



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

**Πολιτικές Διαχείρισης Ενέργειας σε υβριδικά AC/DC Μικροδίκτυα με ενσωμάτωση  
Φωτοβολταϊκών Μονάδων και Συστημάτων Συμπαράγωγής**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΑΡ. ΠΟΥΛΗΜΕΝΟΣ**

**Επιβλέποντες:** Νικόλαος Δ. Χατζηαργυρίου  
Καθηγητής Ε.Μ.Π

Αθήνα, Ιούλιος 2016





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

**Πολιτικές Διαχείρισης Ενέργειας σε υβριδικά AC/DC Μικροδίκτυα με ενσωμάτωση  
Φωτοβολταϊκών Μονάδων και Συστημάτων Συμπαράγωγής**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΑΡ. ΠΟΥΛΗΜΕΝΟΣ**

**Επιβλέποντες:** Νικόλαος Δ. Χατζηαργυρίου  
Καθηγητής Ε.Μ.Π

Ανέστης Αναστασιάδης  
Δ. Ε.Μ.Π

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 13<sup>η</sup> Ιουλίου 2016

.....  
Ν. Χατζηαργυρίου  
Καθηγητής ΕΜΠ

Σ. Παπαθανασίου  
Αν. Καθηγητής ΕΜΠ

Π. Γεωργιλάκης  
Επ. Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Ιούλιος 2016

.....

Γεώργιος Αρ. Πουλημένος

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

Copyright © Γεώργιος Αρ. Πουλημένος, 2016.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

## Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε κατά το ακαδημαϊκό έτος 2015-2016 στον τομέα Ηλεκτρικής Ισχύος της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του ΕΜΠ.

Στόχος της συγκεκριμένης εργασίας είναι η σχεδίαση, η διαχείριση και η ευσταθή λειτουργία ενός υβριδικού AC/DC ηλεκτρικού μικροδικτύου με ενσωμάτωση τριών τύπων καταναλωτών με φωτοβολταϊκά συστήματα και συστήματα μονάδων συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας σε ένα ευφυές μικροδίκτυο.

Υπεύθυνος κατά την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας ήταν ο Καθηγητής κ. Ν. Χατζηαργυρίου, τον οποίο ευχαριστώ ιδιαίτερα για την ανάθεσή της καθώς και για τη δυνατότητα που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα.

Επίσης, ευχαριστώ θερμά τον Διδάκτορα κ. Α. Αναστασιάδη για την άψογη συνεργασία μας, την υποστήριξη, τις πολύτιμες συμβουλές, την καθοδήγηση και τις χρήσιμες υποδείξεις που μου παρείχε καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας

Τέλος, ευχαριστίες οφείλω στους γονείς μου, για την υποστήριξή της όλα αυτά τα χρόνια των σπουδών μου.

Αθήνα, Ιούλιος 2016

Γεώργιος Αρ. Πουλημένος

## Περίληψη

Στις μέρες μας διαβάζουμε αρκετές αναφορές που έχουν πραγματοποιηθεί από πολλούς μελετητές όσον αφορά τη χρησιμοποίηση των ευφυών δικτύων στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας. Όλες αυτές οι μελέτες καταλήγουν στο συμπέρασμα της αναγκαστικής εφαρμογής των έξυπνων δικτύων προκειμένου το σύστημα ηλεκτρικής ισχύος να λειτουργεί με αποδοτικότητα και αξιοπιστία απέναντι στους καταναλωτές, χωρίς διακοπές στην ηλεκτροδότησή τους και περιβαλλοντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον, δεδομένου ότι οι ενεργειακές τους απαιτήσεις επιταχύνονται με αυξανόμενους ρυθμούς. Δεν υπάρχει καμιά αμφισβήτηση πως τα ευφυή δίκτυα επιτυγχάνουν βέλτιστη και αξιόπιστη ενσωμάτωση των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής στο υπάρχον δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς προέρχονται σημαντικά ποσά ισχύος από τις μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής.

Στην συγκεκριμένη διπλωματική εργασία ενσωματώσαμε τρεις διαφορετικούς τύπους καταναλωτών με μεγάλες, μεσαίες και μικρές ηλεκτρικές και θερμικές απαιτήσεις, χρησιμοποιώντας φωτοβολταϊκά συστήματα για κάθε οικία μεγάλου καταναλωτή με εγκατεστημένη ισχύ 10KW, μεσαίου καταναλωτή με εγκατεστημένη ισχύ 6KW και μικρού καταναλωτή με εγκατεστημένη ισχύ 3KW. Επιπλέον, για να καλυφθούν οι θερμικές απαιτήσεις των οικιών του μικροδικτύου χρησιμοποιήσαμε τρεις μονάδες συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας (CHP), ύστερα από κατάλληλες διαστασιολογήσεις με τις ετήσιες καμπύλες διάρκειας φορτίου για τις τρεις διαφορετικές καταναλώσεις. Επιπροσθέτως, προκειμένου να καλυφθούν πλήρως οι θερμικές ανάγκες χρησιμοποιήσαμε και ένα λέβητα (boiler). Διαχειριστήκαμε με κατάλληλους αλγορίθμους την ηλεκτρική ισχύ που προκύπτει από τη λειτουργία των μονάδων συμπαραγωγής και των φωτοβολταϊκών προκειμένου ο διαχειριστής του μικροδικτύου και κατ'επέκταση οι χρήστες να ζητούν όσο το δυνατόν λιγότερη ενέργεια από το εξωτερικό δίκτυο παροχής ηλεκτρικής ισχύος (ΔΕΔΔΗΕ). Ακόμα, έχουμε υλοποιήσει τους απαραίτητους αλγορίθμους ώστε οι μονάδες συμπαραγωγής να λειτουργούν για κάλυψη θερμικού ή και ηλεκτρικού φορτίου. Στις περιπτώσεις που έχουμε αυξημένες θερμικές ανάγκες είναι αναγκαίο οι μονάδες συμπαραγωγής να δουλεύουν για την κάλυψη του θερμικού φορτίου, ενώ σε αντίθετη περίπτωση μπορεί να λειτουργούν για κάλυψη του ηλεκτρικού φορτίου. Επίσης, υπάρχουν συσσωρευτές ώστε σε κάθε βήμα προσομοίωσης η περίσσεια ηλεκτρικής ισχύος έχοντας καλύψει τις ανάγκες να αποθηκεύεται σ' αυτούς. Τέλος, το μικροδίκτυο περιέχει έξυπνους μετρητές για την καταγραφή και ανάλυση των δεδομένων, DC και AC ζυγό, αντιστροφείς και ανορθωτές για εναλλαγή της ισχύος από DC σε AC και αντίστροφα, μικροεπεξεργαστές κατάλληλους για παρακολούθηση και έλεγχο όλων των συσκευών που είναι συνδεδεμένες στο μικροδίκτυο. Όλα αυτά σχεδιάστηκαν με την εφαρμογή του προγράμματος Matlab. Τα αποτελέσματα δείχνουν σημαντική αποσυμφόρτιση του δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας.

## **ΛΕΞΕΙΣ-ΚΛΕΙΔΙΑ**

Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, μικροδίκτυο, διεσπαρμένη παραγωγή, φωτοβολταϊκά, συστήματα συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας, διαχείριση συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας, ευφυές ηλεκτρικό δίκτυο, DC δίκτυο, AC δίκτυο, έξυπνοι μετρητές, έλεγχος χρήστη, έλεγχος διαχειριστή μικροδικτύου, έλεγχος θερμικών απαιτήσεων, αξιοπιστία, συντελεστής ισχύος, δίκτυο διανομής, σύστημα μεταφοράς, αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας, αντιστροφείς, Matlab.

## **Abstract**

Nowadays we read several reports have been made by many scholars in the use of intelligent networks in electrical power systems. All these studies conclude forced implementation of smart grids to the electrical power system to operate with efficiency and reliability towards consumers, without interruptions to their electricity supply and environmental impacts on the environment, as their power requirements are accelerated with increasing steps. There is no doubt that smart grids achieve optimum and reliable integration of distributed generation units in the existing electricity distribution network, as derived significant amounts of power from distributed generation units. In this thesis we incorporated three different types of consumers with large, medium and small electrical and thermal demands, using photovoltaic systems for each house large consumers with an installed power of 10KW, medium consumer with installed power of 6KW and small consumers with an installed power of 3KW. In addition, to meet the thermal demands of microgrid houses we used three units cogeneration of heat and power (CHP), after appropriate sizing of the annual load duration curves for the three different consumptions. Additionally, in order to fully meet the thermal demands we used and a boiler. We managed with appropriate algorithms electric power resulting from the operation of cogeneration units and photovoltaic in order to the manager of the microgrid and thus users to demand the least possible energy from the external electrical power supply network (DEDDHE). Still, we have implemented the necessary algorithms that cogeneration units operating to meet thermal or electrical load. In cases that we have increased thermal demands it is necessary cogeneration units to work for cover the heat load, while otherwise they may work to cover the electrical load. There are also batteries that in each simulation step the excess power having cover needs to be stored to them. Finally, the microgrid containing smart meters for recording and analyzing data, DC and AC bus, inverters and rectifiers to switch from DC power to AC and back microprocessors suitable for monitoring and control of all devices that connect to the microgrid. All this is designed with implement the Matlab program. The results show significant congestion in the electricity distribution network.

## **KEY WORDS**

Renewable energy sources, microgrid, distributed generation, photovoltaic, electricity and heat systems cogeneration, managing electricity systems, intelligent electric grid, DC network, AC network, smart meter, user control, microgrid administrator control, thermal demand control, reliability, power factor, distribution network, transport system, save electricity, inverter, Matlab.



## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

### Κεφάλαιο 1: 13

#### ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ 13

1.1	Εισαγωγική Ιστορική Ανασκόπηση.....	13	
1.2	Λειτουργίες Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	14	
1.3	Δομή Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	16	
1.4	Ελληνικό Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας .....	19	
1.5	Απελευθέρωση της Αγοράς.....	20	
1.6	Διανεμημένη και Διεσπαρμένη Παραγωγή.....	21	
1.6.1	Εισαγωγή		21
1.6.2	Τεχνολογίες Διεσπαρμένης Παραγωγής		23
1.6.3	Παράγοντες Επιλογής Κατάλληλης Διεσπαρμένης Τεχνολογίας		25
1.7	Οικονομικά Χαρακτηριστικά Τεχνολογιών Διεσπαρμένης Παραγωγής .....	28	

### Κεφάλαιο 2: 31

#### ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ 31

2.1	Εισαγωγή .....	31	
2.1.1	Ηλιακή Ενέργεια		31
2.2	Εκμετάλλευση Ηλιακής Ακτινοβολίας.....	33	
2.2.1	Δυνατότητα Αξιοποίησης της Φ/Β Ενέργειας		34
2.2.2	Φωτοβολταϊκό Φαινόμενο		35
2.3	Ισοδύναμο Ηλεκτρικό Κύκλωμα Φ/Β Στοιχείου .....	38	
2.3.1	Καμπύλη V-I του Φωτοβολταϊκού		39
2.3.2	Βαθμός Απόδοσης Φωτοβολταϊκών		40
2.4	Κατηγορίες Φωτοβολταϊκών Συστημάτων.....	41	
2.4.1	Αυτόνομα Συστήματα		41
2.4.2	Διασυνδεδεμένα Συστήματα		41
2.4.3	Υβριδικά Συστήματα		42
2.5	Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα των Φωτοβολταϊκών .....	42	
2.5.1	Ανάλυση Πλεονεκτημάτων		42
2.5.2	Ανάλυση Μειονεκτημάτων		43
2.6	Αντιστροφείς.....	44	
2.6.1	Κατηγορίες Αντιστροφών		44
2.6.2	Χαρακτηριστικά και Τρόπος Λειτουργίας Φ/Β Αντιστροφών		45

### Κεφάλαιο 3: 48

#### ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΕΣ – ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ 48

3.1	Γενικά Τεχνικά Στοιχεία για τις Μπαταρίες.....	48	
3.1.1	Δομή Βασικού Στοιχείου και Ηλεκτροχημικές Αντιδράσεις		48
3.2	Ταξινόμηση Στοιχείων και Μπαταριών .....	49	
3.2.1	Πρωτεύουσες Μπαταρίες		49
3.2.2	Δευτερεύουσες ή Επαναφορτιζόμενες Μπαταρίες		49
3.2.3	Μπαταρίες Αποθήκευσης		50
3.2.4	Απαιτήσεις που πρέπει να ικανοποιούν		50

3.3	Χαρακτηριστικά Μεγέθη Μπαταρίας .....	51	
3.3.1	Χωρητικότητα		51
3.3.2	Τάση		52
3.3.3	Στάθμη Φόρτισης		52
3.3.4	Βάθος Εκφόρτισης		53
3.3.5	Κύκλος/Κύκλος Ζωής		53
3.3.6	Αποδοτικότητα		54
3.3.7	Μέρες Αυτονομίας		54
3.3.8	Ρεύμα Μπαταρίας		54
3.3.9	Χρόνος Ζωής		55
3.3.10	Αυτοεκφόρτιση		55
3.3.11	Κατάσταση Υγείας		55
3.3.12	Ρυθμός Εκφόρτισης/Ρυθμός Φόρτισης		56
3.3.13	Ειδική Ενέργεια/Ενεργειακή Πυκνότητα		56
3.3.14	Εσωτερική Αντίσταση		56
3.3.15	Ειδικό Βάρος		56
3.3.16	Ειδική Ισχύς		56
3.4	Διάφοροι Τύποι Μπαταριών .....	57	
3.5	Πλεονεκτήματα και Επιλογή Μπαταριών Τεχνολογίας Μολύβδου Οξέως .....	60	

## Κεφάλαιο 4: 64

### ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ – ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ 64

4.1	Εισαγωγή .....	64	
4.1.1	Πλεονεκτήματα Συμπααραγωγής		66
4.1.2	Μειονεκτήματα Συμπααραγωγής		66
4.2	Τομείς Εφαρμογής των ΣΗΘ .....	67	
4.2.1	Τηλεθέρμανση (CHP/ΤΘ)		97
4.2.2	Βιομηχανικές και άλλες Εφαρμογές (CHP/BIO)		67
4.3	Σύγχρονες Τεχνικές ΣΗΘ .....	69	
4.3.1	Συστήματα Ατμοστροβίλων (Ατίθληψης, Απομάστευσης, Κύκλο Βάσης)		69
4.3.2	Συστήματα Αεριοστροβίλου Ανοικτού ή Κλειστού Κύκλου		71
4.3.3	Συστήματα με Παλινδρομική Μηχανή Εσωτερικής Καύσης		72
4.3.4	Συστήματα Συνδυασμένου Κύκλου		73
4.3.5	Κύκλοι Βάσης Rankie Με Οργανικά Ρευστά		74
4.3.6	Κυψέλες Καυσίμου		74
4.3.7	Μηχανές Stirling		74
4.3.8	Τυποποιημένες Μονάδες – «Πακέτα»		74
4.4	Επιδόσεις Σταθμών ΣΗΘ .....	75	
4.5	Τρόποι Λειτουργίας Συστημάτων ΣΗΘ .....	76	

## Κεφάλαιο 5: 79

### ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΑ – ΕΞΥΠΝΑ ΔΙΚΤΥΑ 79

5.1	Εισαγωγή στα Μικροδίκτυα .....	79	
5.1.1	Πλεονεκτήματα Μικροδικτύων		80
5.1.2	Μειονεκτήματα Μικροδικτύων		81
5.1.3	Δομή Μικροδικτύου		83

5.1.4	Αρχιτεκτονική Ελέγχου	84
5.1.5	Κεντρικός Έλεγχος και Αρμοδιότητες του Κεντρικού Ελεγκτή	85
5.1.6	Πλήρης Αποκεντρωμένος Έλεγχος	88
5.1.7	Εφαρμογές Αποκεντρωμένου κ' Κεντρικού Ελέγχου Λειτουργίας Μικροδικτύου	90
5.2	Έξυπνα Δίκτυα .....	92
5.2.1	Έξυπνοι Μετρητές	93
5.2.2	Σκοπός Ανάπτυξης	93
5.2.3	Τεχνολογία Ευφυή Δικτύων	94

## **Κεφάλαιο 6: 97**

### **ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΔΟΜΗΣ ΤΟΥ ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΟΥ 97**

6.1	Εισαγωγή .....	97
6.1.1	Σχεδίαση του Συστήματος Λειτουργίας	98
6.1.2	Συστήματα Διαχείρισης Ενέργειας του Μικροδικτύου	99
6.1.3	Ανάλυση Λειτουργίας των Μονάδων Συμπααραγωγής	101
6.1.4	Διαμοιρασμός DC και AC Ισχύος στις Οικίες του Μικροδικτύου	102
6.1.5	Διαστασιολόγηση Συσσωρευτών Μικροδικτύου	103
6.1.6	Σύστημα Αποθήκευσης Ενέργειας και DC Υποσταθμός του Μικροδικτύου	104
6.1.7	Εγκατάσταση/Εφαρμογή του Μικροδικτύου	104
6.2	Περιγραφή Πολιτικών Διαχείρισης Ενέργειας και Ελέγχου του Μικροδικτύου	105
6.2.1	Πολιτική Διαχείρισης Ενέργειας και Έλεγχος Οικιακού Συστήματος	107
6.2.2	Πολιτική Διαχείρισης και Έλεγχος Ηλεκτρικής Ισχύος από ΣΗΘ	108
6.2.3	Πολιτική Διαχείρισης Ενέργειας Συνολικού Συστήματος	110
6.2.4	Πολιτική Διαχείρισης και Έλεγχος Τρόπου Λειτουργίας των Μονάδων ΣΗΘ	112
6.3	Διαστασιολόγηση και Επιλογή των Συστημάτων ΣΗΘ .....	114
6.4	Περιγραφή Μοντελοποίησης στο Πρόγραμμα MATLAB .....	121

## **Κεφάλαιο 7: 126**

### **ΣΕΝΑΡΙΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 126**

7.1	Περιγραφή των Επιλεγμένων Σεναρίων Προσομοίωσης.....	126
7.2	1 <sup>ο</sup> Σενάριο Προσομοίωσης .....	127
7.2.1	Παράμετροι Σεναρίου Προσομοίωσης για τους 3 τύπους Καταναλωτών	127
7.2.2	Στόχος Σεναρίου Προσομοίωσης Θερμικής Λειτουργίας ΣΗΘ	147
7.2.3	Αποτελέσματα Σεναρίου Προσομοίωσης Θερμικής Λειτουργίας ΣΗΘ	148
7.2.4	Χαρακτηριστικές Τιμές Σεναρίου Προσομοίωσης Θερμικής Λειτουργίας ΣΗΘ	171
7.2.5	Συμπεράσματα Σεναρίου Προσομοίωσης Θερμικής Λειτουργίας ΣΗΘ	172
7.3	2 <sup>ο</sup> Σενάριο Προσομοίωσης .....	173
7.3.1	Παράμετροι Σεναρίου Προσομοίωσης για τους 3 τύπους Καταναλωτών	173
7.3.2	Στόχος Σεναρίου Προσομοίωσης Θερμικής Λειτουργίας ΣΗΘ	193
7.3.3	Αποτελέσματα Σεναρίου Προσομοίωσης Θερμικής Λειτουργίας ΣΗΘ	194
7.3.4	Χαρακτηριστικές Τιμές Σεναρίου Προσομοίωσης Θερμικής Λειτουργίας ΣΗΘ	216
7.3.5	Συμπεράσματα Σεναρίου Προσομοίωσης Θερμικής Λειτουργίας ΣΗΘ	217
7.3.6	Στόχος Σεναρίου Προσομοίωσης Ηλεκτρικής Λειτουργίας ΣΗΘ	218
7.3.7	Αποτελέσματα Σεναρίου Προσομοίωσης Ηλεκτρικής Λειτουργίας ΣΗΘ	218
7.3.8	Χαρακτηριστικές Τιμές Σεναρίου Προσομοίωσης Ηλεκτρικής Λειτουργίας ΣΗΘ	229

7.3.9	Συμπεράσματα Σεναρίου Προσομοίωσης Ηλεκτρικής Λειτουργίας ΣΗΘ	230
7.4	Επιπρόσθετα Σενάρια Προσομοίωσης.....	231
7.4.1	3 <sup>ο</sup> Σενάριο Προσομοίωσης	231
7.4.2	Στόχος Σεναρίου Προσομοίωσης Θερμικής Λειτουργίας ΣΗΘ	231
7.4.3	Χαρακτηριστικές Τιμές Σεναρίου Προσομοίωσης Θερμικής Λειτουργίας ΣΗΘ	232
7.4.4	Συμπεράσματα Σεναρίου Προσομοίωσης Θερμικής Λειτουργίας ΣΗΘ	233
7.4.5	4 <sup>ο</sup> Σενάριο Προσομοίωσης	233
7.4.6	Στόχος Σεναρίου Προσομοίωσης Θερμικής Λειτουργίας ΣΗΘ	233
7.4.7	Χαρακτηριστικές Τιμές Σεναρίου Προσομοίωσης Θερμικής Λειτουργίας ΣΗΘ	234
7.4.8	Συμπεράσματα Σεναρίου Προσομοίωσης Θερμικής Λειτουργίας ΣΗΘ	235
7.4.9	Στόχος Σεναρίου Προσομοίωσης Ηλεκτρικής Λειτουργίας ΣΗΘ	235
7.4.10	Χαρακτηριστικές Τιμές Σεναρίου Προσομοίωσης Ηλεκτρικής Λειτουργίας ΣΗΘ	236
7.4.11	Συμπεράσματα Σεναρίου Προσομοίωσης Ηλεκτρικής Λειτουργίας ΣΗΘ	237
7.4.12	5 <sup>ο</sup> Σενάριο Προσομοίωσης	237
7.4.13	Στόχος Σεναρίου Προσομοίωσης Θερμικής Λειτουργίας ΣΗΘ	237
7.4.14	Χαρακτηριστικές Τιμές Σεναρίου Προσομοίωσης Θερμικής Λειτουργίας ΣΗΘ	238
7.4.15	Συμπεράσματα Σεναρίου Προσομοίωσης Θερμικής Λειτουργίας ΣΗΘ	239
7.4.16	Στόχος Σεναρίου Προσομοίωσης Ηλεκτρικής Λειτουργίας ΣΗΘ	239
7.4.17	Χαρακτηριστικές Τιμές Σεναρίου Προσομοίωσης Ηλεκτρικής Λειτουργίας ΣΗΘ	240
7.4.18	Συμπεράσματα Σεναρίου Προσομοίωσης Ηλεκτρικής Λειτουργίας ΣΗΘ	241
7.4.19	6 <sup>ο</sup> Σενάριο Προσομοίωσης	241
7.4.20	Στόχος Σεναρίου Προσομοίωσης Θερμικής Λειτουργίας ΣΗΘ	241
7.4.21	Χαρακτηριστικές Τιμές Σεναρίου Προσομοίωσης Θερμικής Λειτουργίας ΣΗΘ	242
7.4.22	Συμπεράσματα Σεναρίου Προσομοίωσης Θερμικής Λειτουργίας ΣΗΘ	243
<b>Κεφάλαιο 8:</b>	<b>244</b>	
<b>ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</b>	<b>244</b>	
8.1	Ορισμός της Επένδυσης .....	244
8.1.1	Γενικός τύπος Παρούσας Αξίας	245
8.1.2	Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ – NPV)	245
8.1.3	Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης (EBA – IRR)	247
8.1.4	Οικονομική Αξιολόγηση της Επένδυσης	249
8.1.5	Υπολογισμός Δεικτών NPV, IRR	251
8.2	Συμπεράσματα Λειτουργίας και Αξιολόγησης του Μικροδικτύου .....	253
8.3	Προεκτάσεις Εξέλιξης της Λειτουργίας του Μοντέλου .....	257

**ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 259**

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΚΑΙ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΩΝ 264**

**Κεφάλαιο 1: ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**

## 1.1 Εισαγωγική Ιστορική Ανασκόπηση

Μέχρι το 1800, η γνώση γύρω από την ηλεκτρική ενέργεια περιοριζόταν κυρίως στις μελέτες των ηλεκτρικών και μαγνητικών φαινομένων που είχαν γίνει από κάποιους πρωτοπόρους ερευνητές. Αν και σημαντικές νέες ανακαλύψεις, που έγιναν τα επόμενα χρόνια, πρόσθεταν συνεχώς και νέα γνώση στο αντικείμενο του ηλεκτρισμού. Η πρώτη εμπορική χρήση του ηλεκτρισμού άρχισε γύρω στο 1870, όταν χρησιμοποιήθηκαν οι λαμπτήρες τόξου για φωτισμό οικιών και οδών.

Το πρώτο πλήρες ηλεκτρικό σύστημα, αποτελούμενο από γεννήτρια, καλώδιο, ασφάλεια, μετρητή και φορτία, ήταν αυτό που εγκαταστάθηκε από τον Thomas Edison στην πόλη της Νέας Υόρκης, ο ιστορικός σταθμός της Pearl Street που τέθηκε σε λειτουργία το 1882. Αυτό ήταν ένα σύστημα συνεχούς ρεύματος (**dc**) που αποτελούνταν από μία ατμομηχανή που κινούσε μία γεννήτρια συνεχούς και τροφοδοτούσε με ηλεκτρική ενέργεια 59 καταναλωτές σε μία περιοχή ακτίνας 1.5 km. Τα φορτία, που ήταν αποκλειστικά λαμπτήρες πυρακτώσεως, τροφοδοτούνταν σε μια τάση 110 V μέσω υπόγειου καλωδίου. Πολύ σύντομα αντίστοιχα συστήματα λειτούργησαν στις περισσότερες μεγαλουπόλεις σε όλον τον κόσμο. Η τεράστια ωφέλεια του κοινωνικού συνόλου από τη χρησιμοποίηση της ηλεκτρικής ενέργειας αναγνωρίστηκε γρήγορα και αυτό οδήγησε στην εφεύρεση πιο αποδοτικών μεθόδων και στην εξέλιξη των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας στη σύγχρονη μορφή τους. Το τεχνικό πρόβλημα που αντιμετώπιζαν αυτά τα πρώτα ηλεκτρικά συστήματα, ήταν ότι παρέμεναν ανενεργά, ή τουλάχιστον υπολειπόμενα, κατά το μεγαλύτερο μέρος του χρόνου, καθόσον υπήρχε έλλειψη ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας για φωτισμό κατά τη διάρκεια της ημέρας. Θα έπρεπε, συνεπώς, να έρθει μία άλλη εφαρμογή για να καλύψει αυτήν την έλλειψη ζήτησης. Με την ανάπτυξη των κινητήρων, η ηλεκτρική κινητήρια ισχύς κατέστη σε σύντομο χρονικό διάστημα πολύ δημοφιλής και χρησιμοποιήθηκε σε πολλές εφαρμογές, λύνοντας το πρόβλημα έλλειψης ζήτησης.

Τα συστήματα συνεχούς ρεύματος αντικαταστάθηκαν από τα συστήματα εναλλασσομένου ρεύματος διότι δεν είχαν τη δυνατότητα να μεταφέρουν ισχύ σε μεγάλες αποστάσεις. Η ανάπτυξη του μετασχηματιστή οδήγησε στην ανάπτυξη των ηλεκτρικών δικτύων εναλλασσομένου ρεύματος. Το εναλλασσόμενο ρεύμα επικράτησε του συνεχούς για τους παρακάτω λόγους:

- Ο μετασχηματιστής παρέσχε τη ζητούμενη δυνατότητα να μεταβάλλονται εύκολα τα επίπεδα τάσης και να χρησιμοποιούνται έτσι διαφορετικά επίπεδα τάσης, για την παραγωγή, τη μεταφορά και τη διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας.
- Οι γεννήτριες εναλλασσομένου ήταν πολύ πιο απλές από τις γεννήτριες συνεχούς.
- Οι κινητήρες εναλλασσομένου ήταν απλούστεροι και φθηνότεροι από τους κινητήρες συνεχούς.

Με την επικράτηση του εναλλασσομένου ρεύματος, άρχισε η ανάπτυξη των τοπικών ηλεκτροπαραγωγών σταθμών, οι οποίοι, με τα συστήματα μεταφοράς και διανομής που εκτείνονταν μέχρι τα όρια δράσης τους, εξυπηρετούσαν το φορτίο στενών γεωγραφικών περιοχών. Πολύ σύντομα γειτονικά τέτοια συστήματα άρχισαν να διασυνδέονται, ώστε να μπορούν να ανταλλάσσουν ενέργεια και να ικανοποιούν στη βάση της αμοιβαιότητας φορτία αιχμής, όχι κατ' ανάγκη σε ταυτοχρονισμό, που μόνα τους θα ήταν αδύνατον να ικανοποιηθούν. Με τέτοιου είδους διασυνδέσεις γινόταν καλύτερη εκμετάλλευση του εξοπλισμού κάθε συστήματος. Για να μπορέσουν βέβαια να συνδεθούν μεταξύ τους αυτά τα συστήματα έπρεπε

προηγούμενως να λυθεί το τεχνικό πρόβλημα της τυποποίησης της συχνότητας, επειδή υπήρχαν συστήματα που λειτουργούσαν σε διαφορετικές συχνότητες, όπως 25, 50, 60 και 133 Hz. Στην Ευρώπη και στη χώρα μας η συχνότητα τυποποιήθηκε στα 50 Hz, ενώ στις Ηνωμένες Πολιτείες, στον Καναδά, στη Βραζιλία και σε μέρος της Ιαπωνίας η τυποποίηση έγινε στα 60 Hz [1].

Με την πάροδο των ετών, η βιομηχανία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας εξαπλωνόταν ραγδαία. Οι τεχνολογικές προόδους που επιτυγχάνονταν στη σχεδίαση των διαφόρων συνιστωσών των ενεργειακών συστημάτων ενσωματώνονταν σε κάθε νέα συνιστώσα που εγκατασταινόταν, με αποτέλεσμα γρήγορη αναβάθμιση του εξοπλισμού. Στις ημέρες μας, η βιομηχανία ηλεκτρικής ισχύος, σε συνδυασμό με τις άμεσα σχετιζόμενες εταιρίες που κατασκευάζουν πάσης φύσεως ηλεκτρολογικό εξοπλισμό αλλά και ηλεκτρικές συσκευές, κατέστη μία από τις μεγαλύτερες στον κόσμο. Το μέλλον θα απαιτεί συνεχείς επίπονες επιδόσεις των ενεργειακών μηχανικών για τη βελτίωση των ήδη υπάρχοντων τεχνολογιών και την ανάπτυξη νέων καινοτόμων τεχνολογιών, ώστε να καλύπτονται χωρίς σημαντικές καθυστερήσεις οι ραγδαία αυξανόμενες ανάγκες της κοινωνίας μας σε ηλεκτρική ενέργεια.

## 1.2 Λειτουργίες Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας

Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας (**ΣΗΕ**) είναι το σύνολο των εγκαταστάσεων που αποτελείται από γεννήτριες, μετασχηματιστές, γραμμές μεταφοράς, διακόπτες, διατάξεις αντιστάθμισης που χρησιμοποιούνται για να τροφοδοτηθεί με ηλεκτρική ενέργεια ένα σύνολο καταναλωτών. Για να επιτευχθεί αυτό, το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας διαθέτει:

- Σταθμούς παραγωγής, εγκατεστημένους στις πιο πρόσφορες προς τούτο περιοχές, όπου παράγεται η ηλεκτρική ενέργεια σε επαρκείς ποσότητες.
- Γραμμές μεταφοράς, που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά μεγάλων ποσοτήτων ηλεκτρικής ενέργειας από τους σταθμούς παραγωγής στα κέντρα κατανάλωσης.
- Δίκτυο διανομής, για τη διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας στους επιμέρους καταναλωτές, ώστε να χρησιμοποιηθεί από αυτούς μετατρεπόμενη σε άλλες πιο εξυπηρετικές μορφές, όπως φως, θερμότητα, κίνηση, ήχο κ.λ.π.

Βασικές προϋποθέσεις για την καλή λειτουργία ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας είναι να παρέχει ηλεκτρική ενέργεια καλής ποιότητας με το μικρότερο δυνατό κόστος και τις ελάχιστες οικολογικές επιπτώσεις, εξασφαλίζοντας σταθερή συχνότητα, σταθερή τάση και υψηλή αξιοπιστία τροφοδότησης.

Τρεις είναι οι βασικές λειτουργίες που συνιστούν τη συνολική λειτουργία ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας: η παραγωγή, η μεταφορά και η διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας.

Η παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται στους σταθμούς παραγωγής, οι οποίοι, ανάλογα με την πηγή πρωτογενούς ενέργειας που χρησιμοποιούν, διακρίνονται σε ατμοηλεκτρικούς (**ΑΗΣ**), υδροηλεκτρικούς (**ΥΗΣ**) και πυρηνικούς (**ΠΣ**). Στους ατμοηλεκτρικούς σταθμούς μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια η χημική ενέργεια που είναι αποθηκευμένη στο καύσιμο (κάρβουνο, λιγνίτη, φυσικό αέριο, πετρέλαιο). Με την καύση του καυσίμου απελευθερώνεται θερμική ενέργεια, που χρησιμοποιείται για την παραγωγή ατμού στο λέβητα. Ο ατμός διοχετεύεται στον ατμοστρόβιλο όπου παρέχει μέρος της ενέργειάς του σε μηχανική μορφή. Ο στρόβιλος με τη σειρά του περιστρέφει τη γεννήτρια όπου η μηχανική ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια. Στους

υδροηλεκτρικούς σταθμούς μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια η δυναμική ενέργεια των υδάτων. Στους πυρηνικούς σταθμούς ο ελεγχόμενος πυρηνικός αντιδραστήρας αντικαθιστά το συμβατικό λέβητα σαν πηγή θερμικής ενέργειας. Η θερμική ενέργεια που απελευθερώνεται κατά τη διαδικασία της σχάσης χρησιμοποιείται για την κίνηση μιας ηλεκτρικής γεννήτριας ατμού. Σε μικρότερες, βέβαια, ποσότητες είναι δυνατόν να παραχθεί ηλεκτρική ενέργεια από τον άνεμο, τη γεωθερμία ή την ηλιακή ενέργεια.

Οι απαιτήσεις σε παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας έχουν αυξηθεί κατά τις τελευταίες δεκαετίες κατά τρόπο ραγδαίο. Οι μελλοντικές απαιτήσεις αναμένονται ακόμα μεγαλύτερες καθόσον το ποσοστό της μη ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται διεθνώς συνεχώς μειώνεται προς όφελος της ηλεκτρικής ενέργειας. Παρουσιάζεται λοιπόν φανερό η ανάγκη να γίνει αφενός πληρέστερη εκμετάλλευση των υπάρχοντων συμβατικών πηγών πρωτογενούς ενέργειας, αφετέρου να αναζητηθούν νέες πηγές για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

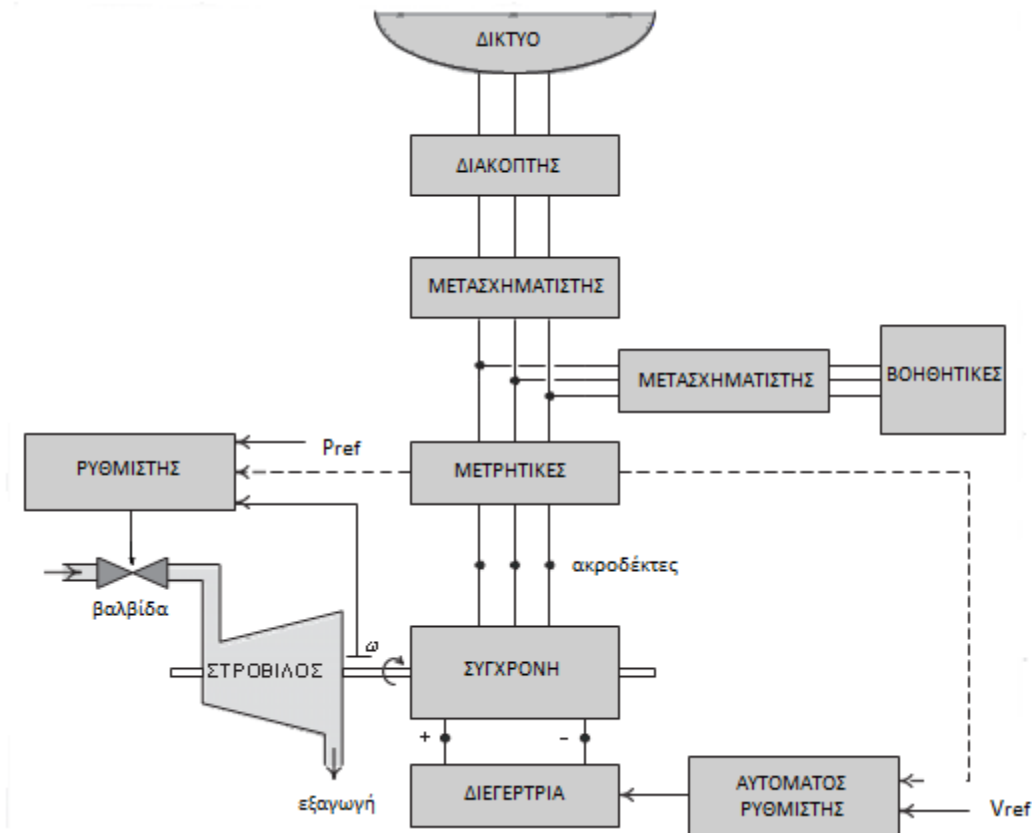
Η τυπική δομή μιας μονάδας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας φαίνεται σχηματικά στο ακόλουθο διάγραμμα του σχήματος (1.1). Ο στρόβιλος είναι εφοδιασμένος με ρυθμιστή που ελέγχει ή την ταχύτητα περιστροφής ή την ισχύ εξόδου σύμφωνα με κάποια προκαθορισμένη χαρακτηριστική ισχύος-συχνότητας. Η παραγόμενη ισχύς παρέχεται στο δίκτυο μέσω ενός μετασχηματιστή ανύψωσης τάσης. Το συνεχές ρεύμα διέγερσης, που απαιτείται για να παραχθεί το μαγνητικό πεδίο εντός της γεννήτριας, παρέχεται από τη διεγέρτρια. Το ρεύμα διέγερσης, και συνεπώς η τερματική τάση της γεννήτριας, ελέγχονται από αυτόματο ρυθμιστή τάσης. Ο μετασχηματιστής μονάδας τροφοδοτεί τα βοηθητικά φορτία του σταθμού παραγωγής, όπως κινητήρες, αντλίες, φωτισμό κ.λ.π.

Είναι προφανές ότι η καλύτερη θέση εγκατάστασης των σταθμών παραγωγής θα ήταν κοντά στα κέντρα κατανάλωσης, στις περιοχές, δηλαδή, όπου υπάρχει η μέγιστη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας. Οι θέσεις, όμως, όπου είναι διαθέσιμη η πρωτογενής μορφή ενέργειας που θα μετατραπεί σε ηλεκτρική, δεν συμπίπτουν κατ' ανάγκη με τις θέσεις των κέντρων κατανάλωσης. Η επιλογή της θέσης ενός ατμοηλεκτρικού σταθμού, που καταναλώνει συμβατικό καύσιμο, κοντά στην περιοχή εξόρυξης του καυσίμου ή κοντά σε κέντρο κατανάλωσης, υπό την προϋπόθεση ότι υπάρχει καλή παροχή νερού σε αμφότερες τις θέσεις, εξαρτάται από τη διαφορά κόστους που υπάρχει ανάμεσα στη μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας και στη μεταφορά του καυσίμου από το ορυχείο στον τόπο εγκατάστασης του σταθμού. Οι αγωγοί μεταφοράς πετρελαίου ή φυσικού αερίου, για παράδειγμα, προτιμούνται πολύ διότι προσφέρουν χαμηλού κόστους μεταφορά καυσίμου. Παράγοντες που επίσης συνεκτιμούνται είναι κυρίως τεχνικοί και περιβαλλοντολογικοί. Για τους υδροηλεκτρικούς σταθμούς δεν υπάρχουν μεγάλα περιθώρια επιλογής του τόπου εγκατάστασης. Οι σταθμοί αυτοί εγκαθίστανται εκεί όπου είναι διαθέσιμο το υδάτινο δυναμικό. Οι πυρηνικοί σταθμοί εγκαθίστανται κυρίως κοντά στα κέντρα κατανάλωσης επειδή δεν δημιουργούν ιδιαίτερα προβλήματα ατμοσφαιρικής ρύπανσης και το κόστος μεταφοράς καυσίμου είναι μικρό, αν και τα τελευταία χρόνια, λόγω των πυρηνικών ατυχημάτων που συνέβησαν, υπάρχουν σημαντικές αντιδράσεις οικολογικών κυρίως οργανώσεων για την εγκατάσταση νέων πυρηνικών σταθμών κοντά στα αστικά κέντρα.

Όταν χρειάζεται ανάγκη μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις αυτή γίνεται μέσω των γραμμών μεταφοράς, που μπορεί να είναι εναέριες ή πιο σπάνια υπόγειες.

Ανάλογα με το επίπεδο της τάσης μεταφοράς επιτυγχάνονται χωρητικότητες των γραμμών μεταφοράς που εκτείνονται από 100 MW και φθάνουν πάνω από 4000 MW.

Τέλος, η διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας μέχρι και τον πιο απομακρυσμένο μικρό ή μεσαίο καταναλωτή γίνεται με ένα πυκνό δίκτυο διανομής μέσης και χαμηλής τάσης.



Σχήμα 1.1: Διάγραμμα μονάδας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

### 1.3 Δομή συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας

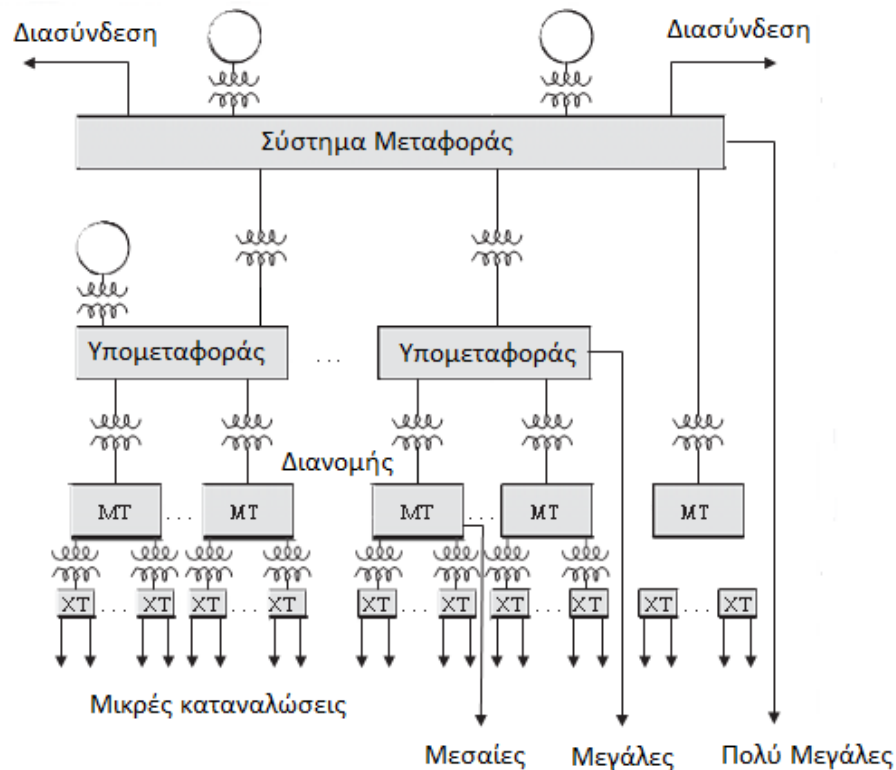
Ακόμα και το μικρότερο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας είναι ένα δίκτυο με πολύ μεγάλη πολυπλοκότητα. Ο παράγοντας που καθορίζει τη δομή του είναι το μέγεθός του. Άλλη είναι η δομή ενός μεγάλου συστήματος που εξυπηρετεί μία εκτεταμένη γεωγραφική περιοχή και άλλη η δομή ενός μικρού συστήματος που εξυπηρετεί μία μικρή περιοχή. Όσον αφορά τον τρόπο δόμησης ενός συστήματος δεν υπάρχουν γενικοί κανόνες που να εφαρμόζονται σε όλα τα συστήματα. Το κάθε σύστημα δομείται με βάση τις ιδιαιτερότητες που καλείται να εξυπηρετήσει. Όλα τα συστήματα παρουσιάζουν την εξής ομοιότητα: εργάζονται σε διάφορα επίπεδα τάσης που χωρίζονται μεταξύ τους με μετασχηματιστές [2].

Είναι κοινή πρακτική να διαιρούμε, με βάση την τάση λειτουργίας, το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας σε τρία υποσυστήματα. Ξεκινώντας από το χαμηλότερο επίπεδο τάσης, διακρίνουμε τα εξής υποσυστήματα:

- Σύστημα διανομής
- Σύστημα υπομεταφοράς
- Σύστημα μεταφοράς

Στο παρακάτω σχήμα (1.2) βλέπουμε τον τρόπο με τον οποίο δομείται ένα τυπικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας.





