινοπωρινή, μία χειμερινή, μία εαρινή και μία καλοκαιρινή ημέρα, στην περίπτωση όπου το



φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 3.36 kW και 2.4 kW αντίστοιχα.

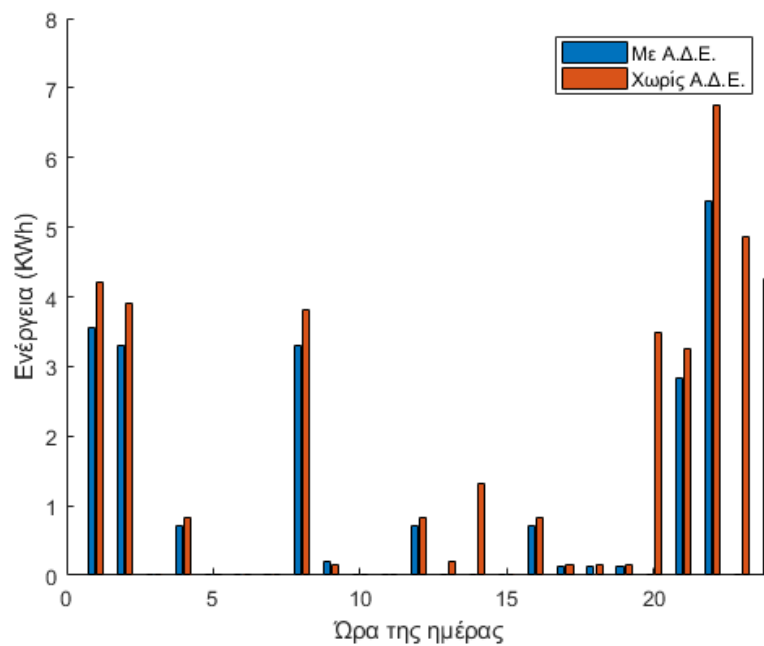


Σχήμα 4.75: Διαγράμματα διακυμάνσεων επιπέδου φόρτισης της συστοιχίας μπαταριών σε μία φθινοπωρινή, μία χειμερινή, μία εαρινή και μία καλοκαιρινή ημέρα, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 6.72 kW και 4.8 kW αντίστοιχα.

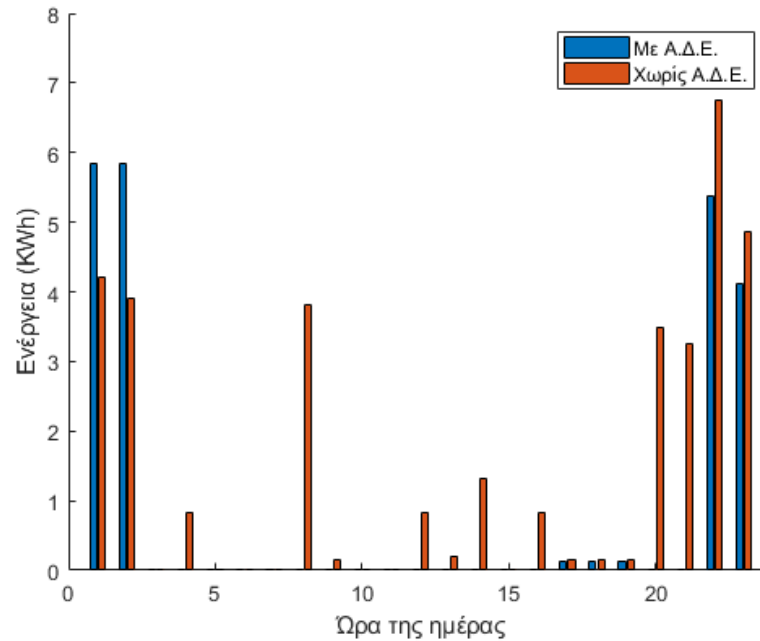
Από τα παραπάνω διαγράμματα που αφορούν το επίπεδο φόρτισης των μπαταριών, παρατηρούνται σχετικά ομαλές αυξομειώσεις μεταξύ των επιπέδων. Επίσης, αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι το απόθεμα του συστήματος αποθήκευσης ενέργειας, διατηρείται σε υψηλά επίπεδα εκτός από την περίπτωση όπου η ονομαστική ισχύς των Α.Π.Ε. είναι η μικρότερη.

## 4.7 Αποτελέσματα μεθόδου κυλιόμενου χρονικού ορίζοντα

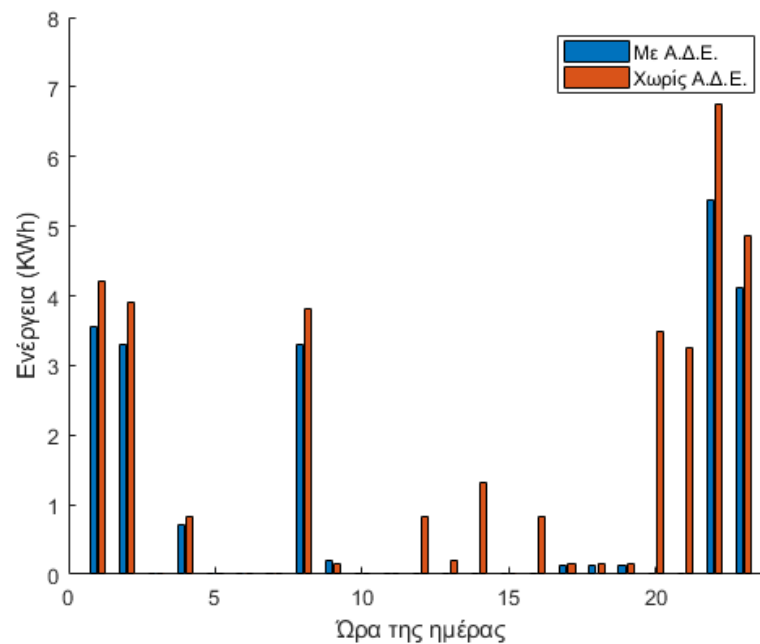
Για τον αλγόριθμο κυλιόμενου χρονικού ορίζοντα ακολουθούν τα Σχήματα 4.76, 4.77, 4.78 με τα γραφήματα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο με την ύπαρξη και χωρίς την ύπαρξη Α.Π.Ε. και αλγόριθμου διαχείρισης ενέργειας (Α.Δ.Ε.), για μία φθινοπωρινή ημέρα για κάθε περίπτωση ζεύγους ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.



Σχήμα 4.76: Γράφημα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια μίας φθινοπωρινής ημέρας, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 1.68 kW και 1.2 kW αντίστοιχα.

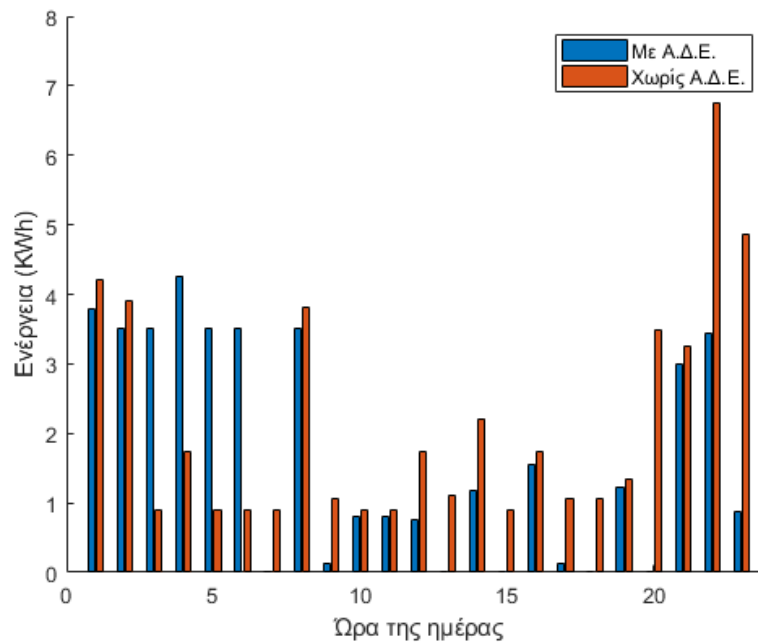


Σχήμα 4.77: Γράφημα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια μίας φθινοπωρινής ημέρας, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 3.36 kW και 2.4 kW αντίστοιχα.

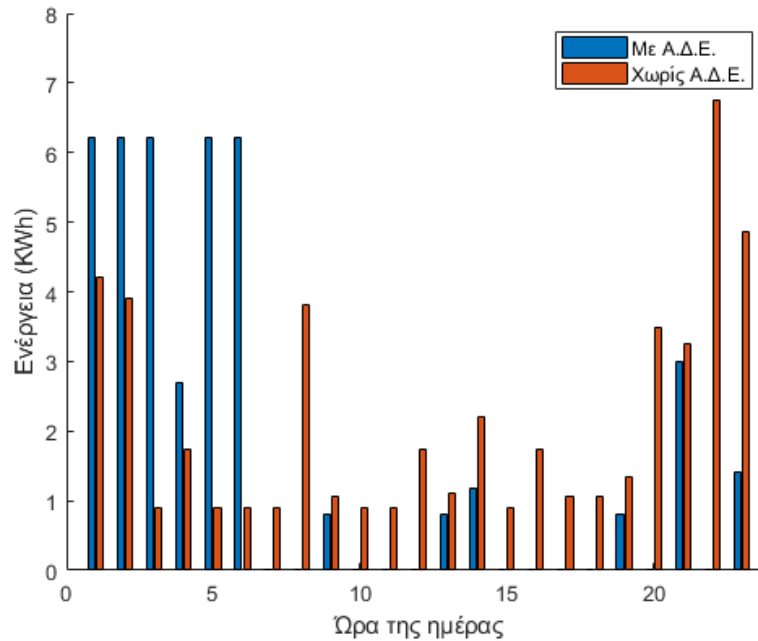


Σχήμα 4.78: Γράφημα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια μίας φθινοπωρινής ημέρας, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 6.72 kW και 4.8 kW αντίστοιχα.

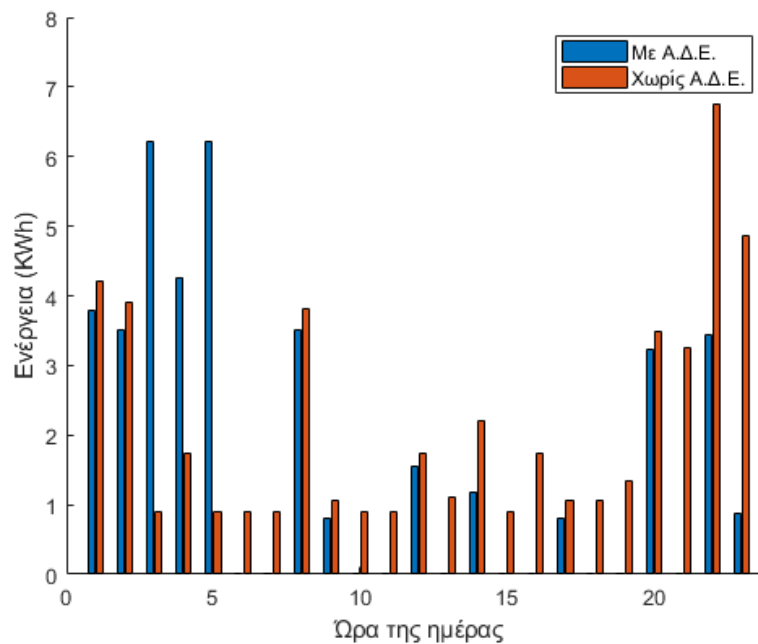
Στη συνέχεια ακολουθούν τα Σχήματα 4.79, 4.80, 4.81 με τα γραφήματα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο, με την ύπαρξη και χωρίς την ύπαρξη Α.Π.Ε. και αλγόριθμου διαχείρισης ενέργειας (Α.Δ.Ε.) για μία χειμερινή ημέρα και για κάθε περίπτωση ζεύγους ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.



Σχήμα 4.79: Γράφημα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια μίας χειμερινής ημέρας, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 1.68 kW και 1.2 kW αντίστοιχα.

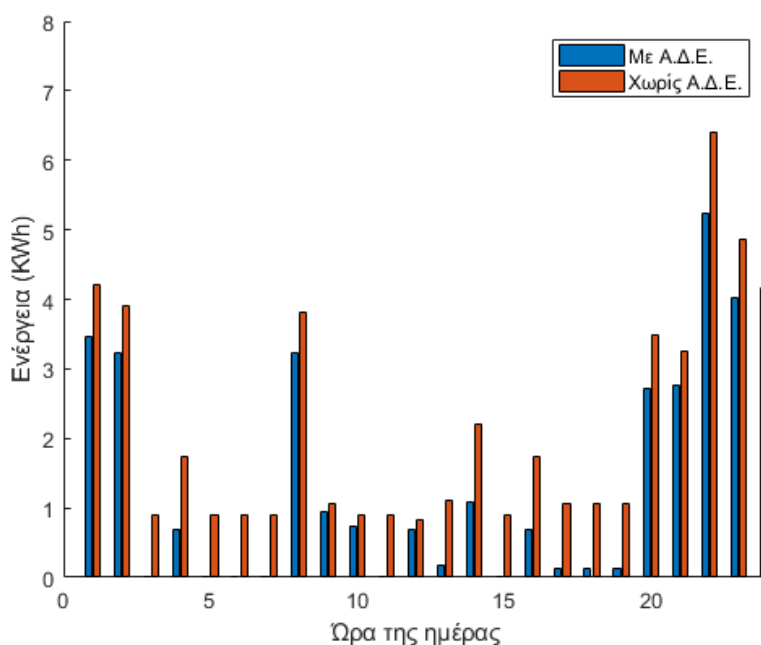


Σχήμα 4.80: Γράφημα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια μίας χειμερινής ημέρας, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 3.36 kW και 2.4 kW αντίστοιχα.

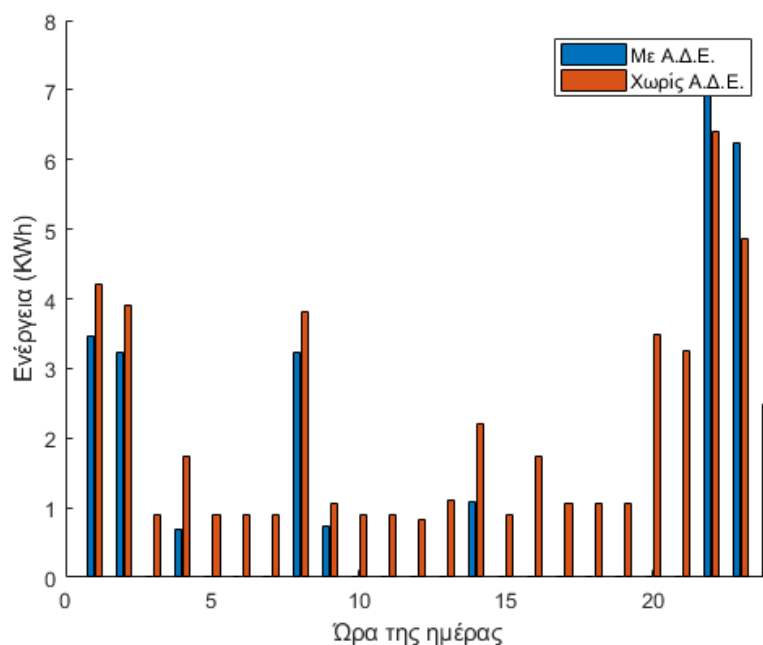


Σχήμα 4.81: Γράφημα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια μίας χειμερινής ημέρας, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 6.72 kW και 4.8 kW αντίστοιχα.

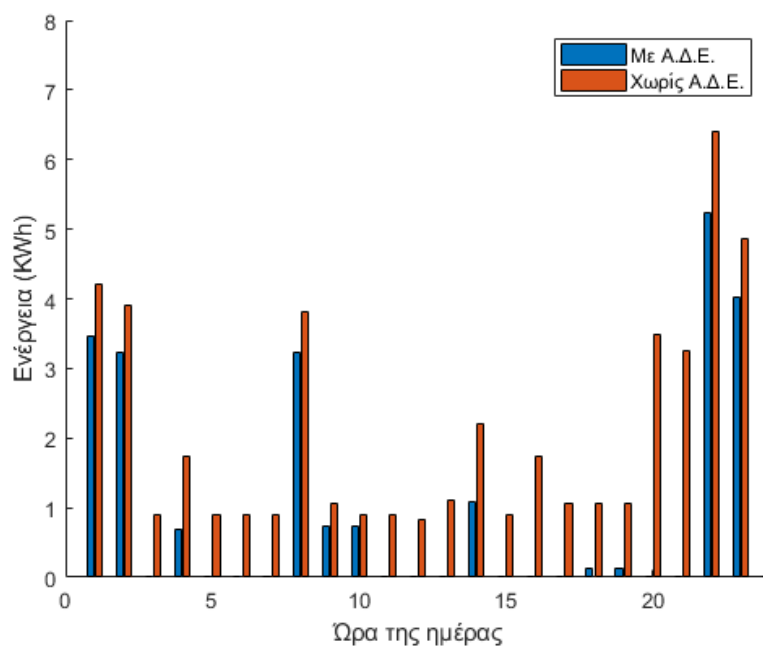
Στη συνέχεια ακολουθούν τα Σχήματα 4.82, 4.83, 4.84 με τα γραφήματα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο, με την ύπαρξη και χωρίς την ύπαρξη Α.Π.Ε. και αλγόριθμου διαχείρισης ενέργειας (Α.Δ.Ε.) για μία εαρινή ημέρα και για κάθε περίπτωση ζεύγους ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.



Σχήμα 4.82: Γράφημα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια μίας εαρινής ημέρας, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 1.68 kW και 1.2 kW αντίστοιχα

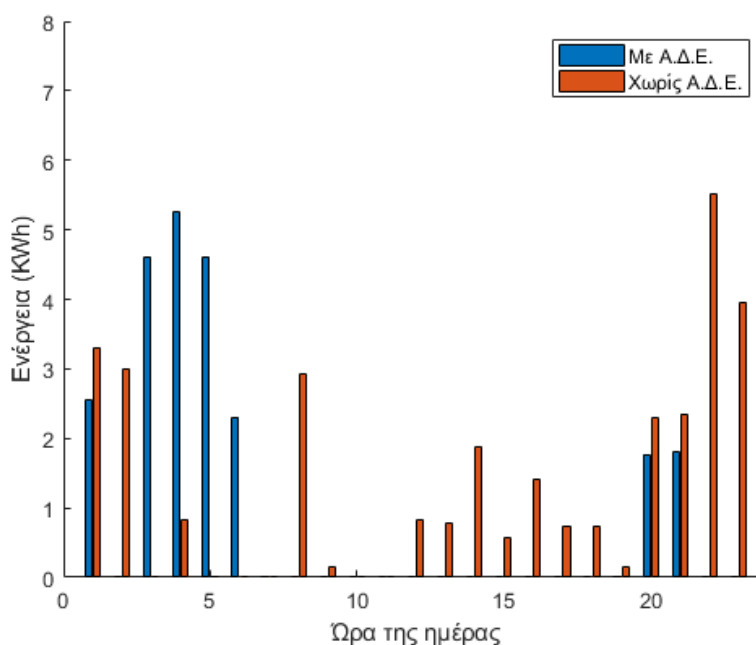


Σχήμα 4.83: Γράφημα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια μίας εαρινής ημέρας, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 3.36 kW και 2.4 kW αντίστοιχα.



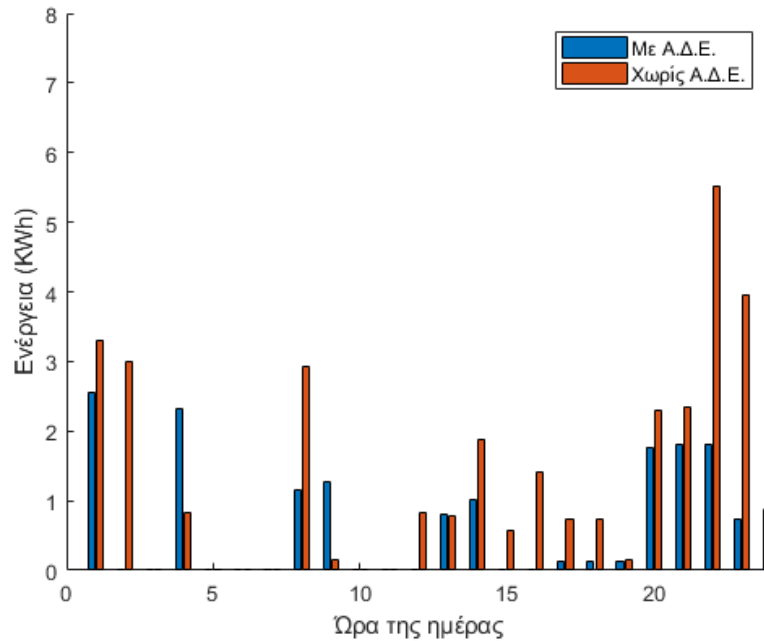
Σχήμα 4.84: Γράφημα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια μίας εαρινής ημέρας, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 6.72 kW και 4.8 kW αντίστοιχα.