**Σχήμα 1.2:** Δομή συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας

Στο σύστημα διανομής χρησιμοποιούνται δύο επίπεδα τάσης διανομής:

- α) η πρωτεύουσα τάση ή τάση τροφοδοσίας (π.χ. 15 kV) που χαρακτηρίζεται και μέση τάση (ΜΤ)
- β) η δευτερεύουσα τάση ή τάση κατανάλωσης (π.χ. 230 V) που χαρακτηρίζεται και χαμηλή τάση(ΧΤ)

Το **σύστημα διανομής** περιλαμβάνει τα δίκτυα διανομής μέσης και χαμηλής τάσης και τους μετασχηματιστές διανομής με τους οποίους η μέση τάση υποβιβάζεται σε χαμηλή τάση. Το σύστημα διανομής τροφοδοτείται από τους υποσταθμούς διανομής, όπου η τάση υποβιβάζεται στην τιμή της μέσης τάσης διανομής, και παρέχει ηλεκτρική ενέργεια στους μικρούς οικιακούς καταναλωτές υπό τη χαμηλή τάση διανομής και στους μεγαλύτερου μεγέθους καταναλωτές υπό τη μέση τάση διανομής. Τα δίκτυα διανομής μέσης και χαμηλής τάσης στις αστικές πυκνοκατοικημένες περιοχές είναι κατά κανόνα υπόγεια, ενώ στις άλλες περιοχές είναι εναέρια. Η διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας στηρίζεται σε μια τεχνολογία που καλύπτει ποικίλα και σημαντικά τεχνικά προβλήματα, όπως εγκατάσταση και συντήρηση εναέριων γραμμών και υπογείων καλωδίων, μετρητικές διατάξεις, διακόπτες, ασφάλειες κ.λ.π.

Ένα τυπικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να έχει μέχρι και το μισό του επενδυμένου κεφαλαίου του στο δίκτυο διανομής.

Το **σύστημα υπομεταφοράς** διανέμει ηλεκτρική ενέργεια σε έναν αριθμό υποσταθμών διανομής που βρίσκονται σε κάποια γεωγραφική περιοχή σε ένα επίπεδο τάσης που τυπικά κυμαίνεται από 23 KV μέχρι 150 KV. Αυτό δέχεται την ενέργεια είτε κατευθείαν από σταθμούς παραγωγής είτε από

το σύστημα μεταφοράς μέσω υποσταθμών (ζεύξεως ή και μετασχηματισμού). Μεγάλοι καταναλωτές είναι δυνατόν να εξυπηρετηθούν κατευθείαν από το σύστημα υπομεταφοράς. Ο ρόλος ενός συστήματος υπομεταφοράς είναι κυρίως ο ίδιος με εκείνον ενός συστήματος διανομής με μόνη διαφορά ότι αυτό εξυπηρετεί μία μεγαλύτερη γεωγραφική περιοχή και διανέμει ενέργεια σε μεγαλύτερα επίπεδα τάσης και ισχύος. Θα πρέπει να γίνει γνωστό ότι σε πολλά συστήματα δεν υπάρχει σαφής διάκριση μεταξύ των δικτύων υπομεταφοράς και μεταφοράς. Τα δίκτυα υπομεταφοράς του σήμερα είναι κατά κανόνα τα δίκτυα μεταφοράς του χθες, τα οποία λόγω της αύξησης της διάστασης του συστήματος καλούνται να επιτελέσουν πλέον ένα ρόλο διαφορετικό από εκείνον που επιτελούσαν έως τώρα. Τα χαρακτηριστικά του συστήματος υπομεταφοράς είναι οι περισσότερες γραμμές μεταφοράς, το μικρότερο μήκος αυτών και η μικρότερη ισχύς που διακινούν.

Το **σύστημα μεταφοράς** διαφέρει και ως προς τη λειτουργία και ως προς τα χαρακτηριστικά από τα συστήματα διανομής και υπομεταφοράς. Ενώ τα δύο τελευταία συστήματα μεταφέρουν ενέργεια από μία πηγή προς τα επιμέρους φορτία, το σύστημα μεταφοράς αφενός χειρίζεται μεγαλύτερα ποσά ισχύος αφετέρου διασυνδέει όλους τους σταθμούς παραγωγής και όλα τα σημεία μεγάλης κατανάλωσης του συστήματος. Η ενέργεια μπορεί να διακινηθεί προς κάθε επιθυμητή κατεύθυνση μέσω των διαφόρων γραμμών του συστήματος μεταφοράς και μάλιστα κατά τέτοιο τρόπο ώστε να εξασφαλίζεται η βέλτιστη οικονομικά λειτουργία του συστήματος. Το σύστημα μεταφοράς δέχεται την ενέργεια κατευθείαν από σταθμούς παραγωγής μέσω μετασχηματιστών ανύψωσης της τάσης και είναι δυνατόν να εξυπηρετεί κατευθείαν πολύ μεγάλους καταναλωτές καθώς και να ανταλλάσσει, μέσω διασυνδεδετικών γραμμών, ενέργεια με άλλα γειτονικά ενεργειακά συστήματα.

Η **βασική διαφορά** στο σκοπό που εξυπηρετεί το σύστημα μεταφοράς, συγκρινόμενο με τα συστήματα διανομής και υπομεταφοράς, φαίνεται στον τρόπο δόμησης των δικτύων. Ενώ τα δύο τελευταία έχουν γενικά (όχι όμως πάντοτε) ακτινική δομή, επειδή σκοπεύουν στο να διοχετεύουν την ηλεκτρική ενέργεια σε συγκεκριμένες κατευθύνσεις, το σύστημα μεταφοράς έχει δομή βρόχου και συνεπώς είναι σε θέση να διοχετεύει την ενέργεια σε μεγαλύτερο συνδυασμό κατευθύνσεων και να εξυπηρετεί έτσι καλύτερα το σκοπό της μεταφοράς. Τέλος, οι απώλειες ενέργειας στο επίπεδο της διανομής είναι περίπου διπλάσιες απ' ότι στο επίπεδο της μεταφοράς [6].

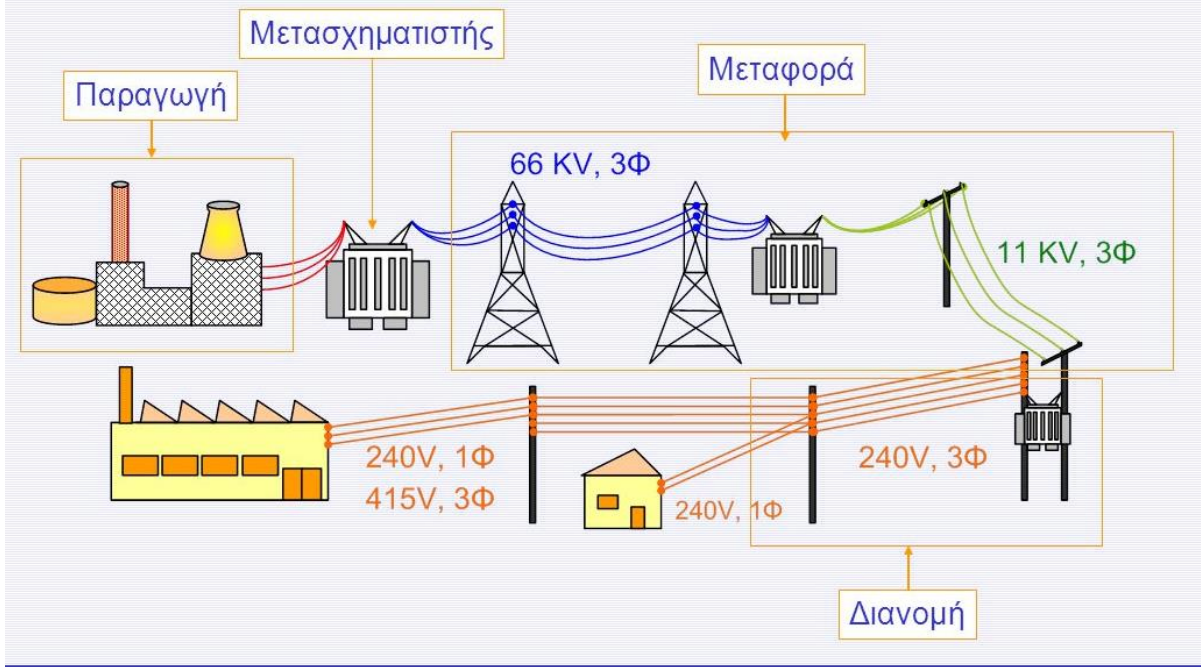
Για τη σχεδίαση ενός συστήματος μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας λαμβάνουμε υπόψιν μας μια σειρά περιορισμών, εκ των οποίων οι σπουδαιότεροι είναι οι ακόλουθοι:

- Το ήδη υπάρχον σύστημα.
- Η γεωγραφική θέση των κέντρων κατανάλωσης που υπάρχουν τώρα αλλά και αυτών που σχεδιάζονται για το μέλλον.
- Η κατάλληλη γεωγραφική θέση των σταθμών παραγωγής.

Η ανάπτυξη ενός συστήματος μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας είναι μια βαθμιαία αυξητική διαδικασία. Είναι αναγκαίο πάντοτε να βασίζουμε τη σχεδίαση νέων διασυνδέσεων στις τεκμηριωμένες προβλέψεις αύξησης του πληθυσμού ή της βιομηχανικής ανάπτυξης μιας περιοχής.

Στο ακόλουθο σχήμα (1.3) βλέπουμε σχηματικά τα στάδια της ηλεκτρικής ενέργειας [3].

## Δίκτυο Παροχής Ηλεκτρικής Ενέργειας



Σχήμα 1.3: Παραγωγή, μεταφορά και διανομή ηλεκτρικής ενέργειας

### 1.4 Ελληνικό Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας

Στην Ελλάδα το αποκλειστικό δικαίωμα της παραγωγής, μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας έχει εκχωρηθεί από το 1950 στη Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ), που καλύπτει σήμερα τις ανάγκες σε ηλεκτρική ενέργεια του συνόλου σχεδόν του πληθυσμού της χώρας. Στον ιδρυτικό Νόμο 1468 προβλεπόταν και η συνέχιση της λειτουργίας των επιχειρήσεων ηλεκτρισμού, που ήδη υπήρχαν και ανήκαν σε ιδιώτες ή δήμους ή κοινότητες, με την προϋπόθεση ότι θα ακολουθούσαν τις τεχνολογικές εξελίξεις. Επειδή όμως ο εκσυγχρονισμός αυτός δεν πραγματοποιήθηκε, κυρίως λόγω των μεγάλων επενδύσεων που απαιτούσε, το Ελληνικό Κράτος με το Νόμο 3523 που ψηφίστηκε το 1956 κήρυξε τη λήξη των προνομίων και αδειών λειτουργίας όλων των επιχειρήσεων ηλεκτρισμού που λειτουργούσαν μέχρι τότε και επέκτεινε το προνόμιο της ΔΕΗ για τη διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας σε όλη τη χώρα με την εντολή να εξαγοράσει όλες αυτές τις επιχειρήσεις ώστε να εκπληρώσει καλύτερα τον σκοπό της. Μέχρι το 1964 εξαγοράστηκαν 405 τέτοιες επιχειρήσεις, δύο ακόμα μικρές επιχειρήσεις εξαγοράστηκαν το 1965 και τελευταία εξαγοράστηκε η εταιρία "ΓΛΑΥΚΟΣ" της Πάτρας το 1968. Για τις εξαγορές δαπανήθηκαν συνολικά 1.69 εκατομμύρια ευρώ και η πλέον σημαντική εξαγορά αφορούσε την Ηλεκτρική Εταιρεία Αθηνών-Πειραιώς (ΗΕΑΠ), που έγινε το 1960. Βασικός σύμβουλος της ΔΕΗ κατά την πενταετία 1950-55 ήταν η αμερικάνικη εταιρία EBASCO, που είχε την ευθύνη οργάνωσης και λειτουργίας της ΔΕΗ, καθώς και της εκτέλεσης του ενεργειακού προγράμματος. Με βάση το πρόγραμμα αυτό άρχισε η κατασκευή του ατμοηλεκτρικού σταθμού (ΑΗΣ) Αλιβερίου (1953), του υδροηλεκτρικού σταθμού (ΥΗΣ) Άγρα (1954), του ΥΗΣ Λούρου (1954) και του ΥΗΣ Λάδωνα (1955). Το 1957 σχεδόν όλοι αυτοί οι σταθμοί λειτουργούσαν.

Οι μονάδες παραγωγής της ΔΕΗ είναι λιγνιτικές, υδροηλεκτρικές, πετρελαϊκές και φυσικού

αερίου στην ηπειρωτική χώρα και σχεδόν εξ'ολοκλήρου πετρελαϊκές στην Κρήτη, Ρόδο και τα υπόλοιπα νησιά. Τελευταία χρησιμοποιούνται και Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ), κυρίως αιολική ενέργεια, για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στα νησιά του Αιγαίου [4]. Τα λιγνιτωρυχεία της ΔΕΗ στην Πτολεμαΐδα και τη Μεγαλόπολη εξασφαλίζουν το σημαντικότερο για την ελληνική οικονομία ενεργειακό καύσιμο, το λιγνίτη, στον οποίο βασίστηκε ο εξηλεκτρισμός της χώρας μας από τη στιγμή της ίδρυσης της ΔΕΗ. Ο λιγνίτης βρίσκεται σε αφθονία στο υπέδαφος της Ελλάδας. Η χώρα μας κατέχει τη δεύτερη θέση σε παραγωγή λιγνίτη στην Ευρωπαϊκή Ένωση και την έκτη θέση παγκοσμίως. Με βάση τα συνολικά αποθέματα και τον προγραμματιζόμενο ρυθμό κατανάλωσης στο μέλλον, υπολογίζεται ότι στην Ελλάδα οι υπάρχουσες ποσότητες λιγνίτη επαρκούν για τα επόμενα 45 χρόνια. Σήμερα, οι 8 λιγνιτικοί σταθμοί της ΔΕΗ αποτελούν το 44% της εγκατεστημένης ισχύος και παράγουν το 62% περίπου της ηλεκτρικής παραγωγής της ΔΕΗ.

### **1.5 Απελευθέρωση της αγοράς**

Από το τέλος της δεκαετίας του 1970 άρχισε η αναμόρφωση ή κατ' άλλους απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, που στο τελικό της στάδιο φιλοδοξεί να δώσει τη δυνατότητα σε κάθε καταναλωτή ηλεκτρικής ενέργειας να επιλέγει τον προμηθευτή του. Οι υποστηρικτές αυτής της ιδέας πιστεύουν ότι η βελτίωση της ποιότητας της ηλεκτρικής ενέργειας και η ελάττωση του κόστους της μπορεί να επιτευχθεί μόνο με τον ανταγωνισμό στην παραγωγή και τη διανομή της, δηλαδή να υπάρχουν πολλές εταιρίες παραγωγής και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας και να αναπτύσσεται μεταξύ τους ανταγωνισμός. Η απελευθέρωση, όμως, της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας είναι από τα πιο σύνθετα τεchnοοικονομικά προβλήματα, γιατί η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται και διανέμεται μέσω του δικτύου χωρίς να έχει συγκεκριμένες διευθύνσεις. Συνεπώς, αφ' ενός για να γίνει δυνατή η επιλογή του προμηθευτή από τον καταναλωτή πρέπει να εξερευθούν και να εφαρμοστούν συμπληρωματικές λειτουργίες στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, αφ' ετέρου η ποιότητα του ηλεκτρισμού και οι φυσικοί περιορισμοί του συστήματος επιβάλλουν αυστηρές προδιαγραφές για την ασφαλή λειτουργία του. Η δυνατότητα ανταγωνισμού στην παραγωγή έγινε δυνατή με την ανάπτυξη της τεχνολογίας των στροβίλων και την πτώση των τιμών φυσικού αερίου. Αυτοί οι λόγοι κατέστησαν τις σχετικά μικρές μονάδες παραγωγής συνδυασμένου κύκλου ανταγωνιστικές των μεγάλων θερμικών μονάδων και ανέτρεψαν τη φιλοσοφία κατασκευής μεγάλων μονάδων για την ελαχιστοποίηση του κόστους παραγωγής.

Από την πλευρά της Ευρωπαϊκής Ένωσης η ολοκλήρωση της ανταγωνιστικής ηλεκτρικής αγοράς είναι ένα σημαντικό βήμα για την ολοκλήρωση της εσωτερικής αγοράς ενέργειας. Στα πλαίσια αυτά, μετά από εννέα χρόνια προσπαθειών για να ευρεθεί ένας συμβιβασμός, θεσπίστηκε η Ευρωπαϊκή Οδηγία για την ενέργεια στις 19 Φεβρουαρίου του 1997, που έπρεπε να υιοθετηθεί από τις εθνικές νομοθεσίες μέσα σε δύο χρόνια [5]. Οι βασικές αρχές της είναι:

- Κάθετα οργανωμένες ηλεκτρικές εταιρίες, δηλαδή εταιρίες που καλύπτουν και τους τρεις τομείς παραγωγής, μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας να καταστήσουν ανεξάρτητους αυτούς τους τομείς (unbundling).
- Αποκλειστικά δικαιώματα εταιριών να καταργηθούν.
- Όλοι οι πελάτες, ανεξάρτητοι παραγωγοί ηλεκτρικής ενέργειας και οποιοσδήποτε παράγει ή εμπορεύεται ηλεκτρική ενέργεια να έχει πρόσβαση στο δίκτυο μεταφοράς ή

τροφοδοσίας ηλεκτρικής ενέργειας (third – party access).

Σύμφωνα με τον Νόμο 2773/99 εισήχθη και στη χώρα μας το βασικό θεσμικό πλαίσιο για την απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας που επιτρέπει σε πελάτες να επιλέγουν τον προμηθευτή τους και σε νέους παραγωγούς να ανταγωνίζονται τη ΔΕΗ, που μέχρι τώρα ήταν ο μόνος παραγωγός στη χώρα. Σχετικά με ειδικές ρυθμίσεις που ίσχυσαν για την Ελλάδα, η απελευθέρωση του 28% περίπου της αγοράς άρχισε τη 19<sup>η</sup> Φεβρουαρίου του 2001 και διευρύνθηκε στο 33% περίπου το 2003. Το 2006 θα αποφασιστούν τα περαιτέρω βήματα απελευθέρωσης της αγοράς με βάση τη μέχρι τότε εμπειρία. Για τη λειτουργία της απελευθερωμένης αγοράς ενέργειας δημιουργήθηκαν δυο βασικοί φορείς. Ο ένας είναι η Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ) και ο άλλος η Ανώνυμη Εταιρεία Διαχείρισης Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ή Διαχειριστής του Συστήματος ή ΔΕΣΜΗΕ).

Η ΡΑΕ είναι μια ανεξάρτητη αρχή που φροντίζει, εισηγείται και προωθεί την ύπαρξη συνθηκών ίσων ευκαιριών, και υγιούς ανταγωνισμού και παρέχει την άδεια λειτουργίας σε παραγωγούς, προμηθευτές και λοιπούς φορείς της αγοράς.

Ο ΔΕΣΜΗΕ είναι μια εταιρεία που έχει ένα διπλό ρόλο:

- Διαχειρίζεται το ελληνικό σύστημα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας και έχει την ευθύνη για τη λειτουργία, τη συντήρηση και την ανάπτυξή του, καθώς και για την πρόσβαση τρίτων στο δίκτυο.
- Εκκαθαρίζει την αγορά, λειτουργεί δηλαδή σαν ένα είδος χρηματιστηρίου που υπολογίζει κάθε ημέρα ποιος οφείλει σε ποιόν. Ο ΔΕΣΜΗΕ δεν εμπορεύεται ηλεκτρική ενέργεια και οι βασικές συναλλακτικές σχέσεις είναι διμερείς μεταξύ παραγωγών-προμηθευτών και των πελατών τους.

## **1.6 Διανεμημένη και Διεσπαρμένη Παραγωγή**

### **1.6.1 Εισαγωγή**

Οι αυξανόμενες απαιτήσεις στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και οι επιπτώσεις των ελλείψεων αυτής της μορφής ενέργειας, τα ποιοτικά προβλήματα ισχύος και η εκτίναξη των τιμών της, έχουν στρέψει πολλούς πελάτες στην αναζήτηση άλλων πηγών υψηλής ποιότητας και αξιόπιστης ηλεκτρικής ενέργειας. Η διεσπαρμένη παραγωγή (γνωστή ως Distributed Energy Resource-DER), δηλαδή μικρής κλίμακας πηγές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που βρίσκεται κοντά στο σημείο όπου χρησιμοποιείται ηλεκτρική ενέργεια (πχ ένα σπίτι ή επιχείρηση), παρέχει μια εναλλακτική λύση ή μια ενίσχυση του κεντρικού δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας.

Η διεσπαρμένη παραγωγή είναι μια γρηγορότερη, λιγότερο ακριβή επιλογή στην κατασκευή των μεγάλων, κεντρικών εγκαταστάσεων παραγωγής ενέργειας και των υψηλής τάσεων γραμμών μετάδοσης. Προσφέρει στους καταναλωτές τη δυνατότητα για το χαμηλότερο κόστος, την υψηλότερη αξιοπιστία υπηρεσιών, την ποιότητα υψηλής δύναμης, την αυξανόμενη ενεργειακή αποδοτικότητα και την ενεργειακή ανεξαρτησία. Η χρήση των ανανεώσιμων διανεμημένων τεχνολογιών ενεργειακής παραγωγής και της «πράσινης ισχύος», όπως ο αέρας, η ηλιακή ενέργεια, η γεωθερμία, η βιομάζα, ή η υδροηλεκτρική ενέργεια μπορεί επίσης να παρέχει ένα σημαντικό περιβαλλοντικό όφελος [7].

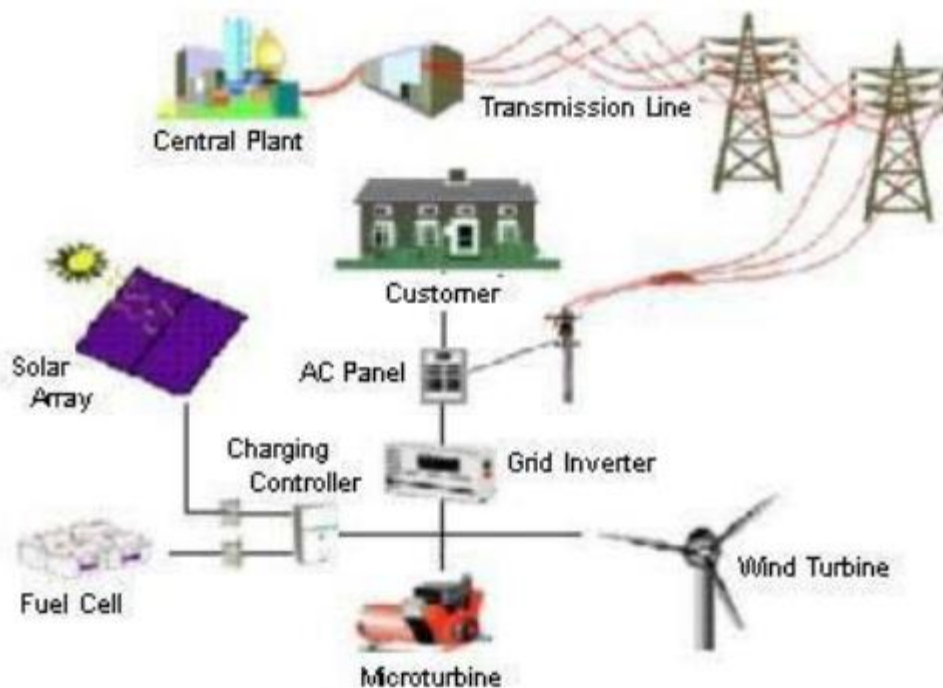
Η **διεσπαρμένη παραγωγή** ορίζεται ως η παραγωγή ενέργειας μικρής κλίμακας, με τιμές που

κατά κανόνα κυμαίνονται από 1kW μέχρι 100MW και είναι μία σχετικά καινούρια τάση στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας [11].

Πιο συγκεκριμένα, όταν αναφερόμαστε στη διεσπαρμένη παραγωγή εννοούμε ότι μονάδες παραγωγής ενέργειας έχουν εγκατασταθεί κοντά στο σημείο κατανάλωσης (φορτίο).

Συνοψίζοντας, τα γενικότερα χαρακτηριστικά της διανεμημένης παραγωγής είναι [8],[9]:

- Όχι κεντρικά σχεδιαζόμενη και αναπτυσσόμενη (από την εταιρεία ηλεκτρισμού ή κάποιον διαχειριστή).
- Δεν υπάρχει κεντρικός προγραμματισμός λειτουργίας των μονάδων από το διαχειριστή του συστήματος.
- Η ισχύς των μονάδων που εγκαθίστανται δεν υπερβαίνει τα 50-100 MW αλλά συνήθως είναι της τάξης λίγων εκατοντάδων kW.
- Είναι συνδεδεμένη στο Δίκτυο Διανομής ανάλογα με το πώς ορίζεται για κάθε υπό μελέτη σύστημα.



**Σχήμα 1.4:** Μορφή Διεσπαρμένης Παραγωγής

### 1.6.2 Τεχνολογίες Διεσπαρμένης Παραγωγής

Οι τεχνολογίες Διεσπαρμένης Παραγωγής αποτελούνται κατά βάση από συστήματα παραγωγής ενέργειας και συστήματα αποθήκευσης που τοποθετούνται στον τελικό χρήστη ή σε μικρή απόσταση από αυτόν.

- Μικροτουρμπίνες  
Οι μικροτουρμπίνες είναι μικρές τουρμπίνες που παράγουν ισχύ μεταξύ 25 και 500kW. Οι τεχνολογίες αυτές υπήρχαν σε μεγάλα φορτηγά ή στις τουρμπίνες των αεροσκαφών.
- Τουρμπίνες εσωτερικής καύσης  
Οι τουρμπίνες αυτές παράγουν ισχύ από 500kW μέχρι 25MW για διεσπαρμένη παραγωγή και έως 250MW για κεντρική παραγωγή ισχύος. Λειτουργούν χρησιμοποιώντας ως καύσιμο το φυσικό αέριο, το πετρέλαιο ή συνδυασμό καυσίμων. Οι σύγχρονες τουρμπίνες έχουν αποδόσεις που κυμαίνονται από 20 έως 45% στο πλήρες φορτίο.
- Μηχανές εσωτερικής καύσης  
Μια μηχανή εσωτερικής καύσης μετατρέπει την ενέργεια που περιέχεται σε κάποιο καύσιμο σε μηχανική ενέργεια. Αυτή η μηχανική ενέργεια χρησιμοποιείται για την περιστροφή ενός άξονα μέσα στη μηχανή. Μια γεννήτρια συνδέεται με τη μηχανή εσωτερικής καύσης για τη μετατροπή της περιστροφικής κίνησης σε ηλεκτρική ενέργεια. Οι μηχανές εσωτερικής καύσης χρησιμοποιούν διαθέσιμα καύσιμα όπως βενζίνη, φυσικό αέριο και πετρέλαιο. Τα μεγέθη τους ξεκινούν από 5KW και φθάνουν τα 7MW.
- Μηχανές stirling  
Οι μηχανές stirling ανήκουν στην κατηγορία των μηχανών εξωτερικής καύσης. Είναι σφραγισμένα συστήματα με αδρανές αέριο που θέτει σε λειτουργία τη μηχανή, συνήθως ήλιο ή υδρογόνο. Συνήθως είναι διαθέσιμες σε μικρά μεγέθη (1-25 kW) και προς το παρόν παράγονται σε μικρές ποσότητες για εξειδικευμένες εφαρμογές στη διαστημική και τη θαλάσσια βιομηχανία.
- Κυψέλες καυσίμου  
Τα συστήματα ισχύος με κυψέλες καυσίμου είναι αθόρυβα, καθαρά και αποδοτικά τοπικά συστήματα παραγωγής που χρησιμοποιούν μια ηλεκτροχημική διεργασία για τη μετατροπή του καυσίμου σε ηλεκτρισμό. Επιπροσθέτως της παροχής ενέργειας μπορούν να προσφέρουν μια πηγή θερμικής ενέργειας για τη θέρμανση του χώρου και του νερού ή για την ψύξη της απορρόφησης. Μελέτες έχουν δείξει ότι οι κυψέλες καυσίμου μειώνουν το κόστος ηλεκτρισμού 20 με 40%.
- Αποθήκευση ενέργειας/Συστήματα UPS  
Οι τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας δεν παράγουν καθαρή ενέργεια αλλά μπορούν να προμηθεύουν ηλεκτρική ενέργεια για μικρά χρονικά διαστήματα. Χρησιμοποιούνται για τη διόρθωση πτώσεων τάσης, flicker και έντονης κυμάτωσης που συμβαίνουν όταν η εταιρεία παροχής ή οι πελάτες αλλάζουν προμηθευτές ή φορτία. Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν ως Συστήματα Αδιαλείπτου Τροφοδοσίας (UPS). Στην περίπτωση αυτή, οι τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας θεωρούνται τεχνολογίες διεσπαρμένης παραγωγής.
- Φωτοβολταϊκά συστήματα  
Τα Φ/Β συστήματα αποτελούνται από συστοιχίες πάνελ (κατά βάση πυριτίου) που

μετατρέπουν απευθείας το φως του ήλιου σε ηλεκτρική υπό συνεχή τάση (DC) και από κυκλώματα ισχύος-αντιστροφείς (inverters) που μετατρέπουν την συνεχή τάση σε εναλλασσόμενη (AC), για να συνδεθεί στο δίκτυο. Η εγκατεστημένη ισχύ των Φ/Β συστημάτων κυμαίνεται συνήθως από μερικά KW έως μερικές εκατοντάδες MW στα πολύ μεγάλα Φ/Β πάρκα, τα οποία όμως λόγω της υψηλής ισχύος συνδέονται απευθείας στο σύστημα μεταφοράς και εντάσσονται στη διεσπαρμένη παραγωγή. Τα μικρά φωτοβολταϊκά τοποθετούνται σε στέγες ή ταράτσες σπιτιών και τα μεγάλης ισχύος φωτοβολταϊκά τοποθετούνται σε μεγάλες εκτάσεις και κυρίως σε ηλιόλουστες περιοχές. Βασικό πλεονέκτημά τους είναι ότι λειτουργούν αθόρυβα και χωρίς εκπομπές ρύπων.

- Ανεμογεννήτριες

Οι ανεμογεννήτριες χρησιμοποιούν τον άνεμο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Αρχικά μετατρέπουν την αιολική ενέργεια σε μηχανική μέσω ενός ανεμοκινητήρα (πρόκειται για ένα ρότορα με πτερύγια) και, στη συνέχεια, σε ηλεκτρική μέσω μιας γεννήτριας. Η ονομαστική ισχύς μιας ανεμογεννήτριας κυμαίνεται από 200 KW έως 2MW. Οι ανεμογεννήτριες που προορίζονται για υπεράκτια αιολικά πάρκα, η ονομαστική τους ισχύς μπορεί να φτάσει μέχρι 8MW. Η εγκατεστημένη ισχύς ενός αιολικού πάρκου ξεκινά από μερικά MW μέχρι 1-2GW, με τις πολύ μεγάλες εγκαταστάσεις να απαιτούν την σύνδεση απευθείας στο σύστημα μεταφοράς και κατά συνέπεια να μην εντάσσονται στη διεσπαρμένη παραγωγή.

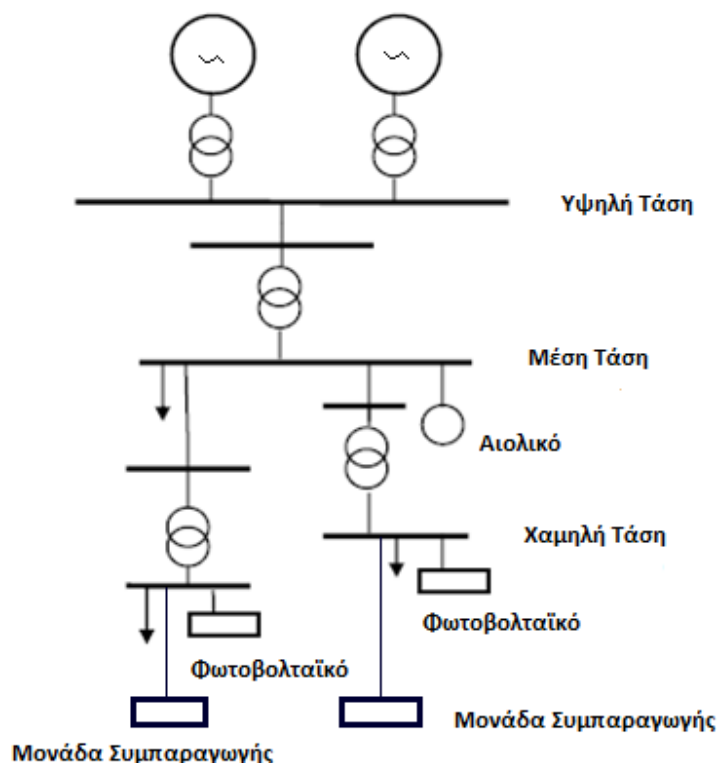
- Υβριδικά συστήματα

Κατασκευαστές και παραγωγοί τεχνολογιών διεσπαρμένης παραγωγής συνδυάζουν τεχνολογίες προκειμένου να βελτιώσουν τις επιδόσεις και την απόδοση του εξοπλισμού σε τέτοια είδη παραγωγής [12]. Μερικά παραδείγματα υβριδικών συστημάτων είναι τα ακόλουθα:

- Μηχανή Stirling συνδυασμένη με ηλιακά κελιά.
- Κυψέλη καυσίμου στερεού οξειδίου συνδυασμένη με μια τουρμπίνα αερίου ή μικροτουρμπίνα.
- Ανεμογεννήτριες με μπαταρία αποθήκευσης και εφεδρικές γεννήτριες πετρελαίου.

Στο παρακάτω σχήμα βλέπουμε ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας, όπως διαμορφώνεται με παρουσία μονάδων Διεσπαρμένης παραγωγής





**Σχήμα 1.5:** Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας με παρουσία μονάδων διανεμημένης παραγωγής

### 1.6.3 Παράγοντες επιλογής κατάλληλης διεσπαρμένης τεχνολογίας

Προκειμένου να επιλέξουμε την κατάλληλη τεχνολογία για τη συγκεκριμένη εφαρμογή που θέλουμε να πραγματοποιήσουμε, χρειάζεται να εξετάσουμε κάποιους σημαντικούς παράγοντες, όπως η εμπορική ετοιμότητα, τα οικονομικά, η διαθεσιμότητα, και οι περιβαλλοντικές εκτιμήσεις. Ακολουθούν πληροφορίες για τους παράγοντες που πρέπει να λάβουμε υπόψιν μας για την σωστή επιλογή αυτών των τεχνολογιών [13].

- Εφεδρική ισχύς

Για το πιο οικονομικό σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας διεσπαρμένης τεχνολογίας όταν το κεντρικό δίκτυο είναι εκτός λειτουργίας, πρέπει πρώτα να υπολογίσουμε πόσο συχνά το DER θα πρέπει να ξεκινήσει και πόσες ώρες το χρόνο θα λειτουργήσει. Για τις εφεδρικές εφαρμογές ισχύος (κατάσταση αναμονής), τα καύσιμα και τα κόστη συντήρησης είναι χαμηλά επειδή οι διακοπές λειτουργίας συνήθως συμβαίνουν μόνο λίγες ώρες ανά έτος, και κατά συνέπεια τα κόστη κεφαλαίου θα πρέπει να είναι χαμηλά. Οι κινητήρες πετρελαίου είναι πιθανό να είναι η φθηνότερη επιλογή, αλλά ίσως παρουσιάσουν περιβαλλοντικές προκλήσεις. Οι μηχανές φυσικού αερίου και διπλών καυσίμων μπορεί να είναι πιο φιλικές προς το περιβάλλον από τα πετρελαιοκίνητα οχήματα. Επιπλέον, οι μικροτουρμπίνες μπορεί να είναι μια καλή επιλογή για τις μικρές εφαρμογές (<100 KW) και οι στρόβιλοι καύσης για τις μεγαλύτερες εφαρμογές, όπου το φυσικό αέριο είναι διαθέσιμο και οι εκπομπές είναι πρόβλημα. Τα συστήματα UPS είναι καλά ταιριασμένα στις εφαρμογές όπου οι διακοπές

λειτουργίας διαρκούν λιγότερο από περίπου 15 λεπτά. Οι μπαταρίες μπορούν να χειριστούν τις εφαρμογές μερικών KW για τις διακοπές λειτουργίας περίπου 1 έως 2 ωρών εκτός αν χρησιμοποιηθεί συστοιχία μπαταριών που παρέχει μεγαλύτερη αυτονομία. Οι υβριδικές τεχνολογίες, που συνδυάζουν τις τεχνολογίες παραγωγής και αποθήκευσης για τις συγκεκριμένες εφαρμογές, έχουν πολλά οφέλη και μπορούν να είναι καλύτερες εάν χρειάζεται πλεονασμός καυσίμων, καθώς παρέχουν ένα ευρύ φάσμα λειτουργιών στη διάρκεια των διακοπών λειτουργίας.

- Χαμηλού Κόστους Ενέργεια

Αν το καύσιμο χαμηλού κόστους είναι διαθέσιμο, ή τα ποσοστά της ηλεκτρικής ενέργειας είναι υψηλά σε κάποια περιοχή, ή και τα δύο, μπορούμε να μειώσουμε το λογαριασμό ρεύματος με την παραγωγή ενός μέρους ή του σύνολο της ισχύος του. Οι κινητήρες πετρελαίου, δύο καυσίμων και φυσικού αερίου, είναι λιγότερο δαπανηροί για την αγορά, αλλά οι εκπομπές και το κόστος συντήρησης θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν, όταν ο αριθμός των ωρών λειτουργίας είναι μεγάλος. Οι τουρμπίνες καύσης προτιμώνται για μεγαλύτερες εφαρμογές επειδή έχουν χαμηλότερο κόστος συντήρησης και πολύ χαμηλότερες εκπομπές από τις παλινδρομικές μηχανές. Οι μικροστρόβιλοι έχουν χαμηλότερη αποτελεσματικότητα και υψηλότερο κόστος κεφαλαίου, γι' αυτό δεν είναι τόσο οικονομικά αποδοτικοί. Τα φωτοβολταϊκά, αν και έχουν υψηλό κόστος, έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής, ειδικά αν το τοπικό δίκτυο έχει δημιουργήσει τους καθαρούς κανόνες δοσολογίας. Οι ανεμογεννήτριες είναι λιγότερο ακριβές από τα φωτοβολταϊκά, αλλά δεν μπορούν να είναι επιλέξιμες για το σύστημα με καθαρούς κανόνες δοσολογίας. Σε περιοχές με υψηλές μέσες ταχύτητες ανέμου, οι ανεμογεννήτριες προσφέρουν μια σημαντική ποσότητα ενέργειας. Τα υβριδικά συστήματα που είναι τα φωτοβολταϊκά ή αιολικά με μπαταρίες, είναι πιο ακριβά, αλλά λειτουργούν πέρα από μια ευρύτερη σειρά των κοστών καυσίμων και των εφαρμογών από τις ενιαίες τεχνολογίες. Τέλος, με τη χρήση της θερμότητας που δημιουργείται από ορισμένες διεσπαρμένες τεχνολογίες για την παραγωγή τόσο θερμότητας όσο και ηλεκτρικής ενέργειας στο χώρο μειώνουμε ακόμα περισσότερο το συνολικό κόστος της ενέργειας.

- Αυτόνομα συστήματα

Οι πηγές μπορούν να λειτουργούν εικοσιτέσσερις ώρες το εικοσιτετράωρο και συνεχώς να ταιριάζουν την παραγωγή με τη ζήτηση. Γι' αυτό απαιτείται υψηλή απόδοση για την ελαχιστοποίηση του κόστους των καυσίμων και των εκπομπών. Τα κόστη συντήρησης και η αξιοπιστία είναι παράγοντες ύψιστης σημασίας. Οι μηχανές και οι στρόβιλοι καύσης είναι οι πρώτες επιλογές από την άποψη του κόστους κεφαλαίου. Οι μηχανές και οι μικροτουρμπίνες προτιμώνται για τις μικρότερες εφαρμογές, ενώ οι στρόβιλοι καύσης για τις μεγαλύτερες. Οι κυψέλες καυσίμου είναι ακριβότεροι για να εγκατασταθούν αλλά και πιο επιθυμητοί από περιβαλλοντικής απόψεως. Τα φωτοβολταϊκά, οι ανεμοστρόβιλοι, και τα υβριδικά συστήματα είναι ωφέλιμα σε περιοχές χωρίς επαρκείς προμήθειες ορυκτών καυσίμων ή όπου η περιβαλλοντική αδειοδότηση είναι δύσκολη, καθώς και σε εφαρμογές εκτός δικτύου όπου οι επεκτάσεις του δικτύου είναι πολύ ακριβές. Ιδιαίτερα στις απομακρυσμένες, εκτός δικτύου, το κόστος λειτουργίας και συντήρησης των καυσίμων του κινητήρα είναι μεγάλο. Το κόστος για τη μεταφορά και αποθήκευση καυσίμων, σε συνδυασμό με το δυναμικό για εκχύσεις καυσίμων και μεταγενέστερη εκκαθάριση, μπορεί να κάνει τα υβριδικά συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας πολύ πιο αποδοτικά από ότι τα ορυκτά

ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη.

- Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας (ΣΗΘ)

Οι τεχνολογίες ισχύος παράγουν μεγάλες ποσότητες θερμότητας και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για εφαρμογές ΣΗΘ. Στις τεχνολογίες αυτές ανήκουν οι κινητήρες εσωτερικής καύσης, οι στρόβιλοι, οι κυψέλες καυσίμου, οι μικροστρόβιλοι, οι τουρμπίνες καύσης και η γεννήτρια καπνού. Απαιτείται και πρόσθετος εξοπλισμός που θα λαμβάνει τη θερμότητα. Κινητήρες και στρόβιλοι καθώς και ορισμένες μικροτουρμπίνες έχουν χρησιμοποιηθεί για εφαρμογές συμπαραγωγής. Κάθε διεσπαρμένη τεχνολογία (DER) που μπορεί να παράγει την απορριπτόμενη θερμότητα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μια εφαρμογή ΣΗΘ με μεγαλύτερη συνολική αποδοτικότητα του συστήματος και καλύτερη οικονομία.
- Αιχμή φορτίου

Τα συστήματα διεσπαρμένης τεχνολογίας (DER) μπορεί να παράγουν ενέργεια κατά την περίοδο που η αγορά ενέργειας από το δίκτυο είναι ακριβή. Η περίοδος αυτή είναι τις ώρες αιχμής της ζήτησης και τις ώρες όταν το δίκτυο είναι περιορισμένης παραγωγικής ικανότητας. Τα δίκτυα συχνά αξιολογούν τις χρεώσεις και τις επιβαρύνσεις της ζήτησης με βάση την υψηλότερη μέγιστη χρήση, για τους πελάτες. Χρησιμοποιώντας τις τεχνολογίες διεσπαρμένης παραγωγής για όριο αιχμής θα αποφύγουμε αυτές τις δαπάνες. Οι μηχανές και τα υβριδικά συστήματα είναι κατάλληλα για μικρές εφαρμογές σε μικρότερους χρόνους εκτέλεσης, και οι τουρμπίνες για μεγαλύτερες εφαρμογές σε μεγαλύτερους χρόνους εκτέλεσης. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα μπορούν να παρέχουν αιχμή σε εγκαταστάσεις όπου η μεγαλύτερη απαίτηση για ενέργεια συμβαίνει όταν το ηλιακό δυναμικό είναι στο υψηλότερο σημείο της έντασης του.
- Ποιότητα ρεύματος

Κάθε τεχνολογία διεσπαρμένης παραγωγής (DER) με κινητήρια μηχανή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να παρέχει υψηλής ποιότητας ισχύος σε ευαίσθητα ή κρίσιμα φορτία ώστε να αποβάλει το χρόνο διακοπής. Για μικρές εφαρμογές και σύντομες διακοπές ρεύματος, ένα UPS είναι πιθανό να είναι η πιο οικονομική επιλογή. Για διακυμάνσεις τάσης, θόρυβο, αλλά και άλλες τυχαίες ανωμαλίες P-Q, οι κατάλληλες τεχνολογίες περιλαμβάνουν τις μπαταρίες και τους σφονδύλους. Μπορούν να βρίσκονται σε μία συνεχή λειτουργία, φιλτράροντας τις ανεπιθύμητες ιδιότητες του σήματος ισχύος. Προσθέτοντας υψηλότερη ποιότητα και ηλεκτρονικά συστήματα αποθήκευσης ενέργειας μπορεί να βελτιωθεί η ποιότητα ισχύος της κάθε τεχνολογίας.

	Τεχνολογία	Εφαρμογή				
		Εφεδρική ισχύς	Ενέργεια χαμηλού κόστους	Αυτόνομο σύστημα	ΣΗΘ	Αιχμή φορτίου
Παραγωγή Ενέργειας	Μηχανή πετρελαίου	✓	✓	✓	✓	✓
	Μηχανή φυσικού αερίου	✓	✓	✓	✓	✓
	Μηχανή διπλού καυσίμου	✓	✓	✓	✓	✓
	Μικροτουρμπίνα	✓		✓	✓	✓
	Τουρμπίνα καύσης	✓	✓	✓	✓	✓
	Κυψέλη καυσίμου		(1)	✓	✓	
	Φωτοβολταϊκά		(1)	✓		✓
	Ανεμογεννήτρια		(1)	✓		✓
Αποθήκευση ενέργειας	Σύστημα UPS	✓				✓
	Σύστημα Μπαταρίας	✓				✓
	Υπεργώγιμη μαγνητική αποθήκευση ενέργειας (SMES)					✓
	Υβριδικό σύστημα (2)	✓	✓	✓	✓	✓

**Πίνακας 1.1:** Πίνακας επιλογής τεχνολογίας DER για τις διάφορες εφαρμογές

- (1) Αν και οι τεχνολογίες διεσπαρμένης παραγωγής δεν μπορούν να προσφέρουν τη χαμηλότερη ενέργεια κόστους, οι χαμηλές περιβαλλοντικές επιπτώσεις ενισχύουν την ισχύ που παρέχουν.
- (2) Υβριδικά συστήματα είναι οποιοσδήποτε συνδυασμός τεχνολογιών που αναφέραμε παραπάνω.