Στη συνέχεια ακολουθούν τα Σχήματα 4.85, 4.86, 4.87 με τα γραφήματα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο, με την ύπαρξη και χωρίς την ύπαρξη Α.Π.Ε. και αλγόριθμου διαχείρισης ενέργειας (Α.Δ.Ε.) για μία καλοκαιρινή ημέρα και για κάθε περίπτωση ζεύγους ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

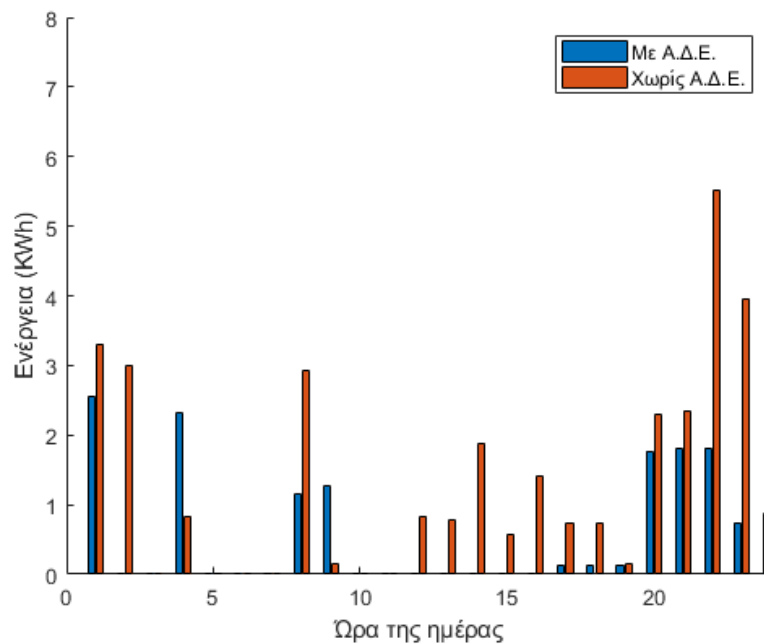


Σχήμα 4.85: Γράφημα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια μίας καλοκαιρινής ημέρας, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 1.68 kW και 1.2 kW αντίστοιχα.



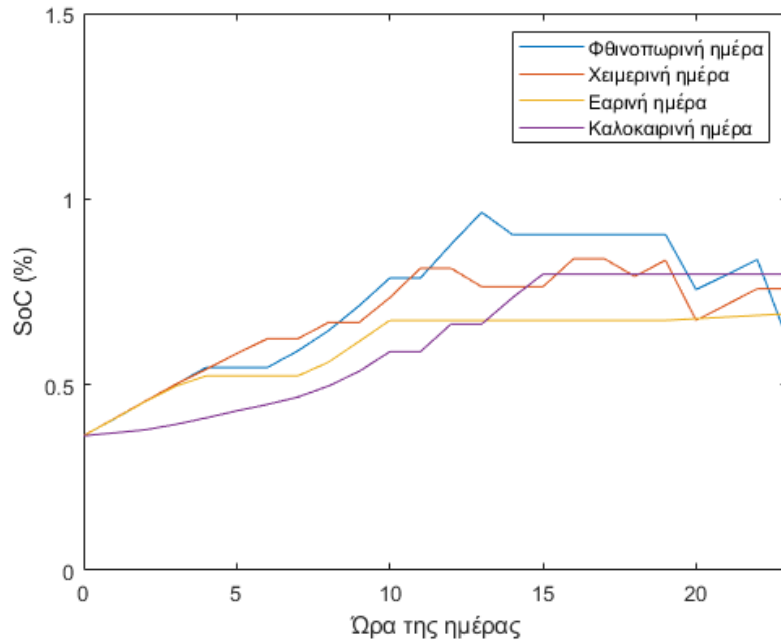


Σχήμα 4.86: Γράφημα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια μίας καλοκαιρινής ημέρας, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 3.36 kW και 2.4 kW αντίστοιχα.

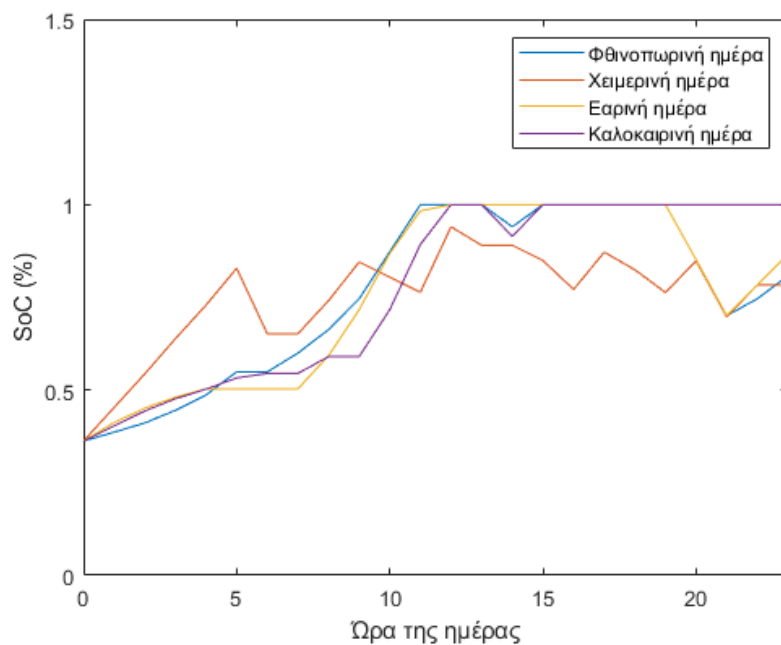


Σχήμα 4.87: Γράφημα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια μίας καλοκαιρινής ημέρας, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 6.72 kW και 4.8 kW αντίστοιχα.

Παρακάτω στα Σχήματα 4.88, 4.89, 4.90 φαίνονται τα διαγράμματα των διακυμάνσεων του επιπέδου φόρτισης της συστοιχίας των μπαταριών της φθινοπωρινής, της χειμερινής, της εαρινής και της καλοκαιρινής ημέρας, για κάθε περίπτωση ζεύγους ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

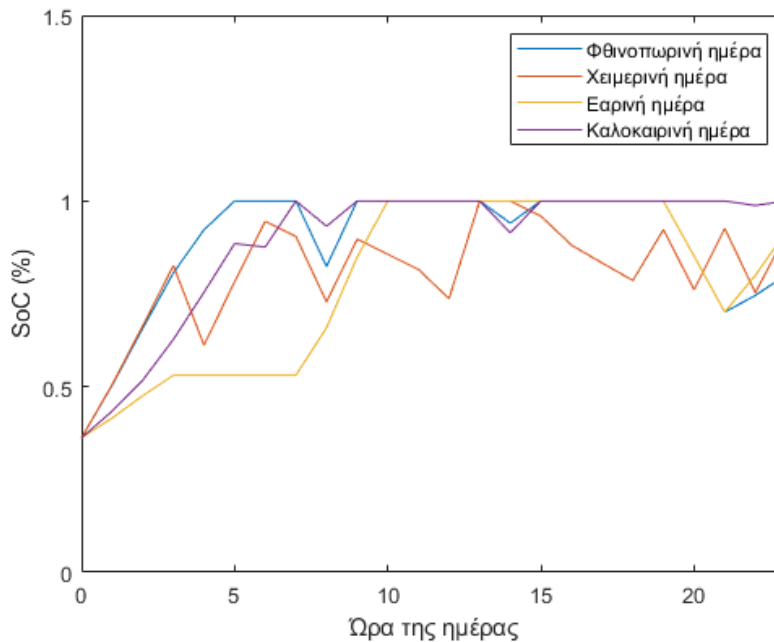


Σχήμα 4.88: Διαγράμματα διακυμάνσεων επιπέδου φόρτισης της συστοιχίας μπαταριών σε μία φθινοπωρινή, μία χειμερινή, μία εαρινή και μία καλοκαιρινή ημέρα, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 1.68 kW και 1.2 kW αντίστοιχα.



Σχήμα 4.89: Διαγράμματα διακυμάνσεων επιπέδου φόρτισης της συστοιχίας μπαταριών σε μία φθινοπωρινή, μία χειμερινή, μία εαρινή και μία καλοκαιρινή ημέρα, στην περίπτωση όπου το

φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 3.36 kW και 2.4 kW αντίστοιχα.

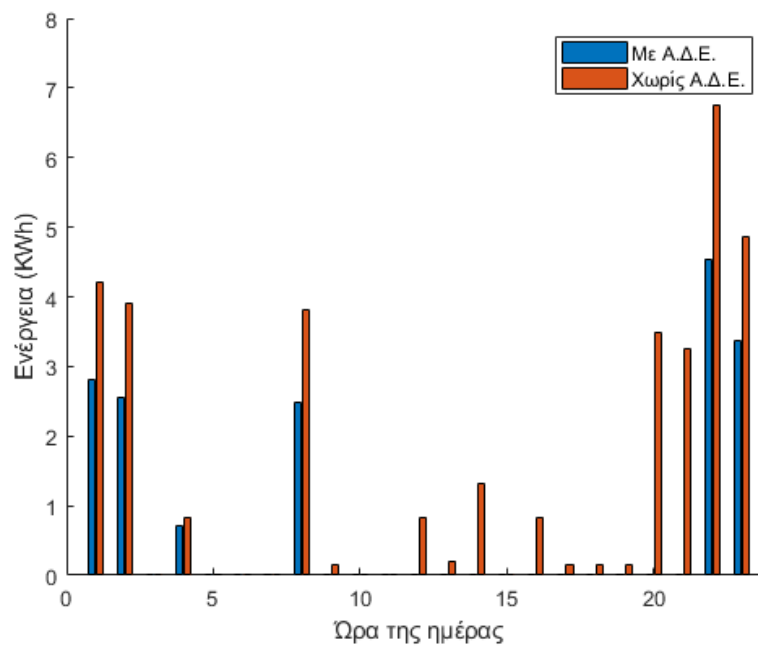


Σχήμα 4.90: Διαγράμματα διακυμάνσεων επιπέδου φόρτισης της συστοιχίας μπαταριών σε μία φθινοπωρινή, μία χειμερινή, μία εαρινή και μία καλοκαιρινή ημέρα, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 6.72 kW και 4.8 kW αντίστοιχα.

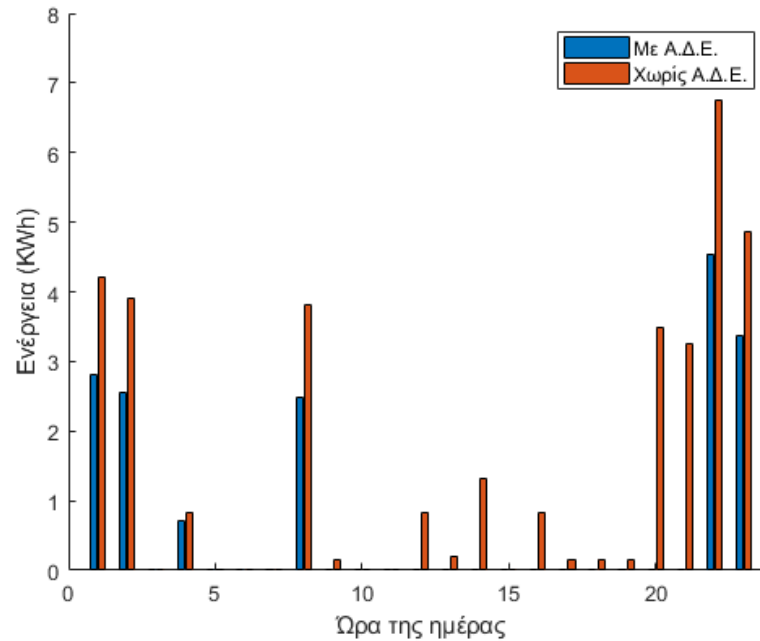
Από τα παραπάνω διαγράμματα που αφορούν το επίπεδο φόρτισης των μπαταριών, παρατηρούνται για την περίπτωση όπου η ονομαστική ισχύς των Α.Π.Ε. είναι η χαμηλότερη, ομαλές διακυμάνσεις στα επίπεδα φόρτισης και διατήρησή τους σε υψηλά ποσοστά για όλες τις ημέρες εκτός από την εαρινή. Στις υπόλοιπες περιπτώσεις ονομαστικής ισχύος των Α.Π.Ε. τα επίπεδα φόρτισης των ημερών που εξετάζονται διατηρούνται σε υψηλά ποσοστά, όμως για την εαρινή ημέρα οι διακυμάνσεις είναι λιγότερο ομαλές από τις υπόλοιπες.

## 4.8 Αποτελέσματα μεθόδου ελέγχου χρονικής περιόδου

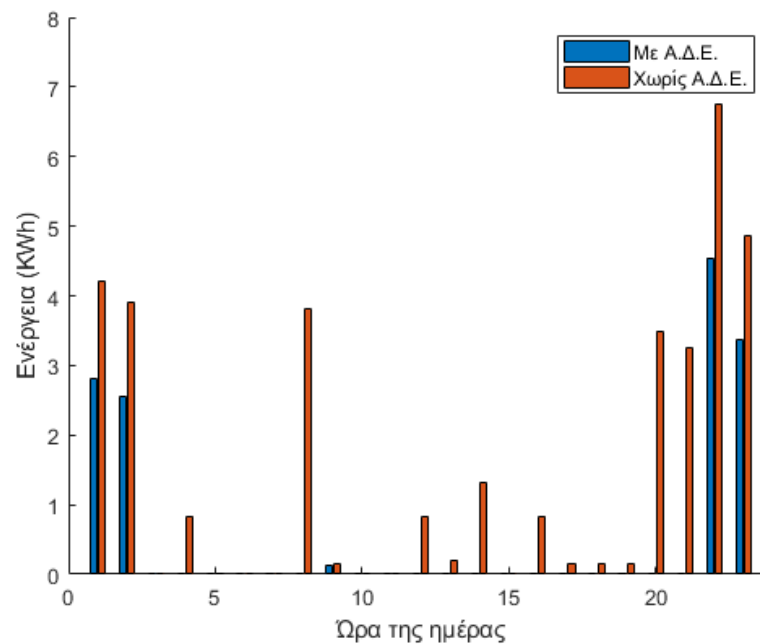
Για τον αλγόριθμο ελέγχου χρονικής περιόδου ακολουθούν τα Σχήματα 4.91, 4.92, 4.93 με τα γραφήματα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο με την ύπαρξη και χωρίς την ύπαρξη Α.Π.Ε. και αλγόριθμου διαχείρισης ενέργειας (Α.Δ.Ε.), για μία φθινοπωρινή ημέρα για κάθε περίπτωση ζεύγους ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.



Σχήμα 4.91: Γράφημα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια μίας φθινοπωρινής ημέρας, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 1.68 kW και 1.2 kW αντίστοιχα.

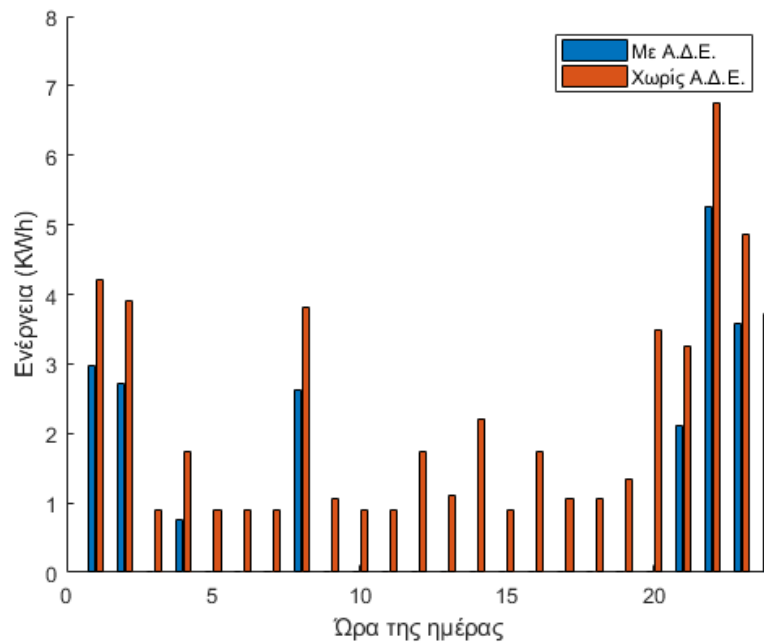


Σχήμα 4.92: Γράφημα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια μίας φθινοπωρινής ημέρας, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 3.36 kW και 2.4 kW αντίστοιχα.

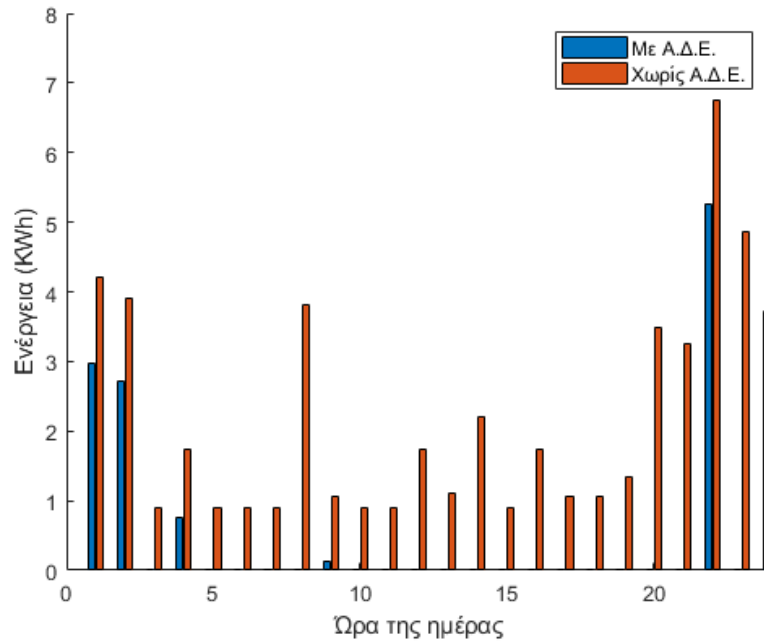


Σχήμα 4.93: Γράφημα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια μίας φθινοπωρινής ημέρας, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 6.72 kW και 4.8 kW αντίστοιχα.

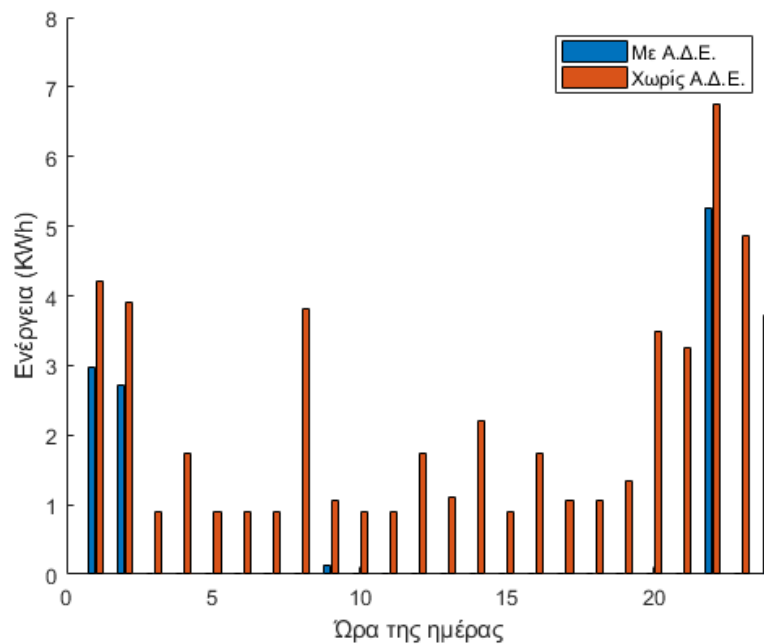
Στη συνέχεια ακολουθούν τα Σχήματα 4.94, 4.95, 4.96 με τα γραφήματα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο, με την ύπαρξη και χωρίς την ύπαρξη Α.Π.Ε. και αλγόριθμου διαχείρισης ενέργειας (Α.Δ.Ε.) για μία χειμερινή ημέρα και για κάθε περίπτωση ζεύγους ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.