### 1.7 Οικονομικά Χαρακτηριστικά Τεχνολογιών Διεσπαρμένης Παραγωγής

Το κόστος είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας για την αγορά οποιουδήποτε προϊόντος, συμπεριλαμβανομένου των τεχνολογιών διεσπαρμένης παραγωγής. Εκτός από το κόστος εξοπλισμού ή κεφαλαίου, υπάρχουν εργατικά και άλλα έξοδα που σχετίζονται με την εγκατάσταση του εξοπλισμού. Το κόστος του ηλεκτρισμού που παράγεται από την τεχνολογία DER μπορεί να υπολογιστεί και να συγκριθεί με το κόστος αγοράς του ηλεκτρισμού από την εταιρία παροχής.

Κόστος κεφαλαίου του επιλεγμένου εξοπλισμού DER		Κόστος λειτουργίας και συντήρησης του επιλεγμένου εξοπλισμού DER	
Εξοπλισμός DER	Κόστος κεφαλαίου (\$/kW)	Χρόνος που απαιτείται μέχρι να χρειαστεί συντήρηση (ώρες λειτουργίας)	Μέσο κόστος συντήρησης (€/kWh)
Μικροτουρμπίνες	700-1.100	5.000-8.000	0.5-1.6
Τουρμπίνες καύσης	300-1.000	4.000-8.000	0.4-0.5
Μηχανές εσωτερικής καύσης	300-800	750-1.000: αλλαγή λαδιών και φίλτρου λαδιών 8.000: ανακατασκευή κεφαλής μηχανής 16.000: ανακατασκευή σώματος μηχανής	0.7-1.5 (φυσικό αέριο) 0.5-1.0 (diesel)
Κυψέλες καυσίμου	700-1.100	Ετησίως: έλεγχος συστήματος παροχής καυσίμου Ετησίως: έλεγχος συστήματος διαμορφωτή καυσίμου 40.000: αντικατάσταση της «στοίβας» κελιών	0.5-1.0
Φωτοβολταϊκά	4.500-6.000	Έλεγχος συντήρησης	1% της αρχικής επένδυσης κάθε χρόνο
Ανεμογεννήτριες	800-3.500	Έλεγχος συντήρησης	1.5-2% της αρχικής επένδυσης κάθε χρόνο

**Πίνακας 1.2:** Κόστος διεσπαρμένης τεχνολογίας

Οι χρήστες των τεχνολογιών DER έχουν διαφορετικές ενεργειακές ανάγκες. Τα νοσοκομεία χρειάζονται υψηλή αξιοπιστία (εφεδρική ισχύ) και ποιότητα ισχύος (καλής ποιότητας ενέργεια) λόγω ευαισθησίας του εξοπλισμού. Οι βιομηχανίες συνήθως έχουν υψηλούς λογαριασμούς ρεύματος, πολλές ώρες παραγωγής και θερμικές διεργασίες και γι' αυτό χρειάζονται τεχνολογίες διεσπαρμένης παραγωγής που περιλαμβάνουν ενέργεια χαμηλού κόστους και συμπαραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού. Τα κέντρα υπολογιστών απαιτούν σταθερή, υψηλής ποιότητας, αδιάλειπτη ισχύ. Οι τεχνολογίες DER είναι διαθέσιμες σήμερα και αναπτύσσονται διαρκώς για την κάλυψη αυτών των αναγκών.

Η διασπαρμένη παραγωγή προσφέρει στον καταναλωτή μεγαλύτερη αξιοπιστία, ικανοποιητική ποιότητα ισχύος και τη δυνατότητα να συμμετέχει σε ανταγωνιστικές αγορές ηλεκτρικής ισχύος. Επιπλέον, έχει την προοπτική να αμβλύνει τη συμφόρηση στις γραμμές διανομής, να ελέγξει τις διακυμάνσεις των τιμών, να ενδυναμώσει την ενεργειακή ασφάλεια και να προσφέρει μεγαλύτερη σταθερότητα στο δίκτυο. Η χρήση τεχνολογιών DER μπορεί να οδηγήσει σε μικρότερες εκπομπές και, ειδικότερα στην περίπτωση τεχνολογιών συμπαραγωγής, να αυξήσει την απόδοση.

Η διασπαρμένη παραγωγή (DER) προσδοκούμε μέσα στην επόμενη δεκαετία να αλλάξει τα δεδομένα στη προμήθεια ηλεκτρισμού και βασίζομαστε στις παρακάτω υποθέσεις [14],[15]:

- Η ζήτηση για ηλεκτρική ενέργεια θα συνεχίσει να αυξάνεται, με πιο αργούς ρυθμούς όμως από την οικονομική ανάπτυξη.
- Οι τεχνολογίες παραγωγής μικρής κλίμακας, ανανεώσιμες και θερμικές, θα βελτιωθούν σημαντικά ως προς το κόστος και τις επιδόσεις τους.
- Διάφοροι τοπικοί περιορισμοί, περιβαλλοντικές ανησυχίες, η έλλειψη ορυκτών καυσίμων και άλλοι περιορισμοί θα εμποδίσουν τη συνεχιζόμενη επέκταση της υπάρχουσας δομής παροχής ηλεκτρισμού.
- Η διάδοση της εφαρμογής τεχνολογιών συμπαραγωγής μικρής κλίμακας θα εκτοξεύσει τα οικονομικά παραγωγής ισχύος υπέρ της παραγωγής που εδρεύει κοντά στα θερμικά φορτία.

Έτσι λοιπόν, οι DER μπορούν να αποτελέσουν το βασικότερο μέρος ενός μικροδικτύου, ενός τοπικού δικτύου διασπαρμένων ενεργειακών πηγών, καταλλήλων για την τοπική ενεργειακή ζήτηση, το οποίο θα μπορούσε να οδηγήσει σε ένα πιο αποκεντρωτικό σύστημα ισχύος. Τα μικροδίκτυα θα λειτουργούν σύμφωνα με τα δικά τους πρωτόκολλα και τυποποιήσεις, θα ταιριάζουν την ποιότητα ισχύος και την αξιοπιστία στις ατομικές απαιτήσεις φορτίου και θα ερευνούν τεχνολογίες βελτίωσης αποδοτικότητας, ειδικά αυτές που περιλαμβάνουν συμπαραγωγή θερμότητας και ισχύος (CHP).

## Κεφάλαιο 2: ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

### 2.1 Εισαγωγή

Τα φωτοβολταϊκό σύστημα, ή φωτοβολταϊκό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας ή ηλιακή φωτοβολταϊκή εγκατάσταση είναι ένα σύστημα ισχύος που έχει σχεδιαστεί για να παρέχει τη χρησιμοποιήσιμη ηλιακή ενέργεια μέσω των φωτοβολταϊκών. Αποτελείται από μια διάταξη από διάφορα στοιχεία, όπως οι ηλιακοί συλλέκτες που απορροφούν άμεσα και μετατρέπουν το ηλιακό φως σε ηλεκτρική ενέργεια, τον ηλιακό μετατροπέα που μετατρέπει το ηλεκτρικό ρεύμα από εναλλασσόμενο σε συνεχή, καθώς τα καλώδια και τα άλλα ηλεκτρικά εξαρτήματα που δημιουργούν ένα εργασιακό σύστημα. Επιπλέον, τα φωτοβολταϊκά συστήματα μετατρέπουν το φως απευθείας σε ηλεκτρική ενέργεια και δεν θα πρέπει να συγχέονται με άλλες τεχνολογίες ηλιακής, όπως είναι η συγκεντρωμένη ηλιακή ενέργεια και η ηλιακή θερμική ενέργεια, που χρησιμοποιούνται τόσο για θέρμανση και ψύξη.

Τα Φωτοβολταϊκά συστήματα κυμαίνονται από πολύ μικρά, τοποθετημένα σε κτίρια με χωρητικότητα από μερικά έως δεκάδες KW, σε πολύ μεγάλους σταθμούς παραγωγής ενέργειας με κλίμακα πολλών εκατοντάδων MW. Σήμερα, τα περισσότερα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι συνδεδεμένα με το ηλεκτρικό δίκτυο, ενώ τα αυτόνομα ή εκτός δικτύου συστήματα αντιπροσωπεύουν μόνο ένα μικρό μέρος της αγοράς. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα έχουν εξελιχθεί σε μια ώριμη τεχνολογία που έχει χρησιμοποιηθεί εδώ και πενήντα χρόνια σε εξειδικευμένες εφαρμογές και τα διασυνδεδεμένα συστήματα λειτουργούν πάνω από είκοσι χρόνια. Καθώς οι νέες εγκαταστάσεις αυξάνονται ραγδαία, οι τιμές για τα φωτοβολταϊκά συστήματα έχουν μειωθεί ταχύτατα τα τελευταία χρόνια, καθώς πια τα ηλιακά πλαίσια αποτελούν λιγότερο από το μισό από το γενικό κόστος του συστήματος [16].

#### 2.1.1 Ηλιακή ενέργεια

Η ηλιακή ενέργεια, αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για την ύπαρξη της ζωής στη Γη. Μέσω της ηλιακής ενέργειας καθορίζεται η θερμοκρασία στην επιφάνεια της Γης και παρέχεται ουσιαστικά το σύνολο της ενέργειας που απαιτείται για τη λειτουργία όλων των φυσικών συστημάτων. Με μία καλή προσέγγιση, ο ήλιος ενεργεί ως μία τέλεια πηγή ακτινοβολίας (μέλαν σώμα) σε μία θερμοκρασία κοντά στους 5800° K. Η προσπίπτουσα ροή ενέργειας πάνω σε μία μονάδα επιφάνειας η οποία είναι κάθετη προς τη διεύθυνση της δέσμης έξω από την ατμόσφαιρα, είναι γνωστή ως ηλιακή σταθερά:  $S=1367 \text{ W/m}^2$ . Γενικά, η ισχύς από μία πηγή ακτινοβολίας που πέφτει πάνω στη μονάδα επιφάνειας, ονομάζεται ένταση ακτινοβολίας [17]. Κατά τη διέλευση των ηλιακών ακτινών από την ατμόσφαιρα της Γης, η ένταση τους ελαττώνεται, αφού τα φωτόνια σκεδάζονται στα μόρια της ατμόσφαιρας, στα πολύ μικρής διαμέτρου  $d$  σωματίδια, αλλά και στα μεγαλύτερης διαμέτρου αιωρήματά της, όπως οι υδρατμοί, η σκόνη και ο καπνός. Ακόμα, ένα άλλο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας απορροφάται από ορισμένα συστατικά της ατμόσφαιρας. Για παράδειγμα, η υπεριώδης ακτινοβολία απορροφάται από τα μόρια του όζοντος στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας, έτσι ώστε η ένταση των ακτινών αυτών, στην επιφάνεια της γης, να είναι εξαιρετικά μειωμένη και η καρκινογόνος δράση της αισθητά περιορισμένη [18]. Έτσι, στην επιφάνεια της γης, φτάνουν τελικώς δύο συνιστώσες του ηλιακού φωτός:

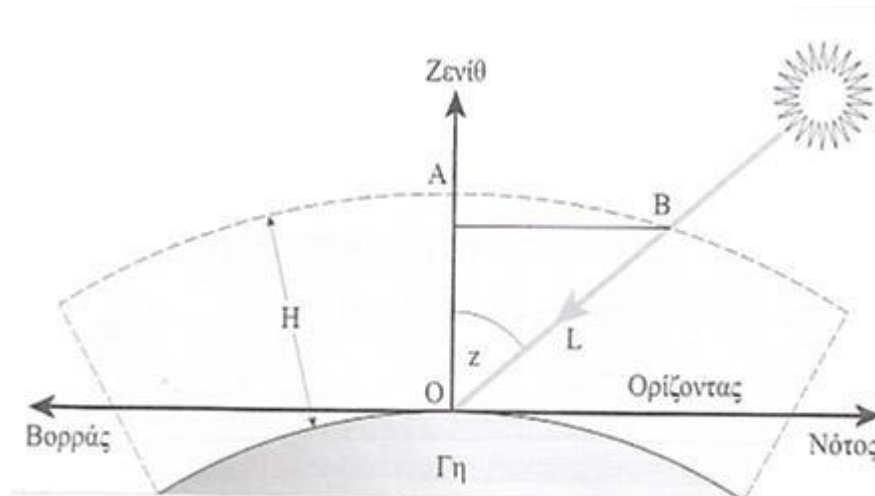
- η απευθείας ή άμεση **B** (Beam)
- η σκεδαζόμενη στα μόρια του αέρα, η οποία ονομάζεται διάχυτη **D** (Diffuse)

Η διάχυτη ακτινοβολία σε οριζόντια επιφάνεια, προέρχεται από όλο τον ουράνιο θόλο (πάνω από το φυσικό ορίζοντα). Τελικώς, η προσπίπτουσα ακτινοβολία σε ένα συλλέκτη ή σ' έναν αισθητήρα, αποτελείται από την απευθείας, τη διάχυτη και την ανακλώμενη από το έδαφος. Η συνολική αυτή ακτινοβολία αναφέρεται ως ολική ακτινοβολία και συμβολίζεται με **G** (Global Irradiation).

Η ανακλώμενη ακτινοβολία εξαρτάται γενικά από τη μορφολογία και το χρώμα του εδάφους και την πυκνότητα των νεφών, ενώ η ολική, απευθείας και διάχυτη, εξαρτώνται σε γενικές γραμμές από τους ακόλουθους παράγοντες:

- τη σύσταση-κατάσταση της ατμόσφαιρας, τη δεδομένη χρονική στιγμή (π.χ. υγρασία ή ατμοσφαιρικά αιωρήματα)
- την ημέρα κατά τη διάρκεια του έτους
- τη γωνία πρόσπτωσης των ηλιακών ακτίνων στην επιφάνεια του συλλέκτη (ύψος του ήλιου κατά τη διάρκεια της ημέρας).

Κατά την ανατολή του ήλιου, η ζενίθια γωνία του ήλιου ( $z=90^\circ -EL$ , όπου  $EL$  (Elevation) το ύψος του ήλιου) είναι  $z=90^\circ$  (σχήμα 2.1) και επομένως η ολική οριζόντια πυκνότητα ισχύος της ακτινοβολίας **G**, καθορίζεται, κατά κύριο λόγο από τη διάχυτη συνιστώσα **D**. Καθώς το ύψος του ήλιου αυξάνει, η απευθείας κάθετη ακτινοβολία, αυξάνει μέχρι το ηλιακό μεσημέρι, μετά από το οποίο ελαττώνεται, περίπου κατά συμμετρικό τρόπο [10],[19].

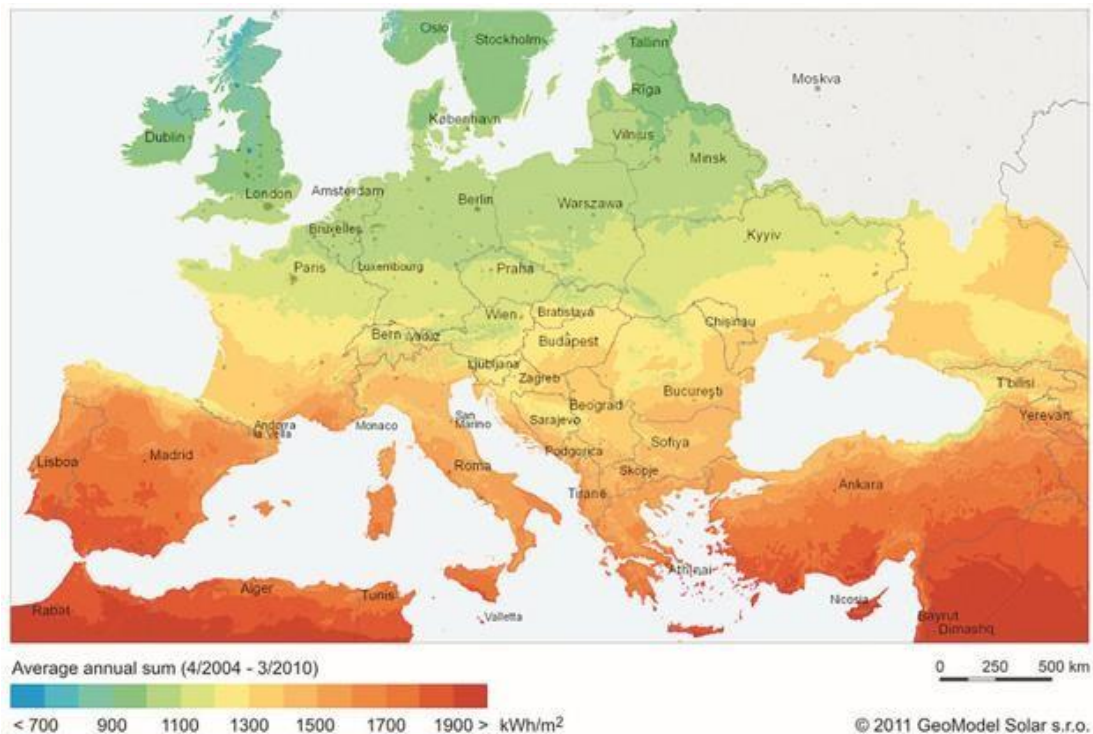


**Σχήμα 2.1:** Το μήκος  $L$  που διανύουν οι ηλιακές ακτίνες μέσα στην ατμόσφαιρα πάχους  $H$  και η ζενίθια γωνία  $z$

Όταν η ηλιακή ακτινοβολία φτάνει στη Γη, κατανέμεται ανομοιόμορφα στις διάφορες περιοχές. Οι περιοχές κοντά στον Ισημερινό λαμβάνουν περισσότερη ακτινοβολία από τις υπόλοιπες. Η ηλιακή ακτινοβολία διαφέρει σημαντικά ανάλογα με τις εποχές και εξαρτάται από την ώρα της ημέρας, το κλίμα (τα σύννεφα σκεδάζουν σε σημαντικό βαθμό τις ακτίνες του ήλιου) και την ατμοσφαιρική ρύπανση. Όλοι οι παραπάνω παράγοντες επηρεάζουν αποφασιστικά το ποσό της ηλιακής ενέργειας που διατίθεται και προσπίπτει στα φωτοβολταϊκά συστήματα. Όταν η ηλιακή



ακτινοβολία ( $\text{kW/m}^2$ ) αθροίζεται στη διάρκεια ενός έτους, προκύπτει η ετήσια ηλιακή ενέργεια (συνήθως σε  $\text{kWh/m}^2$ ). Η τιμή αυτή διαφέρει σημαντικά ανάλογα με την τοποθεσία, όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα (2.2). Η χώρα μας συγκαταλέγεται μεταξύ των χωρών υψηλής ακτινοβολίας. Αυτό αποτελεί συγκριτικό πλεονέκτημα, ιδιαίτερα σε σχέση με τις χώρες του ευρωπαϊκού βορρά, στην εφαρμογή των φωτοβολταϊκών συστημάτων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας [20].

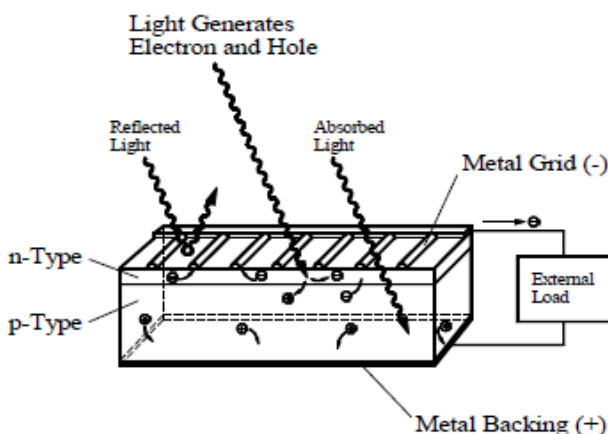


**Σχήμα 2.2:** Χάρτης ετήσιας ηλιακής ακτινοβολίας των χωρών της Ευρώπης

## 2.2 Εκμετάλλευση Ηλιακής Ακτινοβολίας

Η εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας γίνεται κατά διάφορους τρόπους, που διακρίνονται σε δύο κύριες κατηγορίες. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν τα συστήματα που μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε εσωτερική ενέργεια δομικών καταστάσεων (Παθητικά ηλιακά συστήματα) και στη δεύτερη, αυτά που προκαλούν μετατροπή της, σε άλλης μορφής ενέργεια ή χρησιμοποιείται θερμικό ρευστό σε κίνηση (Ενεργά ηλιακά συστήματα). Στα ενεργά ηλιακά συστήματα συγκαταλέγονται αυτά που μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε εσωτερική ενέργεια θερμικού ρευστού (Θερμοσιφωνικά συστήματα) και αυτά που μετατρέπουν το ηλιακό φως απ' ευθείας σε ηλεκτρισμό (Φωτοβολταϊκά συστήματα). Στα θερμοσιφωνικά συστήματα περιλαμβάνονται τα κοινής χρήσεως θερμοσιφωνικά συστήματα, δηλαδή, οι ευρέως χρησιμοποιούμενοι επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες και οι λιγότερο διαδεδομένοι (τουλάχιστον στη χώρα μας) παραβολικοί ηλιακοί συλλέκτες. Μεγάλες εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, που χρησιμοποιούν την ηλιακή ακτινοβολία προκειμένου να θερμάνουν το θερμικό ρευστό μιας θερμικής μηχανής, είναι τα ηλιακά θερμικά εργοστάσια.

Ένας διαφορετικός τρόπος εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας, ο οποίος αναπτύχθηκε μέσα στο δεύτερο ήμισυ του 20<sup>ο</sup> αιώνα, είναι η μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια με χρήση των φωτοβολταϊκών στοιχείων (photovoltaic cells). Το φωτοβολταϊκό στοιχείο, στη συνήθη μορφή του, είναι απλά μία δίοδος επαφής δύο ημιαγωγών, τύπου **p** και **n** αντίστοιχα, όπως απεικονίζεται στο ακόλουθο σχήμα (2.3). Η περιοχή απογύμνωσής της έχει διαμορφωθεί έτσι ώστε να καταλαμβάνει μεγάλη έκταση. Το πάχος του στρώματος του ημιαγωγού που πρωτοσυναντά το φως, είναι τόσο, ώστε να επιτρέπει στο φως, που θα συμβάλλει στο Φ/Β φαινόμενο, να διεισδύει, τουλάχιστον στην περιοχή απογύμνωσης. Η περιοχή αυτή αποτελεί την ενεργό περιοχή για το Φ/Β φαινόμενο. Τα δημιουργούμενα επί πλέον ελεύθερα ηλεκτρόνια στη μια μεριά της διάταξης και οι επιπλέον οπές, στην άλλη, ως αποτέλεσμα της απορρόφησης των φωτονίων, κυρίως μέσα στην περιοχή απογύμνωσης, ωθούνται από το ηλεκτρικό πεδίο της επαφής, συνθέτοντας ηλεκτρικό ρεύμα, που καλείται Φωτόρευμα. Η συσσώρευση των φορέων αυτών στα δύο άκρα, συντηρεί, ανάλογα με την εξωτερική ηλεκτρική αντίσταση, μια αξιόλογη διαφορά δυναμικού μεταξύ των άκρων τύπου **n** και τύπου **p**. Ως τελικό αποτέλεσμα έχουμε το Φ/Β φαινόμενο, που συνίσταται στη μετατροπή της ενέργειας της ΗΜ ακτινοβολίας σε ηλεκτρική.



Σχήμα 2.3: Λειτουργία Φ/Β Στοιχείου

### 2.2.1 Δυνατότητα Αξιοποίησης της Φ/Β Ενέργειας

Παρά τη γενικότερη αποδοχή της φωτοβολταϊκής ενέργειας ως εξαιρετικά φιλικής προς το περιβάλλον, υπάρχει αμφισβήτηση ως προς τη δυνατότητα αξιοποίησής της σε εφαρμογές που απαιτούν σημαντική ισχύ. Για την αντιμετώπιση της μειωμένης απόδοσης κατά τη διάρκεια συννεφιάς για μία ή περισσότερες μέρες επιλέγονται γενικά λύσεις που βασίζονται είτε σε χρησιμοποίηση συσσωρευτών μεγαλύτερης χωρητικότητας σε συνδυασμό με ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος, είτε υβριδικά συστήματα φωτοβολταϊκών – ανεμογεννήτριας, με ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος.

Η μέση ημερήσια κατανάλωση ενός τυπικού ελληνικού σπιτιού ανέρχεται σε, περίπου, 15 kWh, από τις οποίες οι 7 kWh αφορούν στη λειτουργία του φούρνου της ηλεκτρικής κουζίνας. Η κατανάλωση αυτή μπορεί κάλλιστα, να εξασφαλιστεί οικονομικότερα και με συνέπεια προς την

εξευγενισμένη παραγωγή της φωτοβολταϊκής ενέργειας, με χρήση φωταερίου, υγραερίου, φυσικού αερίου. Απομένουν 8 kWh, για την κάλυψη των υπόλοιπων απαιτήσεων. Άρα, μία συλλεκτική επιφάνεια φωτοβολταϊκών στοιχείων, περίπου  $\sim 20 \text{ m}^2$ , εξασφαλίζει την απαιτούμενη ημερήσια ηλεκτρική ενέργεια ενός τυπικού νοικοκυριού. Συμπερασματικά, η ημερήσια απολαβή από την απευθείας μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρισμό, φαίνεται να καλύπτει σχεδόν στο σύνολό τους τις αντίστοιχες απαιτήσεις οικιακής χρήσης ενέργειας, με εξαίρεση τις ενεργοβόρες καταναλώσεις.

Εξετάζοντας το θέμα από οικονομικής πλευράς, η δαπάνη παραγωγής 1 kWh από Φ/Β σύστημα, βρίσκεται προς το παρόν, σε υψηλά επίπεδα, σε σύγκριση με την αντίστοιχη δαπάνη παραγωγής 1 kWh συμβατικής ηλεκτρικής ενέργειας. Η εκ του προχείρου, όμως, σύγκριση του κόστους παραγωγής φωτοβολταϊκής και συμβατικής ηλεκτρικής ενέργειας, αποκρύπτει την πραγματική κατάσταση. Σύμφωνα μ' αυτήν, το ήδη επιβαρημένο περιβάλλον καθώς και η δυσσίωση προοπτική για την εξέλιξη των κλιματικών συνθηκών, έχουν τη ρίζα τους στην καταχρηστική εκμετάλλευση των συμβατικών καυσίμων. Ο καταλογισμός της πάσης φύσεως επιδράσεων στον πλανήτη μας, από τη χρήση των συμβατικών καυσίμων, εκφρασμένος σε κόστος δαπανών υγείας και γενικότερης δαπάνης περιορισμού της περιβαλλοντικής υποβάθμισης, ανεβάζουν το πραγματικό κόστος της συμβατικής κιλοβατώρας, σύμφωνα με σχετικές μελέτες, μέχρι και 70% επιπλέον της τρέχουσας τιμής της. Τα παραπάνω ενισχύουν την άποψη ότι, η εκμετάλλευση των δυνατοτήτων της ηλιακής ενέργειας είναι επαρκής για να καλύψει τμήμα των σημερινών ενεργειακών αναγκών. Φαίνεται ικανή να συμβάλλει ρεαλιστικά, στην αντικατάσταση μέρους της ήδη χρησιμοποιούμενης ενέργειας από συμβατικά καύσιμα και βέβαια, να αποτελέσει βασική συνιστώσα για τις μελλοντικές ενεργειακές ανάγκες μας. Ταυτόχρονα αποτελεί την περισσότερο οικολογική λύση στο οξυμένο ενεργειακό πρόβλημα, προκειμένου να αντιμετωπιστεί η συνεχώς αυξανόμενη ρύπανση του περιβάλλοντος από την καύση του πετρελαίου και των παραγωγών του [21].

### 2.2.2 Φωτοβολταϊκό Φαινόμενο

Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο, αποτελεί τη βασική φυσική διαδικασία μέσω της οποίας ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο μετατρέπει την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρική. Ημιαγώγιμα υλικά όπως το πυρίτιο, το αρσενιούχο γάλλιο ή ο δισελινιοϊνδιούχος χαλκός, χρησιμοποιούνται για το σκοπό αυτό. Το στοιχείο του κρυσταλλικού πυριτίου ωστόσο παραμένει το πιο διαδεδομένο φωτοβολταϊκό στοιχείο, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα (2.4).

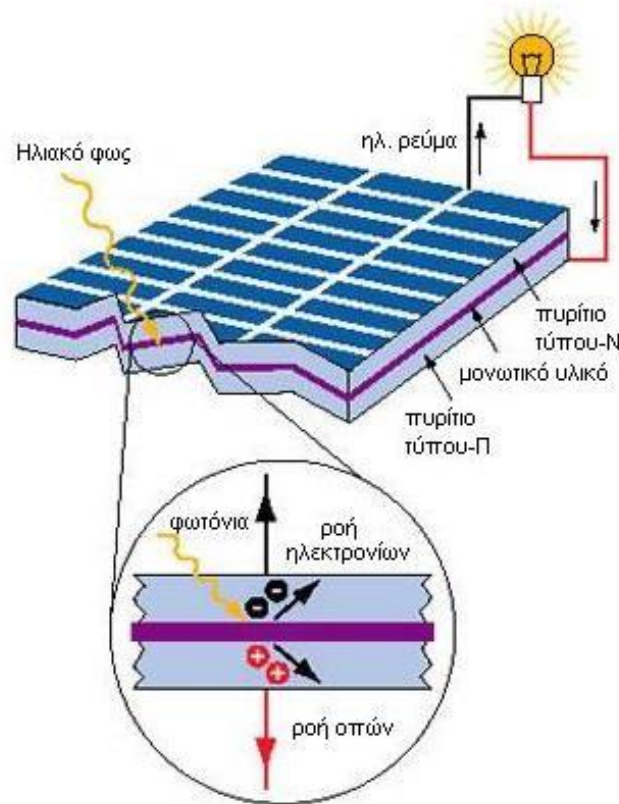


**Σχήμα 2.4:** Φωτοβολταϊκό στοιχείο (cell)

Πιο συγκεκριμένα το πυρίτιο (Si) είναι η βάση για το 90% περίπου της παγκόσμιας φ/β παραγωγής, λόγω της υφιστάμενης υποδομής για το συγκεκριμένο υλικό αυτό την τελευταία

πεντηκονταετία. Η τεχνολογία πάνω στο πυρίτιο οφείλεται στις πολλαπλές εφαρμογές του στους ηλεκτρονικούς υπολογιστές και στα φ/β πλαίσια που τροφοδοτούν δορυφόρους και υποστηρίχθηκε από μεγάλες κυβερνητικές και βιομηχανικές επενδύσεις. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργήθηκε κατάλληλος εξοπλισμός για την επεξεργασία του πυριτίου ώστε να έχει την απαιτούμενη καθαρότητα και κρυσταλλική δομή. Σε συνδυασμό με την αφθονία του στη γη και τα ηλεκτρικά του χαρακτηριστικά, το πυρίτιο είναι ικανό και συμφέρον μέσο για την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας. Το μόνο μειονέκτημα του πυριτίου είναι ότι είναι εύθραυστο και ως εκ τούτου απαιτεί τον σχηματισμό στοιχείων μεγάλου πάχους.

Όταν το φως προσπίπτει στην επιφάνεια ενός υλικού, τότε ένα μέρος αυτού ανακλάται, ένα άλλο τη διαπερνά, ενώ το υπόλοιπο απορροφάται από το υλικό. Η απορρόφηση του φωτός, έχει ως αποτέλεσμα τη μετατροπή του σε άλλη μορφή ενέργειας, η οποία συνήθως είναι θερμότητα. Παρ' όλα αυτά, υπάρχουν κάποια υλικά τα οποία έχουν την ιδιότητα να μετατρέπουν την ενέργεια των φωτονίων που προσπίπτουν στην επιφάνειά τους, σε ηλεκτρική ενέργεια.



**Σχήμα 2.5:** Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Η ηλιακή ενέργεια, προσπίπτωντας στη δίοδο p-n, διαχωρίζει οπές και ηλεκτρόνια δημιουργώντας διαφορά δυναμικού.

Αυτά τα υλικά είναι οι ημιαγωγοί και σε αυτά οφείλεται σε μεγάλο βαθμό η τεχνολογική πρόοδος του τομέα της ηλεκτρονικής και του τομέα της πληροφορικής και των τηλεπικοινωνιών. Η ηλιακή ακτινοβολία αποτελείται από φωτόνια, δηλαδή “πακέτα” ηλιακής ενέργειας. Τα φωτόνια περικλείουν διαφορετικά ποσά ενέργειας, που αντιστοιχούν στα διάφορα μήκη κύματος του

ηλιακού φάσματος. Η τεχνολογία, μας έδωσε τη δυνατότητα εκμετάλλευσης της ενέργειας της ηλιακής ακτινοβολίας με τη χρήση των φωτοβολταϊκών συστημάτων, των οποίων η λειτουργία στηρίζεται στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο, δηλαδή την άμεση μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρικό ρεύμα. Τα φωτοβολταϊκά κύτταρα αποτελούν διόδους ημιαγωγικών ενώσεων τύπου p-n με τη μορφή επίπεδης πλάκας. Κάθε φωτόνιο της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας με ενέργεια ίση ή μεγαλύτερη από το ενεργειακό διάκενο του ημιαγωγού, μπορεί να απορροφηθεί σε ένα χημικό δεσμό και να ελευθερώσει ένα ηλεκτρόνιο. Όσο διαρκεί η πρόσπτωση της ακτινοβολίας, δημιουργείται περίσσεια φορέων, δηλαδή περίσσεια ελεύθερων ηλεκτρονίων και οπών. Οι φορείς αυτοί, κυκλοφορούν στο στερεό και αν δεν επανασυνδεθούν με φορείς αντίθετου προσήμου, δέχονται την επίδραση του ηλεκτροστατικού πεδίου της ένωσης p-n. Έτσι, τα ελεύθερα ηλεκτρόνια κατευθύνονται προς το τμήμα τύπου-n και οι οπές προς το τμήμα τύπου- p, με αποτέλεσμα να δημιουργείται διαφορά δυναμικού ανάμεσα στους ακροδέκτες των δύο τμημάτων της διόδου. Αν στους ακροδέκτες συνδεθεί κατάλληλο ηλεκτρικό φορτίο, παρατηρείται ροή ηλεκτρικού ρεύματος από τη φωτοβολταϊκή διάταξη προς το φορτίο, όπως βλέπουμε στο παραπάνω σχήμα (2.5). Τελικά, η όλη διάταξη αποτελεί μία πηγή ηλεκτρικού ρεύματος, που διατηρείται για όσο χρονικό διάστημα διαρκεί η πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια του κυττάρου. Η ύπαρξη της διαφοράς δυναμικού ανάμεσα στους δύο ακροδέκτες της παραπάνω διάταξης, η οποία αντιστοιχεί σε ορθή πόλωση διόδου, ονομάζεται φωτοβολταϊκό φαινόμενο [22],[23].

Ανάλογα και με το υλικό κατασκευής ή την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται, ένα ηλιακό στοιχείο μπορεί να δώσει συνεχή τάση μέχρι 0,5-1,0 V και πυκνότητα ρεύματος μέχρι 20-40 mA ανά cm<sup>2</sup> της επιφάνειάς του. Η συνήθης ισχύς ενός κυττάρου είναι λίγο μικρότερη από 3 Watt, συνεπώς για να έχουμε μία χρήσιμη ποσότητα ισχύος, πρέπει να καταφύγουμε σε εν παραλλήλω και εν σειρά συνδεσμολογίες των φ/β στοιχείων. Το φ/β πλαίσιο (module), αποτελείται από έναν αριθμό προκαλωδιωμένων ηλιακών κελιών σε σειρά, πακεταρισμένων σε ανθεκτικά περιβλήματα. Ένα τυπικό πλαίσιο έχει 36 κελιά σε σειρά, και συχνά ονομάζεται πλαίσιο των 12V, αν και συχνά έχει δυνατότητα να παράγει μεγαλύτερες τάσεις. Λόγω των απαιτούμενων υλικών και εργασιών για την κατασκευή τους, το κόστος των φ/β πλαισίων είναι σημαντικά μεγαλύτερο από το κόστος των ηλιακών στοιχείων που περιέχουν. Τυπικές τιμές ισχύος εξόδου για ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο είναι 10-250 Wp.



**Σχήμα 2.6:** Φωτοβολταϊκό πλαίσιο

Περισσότερα του ενός φ/β πλαισίου μπορούν να στηριχτούν στην ίδια μεταλλική κατασκευή σχηματίζοντας ένα φ/β πανέλο (panel). Περισσότερα του ενός πανέλα σχηματίζουν τη φ/β συστοιχία (array), όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα (2.7).



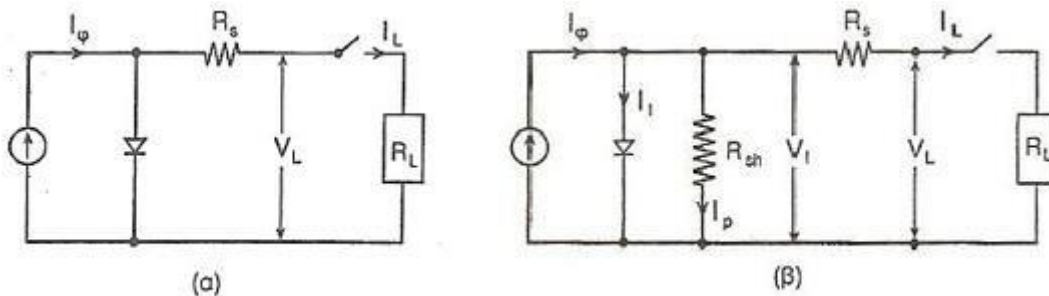


**Σχήμα 2.7:** Φωτοβολταϊκό πάνελο (αριστερά) και φωτοβολταϊκή συστοιχία (δεξιά)

Για να παράγει μία συστοιχία  $\phi/\beta$  στοιχείων ισχύ πρέπει να υπάρχει επαρκής ηλιακή ακτινοβολία, επομένως σε πολλές περιπτώσεις στις φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις υπάρχουν και μέσα αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας (ηλεκτρικοί συσσωρευτές). Οι συσσωρευτές επιτρέπουν την αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας τις ώρες ακτινοβολίας, και την κατανάλωση αυτής κατά τις νυχτερινές ώρες ή σε διαστήματα συννεφιάς. Επίσης τα φορτία που τροφοδοτούνται από τη  $\phi/\beta$  γεννήτρια απαιτούν εναλλασσόμενη τάση τροφοδότησης, οπότε είναι αναγκαία η ύπαρξη ενός αντιστροφέα, που θα μετατρέπει τη συνεχή τάση σε εναλλασσόμενη. Ο αντιστροφέας αυτός θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για τη σύνδεση της  $\phi/\beta$  εγκατάστασης με το δίκτυο, ώστε να παρέχει σε αυτό την περίσσεια ισχύος.

### 2.3 Ισοδύναμο Ηλεκτρικό Κύκλωμα $\Phi/\beta$ Στοιχείου

Το ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα ενός  $\phi/\beta$  στοιχείου απεικονίζεται στο ακόλουθο σχήμα 2.8 (α) (απλοποιημένο) και στο σχήμα 2.8 (β) (πλήρες ισοδύναμο). Περιλαμβάνει μια πηγή σταθερού ρεύματος σε συνδυασμό με μια ιδανική δίοδο. Η πηγή εντάσεως παράγει το “φωτορεύμα” (photocurrent),  $I_{\phi}$ , το οποίο είναι ανάλογο της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας. Στη συνέχεια τοποθετείται το μη ιδανικό τμήμα του  $\phi/\beta$  στοιχείου, το οποίο περιλαμβάνει αφενός την αντίσταση απωλειών διαρροής του ρεύματος μεταξύ των άκρων του  $\phi/\beta$  στοιχείου, η οποία τίθεται παράλληλα συνδεδεμένη στα άκρα της διόδου, αφετέρου την αντίσταση απωλειών στο δρόμο ροής του ρεύματος της διόδου, που αντιπροσωπεύεται από αντίσταση συνδεδεμένη σε σειρά με τη δίοδο.



**Σχήμα 2.8:** (α) Το απλοποιημένο και (β) το πλήρες ισοδύναμο κύκλωμα του  $\phi/\beta$  στοιχείου

Στο σχήμα 2.8 (β) παρατηρούμε τις εξής αντιστάσεις:

➤ Παράλληλα συνδεδεμένη αντίσταση διαρροής, **R<sub>sh</sub>** (Shunt resistance)

Η αντίσταση αυτή συνδέεται με τη διαρροή ρεύματος μεταξύ των άκρων της επαφής **p-n**. Αφορά διαδρομές ρεύματος διαρροής στο εσωτερικό της επαφής **p-n**, μεταξύ σημείων που βρίσκονται σε διαφορά δυναμικού ίση με την τάση στα άκρα της διόδου. Η τιμή της σε πολύ καλής απόδοσης φ/β στοιχείων είναι μεγαλύτερη των  $10^3 \Omega$ .

➤ Σειριακή αντίσταση, **R<sub>s</sub>** (Series resistance)

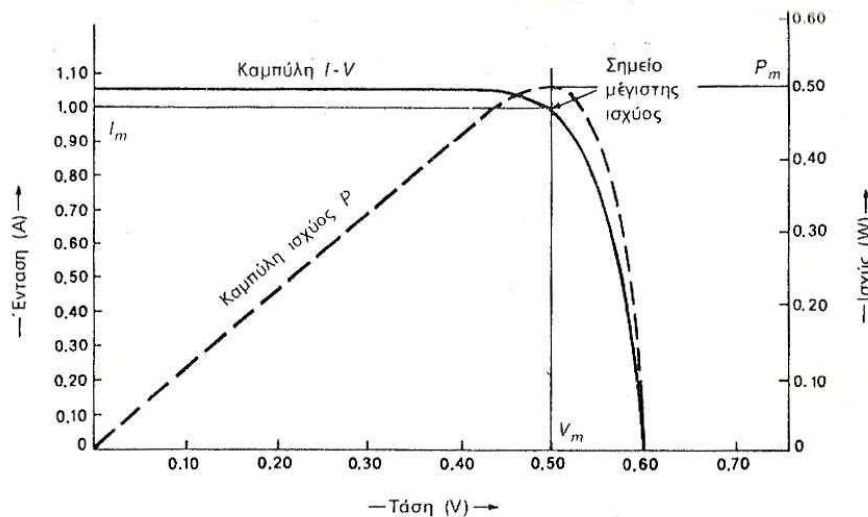
Η συγκεκριμένη αντίσταση αφορά στην αντίσταση που παρουσιάζει η επαφή κατά τη διόδο του ηλεκτρικού ρεύματος μέσα από το σώμα της διόδου και στις ωμικές αντιστάσεις των σημείων πρόσφυσης των ηλεκτροδίων της επαφής καθώς και κατά μήκος των μεταλλικών κλάδων τους. Άμεσο αποτέλεσμα της αύξησης της **R<sub>s</sub>** είναι η δραστική ελάττωση της αντίστοιχης μέγιστης ισχύος που αποδίδει το στοιχείο. Τυπικές τιμές της **R<sub>s</sub>**, για καλής ποιότητας φ/β στοιχεία, βρίσκονται στο εύρος 0,1  $\Omega$  έως 0,3  $\Omega$ .

### 2.3.1 Καμπύλη V- I του Φωτοβολταϊκού

Ως πηγή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας το φωτοβολταϊκό στοιχείο έχει μια αρκετά ασυνήθιστη συμπεριφορά. Δηλαδή σε αντίθεση με τις περισσότερες κοινές ηλεκτρικές πηγές (συσσωρευτές, ξηρά στοιχεία, ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη, μεγάλα δίκτυα διανομής), οι οποίες διατηρούν περίπου σταθερή τάση στην περιοχή της κανονικής τους λειτουργίας, η τάση των φωτοβολταϊκών στοιχείων μεταβάλλεται ριζικά (και μη γραμμικά) σε συνάρτηση με την ένταση του ρεύματος που δίνουν στο κύκλωμα, έστω και αν η ακτινοβολία που δέχονται παραμένει σταθερή.

Στην κατάσταση βραχυκυκλώματος, η ένταση του ρεύματος παίρνει τη μέγιστη τιμή **I<sub>sc</sub>**, ενώ η τάση θα μηδενιστεί. Αντίθετα, όταν η τιμή της αντίστασης τείνει στο άπειρο, δηλαδή στην κατάσταση ανοιχτοκυκλώματος, μηδενίζεται η ένταση του ρεύματος αλλά η τάση παίρνει την τιμή **V<sub>oc</sub>**. Επομένως, στη βραχυκυκλωμένη και στην ανοιχτοκυκλωμένη κατάσταση η ηλεκτρική ισχύς που παράγει το στοιχείο ( $P=IV$ ) είναι μηδενική, αφού αντίστοιχα είναι μηδενική η τάση, στην πρώτη περίπτωση, και η ένταση του ρεύματος στη δεύτερη περίπτωση.