Σχήμα 4.94: Γράφημα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια μίας χειμερινής ημέρας, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 1.68 kW και 1.2 kW αντίστοιχα.

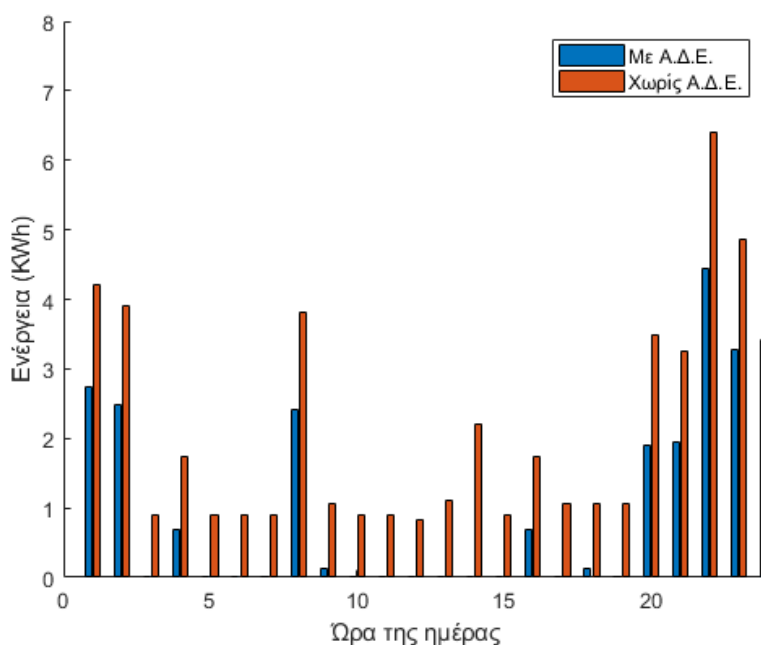


Σχήμα 4.95: Γράφημα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια μίας χειμερινής ημέρας, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 3.36 kW και 2.4 kW αντίστοιχα.



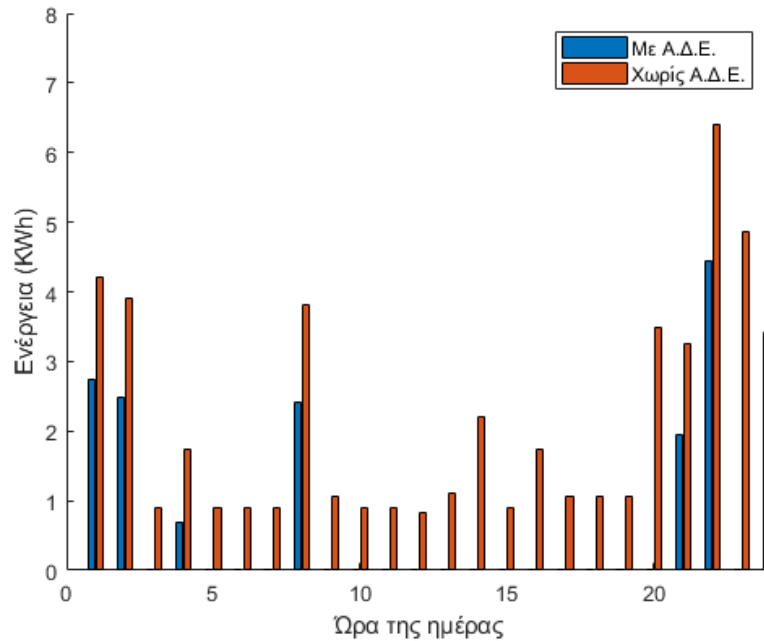
Σχήμα 4.96: Γράφημα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια μίας χειμερινής ημέρας, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 6.72 kW και 4.8 kW αντίστοιχα.

Στη συνέχεια ακολουθούν τα Σχήματα 4.97, 4.98, 4.99 με τα γραφήματα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο, με την ύπαρξη και χωρίς την ύπαρξη Α.Π.Ε. και αλγόριθμου διαχείρισης ενέργειας (Α.Δ.Ε.) για μία εαρινή ημέρα και για κάθε περίπτωση ζεύγους ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

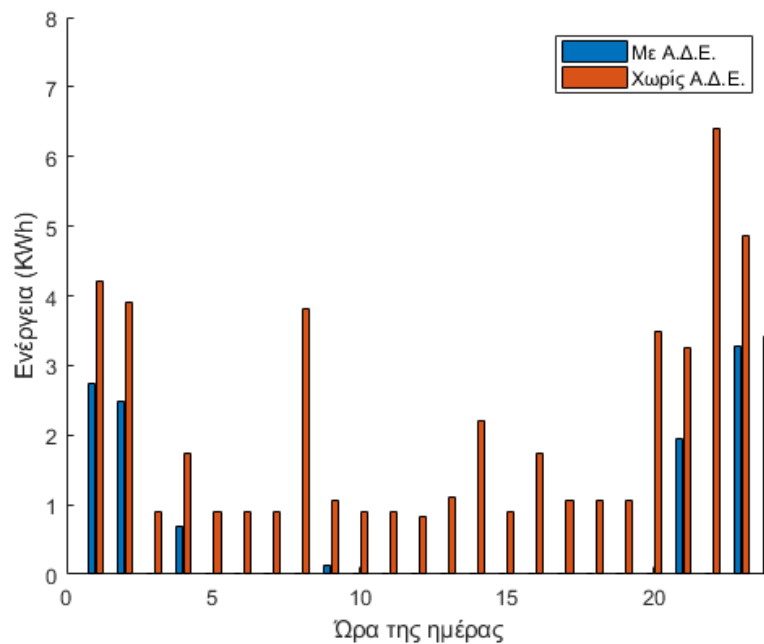


Σχήμα 4.97: Γράφημα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια μίας εαρινής ημέρας, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 1.68 kW και 1.2 kW αντίστοιχα.



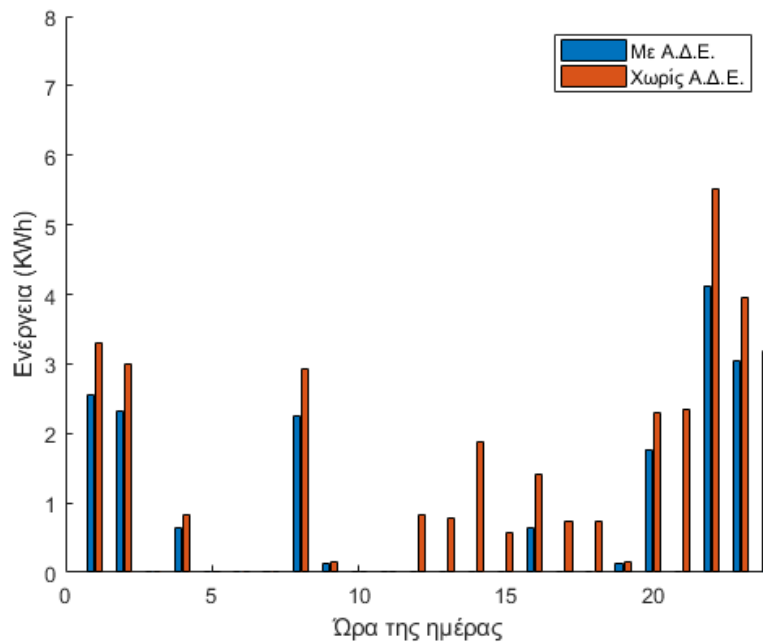


Σχήμα 4.98: Γράφημα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια μίας εαρινής ημέρας, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 3.36 kW και 2.4 kW αντίστοιχα.

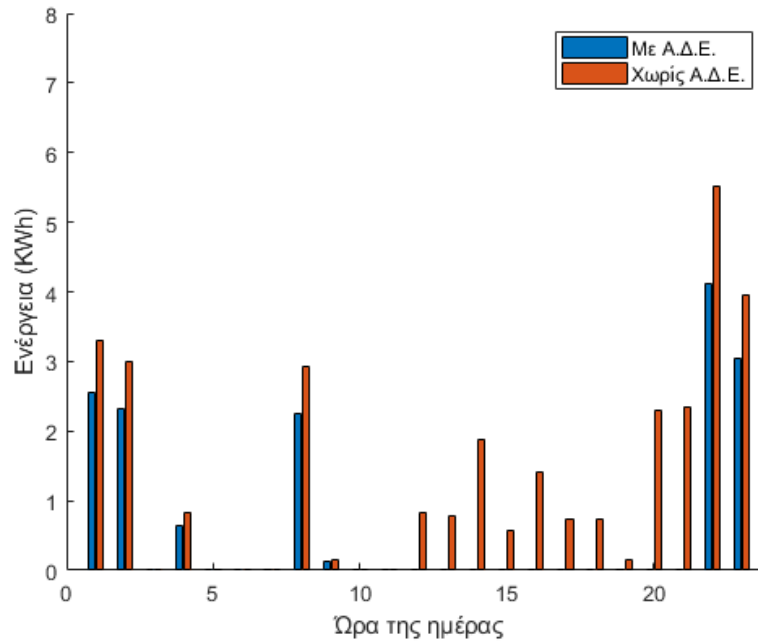


Σχήμα 4.99: Γράφημα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια μίας εαρινής ημέρας, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 6.72 kW και 4.8 kW αντίστοιχα.

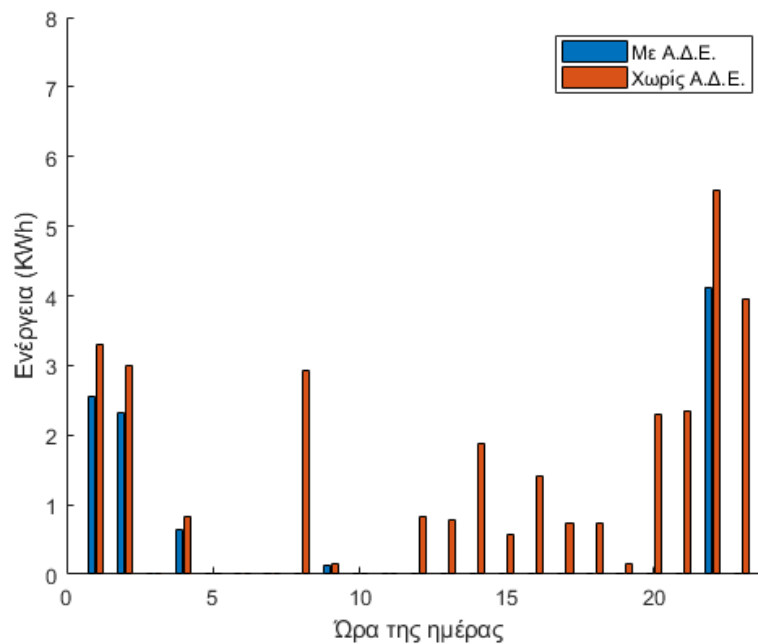
Στη συνέχεια ακολουθούν τα Σχήματα 4.100, 4.101, 4.102 με τα γραφήματα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο, με την ύπαρξη και χωρίς την ύπαρξη Α.Π.Ε. και αλγόριθμου διαχείρισης ενέργειας (Α.Δ.Ε.) για μία καλοκαιρινή ημέρα και για κάθε περίπτωση ζεύγους ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.



Σχήμα 4.100: Γράφημα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια μίας καλοκαιρινής ημέρας, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 1.68 kW και 1.2 kW αντίστοιχα.

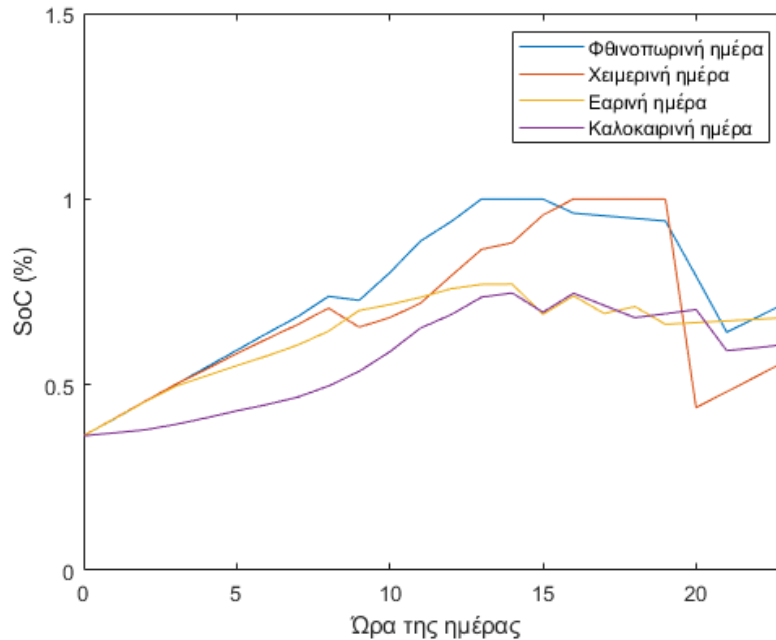


Σχήμα 4.101: Γράφημα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια μίας καλοκαιρινής ημέρας, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 3.36 kW και 2.4 kW αντίστοιχα.

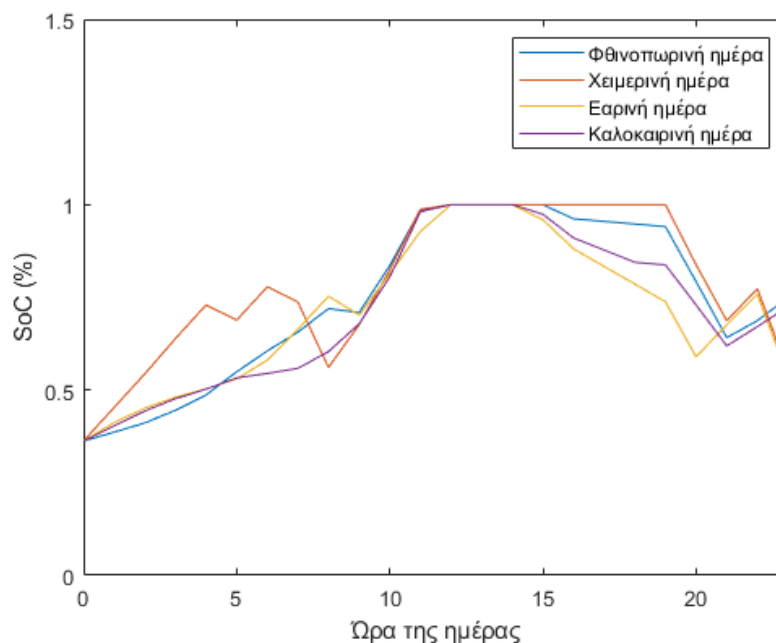


Σχήμα 4.102: Γράφημα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια μίας καλοκαιρινής ημέρας, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 6.72 kW και 4.8 kW αντίστοιχα.

Παρακάτω στα Σχήματα 4.103, 4.104, 4.105 φαίνονται τα διαγράμματα των διακυμάνσεων του επιπέδου φόρτισης της συστοιχίας των μπαταριών της φθινοπωρινής, της χειμερινής, της εαρινής και της καλοκαιρινής ημέρας, για κάθε περίπτωση ζεύγους ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

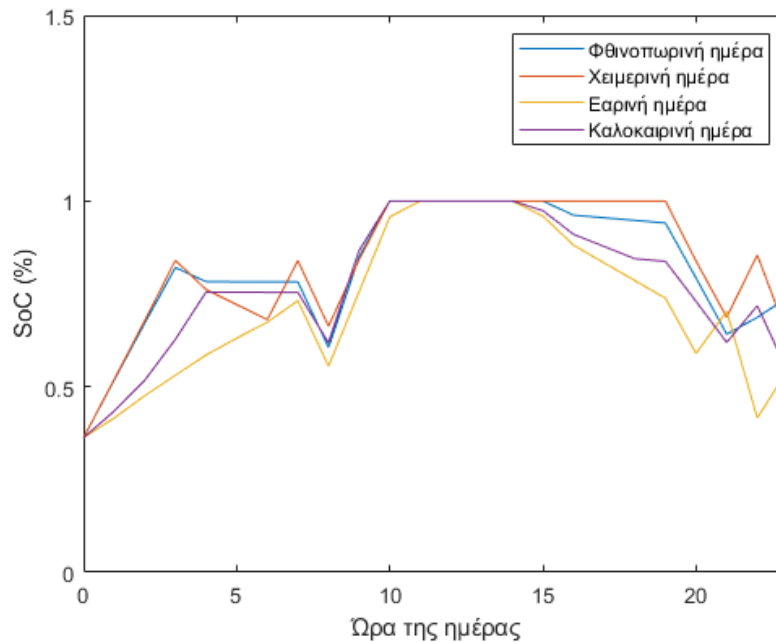


Σχήμα 4.103: Διαγράμματα διακυμάνσεων επιπέδου φόρτισης της συστοιχίας μπαταριών σε μία φθινοπωρινή, μία χειμερινή, μία εαρινή και μία καλοκαιρινή ημέρα, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 1.68 kW και 1.2 kW αντίστοιχα.



Σχήμα 4.104: Διαγράμματα διακυμάνσεων επιπέδου φόρτισης της συστοιχίας μπαταριών σε μία φθινοπωρινή, μία χειμερινή, μία εαρινή και μία καλοκαιρινή ημέρα, στην περίπτωση όπου το

φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 3.36 kW και 2.4 kW αντίστοιχα.

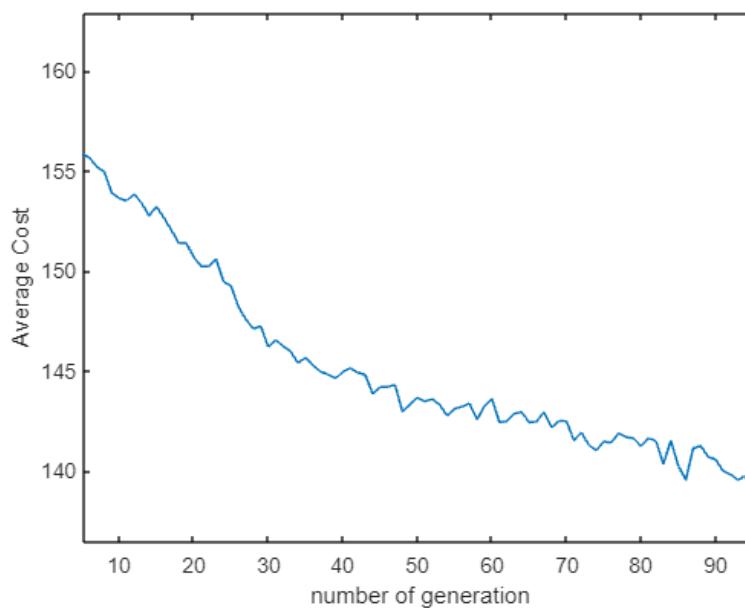


Σχήμα 4.105: Διαγράμματα διακυμάνσεων επιπέδου φόρτισης της συστοιχίας μπαταριών σε μία φθινοπωρινή, μία χειμερινή, μία εαρινή και μία καλοκαιρινή ημέρα, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 6.72 kW και 4.8 kW αντίστοιχα.

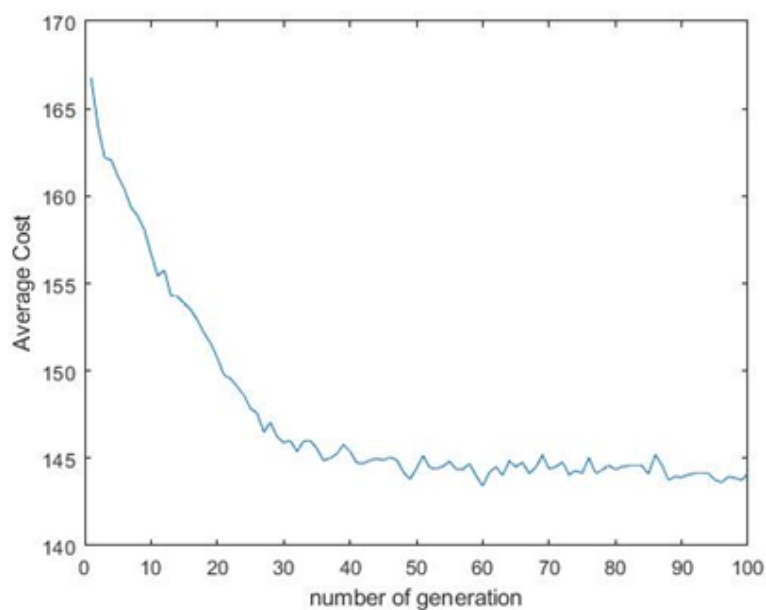
Από τα παραπάνω διαγράμματα που αφορούν το επίπεδο φόρτισης των μπαταριών, παρατηρείται ότι τα επίπεδα αυτά διατηρούνται σε υψηλά ποσοστά για το μεγαλύτερο διάστημα όλων των ημερών που εξετάζονται, εκτός από την περίπτωση του ζεύγους χαμηλότερης ονομαστικής ισχύος των Α.Π.Ε.