Για σταθερές συνθήκες ακτινοβολίας αλλά μεταβαλλόμενες τιμές της αντίστασης του κυκλώματος, ανάμεσα στις παραπάνω ακραίες καταστάσεις, η τάση και η ένταση του ρεύματος παίρνουν ενδιάμεσες τιμές, από μηδέν (όπου  $V=0$ ) μέχρι άπειρη (όπου  $I=0$ ), όπως φαίνεται και στο ακόλουθο σχήμα (2.9). Παράλληλα μεταβάλλεται ομαλά και η ισχύς που παράγει το στοιχείο, με μέγιστη **P<sub>m</sub>** σε ένα ορισμένο ζεύγος τιμών τάσης **V<sub>m</sub>** και έντασης **I<sub>m</sub>**. Το ζεύγος αυτό καθορίζει, σε σχέση με το ζεύγος των τιμών **V<sub>oc</sub>**, **I<sub>sc</sub>**, τον συντελεστή απόδοσης του στοιχείου. Επομένως είναι πολύ σημαντικό η αντίσταση του κυκλώματος που τροφοδοτείται από ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο να έχει κατάλληλη τιμή, ώστε στις συγκεκριμένες συνθήκες ακτινοβολίας να παράγεται από το στοιχείο η μεγαλύτερη δυνατή ηλεκτρική ισχύς [24].



**Σχήμα 2.9:** Παράδειγμα μεταβολής της τάσης (V) σε συνάρτηση με την ένταση του ρεύματος (I) και αντίστοιχη μεταβολή της ηλεκτρικής ισχύος που παράγει το φωτοβολταϊκό στοιχείο.

### 2.3.2 Βαθμός Απόδοσης Φωτοβολταϊκών

Ο λόγος της μέγιστης ηλεκτρικής ισχύος  $P_m$  προς το γινόμενο της επιφάνειας  $A$  του φωτοβολταϊκού στοιχείου και της έντασης ακτινοβολίας  $G$  μας δίνει το βαθμό απόδοσης.

$$N = P_m / AG = I_m * V_m / AG = FF I_{sc} V_{oc} / AG$$

Η απόδοση αυτή είναι πάντοτε μικρότερη από τη μέγιστη θεωρητική απόδοση  $\eta_{max,th}$ , που δίνεται από τη σχέση:

$$\eta_{max,th} = \phi(E_g) V_m / \phi E_m$$

όπου:

- $\phi(E_g)$  είναι η ροή των φωτονίων με ενέργεια μεγαλύτερη από το ενεργειακό διάκενο του ημιαγωγού
- $\phi$  είναι η συνολική φωτονική ροή στην ακτινοβολία που δέχεται το φωτοβολταϊκό στοιχείο
- $E_m$  είναι η μέση ενέργεια των φωτονίων της ακτινοβολίας

Στην ηλιακή ακτινοβολία, περίπου τα 2/3 των φωτονίων έχουν ενέργεια μεγαλύτερη από το ενεργειακό διάκενο του πυριτίου (1,1eV). Επίσης, η  $V_m$  των φωτοβολταϊκών στοιχείων πυριτίου είναι περίπου ίση με το 1/3 της  $E_m$  της ηλιακής ακτινοβολίας. Επομένως βρίσκουμε πρόχειρα ότι η μέγιστη θεωρητική απόδοση των ηλιακών φωτοβολταϊκών στοιχείων πυριτίου είναι περίπου:

$$n = (2/3) * (1/3) = 22\%$$



Ο συντελεστής απόδοσης ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου δεν είναι σταθερός αλλά επηρεάζεται σημαντικά από τη σύσταση της ακτινοβολίας. Δηλαδή, μια δέσμη ακτινοβολίας θα προκαλέσει σε ένα στοιχείο την παραγωγή λιγότερης ηλεκτρικής ενέργειας, σε σύγκριση με μια άλλη ίσης ισχύος αλλά πλουσιότερη σε φωτόνια με ευνοϊκότερη ενέργεια για τον ημιαγωγό, από τον οποίο είναι κατασκευασμένο το στοιχείο [25].

## **2.4 Κατηγορίες Φωτοβολταϊκών Συστημάτων**

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα κατηγοριοποιούνται σε τρεις τύπους:

- Αυτόνομα
- Υβριδικά
- Διασυνδεδεμένα

### **2.4.1 Αυτόνομα Συστήματα**

Ιστορικά η πρώτη αποδοτική εφαρμογή των φωτοβολταϊκών ήταν stand-alone συστήματα ειδικά σε απομακρυσμένες περιοχές, όπου δεν ήταν εφικτό ή σκόπιμο να υπάρξει σύνδεση με το κύριο δίκτυο. Αυτά είναι εντελώς ανεξάρτητα από τις άλλες πηγές ενέργειας. Χρησιμοποιούνται συνήθως για να τροφοδοτήσουν απομακρυσμένα σπίτια, εξοχικές κατοικίες ή ξενώνες καθώς και σε εφαρμογές όπως η εξ' αποστάσεως παρακολούθηση και άντληση νερού. Στις περισσότερες περιπτώσεις, ένα αυτόνομο σύστημα θα χρειαστεί και συσσωρευτές όπως είναι οι μπαταρίες για την αποθήκευση. Τέτοια συστήματα είναι ιδιαίτερα χρήσιμα και αποδοτικά για το καλοκαίρι για διάφορες εφαρμογές, όταν η πρόσβαση σε μια τοποθεσία είναι δύσκολη ή δαπανηρή, ή όταν συντήρηση πρέπει να ελαχιστοποιηθεί.

### **2.4.2 Διασυνδεδεμένα Συστήματα**

Ένα διασυνδεδεμένο φωτοβολταϊκό σύστημα είναι ένα σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (ηλιακής φωτοβολταϊκής ενέργειας) που συνδέεται με το δίκτυο της ΔΕΗ. Αποτελείται από ηλιακούς συλλέκτες, έναν ή περισσότερους μετατροπείς, έναν εξοπλισμό της μονάδας κλιματισμού δύναμη και σύνδεση με το δίκτυο. Όταν οι συνθήκες είναι κατάλληλες, το διασυνδεδεμένο φωτοβολταϊκό σύστημα τροφοδοτεί την περίσσεια δύναμη, πέρα από την κατανάλωση από το συνδεδεμένο φορτίο, με το δίκτυο.

Επομένως αυτά επιτρέπουν την μείωση της κατανάλωσης από το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας και σε ορισμένες περιπτώσεις, προσφέρουν το πλεόνασμα ενέργειας πίσω στο δίκτυο. Αφού η ενέργεια συνήθως αποθηκεύεται στο ίδιο το δίκτυο, οι μπαταρίες δεν είναι απαραίτητες, εκτός εάν υπάρχει κάποια μορφή αυτόνομης εξουσίας κατά τη διάρκεια διακοπών. Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούνται σε κτήρια, σπίτια ή εξοχικά σπίτια που έχουν ήδη συνδεθεί με το ηλεκτρικό δίκτυο.

### **2.4.3 Υβριδικά Συστήματα**

Σε περιπτώσεις όπου δεν είναι εφικτό οικονομικά ή πρακτικά να παραχθεί η απαιτούμενη ενέργεια από τις φωτοβολταϊκές μονάδες χρησιμοποιούνται και άλλα μέσα. Πρακτικά, τα φωτοβολταϊκά συχνά συνδυάζονται με μια ανεμογεννήτρια ή μια γεννήτρια καυσίμων πετρελαίου ή φυσικού αερίου. Ένα τέτοιο υβριδικό σύστημα εξασφαλίζει ότι πληρούνται όλες οι ενεργειακές απαιτήσεις, ενώ αξιοποιείται πλήρως η προμήθεια φωτοβολταϊκών. Αυτά τα συστήματα απαιτούν συνήθως μπαταρίες για την αποθήκευση [26]. Είναι πιο κατάλληλα όταν η

ζήτηση ενέργειας είναι υψηλή (το χειμώνα ή όλο το χρόνο) και όταν η ισχύς πρέπει να είναι διαθέσιμη σε πρώτη ζήτηση, ή αν ο προϋπολογισμός είναι περιορισμένος.

## **2.5 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα των Φωτοβολταϊκών**

Τα φωτοβολταϊκά μπορούν να χρησιμοποιηθούν οπουδήποτε ο ήλιος λάμπει και υπάρχει διαθέσιμος χώρος. Αρκετό φως του ήλιου πέφτει στη Γη σε μία ώρα, για να καλύψει την ενεργειακή ζήτηση του κόσμου για ένα χρόνο, αν θα μπορούσε να συλλεχθεί.

Τα ηλιακά φωτοβολταϊκά συστήματα παράγουν συνεχές ρεύμα, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί με τις συνεχές ρεύματος ηλεκτρικές συσκευές ή να μετατραπεί στο εναλλασσόμενο ρεύμα με τη βοήθεια ενός αναστροφέα. Όλο και περισσότερες ηλεκτρονικές συσκευές σήμερα λειτουργούν με συνεχές ρεύμα, τα οποία απαιτούν εκείνα τα τροφοδοτικά που μετατρέπουν το εναλλασσόμενο ρεύμα στο συνεχές ρεύμα. Αυτό θα μπορούσε να είναι μια ευκαιρία να τροφοδοτηθούν στο μέλλον αυτές οι συσκευές άμεσα από τα ηλιακά φωτοβολταϊκά συστήματα, αποβάλλοντας τις απώλειες αποδοτικότητας που εμφανίζονται κατά τη μετατροπή από το συνεχές ρεύμα στο εναλλασσόμενο ρεύμα [27].

Εντούτοις, με την τεχνολογία των συστημάτων ηλιακής ενέργειας, είμαστε ακόμα πίσω στη σύλληψη αυτού του φυσικά ελεύθερου απέραντου ποσού ενέργειας που παρέχεται από τη φύση.

Παρακάτω μπορούμε να παρουσιάσουμε μερικά βασικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των συστημάτων ηλιακής ενέργειας (PV) [28]:

### **2.5.1 Ανάλυση Πλεονεκτημάτων**

- Τα φωτοβολταϊκά πάνελ παρέχουν καθαρή - πράσινη ενέργεια. Κατά τη διάρκεια της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με φωτοβολταϊκά πάνελ δεν υπάρχουν βλαβερές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου έτσι τα φωτοβολταϊκά είναι φιλικά προς το περιβάλλον.
- Η ηλιακή ενέργεια είναι η ενέργεια που παρέχεται από τη φύση - είναι έτσι ελεύθερη και άφθονη.
- Η ηλιακή ενέργεια μπορεί να διατίθεται σχεδόν οπουδήποτε υπάρχει φως του ήλιου.
- Η ηλιακή ενέργεια είναι ιδιαίτερα κατάλληλη για έξυπνα δίκτυα ενέργειας με κατανεμημένη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.
- Το κόστος των φωτοβολταϊκών βρίσκεται σε μια γρήγορη μειωμένη τροχιά και αναμένεται να συνεχιστεί η μείωση τους για τα επόμενα χρόνια - κατά συνέπεια τα φωτοβολταϊκά πάνελ έχουν πράγματι ένα εξαιρετικά ελπιδοφόρο μέλλον τόσο για την οικονομική βιωσιμότητα όσο και για την περιβαλλοντική αειφορία.
- Τα Φωτοβολταϊκά πάνελ, μέσω του φωτοηλεκτρικού φαινομένου, παράγουν ηλεκτρική ενέργεια με ένα πιο άμεσο τρόπο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.
- Οι δαπάνες λειτουργίας και συντήρησης για φωτοβολταϊκά πάνελ θεωρούνται χαμηλές, σχεδόν αμελητέες, σε σχέση με το κόστος των άλλων συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.
- Τα Φωτοβολταϊκά πάνελ δεν έχουν μηχανικά κινούμενα μέρη, εκτός από τις περιπτώσεις του -sun εντοπισμού μηχανικών βάσεων και κατά συνέπεια, έχουν πολύ λιγότερες θραύσεις ή απαιτούν λιγότερη συντήρηση από άλλα συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (π.χ. ανεμογεννήτριες).

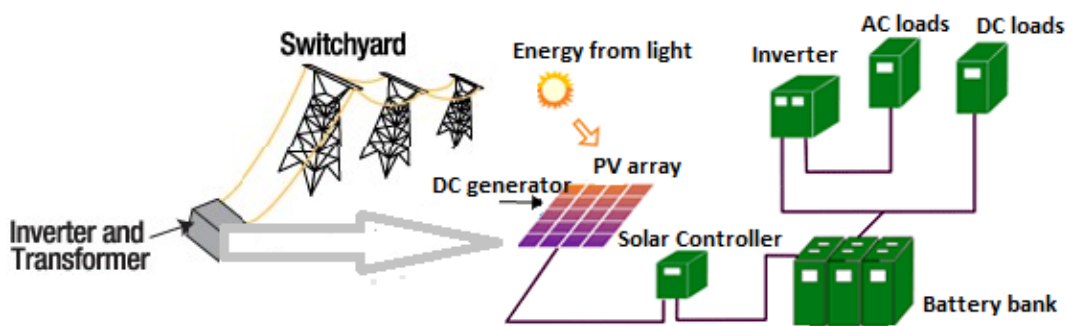
- Τα Φωτοβολταϊκά πάνελ είναι εντελώς αθόρυβα, ως εκ τούτου, είναι μια τέλεια λύση για τις αστικές περιοχές και για οικιακές εφαρμογές.
- Επειδή η ηλιακή ενέργεια συμπίπτει με τις ενεργειακές ανάγκες για ψύξη φωτοβολταϊκών πάνελ μπορεί να προσφέρει μια αποτελεσματική λύση για την αύξηση της ζήτησης ενέργειας - ειδικά σε ζεστούς καλοκαιρινούς μήνες, όπου η ζήτηση ενέργειας είναι υψηλή.
- Αν και οι τιμές ηλιακής ενέργειας έχουν δει μια δραστική μείωση τα τελευταία χρόνια, και συνεχίζουν να μειώνονται, ωστόσο, τα ηλιακά φωτοβολταϊκά πάνελ είναι ένα από τα σημαντικότερα συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που προωθούνται μέσω κρατικής χρηματοδότησης των επιδοτήσεων (κρίσεις, φορολογικές ελαφρύνσεις κ.λ.π), έτσι οικονομικά κίνητρα για φωτοβολταϊκά πάνελ κάνουν την ηλιακή ενέργεια μια ελκυστική εναλλακτική επένδυση.
- Στις κατοικίες τα ηλιακά πάνελ είναι εύκολο να εγκατασταθούν σε στέγες ή στο έδαφος χωρίς οποιαδήποτε παρέμβαση στο τρόπο ζωής των κατοίκων.

### 2.5.2 Ανάλυση Μειονεκτημάτων

- Η ηλιακή ενέργεια παρουσιάζει προβλήματα καθώς δεν υπάρχει τη νύχτα, αλλά και κατά τη διάρκεια της ημέρας μπορεί να υπάρχει συννεφιά ή ένας βροχερός καιρός. Κατά συνέπεια, η διαλείπουσα και η μη προβλεψιμότητα της ηλιακής ενέργειας κάνει τους ηλιακούς συλλέκτες ενέργειας λιγότερο αξιόπιστη λύση.
- Τα φωτοβολταϊκά πάνελ απαιτούν πρόσθετο εξοπλισμό (μετατροπείς) για τη μετατροπή ηλεκτρικής ενέργειας απευθείας (**DC**) ηλεκτρικού ρεύματος σε εναλλασσόμενο (**AC**) για να χρησιμοποιηθεί στο δίκτυο ρεύματος. Για συνεχή παροχή ηλεκτρικού ρεύματος, ειδικά για τις συνδέσεις με το δίκτυο, τα φωτοβολταϊκά πάνελ απαιτούν όχι μόνο μετατροπείς, αλλά και μπαταρίες αποθήκευσης, αυξάνοντας έτσι σημαντικά το κόστος της επένδυσης για φωτοβολταϊκά πάνελ.
- Σε περίπτωση εδαφικών-τοποθετημένων εγκαταστάσεων φωτοβολταϊκών, απαιτούνται σχετικά μεγάλες περιοχές για την επέκτασή τους και συνήθως το έδαφος δεσμεύεται για το σκοπό αυτό για μια περίοδο 15-20 ετών – ή ακόμα και περισσότερο.
- Στους ηλιακούς συλλέκτες τα επίπεδα απόδοσης είναι σχετικά χαμηλά (μεταξύ 14% - 25%) σε σύγκριση με τα επίπεδα απόδοσης των άλλων συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.
- Αν και τα φωτοβολταϊκά πάνελ δεν έχουν καμία ιδιαίτερη συντήρηση ή λειτουργική δαπάνη, είναι ιδιαίτερα εύθραυστα και μπορούν να ζημιωθούν σχετικά εύκολα και οι συμπληρωματικές ασφαλιστικές δαπάνες είναι επομένως τελευταίας σπουδαιότητας για να προστατεύσουν μια επένδυση φωτοβολταϊκών.

### 2.6 Αντιστροφείς

Ως γνωστόν η ισχύς που παράγεται από τα φ/β πλαίσια είναι σε **DC** μορφή. Προκειμένου η ισχύς αυτή να χρησιμοποιηθεί για να καλύψει τις ανάγκες μας μέσω της υπάρχουσας δομής του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας θα πρέπει να μετατραπεί σε **AC**. Η διαδικασία αυτή γίνεται μέσω κατάλληλων διατάξεων που ονομάζονται αντιστροφείς (inverters).



**Σχήμα 2.10:** Σχηματική αναπαράσταση φ/β με αντιστροφείς για επικοινωνία με το υπάρχον AC δίκτυο και κάλυψη των AC και DC φορτίων.

Ο αντιστροφέας (inverter) είναι η καρδιά του φ/β συστήματος και σε αυτόν αναφέρονται οι κώδικες και τα πρότυπα για τις προδιαγραφές κατασκευής, απόδοσης, ασφάλειας και σύνδεσης με το δίκτυο. Ένας ηλιακός αντιστροφέας, ή φωτοβολταϊκός αντιστροφέας, μετατρέπει το συνεχές ρεύμα (**DC**) εξόδου ενός φωτοβολταϊκού (PV) πλαισίου σε μια συχνότητα εναλλασσόμενου ρεύματος (**AC**) που μπορεί να τροφοδοτήσει το δίκτυο ή ένα απομονωμένο φορτίο. Η μετατροπή αυτή γίνεται με τη χρήση διατάξεων ηλεκτρονικών ισχύος. Οι ηλιακοί αντιστροφείς έχουν ειδικές λειτουργίες προσαρμοσμένες για χρήση με φωτοβολταϊκές συστοιχίες, συμπεριλαμβανομένων της παρακολούθησης των τιμών μέγιστης ισχύος και της προστασίας αντι-νησιδοποίησης.

### 2.6.1 Κατηγορίες Αντιστροφέων

Οι φ/β αντιστροφείς μπορούν να ταξινομηθούν στις εξής κατηγορίες:

- Αντιστροφείς αυτόνομων συστημάτων, που χρησιμοποιούνται σε απομονωμένα συστήματα, όπου ο αντιστροφέας αντλεί ενέργεια από τις μπαταρίες οι οποίες φορτίζονται από τα φωτοβολταϊκά. Πολλοί μετατροπείς αυτόνομων συστημάτων ενσωματώνουν επίσης φορτιστές μπαταριών για να τροφοδοτήσουν την μπαταρία από μία **AC** πηγή, όταν είναι διαθέσιμη. Κανονικά, δεν διασυνδέονται με το δίκτυο, και ως εκ τούτου, δεν απαιτείται να έχουν προστασία αντι-νησιδοποίησης.
- Αντιστροφείς για σύνδεση με το δημόσιο δίκτυο, οι οποίοι ταιριάζουν τη συχνότητα εξόδου τους με αυτή του δικτύου. Οι μετατροπείς αυτοί έχουν σχεδιαστεί ώστε να κλείσουν αυτόματα με την απώλεια της παροχής δικτύου, για λόγους ασφαλείας. Δεν παρέχουν εφεδρική ισχύ σε περίπτωση διακοπής.
- Αντιστροφείς για μπαταρίες backup, είναι ειδικοί μετατροπείς, οι οποίοι έχουν σχεδιαστεί για να μεταφέρουν την ενέργεια από μια μπαταρία, να διαχειρίζονται τη φόρτιση της μπαταρίας μέσω ενός ενσωματωμένου φορτιστή, και να εγγέουν την πλεονάζουσα ενέργεια στο δίκτυο. Αυτοί οι μετατροπείς είναι σε θέση να προμηθεύουν **AC** ενέργεια σε επιλεγμένα φορτία κατά τη διάρκεια μιας διακοπής της παροχής από το δίκτυο, και απαιτείται να έχουν προστασία αντι-νησιδοποίησης.



**Σχήμα 2.11:** Φωτοβολταϊκός αντιστροφέας της εταιρίας SMA [29]

Οι κύριες κατηγορίες αντιστροφέων σε σχέση με την πηγή που θεωρείται στην είσοδο τους είναι οι εξής:

- Αντιστροφέας πηγής τάσεως (στην **DC** πλευρά του αντιστροφέα υπάρχει πηγή **DC** τάσης)
- Αντιστροφέας πηγής ρεύματος (στην **DC** πλευρά του αντιστροφέα υπάρχει πηγή **DC** ρεύματος)

Οι αντιστροφέες VSI (Αντιστροφέας πηγής τάσεως) είναι ο πιο συνηθισμένος τύπος αντιστροφέα και βρίσκει εφαρμογή στις περισσότερες βιομηχανικές διατάξεις. Οι αντιστροφέες πηγής ρεύματος βρίσκουν εφαρμογή κυρίως σε μηχανές πολύ υψηλής ισχύος.

Σχετικά με την τοπολογία των αντιστροφέων πηγής τάσεως, υπάρχουν διάφοροι τύποι ανάλογα με τον αριθμό και τη συνδεσμολογία των διακοπτικών στοιχείων που περιλαμβάνει η διάταξη του αντιστροφέα, μονοφασικοί αντιστροφέες ημιγέφυρας, μονοφασικοί αντιστροφέες γέφυρας και τριφασικοί αντιστροφέες.

### **2.6.2 Χαρακτηριστικά και Τρόπος Λειτουργίας Φ/Β Αντιστροφέων**

Οι αντιστροφέες είναι μονοφασικοί ή τριφασικοί, και συνδέουν τμήματα του φ/β συστήματος στο δίκτυο. Διαθέτουν προστασία (κλάση στεγανότητας) IP65 για εξωτερική τοποθέτηση (υπαίθρια εγκατάσταση). Σε περίπτωση που η προστασία των inverters είναι υποδειέστερη της IP65, τότε θα πρέπει να τοποθετηθούν μέσα σε κλιματιζόμενο οικίσκο/ερμάριο.

Θα πρέπει να διαθέτουν όλες τις απαραίτητες ασφάλειες για την εγκατάσταση και τη λειτουργία τους στο ηλεκτρικό δίκτυο και να είναι πλήρως συμβατοί με τους σχετικούς κανονισμούς. Έχουν ενσωματωμένες όλες τις διατάξεις ηλεκτρονόμων ορίου τάσης, ορίου συχνότητας, ασυμμετρίας τάσης και υπερέντασης ενώ υποχρεωτικά διαθέτουν προστασία έναντι του φαινομένου της νησιδοποίησης κάτι που σημαίνει ότι θα διακόπτουν αυτόματα τη λειτουργία τους σε περίπτωση διακοπής του δικτύου.

Επιπλέον οι αντιστροφέες έχουν τις εξής παραμέτρους δικτύου:

- Εύρος τάσεως εναλλασσόμενου ρεύματος: +15% έως -20% επί της ονομαστικής τάσης (230V)
- Περιοχή συχνότητων εναλλασσόμενου ρεύματος:  $\pm 0,5$  Hz της

- ονομαστικής (50Hz)
- Συντελεστής παραμόρφωσης ρεύματος: < 4%
- DC-Current Injection: < 0,5 % του ονομαστικού ρεύματος

Πολλοί κατασκευαστές αντιστροφών διαθέτουν δωρεάν στην ιστοσελίδα τους λογισμικά για τη διαστασιολόγηση του φ/β συστήματος. Ο σχεδιαστής μπορεί έτσι να συνδυάσει με τον βέλτιστο τρόπο τα φ/β πλαίσια με τους κατάλληλους αντιστροφείς και να υπολογίσει την αναμενόμενη παραγωγή, ανάλογα με την τοποθεσία εγκατάστασης της συστοιχίας. Τα λογισμικά αυτά είναι εύχρηστα και απλά, ενώ συνήθως περιλαμβάνουν αρκετές παραμέτρους που επηρεάζουν την φ/β παραγωγή.

Οι ηλιακοί αντιστροφείς χρησιμοποιούν την διαδικασία εντοπισμού του σημείου λειτουργίας μέγιστης ισχύος (MPPT) για να πάρουν τη μέγιστη δυνατή ισχύ από τα φ/β πάνελ. Τα φ/β στοιχεία παρουσιάζουν μια σύνθετη σχέση μεταξύ της ηλιακής ακτινοβολίας, της θερμοκρασίας και της συνολική αντίστασης, η οποία έχει σαν αποτέλεσμα μία μη γραμμική καμπύλη απόδοσης εξόδου. Ο σκοπός του συστήματος MPPT είναι να δοκιμάζει την έξοδο των στοιχείων και να καθορίσει το ζεύγος τάσης και ρεύματος που επιτυγχάνει τη μέγιστη ισχύ για δεδομένες περιβαλλοντικές συνθήκες.

Ο συντελεστής πλήρωσης (fill factor), ευρύτερα γνωστός με την συντομογραφία FF, είναι, όπως έχει αναφερθεί, μια παράμετρος η οποία, σε συνδυασμό με την τάση ανοικτού κυκλώματος και το ρεύμα βραχυκύκλωσης του πάνελ, καθορίζει τη μέγιστη ισχύ από ένα φ/β στοιχείο. Ο παράγων πλήρωσης ορίζεται ως ο λόγος της μέγιστης ισχύος προς το γινόμενο της τάσης και του ρεύματος στο συγκεκριμένο σημείο.

Υπάρχουν τρεις κύριοι τύποι αλγορίθμων MPPT: perturb and observe, incremental conductance και constant voltage. Οι δύο πρώτες μέθοδοι που συχνά αναφέρονται ως μέθοδοι αναρρίχησης λόφου, βασίζονται στην καμπύλη της ισχύος συναρτήσει της τάσης η οποία έχει θετική κλίση αριστερά του σημείου μέγιστης ισχύος και αρνητική στη δεξιά του πλευρά.

Σε περίπτωση διακοπής του ρεύματος από το δίκτυο, απαιτείται η απενεργοποίηση σε σύντομο χρονικό διάστημα των φ/β αντιστροφών. Αυτό αποτρέπει τους μετατροπείς από το να συνεχίσουν να τροφοδοτούν με τάση μικρά τμήματα του δικτύου, που καλούνται νησίδες. Οι τροφοδοτούμενες νησίδες παρουσιάζουν κίνδυνο για τους εργαζόμενους οι οποίοι μπορούν να αναμένουν ότι η περιοχή δεν τροφοδοτείται με ρεύμα, αλλά εξίσου σημαντικό είναι το ζήτημα ότι χωρίς την σταθερή τάση του δικτύου με την οποία συγχρονίζεται ο αντιστροφέας, η ισχύς εξόδου του μπορεί να μετατοπιστεί εκτός των επιτρεπόμενων τιμών.

Η ανίχνευση της παρουσίας ή της έλλειψης του δικτύου φαίνεται να είναι απλή διαδικασία, και στην περίπτωση ενός μεμονωμένου inverter, η απώλεια του δικτύου θα ανιχνευθεί αμέσως. Ωστόσο, εάν υπάρχουν δύο μετατροπείς σε μια δεδομένη νησίδα, τα πράγματα γίνονται πολύ πιο περίπλοκα. Είναι πιθανό ότι η έξοδος του ενός αντιστροφέα μπορεί να ερμηνευθεί ως τροφοδοσία του δικτύου από τον άλλον αντιστροφέα και αντίστροφα, έτσι ώστε οι δύο μονάδες να συνεχίσουν τη λειτουργία. Καθώς παρακολουθούν ο ένας την έξοδο του άλλου, και οι δύο μπορεί να ξεφύγουν από τα καθορισμένα όρια που επιβάλλονται στις συνδέσεις του δικτύου, δηλαδή της τάσης ή της συχνότητας.

Οι τρεις βασικές λειτουργίες που εκτελεί ένας φ/β αντιστροφέας είναι οι εξής:

- Μετατροπή του ρεύματος από συνεχές σε εναλλασσόμενο.
- Μετασχηματισμός του ρεύματος σε ημιτονοειδή κυματομορφή με συγκεκριμένη συχνότητα.

- Ενίσχυση της τάσης της φ/β πηγής με μετατροπέα **DC/DC**.

Με βάση τις ανωτέρω λειτουργίες, καθορίζονται τα επιμέρους στοιχεία του αντιστροφέα και ως εκ τούτου προσδιορίζεται η απόδοση και οι απώλειες. Αντί του **DC/DC** μετατροπέα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί μετασχηματιστής αλλά αυξάνει τις απώλειες. Άλλο στοιχείο που πρέπει να ενσωματωθεί στην έξοδο του αντιστροφέα είναι το φίλτρο που θα αποκόψει τις ανώτερες αρμονικές συνιστώσες που προκύπτουν από τη λειτουργία των διακοπτικών στοιχείων, ώστε να λάβουμε στην έξοδο όσο το δυνατόν πιο καθαρό ημίτονο.

Οι υψηλότερες μέγιστες αποδόσεις επιτυγχάνονται στους αντιστροφείς που δεν περιλαμβάνουν στην διάταξή τους μετασχηματιστή, με μέση μέγιστη απόδοση εμπορικών αντιστροφέων της τάξεως του 96,5%. Τις υψηλότερες ευρωπαϊκές αποδόσεις έχουν πάλι οι αντιστροφείς χωρίς μετασχηματιστή (~90%).

## Κεφάλαιο 3: ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΕΣ - ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ

### 3.1 Γενικά Τεχνικά Στοιχεία για τις Μπαταρίες

#### 3.1.1 Δομή του Βασικού Στοιχείου και Ηλεκτροχημικές Αντιδράσεις

Μια μπαταρία είναι μια συσκευή που μετατρέπει τη χημική ενέργεια που εμπεριέχεται στα ενεργά υλικά της απ'ευθείας σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω μιας ηλεκτροχημικής αντίδρασης οξειδωσης – μείωσης (oxidation–reduction, redox).

Σε επαναφορτιζόμενο σύστημα, η μπαταρία επαναφορτίζεται με αντιστροφή αυτής της διαδικασίας. Αυτός ο τύπος αντίδρασης περιλαμβάνει τη μεταφορά ηλεκτρονίων από ένα υλικό σε άλλο δια μέσου ενός ηλεκτρικού κυκλώματος. Επειδή η μπαταρία μετατρέπει ηλεκτροχημικά τη χημική ενέργεια σε ηλεκτρική, δεν υπόκειται, όπως οι μηχανές εσωτερικής καύσης, στους περιορισμούς του κύκλου Carnot που υπαγορεύει ο δεύτερος νόμος της θερμοδυναμικής. Για αυτό το λόγο, οι μπαταρίες είναι σε θέση να παρουσιάζουν υψηλότερη απόδοση στη μετατροπή ενέργειας.

Ενώ συχνά χρησιμοποιείται ο όρος «μπαταρία», η βασική ηλεκτροχημική μονάδα στην οποία αναφέρεται είναι το «στοιχείο». Μια μπαταρία αποτελείται από ένα ή περισσότερα τέτοια στοιχεία, σε συνδεσμολογία σειράς ή παράλληλη ή συνδυασμό των δύο ανάλογα με την επιθυμητή τάση και χωρητικότητα εξόδου. Το στοιχείο αποτελείται από τα παρακάτω συστατικά:

- Το ηλεκτρόδιο ανόδου ή αρνητικό ηλεκτρόδιο (το ηλεκτρόδιο μείωσης ή καυσίμου), το οποίο παραχωρεί ηλεκτρόνια στο εξωτερικό κύκλωμα και οξειδώνεται κατά τη διάρκεια της ηλεκτροχημικής αντίδρασης.
- Το ηλεκτρόδιο καθόδου ή θετικό ηλεκτρόδιο (το ηλεκτρόδιο οξειδωσης), το οποίο δέχεται ηλεκτρόνια από το εξωτερικό κύκλωμα και μειώνεται κατά τη διάρκεια της ηλεκτροχημικής διαδικασίας.
- Τον ηλεκτρολύτη (ιοντικό αγωγό), ο οποίος παρέχει το μέσο για τη μεταφορά του φορτίου, με τη μορφή ιόντων, μέσα στο στοιχείο ανάμεσα στην άνοδο και την κάθοδο. Μερικές μπαταρίες χρησιμοποιούν στερεούς ηλεκτρολύτες, οι οποίοι είναι ιοντικοί αγωγοί στη θερμοκρασία λειτουργίας του στοιχείου.

Η δυνατότητα του διαχωρισμού της αντίδρασης του στοιχείου σε δύο ξεχωριστές αντιδράσεις ηλεκτροδίων είναι βασική προϋπόθεση για την πραγματοποίηση οποιουδήποτε ηλεκτροχημικού στοιχείου. Μόνο τότε μπορεί η ανταλλαγή των ηλεκτρονίων που συνδέεται με τις αντιδράσεις των ηλεκτροδίων να συλληχθεί σαν ένα ρεύμα που ρέει μέσα από τον καταναλωτή (ή τη συσκευή φόρτισης) και η ενέργεια εισόδου ή εξόδου που συνδέεται με τη χημική αντίδραση να μετατραπεί σε ηλεκτρική ενέργεια. Διαφορετικά, η αντίδραση θα εμφανιζόταν απλώς ως μια χημική αντίδραση. Θα γινόταν ανταλλαγή του ηλεκτρικού φορτίου απ'ευθείας ανάμεσα στις αντιδρώσες ουσίες και η ενέργεια που θα απελευθερωνόταν θα μετατρεπόταν κυρίως σε θερμότητα και σε κάποιο βαθμό σε ενεργειακή ένταση (volume energy).

Το σύστημα της ηλεκτροχημικής αποθήκευσης βασίζεται στη μετατροπή της χημικής ενέργειας σε ηλεκτρική και αντίστροφα. Το ποσό της ενέργειας που μπορεί να αποθηκευτεί σε ένα στοιχείο καθορίζεται από το διαφορετικό ενεργειακό περιεχόμενο των χημικών ουσιών που αναπαριστά την κατάσταση φόρτισης και εκφόρτισης. Συνεπώς, οι χαρακτηριστικές παράμετροι του συστήματος καθορίζονται από ένα σύνολο ηλεκτροχημικών αντιδράσεων και τις ενεργειακές



μεταβολές που συνδέονται με αυτές τις αντιδράσεις. Συνολικά, αυτές οι αντιδράσεις αποτελούν τις αντιδράσεις στοιχείου που χαρακτηρίζουν το σύστημα της μπαταρίας.

Οι συνδυασμοί των υλικών ανόδου και καθόδου που έχουν τα περισσότερα πλεονεκτήματα είναι αυτοί που θα είναι ελαφρύτεροι και θα δίνουν υψηλή τάση και χωρητικότητα στοιχείου. Παρ'όλα αυτά, τέτοιοι συνδυασμοί μπορεί να μην είναι πάντα πρακτικοί, εξαιτίας της αντιδραστικότητας με άλλα συστατικά του στοιχείου, της πόλωσης, της δυσκολίας στο χειρισμό, του υψηλού κόστους και άλλων ατελειών.

Φυσικά, τα ηλεκτρόδια ανόδου και καθόδου είναι ηλεκτρονικά απομονωμένα στο στοιχείο για την αποφυγή εσωτερικού βραχυκυκλώματος, αλλά περιβάλλονται από τον ηλεκτρολύτη. Σε πρακτικούς σχεδιασμούς στοιχείων ένα υλικό διαχωρισμού χρησιμοποιείται για να χωρίζει τα ηλεκτρόδια ανόδου και καθόδου μηχανικά. Ο διαχωριστής, όμως, είναι διαπερατός από τον ηλεκτρολύτη για να διατηρείται η επιθυμητή ιοντική αγωγιμότητα. Σε ορισμένες περιπτώσεις ο ηλεκτρολύτης ακινητοποιείται για ένα σχεδιασμό χωρίς διαρροή (non spill design). Ηλεκτρικά αγωγίμες δομές ή υλικά μπορούν επίσης να προστεθούν στα ηλεκτρόδια για μείωση της εσωτερικής αντίστασης [30].

### **3.2 Ταξινόμηση Στοιχείων και Μπαταριών**

Τα ηλεκτροχημικά στοιχεία και οι μπαταρίες χαρακτηρίζονται ως πρωτεύουσες (μη επαναφορτιζόμενες) ή δευτερεύουσες (επαναφορτιζόμενες), με βάση την ικανότητά τους να επαναφορτίζονται ηλεκτρικά. Αυτές οι 2 μεγάλες κατηγορίες περιέχουν υποκατηγορίες που έχουν να κάνουν με συγκεκριμένες δομές ή σχεδιασμούς [32].

#### **3.2.1 Πρωτεύουσες Μπαταρίες (Primary Batteries)**

Αυτές οι μπαταρίες δεν έχουν τη δυνατότητα εύκολης ή αποτελεσματικής ηλεκτρικής επαναφόρτισης και, για το λόγο αυτό, εκφορτίζονται μια φορά και στη συνέχεια απορρίπτονται. Πολλά πρωτεύοντα στοιχεία στα οποία ο ηλεκτρολύτης περιέχεται σε ένα απορροφητικό ή διαχωριστικό υλικό (δεν υπάρχει ελεύθερος ή υγρός ηλεκτρολύτης) ονομάζονται «ξηρά στοιχεία». Η πρωτεύουσα μπαταρία είναι μια βολική, συνήθως οικονομική, ελαφριά πηγή συσκευασμένης ενέργειας για φορητές ηλεκτρονικές και ηλεκτρικές συσκευές, φωτισμό, φωτογραφικό εξοπλισμό, παιχνίδια, εφεδρικές μνήμες και μια σειρά από άλλες εφαρμογές. Γενικά, τα πλεονεκτήματα των πρωτευουσών μπαταριών είναι καλή διάρκεια ζωής «ραφίου» (shelf life), υψηλή ενεργειακή πυκνότητα σε χαμηλούς έως μέτριους ρυθμούς εκφόρτισης, μικρή (ή καθόλου) ανάγκη για συντήρηση και ευκολία στη χρήση.

#### **3.2.2 Δευτερεύουσες ή Επαναφορτιζόμενες Μπαταρίες (Secondary or Rechargeable)**

Αυτές οι μπαταρίες μπορούν να επαναφορτιστούν ηλεκτρικά, μετά από την εκφόρτισή τους, στην αρχική τους κατάσταση με τη διαδικασία ροής ρεύματος μέσα από αυτές στην αντίθετη όμως κατεύθυνση από αυτή του ρεύματος εκφόρτισης. Είναι συσκευές αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας και είναι επίσης γνωστές σαν «μπαταρίες αποθήκευσης» (storage batteries) ή «συσσωρευτές» (accumulators).

Οι εφαρμογές των δευτερευουσών μπαταριών χωρίζονται σε δύο κύριες κατηγορίες:

- Εφαρμογές στις οποίες η δευτερεύουσα μπαταρία χρησιμοποιείται σαν μια συσκευή αποθήκευσης ενέργειας, που συνήθως είναι ηλεκτρικά συνδεδεμένη και φορτίζεται από μια κύρια πηγή ενέργειας και μεταφέρει την ενέργειά της στο φορτίο όταν της ζητηθεί. Παραδείγματα αυτής της κατηγορίας είναι συστήματα αυτοκινήτων και αεροσκαφών,

πηγές ενέργειας αναμονής (UPS) για να μην υπάρξει αποτυχία σε περίπτωση ανάγκης, υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα και συστήματα στάσιμης ενεργειακής αποθήκευσης (stationary energy storage – SES) για ηλεκτρική χρήση ανύψωσης φορτίου.

- Εφαρμογές στις οποίες η δευτερεύουσα μπαταρία χρησιμοποιείται ή εκφορτίζεται ουσιαστικά σαν μια πρωτεύουσα μπαταρία, αλλά αντί να απορρίπτεται μετά τη χρήση επαναφορτίζεται. Οι δευτερεύουσες μπαταρίες χρησιμοποιούνται κατ' αυτό τον τρόπο, για παράδειγμα, σε φορητές ηλεκτρονικές καταναλώσεις, ηλεκτρικά εργαλεία, ηλεκτρικά οχήματα κλπ, για μείωση του κόστους (αφού μπορούν να επαναφορτιστούν αντί να αντικατασταθούν) και σε εφαρμογές που απαιτούν άντληση ενέργειας πέρα από τα όρια μιας πρωτεύουσας μπαταρίας.

Οι δευτερεύουσες μπαταρίες χαρακτηρίζονται (εκτός από την ικανότητά τους να επαναφορτίζονται) από υψηλή πυκνότητα ισχύος, υψηλό ρυθμό εκφόρτισης, επίπεδες καμπύλες εκφόρτισης και καλές επιδόσεις σε χαμηλές θερμοκρασίες. Οι ενεργειακές τους πυκνότητες είναι γενικά χαμηλότερες από αυτές των πρωτευουσών μπαταριών και η κατακράτηση φορτίου (charge retention) είναι επίσης φτωχότερη από ότι στις περισσότερες πρωτεύουσες μπαταρίες, όμως η χωρητικότητα που χάνεται σε μια δευτερεύουσα μπαταρία μπορεί να ανακτηθεί με την επαναφόρτιση.

Μερικές μπαταρίες, γνωστές σαν «μηχανικά επαναφορτιζόμενες», «επαναφορτίζονται» αντικαθιστώντας το εκφορτισμένο ή απεμπλουτισμένο ηλεκτρόδιο, συνήθως το μέταλλο της ανόδου με ένα καινούργιο. Κάποιες από τις μπαταρίες μετάλλου/αέρος (metal/air) είναι χαρακτηριστικές αυτού του τύπου μπαταρίας.

### **3.2.3 Μπαταρίες Αποθήκευσης (Reserve Batteries)**

Σε αυτούς τους τύπους, ένα βασικό συστατικό χωρίζεται από την υπόλοιπη μπαταρία πριν από την ενεργοποίησή της. Σε αυτήν την κατάσταση ο κίνδυνος χημικής αλλοίωσης ή αυτοεκφόρτισης ουσιαστικά εξαλείφεται και έτσι η μπαταρία μπορεί να αποθηκευτεί για μεγάλο χρονικό διάστημα. Συνήθως το συστατικό που απομονώνεται είναι ο ηλεκτρολύτης. Σε άλλα συστήματα, όπως η θερμική μπαταρία, η μπαταρία είναι ανενεργή μέχρι να θερμανθεί, λιώνοντας έναν στερεό ηλεκτρολύτη ο οποίος μετά γίνεται αγωγίμος. Ο σχεδιασμός των μπαταριών αποθήκευσης χρησιμοποιείται για να ανταποκριθεί σε υπερβολικά μεγάλες ή περιβαλλοντικά ακραίες απαιτήσεις αποθήκευσης οι οποίες δεν μπορούν να ικανοποιηθούν από μια «ενεργή» μπαταρία που έχει σχεδιαστεί για τα ίδια χαρακτηριστικά απόδοσης.

### **3.2.4 Απαιτήσεις που πρέπει να ικανοποιούν**

Οι απαιτήσεις που πρέπει να ικανοποιούν τα συστήματα αποθήκευσης σε ένα αυτόνομο σύστημα παραγωγής ισχύος είναι πολυάριθμες. Ορισμένες από τις πιο σημαντικές απαιτήσεις παρουσιάζονται παρακάτω:

- Υψηλή ενεργειακή απόδοση
- Μεγάλη διάρκεια ζωής (σε χρόνια)
- Μεγάλη διάρκεια ζωής από την άποψη της απόδοσης χωρητικότητας
- Χαμηλό κόστος
- Καλή αποδοτικότητα φόρτισης ακόμα και σε πολύ μικρά ρεύματα
- Χαμηλός ρυθμός αυτοεκφόρτισης

- Μικρές απαιτήσεις συντήρησης
- Υψηλή διαθεσιμότητα παγκοσμίως
- Υψηλή διαθεσιμότητα ενέργειας
- Εύκολη εκτίμηση της κατάστασης φόρτισης
- Χαμηλή έκθεση σε ακατάλληλες συνθήκες
- Εύκολα ανακυκλώσιμη
- Χαμηλή τοξικότητα των υλικών
- Ασφαλής συμπεριφορά σε περίπτωση υπερφόρτισης ή βαθιάς εκφόρτισης
- Εύκολη επεκτασιμότητα τάσης και χωρητικότητας μέσω συνδέσεων σε σειρά και παράλληλα
- Μικρό χάσμα τάσης μεταξύ φόρτισης και εκφόρτισης (επιτρέπει τη σύνδεση φορτίων κατευθείαν στη μπαταρία)
- Ικανότητα γρήγορης φόρτισης
- Κανένα φαινόμενο μνήμης
- Χαμηλές εκρηκτικές δυνατότητες
- Υψηλή αξιοπιστία στη λειτουργία – πολύς χρόνος μεταξύ αστοχιών

Ο σχεδιασμός αυτόνομων συστημάτων παροχής ενέργειας θα πρέπει να εξετάζει τις ιδιότητες και τις απαιτήσεις του συστήματος αποθήκευσης από την αρχή. Αν σχεδιαστεί το σύστημα και στη συνέχεια προστεθεί το σύστημα αποθήκευσης, θα έχουμε αμελήσει τις πολυάριθμες αλληλεπιδράσεις ανάμεσα στη μπαταρία, τα περιφερειακά και συνολικά στο σχεδιασμό και τον έλεγχο όλου του συστήματος. Ως εκ τούτου, μόνο ένας ολοκληρωμένος προγραμματισμός του συστήματος μας επιτρέπει να κάνουμε χρήση όλων των συνεργειών και να σχεδιάσουμε συστήματα τα οποία θα είναι σε θέση να λειτουργούν με το ελάχιστο κόστος καθ'όλη τη διάρκεια ζωής τους.

### **3.3 Χαρακτηριστικά Μεγέθη Μπαταρίας**

Στην υπό-ενότητα αυτή αναλύονται διάφορα μεγέθη σχετικά με τις μπαταρίες και τη λειτουργία τους, ορισμένα από τα οποία έχουν ήδη αναφερθεί παραπάνω. Η σχετική γνώση των μεγεθών αυτών είναι απαραίτητη για την κατανόηση των επόμενων κεφαλαίων.

#### **3.3.1 Χωρητικότητα**

Χωρητικότητα μιας μπαταρίας  $C$  (capacity) είναι το συνολικό ηλεκτρικό φορτίο που μπορούμε να πάρουμε από μια πλήρως φορτισμένη μπαταρία, κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες εκφόρτισης (ρυθμό εκφόρτισης, τάση και θερμοκρασία). Η χωρητικότητα που μπορεί να δώσει μια μπαταρία είναι άμεσα συνδεδεμένη με το ποσό των υλικών ανόδου και καθόδου (δηλαδή των ενεργών υλικών) που περιέχει. Η χωρητικότητα ενός στοιχείου/μπαταρίας μετριέται συνήθως σε αμπερ – ώρες (Ah) και καθορίζεται από ένα σταθερό ρεύμα εκφόρτισης που εκφορτίζει τη μπαταρία μέχρι μια ορισμένη τελική τάση εκφόρτισης (συνήθως 1.75 V περίπου). Η χωρητικότητα εξαρτάται σημαντικά από το ρεύμα εκφόρτισης και τη θερμοκρασία. Ο υπολογισμός της χωρητικότητας

γίνεται πολλαπλασιάζοντας την τιμή του ρεύματος εκφόρτισης με το χρόνο που χρειάζεται για να φτάσει η μπαταρία στην τελική τάση. Οι κατασκευαστές μπαταριών μπορούν να ορίσουν οι ίδιοι το ρεύμα και την τελική τάση εκφόρτισης. Ο όρος που χρησιμοποιείται συνήθως για να περιγράψει την ικανότητα της μπαταρίας να μεταφέρει ρεύμα είναι η ονομαστική της χωρητικότητα. Οι κατασκευαστές συχνά καθορίζουν την ονομαστική χωρητικότητα των μπαταριών τους σε αμπερώρες για ένα συγκεκριμένο ρυθμό εκφόρτισης. Για παράδειγμα, αυτό σημαίνει ότι μια μπαταρία 200Ah (για ένα ρυθμό 10 ωρών) θα μεταφέρει 20 A ρεύματος για 10 ώρες κάτω από κανονικές συνθήκες θερμοκρασίας ( 25ο). Η χωρητικότητα της μπαταρίας ποικίλει για διάφορους ρυθμούς εκφόρτισης. Όσο πιο μεγάλος είναι ο ρυθμός εκφόρτισης, τόσο μικρότερη είναι η χωρητικότητα του στοιχείου. Χαμηλότεροι ρυθμοί εκφόρτισης έχουν ως αποτέλεσμα μεγαλύτερη χωρητικότητα. Οι κατασκευαστές μπαταριών συνήθως ορίζουν μερικούς ρυθμούς εκφόρτισης (σε αμπέρ) μαζί με τους χρόνους εκφόρτισης που συνδέονται με αυτούς (σε ώρες).

### 3.3.2 Τάση

Για να είναι ικανό ένα στοιχείο ή μια μπαταρία να μεταφέρει ηλεκτρικό ρεύμα σε ένα εξωτερικό κύκλωμα, πρέπει να υπάρχει μια διαφορά δυναμικού ανάμεσα στο θετικό και το αρνητικό ηλεκτρόδιο. Αυτή η διαφορά δυναμικού, η οποία μετριέται σε volts αναφέρεται ως τάση του στοιχείου ή της μπαταρίας. Η ονομαστική τάση μιας μπαταρίας καθορίζεται από τον αριθμό των στοιχείων που είναι συνδεδεμένα σε σειρά επί την ονομαστική τάση του ενός στοιχείου.

Η τελική τάση φόρτισης (end-of-charge voltage) καθορίζει ένα άνω όριο για την τάση. Η φόρτιση μιας μπαταρίας δε σταματά όταν φτάσει την τελική τάση φόρτισης ( όπως συμβαίνει με την τελική τάση εκφόρτισης – end-of-discharge voltage), αλλά το ρεύμα φόρτισης μειώνεται κατάλληλα για να διατηρεί την τελική τάση φόρτισης με την πάροδο του χρόνου [33],[34].

### 3.3.3 Στάθμη Φόρτισης

Η στάθμη φόρτισης (state of charge – SOC) δίνει τη χωρητικότητα που μπορεί να εκφορτιστεί από μια μπαταρία σε μια συγκεκριμένη στιγμή. Εκατό τοις εκατό στάθμη φόρτισης σημαίνει ότι η μπαταρία είναι πλήρως φορτισμένη, ενώ 0% στάθμη φόρτισης σημαίνει ότι η ονομαστική χωρητικότητα έχει εκφορτιστεί.

Για τη λειτουργία και τη διαχείριση της ενέργειας στα αυτόνομα συστήματα παραγωγής ενέργειας, η χωρητικότητα της μπαταρίας και η πραγματική στάθμη φόρτισης είναι οι πιο σημαντικές παράμετροι. Ο καθορισμός της στάθμης φόρτισης είναι δύσκολος σε αυτόνομα συστήματα παραγωγής ενέργειας με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας επειδή η πλήρης φόρτιση της μπαταρίας όπως γίνεται συχνά με τους συμβατικούς φορτιστές μπαταρίας είναι πολύ ασυνήθιστη.

Επίσης, το σύστημα καθορίζει ένα κριτήριο τέλους εκφόρτισης για να αποφευχθεί η βαθειά εκφόρτιση της μπαταρίας και κατά συνέπεια η επιτάχυνση της γήρανσης [30].

### 3.3.4 Βάθος Εκφόρτισης

Το βάθος εκφόρτισης (depth of discharge – DOD) είναι το κλάσμα ή το ποσοστό της χωρητικότητας που έχει αφαιρεθεί από την πλήρως φορτισμένη μπαταρία. Το αντίθετο, δηλαδή, από τη στάθμη φόρτισης που όπως είδαμε παραπάνω είναι το ποσοστό της χωρητικότητας που είναι ακόμα διαθέσιμο στη μπαταρία. Στον πίνακα 3.2 φαίνεται η απλή σχέση μεταξύ των δύο:

Στάθμη φόρτισης (SOC)	Βάθος εκφόρτισης (DOD)
100%	0%
75%	25%
50%	50%
25%	75%
0%	100%

**Πίνακας 3.1:** Σχέση μεταξύ SOC και DOD

Παρόλα αυτά, αυτές οι τιμές για τη στάθμη φόρτισης και το βάθος εκφόρτισης συνήθως αναφέρονται στην ονομαστική χωρητικότητα (π.χ. τη χωρητικότητα για το ρυθμό των 10 ωρών). Για χαμηλότερα ρεύματα εκφόρτισης, μπορεί να συναντήσουμε αναφορές για DOD μεγαλύτερο του 100%. Αυτό απλά σημαίνει ότι η μπαταρία μπορεί να παράγει περισσότερο από το 100% της ονομαστικής της χωρητικότητας σε ρυθμούς εκφόρτισης χαμηλότερους από τον ονομαστικό ρυθμό εκφόρτισης [35].

### 3.3.5 Κύκλος / Κύκλος Ζωής

Με τον όρο κύκλος, περιγράφουμε την επαναλαμβανόμενη διαδικασία εκφόρτισης και φόρτισης που συμβαίνει σε μια μπαταρία σε λειτουργία. Ένας κύκλος ισοδυναμεί με μια εκφόρτιση που ακολουθείται από μια φόρτιση. Ο κύκλος ζωής είναι ένα μέτρο του πόσους κύκλους μια μπαταρία μπορεί να δώσει κατά τη διάρκεια της χρήσιμης ζωής της. Συνήθως αντιστοιχεί στον αριθμό των κύκλων εκφόρτισης για ένα συγκεκριμένο DOD που η μπαταρία μπορεί να πραγματοποιήσει πριν η διαθέσιμη χωρητικότητά της μειωθεί σε ένα συγκεκριμένο ποσοστό (συνήθως 80%) της αρχικής χωρητικότητας.

Ο κύκλος ζωής εξαρτάται σε πολύ μεγάλο βαθμό από το βάθος του κάθε κύκλου. Χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή όταν αναλύουμε τον κύκλο ζωής που δίνεται από τους κατασκευαστές μπαταρίας. Συνήθως μετριέται σε σχετικά μεγάλα ρεύματα (μικρούς χρόνους εκφόρτισης) και το αναγραφόμενο DOD συχνά αναφέρεται στη χωρητικότητα που είναι διαθέσιμη σε αυτό το μικρό χρόνο εκφόρτισης.

Στις δοκιμές του κύκλου ζωής, στις μπαταρίες πραγματοποιείται μια πλήρης επαναφόρτιση μετά από κάθε εκφόρτιση. Στα φωτοβολταϊκά συστήματα, η επαναφόρτιση δεν είναι τόσο πλήρης. Είναι δηλαδή συνετό, σαν παράγοντας ασφάλειας, να φθείρεται κάπως ο κύκλος ζωής όταν χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των χρόνων ζωής σε φωτοβολταϊκά συστήματα. Συνήθως χρησιμοποιείται ένα ποσοστό 80% του κύκλου ζωής που προκύπτει από τις δοκιμές.

Τα πρώτα χρόνια του σχεδιασμού φωτοβολταϊκών συστημάτων, η «εύκολη λύση» για την αύξηση της ζωής της μπαταρίας όταν αυτή ήταν απογοητευτικά χαμηλή σε κάποιες περιπτώσεις, ήταν η αναζήτηση μιας μπαταρίας με αυξημένο κύκλο ζωής. Δυστυχώς, ο κύκλος ζωής δεν είναι ο μόνος παράγοντας που καθορίζει το χρόνο ζωής της μπαταρίας στα φωτοβολταϊκά συστήματα και σε

μερικές περιπτώσεις αυτή η αλλαγή οδηγούσε σε ακόμα μικρότερο χρόνο ζωής.

### 3.3.6 Αποδοτικότητα

Η αποδοτικότητα αμπερ – ωρών ηAh ορίζεται ως ο λόγος των αμπερ – ωρών που εκφορτίζονται από τη μπαταρία προς τις αμπερ – ώρες που φορτίζονται στην μπαταρία μέσα σε μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο (τυπικές περιόδους είναι ένας μήνας ή ένας χρόνος ή μια περίοδος ανάμεσα σε δύο διαδικασίες πλήρους φόρτισης). Συχνά, αντί για την αποδοτικότητα αμπερ – ωρών χρησιμοποιείται ο παράγοντας φόρτισης, ο οποίος ορίζεται ως  $1/\eta Ah$ . Για μια βιώσιμη λειτουργία μπαταρίας είναι απαραίτητοι παράγοντες φόρτισης μεγαλύτεροι της μονάδας.

Η αποδοτικότητα ενέργειας ηWh είναι ο λόγος της ενέργειας που εκφορτίζεται από μια μπαταρία προς την ενέργεια που φορτίζεται σε μια μπαταρία μέσα σε μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Η ενεργειακή αποδοτικότητα μιας μπαταρίας είναι χαμηλότερη από την αποδοτικότητα αμπερ – ωρών διότι οι μπαταρίες εκφορτίζονται σε χαμηλότερη τάση από ότι φορτίζονται. Επειδή η αποδοτικότητα αμπερ – ωρών είναι κοντά στη μονάδα, θεωρείται πιο βολικό να δουλεύουμε σε Ah όταν υπολογίζουμε πόση φόρτιση χρειάζεται για να αντικατασταθεί ένα συγκεκριμένο ποσό εκφόρτισης σε φωτοβολταϊκούς (και άλλους) υπολογισμούς. Παρ'όλα αυτά, επειδή η αποδοτικότητα αμπερ – ωρών για μια πλήρη επαναφόρτιση είναι πάντα ελάχιστα μικρότερη της μονάδας, πρέπει να τροφοδοτηθεί η μπαταρία με λίγο περισσότερες Ah από όσες πραγματικά καταναλώνονται στη διαδικασία φόρτισης. Αυτό το επιπρόσθετο φορτίο, ή η υπερφόρτιση, καταναλώνεται από άλλες, ανεπιθύμητες, χημικές αντιδράσεις μέσα στη μπαταρία [35].

### 3.3.7 Μέρες Αυτονομίας

Το μέγεθος μιας μπαταρίας δίνεται από το ονομαστικό ενεργειακό περιεχόμενο (energy content) σε κατάσταση πλήρους φόρτισης. Για να εκφράσουμε το σχετικό μέγεθος μιας μπαταρίας σε σχέση με το φορτίο στα αυτόνομα συστήματα παραγωγής ενέργειας, χρησιμοποιείται συχνά ο όρος μέρες αυτονομίας. Οι μέρες αυτονομίας καθορίζονται από το λόγο του ονομαστικού ενεργειακού περιεχομένου της μπαταρίας (kWh) προς τη μέση ημερήσια ενεργειακή κατανάλωση (kWh/ημέρα).

### 3.3.8 Ρεύμα Μπαταρίας

Τα ρεύματα μπαταρίας δίνονται συνήθως σε σχέση με το μέγεθος της μπαταρίας. Ο λόγος είναι ότι οι εντάσεις και οι εξαρτώμενες από το ρεύμα ηλεκτρικές ιδιότητες σχετίζονται με συγκεκριμένα φορτία στα ηλεκτρόδια όσον αφορά τα ενεργά υλικά. Για μεγαλύτερες χωρητικότητες που έχουν δημιουργηθεί από την παράλληλη σύνδεση ηλεκτροδίων ή κυττάρων ή από μεγαλύτερα ηλεκτρόδια, η κανονικοποίηση του ρεύματος ως προς την χωρητικότητα είναι ένα κατάλληλο μέτρο. Ως εκ τούτου, τα ρεύματα μπαταρίας εκφράζονται ως πολλαπλάσια της χωρητικότητας σε αμπερ-ώρες ή ως πολλαπλάσια του ρεύματος εκφόρτισης που καθορίζεται από τη χωρητικότητα [30].

### 3.3.9 Χρόνος Ζωής

Ο χρόνος ζωής μιας μπαταρίας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις συνθήκες λειτουργίας και από τις στρατηγικές ελέγχου. Ο όρος χρόνος ζωής, έχει διαφορετική σημασία για τις πρωτεύουσες και για τις δευτερεύουσες μπαταρίες. Ο χρόνος ζωής στις πρωτεύουσες μπαταρίες περιορίζεται από την αυτοεκφόρτισή τους και ορίζεται συνήθως σαν ο χρόνος που χρειάζεται η μπαταρία για να φτάσει το 90% της αρχικής της χωρητικότητας. Αντίθετα, ο χρόνος ζωής των δευτερευουσών μπαταριών ορίζεται σαν τη διάρκεια ικανοποιητικής επίδοσης που μετράται σε χρόνια (float ή ημερολογιακός χρόνος ζωής) ή σαν τον αριθμό των κύκλων φόρτισης/εκφόρτισης (κύκλος ζωής). Το κριτήριο τέλους ζωής για τις δευτερεύουσες μπαταρίες καθορίζεται συνήθως από το χρόνο που απαιτείται για να φτάσει η μπαταρία το 80% της αρχικής της χωρητικότητας. Ο αριθμός των κύκλων φόρτισης/εκφόρτισης τυπικά αυξάνεται καθώς μειώνεται το DOD. Και οι δύο τύποι χρόνου ζωής των δευτερευουσών μπαταριών, επηρεάζονται από έναν αριθμό συνθηκών, μεταξύ αυτών από τη θερμοκρασία κατά τη φόρτιση και την εκφόρτιση, το DOD, το ρεύμα φόρτισης και εκφόρτισης, τη μέθοδο ελέγχου της φόρτισης, την έκθεση σε υπερφόρτιση και/ή υπερεκφόρτιση και τη διάρκεια και τις συνθήκες αποθήκευσης.

### 3.3.10 Αυτοεκφόρτιση

Αυτοεκφόρτιση ονομάζεται η απώλεια φορτίου σε μια μπαταρία αν αυτή αφεθεί σε κατάσταση ανοικτού κυκλώματος για υπολογίσιμο χρονικό διάστημα. Για παράδειγμα, σε μια πρωτεύουσα μπαταρία που είναι τοποθετημένη στο ράφι ενός καταστήματος για μερικά χρόνια δε θα έχει απομείνει ολόκληρη η χωρητικότητά της. Για επαναφορτιζόμενες μπαταρίες, ο ρυθμός αυτοεκφόρτισης συνήθως αντιστοιχεί σε ένα ποσοστό χωρητικότητας που χάνεται ανά μήνα όταν αρχίζουμε με μια πλήρως φορτισμένη μπαταρία, πρέπει όμως να αναφέρεται μαζί με τη θερμοκρασία της μπαταρίας. Σε πολλές περιπτώσεις, ο ρυθμός αυτοεκφόρτισης διπλασιάζεται για κάθε αύξηση 10°C στη θερμοκρασία της μπαταρίας. Στους περισσότερους υπολογισμούς για φωτοβολταϊκές μπαταρίες, ο ρυθμός αυτοεκφόρτισης των προτιμώμενων τύπων μπαταριών είναι χαμηλός (μεταξύ 1 και 4% ανά μήνα σε θερμοκρασία 20 – 25°C ) και η αυτοεκφόρτιση απαιτεί τόσο μικρό ποσοστό επιπρόσθετης φόρτισης συγκριτικά με το φορτίο (ή ακόμα και τον ηλεκτρονικό εξοπλισμό ελέγχου) που μπορεί εύκολα να αγνοηθεί [35].

### 3.3.11 Κατάσταση Υγείας

Η κατάσταση της υγείας ορίζεται σαν ο λόγος της πραγματικά μετρούμενης χωρητικότητας και της ονομαστικής χωρητικότητας. Η κατάσταση υγείας υποδεικνύει σε ποιο βαθμό η μπαταρία είναι ακόμα ικανή να πληροί τις απαιτήσεις του συστήματος. Σύμφωνα με τα πρότυπα, οι μπαταρίες μολύβδου οξέος είναι στο τέλος της ζωής τους αν η κατάσταση της υγείας τους είναι κάτω από 80%. Παρ'όλα αυτά, οι μπαταρίες μπορούν να λειτουργήσουν για πολύ περισσότερο, οι μέρες αυτονομίας τους όμως μειώνονται αναλόγως και το σύστημα μπορεί να μην είναι σε θέση να ικανοποιήσει πλέον τις ενεργειακές απαιτήσεις. Μπαταρίες που λειτουργούν σε κατάσταση υγείας περίπου 50% συναντώνται συχνά, κυρίως σε υβριδικά συστήματα. Αυτό έχει σαν συνέπεια το μερίδιο της γεννήτριας να αυξάνεται [30].

### **3.3.12 Ρυθμός Εκφόρτισης/ Ρυθμός Φόρτισης**

Οι ρυθμοί εκφόρτισης και φόρτισης είναι βολικές κλίμακες για τη σύγκριση ρευμάτων στα οποία φορτίζονται οι μπαταρίες, ανεξάρτητα από τη χωρητικότητά τους. Εκφράζονται ως ένας αριθμός ωρών, π.χ. ο ρυθμός 10 ωρών, 240 ωρών κλπ. Το ρεύμα στο οποίο αντιστοιχούν είναι η κατάλληλη ολική χωρητικότητα εκφόρτισης διαιρεμένη με τον αριθμό των ωρών [35].

### **3.3.13 Ειδική Ενέργεια/Ενεργειακή Πυκνότητα**

Για τη σύγκριση συστημάτων, έχει γίνει κοινή πρακτική να συσχετίζεται το ενεργειακό περιεχόμενο μιας δοσμένης μπαταρίας με το βάρος ή τον όγκο της. Η σχετική με το βάρος ενέργεια ονομάζεται ειδική ενέργεια και μετριέται σε Wh/kg. Η θεωρητική ειδική ενέργεια είναι η μέγιστη ενέργεια που μπορεί να παραχθεί ανά μονάδα βάρους του ενεργού υλικού του συσσωρευτή. Οι πρακτικές τιμές της ειδικής ενέργειας είναι αρκετά χαμηλότερες από τις θεωρητικές. Για παράδειγμα, στο συσσωρευτή μολύβδου-οξέος που χρησιμοποιείται σε κάποιο όχημα αποδεικνύεται ότι μόνο το 26% του συνολικού του βάρους συμμετέχει στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η σχετική με τον όγκο ενέργεια ονομάζεται ενεργειακή πυκνότητα και συναντάται με τις μονάδες Wh/L ή Wh/cm<sup>3</sup>. Η ενεργειακή πυκνότητα έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τις μπαταρίες που σχεδιάζονται να τροφοδοτούν φορητό εξοπλισμό [36].

### **3.3.14 Εσωτερική Αντίσταση**

Η εσωτερική αντίσταση χαρακτηρίζει την ικανότητα της μπαταρίας να χειρίζεται ένα συγκεκριμένο φορτίο. Στα περισσότερα συστήματα μπαταριών, η εσωτερική αντίσταση αυξάνεται όταν η μπαταρία πλησιάζει το τέλος της εκφόρτισης λόγω της μειωμένης αγωγιμότητας των ενώσεων που έχουν σχηματιστεί, ενώ και η θερμική του ευστάθεια ελαττώνεται, διότι η ενέργεια που παρέχει η μπαταρία μετατρέπεται σε θερμότητα. Είναι απαραίτητο η εσωτερική αντίσταση κάθε συσσωρευτή να είναι σημαντικά μικρότερη της αντίστασης του φορτίου. Εξαρτάται από τη χημική σύσταση της μπαταρίας και επηρεάζεται από τη θερμοκρασία, το μέγεθος της μπαταρίας, την ηλικία της και το ρεύμα εκφόρτισης.

### **3.3.15 Ειδικό Βάρος**

Ειδικό βάρος (specific gravity) ονομάζεται ο λόγος ενός διαλύματος προς έναν ίσο όγκο νερού σε μια καθορισμένη θερμοκρασία. Το μέγεθος αυτό χρησιμοποιείται σαν δείκτης για τη στάθμη φόρτισης ενός στοιχείου ή μιας μπαταρίας [34].

### **3.3.16 Ειδική Ισχύς**

Η ειδική ισχύς ενός συσσωρευτή ορίζεται ως η μέγιστη ισχύς ανά μονάδα βάρους που μπορεί να παραχθεί σε ένα μικρό χρονικό διάστημα. Είναι χαρακτηριστικό της χημικής σύστασης του συσσωρευτή και εξαρτάται κυρίως από την εσωτερική του αντίσταση. Έχει μονάδα μέτρησης το W/kg και καθορίζει το βάρος του συσσωρευτή που απαιτείται για να επιτευχθεί η απαιτούμενη απόδοση [37].



### 3.4 Διάφοροι Τύποι Μπαταριών

- **Μπαταρίες Μολύβδου-Οξέως**

Οι μπαταρίες μολύβδου-οξέως (lead-acid), που εφευρέθηκαν το 1859, αποτελούν την παλαιότερη και πιο διαδεδομένη μορφή επαναφορτιζόμενων ηλεκτροχημικών συσκευών. Έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως σε αυτόνομα υβριδικά συστήματα και αποτελούν πλέον ώριμη τεχνολογία. Στην κατάσταση πλήρους φόρτισης αποτελούνται από ένα ηλεκτρόδιο μολύβδου (άνοδος) και ένα ηλεκτρόδιο διοξειδίου του μολύβδου (κάθοδος) βυθισμένα σε έναν ηλεκτρολύτη με περιεκτικότητα περίπου 37% σε θειικό οξύ. Σε κατάσταση πλήρους εκφόρτισης και τα δύο ηλεκτρόδια αποτελούνται από θειικό μόλυβδο, η τάση στα άκρα του στοιχείου μηδενίζεται και ο ηλεκτρολύτης δεν περιέχει πλέον θειικό οξύ και ουσιαστικά μετατρέπεται σε νερό.

Ανάλογα με τον τύπο της ανόδου οι μπαταρίες διακρίνονται σε τύπου Manhex, σωληνωτού τύπου και τύπου λεπτής επίπεδης πλάκας. Η ονομαστική τάση κάθε κελιού είναι περίπου 2 Volt. Με κριτήριο τη λειτουργία, οι δύο κύριοι τύποι μπαταριών μολύβδου οξέως είναι οι flooded batteries και οι VRLA.

Η βασικότερη αιτία της τόσο ευρείας διάδοσης των μπαταριών μολύβδου οξέως είναι το μικρό κόστος τους συγκριτικά με άλλες τεχνολογίες μπαταριών (\$200 – \$400 ανά kWh), σε συνδυασμό με την εμπορική διαθεσιμότητα, αλλά και η πολυετής συσσωρευμένη λειτουργική εμπειρία. Επιπρόσθετα, οι μπαταρίες τέτοιου τύπου χαρακτηρίζονται από υψηλούς βαθμούς απόδοσης (roundtrip efficiency) της τάξης του 70% - 90%, καθώς και από υψηλή αξιοπιστία. Η εμπειρία έχει δείξει ότι ο ρυθμός αστοχίας των μπαταριών μολύβδου οξέως είναι μικρότερος από 0,25% . Επίσης, πολύ σημαντικά πλεονεκτήματα της τεχνολογίας αυτής είναι οι μικροί ρυθμοί αυτοεκφόρτισης που παρουσιάζει και η εξαιρετική συμπεριφορά στην παροχή βηματικής τάσης. Για τον τελευταίο λόγο οι μπαταρίες αυτές μπορούν να παρακολουθήσουν αποτελεσματικά τις γρήγορες αλλαγές του φορτίου, ιδιότητα που τις καθιστά κατάλληλες για εφαρμογές ποιότητας ισχύος, UPS, διατήρησης στρεφόμενης εφεδρείας και για power bridging σε υβριδικά συστήματα που χρησιμοποιούν ΑΠΕ.

Γενικά θα μπορούσαμε να πούμε ότι οι μπαταρίες μολύβδου οξέως είναι ελκυστικές ως διατάξεις αποθήκευσης ενέργειας για εφαρμογές ισχύος 100kW έως 10MW [38], [39].

- **Μπαταρίες Νικελίου-Καδμίου**

Οι μπαταρίες νικελίου καδμίου (NiCd) κατατάσσονται μαζί με τις μολύβδου οξέως από άποψη δημοτικότητας και τεχνολογικής ωριμότητας, αφού χρησιμοποιούνται για περίπου εκατό χρόνια. Τα κελιά αποτελούνται από δύο ηλεκτρόδια, ηλεκτρολύτη με υδροξείδιο του καλίου και ένα διαχωριστή, ενώ συνήθως περικλείονται σε μεταλλική θήκη που σφραγίζεται με μία πλάκα εφοδιασμένη με βαλβίδα ασφαλείας. Το θετικό και το αρνητικό ηλεκτρόδιο απομονωμένα το ένα από το άλλο μέσω του διαχωριστή τυλίγονται σε σπινάλ σχήμα μέσα στη θήκη. Σε κατάσταση πλήρους φόρτισης το θετικό ηλεκτρόδιο περιέχει υδροξείδιο του νικελίου και το αρνητικό κάδμιο. Συγκριτικά με τις μπαταρίες μολύβδου οξέως, οι νικελίου καδμίου έχουν μεγαλύτερες τιμές ειδικής ενέργειας (50-75 Wh/kg), μεγαλύτερη διάρκεια ζωής (2000 – 2500 κύκλοι), υποστηρίζουν υψηλότερους ρυθμούς φόρτισης και εκφόρτισης, αλλά έχουν μικρότερη απόδοση (60 – 75%) είναι και πιο ακριβές. Επιπλέον πλεονεκτήματα τους αποτελούν η αυξημένη αξιοπιστία και οι πολύ μικρές ανάγκες συντήρησης, η δυνατότητα βαθιάς εκφόρτισης και η εξαιρετική παροχή

βηματικής τάσης.

Το βασικό μειονέκτημα τους είναι το σχετικά υψηλό κόστος (\$1000/kWh) εξαιτίας της ακριβής κατασκευαστικής διαδικασίας. Επιπλέον, το κάδμιο είναι ένα βαρύ τοξικό μέταλλο που εισάγει προβλήματα διάθεσης και ανακύκλωσης των μπαταριών νικελίου καδμίου [40].

- **Μπαταρίες Νικελίου-Υδριδίου Μετάλλου**

Οι μπαταρίες νικελίου-υδριδίου μετάλλου (NiMH) αποτελούν επέκταση της τεχνολογίας που εφαρμοζόταν στις μπαταρίες νικελίου καδμίου με την κύρια διαφορά να εντοπίζεται στην πλάκα της ανόδου που κατασκευάζεται από υδρίδιο ενός μετάλλου M. Η χρήση υδριδίου του μετάλλου αντί για κάδμιο εκμηδενίζει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των μπαταριών NiCd, ενώ παράλληλα περιορίζεται η επίδραση του φαινομένου μνήμης, το οποίο εδώ αποκαλείται lazy effect. Υπάρχουν εμπορικά διαθέσιμες μπαταρίες που παρουσιάζουν διάρκεια ζωής μεγαλύτερη από 1000 κύκλους εκφόρτισης σε βάθος 80%. Επιπλέον μειονεκτήματα είναι η χαμηλή αποδοτικότητα των κελιών τους, ο σχετικά χαμηλός βαθμός αξιοπιστίας, η υψηλή θερμοκρασία που δημιουργείται κατά την φόρτιση και το υψηλό τους κόστος.

Μέχρι σήμερα έχουν υλοποιηθεί επιτυχώς μερικά αποθηκευτικά συστήματα μεγάλης κλίμακας με τεχνολογία NiMH για σταθερά συστήματα εφεδρείας ηλεκτρικής ισχύος και εφαρμογές διεσπαρμένης παραγωγής. Παράλληλα, γίνονται δοκιμαστικές εφαρμογές της τεχνολογίας ως αποθηκευτικό μέσο σε φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις, ως εφεδρεία σε τηλεπικοινωνιακά συστήματα, καθώς και σε συστήματα κάλυψης αιχμής (peak shaving) [41].

- **Μπαταρίες Νατρίου-Θείου**

Οι μπαταρίες νατρίου-θείου (NaS) αποτελούν μία νέα τεχνολογία αποθήκευσης που προς το παρόν καταλαμβάνει ένα σχετικά μικρό μερίδιο της αγοράς, αλλά εκτιμάται ότι στο μέλλον θα γίνει εξαιρετικά δημοφιλής. Στα θετικά της τεχνολογίας συμπεριλαμβάνονται οι μεγάλες τιμές πυκνότητας ενέργειας και ισχύος που κυμαίνονται μεταξύ 100-240 Wh/kg και 150-230 W/kg αντίστοιχα. Η τυπική διάρκεια ζωής τους είναι περίπου 2500 κύκλοι, χαρακτηρίζονται από υψηλή απόδοση (75-90%) και από ικανότητα παροχής βηματικής ισχύος για 30 sec πάνω από έξι φορές μεγαλύτερη από την συνεχή ονομαστική ικανότητα.

Ακόμα, χρησιμοποιούν υλικά φιλικά προς το περιβάλλον, το κόστος τους θεωρείται σχετικά χαμηλό (\$350/kWh), οι ανάγκες συντήρησης ασήμαντες και η περίοδος λειτουργίας πολύ ικανοποιητική. Σε γενικές γραμμές οι μπαταρίες NaS είναι περισσότερο κατάλληλες για σταθερές εφαρμογές μεγάλης ισχύος και μέχρι σήμερα έχουν χρησιμοποιηθεί για κάλυψη φορτίου (load leveling), peak shaving, παροχή έκτακτης ισχύος, UPS, βελτίωση ποιότητας ισχύος σε βιομηχανικές μονάδες και υποβοήθηση μονάδων ΑΠΕ [39],[40].

- **Μπαταρίες Ροής**

Οι μπαταρίες ροής οξειδοαναγωγής (redox flow batteries), ή πιο απλά μπαταρίες ροής, αποτελούν μία σχετικά νέα τεχνολογία ηλεκτροχημικής αποθήκευσης με δυνατότητα επαναφόρτισης. Σε αντίθεση με τις συμβατικές μπαταρίες, οι μπαταρίες ροής αποθηκεύουν ενέργεια στο διάλυμα του ηλεκτρολύτη και επιπλέον η ικανότητα αποθήκευσης ενέργειας είναι ανεξάρτητη από την ικανότητα παροχής ισχύος. Πιο συγκεκριμένα, η χωρητικότητα αποθήκευσης

καθορίζεται από την ποσότητα του διαθέσιμου ηλεκτρολύτη και το μέγεθος των δεξαμενών, ενώ η ικανότητα απόδοσης ισχύος εξαρτάται από το ενεργό εμβαδό της στοιβας των κυψελών. Υπάρχει η δυνατότητα παροχής μεγάλων ποσοτήτων ισχύος, αλλά και η δυνατότητα συνεχούς απόδοσης ενέργειας για μεγάλα χρονικά διαστήματα έως και δέκα ώρες. Επίσης, επιτρέπεται η ευέλικτη διαστασιολόγηση του συστήματος αποθήκευσης δεδομένου ότι η χωρητικότητα και η ικανότητα απόδοσης ισχύος είναι ανεξάρτητα μεγέθη. Επιπρόσθετα, οι μπαταρίες ροής εμφανίζουν γρήγορη απόκριση και μπορούν να μεταβούν από λειτουργία φόρτισης σε λειτουργία εκφόρτισης σε περίπου 1 ms επειδή η διάρκεια των αντιδράσεων οξειδοαναγωγής είναι πολύ μικρή. Επιπλέον, αυτά τα συστήματα αποθήκευσης δεν υποφέρουν από αυτοεκφόρτιση αφού οι ηλεκτρολύτες είναι αποθηκευμένοι ξεχωριστά και δε μπορούν να αντιδράσουν. Στις αρνητικές ιδιότητες της τεχνολογίας συγκαταλέγονται ο χαμηλός βαθμός απόδοσης λόγω των απωλειών από τη χρήση των αντλιών και των απωλειών των χημικών αντιδράσεων, οι χαμηλές τιμές ειδικής ενέργειας και το αυξημένο κόστος κτήσης και λειτουργικό κόστος. Παρακάτω περιγράφονται οι βασικότερες τεχνολογίες μπαταριών ροής.

- **Μπαταρίες Ψευδαργύρου-Βρωμίου**

Οι μπαταρίες ψευδαργύρου βρωμίου (Zinc Bromine – ZnBr) χαρακτηρίζονται ως υβριδικές μπαταρίες ροής για λόγους που θα εξηγηθούν στη συνέχεια. Σε κάθε κυψέλη δύο διαφορετικοί ηλεκτρολύτες ρέουν κατά μήκος συνθετικών ηλεκτροδίων άνθρακα –πλαστικού σε δύο διαμερίσματα διαχωρισμένα από μεμβράνη πορώδους πολυολεφίνης. Κατά την εκφόρτιση, ο ψευδάργυρος και το βρώμιο αντιδρούν δίνοντας άλας βρωμιούχου ψευδαργύρου και παράγοντας τάση 1,8 Volt σε κάθε κυψέλη. Κατά τη φόρτιση, μεταλλικός ψευδάργυρος επικάθεται σε μορφή λεπτού στρώματος στη μία πλευρά του ηλεκτροδίου, ενώ στην άλλη μεριά της μεμβράνης το βρώμιο αντιδρά με οργανικές ουσίες.

Δεδομένου ότι το ενεργό στοιχείο Zn επικάθεται στο ένα ηλεκτρόδιο της κυψέλης κατά τη φάση της φόρτισης, η πυκνότητα ενέργειας καθορίζεται όχι μόνο από την ποσότητα του ηλεκτρολύτη όπως στις μπαταρίες VRB, αλλά και από το εμβαδό της στοιβάδας των κυψελών. Για το λόγο αυτό, στην τεχνολογία ZnBr η χωρητικότητα και η ικανότητα απόδοσης ισχύος δεν είναι εντελώς ανεξάρτητα μεγέθη [42].

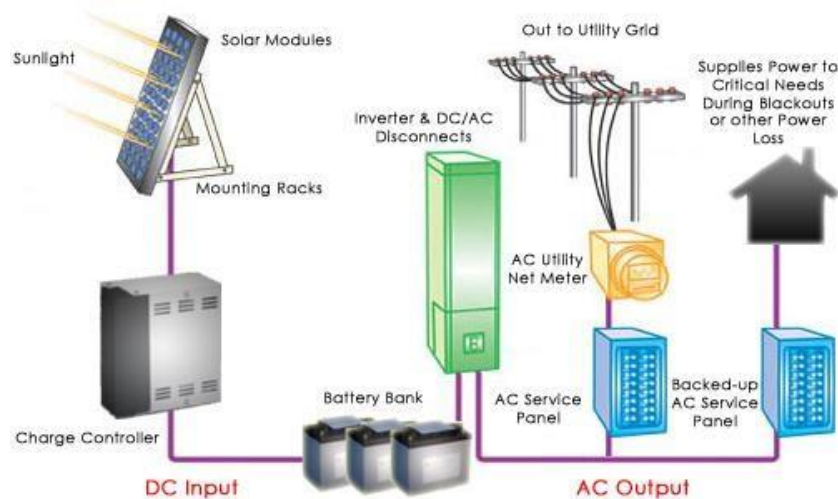
- **Μπαταρίες Πολυθειούχου Βρωμιδίου**

Οι μπαταρίες πολυθειούχου βρωμιδίου (polysulphide bromide – PSB - Regeneration) ανήκουν στην τεχνολογία regenerative κυψελών καυσίμου και παρέχουν τη δυνατότητα αποθήκευσης ενέργειας λόγω της πραγματοποίησης αντιστρέψιμης ηλεκτροχημικής αντίδρασης μεταξύ ενός διαλύματος ηλεκτρολύτη βρωμιδίου του νατρίου και ενός διαλύματος πολυθειούχου νατρίου.

Τα ηλεκτρόδια χωρίζονται εντός των κυψελών από πολυμερή μεμβράνη που επιτρέπει μόνο στα κατιόντα νατρίου να περάσουν παράγοντας μία διαφορά δυναμικού περίπου 1,5 Volt κατά μήκος της κυψέλης. Τα κελιά συνδέονται σε σειρά και παράλληλα ώστε να επιτευχθούν τα επιθυμητά επίπεδα τάσης και ρεύματος. Η θερμοκρασία λειτουργίας της μπαταρίας PSB είναι η θερμοκρασία περιβάλλοντος και, όπως και στις μπαταρίες ZnBr, ο καθαρός βαθμός απόδοσης είναι περίπου 75%.

### 3.5 Πλεονεκτήματα και Επιλογή Μπαταριών Τεχνολογίας Μολύβδου Οξέως

Οι μπαταρίες μολύβδου οξέως - ειδικά σχεδιασμένες για τις ιδιαίτερες απαιτήσεις των συστημάτων ΑΠΕ. Είναι συνήθως η πρώτη επιλογή για την αποθήκευση ενέργειας σε συστήματα με ανανεώσιμες πηγές καθώς έχουν ως κύρια πλεονεκτήματα το χαμηλό κόστος, την αντοχή σε κύκλους λειτουργίας και την ικανότητα φόρτισης/εκφόρτισης. Παρ' όλα αυτά υπάρχουν ακόμα προκλήσεις για τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας τους, ειδικότερα ως προς τον χρόνο ζωής σε θερμά κλίματα. Τα συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από την ηλιακή μέσω της τεχνολογίας Φ/Β είναι μία διαδικασία ηλεκτροπαραγωγής, φιλική προς το περιβάλλον. Οι διατάξεις που συνήθως πλαισιώνουν τα Φ/Β πάνελ σε ένα σύστημα με δυνατότητα αυτόνομης λειτουργίας (δηλαδή χωρίς το δίκτυο της ΔΕΗ) είναι ο ρυθμιστής φόρτισης, οι μπαταρίες και ο αντιστροφέας. Η Φ/Β συστοιχία μετατρέπει την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική, η οποία διατηρεί τις μπαταρίες φορτισμένες. Οι μπαταρίες με τη σειρά τους μέσω του αντιστροφέα DC/AC τροφοδοτούν το φορτίο. Η συστοιχία μπαταριών περιλαμβάνει πολλά στοιχεία μολύβδου οξέως συνδεδεμένα σε σειρά μεταξύ τους. Οι μπαταρίες μολύβδου οξέως είναι σχετικά φθηνές και άμεσα διαθέσιμες από τους κατασκευαστές, σε σύγκριση με άλλα συστήματα μπαταριών όπως οι ιόντων λιθίου και οι νικελίου- υδριδίου μετάλλου. Υπάρχουν πολλοί τύποι, διαστάσεις και χωρητικότητες μπαταριών μολύβδου οξέως για να επιλέξει κανείς ανάλογα με την εφαρμογή.



Σχήμα 3.1:Φ/Β σύστημα με μπαταρίες για αποθήκευση ενέργειας

### • Τύποι Μπαταριών Μολύβδου Οξέως

Οι μπαταρίες βαθιάς εκφόρτισης μπορούν να είναι ανοικτού ή κλειστού τύπου. Οι μπαταρίες ανοικτού τύπου αποτελούνται από στιβαρές πλάκες και ηλεκτρολυτικό διάλυμα και απαιτούν συντήρηση κάθε 6-12 μήνες με συμπλήρωση απιονισμένου νερού. Οι μπαταρίες κλειστού τύπου, όπως οι AGM και GEL, δεν απαιτούν συντήρηση. Βασικά θετικά χαρακτηριστικά των μπαταριών βαθιάς εκφόρτισης είναι η μεγάλη αντοχή σε κύκλους και ο μεγάλος χρόνος ζωής. Οι μπαταρίες με μικρό βάθος εκφόρτισης – μικρότερο του 25% - έχουν συνήθως λεπτότερες πλάκες από κράματα ασβεστίου μολύβδου.



**Σχήμα 3.2:** Μπαταρία Μολύβδου Οξέως Κλειστού Τύπου

Χαρακτηριστικό των μπαταριών ανοικτού τύπου είναι ότι μικρά ποσά υδρογόνου και οξυγόνου που παράγονται στα ηλεκτρόδια κατά τη λειτουργία της μπαταρίας ελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα μέσω μικρών οπών στο επάνω μέρος της μπαταρίας. Σε μία μπαταρία κλειστού τύπου μία ειδική διάταξη καταλύτη μέσα στη μπαταρία χρησιμοποιείται για να επανενώσει το υδρογόνο με το οξυγόνο δημιουργώντας νερό. Επομένως δεν υπάρχει απώλεια υγρού, όπως στις ανοικτού τύπου.

Οι αυστηρές απαιτήσεις για τις μπαταρίες που χρησιμοποιούνται σε φωτοβολταϊκά συστήματα έχουν προτρέψει διάφορους κατασκευαστές να αναπτύξουν μπαταρίες ειδικά σχεδιασμένες για Φ/Β ή άλλα συστήματα παραγωγής ενέργειας με ανανεώσιμες πηγές. Οι μπαταρίες που χρησιμοποιούνται συνηθέστερα στα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι είτε μολύβδου οξέως βαθιάς εκφόρτισης, είτε λιγότερων κύκλων χωρίς απαιτήσεις συντήρησης. Οι ειδικές μπαταρίες με μικρό βάθος εκφόρτισης που δεν απαιτούν συντήρηση μπορούν επίσης να εγκατασταθούν, αν η συστοιχία μπαταριών σχεδιαστεί κατάλληλα ώστε να μην απαιτηθεί ποτέ εκφόρτιση κάτω του 25%. Μια μπαταρία μεγάλου χρόνου ζωής σε ένα κατάλληλα σχεδιασμένο Φ/Β σύστημα με τη σωστή συντήρηση μπορεί να διαρκέσει μέχρι 15 έτη, αλλά η χρήση μπαταριών που δεν σχεδιάστηκαν για πολλούς κύκλους φόρτισης, ή είναι ακατάλληλες για το συγκεκριμένο σύστημα, μπορεί να οδηγήσει σε μια συστοιχία μπαταριών ανίκανη να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις της εφαρμογής σε μόλις μερικά χρόνια.