## **4.9 Αποτελέσματα μεθόδου με προγραμματισμό λειτουργίας ηλεκτρικών συσκευών.**

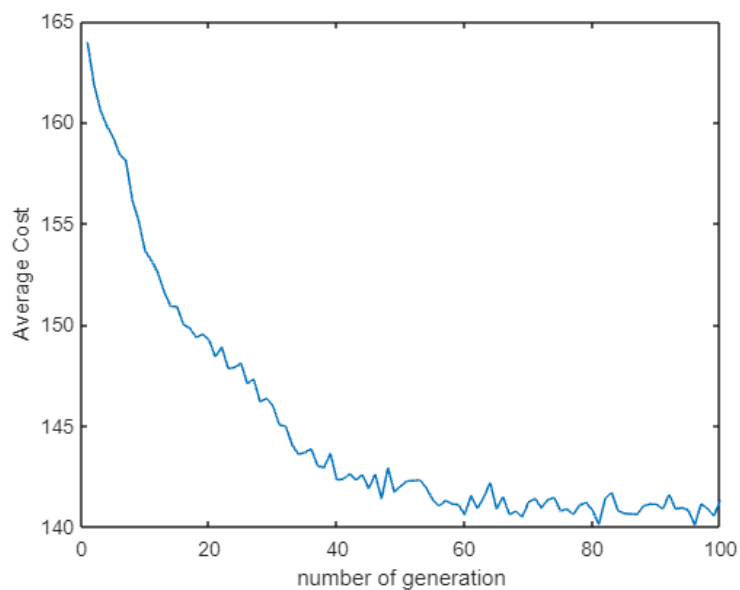
Ο αλγόριθμος με προγραμματισμό λειτουργίας ηλεκτρικών συσκευών όπως αναλύθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο έχει την ιδιαιτερότητα ότι δέχεται το πρόγραμμα λειτουργίας των ελεγχόμενων ηλεκτρικών συσκευών μέσω ενός Roulette Wheel Γενετικού Αλγόριθμου. Ο αλγόριθμος αυτός δεν παραβιάζει τους χρόνους λειτουργίας και έχει ως αποκλειστικό στόχο να διανέμει τους χρόνους αυτούς μέσα στο 24ωρο με τέτοιο τρόπο ώστε να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή οικονομία στον λογαριασμό ηλεκτρικής ενέργειας. Για την φθινοπωρινή, την χειμερινή, την εαρινή και καλοκαιρινή ημέρα, παρατηρείται η αποτελεσματικότητα του μηχανισμού αυτού, καθώς το μέσο κόστος (Average Cost) των χρωμοσωμάτων που φαίνεται στα Σχήματα 4.106, 4.107, 4.108, 4.109 και το κόστος της καλύτερης λύσης (Lowest Cost) που φαίνεται στα Σχήματα 4.110, 4.111, 4.112 και 4.113 διαρκώς μειώνονται ανά γενιά [12].



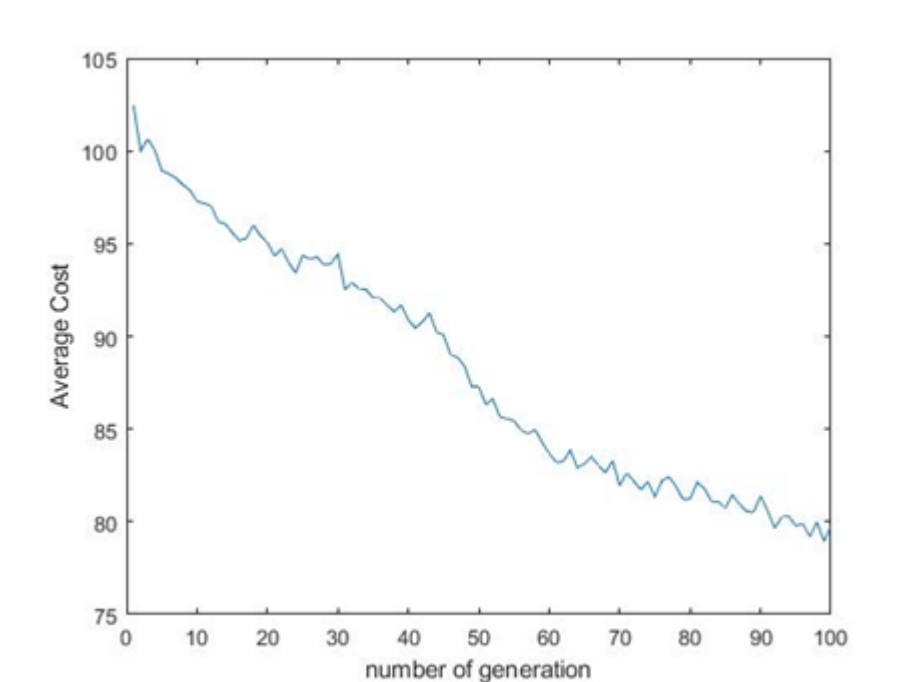
Σχήμα 4.106: Διάγραμμα μέσου κόστους χρωμοσωμάτων για μία φθινοπωρινή ημέρα.



Σχήμα 4.107: Διάγραμμα μέσου κόστους χρωμοσωμάτων για μία χειμερινή ημέρα.

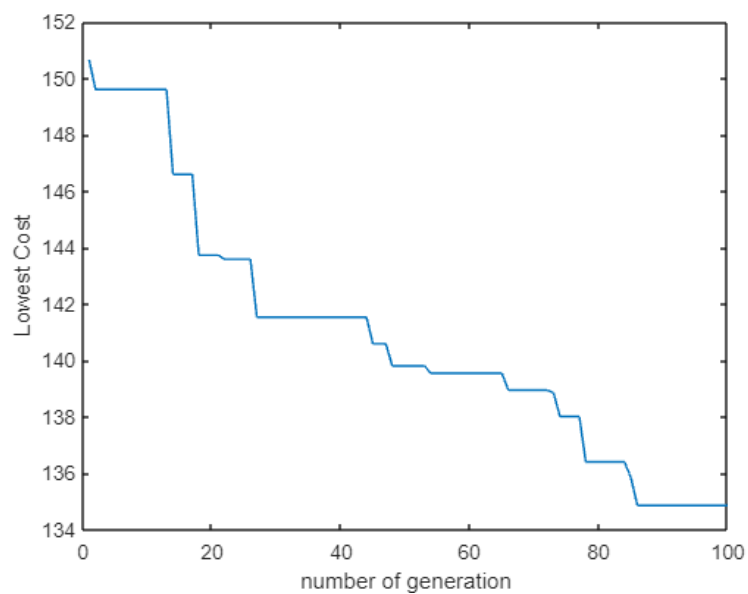


Σχήμα 4.108: Διάγραμμα μέσου κόστους χρωμοσωμάτων για μία εαρινή ημέρα.

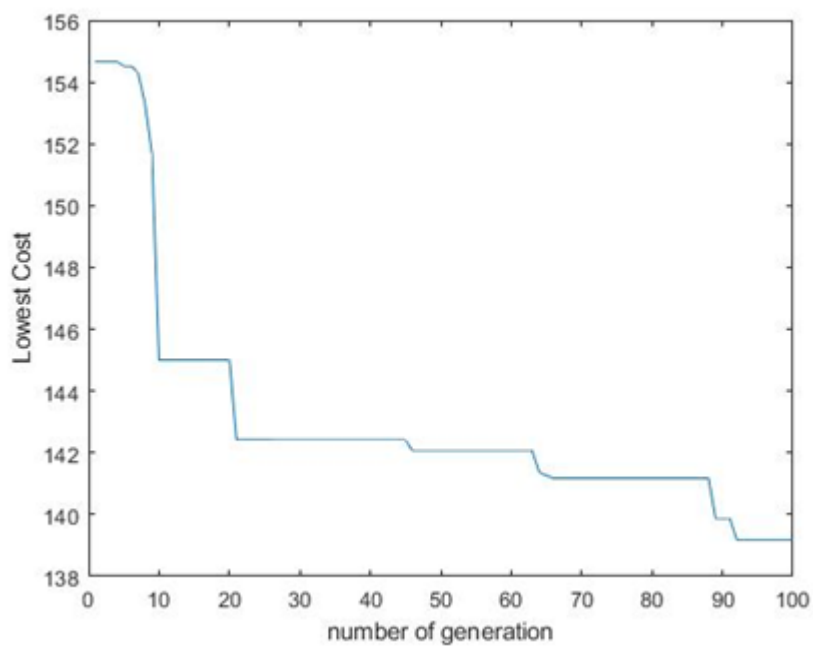


Σχήμα 4.109: Διάγραμμα μέσου κόστους χρωμοσωμάτων για μία καλοκαιρινή ημέρα.

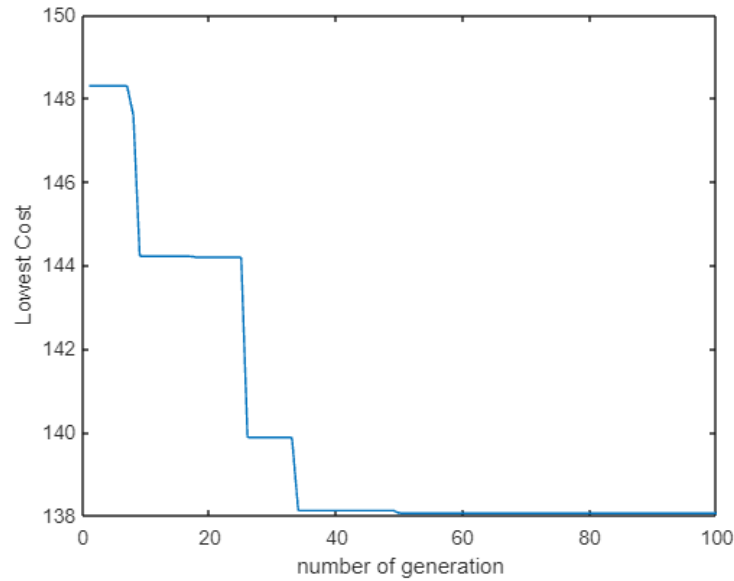




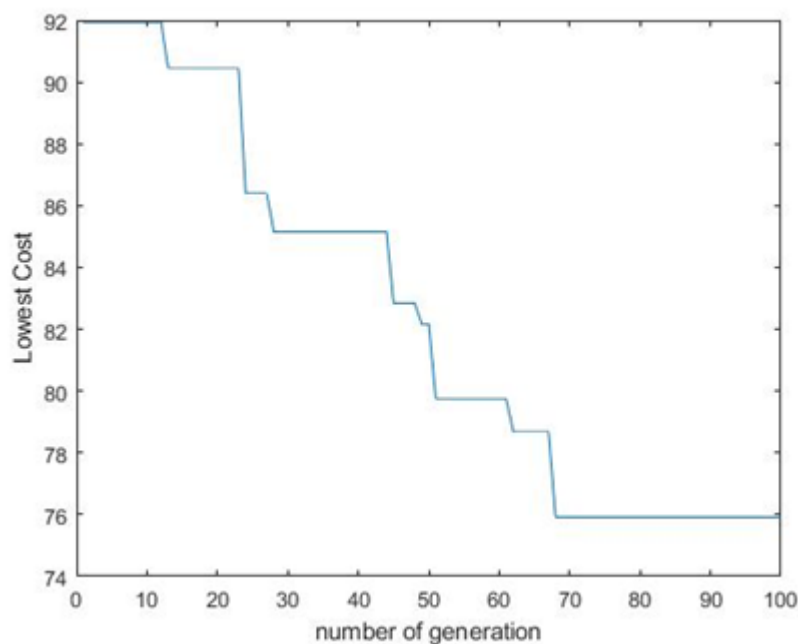
Σχήμα 4.110: Διάγραμμα βέλτιστου κόστους χρωμοσωμάτων για μία φθινοπωρινή ημέρα.



Σχήμα 4.111: Διάγραμμα βέλτιστου κόστους χρωμοσωμάτων για μία χειμερινή ημέρα.



Σχήμα 4.112: Διάγραμμα βέλτιστου κόστους χρωμοσωμάτων για μία εαρινή ημέρα.



Σχήμα 4.113: Διάγραμμα βέλτιστου κόστους χρωμοσωμάτων για μία καλοκαιρινή ημέρα.

Παρακάτω ακολουθούν ο Πίνακας 4.2, 4.3, 4.4 και 4.5, στους οποίους φαίνονται τα προγράμματα των ελεγχόμενων ηλεκτρικών συσκευών, όπως αυτά προέκυψαν από τις βέλτιστες λύσεις που υπολογίστηκαν από τον γενετικό αλγόριθμο και αφορούν μία φθινοπωρινή, μία χειμερινή, μία εαρινή και μία καλοκαιρινή ημέρα.

## Συγκριτική αξιολόγηση αλγορίθμων για τη διαχείριση ενέργειας κτηρίων σε πραγματικό χρόνο

Πίνακας 4.2: Προγραμματισμός ελεγχόμενων ηλεκτρικών συσκευών φθινοπωρινής ημέρας.

ΩΡΑ	ΨΥΓΕΙΟ	ΘΕΡΜΑΝΣΗ/ ΨΥΞΗ	ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΟΧΗΜΑ	ΘΕΡΜΟΣΙΦΩΝΟ	ΠΛΥΝΤΗΡΙΟ ΡΟΥΧΩΝ	ΠΛΥΝΤΗΡΙΟ ΠΙΑΤΩΝ
00:00	OFF	OFF	ON	OFF	OFF	ON
01:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	ON
02:00	ON	OFF	ON	OFF	OFF	OFF
03:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
04:00	OFF	OFF	OFF	ON	OFF	OFF
05:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
06:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
07:00	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
08:00	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	OFF
09:00	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	OFF
10:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
11:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
12:00	OFF	ON	OFF	OFF	OFF	OFF
13:00	ON	ON	OFF	OFF	OFF	OFF
14:00	OFF	ON	OFF	OFF	OFF	OFF
15:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
16:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
17:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
18:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
19:00	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
20:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
21:00	OFF	OFF	ON	OFF	OFF	OFF
22:00	OFF	OFF	ON	OFF	OFF	OFF
23:00	OFF	OFF	ON	OFF	OFF	OFF

*Πίνακας 4.3: Προγραμματισμός ελεγχόμενων ηλεκτρικών συσκευών χειμερινής ημέρας.*

ΩΡΑ	ΨΥΓΕΙΟ	ΘΕΡΜΑΝΣΗ/ ΨΥΞΗ	ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΟΧΗΜΑ	ΘΕΡΜΟΣΙΦΩΝΟ	ΠΛΥΝΤΗΡΙΟ ΡΟΥΧΩΝ	ΠΛΥΝΤΗΡΙΟ ΠΙΑΤΩΝ
00:00	OFF	ON	ON	OFF	OFF	OFF
01:00	OFF	ON	ON	OFF	OFF	OFF
02:00	OFF	ON	ON	OFF	OFF	OFF
03:00	ON	ON	ON	OFF	OFF	OFF
04:00	OFF	ON	OFF	OFF	OFF	OFF
05:00	OFF	ON	ON	OFF	OFF	OFF
06:00	OFF	ON	OFF	OFF	OFF	OFF
07:00	OFF	ON	OFF	OFF	OFF	OFF
08:00	ON	ON	OFF	OFF	OFF	OFF
09:00	OFF	ON	OFF	OFF	OFF	OFF
10:00	OFF	ON	OFF	OFF	OFF	OFF
11:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
12:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
13:00	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
14:00	OFF	ON	OFF	OFF	OFF	OFF
15:00	OFF	ON	OFF	OFF	OFF	OFF
16:00	OFF	ON	OFF	OFF	OFF	OFF
17:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
18:00	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	ON
19:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	ON
20:00	OFF	ON	OFF	ON	ON	OFF
21:00	OFF	ON	OFF	OFF	ON	OFF
22:00	OFF	ON	OFF	OFF	OFF	OFF
23:00	ON	ON	OFF	ON	OFF	OFF

## Συγκριτική αξιολόγηση αλγορίθμων για τη διαχείριση ενέργειας κτηρίων σε πραγματικό χρόνο

Πίνακας 4.4: Προγραμματισμός ελεγχόμενων ηλεκτρικών συσκευών εαρινής ημέρας.

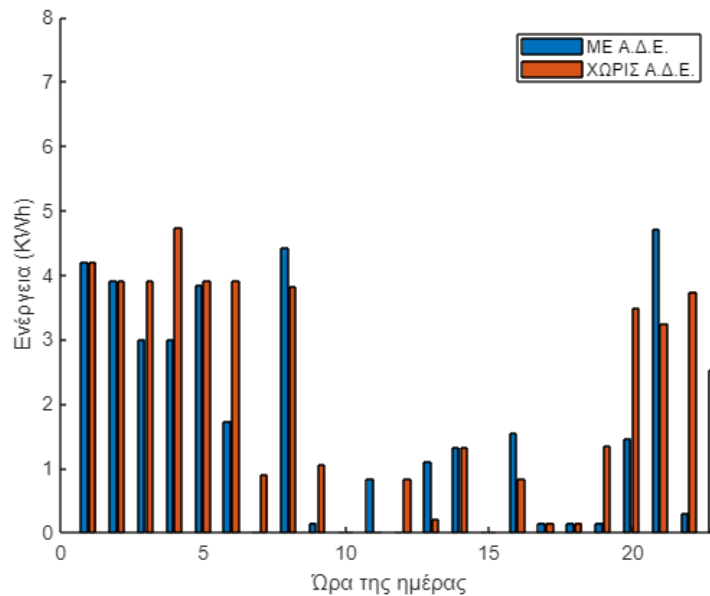
ΩΡΑ	ΨΥΓΕΙΟ	ΘΕΡΜΑΝΣΗ/ ΨΥΞΗ	ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΟΧΗΜΑ	ΘΕΡΜΟΣΙΦΩΝΟ	ΠΛΥΝΤΗΡΙΟ ΡΟΥΧΩΝ	ΠΛΥΝΤΗΡΙΟ ΠΙΑΤΩΝ
00:00	OFF	ON	ON	OFF	OFF	OFF
01:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
02:00	OFF	OFF	ON	OFF	OFF	OFF
03:00	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	ON
04:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	ON
05:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
06:00	OFF	OFF	OFF	ON	OFF	OFF
07:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
08:00	ON	OFF	ON	OFF	OFF	OFF
09:00	OFF	ON	OFF	OFF	OFF	OFF
10:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
11:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
12:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
13:00	ON	ON	OFF	OFF	OFF	OFF
14:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
15:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
16:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
17:00	OFF	ON	OFF	OFF	ON	OFF
18:00	ON	ON	OFF	OFF	ON	OFF
19:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
20:00	OFF	OFF	OFF	ON	OFF	OFF
21:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
22:00	ON	OFF	ON	OFF	OFF	OFF
23:00	OFF	ON	ON	OFF	OFF	OFF

## Συγκριτική αξιολόγηση αλγορίθμων για τη διαχείριση ενέργειας κτηρίων σε πραγματικό χρόνο

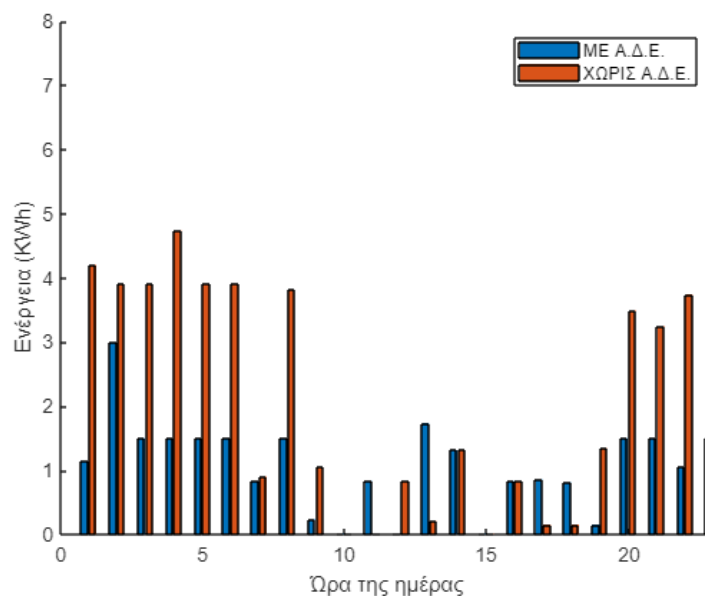
Πίνακας 4.5: Προγραμματισμός ελεγχόμενων ηλεκτρικών συσκευών καλοκαιρινής ημέρας.