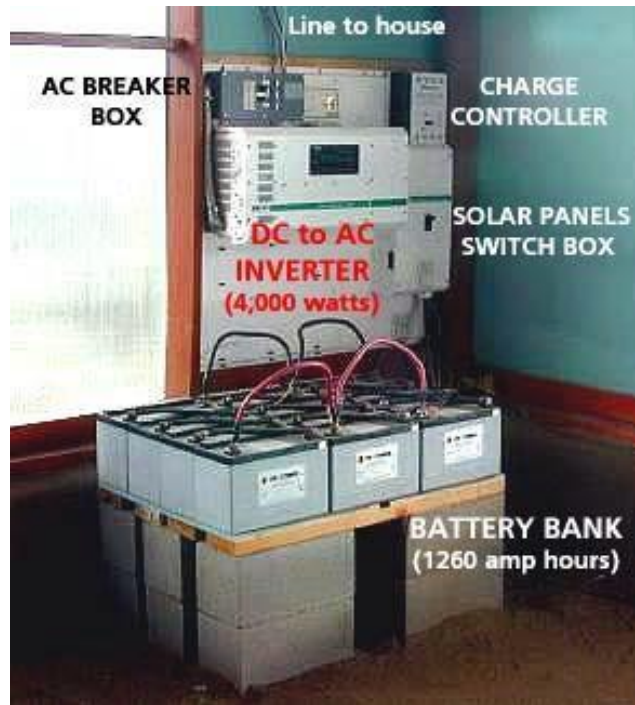


**Σχήμα 3.3:** Μπαταρία Μολύβδου Οξέως Ανοικτού Τύπου

- **Επιλογή Τύπου Μπαταρίας**

Για ένα μικρό Φ/Β σύστημα, το αρχικό κόστος και η αντοχή σε κύκλους παίζουν τον κυριότερο ρόλο. Σε τέτοιες εφαρμογές λοιπόν, που το σχετικό κόστος πρέπει να διατηρηθεί χαμηλά, η καλύτερη επιλογή είναι οι μπαταρίες που σχεδιάζονται ειδικά για Φ/Β συστήματα (solar batteries). Οι μπαταρίες SLI που χρησιμοποιούνται στα αυτοκίνητα δεν είναι κατάλληλες λόγω του μειωμένου χρόνου ζωής σε ένα Φ/Β σύστημα. Ο χρόνος ζωής όμως όταν οι μπαταρίες αυτές πρέπει να ανταποκριθούν σε μεγαλύτερα βάθη εκφόρτισης (όπως αναμένεται σε ένα Φ/Β σύστημα), μειώνεται δραματικά.

Αν ληφθεί μέριμνα στο να μην υπόκεινται σε απαγορευτικά βαθιές εκφορτίσεις, μπορούν να αποτελέσουν την καλύτερη λύση για ένα Φ/Β σύστημα, μετά τις εξειδικευμένες ηλιακές μπαταρίες. Είναι γεγονός πως η καλύτερη μπαταρία έχει συνήθως και μεγαλύτερο αρχικό κόστος, το οποίο όμως αποσβένει κανείς σε βάθος χρόνου. Η διαθεσιμότητα των ειδικών μπαταριών δεν αποτελεί πλέον ζήτημα, αφού οι μεγάλοι κατασκευαστές έχουν προσθέσει στη γκάμα τους και αυτό τον τύπο [43]. Είναι σημαντικό ο χρήστης να μπορεί να ελέγξει σε γενικές γραμμές την κατάσταση φόρτισης των μπαταριών. Κάτι τέτοιο γίνεται με τους σύγχρονους ρυθμιστές φόρτισης.



**Σχήμα 3.4:** Μπαταρίες, αντιστροφέας και ρυθμιστής φόρτισης Φ/Β συστήματος

- **Γήρανση των μπαταριών**

Στην κανονική λειτουργία υπάρχουν τέσσερις κύριοι λόγοι για την γήρανση των μπαταριών:

- Βαθεία εκφόρτιση
- Υπερφόρτιση
- Χαμηλό επίπεδο ηλεκτρολύτη
- Υψηλή θερμοκρασία μπαταρίας

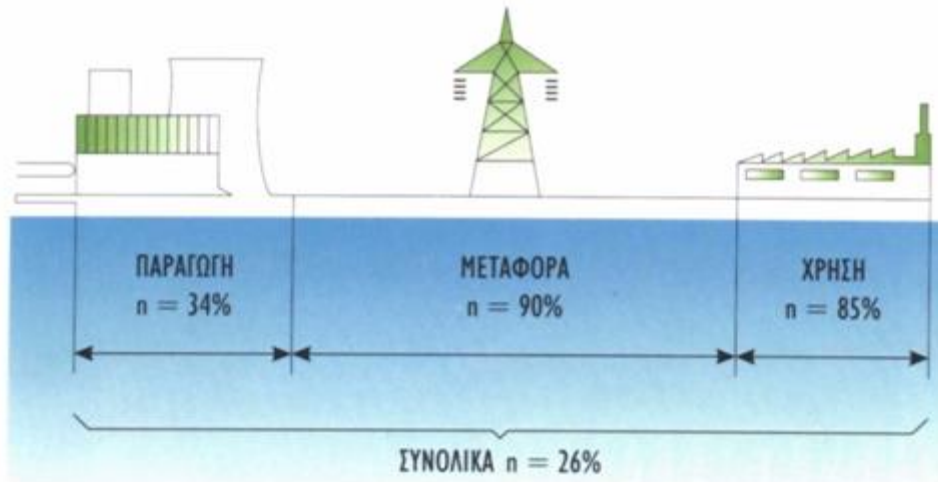
Ως παράδειγμα, ο χρόνος ζωής της μπαταρίας μειώνεται δραματικά αν αφηθεί σε βαθιά αποφόρτιση για πολύ καιρό (περισσότερο από μερικές μέρες). Μία τέτοια κατάσταση μπορεί να προκύψει αν το φορτίο είναι μεγάλο σε σχέση με την ενέργεια που δίνει η Φ/Β πηγή και ο ρυθμιστής φόρτισης δεν έχει κάποια ειδική προστασία για αποσύνδεση των μπαταριών σε κατάσταση χαμηλής φόρτισης. Σε τέτοιες περιπτώσεις η μπαταρία θα πρέπει να αποσυνδεθεί αμέσως από το φορτίο και να φορτιστεί με άλλα μέσα πριν τεθεί ξανά σε λειτουργία. Ένας καλός ρυθμιστής δεν θα επέτρεπε να φτάσουν οι μπαταρίες που επιβλέπει σε τέτοιες επικίνδυνες καταστάσεις. Μια μπαταρία μολύβδου οξέως σε ένα Φ/Β σύστημα δεν χρειάζεται να δίνει υψηλό ρεύμα κατά την εκφόρτιση ή να υπόκειται σε ταχεία φόρτιση. Θα πρέπει όμως να έχει υψηλή χωρητικότητα. Μία μπαταρία αυτοκινήτου που συνδέεται σε Φ/Β σύστημα θα δουλέψει καλά για 1-5 μέρες, αλλά η αντοχή σε κύκλους δεν θα μπορέσει να καλύψει το σύστημα για περισσότερο χρόνο. Για το λόγο αυτό οι μπαταρίες που εγκαθίστανται σε Φ/Β συστήματα σχεδιάζονται για περισσότερους κύκλους.



## Κεφάλαιο 4: ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ - ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

### 4.1 Εισαγωγή

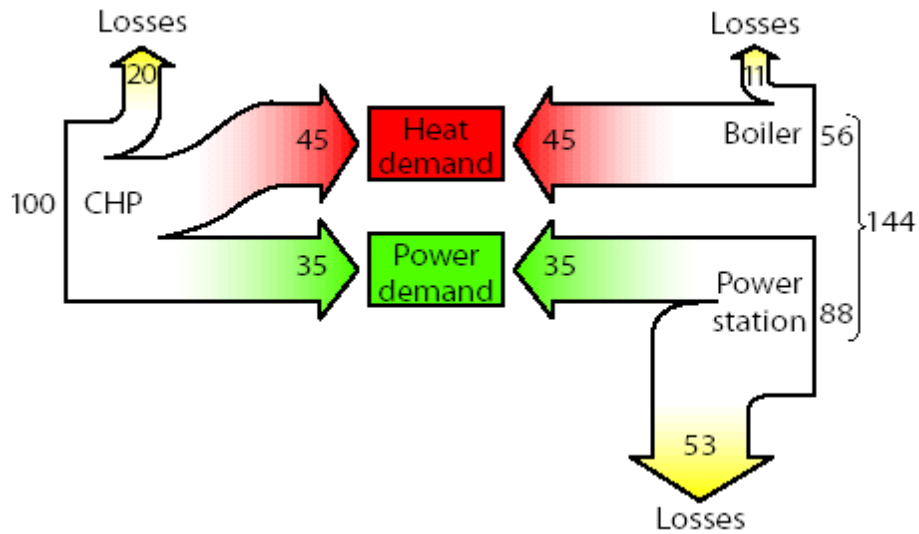
Συμπααραγωγή είναι η συνδυασμένη παραγωγή ηλεκτρικής ή μηχανικής και θερμικής ενέργειας από την ίδια αρχική πηγή ενέργειας. Η ιδέα της συμπααραγωγής είναι αρκετά παλαιά και αναπτύχθηκε λόγω του χαμηλού βαθμού απόδοσης των συμβατικών συστημάτων ηλεκτροπαραγωγής. Τα συστήματα συμπααραγωγής έχουν ως κύριο χαρακτηριστικό τους την ανάκτηση του μεγαλύτερου μέρους της παραγόμενης θερμικής ενέργειας, η οποία αν δεν μεσολαβήσει κάποια άλλη διεργασία, αποτελεί απλώς απώλεια προς το περιβάλλον, επιτυγχάνοντας με τον τρόπο αυτόν εξοικονόμηση πόρων και βελτιωμένη ενεργειακή απόδοση σε σχέση με τις συμβατικές μεθόδους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.



**Σχήμα 4.1:** Ο βαθμός απόδοσης του συμβατικού συστήματος παροχής ΗΕ

Κάτω από τις προϋποθέσεις που θα συζητηθούν στη συνέχεια η οικονομία που επιτυγχάνεται με την επιλογή της λύσης της Συμπααραγωγής Ηλεκτρισμού - Θερμότητας (Σ.Η.Θ.) στο συνολικό ενεργειακό κόστος, μπορεί να είναι ιδιαίτερα αξιόλογη στις περιπτώσεις εκείνες, που απαιτούνται ταυτόχρονα μεγάλες ποσότητες θερμικών και ηλεκτρικών φορτίων. Η υψηλή ενεργειακή απόδοση των συστημάτων συμπααραγωγής έχει ως εύλογο αποτέλεσμα την υψηλή οικονομική τους απόδοση. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι η εγκατάσταση τέτοιων συστημάτων, κυρίως σε βιομηχανικές εφαρμογές, μπορεί να οδηγήσει σε μείωση του ενεργειακού κόστους έως και 40% (σχήμα 4.3), ενώ η περίοδος αποπληρωμής τους κυμαίνεται από 3 έως 5 έτη. Όταν λειτουργούν παράλληλα με το ηλεκτρικό δίκτυο, τα συστήματα συμπααραγωγής εξασφαλίζουν υψηλή αξιοπιστία παροχής ηλεκτρικής ενέργειας. Το πλεονέκτημα αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για καταναλωτές με απαίτηση συνεχούς και απρόσκοπτης παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, όπως είναι οι βιομηχανίες αλλά και κτιριακά συγκροτήματα όπως τα νοσοκομεία. Αν μάλιστα χρησιμοποιηθεί ως καύσιμη ύλη το φυσικό αέριο, τότε η Σ.Η.Θ. προκύπτει ως ένας από τους οικονομικότερους και αποδοτικότερους τρόπους μείωσης του ενεργειακού κόστους μιας διεργασίας.

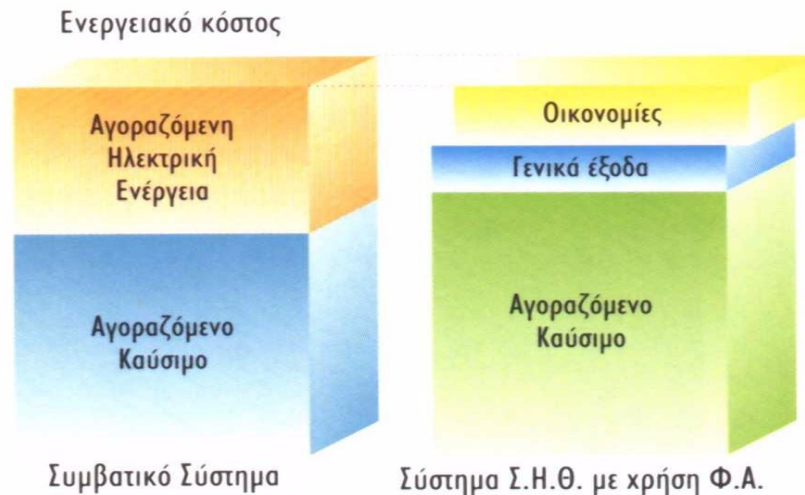




**Σχήμα 4.2:** Η ανάκτηση της απορριπτόμενης ενέργειας

Το φυσικό αέριο παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα συγκρινόμενο με άλλα καύσιμα, όπως το ελαφρύ και το βαρύ πετρέλαιο (μαζούτ), όπως η καθαρότητα και η ποιότητα του, που συντελούν στην πιο αξιόπιστη και αποδοτική λειτουργία, της μονάδας, με ευνοϊκές επιπτώσεις στη διάρκεια ζωής της και στις δαπάνες συντήρησης. Επιπλέον με την χρήση του φυσικού αερίου λύνονται τα προβλήματα προμήθειας και αποθήκευσης που παρουσιάζονται με την χρησιμοποίηση άλλων καυσίμων, υγρών και στερεών, καθόσον το φυσικό αέριο διανέμεται στα σημεία κατανάλωσης με ευθύνη της εταιρείας αερίου [44].

Στο παρακάτω σχήμα βλέπουμε ότι οι ενεργειακές δαπάνες παρουσιάζουν χρησιμοποιώντας ΣΗΘ σε σχέση με το συμβατικό σύστημα.



**Σχήμα 4.3:** Η μείωση του λειτουργικού κόστους με τη χρήση συστήματος Σ.Η.Θ

#### 4.1.1 Πλεονεκτήματα Συμπαραγωγής [15],[45],[46]

1. Η αποδοτικότητα της χρήσης των διεσπαρμένων ενεργειακών πηγών είναι μια ιδιότητα που κάνει τη συμπαραγωγή μια πολλά υποσχόμενη εναλλακτική στα παραδοσιακά εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Το σημερινό συγκεντρωτικό σύστημα παραγωγής και διανομής ισχύος έχει μια μέση απόδοση περίπου στο 33%, που σημαίνει απώλειες της τάξης του 67% από την αρχική ενέργεια που εισήχθη στο σύστημα. Αντιθέτως, ένα καλά σχεδιασμένο σύστημα συμπαραγωγής προσφέρει αποδόσεις της τάξεως του 70-90% ως αποτέλεσμα της ανακύκλωσης της θερμικής ενέργειας που απάγεται από τις μηχανές και της μείωσης των ηλεκτρικών απωλειών.
2. Αυτό, λόγω καλύτερης αξιοποίησης των καυσίμων μεταφράζεται και σε σημαντική μείωση των εκπομπών, ειδικά του CO<sub>2</sub>, παράγοντα πολύ σημαντικού από περιβαλλοντικής σκοπιάς αφού οι αυξημένες εκπομπές CO<sub>2</sub> είναι η βασική αιτία του φαινομένου του θερμοκηπίου. Έτσι, η χρήση συμπαραγωγής γίνεται ακόμα πιο δελεαστική στην περίπτωση που αξιοποιούνται οι διατάξεις του Πρωτοκόλλου του Κιότο για τη φορολογία άνθρακα όπως γίνεται στη συγκεκριμένη εργασία.
3. Η ενεργειακή αξιοπιστία και ασφάλεια βελτιώνονται σημαντικά με την εφαρμογή συμπαραγωγής. Μειώνονται οι πιθανότητες οι καταναλωτές να μείνουν χωρίς ηλεκτρική ή/και θερμική ενέργεια.
4. Η συμπαραγωγή προσφέρει διάφορα οικονομικά οφέλη. Η ηλεκτρική ενέργεια και η θερμότητα παρέχονται σε χαμηλότερες τιμές με αποτέλεσμα σημαντική εξοικονόμηση πόρων. Επίσης, η μειωμένη ανάγκη σε καύσιμα μειώνει την εξάρτηση από τις εισαγωγές.
5. Προωθεί αποκεντρωμένες λύσεις ηλεκτροπαραγωγής, αφού οι σταθμοί ΣΗΘ σχεδιάζονται να ανταποκρίνονται στις ανάγκες των τοπικών καταναλωτών, παρέχοντας υψηλή απόδοση, αποφεύγοντας απώλειες μεταφοράς της ενέργειας και αυξάνοντας την ευελιξία στη χρήση του ηλεκτρικού συστήματος. Το πλεονέκτημα αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό, όταν το φυσικό αέριο χρησιμοποιείται σαν κύριο καύσιμο.
6. Αυξάνεται ο ανταγωνισμός στην ηλεκτροπαραγωγή καθώς αυξάνεται η ποικιλία των σταθμών ηλεκτρικής ενέργειας. Η συμπαραγωγή παρέχει ένα από τα σημαντικότερα μέσα για την προώθηση της απελευθέρωσης της αγοράς ενέργειας.

#### 4.1.2 Μειονεκτήματα Συμπαραγωγής

1. Μεγάλη αύξηση της πολυπλοκότητας τόσο του μοντέλου του προβλήματος όσο και της υλοποίησής του. Ηλεκτρισμός από οποιαδήποτε πηγή μπορεί να φτάσει στον πελάτη μέσω του υπάρχοντος ηλεκτρικού συστήματος ενός κτιρίου, απαιτώντας απλά μια διάταξη ηλεκτρονικών ισχύος για την επικοινωνία μεταξύ των γεννητριών και της καλωδίωσης του κτιρίου. Η συμπαραγωγή όμως, εκτός του ότι αυξάνει τις απαιτήσεις εξοπλισμού, απαιτεί και την εγκατάσταση κατάλληλων αντλιών και σωληνώσεων για τη μεταφορά του ζεστού νερού στα θερμικά σημεία χρήσης και χειριστήρια για να διατηρείται το απαιτούμενο επίπεδο θερμικής εισόδου.
2. Αν και με τη χρήση συμπαραγωγής, η συνολική συμβολή της χώρας στην υπερθέρμανση του πλανήτη μειώνεται, η βελτίωση της ποιότητας του αέρα τοπικά δεν είναι εξασφαλισμένη. Επίσης, είναι πιθανό να μειώνεται ένας ρύπος αλλά να αυξάνεται κάποιος άλλος. Το αποτέλεσμα εξαρτάται από τις τεχνολογίες και τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται. Τα τοπικά περιβαλλοντικά προβλήματα μπορούν να αμβλυνθούν μέσω

κατάλληλης τοποθέτησης στο χώρο, σχεδίασης, λειτουργίας και σωστής συντήρησης των εγκαταστάσεων συμπαραγωγής.

## **4.2 Τομείς Εφαρμογής των ΣΗΘ**

### **4.2.1 Τηλεθέρμανση (CHP/ΤΘ)**

Η οικονομική κλίμακα για ένα δίκτυο τηλεθέρμανσης με συμπαραγωγή είναι σημαντικό να είναι βιώσιμη. Οι μικρές διατάξεις (CHP/ΤΘ) είναι «φτωχοί» μετατροπείς του εισερχόμενου καυσίμου σε ηλεκτρική ενέργεια. Οι μεγάλες μονάδες (CHP/ΤΘ) είναι περισσότερο ελκυστικές γιατί μπορούν να χρησιμοποιήσουν μεγάλους σταθμούς ισχύος, οι οποίοι αποδίδουν σημαντικά ενεργειακά αποθέματα και παράγουν τόσο θερμότητα όσο και ηλεκτρική ενέργεια, με μεγαλύτερη οικονομία. Οι μονάδες μεγάλης κλίμακας μπορούν να παράγουν θερμότητα στο χώρο του σταθμού ισχύος με κόστος που μπορεί να είναι και το μισό του κόστους μιας κοινής μονάδας. Το κόστος μεταφοράς και διανομής αποτελούν τελικά τους παράγοντες που αυξάνουν το κόστος της θέρμανσης για τον καταναλωτή, και καθιστούν ακόμα και τις μεγάλες διατάξεις (CHP /ΤΘ) οριακά οικονομικές σε πολλές περιπτώσεις. Μια μονάδα (CHP/ΤΘ) για εφαρμογές στο εσωτερικό μιας μεγάλης πόλης, με τη χρήση μεσαίων/μεγάλων αεριοστροβίλων είναι μια ελκυστική οικονομική πρόταση για τους εθνικούς φυσικούς πόρους σε σύγκριση με εναλλακτικούς τρόπους θέρμανσης, αν ληφθούν υπόψη τα χαμηλότερα προεξοφλητικά επιτόκια (π.χ. 5%) και οι υψηλότερες τιμές καυσίμου. Οι μεσαίες/μεγάλες μονάδες (200–600MW) είναι περισσότερο οικονομικές και εξοικονομούν περισσότερη ενέργεια από ότι οι μικρές μονάδες παρόλο που μπορεί να είναι οικονομική η θέρμανση μικρών εγκαταστάσεων από τοπικούς σταθμούς ισχύος σε ορισμένες συνθήκες. Η εγκατάσταση μιας μεσαίας/μεγάλης μονάδας (CHP/ΤΘ) που εξυπηρετεί περιοχές με υψηλή πυκνότητα φορτίου θέρμανσης σε πόλεις φαίνεται μια ελκυστική εναλλακτική λύση από άποψη οικονομίας και εξοικονόμησης ενέργειας σε σύγκριση με άλλες αναπτυγμένες μορφές θέρμανσης.

Οι κρίσιμοι παράγοντες που καθορίζουν την επιτυχία και βιωσιμότητα ενός δικτύου τηλεθέρμανσης με συμπαραγωγή, είναι:

1. η πυκνότητα δόμησης
2. το προεξοφλητικό επιτόκιο
3. η τιμή του καυσίμου
4. το μέγεθος του δικτύου

Επιπλέον, οι θερμοκρασίες εισόδου και εξόδου του νερού ενός δικτύου τηλεθέρμανσης εμφανίστηκαν ως επιπρόσθετες καίριες παράμετροι με την πάροδο του χρόνου. Η διανομή του φορτίου θέρμανσης σε μια πόλη αποδείχθηκε σημαντική, όπως και η μέση πυκνότητα δόμησης.

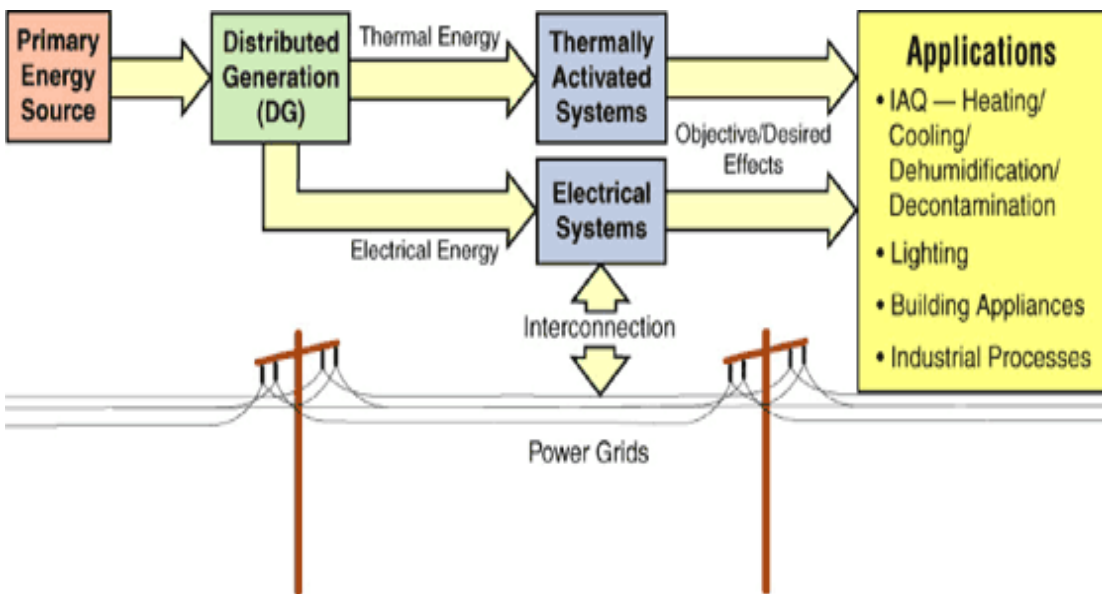
### **4.2.2 Βιομηχανικές και άλλες Εφαρμογές (CHP/BIO)**

Η τοποθέτηση μιας μονάδας (CHP/BIO) δεν είναι τόσο σαφής όσο στην περίπτωση της (CHP/ΤΘ). Είναι δύσκολο να γενικευθεί, αφού η κατάλληλη επιλογή της εγκατάστασης ποικίλει ανάλογα με την εφαρμογή. Γενικά, όμως, η περίπτωση της (CHP/BIO) είναι συνηθέστερη.

Όσον αφορά στις αρχές της Θερμοδυναμικής, η επιλογή του τύπου εγκατάστασης (CHP/BIO) εξαρτάται κατά πολύ, όχι μόνο από το λόγο ηλεκτρισμού – θερμότητας, αλλά και από το μέγεθος των απαιτήσεων σε θερμότητα και ηλεκτρική ενέργεια ξεχωριστά. Η διακύμανση στη ζήτηση, καθημερινά και εποχιακά, είναι επίσης σημαντική, αλλά θα πρέπει να σημειωθεί ότι, η παράλληλη

εγκατάσταση όμοιων μηχανών επιτρέπει στη συνολική εγκατάσταση να ακολουθήσει τη μείωση στη ζήτηση του φορτίου, θέτοντας εκτός λειτουργίας μία ή περισσότερες μηχανές.

Οι κρίσιμες παράμετροι επιλογής και σχεδιασμού μιας μονάδας (CHP/BIO) δεν είναι μόνο θερμοδυναμικές. Η πυκνότητα της δόμησης, προφανώς, δεν είναι σχετική, αλλά το προεξοφλητικό επιτόκιο, η διάρκεια ζωής της εγκατάστασης και η κλιμάκωση των τιμών καυσίμων είναι σημαντικές, όπως και για την περίπτωση των μονάδων (CHP/ΤΘ). Σημαντικές επίσης θεωρούνται και οι τιμές πώλησης (ή επαναγοράς) της ηλεκτρικής ενέργειας όπως επίσης οποιεσδήποτε τροποποιήσεις που πραγματοποιούνται στις τιμές των καυσίμων [21]. Η τεχνολογική ποικιλομορφία και η διαφοροποίηση των χαρακτηριστικών ηλεκτρικού και θερμικού φορτίου των διαφόρων εφαρμογών συμβάλλουν στην πολυπλοκότητα του βέλτιστου συνδυασμού των συστημάτων συμπαραγωγής.



**Σχήμα 4.4:** Η τοπική παραγωγή ισχύος καθιστά την ανακτώμενη θερμική ενέργεια διαθέσιμη για την κάλυψη των φορτίων των τελικών χρήσεων

Οι τεχνολογίες συμπαραγωγής, προκειμένου να είναι οικονομικά βιώσιμες, εφαρμόζονται σε περιπτώσεις όπου υπάρχει ταυτόχρονη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας (ή ψύξης). Τα συστήματα συμπαραγωγής μπορούν να θεωρηθούν ολοκληρωμένα ενεργειακά συστήματα, με την έννοια ότι μπορούν να καλύψουν όλες τις τελικές ενεργειακές χρήσεις (ηλεκτρισμό, θερμό νερό, ατμό, θερμό αέρα, ψύξη). Ένα σύστημα συμπαραγωγής μπορεί να συνδέεται με το ηλεκτρικό δίκτυο ή να είναι ανεξάρτητο από αυτό.

### 4.3 Σύγχρονες Τεχνικές ΣΗΘ

Με βασικό, αλλά ταυτόχρονα πολύ γενικό κριτήριο την προτεραιότητα που δίνεται στην παραγωγή της ηλεκτρικής ή της θερμικής ενέργειας σ' ένα σύστημα ΣΗΘ υπάρχουν δύο γενικοί χαρακτηρισμοί:

- **Συστήματα «Κορυφής» (Topping Systems):** Στα συστήματα «Κορυφής», ρευστό υψηλής θερμοκρασίας χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρισμού, ενώ η αποβαλλομένη θερμότητα χαμηλής θερμοκρασίας χρησιμοποιείται σε θερμικές διεργασίες, θέρμανση χώρων ή ακόμη και για παραγωγή πρόσθετης ηλεκτρικής ενέργειας.
- **Συστήματα «Βάσης» (Bottoming Systems):** Στα συστήματα «Βάσης», παράγεται πρώτα θερμική ενέργεια υψηλής θερμοκρασίας (όπως π.χ. σε φούρνους χαλυβουργείων, υαλουργείων, εργοστασίων τσιμέντου, κ.λπ.) και κατόπιν τα θερμά αέρια διοχετεύονται σε κατάλληλη διάταξη, όπου παράγεται ατμός που κινεί την στροβιλογεννήτρια. Είναι επίσης δυνατό, τα θερμά αέρια να διοχετευθούν κατευθείαν σε αεριοστρόβιλο, που κινεί γεννήτρια [47], [48], [49].

Ένα σύστημα ΣΗΘ αποτελείται κυρίως από τα ακόλουθα στοιχεία [47], [50]:

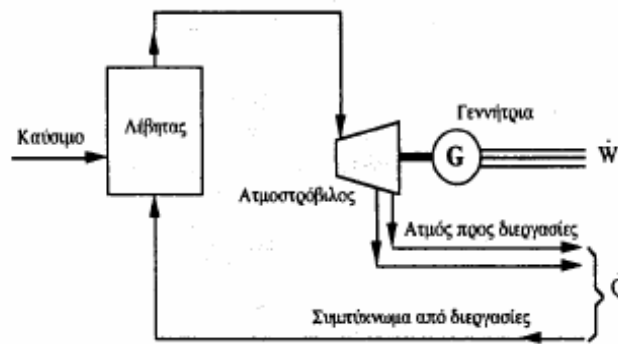
- **Τον κινητήρα (Prime Mover):** Ατμοστρόβιλος, Αεριοστρόβιλος, Παλινδρομική Μηχανή Εσωτερικής Καύσης, Συνδυασμένου Κύκλου, Κυψέλες Καυσίμου, Μηχανή Stirling ή Μικροτουρμπίνα. Ο κινητήρας κινεί τη γεννήτρια.
- **Το Σύστημα Ανάκτησης Θερμότητας:** Σύστημα που ανακτά την απορριπτόμενη θερμότητα από τα ρευστά που έχουν σχέση με τη λειτουργία της μηχανής (με εναλλάκτες ανάκτησης θερμότητας) και από τα καυσαέρια (με λέβητα ανάκτησης θερμότητας που αποκαλείται και λέβητας καυσαερίων).
- **Τη Γεννήτρια:** Σύγχρονη, Ασύγχρονη ή Αυτοδιεγειρόμενη Ασύγχρονη. Παράγει την ηλεκτρική ενέργεια.
- **Το Σύστημα Ελέγχου:** Μέσω αυτού διασφαλίζεται η ασφαλής και ικανοποιητική λειτουργία του συστήματος ΣΗΘ.

Επιγραμματικά τα πιο διαδεδομένα και ευρέως εφαρμόσιμα συστήματα ΣΗΘ είναι αυτά που περιγράφονται ευθύς αμέσως.

#### 4.3.1 Συστήματα Ατμοστρόβιλων (Αντίθλιψης, Απομάστευσης, Κύκλο Βάσης)

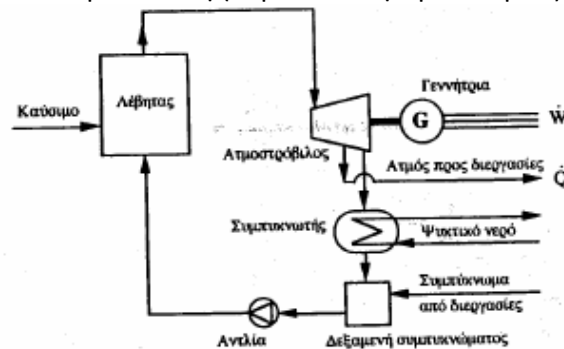
Είναι τα πιο διαδεδομένα συστήματα ΣΗΘ, κατάλληλα για τιμές ισχύος 500kW-100MW ή και μεγαλύτερες. Μπορούν να χρησιμοποιήσουν οποιοδήποτε καύσιμο. Ο βαθμός απόδοσης φθάνει το 60-85% και δεν μειώνεται σημαντικά κατά τη λειτουργία σε μερικό φορτίο. Για σύγκριση, υπενθυμίζεται ότι ο βαθμός απόδοσης ενός συμβατικού ατμοηλεκτρικού σταθμού βρίσκεται στην περιοχή του 35%. Όμως, ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης είναι χαμηλός (τιμές της τάξεως του 15-20% είναι συνηθισμένες), που συντελεί σε μικρό λόγο ηλεκτρισμού προς θερμότητα. Τα συστήματα ατμοστρόβιλου έχουν υψηλή αξιοπιστία που φτάνει το 95%, υψηλή διαθεσιμότητα της τάξεως του 90-95%, και μεγάλη διάρκεια ζωής (25-35 έτη). Όμως, ο χρόνος εγκατάστασης είναι σχετικά μεγάλος, καθώς απαιτούνται από 12-18 μήνες για μικρές μονάδες έως και τρία έτη για μεγαλύτερα συστήματα.

Στα συστήματα ΣΗΘ με Ατμοστρόβιλο Αντίθλιψης ο ατμός βγαίνει από τον στρόβιλο σε πίεση και θερμοκρασία κατάλληλη για τις θερμικές διεργασίες. Ο όρος «αντίθλιψη» οφείλεται στο ότι η πίεση αυτή είναι μεγαλύτερη της ατμοσφαιρικής (3-20bar).



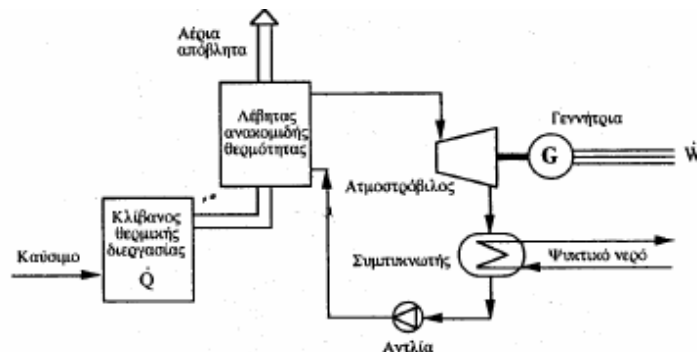
**Σχήμα 4.5:** Σύστημα συμπαραγωγής με ατμοστρόβιλο αντίθλιψης

Στα συστήματα ΣΗΘ με Ατμοστρόβιλο Απομάστευσης μέρος του ατμού απομαστεύεται από μία ή περισσότερες ενδιάμεσες βαθμίδες του στροβίλου στις επιθυμητές πιέσεις, ενώ ο υπόλοιπος εκτονώνεται μέχρι την πίεση του συμπυκνωτή (λέγεται και ψυγείο ατμού) που είναι 0,05-0,10bar.



**Σχήμα 4.6:** Σύστημα συμπαραγωγής με ατμοστρόβιλο απομάστευσης

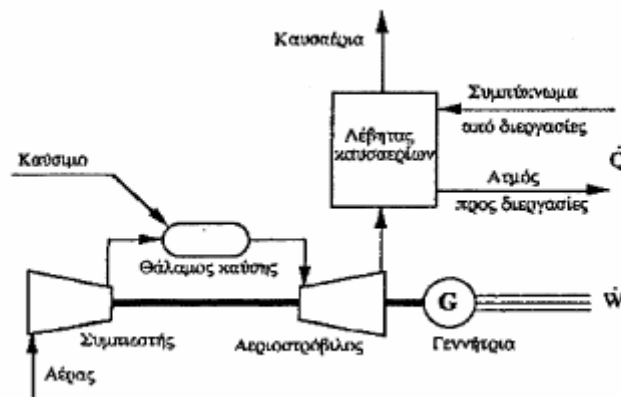
Στα συστήματα ΣΗΘ με Ατμοστρόβιλο σε Κύκλο Βάσης αέρια απόβλητα, από διάφορες βιομηχανίες θερμικών διεργασιών, υψηλής θερμοκρασίας, μπορούν να περάσουν μέσα από έναν λέβητα ανακομιδής θερμότητας, όπου παράγεται ατμός που κινεί μια ατμοστροβιλογεννήτρια. Έτσι, η μονάδα παραγωγής θερμότητας μετατρέπεται σε σύστημα ΣΗΘ με κύκλο βάσης.



**Σχήμα 4.7:** Σύστημα συμπαραγωγής με κύκλο βάσης ατμού

#### 4.3.2 Συστήματα Αεριοστρόβιλου Ανοικτού ή Κλειστού Κύκλου

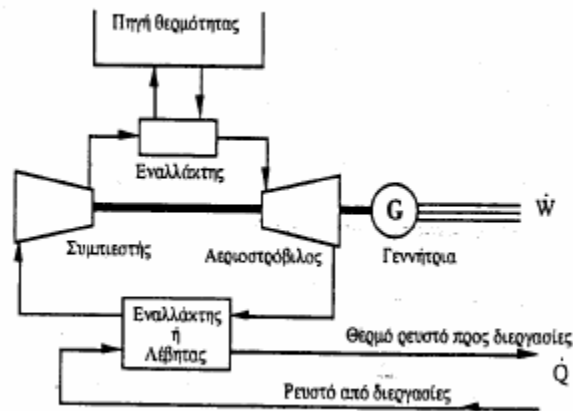
Οι περισσότερες αεριοστροβλικές μονάδες είναι ανοικτού τύπου: αέρας αναρροφάται από την ατμόσφαιρα, συμπιέζεται και οδηγείται στο θάλαμο καύσης. Η σημαντική ισχύς που απαιτείται για την κίνηση του συμπιεστή και η υψηλή θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων είναι οι κύριες αιτίες του μικρού βαθμού απόδοσης ενός τέτοιου συστήματος ηλεκτροπαραγωγής (25-35% και σε σύγχρονες προηγμένες μονάδες 40%). Η υψηλή θερμοκρασία των καυσαερίων κάνει τις μονάδες αυτές ιδανικές για ΣΗΘ, γεγονός που αυξάνει τον βαθμό απόδοσης στο 60-80%. Τα συστήματα συμπαραγωγής με αεριοστρόβιλο ανοικτού κύκλου έχουν ισχύ από 100kW έως 100MW. Λειτουργούν συνήθως με φυσικό αέριο ή ελαφρά αποστάγματα πετρελαίου, ενώ ευσίωνες παρουσιάζονται οι προοπτικές για χρήση γαιανθράκων σε εξαερωμένη μορφή. Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν αέρια καύσιμα που παράγονται π.χ. κατά την καταλυτική σχάση υδρογονανθράκων σε διυλιστήρια πετρελαίου. Ο χρόνος εγκατάστασης των συστημάτων συμπαραγωγής αεριοστρόβιλων είναι 9-14 μήνες για ισχύ μέχρι 7MW και φθάνει τα δύο έτη για μεγαλύτερες μονάδες. Οι μονάδες που λειτουργούν με υγρό καύσιμο απαιτούν πιο συχνές συντηρήσεις, με συνέπεια τη χαμηλότερη διαθεσιμότητα. Η χρήσιμη διάρκεια ζωής είναι 15-20 έτη και μπορεί να μειωθεί σημαντικά από καύσιμο κακής ποιότητας ή ανεπαρκή συντήρηση. Σε σύγκριση με τα συστήματα ατμοστρόβιλου, τα συστήματα αεριοστρόβιλου ανοικτού κύκλου έχουν υψηλότερο ηλεκτρικό βαθμό απόδοσης, τόσο στο πλήρες φορτίο, όσο και σε μερικό φορτίο, αλλά η μείωσή του σε μερικό φορτίο είναι πιο έντονη. Επίσης, ο λόγος ηλεκτρισμού προς θερμότητα είναι υψηλότερος.



Σχήμα 4.8: Σύστημα συμπαραγωγής με αεριοστρόβιλο ανοικτού κύκλου

Στα συστήματα κλειστού κύκλου το εργαζόμενο ρευστό (συνήθως ήλιο ή αέρας) κυκλοφορεί σε κλειστό κύκλωμα. Θερμαίνεται μέχρι την κατάλληλη θερμοκρασία σε εναλλάκτη θερμότητας, πριν από την είσοδο στον αεριοστρόβιλο, και ψύχεται μετά την έξοδό του από αυτόν. Καθώς το ρευστό δεν συμμετέχει στην καύση, διατηρείται καθαρό και έτσι αποφεύγεται η μηχανική και η χημική διάβρωση του αεριοστρόβιλου από τα προϊόντα της καύσης. Η εξωτερική καύση επιτρέπει τη χρήση οποιουδήποτε καυσίμου στα συστήματα αυτά: άνθρακα, απόβλητα βιομηχανιών ή πόλεων, βιομάζα, υγρά ή αέρια καύσιμα παραγόμενα από βιομάζα, κλπ. Η πυρηνική ή η ηλιακή ενέργεια μπορούν επίσης να αποτελέσουν πηγή θερμότητας. Ο αριθμός των συγκεκριμένων μονάδων εν χρήσει είναι περιορισμένος. Ο βαθμός απόδοσης και ο λόγος ηλεκτρισμού προς θερμότητα

βρίσκονται στα ίδια περίπου επίπεδα με εκείνα των συστημάτων ανοικτού κύκλου. Τα συστήματα κλειστού κύκλου έχουν το πλεονέκτημα ότι ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης δεν μειώνεται σε μερικό φορτίο. Ο ολικός βαθμός απόδοσης σε μερικό φορτίο εξαρτάται κυρίως από τον βαθμό απόδοσης της πηγής θερμότητας.

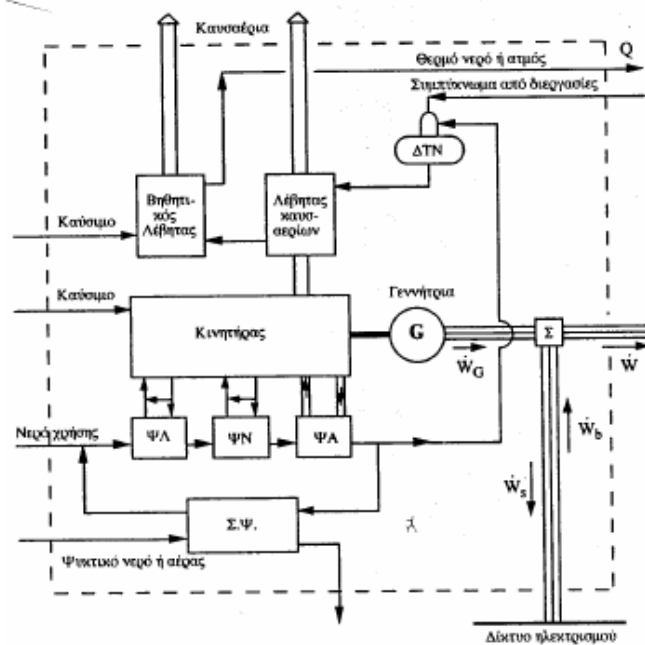


Σχήμα 4.9: Σύστημα συμπαραγωγής με αεριοστρόβιλο κλειστού κύκλου

#### 4.3.3 Συστήματα με Παλινδρομική Μηχανή Εσωτερικής Καύσης

Διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες:

- Μονάδες μικρής κλίμακας με αεριομηχανή (15-1000kW) ή κινητήρα Diesel (75-1000kW),
- Συστήματα μέσης ισχύος(1000-6000kW) με αεριομηχανή ή κινητήρα Diesel,
- Συστήματα μεγάλης ισχύος ( άνω των 6000kW ) με κινητήρα Diesel.



Σχήμα 4.10: Σύστημα συμπαραγωγής με παλινδρομική μηχανή εσωτερικής καύσης



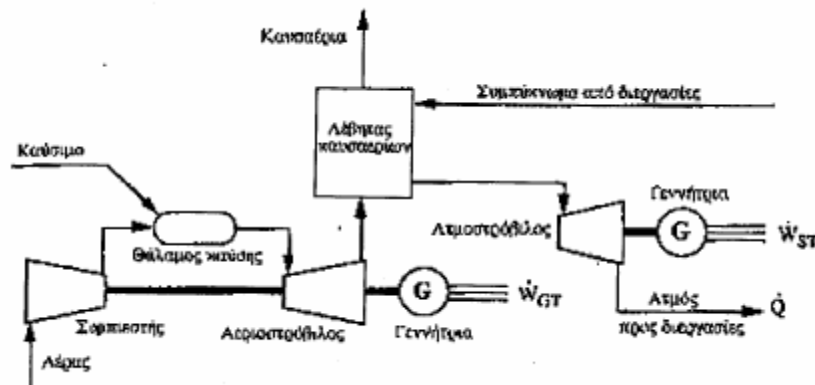
Δύο από τα πλεονεκτήματα των συστημάτων αυτών είναι τα εξής:

- α) ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης όχι μόνο είναι υψηλός, αλλά και πολύ λίγο επηρεάζεται από τις μεταβολές φορτίου,
- β) η απόκριση του συστήματος στις μεταβολές φορτίου είναι ταχύτατη, χωρίς να παρουσιάζεται έντονη αύξηση της κατανάλωσης καυσίμου κατά τις μεταβατικές περιόδους.

Η διάρκεια ζωής είναι 15-20 έτη και εξαρτάται από το μέγεθος της μονάδας, την ποιότητα του καυσίμου και την ποιότητα της συντήρησης. Οι παλινδρομικοί κινητήρες απαιτούν τακτικότερη συντήρηση απ' ό,τι άλλα συστήματα με αποτέλεσμα μικρότερη μέση ετήσια διαθεσιμότητα: 80-90%.

#### 4.3.4 Συστήματα Συνδυασμένου Κύκλου

Ο όρος «Συνδυασμένος Κύκλος» ή Combined Cycle (CC) αναφέρεται σε συστήματα με δύο θερμοδυναμικούς κύκλους, οι οποίοι συνδέονται μεταξύ τους με κάποιο εργαζόμενο ρευστό και λειτουργούν σε διαφορετικές θερμοκρασίες. Ο κύκλος υψηλής θερμοκρασίας (κορυφής) αποβάλλει θερμότητα, που ανακτάται και χρησιμοποιείται από τον κύκλο χαμηλής θερμοκρασίας (βάσης) για την παραγωγή πρόσθετης ηλεκτρικής ή μηχανικής ενέργειας, αυξάνοντας έτσι τον βαθμό απόδοσης. Τα πιο διαδεδομένα συστήματα συνδυασμένου κύκλου είναι εκείνα με συνδυασμό αεριοστρόβιλου-ατμοστρόβιλου (κύκλοι Joule-Rankine). Η ισχύς των συστημάτων συνδυασμένου κύκλου κυμαίνεται συνήθως στην περιοχή 20-400MW, ενώ κατασκευάζονται επίσης μικρότερες μονάδες με ισχύ 4-11MW. Η συγκέντρωση ισχύος (ισχύς ανά μονάδα όγκου) των συστημάτων αυτών είναι υψηλότερη από τη συγκέντρωση ισχύος των συστημάτων απλού κύκλου αεριοστρόβιλου (Joule) ή ατμοστρόβιλου (Rankine). Ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης βρίσκεται συνήθως στην περιοχή του 35-45%, ενώ ο ολικός βαθμός απόδοσης είναι 70-88%. Λειτουργία σε μερικό φορτίο έχει αρνητική επίδραση στον βαθμό απόδοσης του συστήματος. Η αξιοπιστία των συστημάτων συνδυασμένου κύκλου είναι 80-85%, η μέση ετήσια διαθεσιμότητα 77-85% και ο οικονομικός χρόνος ζωής 15-25 έτη.



Σχήμα 4.11: Σύστημα συμπαραγωγής συνδυασμένου κύκλου με ατμοστρόβιλο αντίθληψης

#### 4.3.5 Κύκλοι Βάσης Rankine Με Οργανικά Ρευστά

Η παραγωγή ηλεκτρικής ή μηχανικής ενέργειας με ανάκτηση θερμότητας χαμηλής θερμοκρασίας (80-300°C) είναι δυνατή εάν χρησιμοποιηθούν οργανικά ρευστά, που έχουν θερμοκρασία βρασμού αρκετά χαμηλότερης εκείνης του νερού. Έτσι, πηγές θερμότητας μπορούν να είναι η ηλιακή ενέργεια, βιομηχανικά απόβλητα, γεωθερμική ενέργεια, καυσαέρια ή θερμότητα ψύξης μηχανών, κ.λπ. Ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης εξαρτάται από τη θερμοκρασία στην οποία είναι διαθέσιμη η θερμότητα. Είναι δυνατή η λειτουργία τέτοιων συστημάτων με διαθέσιμο ρευστό θερμοκρασίας ακόμη και 75°C. Για θερμοκρασίες 75-425°C, ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης κυμαίνεται στην περιοχή 5-30%. Οι πιο συνηθισμένες τιμές είναι 10-20%. Ο χρόνος εγκατάστασης μικρών συστημάτων (μέχρι 50 kW), και ιδιαίτερα εκείνων που είναι κατάλληλα για χρήση στον εμπορικό-κτιριακό τομέα, είναι 4-8 μήνες, ενώ για μεγαλύτερες μονάδες είναι 1-2 έτη. Εκτιμάται ότι η μέση ετήσια διαθεσιμότητά τους είναι 80-90%. Η αναμενόμενη διάρκεια ζωής τους είναι περίπου 20 έτη.

#### 4.3.6 Κυψέλες Καυσίμου

Κύρια πλεονεκτήματά τους είναι τα ακόλουθα :

- αρθρωτή (modular) δομή, που διευκολύνει την κατασκευή μονάδων με την επιθυμητή ισχύ,
- διατήρηση υψηλού ηλεκτρικού βαθμού απόδοσης ακόμα και σε μερικό φορτίο (δηλ. φορτίο μικρότερο του ονομαστικού),
- ευκολία αυτοματισμού,
- χαμηλές εκπομπές ρύπων,
- χαμηλή στάθμη θορύβου.

Οι χαμηλές εκπομπές ρύπων και η χαμηλή στάθμη θορύβου κάνουν τις κυψέλες καυσίμου πιο κατάλληλες από άλλα συστήματα για εγκατάσταση και λειτουργία σε κατοικημένες περιοχές και σε κτίρια όπως ξενοδοχεία, νοσοκομεία, κ.λπ. Μειονεκτήματα, που εμποδίζουν προς το παρόν την πλατιά διάδοσή τους, είναι :

- το υψηλό κόστος κατασκευής και
- η σχετικά μικρή διάρκεια ζωής.

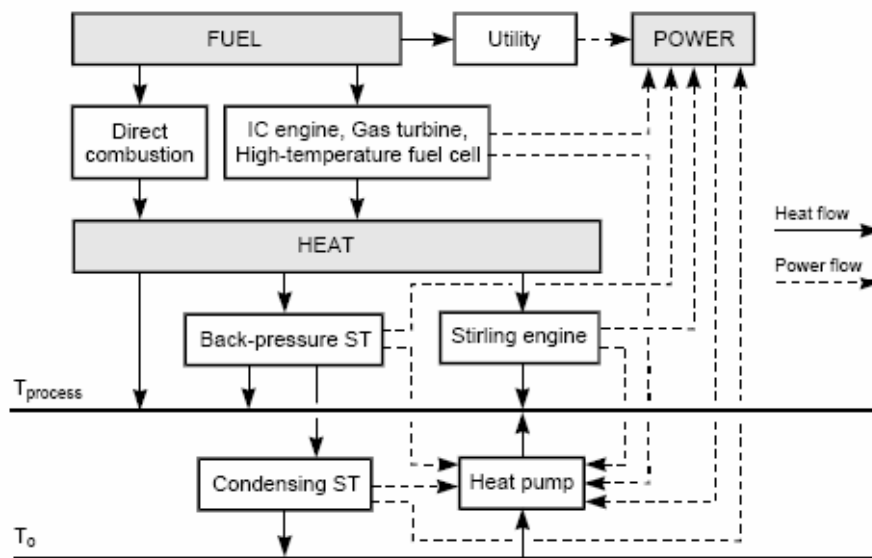
#### 4.3.7 Μηχανές Stirling

Ο κύκλος Stirling έχει τη δυνατότητα υψηλότερου βαθμού απόδοσης από τους κύκλους Rankine (ατμοστροβίλου) ή Brayton (αεριοστροβίλου), διότι πλησιάζει προς τον κύκλο Carnot πολύ περισσότερο απ' ό,τι εκείνοι. Ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης βρίσκεται σήμερα στην περιοχή του 40%, ενώ αναμένεται βελτίωσή του στη στάθμη του 50%. Η απόδοση διατηρείται σταθερή και σε μερικό φορτίο. Ο ολικός βαθμός απόδοσης βρίσκεται στην περιοχή 60-80%, ενώ ο λόγος ηλεκτρισμού προς θερμότητα είναι 1,2-1,7.

#### 4.3.8 Τυποποιημένες Μονάδες – «Πακέτα»

Μεγάλη ώθηση στη διάδοση της ΣΗΘ αναμένεται ότι θα δώσει η μαζική παραγωγή τυποποιημένων μονάδων σε μορφή πακέτου με ηλεκτρική ισχύ 10-100kW. Αυτά προσφέρουν χαμηλό κόστος και εύκολη εγκατάσταση, αφού το μόνο που απαιτείται είναι η σύνδεση τους με τα υδραυλικά και ηλεκτρικά δίκτυα. Έχουν μικρό όγκο και η λειτουργία τους είναι αυτοματοποιημένη,

χωρίς να υπάρχει ανάγκη για συνεχή παρακολούθηση από εξειδικευμένο προσωπικό. Οι μονάδες αυτές συνήθως έχουν κινητήρα Diesel, ενώ σε ισχύ μεγαλύτερη των 600kW είναι δυνατή η χρήση αεριοστρόβιλου. Μπορούν να λειτουργούν με υγρό ή αέριο καύσιμο. Από σχετικές μελέτες έχει υπολογιστεί ότι η διαθεσιμότητα κυμαίνεται στο 79% με τυπική απόκλιση 22,9%. Στις μονάδες-πακέτα, το 27-35% της ενέργειας του καυσίμου μετατρέπεται σε ηλεκτρισμό και το 50-55% σε θερμότητα. Άρα, ο λόγος ηλεκτρισμού προς θερμότητα είναι 0.5-0.7, ενώ ο ολικός βαθμός απόδοσης φθάνει το 80%. Μικροεπεξεργαστές εγκατεστημένοι στο χώρο όπου βρίσκεται η μονάδα, παρακολουθούν τις τιμές κρίσιμων παραμέτρων και μεταβιβάζουν τις σχετικές πληροφορίες, μέσω αποκλειστικής τηλεφωνικής γραμμής σε κεντρικό υπολογιστή. Όταν η εξέλιξη των τιμών ορισμένων παραμέτρων δείχνει επερχόμενη βλάβη, ειδοποιείται η ομάδα συντήρησης, που επεμβαίνει πριν ακόμη η βλάβη εκδηλωθεί. Πιθανοί συνδυασμοί των παραπάνω περιπτώσεων απεικονίζονται στο ακόλουθο σχήμα.



Σχήμα 4.12: Πιθανοί Συνδυασμοί Μηχανών ΣΗΘ

#### 4.4 Επιδόσεις Σταθμών ΣΗΘ

Γενικά, η επιλογή του κατάλληλου κινητήρα εξαρτάται κυρίως από τη απαιτούμενη δυναμικότητα και το προφίλ του καταναλωτή. Οι ατμοστρόβιλοι και αεριοστρόβιλοι έχουν μεγάλες απαιτήσεις σε χώρο αλλά δίνουν ατμό πολύ υψηλής πίεσης. Απευθύνονται συνήθως σε μεγάλους καταναλωτές με απαιτήσεις για μεγάλη πτώση πίεσης. Οι μηχανές εσωτερικής καύσης είναι πιο ευέλικτες, κατάλληλες για μεσαίους καταναλωτές που δεν έχουν μεγάλες απαιτήσεις σε θερμότητα καθώς δίνουν ζεστό νερό ή ατμό χαμηλής πίεσης. Εμφανίζουν επίσης, πολύ καλή συμπεριφορά κατά τη λειτουργία τους σε μερικό φορτίο. Συνήθως πωλούνται ως τυποποιημένα πακέτα ΣΗΘ και προτιμώνται από μεγάλους εμπορικούς καταναλωτές. Οι Μικροτουρμπίνες έχουν μεγάλη ευελιξία στην επιλογή του καυσίμου, είναι διαθέσιμοι σε πολύ μικρές τιμές ισχύος και παρέχουν ζεστό νερό. Τέλος, οι κυψέλες καυσίμου είναι εξαιρετικά καθαρή τεχνολογία, αλλά ακόμα είναι πάρα πολύ ακριβές για την εγκατάσταση και την λειτουργία τους. Η διαστασιολόγηση των μονάδων ΣΗΘ εξαρτάται κυρίως από τις ανάγκες σε θερμικά φορτία, αλλά και από τις βασικές ανάγκες για τη λειτουργία της επιχείρησης σε ηλεκτρικά φορτία.

ΤΥΠΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	Ηλεκτρική Ισχύς (MW)	HPR	$\eta_{el}$ (%)	EUf (%)
Ατμοστρόβιλος Αντίθλιψης	0,5 – 500	4,0 – 14,3	14 – 28	84 – 92
Ατμοστρόβιλος Απομάστευσης	1 – 100	2,0 – 10,0	22 – 40	60 – 80
Αεριοστρόβιλος με Ανάκτηση Θερμότητας	0,25 – 50	1,3 – 2,0	25 – 35	70 – 85
Συνδυασμένος Κύκλος	3 – 300	1,0 – 1,7	35 – 45	73 – 90
Οργανικός Κύκλος	0,5	1,1-2,5	5 – 20	70 – 85

Ο συντελεστής χρησιμοποίησης ενέργειας (Energy Utilization Factor, EUf) ή συνολικός βαθμός απόδοσης αποτελεί το άθροισμα του ηλεκτρικού και του θερμικού βαθμού απόδοσης.  
HPR: Λόγος Θερμικής προς Ηλεκτρικής Ισχύος Εξόδου.  $\eta_{el}$ : Βαθμός Ηλεκτρικής Απόδοσης.

**Πίνακας 4.1:** Επιδόσεις Συστημάτων ΣΗΘ

Σύστημα	Uwe	Μέση Ετήσια Διαθεσιμότητα (%)	$\eta_e$		$\eta$ (%)	PHR
	(MW)		Φορτίο 100%	Φορτίο 50%		
ST	0,5-100	90-95	14-35	12-28	60-85	0,1-0,5
GT (Ανοιχτός Κύκλος)	0,1-100	90-95	25-40	18-30	60-80	0,5-0,8
GT(Κλειστός Κύκλος)	0,5-100	90-95	30-35	30-35	60-80	0,5-0,8
CCPP	4-100-	77-85	35-45	25-35	70-88	0,6-2,0
Diesel	0,07-50	80-90	35-45	32-40	60-85	0,8-2,4
Otto	0,015-2	80-85	27-40	25-35	60-80	0,5-0,7
Fuel Cells	0,04-50	90-92	37-45	37-45	85-90	0,8-1,0
Stirling	0,003-1,5	85-90	35-50	34-49	60-80	1,2-1,7

**Πίνακας 4.2:** Βασικά Τεχνικά Χαρακτηριστικά Συστημάτων ΣΗΘ

Όσον αφορά την εγκατάσταση ενός μεμονωμένου συστήματος ΣΗΘ σε κατοικημένες περιοχές προϋποθέτει την:

- Επιλογή Τεχνολογίας με Χαμηλές Εκπομπές Ρύπων,
- Προσεκτική Επιλογή του Τόπου Εγκατάστασης,
- Τοποθέτηση Εξοπλισμού Ελέγχου και Περιορισμού των Εκπεμπόμενων Ρύπων,
- Ελαστική Έδραση και Ηχητική Μόνωση του Συστήματος,
- Κατασκευή Καπνοδόχου Υψηλότερης των Γειτονικών Κτιρίων,
- Εγκατάσταση Μέσων Συλλογής και Αποκομιδής των Στερεών και Υγρών Καταλοίπων.

#### 4.5 Τρόποι Λειτουργίας Συστημάτων ΣΗΘ

Ένα μεγάλο πρόβλημα στο θερμοδυναμικό σχεδιασμό μίας μονάδας ΣΗΘ είναι η εξισορρόπηση μεταξύ ηλεκτρικής ισχύος και φορτίων ατμού. Για παράδειγμα, η απαίτηση σε ατμό εξαρτάται από τα θερμικά και ψυκτικά φορτία που μπορεί να εξαρτώνται από σημαντικές εποχιακές μεταβολές, ενώ η ζήτηση σε ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να παρουσιάσει μέγιστο το χειμώνα ή το καλοκαίρι ανάλογα με τη γεωγραφική θέση. Σε μερικές περιπτώσεις το σύστημα μπορεί να σχεδιαστεί για να ικανοποιεί το κυρίως θερμικό φορτίο και ο αεριοστρόβιλος που επιλέγεται μπορεί να παρέχει

πολύ μεγαλύτερη ισχύ από αυτή που απαιτείται από τη μονάδα και στην περίπτωση αυτή η επιπλέον ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να μεταφερθεί στο διασυνδεδεμένο δίκτυο. Μία άλλη δυνατότητα είναι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας να αποτελεί την βασική προτεραιότητα.

Οι κυριότεροι τρόποι λειτουργίας (modes) ενός συστήματος ΣΗΘ, δηλαδή οι τρόποι ρύθμισης της ηλεκτρικής και θερμικής ισχύος σε κάθε χρονική στιγμή είναι:

- **Κάλυψη του Θερμικού Φορτίου (Heat Match)** Σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή, η ωφέλιμη παραγωγή θερμότητας του συστήματος ΣΗΘ είναι ίση με το θερμικό φορτίο. Εάν η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια είναι μεγαλύτερη από το φορτίο η πλεονάζουσα ενέργεια πωλείται στο δίκτυο, ενώ εάν είναι μικρότερη η συμπληρωματική ηλεκτρική ενέργεια αγοράζεται από το δίκτυο.
- **Κάλυψη του Θερμικού Φορτίου Βάσης** Στην περίπτωση αυτή, το σύστημα ΣΗΘ διαστασιολογείται ώστε να παρέχει την ελάχιστη απαιτούμενη θερμική ενέργεια για την εγκατάσταση. Εφεδρικοί λέβητες ή καυστήρες χρησιμοποιούνται κατά τη διάρκεια των περιόδων που η ζήτηση θερμότητας είναι υψηλότερη. Ο κύριος κινητήρας της μονάδας λειτουργεί πάντα υπό πλήρες φορτίο. Εάν η ανάγκη για ηλεκτρική ενέργεια της εγκατάστασης υπερβαίνει αυτήν που μπορεί να παρέχει ο κύριος κινητήρας, τότε η υπόλοιπη ποσότητα μπορεί να αγοραστεί από το δίκτυο. Αντίστοιχα, η πλεονάζουσα ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να πωληθεί σε ηλεκτρική εταιρία.
- **Κάλυψη του Ηλεκτρικού Φορτίου (Electricity Match)** Κάθε χρονική στιγμή η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια είναι ίση με το ηλεκτρικό φορτίο. Εάν η συμπαραγόμενη θερμότητα είναι μικρότερη από το θερμικό φορτίο ένας βοηθητικός λέβητας υποβοηθά στην κάλυψη των αναγκών, ενώ εάν είναι μεγαλύτερη η πλεονάζουσα θερμότητα απορρίπτεται στο περιβάλλον μέσω συσκευών ψύξης ή μέσω των καυσαερίων και εάν το επιτρέπουν οι συνθήκες, η πλεονάζουσα θερμική ενέργεια μπορεί να πωληθεί σε γειτονικούς πελάτες.
- **Κάλυψη του Ηλεκτρικού Φορτίου Βάσης** Σε αυτήν τη διάταξη, η μονάδα ΣΗΘ διαστασιολογείται ώστε να ικανοποιεί την ελάχιστη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας της εγκατάστασης, βάσει της καμπύλης των ιστορικών αναγκών. Οι υπόλοιπες ανάγκες σε ηλεκτρισμό καλύπτονται από το δίκτυο. Οι θερμικές ανάγκες της εγκατάστασης θα μπορούσαν να καλυφθούν από το σύστημα ΣΗΘ μόνο ή με πρόσθετους λέβητες. Εάν η θερμική ενέργεια που παράγεται σύμφωνα με το ηλεκτρικό φορτίο βάσης υπερβαίνει τις απαιτήσεις της εγκατάστασης, και εάν το επιτρέπουν οι συνθήκες, η πλεονάζουσα θερμική ενέργεια μπορεί να πωληθεί σε γειτονικούς πελάτες.
- **Μεικτός Τρόπος** Σε ορισμένες χρονικές περιόδους ακολουθείται ο τρόπος κάλυψης του θερμικού φορτίου, ενώ σε άλλες περιόδους ακολουθείται ο τρόπος κάλυψης του ηλεκτρικού φορτίου. Η απόφαση βασίζεται στην εκτίμηση παραμέτρων όπως είναι τα επίπεδα των φορτίων, η τιμή των καυσίμων και το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας κατά την συγκεκριμένη ημέρα και ώρα.
- **Αυτόνομη Λειτουργία** Υφίσταται πλήρης κάλυψη των ηλεκτρικών και θερμικών φορτίων σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή χωρίς σύνδεση με το δίκτυο. Αυτός ο τρόπος απαιτεί να διαθέτει το σύστημα ηλεκτρική και θερμική δυναμικότητα εφεδρείας, έτσι ώστε στην περίπτωση που μια μονάδα τεθεί εκτός λειτουργίας για οποιοδήποτε λόγο, οι υπόλοιπες μονάδες να είναι σε θέση να καλύψουν το ηλεκτρικό και το θερμικό φορτίο. Αυτή είναι και η πιο δαπανηρή στρατηγική, τουλάχιστον από την άποψη του αρχικού κόστους του συστήματος [48].

Γενικά, η λειτουργία κάλυψης του θερμικού φορτίου οδηγεί στον υψηλότερο βαθμό αξιοποίησης του καυσίμου και ίσως στην καλύτερη οικονομική απόδοση του συστήματος ΣΗΘ, τόσο στο βιομηχανικό όσο και στον κτιριακό τομέα. Στον τομέα των εταιριών ηλεκτροπαραγωγής, ο τρόπος λειτουργίας εξαρτάται από το συνολικό φορτίο του δικτύου, τη διαθεσιμότητα των μονάδων ηλεκτροπαραγωγής και τις υποχρεώσεις της εταιρίας προς τους πελάτες της, όσον αφορά την τροφοδοσία τους με ηλεκτρική ενέργεια και θερμότητα. Για τη λειτουργία των συστημάτων ΣΗΘ, διατίθενται συστήματα ελέγχου βασισμένα σε μικροεπεξεργαστές. Αυτά παρέχουν τη δυνατότητα τα διάφορα συστήματα ΣΗΘ να λειτουργούν για την κάλυψη του φορτίου βάσης, να παρακολουθούν τα ηλεκτρικά ή τα θερμικά φορτία, είτε να λειτουργούν κατά ένα οικονομικοτεχνικά βέλτιστο τρόπο (τρόπος μικτής κάλυψης). Στην τελευταία περίπτωση, ο μικροεπεξεργαστής μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επίβλεψη της απόδοσης του συστήματος ΣΗΘ, περιλαμβανόμενων:

- Του βαθμού απόδοσης του συστήματος και του ποσού της διαθέσιμης ωφέλιμης θερμότητας,
- Των ηλεκτρικών και των θερμικών αναγκών του χρήστη,
- Της ποσότητας της πλεονάζουσας ηλεκτρικής ενέργειας που πρέπει να αποδοθεί στο δίκτυο, και του ποσού της θερμότητας που πρέπει να απορριφθεί στο περιβάλλον,
- Του κόστους της αγοραζόμενης ηλεκτρικής ενέργειας και της αξίας των πωλήσεων ηλεκτρικής ενέργειας, δεδομένου ότι αυτά μπορεί να μεταβάλλονται, ανάλογα με την ώρα της ημέρας, την ημέρα της εβδομάδας, ή την εποχή.

Με βάση τα δεδομένα αυτά, ο μικροεπεξεργαστής μπορεί να καθορίσει ποιος τρόπος λειτουργίας είναι ο πιο οικονομικός, ακόμη και το κατά πόσο η μονάδα πρέπει να διακόψει τη λειτουργία της. Επιπλέον, με την παρακολούθηση των παραμέτρων λειτουργίας, όπως είναι η απόδοση, οι ώρες λειτουργίας, η θερμοκρασία των καυσαερίων, οι θερμοκρασίες του νερού ψύξης, κ.λπ., ο μικροεπεξεργαστής μπορεί να βοηθήσει στον προγραμματισμό της συντήρησης του συστήματος. Εάν το σύστημα λειτουργεί χωρίς άμεση επίβλεψη, ο μικροεπεξεργαστής μπορεί να συνδεθεί μέσω τηλεφωνικής γραμμής με ένα κέντρο τηλεπαρακολούθησης, όπου η ανάλυση των δεδομένων μέσω Η/Υ μπορεί να προειδοποιήσει το εξειδικευμένο προσωπικό για μία επικείμενη ανάγκη προγραμματισμένης ή μη συντήρησης.

Κατά τη σχεδίαση ενός συστήματος ΣΗΘ θα πρέπει να δοθεί προσοχή στον ορισμό των συνθηκών περιβάλλοντος που θα χρησιμοποιηθούν για τον χαρακτηρισμό του συστήματος. Για παράδειγμα σε ψυχρά κλίματα η θερμοκρασία εξαγωγής των καυσαερίων του αεριοστρόβιλου είναι σημαντικά μειωμένη με άμεση συνέπεια την απώλεια ποσοστού ατμοπαραγωγής και αυτό μπορεί να οδηγήσει στην απαίτηση για συμπληρωματική καύση. Αν ο σχεδιασμός βασίζεται σε συνθήκες μίας αντιπροσωπευτικής ημέρας, τότε δεν θα μπορεί να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις σε μία πολύ κρύα ημέρα. Ο καθορισμός ισχύος του συστήματος ΣΗΘ πρέπει να λάβει υπόψη του εποχιακές μεταβολές θερμοκρασίας και να σιγουρευτεί ότι μπορούν να ικανοποιηθούν οι κρίσιμες συνθήκες.

## Κεφάλαιο 5: ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΑ – ΕΞΥΠΝΑ ΔΙΚΤΥΑ

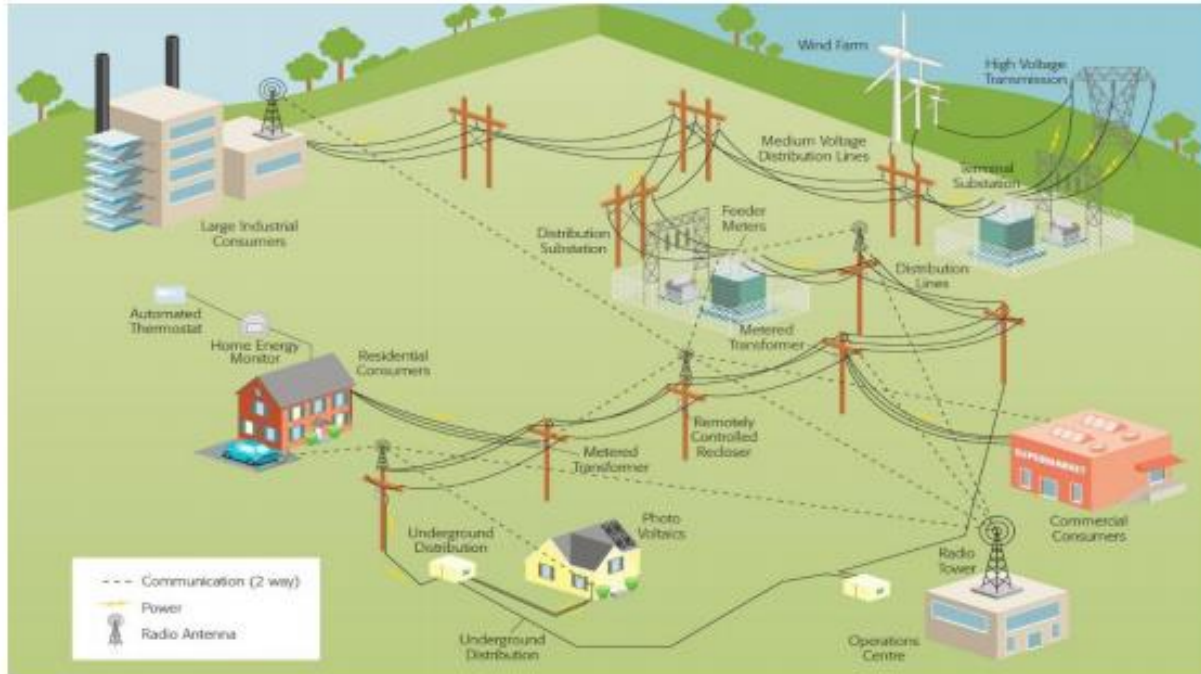
### 5.1 Εισαγωγή στα Μικροδίκτυα

Τα Μικροδίκτυα περιλαμβάνουν διεσπαρμένες μικροπηγές (DERS) αποτελούμενες από συστήματα φωτοβολταϊκών, ανεμογεννήτριες, κυψέλες καυσίμων, μικροτουρμπίνες, γεννήτριες πετρελαίου και μπαταρίες για να σχηματίσουν ένα ολόκληρο σύστημα που είναι μεγαλύτερο από τα μέρη τους. Προσδιορίζονται για να τροφοδοτούν κατ' αποκλειστικότητα όλη τη ζήτηση ενός συνόλου καταναλωτών. Έτσι ένα μικροδίκτυο μπορεί να εγκατασταθεί εκεί όπου υπάρχει μία από τις παραπάνω φυσικές πηγές ενέργειας και μπορεί να καλύπτει τις καταναλώσεις της περιοχής όπου εγκαθίσταται. Τα μικροδίκτυα αποτελούν ένα είδος συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας που στο μέλλον αναμένεται να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο.

Ο σχεδιασμός του μικροδικτύου είναι ανεξάρτητος από το κεντρικό δίκτυο, ωστόσο μπορεί να υπάρχει διασύνδεση με αυτό, για ανταλλαγή ενέργειας. Η συνδυασμένη μάλιστα χρήση των νέων τεχνολογιών συμπαραγωγής και ανανεώσιμων πηγών, θα μπορούσε ίσως να κάνει την τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας στο μικροδίκτυο ανταγωνιστική αυτής των κεντρικών δικτύων. Δεδομένης της μικρής ισχύος των περισσότερων μονάδων ενός μικροδικτύου, η παραγωγή και διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται στη χαμηλή τάση, όπου δεν απαιτείται η μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις. Βασικό γνώρισμα των μικροδικτύων είναι ο συντονισμένος έλεγχος τους, ώστε τελικά να εμφανίζονται στο ανάντη δίκτυο ως μία ενιαία οντότητα με το δικό της αποκεντρωμένο σύστημα ελέγχου το οποίο δεν επιβαρύνει τα συστήματα ελέγχου του ανάντη ευρισκόμενου δικτύου με τον έλεγχο κάθε μιας μονάδας ξεχωριστά.

Από την **πλευρά του δικτύου**, ένα μικροδίκτυο μπορεί να θεωρηθεί σαν μια ελεγχόμενη οντότητα μέσα στο σύστημα ενέργειας που μπορεί να λειτουργεί όπως ένα συγκεντρωμένο φορτίο, μια μικρή πηγή ενέργειας ή σαν μια βοηθητική υπηρεσία που υποστηρίζει το δίκτυο.

Από την **πλευρά του καταναλωτή**, τα μικροδίκτυα εκπληρώνουν τις ανάγκες τους σε θερμότητα και ηλεκτρισμό, όμοια με τα παραδοσιακά δίκτυα διανομής Μέσης Τάσης, αλλά επιπροσθέτως ενισχύουν και την τοπική αξιοπιστία, μειώνουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και βελτιώνουν την ποιότητα ενέργειας υποστηρίζοντας την τάση και μειώνοντας τις βυθίσεις της. Επίσης, δυνητικά, «ρίχνουν» τις τιμές του αποθέματος ενέργειας. Το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό του μικροδικτύου είναι ότι, ενώ υπό ομαλές λειτουργεί διασυνδεδεμένο με το δίκτυο, μπορεί αυτόματα να τεθεί σε απομονωμένη λειτουργία σε περιπτώσεις σφαλμάτων του ανάντη δικτύου. Οι καταναλωτές που βρίσκονται συνδεδεμένοι στο μικροδίκτυο, όχι μόνο μπορούν όπως και πριν να ικανοποιήσουν τις ηλεκτρικές και θερμικές τους ανάγκες, αλλά μπορούν να απολαύσουν υψηλότερα επίπεδα αξιοπιστίας, καλύτερη ποιότητα ισχύος με εξομαλυσμένη καμπύλη τάσης και να επιτύχουν ακόμη και ευνοϊκότερους οικονομικά όρους για την ικανοποίηση των αναγκών τους [53].



**Σχήμα 5.1:** Ένα τυπικό μικροδίκτυο

### 5.1.1 Πλεονεκτήματα Μικροδικτύων

Τα πλεονεκτήματα που παρέχει στη λειτουργία του συστήματος ένα μικροδίκτυο συμπεριλαμβάνουν ένα ευρύ φάσμα περιοχών, όπως [51],[52]:

#### Περιβαλλοντικά

- Η ανάπτυξη μικροδικτύων και η ευρεία χρήση συστημάτων διεσπαρμένης παραγωγής μπορούν να συμβάλουν στη μείωση του φαινομένου του θερμοκηπίου, διότι είναι βασισμένη σε μεγάλο βαθμό στις ανανεώσιμες πηγές και σε μικρές μονάδες παραγωγής που χαρακτηρίζονται από χαμηλές εκπομπές καυσαερίων.
- Η χρησιμοποίηση τοπικά της θερμότητας που αποβάλλεται κατά την μετατροπή του καυσίμου σε ηλεκτρική ενέργεια. Η χρήση αυτής της θερμότητας μειώνει τις εκπομπές αερίων ρύπων και αυξάνει την αποδοτικότητα της χρήσης πρωτογενών πηγών ενέργειας κατά 30% περίπου.
- Η λειτουργία των μικροδικτύων συμβάλει στη μείωση των απωλειών της παραχθείσας ηλεκτρικής ενέργειας. Επίσης, μπορεί να μειώσει τις απώλειες στα δίκτυα μεταφοράς και διανομής από 2 έως 4%.

#### Τεχνικά

- Η συνέχιση της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας εντός του μικροδικτύου σε περιπτώσεις κατάρρευσης του κεντρικού δικτύου παροχής ηλεκτρικής ενέργειας. Η δυνατότητα απομονωμένης λειτουργίας μπορεί να εξασφαλίσει στον καταναλωτή του εκάστοτε μικροδικτύου την αδιάλειπτη λειτουργία την ίδια ώρα όπου το ανάντη δίκτυο διανομής μπορεί να είναι σε ασταθή κατάσταση ή να έχει καταρρεύσει προσωρινά (black out).
- Το μικροδίκτυο μπορεί να ρυθμιστεί ώστε να παίζει υποστηρικτικό ρόλο ως προς το δίκτυο, δηλαδή να απορροφά ή να παρέχει ενεργό ή άεργο ισχύ όταν χρειάζεται για το κεντρικό δίκτυο.



- Η αποδοτικότερη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, η ελαχιστοποίηση των απωλειών και η βελτίωση της ποιότητας ισχύος με την ενσωμάτωση μονάδων συμπαραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας (CHP), καθώς και με την εγκατάσταση αυτών κοντά στους καταναλωτές.
- Πιο αξιόπιστη παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στους καταναλωτές εντός αυτού, το οποίο είναι ύψιστης σημασίας ζήτημα ιδιαίτερα για τους καταναλωτές, όπως νοσοκομεία κτλ, για τους οποίους είναι σημαντική η αδιάλειπτη παροχή ενέργειας.
- Ενεργός διαχείριση των φορτίων (απόρριψη φορτίων), διαδικασία η οποία είναι σε θέση να βοηθά σημαντικά στην ευστάθεια του δικτύου αλλά και στην οικονομική λειτουργία του συστήματος.
- Από την πλευρά του χειριστή του Δικτύου Διανομής Μέσης Τάσης ή της Επιχείρησης Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας, η δυνατότητα τοπικής κάλυψης του φορτίου από το μικροδίκτυο προσφέρει αρκετά πλεονεκτήματα. Η δυνατότητα αναβολής επενδύσεων προς ενίσχυση του δικτύου και των κεντρικών σταθμών παραγωγής καθώς και η μεγαλύτερη ευελιξία στον έλεγχο του δικτύου, ιδιαίτερα κατά τον χειρισμό των συμφορήσεων και την επαναφορά του συστήματος μετά από σβέση, είναι μερικά από αυτά.

#### **Οικονομικά**

- Από την πλευρά του καταναλωτή, παραγωγή σε τοπικό επίπεδο σε περιβάλλον πλήρως απελευθερωμένης αγοράς μπορεί να σημαίνει αύξηση της μείωσης του κόστους κάλυψης των ενεργειακών του αναγκών με ευέλικτους τρόπους διαχείρισης της τοπικής παραγωγής.
- Η δυνατότητα οργάνωσης της τοπικής παραγωγής του καταναλωτή και συμμετοχής της στην ελεύθερη αγορά ενέργειας μέσω κάποιου παροχέα ενεργειακών υπηρεσιών ανοίγει περαιτέρω δυνατότητες αύξησης του εισοδήματος του και συνεισφέρει στο άνοιγμα της αγοράς.

#### **5.1.2 Μειονεκτήματα Μικροδικτύων**

Το μικροδίκτυο είναι σχεδιασμένο για λειτουργία τόσο σε διασύνδεση με το δίκτυο όσο και σε απομονωμένη κατάσταση, σε έκτακτες περιπτώσεις (interconnected or emergency mode). Η δυνατότητα διασύνδεσης με το κεντρικό δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας σε παραλληλισμένη λειτουργία καθιστά δυνατή την ανταλλαγή ενέργειας. Δηλαδή, την παροχή πλεονάζουσας ενέργειας σε αυτό ή την απορρόφηση ενέργειας όταν οι μονάδες του μικροδικτύου δεν επαρκούν να καλύψουν τη ζήτηση. Σε περιπτώσεις παραλληλισμένης λειτουργίας με το κεντρικό δίκτυο, αυτό που επιδιώκεται είναι να μην προκαλεί προβλήματα το μικροδίκτυο.

Η εισαγωγή μονάδων παραγωγής στο επίπεδο την χαμηλής και μέσης τάσης δεν είναι απλό θέμα από τεχνικής πλευράς ειδικά αν αυτή ενταθεί στο μέλλον. Δημιουργούνται έτσι, μία σειρά από τεχνικά ζητήματα τα οποία αναφέρονται συνοπτικά παρακάτω.

- **Μεταβολές στην τάση του δικτύου**

Για κάθε δίκτυο διανομής έχουν τεθεί συγκεκριμένα όρια για την τάση. Αυτά τα όρια σε κάθε περίπτωση είναι σημαντική παράμετρος τόσο για την επέκταση του δικτύου όσο και για το κόστος που συνεπάγεται. Το πλέον επικίνδυνο σενάριο από την παρουσία μικροπηγών στο επίπεδο της χαμηλής και μέσης τάσης είναι η πιθανότητα η τάση να υπερβεί τα μέγιστα επιτρεπτά όρια. Το πρόβλημα εντείνεται στην χαμηλή τάση

δεδομένου ότι εκεί η τιμή της αντίστασης των καλωδίων είναι σχετικά μεγάλη οπότε στην τιμή της τάσης εμπλέκεται και η ενεργός ισχύς. Μία προτεινόμενη λύση σε αυτήν την περίπτωση είναι η αύξηση της ζήτησης άεργου ισχύος από την πλευρά της μονάδας ενώ μία άλλη λύση είναι η χρήση με αντισταθμιστικό τρόπο των λήψεων του μετασχηματιστή (tap changer).

- **Αύξηση στη στάθμη βραχυκυκλώσεως του δικτύου**

Η χρήση στρεφόμενων κυρίως μηχανών στις μονάδες παραγωγής προφανώς θα έχει επίπτωση στο επίπεδο του σφάλματος. Η αύξηση του επιπέδου του σφάλματος πιθανών να απαιτεί αλλαγές στους διακόπτες του δικτύου κάτι που συνεπάγεται σημαντική αύξηση του κόστους ειδικά αν τις όποιες αναβαθμίσεις είναι υποχρεωμένος να τις αναλάβει ο ιδιοκτήτης της μονάδας. Μια λύση είναι η εγκατάσταση μίας αντίδρασης (μετασχηματιστή ή πηνίο) μεταξύ της γεννήτριας και του δικτύου με αύξηση όμως των απωλειών και των μεταβολών στην τάση.

- **Ποιότητα ισχύος**

Η ποιότητα της ισχύος είναι ένα σημαντικό θέμα στην εισαγωγή των μικρομονάδων στο δίκτυο για αυτό και αναλύεται εκτενέστερα αργότερα. Η ποιότητα ισχύος περιλαμβάνει μία σειρά από φαινόμενα:

- Μεταβολή της τάσης (Voltage variation)
- Απότομη αλλαγή της τάσης (Rapid voltage change)
- Διακύμανση της τάσης (Voltage fluctuation)
- Φλίκερ (Flicker)
- Προσωρινή υπέρταση (Temporary power frequency overvoltage or swell)
- Αρμονικές στην τάση (Harmonic voltage)
- Ασυμμετρία στην τάση (Voltage unbalance)

Τα φαινόμενα αυτά μπορεί να προέλθουν από την παρουσία στρεφόμενων μηχανών, ηλεκτρονικών ισχύος αλλά και από απότομη σύνδεση ή αποσύνδεση μονάδων.

- **Προστασία**

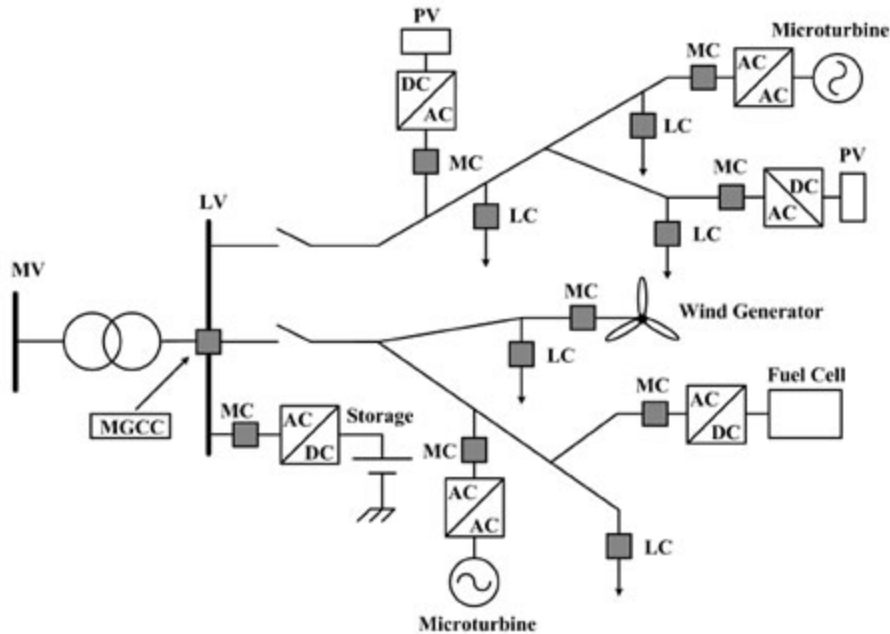
Η προστασία των συσκευών του μικροδικτύου είναι ένα σύνθετο θέμα αφού αφορά τόσο την λειτουργία των υπαρχόντων προστασιών αλλά και των αλλαγών που θα πρέπει να γίνουν στο σύστημα διανομής.

- **Ευστάθεια του δικτύου**

Το θέμα της ευστάθειας του συστήματος αφορά κυρίως την περίπτωση που η εκτεταμένη χρήση της διεσπαρμένης παραγωγής αλλά και των μικρομονάδων χρησιμοποιείται για την ενίσχυση της ασφάλειας του δικτύου.

Επιπλέον, η δημιουργία μικροδικτύων πρέπει να αναφέρουμε ότι δημιουργεί τοπικά ένα είδος ρύπανσης, ειδικά αν δεν έχει γίνει σωστός σχεδιασμός των εγκαταστάσεων παραγωγής. Αυτό γιατί οι γεννήτριες μπορεί να προκαλούν ηχορύπανση αν δεν βρίσκονται σε χώρο με καλή μόνωση καθώς επίσης, αν δεν είναι τοποθετημένες σε μη εμφανή μέρη το αισθητικό αποτέλεσμα δεν θα είναι ευχάριστο. Παράλληλα, η παραγωγή δίπλα στο φορτίο, για τα αστικά κέντρα προκαλεί επιπλέον ρύπανση σε σχέση με τους συμβατικούς σταθμούς παραγωγής που βρίσκονται συνήθως σε απομακρυσμένες περιοχές παρόλο που είναι περισσότερο ρυπογόνοι.

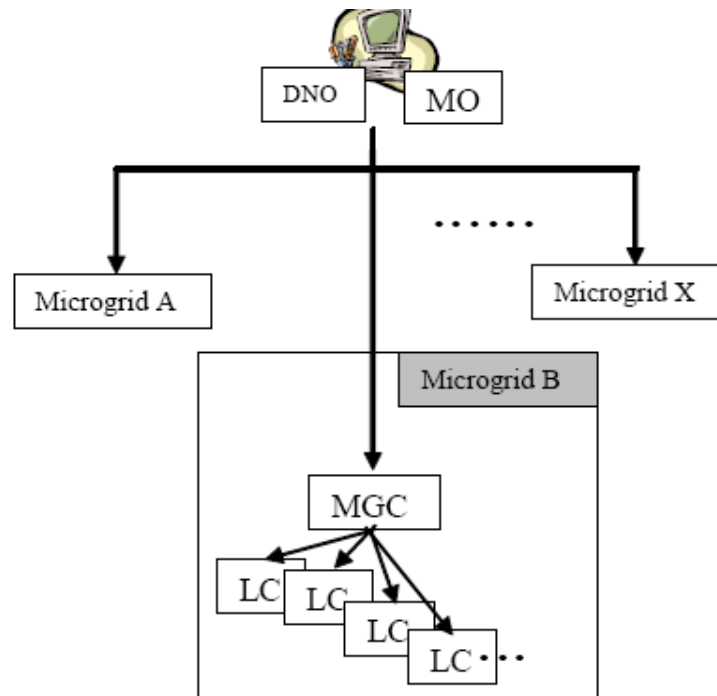
### 5.1.3 Δομή Μικροδικτύου



**Σχήμα 5.2:** Τυπική δομή μικροδικτύου

Μια τέτοια διάρθρωση συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, όπως το μικροδίκτυο, αναμένεται να έχει μεγάλη διείσδυση σε σχετικά πυκνοκατοικημένες περιοχές στις οποίες οι όροι όχλησης είναι αυστηρότεροι σε σύγκριση με πιο απομακρυσμένες ή ήδη υπάρχουσες βιομηχανικές περιοχές. Επομένως σε αυτά τα δίκτυα αναμένεται σημαντική διείσδυση πηγών ενέργειας πιο φιλικών προς το περιβάλλον συγκρινόμενα με τις μεγάλες κεντρικές μονάδες ενός συστήματος, όπως για παράδειγμα τα BIPV (Building Integrated PhotoVoltaics). Αυτό βέβαια δε σημαίνει ότι στις αγροτικές περιοχές δεν μπορεί να γίνει διείσδυση τέτοιων δικτύων. Σε μία τέτοια περίπτωση μπορεί να επιτευχθεί η εκμετάλλευση των τοπικών πηγών ενέργειας, όπως είναι τα μικρά υδροηλεκτρικά ή η βιομάζα.