ΩΡΑ	ΨΥΓΕΙΟ	ΘΕΡΜΑΝΣΗ/ ΨΥΞΗ	ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΟΧΗΜΑ	ΘΕΡΜΟΣΙΦΩΝΟ	ΠΛΥΝΤΗΡΙΟ ΡΟΥΧΩΝ	ΠΛΥΝΤΗΡΙΟ ΠΙΑΤΩΝ
00:00	OFF	ON	ON	OFF	OFF	OFF
01:00	OFF	OFF	ON	OFF	OFF	OFF
02:00	OFF	OFF	ON	OFF	OFF	OFF
03:00	OFF	OFF	ON	OFF	OFF	OFF
04:00	ON	OFF	ON	OFF	OFF	OFF
05:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
06:00	OFF	OFF	ON	OFF	OFF	OFF
07:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
08:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
09:00	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
10:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
11:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	ON
12:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	ON
13:00	OFF	ON	OFF	OFF	OFF	OFF
14:00	ON	ON	OFF	OFF	OFF	OFF
15:00	OFF	ON	OFF	OFF	OFF	OFF
16:00	OFF	ON	OFF	OFF	OFF	OFF
17:00	OFF	ON	OFF	OFF	OFF	OFF
18:00	OFF	ON	OFF	OFF	OFF	OFF
19:00	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
20:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
21:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
22:00	OFF	OFF	OFF	ON	ON	OFF
23:00	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	OFF

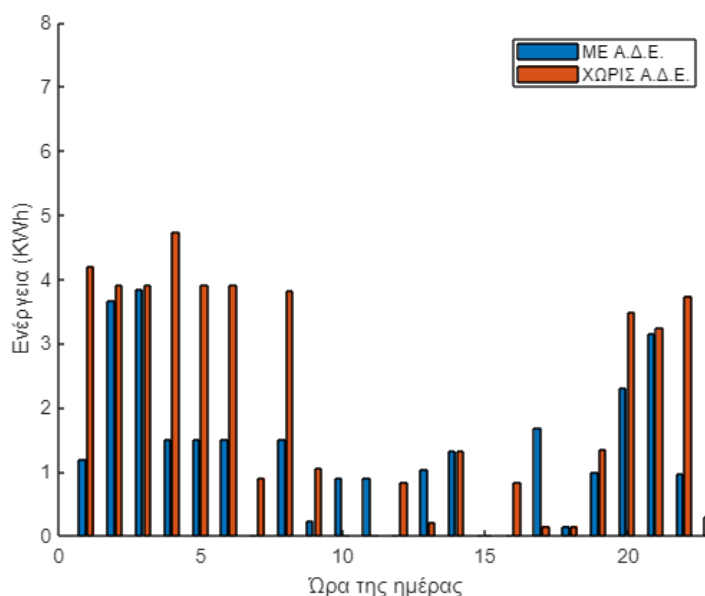
Για τον αλγόριθμο με προγραμματισμό λειτουργίας ηλεκτρικών συσκευών ακολουθούν τα Σχήματα 4.114, 4.115, 4.116 με τα γραφήματα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο με την ύπαρξη και χωρίς την ύπαρξη Α.Π.Ε. και αλγόριθμου διαχείρισης ενέργειας (Α.Δ.Ε.), για μία φθινοπωρινή ημέρα για κάθε περίπτωση ζεύγους ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.



Σχήμα 4.114: Γράφημα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια μίας φθινοπωρινής ημέρας, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 1.68 kW και 1.2 kW αντίστοιχα.



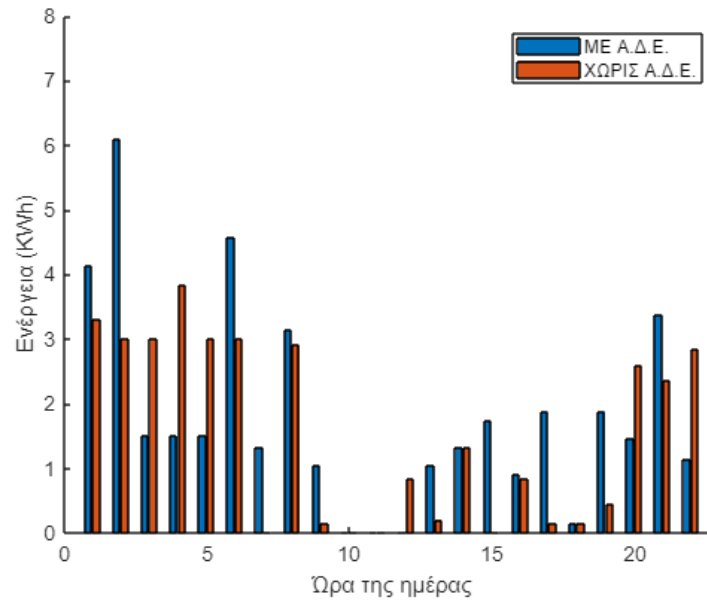
Σχήμα 4.115: Γράφημα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια μίας φθινοπωρινής ημέρας, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 3.36 kW και 2.4 kW αντίστοιχα.



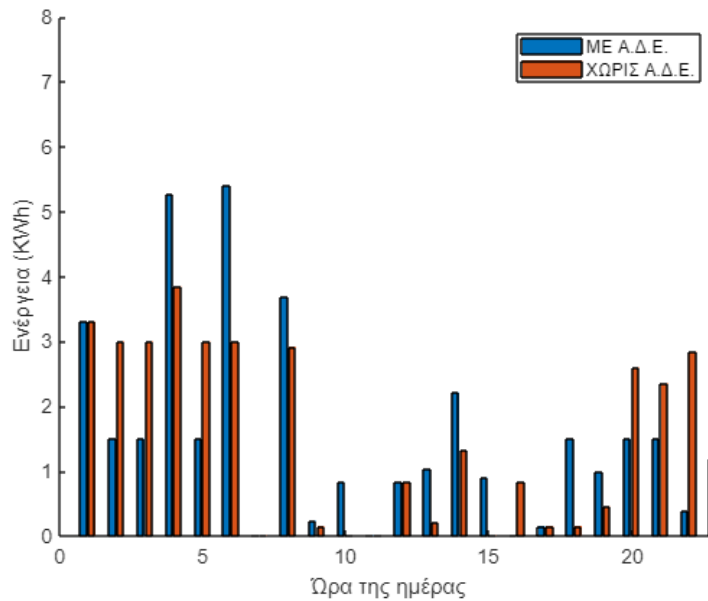
Σχήμα 4.116: Γράφημα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια μίας φθινοπωρινής ημέρας, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 6.72 kW και 4.8 kW αντίστοιχα.

Στη συνέχεια ακολουθούν τα Σχήματα 4.117, 4.118, 4.119 με τα γραφήματα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο, με την ύπαρξη και χωρίς την ύπαρξη Α.Π.Ε. και αλγόριθμου διαχείρισης ενέργειας (Α.Δ.Ε.) για μία χειμερινή ημέρα και για κάθε περίπτωση ζεύγους ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

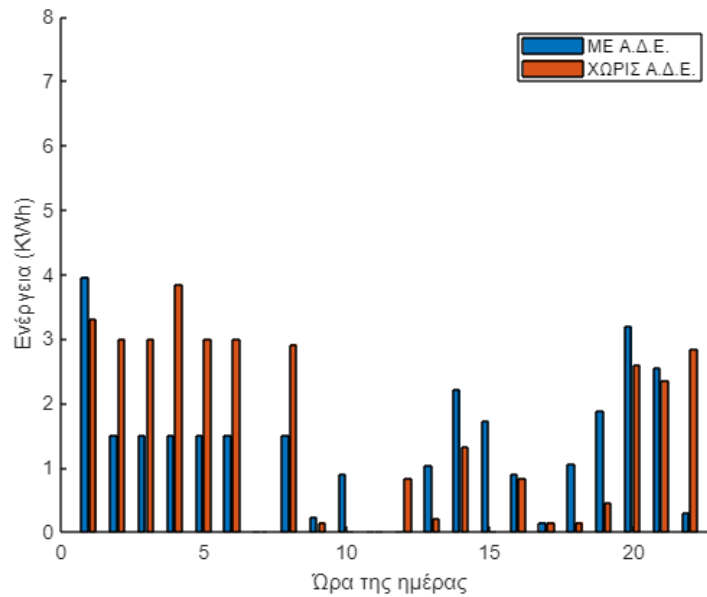




Σχήμα 4.117: Γράφημα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια μίας χειμερινής ημέρας, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 1.68 kW και 1.2 kW αντίστοιχα.

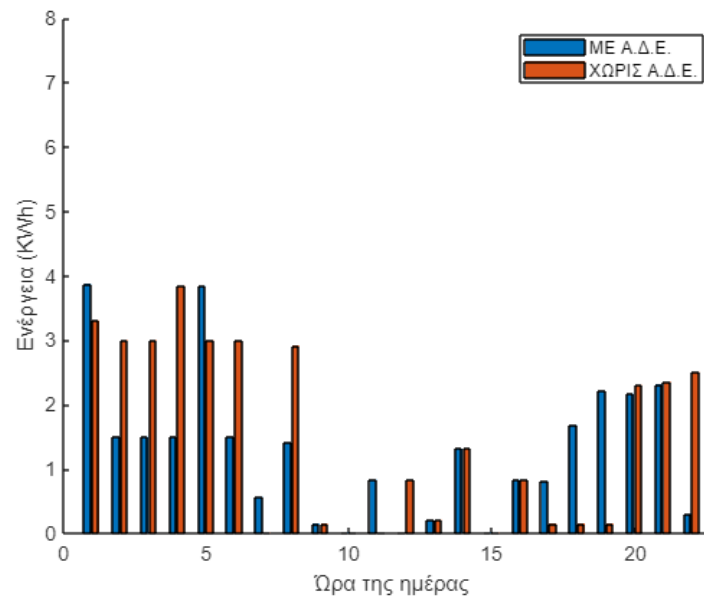


Σχήμα 4.118: Γράφημα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια μίας χειμερινής ημέρας, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 3.36 kW και 2.4 kW αντίστοιχα.

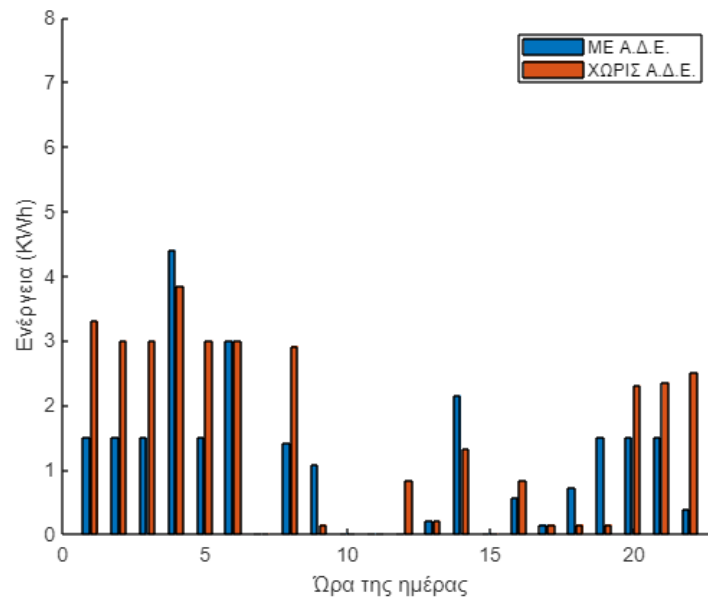


Σχήμα 4.119: Γράφημα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια μίας χειμερινής ημέρας, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 6.72 kW και 4.8 kW αντίστοιχα.

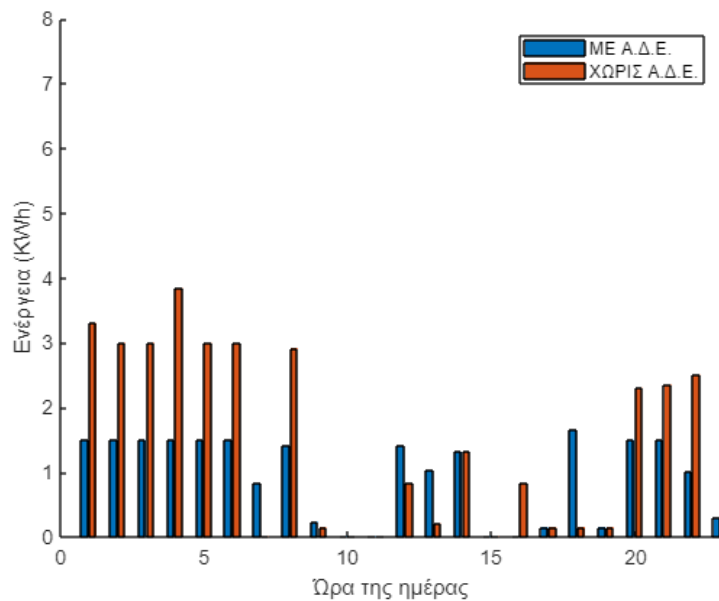
Στη συνέχεια ακολουθούν τα Σχήματα 4.120, 4.121, 4.122 με τα γραφήματα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο, με την ύπαρξη και χωρίς την ύπαρξη Α.Π.Ε. και αλγόριθμου διαχείρισης ενέργειας (Α.Δ.Ε.) για μία εαρινή ημέρα και για κάθε περίπτωση ζεύγους ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.



Σχήμα 4.120: Γράφημα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια μίας εαρινής ημέρας, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 1.68 kW και 1.2 kW αντίστοιχα.

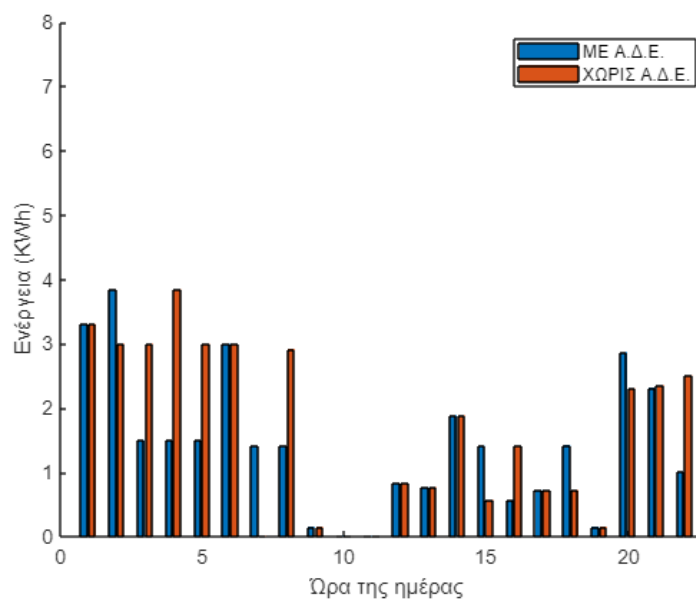


Σχήμα 4.121: Γράφημα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια μίας εαρινής ημέρας, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 3.36 kW και 2.4 kW αντίστοιχα.

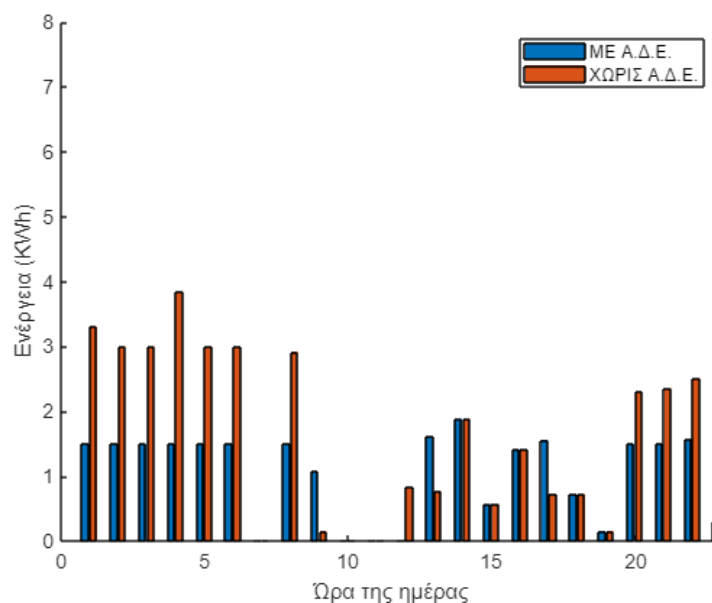


Σχήμα 4.122: Γράφημα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια μίας εαρινής ημέρας, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 6.72 kW και 4.8 kW αντίστοιχα.

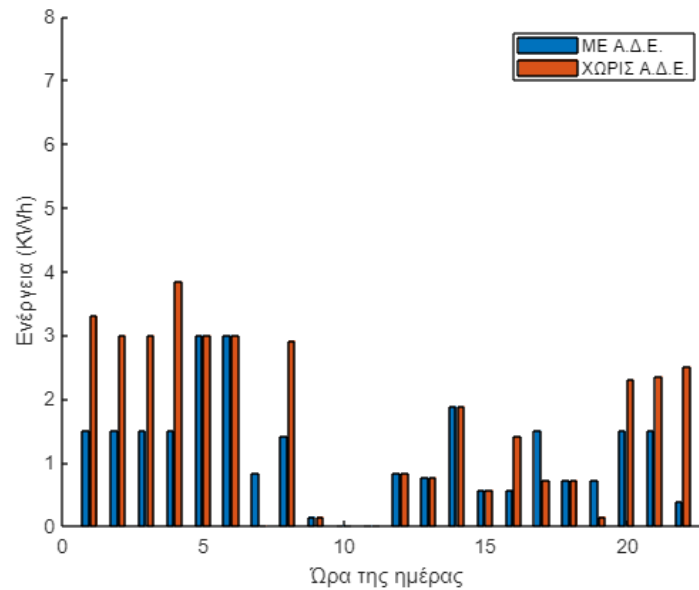
Στη συνέχεια ακολουθούν τα Σχήματα 4.123, 4.124, 4.125 με τα γραφήματα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο, με την ύπαρξη και χωρίς την ύπαρξη Α.Π.Ε. και αλγόριθμου διαχείρισης ενέργειας (Α.Δ.Ε.) για μία καλοκαιρινή ημέρα και για κάθε περίπτωση ζεύγους ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.



Σχήμα 4.123: Γράφημα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια μίας καλοκαιρινής ημέρας, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 1.68 kW και 1.2 kW αντίστοιχα.

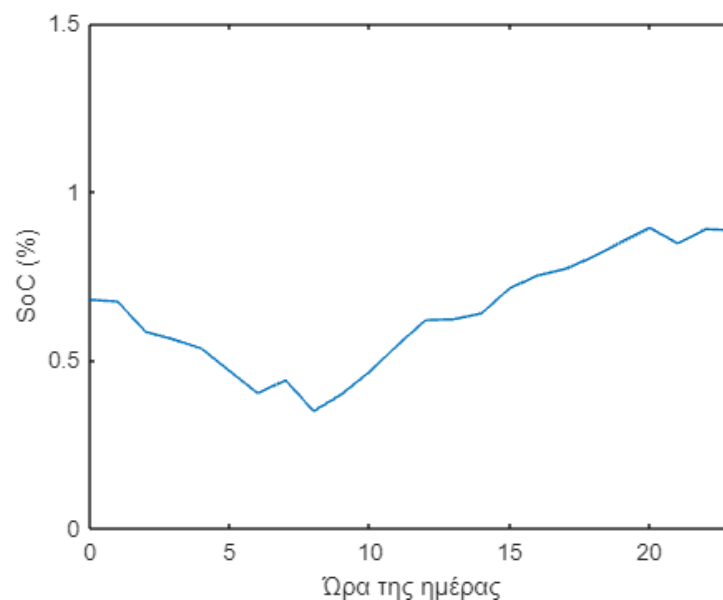


Σχήμα 4.124: Γράφημα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια μίας καλοκαιρινής ημέρας, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 3.36 kW και 2.4 kW αντίστοιχα.

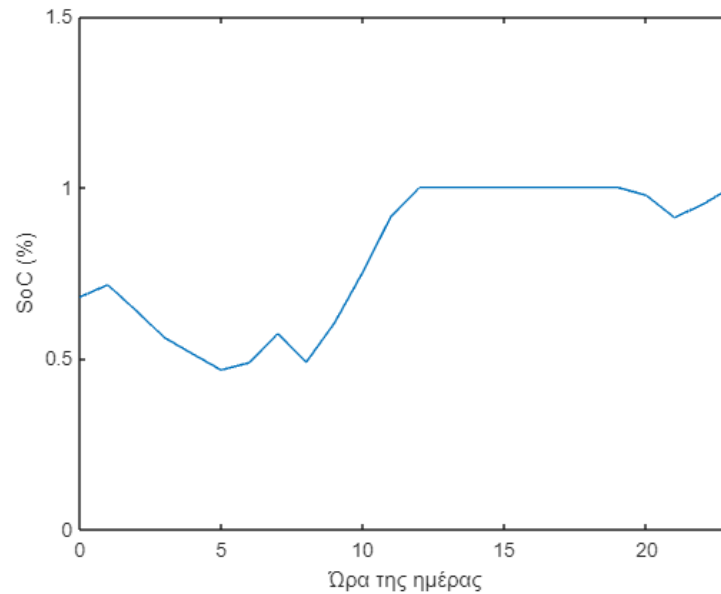


Σχήμα 4.125: Γράφημα της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια μίας καλοκαιρινής ημέρας, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 6.72 kW και 4.8 kW αντίστοιχα.

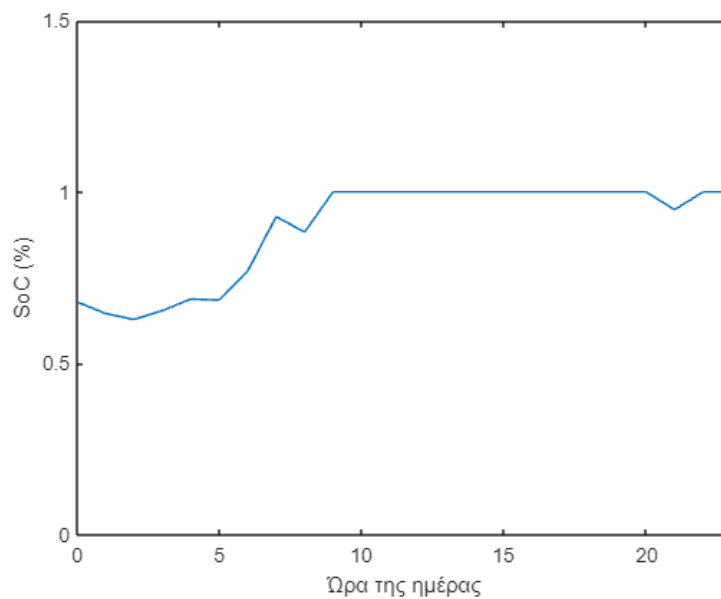
Παρακάτω στα Σχήματα 4.126, 4.127, 4.128 φαίνονται τα διαγράμματα των διακυμάνσεων του επιπέδου φόρτισης της συστοιχίας των μπαταριών της φθινοπωρινής ημέρας, για κάθε περίπτωση ζεύγους ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.



Σχήμα 4.126: Διαγράμματα διακυμάνσεων επιπέδου φόρτισης της συστοιχίας μπαταριών σε μία φθινοπωρινή ημέρα, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 1.68 kW και 1.2 kW αντίστοιχα.

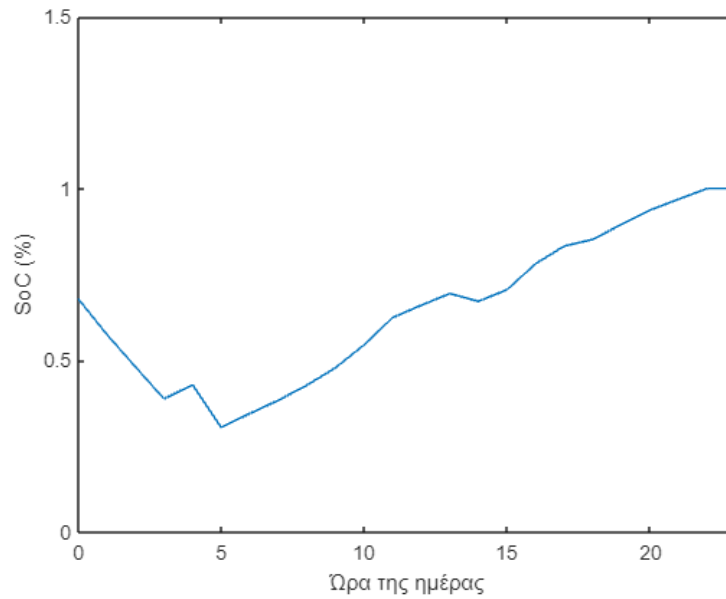


Σχήμα 4.127: Διαγράμματα διακυμάνσεων επιπέδου φόρτισης της συστοιχίας μπαταριών σε μία φθινοπωρινή ημέρα, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 3.36 kW και 2.4 kW αντίστοιχα.

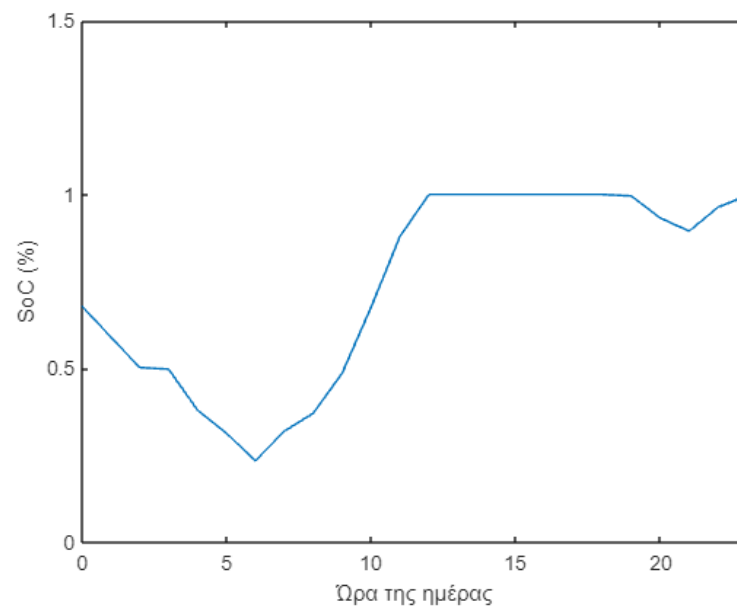


Σχήμα 4.128: Διαγράμματα διακυμάνσεων επιπέδου φόρτισης της συστοιχίας μπαταριών σε μία φθινοπωρινή ημέρα, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 6.72 kW και 4.8 kW αντίστοιχα.

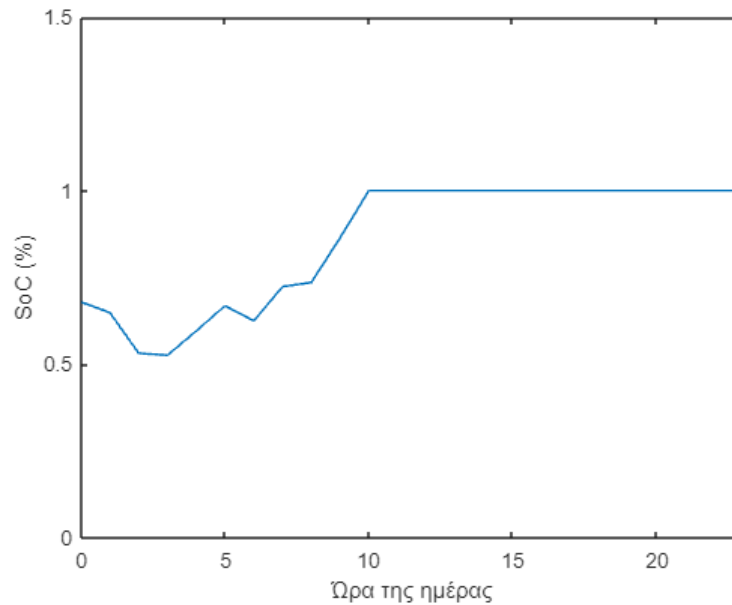
Παρακάτω στα Σχήματα 4.129, 4.130, 4.131 φαίνονται τα διαγράμματα των διακυμάνσεων του επιπέδου φόρτισης της συστοιχίας των μπαταριών της χειμερινής ημέρας, για κάθε περίπτωση ζεύγους ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.



Σχήμα 4.129: Διαγράμματα διακυμάνσεων επιπέδου φόρτισης της συστοιχίας μπαταριών σε μία χειμερινή ημέρα, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 1.68 kW και 1.2 kW αντίστοιχα.

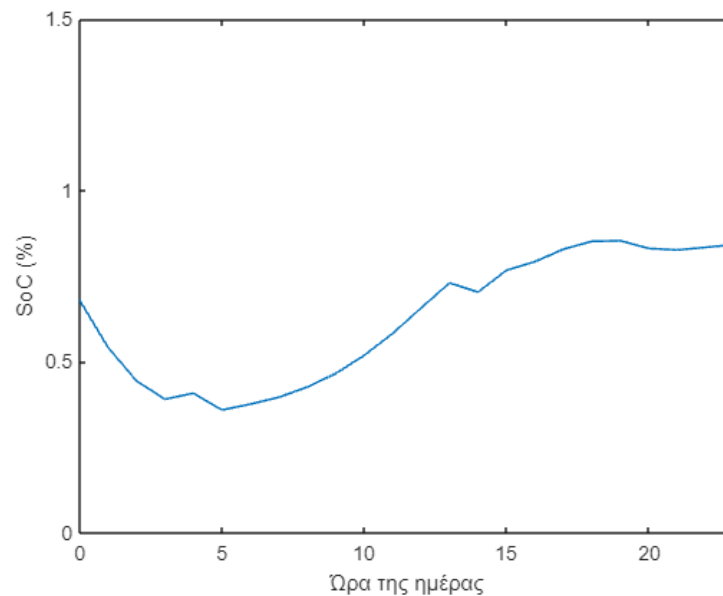


Σχήμα 4.130: Διαγράμματα διακυμάνσεων επιπέδου φόρτισης της συστοιχίας μπαταριών σε μία χειμερινή ημέρα, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 3.36 kW και 2.4 kW αντίστοιχα.



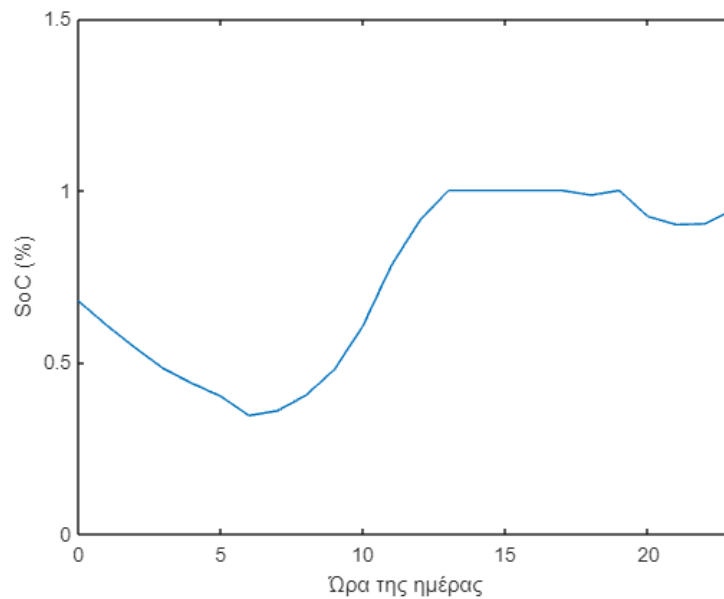
Σχήμα 4.131: Διαγράμματα διακυμάνσεων επιπέδου φόρτισης της συστοιχίας μπαταριών σε μία φθινοπωρινή, μία χειμερινή, μία εαρινή και μία καλοκαιρινή ημέρα, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 6.72 kW και 4.8 kW αντίστοιχα.

Παρακάτω στα Σχήματα 4.132, 4.133, 4.134 φαίνονται τα διαγράμματα των διακυμάνσεων του επιπέδου φόρτισης της συστοιχίας των μπαταριών της εαρινής ημέρας, για κάθε περίπτωση ζεύγους ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

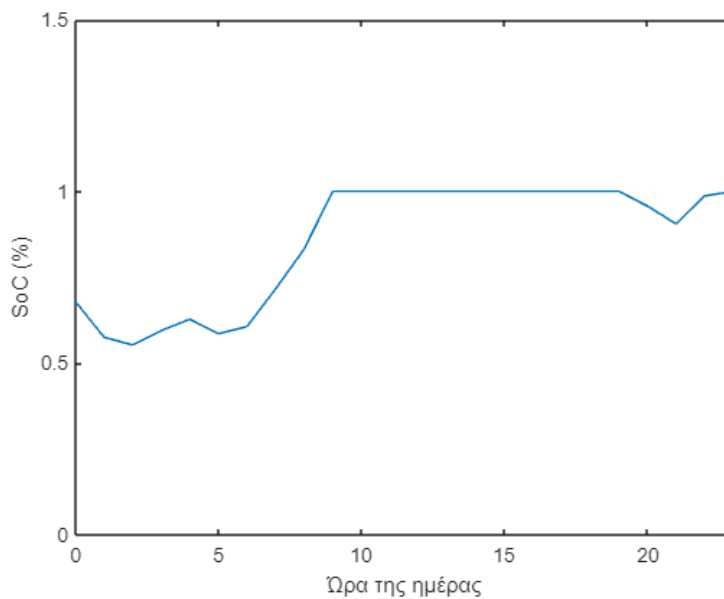


Σχήμα 4.132: Διαγράμματα διακυμάνσεων επιπέδου φόρτισης της συστοιχίας μπαταριών σε μία εαρινή ημέρα, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 1.68 kW και 1.2 kW αντίστοιχα.



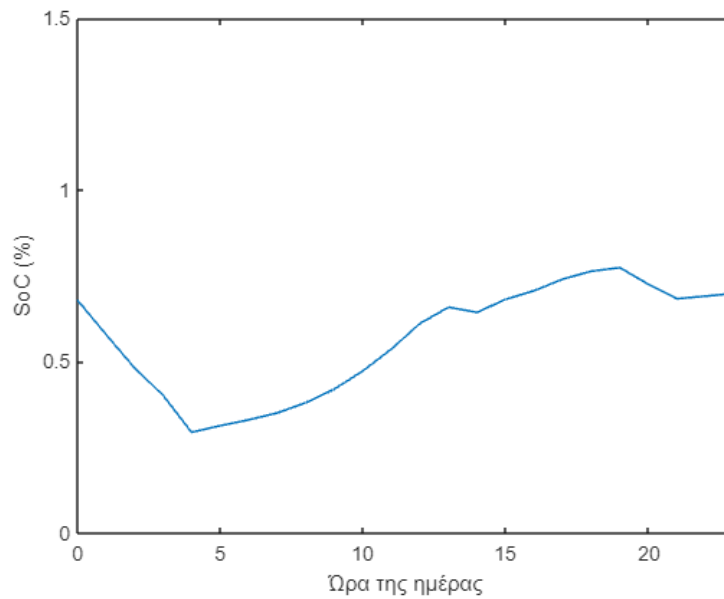


Σχήμα 4.133: Διαγράμματα διακυμάνσεων επιπέδου φόρτισης της συστοιχίας μπαταριών σε μία εαρινή ημέρα, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 3.36 kW και 2.4 kW αντίστοιχα.

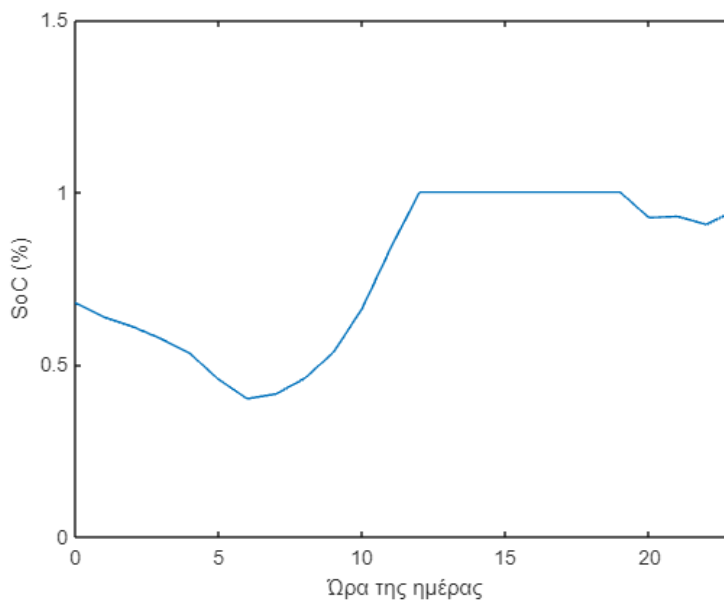


Σχήμα 4.134: Διαγράμματα διακυμάνσεων επιπέδου φόρτισης της συστοιχίας μπαταριών σε μία εαρινή ημέρα, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 6.72 kW και 4.8 kW αντίστοιχα.

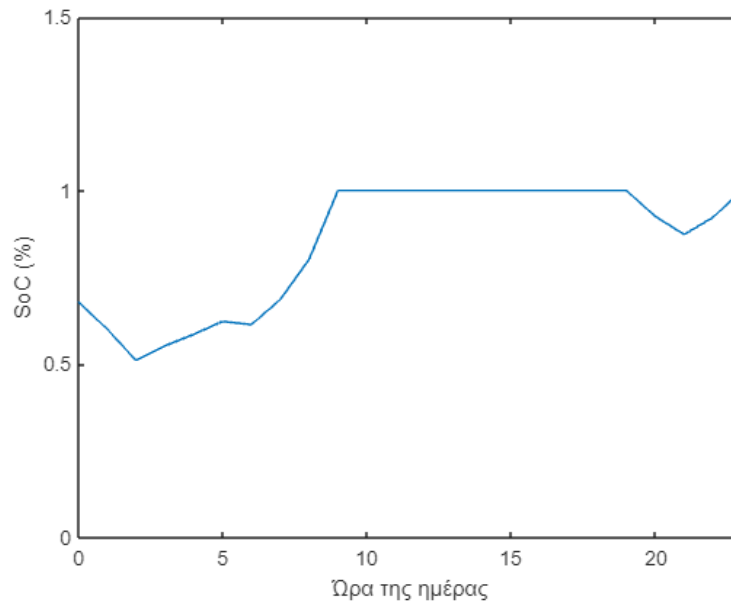
Παρακάτω στα Σχήματα 4.135, 4.136, 4.137 φαίνονται τα διαγράμματα των διακυμάνσεων του επιπέδου φόρτισης της συστοιχίας των μπαταριών της καλοκαιρινής ημέρας, για κάθε περίπτωση ζεύγους ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.



Σχήμα 4.135: Διαγράμματα διακυμάνσεων επιπέδου φόρτισης της συστοιχίας μπαταριών σε μία καλοκαιρινή ημέρα, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 1.68 kW και 1.2 kW αντίστοιχα.



Σχήμα 4.136: Διαγράμματα διακυμάνσεων επιπέδου φόρτισης της συστοιχίας μπαταριών σε μία καλοκαιρινή ημέρα, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύ 3.36 kW και 2.4 kW αντίστοιχα.



Σχήμα 4.137: Διαγράμματα διακυμάνσεων επιπέδου φόρτισης της συστοιχίας μπαταριών σε μία καλοκαιρινή ημέρα, στην περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα και η ανεμογεννήτρια έχουν ονομαστική ισχύς 6.72 kW και 4.8 kW αντίστοιχα.

Από τα παραπάνω διαγράμματα που αφορούν το επίπεδο φόρτισης των μπαταριών, παρατηρούνται οι πιο ομαλές αυξομειώσεις στα ποσοστά φόρτισης από οποιοδήποτε άλλο αλγόριθμο που έχει εξεταστεί. Επίσης, τα αποθέματα του συστήματος αποθήκευσης ενέργειας είναι συνήθως σε μεσαία και υψηλότερα επίπεδα.

# 5.

## ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ

---

### 5.1 Συγκριτική αξιολόγηση των αλγορίθμων διαχείρισης ενέργειας

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται η σύγκριση της λειτουργίας των αλγορίθμων διαχείρισης ενέργειας πραγματικού χρόνου, οι οποίοι εξετάζονται σε αυτή τη διπλωματική εργασία. Οι παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη στη σύγκριση είναι οι εξής:

- 1) Η συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σε kWh από το ηλεκτρικό δίκτυο για ένα 24ωρο.
- 2) Το συνολικό κόστος αυτής της ηλεκτρικής ενέργειας.
- 3) Η παρατήρηση της συμπεριφοράς φόρτισης και εκφόρτισης των μπαταριών.

Σε αυτό το σημείο είναι σημαντικό να διευκρινιστεί ότι λόγω της συνεχούς αλλαγής του κόστους της ηλεκτρικής ενέργειας, ο αλγόριθμος για τον οποίο προκύπτει η μικρότερη κατανάλωση ενέργειας δεν είναι απαραίτητα και αυτός για τον οποίο ελαχιστοποιείται το αντίστοιχο κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας.

Ωστόσο για το συγκεκριμένο μοντέλο κτηρίου που μελετάται εδώ, στην περίπτωση που δεν χρησιμοποιείται κάποιος αλγόριθμος διαχείρισης αλλά ούτε και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, σύμφωνα με τους περιορισμούς λειτουργίας που αναφέρονται στον Πίνακα 2.1 στο κεφάλαιο 2 θα αγοραστούν από το ηλεκτρικό δίκτυο, για την κάλυψη των αναγκών του, 39,99 kWh για την φθινοπωρινή ημέρα, 54,6 kWh για την χειμερινή ημέρα, 53,08 kWh για την εαρινή ημέρα και 35,61 kWh για την θερινή ημέρα.

Το συνολικό κόστος, με την τιμολόγηση ηλεκτρικής ενέργειας σε πραγματικό χρόνο που αναφέρεται στην ενότητα 2.3 στο κεφάλαιο 2, θα είναι αντίστοιχα 78,54 €, 163,6 €, 91,51 € και 89,5 €.

Επιπροσθέτως υπογραμμίζεται πως η παρατήρηση της συμπεριφοράς φόρτισης και εκφόρτισης των μπαταριών είναι αναγκαία για την εξαγωγή ορθών συμπερασμάτων. Η αποτελεσματικότητα ενός αλγόριθμου στη μείωση της κατανάλωσης και του κόστους δεν επαρκεί εάν οι αποφάσεις του βλάπτουν την υγεία των μπαταριών του [2]. Όλες οι μπαταρίες έχουν ένα προσδόκιμο ζωής, το οποίο όμως επιβαρύνεται εάν υπάρχουν απότομες φορτίσεις και εκφορτίσεις.

Παρακάτω, στους Πίνακες 5.1, 5.2, 5.3, 5.4 φαίνονται για κάθε αλγόριθμο και κάθε περίπτωση ζεύγους Α.Π.Ε. τα συνολικά ποσά ηλεκτρικής ενέργειας που προέρχονται από το ηλεκτρικό δίκτυο σε μία φθινοπωρινή, χειμερινή, εαρινή και καλοκαιρινή ημέρα και η ποσοστιαία διαφορά του ποσού αυτού σε σχέση με την περίπτωση μη-ύπαρξης αλγόριθμου διαχείρισης και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας .

Υπενθυμίζεται ότι κάθε περίπτωση Α, Β και Γ, αντιστοιχεί σε φωτοβολταϊκό σύστημα και ανεμογεννήτρια που χρησιμοποιήθηκαν με ονομαστική ισχύ 1.68 kW και 1.2 kW, 3.36 kW 2.4 kW και 6.72 kW 4.8kW αντίστοιχα.

Πίνακας 5.1: Πίνακας αξιολόγησης αλγορίθμων με κριτήριο την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από το ηλεκτρικό δίκτυο σε μία φθινοπωρινή ημέρα.						
ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΦΘΙΝΟΠΩΡΙΝΗ					
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ	Α		Β		Γ	
ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (kWh)	ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ (%)	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (kWh)	ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ (%)	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (kWh)	ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ (%)
ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ	30,07	24,8	28,17	29,6	11,68	70,8
ΑΝΑΒΟΛΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΩΝ	29,72	25,7	26,96	32,6	21,53	33,07
ΜΕΙΩΣΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ	<b>21,03</b>	<b>47,4</b>	<b>19,61</b>	<b>50,1</b>	<b>10,59</b>	<b>73,5</b>
ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΙΜΗΣ	31,88	20,3	27,01	32,5	20,43	48,9
ΜΕ ΕΛΕΓΚΤΗ ΑΣΑΦΟΥΣ ΛΟΓΙΚΗΣ	27,56	31,1	25,48	36,3	24,24	39,4
ΚΥΛΙΟΜΕΝΟΥ ΧΡΟΝΙΚΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΑ	29,96	25,1	25,46	36,3	23,76	40,6
ΕΛΕΓΧΟΥ ΧΡΟΝΙΚΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ	<b>19,42</b>	<b>51,4</b>	<b>18,38</b>	<b>54</b>	<b>15,8</b>	<b>60,5</b>
ΜΕ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΣΥΣΚΕΥΩΝ	37,52	6,2	30,52	23,7	24,17	39,6

Από τον Πίνακα 5.1 προκύπτει ότι για φθινοπωρινή ημέρα οι πιο αποδοτικοί αλγόριθμοι ως προς τη μείωση κατανάλωσης ενέργειας από το ηλεκτρικό δίκτυο είναι ο αλγόριθμος μείωσης ζήτησης και ο ελέγχου χρονικής περιόδου με μέσο όρο διαφοράς 57% και 55,3% αντίστοιχα. Ο λιγότερο αποδοτικός είναι ο αλγόριθμος με προγραμματισμό λειτουργίας ηλεκτρικών συσκευών με μέσο όρο διαφοράς 23%.

Πίνακας 5.2: Πίνακας αξιολόγησης αλγορίθμων με κριτήριο την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από το ηλεκτρικό δίκτυο σε μία χειμερινή ημέρα.						
ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΧΕΙΜΕΡΙΝΗ					
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ	Α		Β		Γ	
ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (kWh)	ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ (%)	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (kWh)	ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ (%)	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (kWh)	ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ (%)
ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ	<b>23,76</b>	<b>56,5</b>	<b>19,86</b>	<b>63,6</b>	<b>15,53</b>	<b>71,6</b>
ΑΝΑΒΟΛΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΩΝ	26,29	52	22,42	58,9	21,25	61,1
ΜΕΙΩΣΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ	42,12	22,9	28,43	47,9	13,52	75,2
ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΙΜΗΣ	30,83	43,5	26,99	50,6	22,66	58,5
ΜΕ ΕΛΕΓΚΤΗ ΑΣΑΦΟΥΣ ΛΟΓΙΚΗΣ	39,95	26,8	35,63	34,8	32,29	40,9
ΚΥΛΙΟΜΕΝΟΥ ΧΡΟΝΙΚΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΑ	46,37	15,1	45,05	17,5	38,87	28,8
ΕΛΕΓΧΟΥ ΧΡΟΝΙΚΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ	<b>26,39</b>	<b>51,7</b>	<b>17,3</b>	<b>68,3</b>	<b>14,46</b>	<b>69,9</b>
ΜΕ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΣΥΣΚΕΥΩΝ	42,09	22,9	36,59	33	31,54	42,3

Από τον Πίνακα 5.2 προκύπτει ότι για την χειμερινή ημέρα οι πιο αποδοτικοί αλγόριθμοι ως προς τη μείωση κατανάλωσης ενέργειας από το ηλεκτρικό δίκτυο είναι οι αλγόριθμοι ελέγχου κατάστασης φόρτισης και ελέγχου χρονικής περιόδου με μέσο όρο διαφοράς 64% και 63%

## Συγκριτική αξιολόγηση αλγορίθμων για τη διαχείριση ενέργειας κτηρίων σε πραγματικό χρόνο

αντίστοιχα. Ο λιγότερο αποδοτικός αλγόριθμος είναι ο κυλιόμενου χρονικού ορίζοντα με μέσο όρο διαφοράς 20,5%.

Πίνακας 5.3: Πίνακας αξιολόγησης αλγορίθμων με κριτήριο την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από το ηλεκτρικό δίκτυο σε μία εαρινή ημέρα.						
ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΕΑΡΙΝΗ					
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ	Α		Β		Γ	
ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (kWh)	ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ (%)	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (kWh)	ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ (%)	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (kWh)	ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ (%)
ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ	34,95	34,2	27,41	48,4	25,24	52,4
ΑΝΑΒΟΛΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΩΝ	28,76	45,8	26,29	50,5	26,13	50,8
ΜΕΙΩΣΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ	41,06	22,6	39,68	25,2	27,76	47,7
ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΙΜΗΣ	31,74	40,2	26,23	50,6	20,88	60,7
ΜΕ ΕΛΕΓΚΤΗ ΑΣΑΦΟΥΣ ΛΟΓΙΚΗΣ	38,77	27	31,36	40,9	30,13	43,2
ΚΥΛΙΟΜΕΝΟΥ ΧΡΟΝΙΚΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΑ	41,41	22	34,58	34,9	27,47	48,2
ΕΛΕΓΧΟΥ ΧΡΟΝΙΚΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ	<b>29,36</b>	<b>44,7</b>	<b>21,94</b>	<b>58,7</b>	<b>17,78</b>	<b>66,5</b>
ΜΕ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΣΥΣΚΕΥΩΝ	30,69	42,2	27,63	47,9	21,86	58,8

Από τον Πίνακα 5.3 προκύπτει ότι για την εαρινή ημέρα ο πιο αποδοτικός αλγόριθμος ως προς τη μείωση κατανάλωσης ενέργειας από το ηλεκτρικό δίκτυο είναι ο αλγόριθμος ελέγχου χρονικής



## Συγκριτική αξιολόγηση αλγορίθμων για τη διαχείριση ενέργειας κτηρίων σε πραγματικό χρόνο

περιόδου με μέσο όρο διαφοράς 56,6%. Ο λιγότερο αποδοτικός αλγόριθμος είναι ο αλγόριθμος μείωσης ζήτησης με μέσο όρο διαφοράς 31,8%.

Πίνακας 5.4: Πίνακας αξιολόγησης αλγορίθμων με κριτήριο την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από το ηλεκτρικό δίκτυο σε μία καλοκαιρινή ημέρα.						
ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΚΑΛΟΚΑΙΡΙΝΗ					
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ	Α		Β		Γ	
ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (kWh)	ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ (kWh)	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (kWh)	ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ (kWh)	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (kWh)	ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ (kWh)
ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ	28,55	19,8	22,23	37,6	19,03	46,6
ΑΝΑΒΟΛΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΩΝ	29,88	16,1	27,42	23	23,3	34,6
ΜΕΙΩΣΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ	<b>25,33</b>	<b>28,9</b>	<b>16,04</b>	<b>55</b>	<b>14,08</b>	<b>60,5</b>
ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΙΜΗΣ	32,05	10	24,52	31,1	19,68	44,7
ΜΕ ΕΛΕΓΚΤΗ ΑΣΑΦΟΥΣ ΛΟΓΙΚΗΣ	<b>20,42</b>	<b>42,7</b>	<b>18,09</b>	<b>49,2</b>	<b>16,54</b>	<b>53,6</b>
ΚΥΛΙΟΜΕΝΟΥ ΧΡΟΝΙΚΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΑ	29,79	16,3	21,46	39,7	19,08	46,4
ΕΛΕΓΧΟΥ ΧΡΟΝΙΚΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ	27	24,2	19,57	45	16,81	52,8
ΜΕ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΣΥΣΚΕΥΩΝ	28,42	20,2	26,23	26,3	24,13	32,2

Από τον Πίνακα 5.4 προκύπτει ότι για την καλοκαιρινή ημέρα οι πιο αποδοτικοί αλγόριθμοι ως προς τη μείωση κατανάλωσης ενέργειας από το ηλεκτρικό δίκτυο είναι οι αλγόριθμοι μείωσης

ζήτησης και με ελεγκτή ασαφούς λογικής με μέσο όρο διαφοράς 48,1% και 48,5% αντίστοιχα. Ο λιγότερο αποδοτικός αλγόριθμος είναι ο αναβολής λειτουργιών με μέσο όρο διαφοράς 24,6%.

Προχωρώντας, στους Πίνακες 5.5, 5.6, 5.7, 5.8 φαίνονται για κάθε αλγόριθμο το συνολικό κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας που έχει αγοραστεί για την φθινοπωρινή, την χειμερινή, την εαρινή και την καλοκαιρινή ημέρα και η ποσοστιαία διαφορά του κόστους αυτού σε σχέση με την περίπτωση μη-ύπαρξης αλγόριθμου διαχείρισης και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Πίνακας 5.5: Πίνακας αξιολόγησης αλγορίθμων με κριτήριο το συνολικό κόστος αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας σε μία φθινοπωρινή ημέρα.						
ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΦΘΙΝΟΠΩΡΙΝΗ					
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ	Α		Β		Γ	
ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ (€)	ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΟΣΤΟΥΣ (%)	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ (€)	ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΟΣΤΟΥΣ (%)	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ (€)	ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΟΣΤΟΥΣ (%)
ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ	55,54	29,3	50,86	35,2	47,85	39,1
ΑΝΑΒΟΛΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΩΝ	52,46	33,2	46,45	40,9	23,2	70,5
ΜΕΙΩΣΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ	<b>39,62</b>	<b>49,6</b>	<b>31,54</b>	<b>59,8</b>	<b>19,08</b>	<b>75,7</b>
ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΙΜΗΣ	62,86	20	53,27	32,2	40,29	48,7
ΜΕ ΕΛΕΓΚΤΗ ΑΣΑΦΟΥΣ ΛΟΓΙΚΗΣ	48,35	38,4	44,81	42,9	42,1	46,4
ΚΥΛΙΟΜΕΝΟΥ ΧΡΟΝΙΚΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΑ	59,16	24,7	47,6	39,4	42,58	45,8
ΕΛΕΓΧΟΥ ΧΡΟΝΙΚΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ	<b>34,2</b>	<b>56,5</b>	<b>32,1</b>	<b>59,1</b>	<b>28,34</b>	<b>63,9</b>
ΜΕ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΣΥΣΚΕΥΩΝ	75,7	3,6	59,54	24,2	47,88	39

Από τον Πίνακα 5.5 προκύπτει ότι για την φθινοπωρινή ημέρα οι πιο αποδοτικοί αλγόριθμοι ως προς τη μείωση του κόστους αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας από το ηλεκτρικό δίκτυο είναι ο αλγόριθμος μείωσης ζήτησης και ο αλγόριθμος ελέγχου χρονικής περιόδου με μέσο όρο διαφοράς 61,7% και 59,8% αντίστοιχα. Ο λιγότερο αποδοτικός αλγόριθμος είναι ο αλγόριθμος με προγραμματισμό λειτουργίας ηλεκτρικών συσκευών με μέσο όρο διαφοράς 22,3%.

Πίνακας 5.6: Πίνακας αξιολόγησης αλγορίθμων με κριτήριο το συνολικό κόστος αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας σε μία χειμερινή ημέρα.						
ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΧΕΙΜΕΡΙΝΗ					
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ	Α		Β		Γ	
ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ (€)	ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΟΣΤΟΥΣ (%)	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ (€)	ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΟΣΤΟΥΣ (%)	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ (€)	ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΟΣΤΟΥΣ (%)
ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ	<b>65,85</b>	<b>59,7</b>	<b>55,2</b>	<b>66,3</b>	<b>40,67</b>	<b>75,1</b>
ΑΝΑΒΟΛΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΩΝ	72,24	55,8	61,52	62,4	57,17	65
ΜΕΙΩΣΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ	120,4	26,4	73,62	55	34,66	78,8
ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΙΜΗΣ	89,58	45,2	78,2	52,2	59,87	63,4
ΜΕ ΕΛΕΓΚΤΗ ΑΣΑΦΟΥΣ ΛΟΓΙΚΗΣ	117,1	28,4	104,8	35,9	93,41	42,9
ΚΥΛΙΟΜΕΝΟΥ ΧΡΟΝΙΚΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΑ	127,14	22,3	123,11	24,7	105,11	35,7
ΕΛΕΓΧΟΥ ΧΡΟΝΙΚΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ	<b>74,58</b>	<b>54,4</b>	<b>48,51</b>	<b>70,3</b>	<b>42,49</b>	<b>74</b>
ΜΕ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΣΥΣΚΕΥΩΝ	87,8	46,3	76,43	53,3	67,06	59

Από τον Πίνακα 5.6 προκύπτει ότι για την χειμερινή ημέρα οι πιο αποδοτικοί αλγόριθμοι ως προς τη μείωση του κόστους αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας από το ηλεκτρικό δίκτυο είναι ο αλγόριθμος ελέγχου κατάστασης φόρτισης και ο αλγόριθμος ελέγχου χρονικής περιόδου με μέσο όρο διαφοράς 67% και 66,3% αντίστοιχα. Ο λιγότερο αποδοτικός αλγόριθμος είναι ο αλγόριθμος κυλιόμενου χρονικού ορίζοντα με μέσο όρο διαφοράς 27,6%.

Πίνακας 5.7: Πίνακας αξιολόγησης αλγορίθμων με κριτήριο το συνολικό κόστος αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας σε μία εαρινή ημέρα.						
ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΕΑΡΙΝΗ					
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ	Α		Β		Γ	
ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ (€)	ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΟΣΤΟΥΣ (%)	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ (€)	ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΟΣΤΟΥΣ (%)	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ (€)	ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΟΣΤΟΥΣ (%)
ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ	54,74	40,2	43,35	52,6	41,28	54,9
ΑΝΑΒΟΛΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΩΝ	<b>39,52</b>	<b>56,8</b>	<b>36,01</b>	<b>60,6</b>	<b>35,87</b>	<b>60,8</b>
ΜΕΙΩΣΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ	55,41	39,4	51,41	43,8	38,11	58,4
ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΙΜΗΣ	50,64	44,7	41,85	54,3	33,32	63,6
ΜΕ ΕΛΕΓΚΤΗ ΑΣΑΦΟΥΣ ΛΟΓΙΚΗΣ	58,64	35,9	53,41	41,6	51,49	43,7
ΚΥΛΙΟΜΕΝΟΥ ΧΡΟΝΙΚΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΑ	73,25	20	60,17	34,2	55,47	39,4
ΕΛΕΓΧΟΥ ΧΡΟΝΙΚΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ	<b>47,46</b>	<b>48,1</b>	<b>38,83</b>	<b>57,6</b>	<b>23,2</b>	<b>74,6</b>
ΜΕ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΣΥΣΚΕΥΩΝ	47,7	47,9	45,64	50,1	37,13	59,4

Από τον Πίνακα 5.7 προκύπτει ότι για την εαρινή ημέρα οι πιο αποδοτικοί αλγόριθμοι ως προς τη μείωση του κόστους αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας από το ηλεκτρικό δίκτυο είναι ο αλγόριθμος αναβολής λειτουργιών και ο αλγόριθμος ελέγχου χρονικής περιόδου με μέσο όρο διαφοράς 59,4%

## Συγκριτική αξιολόγηση αλγορίθμων για τη διαχείριση ενέργειας κτηρίων σε πραγματικό χρόνο

και 60,1% αντίστοιχα. Ο λιγότερο αποδοτικός αλγόριθμος είναι ο αλγόριθμος κυλιόμενου χρονικού ορίζοντα με μέσο όρο διαφοράς 31,2%.

Πίνακας 5.8: Πίνακας αξιολόγησης αλγορίθμων με κριτήριο το συνολικό κόστος αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας σε μία καλοκαιρινή ημέρα.						
ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΚΑΛΟΚΑΙΡΙΝΗ					
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ	Α		Β		Γ	
ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ (€)	ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΟΣΤΟΥΣ (%)	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ (€)	ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΟΣΤΟΥΣ (%)	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ (€)	ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΟΣΤΟΥΣ (%)
ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ	69,64	22,2	51,95	42	44,03	50,8
ΑΝΑΒΟΛΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΩΝ	71,79	19,8	69,44	22,4	54,63	39
ΜΕΙΩΣΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ	60,51	32,4	38,39	57,1	32,37	63,8
ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΙΜΗΣ	78,73	12	60,15	32,8	48,27	46,1
ΜΕ ΕΛΕΓΚΤΗ ΑΣΑΦΟΥΣ ΛΟΓΙΚΗΣ	<b>47,43</b>	<b>47</b>	<b>41,24</b>	<b>53,9</b>	<b>39,93</b>	<b>55,4</b>
ΚΥΛΙΟΜΕΝΟΥ ΧΡΟΝΙΚΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΑ	61,51	31,3	53,09	40,7	45,89	48,7
ΕΛΕΓΧΟΥ ΧΡΟΝΙΚΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ	64,18	28,3	46,54	48	38,91	56,5
ΜΕ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΣΥΣΚΕΥΩΝ	<b>46,02</b>	<b>48,6</b>	<b>43,89</b>	<b>51</b>	<b>39,36</b>	<b>56</b>

Από τον Πίνακα 5.8 προκύπτει ότι για την καλοκαιρινή ημέρα οι πιο αποδοτικοί αλγόριθμοι ως προς τη μείωση του κόστους αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας από το ηλεκτρικό δίκτυο είναι ο αλγόριθμος με ελεγκτή ασαφούς λογικής και ο αλγόριθμος με προγραμματισμό λειτουργίας

ηλεκτρικών συσκευών με μέσο όρο διαφοράς 52,1% και 51,9% αντίστοιχα. Ο λιγότερο αποδοτικός αλγόριθμος είναι ο αλγόριθμος αναβολής λειτουργιών με μέσο όρο διαφοράς 27,1%.

Για την αξιολόγηση των αλγορίθμων ως προς την καλύτερη διαχείριση του συστήματος αποθήκευσης ενέργειας, εξετάζεται για κάθε ημέρα και περίπτωση ζεύγους Α.Π.Ε., όπως φαίνεται στους Πίνακες 5.9, 5.10, 5.11, 5.12, για το εάν το ποσοστό φόρτισης της συστοιχίας των μπαταριών διατηρείται συνεχώς πάνω από 30%, κάτι το οποίο προφυλάσσει το προσδόκιμο ζωής των μπαταριών [2].

Πίνακας 5.9: Πίνακας αξιολόγησης αλγορίθμων για μία φθινοπωρινή ημέρα με κριτήριο τη διατήρηση του επιπέδου φόρτισης των μπαταριών σε ασφαλή επίπεδα άνω του 30%.			
ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΦΘΙΝΟΠΩΡΙΝΗ		
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ	A	B	Γ
ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ	ΔΙΑΤΗΡΗΣΗ ΑΣΦΑΛΗ ΕΠΙΠΕΔΩΝ	ΔΙΑΤΗΡΗΣΗ ΑΣΦΑΛΗ ΕΠΙΠΕΔΩΝ	ΔΙΑΤΗΡΗΣΗ ΑΣΦΑΛΗ ΕΠΙΠΕΔΩΝ
ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ
ΑΝΑΒΟΛΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΩΝ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ
ΜΕΙΩΣΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΝΑΙ
ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΙΜΗΣ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ
ΜΕ ΕΛΕΓΚΤΗ ΑΣΑΦΟΥΣ ΛΟΓΙΚΗΣ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ
ΚΥΛΙΟΜΕΝΟΥ ΧΡΟΝΙΚΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΑ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ
ΕΛΕΓΧΟΥ ΧΡΟΝΙΚΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ
ΜΕ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΣΥΣΚΕΥΩΝ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ

Από τον Πίνακα 5.9 συμπεραίνεται ότι για την φθινοπωρινή ημέρα σε όλους τους αλγόριθμους, εκτός από τον αλγόριθμο μείωσης ζήτησης, τα ποσοστά φόρτισης των μπαταριών διατηρούνται σε ασφαλή επίπεδα, για κάθε περίπτωση ζεύγους Α.Π.Ε.



Πίνακας 5.10: Πίνακας αξιολόγησης αλγορίθμων για μία χειμερινή ημέρα με κριτήριο τη διατήρηση του επιπέδου φόρτισης των μπαταριών σε ασφαλή επίπεδα άνω του 30%.			
ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΧΕΙΜΕΡΙΝΗ		
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ	A	B	Γ
ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ	ΔΙΑΤΗΡΗΣΗ ΑΣΦΑΛΗ ΕΠΙΠΕΔΩΝ	ΔΙΑΤΗΡΗΣΗ ΑΣΦΑΛΗ ΕΠΙΠΕΔΩΝ	ΔΙΑΤΗΡΗΣΗ ΑΣΦΑΛΗ ΕΠΙΠΕΔΩΝ
ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ
ΑΝΑΒΟΛΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΩΝ	ΌΧΙ	ΌΧΙ	ΌΧΙ
ΜΕΙΩΣΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ	ΌΧΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ
ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΙΜΗΣ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ
ΜΕ ΕΛΕΓΚΤΗ ΑΣΑΦΟΥΣ ΛΟΓΙΚΗΣ	ΌΧΙ	ΌΧΙ	ΟΧΙ
ΚΥΛΙΟΜΕΝΟΥ ΧΡΟΝΙΚΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΑ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ
ΕΛΕΓΧΟΥ ΧΡΟΝΙΚΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ
ΜΕ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΣΥΣΚΕΥΩΝ	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΝΑΙ

Από τον Πίνακα 5.10 συμπεραίνεται ότι για την χειμερινή ημέρα στους αλγόριθμους ελέγχου κατάστασης φόρτισης, ελέγχου τιμής, κυλιόμενου χρονικού ορίζοντα και ελέγχου χρονικής περιόδου, τα ποσοστά φόρτισης των μπαταριών διατηρούνται σε ασφαλή επίπεδα, για κάθε περίπτωση ζεύγους Α.Π.Ε. Αντιθέτως, στους αλγόριθμοι αναβολής λειτουργιών και με ελεγκτή ασφαλούς λογικής τα ποσοστά αυτά δε διατηρούνται σε ασφαλή επίπεδα, για κανένα ζεύγος Α.Π.Ε.

Πίνακας 5.11: Πίνακας αξιολόγησης αλγορίθμων για μία εαρινή ημέρα με κριτήριο τη διατήρηση του επιπέδου φόρτισης των μπαταριών σε ασφαλή επίπεδα άνω του 30%.			
ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΕΑΡΙΝΗ		
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ	A	B	Γ
ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ	ΔΙΑΤΗΡΗΣΗ ΑΣΦΑΛΗ ΕΠΙΠΕΔΩΝ	ΔΙΑΤΗΡΗΣΗ ΑΣΦΑΛΗ ΕΠΙΠΕΔΩΝ	ΔΙΑΤΗΡΗΣΗ ΑΣΦΑΛΗ ΕΠΙΠΕΔΩΝ
ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΦΟΡΤΙΣΗΣ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ
ΑΝΑΒΟΛΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΩΝ	ΌΧΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ
ΜΕΙΩΣΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΝΑΙ
ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΙΜΗΣ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ
ΜΕ ΕΛΕΓΚΤΗ ΑΣΑΦΟΥΣ ΛΟΓΙΚΗΣ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ
ΚΥΛΙΟΜΕΝΟΥ ΧΡΟΝΙΚΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΑ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ
ΕΛΕΓΧΟΥ ΧΡΟΝΙΚΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ
ΜΕ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΣΥΣΚΕΥΩΝ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ

Από τον Πίνακα 5.11 συμπεραίνεται ότι για την εαρινή ημέρα σε όλους τους αλγόριθμους, εκτός από τον αλγόριθμο μείωσης ζήτησης και αναβολής λειτουργιών, τα ποσοστά φόρτισης των μπαταριών διατηρούνται σε ασφαλή επίπεδα, για κάθε περίπτωση ζεύγους Α.Π.Ε.

Πίνακας 5.12: Πίνακας αξιολόγησης αλγορίθμων για μία καλοκαιρινή ημέρα με κριτήριο τη διατήρηση του επιπέδου φόρτισης των μπαταριών σε ασφαλή επίπεδα άνω του 30%.			
ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΚΑΛΟΚΑΙΡΙΝΗ		
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ	A	B	Γ
ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ	ΔΙΑΤΗΡΗΣΗ ΑΣΦΑΛΗ ΕΠΙΠΕΔΩΝ	ΔΙΑΤΗΡΗΣΗ ΑΣΦΑΛΗ ΕΠΙΠΕΔΩΝ	ΔΙΑΤΗΡΗΣΗ ΑΣΦΑΛΗ ΕΠΙΠΕΔΩΝ
ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΦΟΡΤΙΣΗΣ	NAI	NAI	NAI
ΑΝΑΒΟΛΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΩΝ	NAI	NAI	NAI
ΜΕΙΩΣΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	NAI
ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΙΜΗΣ	NAI	NAI	NAI
ΜΕ ΕΛΕΓΚΤΗ ΑΣΑΦΟΥΣ ΛΟΓΙΚΗΣ	ΟΧΙ	NAI	NAI
ΚΥΛΙΟΜΕΝΟΥ ΧΡΟΝΙΚΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΑ	NAI	NAI	NAI
ΕΛΕΓΧΟΥ ΧΡΟΝΙΚΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ	NAI	NAI	NAI
ΜΕ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΣΥΣΚΕΥΩΝ	NAI	NAI	NAI

Από τον Πίνακα 5.12 συμπεραίνεται ότι για την καλοκαιρινή ημέρα σε όλους τους αλγόριθμους, εκτός από τον αλγόριθμο μείωσης ζήτησης και με ελεγκτή ασαφούς λογικής, τα ποσοστά φόρτισης των μπαταριών διατηρούνται σε ασφαλή επίπεδα, για κάθε περίπτωση ζεύγους Α.Π.Ε.

Συνοψίζοντας, από τα παραπάνω συμπεραίνεται πως ο πιο αποδοτικός αλγόριθμος είναι ο αλγόριθμος ελέγχου χρονικής περιόδου ο οποίος πετυχαίνει στις τρεις από τις τέσσερις εποχές για κάθε περίπτωση ζεύγους Α.Π.Ε. να έχει την καλύτερη απόδοση στη μείωση της ποσότητας και κόστους αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας από το ηλεκτρικό δίκτυο, ενώ ταυτόχρονα τα επίπεδα φόρτισης της συστοιχίας των μπαταριών δεν πέφτουν κάτω από το ποσοστό 30%. Τον αλγόριθμο αυτόν ως προς την αποδοτικότητα ακολουθούν οι αλγόριθμοι ελέγχου κατάστασης φόρτισης και ο

προγραμματισμού λειτουργίας των ηλεκτρικών συσκευών, όπου τα επίπεδα φόρτισης των μπαταριών διατηρούνται εξίσου σε ικανοποιητικά ποσοστά και επιφέρουν αξιόλογη μείωση της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο.

# 6.

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

---

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η συγκριτική αξιολόγηση οκτώ εναλλακτικών αλγορίθμων διαχείρισης ενέργειας κτηρίου σε πραγματικό χρόνο. Το κτήριο που μελετήθηκε διαθέτει ένα Φ/Β σύστημα, μία ανεμογεννήτρια και ένα σύστημα αποθήκευσης ενέργειας. Οι αλγόριθμοι λειτουργούν σε πραγματικό χρόνο, καθώς οι αποφάσεις λαμβάνονται βάσει συγκεκριμένων δεδομένων που εισάγονται στην αρχή κάθε ώρας, και καθώς η τιμολόγηση της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο γίνεται σε πραγματικό χρόνο.

Οι αλγόριθμοι συγκρίθηκαν ως προς τη συνολική κατανάλωση ενέργειας από το ηλεκτρικό δίκτυο, το συνολικό κόστος της ενέργειας αυτής, αλλά και ως προς τον τρόπο διαχείρισης του συστήματος αποθήκευσης ενέργειας. Η διαχείριση αυτή θα πρέπει να εξασφαλίζει την όσο δυνατή μη-επιβάρυνση της υγείας της συστοιχίας των μπαταριών.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση των αλγορίθμων είναι οι απαιτήσεις του χρήστη, η τιμολόγηση της ηλεκτρικής ενέργειας, οι καιρικές συνθήκες καθώς και η παραγόμενη ισχύς των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Κάθε αλγόριθμος, υλοποιήθηκε σε γλώσσα MATLAB για μία φθινοπωρινή, μία χειμερινή, μία εαρινή και μία καλοκαιρινή ημέρα. Για την εξαγωγή εγκυρότερων αποτελεσμάτων, σε κάθε περίπτωση εφαρμόστηκαν τρεις υποπεριπτώσεις ονομαστικής ισχύος των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Περιγράφοντας τη λειτουργία όλων των αλγορίθμων και αναλύοντας τα αποτελέσματά τους προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

- ο αλγόριθμος ελέγχου χρονικής περιόδου πετυχαίνει σε κάθε εποχή και σε κάθε περίπτωση ζεύγους Α.Π.Ε. να έχει την καλύτερη απόδοση στη μείωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας από το ηλεκτρικό δίκτυο, ενώ ταυτόχρονα τα επίπεδα φόρτισης της συστοιχίας των μπαταριών δεν πέφτουν κάτω από ποσοστό 30%. Χαρακτηριστικό αυτού του αλγόριθμου είναι ότι χωρίζει το 24ωρο σε τρεις χρονικές περιόδους, με βασικό κριτήριο τη διακύμανση της τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας. Η πρώτη και η τρίτη περίοδος έχουν κατά μέσω όρο χαμηλότερες τιμές για την ηλεκτρική ενέργεια, σε σχέση με τη δεύτερη. Αυτό συμβαίνει γιατί στη δεύτερη περίοδο περιλαμβάνονται οι ώρες αιχμής όπου υπάρχει μεγαλύτερη ζήτηση και επομένως και μεγαλύτερη επιβάρυνση στο ηλεκτρικό δίκτυο.
- ο αλγόριθμος ελέγχου χρονικής περιόδου ακολουθείται ως προς την απόδοση από τον αλγόριθμο ελέγχου κατάστασης φόρτισης και τον αλγόριθμο προγραμματισμού λειτουργίας των ηλεκτρικών συσκευών, όπου τα επίπεδα φόρτισης των μπαταριών διατηρούνται σε εξίσου ικανοποιητικά ποσοστά και επομένως επιφέρουν αξιόλογη μείωση της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο. Ο αλγόριθμος ελέγχου κατάστασης φόρτισης έχει ως κύριο χαρακτηριστικό ότι παίρνει αποφάσεις, ελέγχοντας σε πρώτη φάση το επίπεδο φόρτισης της μπαταρίας και σε δεύτερη φάση ελέγχοντας την τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας. Ο αλγόριθμος προγραμματισμού λειτουργίας ηλεκτρικών συσκευών έχει ως κύριο χαρακτηριστικό ότι χρησιμοποιεί γενετικό αλγόριθμο για να προγραμματίσει τη λειτουργία των συσκευών χωρίς να παραβιάζονται οι προτιμήσεις του χρήστη και με στόχο την εκμετάλλευση των περιόδων όπου η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας είναι χαμηλότερη από το όριο DTP.
- οι αλγόριθμοι αναβολής λειτουργιών, μείωσης ζήτησης και με ελεγκτή ασαφούς λογικής όπως προκύπτει φαίνεται να είναι λιγότερο αποδοτικοί.. Παρόλο που παρουσιάζουν σε κάποιες περιπτώσεις ικανοποιητικά αποτελέσματα ως προς τη μείωση του κόστους της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο, δεν καταφέρνουν να κρατήσουν διαρκώς τα ποσοστά φόρτισης των μπαταριών σε ασφαλή επίπεδα. Συγκεκριμένα ο αλγόριθμος αναβολής λειτουργιών, έχει ως κύριο χαρακτηριστικό να αναβάλλει για επόμενες ώρες τη λειτουργία των ελεγχόμενων ηλεκτρικών συσκευών με στόχο τη μείωση της ηλεκτρικής ενέργειας που προέρχεται από το ηλεκτρικό δίκτυο. Ο αλγόριθμος μείωσης ζήτησης θα προσπαθήσει για μία χρονική στιγμή να μειώσει τη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο είτε αναβάλλοντας τη λειτουργία των ελεγχόμενων ηλεκτρικών συσκευών είτε αναθέτοντας ένα σύνολο συσκευών στο σύστημα αποθήκευσης ενέργειας. Ο αλγόριθμος με ελεγκτή ασαφούς λογικής έχει ως κύριο χαρακτηριστικό ότι οι αποφάσεις του καθορίζονται από την έξοδο ενός ελεγκτή ασαφούς

λογικής, με μεταβλητές εισόδου την τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας και τα επίπεδα φόρτισης των μπαταριών.

- ο αλγόριθμος ελέγχου τιμής, ο οποίος έχει ως κύριο κριτήριο την τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας που αντιστοιχεί σε κάθε χρονική στιγμή για τη λήψη των αποφάσεων. Ο αλγόριθμος αυτός καταφέρνει να διατηρήσει τα ποσοστά φόρτισης των μπαταριών σε ασφαλή επίπεδα, σε κάθε περίπτωση όμως η απόδοσή του ως προς τη μείωση της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο είναι μέτρια.
- ο αλγόριθμος κυλιόμενου χρονικού ορίζοντα, του οποίου οι αποφάσεις βασίζονται στις καθημερινές συνήθειες του χρήστη και στην τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας, έχει τη μικρότερη απόδοση ως προς τη μείωση κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο, παρόλο που καταφέρνει να διατηρεί τα ποσοστά φόρτισης των μπαταριών σε ασφαλή επίπεδα για κάθε περίπτωση που εξετάζεται.

Έτσι, κλείνοντας είναι ενδιαφέρον να τονιστεί πως για την επέκταση της μελέτης που παρουσιάστηκε στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία, θα μπορούσαν να εφαρμοστούν οι αλγόριθμοι αυτοί σε ένα υπάρχον κτήριο που πληροί τις αναφερόμενες προδιαγραφές, έτσι ώστε να γίνει σύγκριση θεωρητικών και πειραματικών αποτελεσμάτων. Επιπλέον, πέρα από την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο θα μπορούσε να μελετηθεί είτε η περίπτωση πώλησης της πλεονάζουσας παραγόμενης ενέργειας από τις ανανεώσιμες πηγές είτε η περίπτωση επέκτασης της χωρητικότητας του συστήματος αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας.

# 7.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

---

- [1] Κοσκινάς Αθανάσιος, “Ειδική Ερευνητική Εργασία: Σύνθετο Σύστημα Ηλιακής και Αιολικής Ενέργειας”, Πανεπιστήμιο Πατρών, 2016.
- [2] National Solar Radiation Database. URL <https://nsrdb.nrel.gov/>
- [3] National Renewable Energy Laboratory. URL <https://www.nrel.gov/index.html>
- [4] A. Rifat Boynuegri, Bunyamin Yagcitekcin, Mustafa Baysal, Arif Karakas, Mehmet Uzunoglu, “Energy management algorithm for smart home with renewable energy sources”, 4<sup>th</sup> International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives, pp. 1753-1758, 2013.
- [5] Onur Elma, Akın Taşcıkaraoğlu, A. Tahir İnce, Uğur S.Selamoğulları, “Implementation of a dynamic energy management system using real time pricing and local renewable energy generation forecasts”, Energy, vol. 134, pp. 206-220, 2017.
- [6] Hanife Apaydın Özkan, “A new real time home power management system”, Energy and Buildings, vol. 97, pp. 56-64, 2015.
- [7] Muhammad Umer Qureshi, Alan Girault, Mickael Mauger, Santiago Grijalva, “Implementation of home energy management system with optimal load scheduling based on real-time electricity pricing models”, IEEE 7<sup>th</sup> International Conference on Consumer Electronics, pp. 134-139, 2017.
- [8] Zhi Wu, Suyang Zhou, Jianing Li, Xiao-Ping Zhang, “Real-Time Scheduling of Residential Appliances via Conditional Risk-at-Value”, IEEE Transactions on Smart Grid, vol. 5, no. 3, pp. 1282-1291, 2014.



- [9] Γιάννης Α. Θεοδώρου, “Εισαγωγή στην ασαφή λογική (Fuzzy Logic)”, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη, 2012.
- [10] Nikolaos G. Paterakis, Iliana N. Pappi, João P. S. Catalão, Ozan Erdinc, “Optimal operation of smart houses by a real-time rolling horizon algorithm”, IEEE Power and Energy Society General Meeting (PESGM), pp. 1-5, 2016.
- [11] Ran Chen, Wei Lu, Wei Wang, Xin Wang, Bing Shen, Jun Yang, Bo Ren, “Optimal on-line energy management of building Microgrid based on improved grey prediction model”, IEEE Conference on Energy Internet and Energy System Integration (EI2), pp. 1-6, 2017.
- [12] Shenglin Li, Junjie Yang, Wenzhan Song, An Chen, “A Real-Time Electricity Scheduling for Residential Home Energy Management”, IEEE Internet of Things Journal, vol. 6, no. 2, pp. 2602-2611, 2019.
- [13] Λυκοθανάσης Σπυρίδων, “Τόμος Γ’ Γενετικοί Αλγόριθμοι και Εφαρμογές”, ISBN: 960-538-175-3 Εκδόσεις ΕΑΠ, Πάτρα, 2001.