#### 5.1.4 Αρχιτεκτονική Ελέγχου



**Σχήμα 5.3:** Τα επίπεδα ελέγχου ενός μικροδικτύου

Ο DNO είναι υπεύθυνος για την τεχνική λειτουργία του συστήματος στην χαμηλή και μέση τάση. Στο κομμάτι αυτό του δικτύου μπορεί να υπάρχουν περισσότερα του ενός μικροδίκτυα. Ο διαχειριστής της αγοράς (Market Operator-MO) είναι υπεύθυνος για την λειτουργία της αγοράς ενέργειας στην συγκεκριμένη περιοχή του δικτύου διανομής. Είναι προφανές ότι, ανάλογα με το μοντέλο της αγοράς ενέργειας, μπορεί να υπάρχουν περισσότεροι του ενός MO. Εντός ενός μικροδικτύου συνεπώς μπορεί να λειτουργεί μία αγορά και ένα σύνολο αρκετών μικρών τέτοιων αγορών θα διαπραγματεύονται με τον Διαχειριστή της αγοράς της περιοχής του.

Αυτές οι δύο οντότητες (DNO/MO) δεν ανήκουν στο Μικροδίκτυο αλλά αποτελούν τους εκπροσώπους του δικτύου με τους οποίους επικοινωνεί το κάθε Μικροδίκτυο Α έως Χ που ανήκει στο δίκτυο διανομής. Θα πρέπει να τονιστεί ότι παρά την αυτονομία του μικροδικτύου, εφόσον είναι συνδεδεμένο με το δίκτυο Μέσης Τάσης, θα πρέπει να διατίθεται ένα ελάχιστο επίπεδο συντονισμού με τους DNO/MO ώστε αυτοί να το αντιλαμβάνονται ως ένα ενιαίο φορτίο. Με την αύξηση της διείσδυσης αυτής της δομής ηλεκτρικού δικτύου στα δίκτυα διανομής η απαίτηση συντονισμού θα γίνεται ολοένα και πιο απαραίτητη.

Οι DNO/MO επικοινωνούν με το μικροδίκτυο μέσω του Κεντρικού ελεγκτή (Microgrid Central Controller –MGCC). Οι λειτουργίες του κεντρικού ελεγκτή του Μικροδικτύου (MGCC) μπορούν να εκτείνονται από την απλή εποπτεία και καταγραφή της ενεργού και αέργου ισχύος που παρέχει κάθε διασπαρμένη πηγή έως την πλήρη ευθύνη για την βελτιστοποίηση της λειτουργίας του μικροδικτύου με την αποστολή σημάτων ελέγχου για την παραγωγή των μικροπηγών και των φορτίων. Στο χαμηλότερο επίπεδο ελέγχου ανήκουν οι τοπικοί ελεγκτές - Local Controllers (LC). Οι τοπικοί ελεγκτές μπορούν να ελέγχουν μονάδες παραγωγής, οπότε και ονομάζονται Ελεγκτές Μονάδων (EM), συμπεριλαμβανομένων των μονάδων αποθήκευσης ενέργειας αλλά και κάποια

από τα φορτία, οπότε ονομάζονται Ελεγκτές Φορτίου (ΕΦ). Ο Ελεγκτής Μονάδας εκμεταλλεύεται τις ολόενα και αυξανόμενες δυνατότητες των ηλεκτρονικών ισχύος της διασύνδεσης των μικροπηγών.

Είναι σαφές ότι για να λειτουργήσει το μικροδίκτυο, είναι σημαντικό να εξισορροπηθούν με συντονισμένο τρόπο η προσφορά ισχύος από τις τοπικές διασπαρμένες μονάδες παραγωγής και από τη γραμμή διανομής Μέσης Τάσης με τη συνολική ζήτηση.

### 5.1.5 Κεντρικός Έλεγχος και Αρμοδιότητες του Κεντρικού Ελεγκτή

Στον κεντρικό έλεγχο, οι LC ακολουθούν τις εντολές του MGCC, όταν το μικροδίκτυο συνδέεται με το κυρίως δίκτυο, και έχουν την αυτονομία να εκτελέσουν τοπική βελτιστοποίηση της ενεργού και άεργου ισχύος κατά την απομονωμένη λειτουργία του μικροδικτύου. Η κύρια ευθύνη για τη μεγιστοποίηση της αξίας του μικροδικτύου και τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας του ανατίθεται στον MGCC.

Το σχήμα ροής πληροφορίας μεταξύ του MGCC και των τοπικών ελεγκτών σε ένα μικροδίκτυο παρουσιάζεται ως εξής:



**Σχήμα 5.4: Ροή πληροφορίας μεταξύ του κεντρικού ελέγκτη και των τοπικών ελεγκτών στο μικροδίκτυο**

Πιο συγκεκριμένα η λειτουργία του MGCC είναι η ακόλουθη: Κάθε  $n$  λεπτά, π.χ. 10 λεπτά, αποστέλλονται στον MGCC οι προσφορές κάθε μονάδας και κάθε φορτίου για την επόμενη ώρα σε διαστήματα  $n$  λεπτών, ανάλογα με την πολιτική που εφαρμόζεται. Αυτές οι προσφορές είναι βασισμένες στις τιμές ενέργειας στην ελεύθερη αγορά, στην ανάγκη για παραγωγή θερμότητας παράλληλα με την παραγωγή ηλεκτρισμού, στο κόστος παραγωγής της μονάδας, στο επιδιωκόμενο ποσοστό κέρδους από τον ιδιοκτήτη της μονάδας διεσπαρμένης παραγωγής ή από την αξία του φορτίου όπως την αντιλαμβάνεται ο καταναλωτής με χρονικό ορίζοντα προγραμματισμού το επόμενο διάστημα. Οι προσφορές των φορτίων ακολουθούν τους ίδιους κανόνες με εκείνους των πηγών δηλαδή κάθε  $n$  λεπτά υποβάλλουν προσφορές για την επόμενη ώρα σε βήματα των  $n$  λεπτών.

Ο MGCC προσπαθεί να βελτιστοποιήσει την οικονομική λειτουργία του μικροδικτύου βασιζόμενος στα ακόλουθα:

- Την ακολουθούμενη πολιτική αγοράς
- Την ακολουθούμενη πολιτική προσφοράς φορτίων
- Τις τιμές της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας
- Τα τεχνικά όρια των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής
- Την πρόβλεψη φορτίου, αν κάτι τέτοιο απαιτείται
- Την εκτίμηση παραγωγής από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας
- Τους πιθανώς υπάρχοντες περιορισμούς ασφαλείας του δικτύου, π.χ. η ικανότητα της γραμμής διασύνδεσης
- Τις προσφορές των μονάδων του μικροδικτύου
- Τις προσφορές των καταναλωτών
- Τους τυχόν περιορισμούς περιβαλλοντικής πολιτικής
- Τα όρια παραγωγής για διατήρηση της τάσης
- Το διεθνώς επικαθορισμένο Εμπόριο Ρύπων
- Τη λειτουργία σε διασυνδεδεμένη ή νησιδοποιημένη λειτουργία

Το καθορισμένο ως βέλτιστο σενάριο λειτουργίας επιτυγχάνεται με τον έλεγχο των μικροπηγών και των ελέγξιμων φορτίων μέσα στο μικροδίκτυο με την αποστολή κατάλληλων σημάτων ελέγχου στους τοπικούς LCs, σήματα τα οποία περιέχουν :

- Τις τιμές της αγοράς
- Τον αριθμό των προβλεπόμενων εν λειτουργία μονάδων
- Τα σημεία λειτουργίας των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής όπου μπορεί να ελεγχθεί η έξοδος τους π.χ. στην περίπτωση των μικροτουρμπίνων
- Τα φορτία που θα εξυπηρετηθούν ή θα αποκοπούν

Η διαδικασία αυτή λειτουργεί επαναληπτικά κάθε  $n$  λεπτά και για την επόμενη ώρα. Όσον αφορά στις τιμές της αγοράς, αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τους τοπικούς ελεγκτές προκειμένου να προετοιμαστούν πιο κατάλληλα οι προσφορές τους στον MGCC για τα επόμενα διαστήματα. Για τέτοιου τύπου διασύνδεση και συντονισμό μεταξύ του MGCC και κάθε ενός από τους τοπικούς ελεγκτές, χρειάζεται αμφίδρομη επικοινωνία. Οι τοπικοί ελεγκτές στέλνουν την πληροφορία που απαιτείται από τον MGCC, σε μορφή .txt και .xml. Με όμοιο format αποστέλλεται η πληροφορία για τα σημεία λειτουργίας και για τις τιμές της αγοράς στους τοπικούς ελεγκτές. Η επικοινωνία μπορεί να γίνει είτε με την βοήθεια τηλεφωνικών γραμμών, φερέσυχνων ή και ασύρματης επικοινωνίας, όπως οι τεχνολογίες GSM ή GPRS.

Για να μπορεί ο MGCC να επιτυγχάνει την κατά το δυνατόν βέλτιστη λειτουργία του μικροδικτύου, οι συναρτήσεις οι οποίες πρέπει να υλοποιούνται σε ένα τέτοιο σύστημα ελέγχου είναι σε γενικές γραμμές οι εξής:

**I. Πρόβλεψη φορτίου:** Καθώς ο ορίζοντας βελτιστοποίησης είναι μερικές ώρες, μπορούν να χρησιμοποιηθούν απλές μέθοδοι όπως η persistent και η μέθοδος χρονοσειρών. Λόγω του μικρού αριθμών φορτίων το σφάλμα της πρόβλεψης αναμένεται να είναι σημαντικότερο από ότι στα μεγαλύτερα δίκτυα. Αν υπάρχουν προσφορές των φορτίων στον MGCC, τότε η ανάγκη για αλγορίθμους πρόβλεψης μειώνεται.

**II. Πρόβλεψη παραγωγής από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας:** Λόγω του δεδομένου υψηλού κόστους για την πρόβλεψή τους, δεν αναμένεται να έχουμε αξιόπιστη μετεωρολογική πληροφορία σε τέτοιου βεληνεκούς τοπικό επίπεδο. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν παρόμοιες με την πρόβλεψη φορτίου μέθοδοι, λόγω του μικρού διαστήματος βελτιστοποίησης και της διαρκούς ανανέωσης των μετρήσεων για την τρέχουσα παραγωγή. Μάλιστα οι μέθοδοι τύπου persistent, που θεωρούν ότι η παραγωγή στο επόμενο χρονικό διάστημα αναμένεται να είναι ίση με την παραγωγή της προηγούμενης χρονικής περιόδου, έχουν αρκετά ικανοποιητική επίδοση στις προβλέψεις, ιδιαίτερα στις περιπτώσεις αιολικής παραγωγής για τα μικρά διαστήματα που εξετάζονται.

**III. Πρόβλεψη θερμικών αναγκών:** Στη Βόρεια κυρίως Ευρώπη αναμένεται σημαντικός αριθμός εγκαταστάσεων Συμπαραγωγής (CHP). Επομένως, η θερμική ζήτηση αναμένεται να μεταβάλλει τις προσφορές των παραγωγών αλλά και να επηρεάζει τη λειτουργία των μικροδικτύων. Αν ο τοπικός ελεγκτής διαχειρίζεται συνολικά τις ενεργειακές ανάγκες του μικροδικτύου, τέτοιου είδους διαδικασίες είναι απαραίτητες για την βελτιστοποίηση της λειτουργίας του. Η μεθοδολογία πρόβλεψης απαιτεί να εκτιμηθούν παράγοντες όπως είναι η θερμοκρασία. Ειδικότερα απαιτείται ο βαθμός συσχέτισης θερμικής ζήτησης με τη θερμοκρασία, την υγρασία, την ώρα της ημέρας, και τον τύπο της (καθημερινές/σαββατοκύριακα), τις εποχιακές διακυμάνσεις της θερμοκρασίας αλλά και το είδους των θερμικών αναγκών της περιοχής.

**IV. Οικονομική λειτουργία:** Αυτή είναι απαραίτητη προκειμένου να επιλεγούν οι οικονομικότερες προσφορές τόσο από τα φορτία όσο κυρίως από τις μονάδες παραγωγής. Χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: τις ρουτίνες επιλογής Ένταξης των Μονάδων παραγωγής-φορτίων (Unit Commitment) και της Οικονομικής Κατανομής (Economic Dispatch). Η πρώτη κατηγορία επιλέγει ποιες μονάδες είναι οικονομικά συμφέρον να λειτουργήσουν σε σχέση με την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας ενώ η οικονομική κατανομή αποφασίζει τα σημεία λειτουργίας αυτών των μονάδων. Αν οι προσφορές των μονάδων είναι της μορφής AX, όπου X η παραγωγή της κάθε μονάδας, η απόφαση εκφυλίζεται στην σύγκριση της παραμέτρου A με την τιμή της αγοράς και τις υπόλοιπες προσφορές των μονάδων. Σε διαφορετική περίπτωση χρησιμοποιούνται και οι δύο συναρτήσεις.

**V. Εκτίμηση ασφάλειας:** Η ειδοποιός διαφορά ενός μικροδικτύου από ένα σύνολο μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής είναι η ικανότητα για την κατά το δυνατόν αδιατάρακτη μετάβαση από τη διασυνδεδεμένη στη νησιδοποιημένη λειτουργία σε περίπτωση βλάβης του ανάντη δικτύου. Οι συναρτήσεις ασφαλείας έχουν ως στόχο να καθορίσουν ποιες μονάδες θα πρέπει να λειτουργούν ή ποια φορτία πρέπει να αποκοπούν προκειμένου να μπορούν να εξυπηρετηθούν τα κρίσιμα φορτία. Επομένως, οι συγκεκριμένες συναρτήσεις μπορούν να διακριθούν σε συναρτήσεις για την εκτίμηση της στατικής ασφάλειας του μικροδικτύου σε περίπτωση διαταραχής (steady state security) και σε συναρτήσεις on-line εκτίμησης της δυναμικής ασφάλειας. Οι τελευταίες με τη βοήθεια μεθόδων τεχνητής νοημοσύνης, όπως τα Νευρωνικά Δίκτυα και τα Δένδρα απόφασης συμβάλλουν στο να έχει δημιουργηθεί μια βάση γνώσης στον κεντρικό ελεγκτή (MGCC), ώστε να γνωρίζει τις ασφαλείς και ανασφαλείς

καταστάσεις του μικροδικτύου στην περίπτωση διακοπής της διασύνδεσης. Με τη βοήθεια προσομοιώσεων της δυναμικής συμπεριφοράς του μικροδικτύου, δημιουργείται η βάση γνώσης σχετικά με τη λειτουργία των τοπικών μονάδων παραγωγής, τη φόρτιση του δικτύου και τα δυναμικά χαρακτηριστικά των πηγών του δικτύου. Με τον τρόπο αυτό, κάποια ξαφνική αλλαγή στη λειτουργική κατάσταση του μικροδικτύου μπορεί να αντιμετωπιστεί αποτελεσματικά και σύντομα ώστε να αποφευχθούν τυχούσες αποκλίσεις από την επιθυμητή συχνότητα και τάση λειτουργίας.

Ακόμα υλοποιούνται περαιτέρω Ειδικές Συναρτήσεις που χρησιμοποιούνται για τη διεκπεραίωση των παρακάτω στόχων:

1. Εκτίμηση της πιθανότητας να παραβιάζονται οι τάσεις σε κάποιο κόμβο από τη λειτουργία του μικροδικτύου ή από την παραγωγή κάποιας τοπικής μονάδας παραγωγής.
2. Μεταβολή της λειτουργίας του μικροδικτύου ώστε να ελαχιστοποιείται η συνολική ποσότητα των ρύπων που αποφεύγονται και να συμμετέχει το μικροδίκτυο στο εμπόριο ρύπων.
3. Βελτιστοποίηση της λειτουργίας σε επείγουσες καταστάσεις. Αυτές οι συναρτήσεις περιλαμβάνουν μεθόδους για την επίτευξη ελέγχου σε περιόδους όπου το δίκτυο λειτουργεί απομονωμένο από το ανάντη ευρισκόμενο δίκτυο ως ένα νησί. Σε αυτήν την ομάδα συναρτήσεων περιλαμβάνονται και οι συναρτήσεις black start του μικροδικτύου.
4. Ο βαθμός πολυπλοκότητας των επί μέρους συναρτήσεων για τον έλεγχο ενός μικροδικτύου είναι συνάρτηση του μεγέθους του και των αναμενόμενων κερδών που μπορούν να υπάρχουν από τη βελτίωση της επίδοσης των επί μέρους αλγορίθμων.

### **5.1.6 Πλήρως Αποκεντρωμένος Έλεγχος**

Η ιδέα είναι η απλοποίηση ενός πολύ σύνθετου προβλήματος με μεγάλο αριθμό μεταβλητών, όπως η βελτιστοποίηση της λειτουργίας ενός ΣΗΕ με πολλές μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής. Γι' αυτό το πρόβλημα διαιρείται σε πολλά επί μέρους προβλήματα τα οποία μπορούν να επιλυθούν το κάθε ένα ξεχωριστά, αξιοποιώντας την κατανομημένη ευφυΐα που υπάρχει στις επί μέρους συνιστώσες ελέγχου.

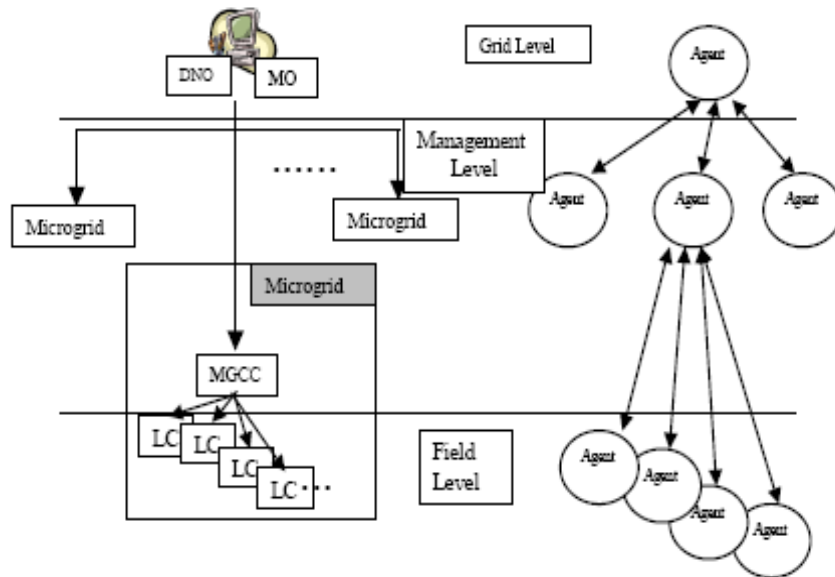
Σε μια τέτοια μορφή ελέγχου επιδιώκεται η μέγιστη δυνατή αυτονομία των επί μέρους συνιστωσών ελέγχου. Έτσι για παράδειγμα, η κύρια ευθύνη για τον έλεγχο του μικροδικτύου, ανατίθεται στους τοπικούς ελεγκτές των μονάδων (EM), οι οποίοι συνεργάζονται ή ακόμη και ανταγωνίζονται για να μεγιστοποιήσουν την παραγωγή τους προκειμένου να ικανοποιηθεί η ζήτηση και να εξάγουν πιθανώς το μέγιστο ποσό ενέργειας στο δίκτυο Μέσης Τάσης λαμβάνοντας υπ' όψη τις τρέχουσες τιμές αγοράς. Υπό τέτοιες συνθήκες απαιτείται όχι μόνο ευφυΐα από τον κάθε ελεγκτή, αλλά και αυξημένες ικανότητες τοπικά, ώστε όλο το ελεγχόμενο δίκτυο να αποκτήσει ευφυΐα. Κατ' αυτόν τον τρόπο, θα μπορεί να επιτευχθεί όχι μόνο η τοπική βελτιστοποίηση αλλά και σύγκλιση σε μια πολύ ικανοποιητική λύση δεδομένων και αντικρουόμενων συμφερόντων που μπορούν να υπάρχουν σε ένα μικροδίκτυο.

Τα παραπάνω χαρακτηριστικά που επιζητούμε στον αποκεντρωμένο έλεγχο μπορούν να επιτευχθούν με τη χρήση ενός ευφυούς πολυπρακτορικού συστήματος (Multi Agent Systems-MAS). Η τεχνολογία MAS έχει ήδη χρησιμοποιηθεί σε αρκετές εφαρμογές των ΣΗΕ και χρησιμοποιεί υψηλού επιπέδου γλώσσα επικοινωνίας με συγκεκριμένη σημειολογία ώστε να ανταλλάσσονται όχι μόνο πληροφορίες αλλά και γνώση μεταξύ των πρακτόρων. Η ανταλλαγή των



πληροφοριών και οι διαδικασίες μάθησης συμβάλλουν ώστε να επιτευχθεί ο τελικός στόχος, που είναι ο έλεγχος της διαδικασίας για την οποία χρησιμοποιούνται οι πράκτορες. Η ευφυΐα που αποκτά κάθε πράκτορας, τόσο από την βάση γνώσης που διαθέτει, τις τεχνικές μάθησης, π.χ. ενισχυτική μάθηση (reinforcement learning), όσο κυρίως και από την επικοινωνία με τους γειτονικούς του πράκτορες, συμβάλλει στις μετέπειτα αποφάσεις του, που μπορούν να επηρεάζουν και όλο του το περιβάλλον. Μέσα από αυτή τη διαδικασία μάθησης και συνεχούς επικοινωνίας μπορεί να επιτευχθεί ένα σχεδόν βέλτιστο αποτέλεσμα ελέγχου.

Η αντιστοιχία μεταξύ της προσέγγισης των ευφυών πρακτόρων για τον έλεγχο του μικροδικτύου στα διάφορα επίπεδα ελέγχου και της αρχιτεκτονικής ελέγχου, παρουσιάζεται στο επόμενο σχηματικό διάγραμμα με τα τρία επίπεδα ελέγχου και την αντιστοιχισή τους με τα επίπεδα λειτουργίας του μικροδικτύου.



**Σχήμα 5.5:** Αντιστοιχισή επιπέδων ελέγχου για το μικροδίκτυο και προσέγγισης με σύστημα MAS.

Στο ανώτερο επίπεδο ή επίπεδο δικτύου είναι το Δίκτυο Μέσης Τάσης και ο πράκτορας που χρησιμοποιείται είναι υπεύθυνος για την επικοινωνία μεταξύ του μικροδικτύου και των DNO/MO, ανταλλάσσοντας μηνύματα για τη λειτουργία της αγοράς ενέργειας. Στο ενδιάμεσο επίπεδο, το επίπεδο διαχείρισης, οι πράκτορες που συμμετέχουν είναι υπεύθυνοι για την οργανωμένη λειτουργία των ελεγκτών μονάδων παραγωγής και φορτίου, την συμμετοχή του κάθε μικροδικτύου στην αγορά ενέργειας αλλά και την πιθανή συνεργασία του μικροδικτύου με άλλα γειτονικά μικροδίκτυα. Σε αυτό το επίπεδο ένας πράκτορας είναι επιφορτισμένος με το έργο των διαπραγματεύσεων με τον MO. Οι προσφορές όμως των φορτίων και των μονάδων παραγωγής είναι έργο των πρακτόρων που βρίσκονται στο αμέσως παρακάτω επίπεδο, το επίπεδο Εφαρμογής ή Field level, το οποίο είναι και η ψυχή του πολύ-πρακτορικού συστήματος ελέγχου. Οι πράκτορες αυτοί είναι οι τοπικοί ελεγκτές LCs. Η λειτουργία ενός τέτοιου ελεγκτή απαιτεί δύο τμήματα. Το εξωτερικό παρέχει το περιβάλλον επικοινωνίας με το μικροδίκτυο το οποίο ανταλλάσσει σημεία λειτουργίας (set points), προσφορές και εντολές. Αυτό το τμήμα είναι κοινό ώστε να είναι εφικτή η προτυποποίηση της λειτουργίας ενός τέτοιου συστήματος και να υπάρχει κοινός κώδικας επικοινωνίας. Το εσωτερικό τμήμα είναι επιφορτισμένο με την μετάδοση των εντολών που λαμβάνει ο πράκτορας στην φυσική μονάδα που ελέγχεται, μονάδα παραγωγής ή

φορτίο. Επίσης αυτοί οι πράκτορες θα πρέπει να είναι σε θέση να συνεργάζονται και να λαμβάνουν υπ' όψιν τους άλλους τοπικούς ελεγκτές και άλλα ευφυή τμήματα του μικροδικτύου. Συνοπτικά χαρακτηριστικές εργασίες που θα πρέπει να μπορούν να επιτελούν οι πράκτορες σε κάθε επίπεδο είναι :

- Επίπεδο Εφαρμογής (Field Level): Έλεγχος ενεργού αέργου ισχύος, Διαχείριση μπαταριών, Έλεγχος Τάσης, Έλεγχος Συχνότητας, Λειτουργίες διακοπών κτλ.
- Ενδιάμεσο επίπεδο (Management Level): Συμμετοχή στην αγορά, Αποκοπή φορτίου, Καταγραφή και παρακολούθηση ζητημάτων ασφαλείας και ποιότητας ισχύος, Νησιδοποίηση και επανατροφοδότηση από το δίκτυο, Εκκίνηση μετά από Black out κτλ.
- Επίπεδο δικτύου (Grid level): Συμμετοχή στην αγορά, Αποφάσεις ζητημάτων ασφαλείας και ποιότητας ισχύος.

Επιπρόσθετες απαιτήσεις για την ανάπτυξη αυτής της αρχιτεκτονικής, είναι να μην απαιτούνται σημαντικές αλλαγές στο λογισμικό ελέγχου εξαιτίας της αλλαγής προτεραιοτήτων και λειτουργιών στο μικροδίκτυο ή από την προσθήκη νέων συμμετεχόντων σε αυτό. Για να επιτευχθεί αυτό θα πρέπει οι πράκτορες να μπορούν να εκπαιδευτούν στα νέα αυτά μηνύματα που λαμβάνουν. Το έργο αυτό διευκολύνεται με την ανάπτυξη ελεγκτών στις τοπικές μονάδες παραγωγής με την μορφή 'plug and play' ώστε να επιτελούν πολυσύνθετες λειτουργίες με μεγαλύτερο βαθμό ευφυΐας από την απλή ανταλλαγή σημείων λειτουργίας. Ο τελικός στόχος είναι ο έλεγχος να είναι ακόμη ευκολότερος ανεξάρτητα από τον προμηθευτή του τοπικού ελεγκτή της μονάδας παραγωγής και να προσαρμόζεται η συσκευή που προστίθεται άμεσα στο περιβάλλον λειτουργίας.

### **5.1.7 Εφαρμογές Αποκεντρωμένου και Κεντρικού Ελέγχου Λειτουργίας Μικροδικτύου**

Και στις δύο προσεγγίσεις ελέγχου λειτουργίας του μικροδικτύου υπάρχει σημαντική αποκέντρωση συγκριτικά με το να δίνονται από κάποιο κεντρικό σημείο οδηγίες για κάθε μια από τις μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής ενός ΣΗΕ. Η διαφορά έγκειται στο βαθμό αποκέντρωσης που υπάρχει αλλά και στις δυνατότητες που είναι επιθυμητό να παρέχει ο MGCC. Ο αποκεντρωμένος έλεγχος μπορεί να συμβάλλει ώστε όταν οι χρήστες του μικροδικτύου επιθυμούν να επιτύχουν τη βελτιστοποίηση των δικών τους πόρων ή πολύ περισσότερο, όταν τα συμφέροντα ενός χρήστη Α έρχονται σε αντίθεση με τα συμφέροντα ενός χρήστη Β, να συγκλίνει ο έλεγχος σε μία εφικτή λύση που κατά το δυνατόν θα ικανοποιεί και τα συμφέροντα των δύο. Για παράδειγμα σε ένα δίκτυο με οικιακούς καταναλωτές ο ένας μπορεί να επιθυμεί να παράγει θερμότητα και να πουλήσει την περίσσεια ηλεκτρισμού ενώ κάποιος άλλος να έχει αυξημένες ανάγκες ηλεκτρισμού. Και οι δύο επιθυμούν να επιτύχουν το σκοπό τους με τον πλέον οικονομικό τρόπο, οπότε δε θα επιθυμούσαν να αλλάξει η παραγωγή τους από απομακρυσμένο σημείο και να μην μπορούν να πουλήσουν την περίσσεια της παραγωγής τους ή να αγοράσουν φθηνή ενέργεια.

Αυτός ο τρόπος λειτουργίας μπορεί να συμβάλλει, με την βοήθεια της αποκεντρωμένης ευφυΐας και την ενσωμάτωση ευφύων πρακτόρων σε μορφή 'plug and play' συσκευών, στο να έχει ο έλεγχος χαμηλότερο κόστος στο βαθμό που περισσότερες εταιρίες προσπαθούν να αναπτύξουν τέτοιου είδους προϊόντα. Από την άλλη, όταν ο στόχος των συμμετεχόντων είναι η μεταξύ τους συνεργασία ώστε να μειωθεί συνολικά το κόστος ικανοποίησης των θερμικών και ηλεκτρικών αναγκών τους, ο κεντρικός έλεγχος ο οποίος μπορεί να συμπεριλάβει και ειδικές συναρτήσεις, παρουσιάζει πλεονεκτήματα. Τέτοιο παράδειγμα είναι ένα βιομηχανικό μικροδίκτυο. Σε τέτοιο περιβάλλον λειτουργίας αναμένονται οι τελικοί χρήστες να επιλέξουν πιο «κεντρική» φιλοσοφία

λειτουργίας. Επιπρόσθετα, στο ανταγωνιστικό περιβάλλον της αγοράς είναι μάλλον απίθανο κάθε ένας μικρός καταναλωτής και κάτοχος πηγής διεσπαρμένης παραγωγής να μπορέσει με μικρή ισχύ να επιτύχει σημαντικά οφέλη σε σχέση με την οργανωμένη παρουσία πολλών μικρών παραγωγών διεσπαρμένης παραγωγής, οι οποίοι θα παρουσιάζονται ως μια οντότητα στην αγορά και θα μπορούσαν να διαπραγματεύονται με ευνοϊκότερους όρους την ικανοποίηση των ενεργειακών τους αναγκών. Σε ένα τέτοιο περιβάλλον αναμένεται να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο εταιρίες που θα μπορούν να αναλάβουν τη λειτουργία αυτών των παραγωγών και θα έχουν και το κατάλληλο προσωπικό που θα δικαιολογούσαν «κεντρική» αντιμετώπιση του ελέγχου. Υπό τέτοιες συνθήκες οι τοπικοί ελεγκτές δε θα ήταν τίποτε άλλο από απλοί μεταβιβαστές εντολών χωρίς να υπάρχει ιδιαίτερη ανάγκη ευφυΐας, όπως στον αποκεντρωμένο έλεγχο του μικροδικτύου. Επειδή στον κεντρικό έλεγχο είναι εφικτό να υπάρχουν περισσότερες πληροφορίες γνωστές στον κεντρικό ελεγκτή, σε αντίθεση με το τι γνωρίζει κάθε τοπικός ελεγκτής, και επειδή υπάρχει μεγαλύτερη υπολογιστική ισχύς, ο κεντρικός ελεγκτής μπορεί να υπολογίσει ένα βέλτιστο σετ αποφάσεων για την λειτουργία του μικροδικτύου. Η συνεργασία των τοπικών ελεγκτών μπορεί να επιτύχει αρκετά ικανοποιητικές λύσεις αλλά η λύση που επιτυγχάνεται είναι υπό-βέλτιστη. Υπάρχουν όμως προϋποθέσεις, που η λύση που επιτυγχάνεται να είναι η βέλτιστη και σε αποκεντρωμένο τρόπο λειτουργίας [47],[54].

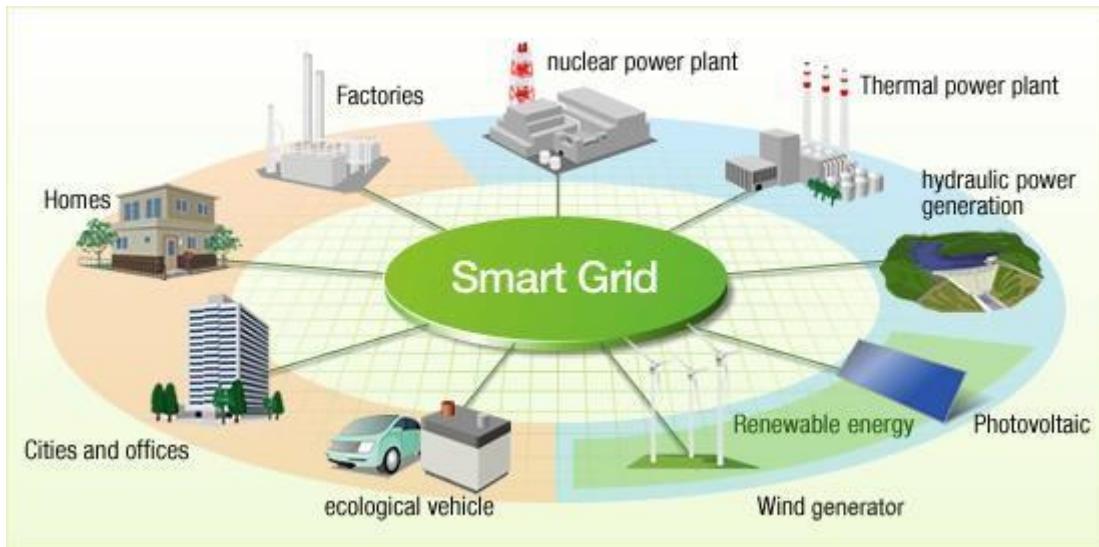
Οι προαναφερθείσες παρατηρήσεις συνοψίζονται στον ακόλουθο πίνακα:

	<b>Κεντρικός Έλεγχος</b>	<b>Αποκεντρωμένος Έλεγχος</b>
Ιδιοκτησία Διεσπαρμένης Παραγωγής	Ένας ιδιοκτήτης ή συνεταιρισμοί ιδιοκτητών που αναγνωρίζονται ως οντότητα	Πολλοί ιδιοκτήτες
Στόχος Ελέγχου	Βελτιστοποίηση λειτουργίας ικανοποιώντας διάφορους περιορισμούς	Αβεβαιότητα για τις επιδιώξεις του κάθε χρήστη εκείνη τη στιγμή
Διαθεσιμότητα Προσωπικού σε ειδικές εργασίες π.χ. low level management	Συνηθισμένη	Σπάνια
Αλγόριθμοι Βελτιστοποίησης	Μπορούν να υλοποιηθούν και εξεζητημένοι αλγόριθμοι	Χρήση απλών αλγορίθμων προκειμένου να μειωθεί το κόστος ελέγχου
Εγκατάσταση Νέας Μονάδας ή Οντότητας	Χρήση προσωπικού για την εγκατάσταση επικοινωνιακών εφαρμογών και προσθήκη στον Κεντρικό Ελεγκτή	Η συσκευή αναμένεται να είναι 'plug and play'. Οι χρήστες θα προσαρμοστούν με διαδικασίες μάθησης στα νέα δεδομένα
Βέλτιστη Λύση	Επιτυγχάνεται	Στην συντριπτική τους πλειοψηφία υπό-βέλτιστες λύσεις
Συμμετοχή στην Αγορά	Συνεργασία όλων των μονάδων	Πολύ συχνά υπάρχει ανταγωνισμός μεταξύ των μονάδων
Συμμετοχή Μικροδικτύου σε κρισιμότερες αποφάσεις ως τμήμα γενικού μοντέλου	Εφικτή	Μη εφικτή προς το παρόν

**Πίνακας 5.1:** Συνοπτικός πίνακας σύγκρισης κεντρικού και απομονωμένου ελέγχου

## 5.2 Έξυπνα Δίκτυα

Ως Smart Grid (Έξυπνο Δίκτυο) ορίζουμε ένα σύγχρονο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας το οποίο χρησιμοποιεί αναλογικές ή ψηφιακές μετρητικές τεχνολογίες και τεχνολογίες πληροφορικής ώστε να συλλέγει δεδομένα και να ενεργεί βάση αυτών. Τέτοια δεδομένα μπορεί να αναφέρονται στην συμπεριφορά των παραγωγών και των καταναλωτών καθώς και σε αυτοματοποιημένες λειτουργίες που ενισχύουν την αποδοτικότητα του δικτύου, την ασφάλεια, την οικονομία και την βιωσιμότητα της παραγωγής και μετάδοσης της ηλεκτρικής ενέργειας.



Σχήμα 5.6: Smart Grid

Η συλλογή, η μεταφορά και η διαχείριση των ψηφιακών δεδομένων που αφορούν το ΗΔ απαιτεί τηλεπικοινωνιακή υποδομή και κέντρα διαχείρισης του μεγάλου όγκου πληροφοριών. Η ύπαρξη αποδοτικής τηλεπικοινωνιακής υποδομής είναι μείζονος σημασίας για την αποδοτική εποπτεία και τον έλεγχο του συστήματος ΗΕ.



Σχήμα 5.7: Η έννοια του Smart Grid

### 5.2.1 Έξυπνοι Μετρητές



**Σχήμα 5.8:** Έξυπνοι Μετρητές

Έξυπνος μετρητής είναι μία ηλεκτρονική συσκευή που καταγράφει την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανά χρονικά διαστήματα μικρότερα ή ίσα της μίας ώρας και στέλνει τα δεδομένα τουλάχιστον μία φορά τη μέρα πίσω στην εταιρία παροχής ηλεκτρισμού για λόγους τιμολόγησης και καταγραφής. Οι μετρητές αυτοί υποστηρίζουν την αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ του μετρητή και του κεντρικού συστήματος. Σε αντίθεση με τους οικιακά συστήματα παρακολούθησης ενέργειας, οι έξυπνοι μετρητές συλλέγουν δεδομένα με σκοπό αποστολή σε απομακρυσμένους δέκτες. Η υποδομή εξελιγμένης μέτρησης (Advanced Metering Infrastructure) διαφέρει από την παραδοσιακή αυτόματη ανάγνωση της μέτρησης (Automatic Meter Reading) στο ότι επιτρέπει την αμφίδρομη επικοινωνία με τον μετρητή. Μετρητές με παρόμοια χαρακτηριστικά υπάρχουν για αρκετά χρόνια, αλλά κυρίως ο όρος smart meter αναφέρεται σε αισθητήρες πραγματικού χρόνου, ή σχεδόν πραγματικού χρόνου, με τη δυνατότητα να αναφέρουν διακοπές ρεύματος και την ποιότητα ισχύος.

### 5.2.2 Σκοπός Ανάπτυξης

Η σταδιακή απελευθέρωση της ηλεκτρικής αγοράς ενέργειας οδήγησε στην ανάγκη της εύρεσης ενός τρόπου να συνδεθεί η παραγωγή με την κατανάλωση. Οι παραδοσιακοί μετρητές μετράνε μόνο την συνολική κατανάλωση χωρίς να παρέχουν πληροφορίες για το χρόνο που παρατηρήθηκε η κάθε κατανάλωση. Η τιμολόγηση έτσι γίνεται με ενιαίο τρόπο εκ των προτέρων. Με τους έξυπνους μετρητές παρέχονται οι απαραίτητες πληροφορίες της ανάπτυξης διαφορετικής τιμολογιακής πολιτικής για διαφορετικές ώρες και περιόδους. Επίσης, η καταγραφή κρουστικών τιμών τάσης από κεραυνούς και αρμονικών συνιστωσών, επιτρέπει τη διάγνωση προβλημάτων στην ποιότητα της παρεχόμενης ισχύος [55].

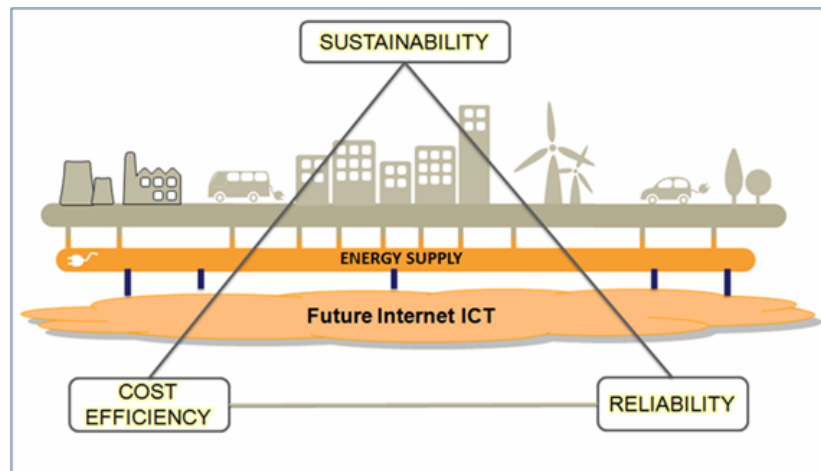
Οι εταιρίες παροχής ενέργειας προωθούν τους έξυπνους μετρητές ισχυριζόμενοι ότι παρέχουν πιθανώς προνόμια και για τους οικιακούς χρήστες. Τέτοια προνόμια είναι η κατάργηση του έναντι τιμολογίου, που αποτελεί και τον κύριο λόγο παραπόνων και η παροχή ενός εργαλείου που μπορεί να βοηθήσει τους καταναλωτές να διαχειριστούν καλύτερα τις καταναλωτικές τους

συνήθειες. Ακαδημαϊκή έρευνα έδειξε ότι σύμφωνα με δοκιμές οι οικιακοί καταναλωτές ύστερα από την χρήση τέτοιων μετρητών μείωσαν την ενεργειακή τους κατανάλωση κατά μέσο όρο από 3 – 5 %.

### 5.2.3 Τεχνολογία Έξυπνων Δικτύων

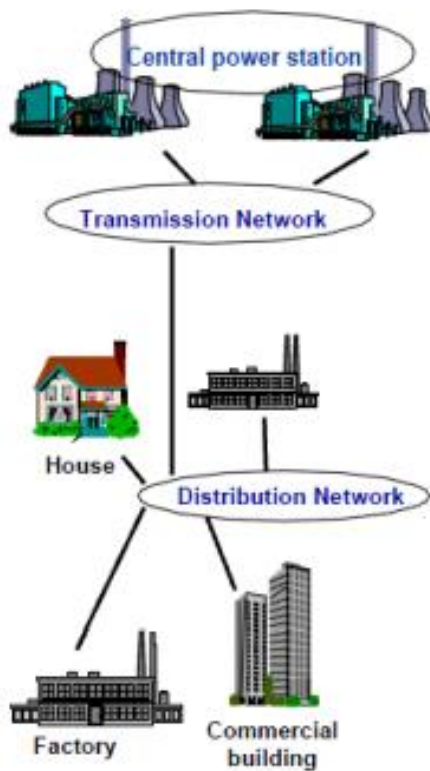
Από τις τεχνολογίες που συνεργάζονται για την ανάπτυξη των smart meters η πιο κρίσιμη είναι αυτή της τεχνολογίας επικοινωνίας, ώστε να μεταφέρονται οι πληροφορίες με ασφάλεια και ακρίβεια. Μεταξύ των διάφορων δοκιμών υλοποίησης που έχουν γίνει, είναι η χρήση του δικτύου κινητής τηλεφωνίας, του δορυφορικού δικτύου, αδειοδοτημένων και μη ραδιοφωνικών συχνοτήτων και χρήση των γραμμών μεταφοράς ισχύος. Όμως πέρα από το μέσο επικοινωνίας, πολύ σημαντική είναι και η τοπολογία του δικτύου. Έτσι έχει χρησιμοποιηθεί η σταθερή ασύρματη δικτύωση, το δίκτυο πλέγματος αλλά και συνδυασμός των δύο. Για τη διαμόρφωση του δικτύου μπορεί να γίνεται χρήση του WiFi ή και άλλων τεχνολογιών του internet. Μέχρι σήμερα καμία τεχνολογία που έχει δοκιμαστεί δεν είναι καθολικά βέλτιστη καθώς οι ανάγκες επικοινωνίας είναι πολύ διαφορετικές σε κάθε εφαρμογή.

Η επόμενη πιο σημαντική τεχνολογία που χρίζει ανάπτυξης και ενσωματώνεται στους smart meters είναι αυτή της επιστήμης των υπολογιστών σε ότι αφορά την ενσωμάτωση των δικτύων με τις διαχειριστικές εφαρμογές τιμολόγησης και συλλογής πληροφοριών. Σε αυτή την κατηγορία συμπεριλαμβάνεται και το σύστημα Διαχείρισης των Δεδομένων Μέτρησης. Τα συστήματα αυτά πρέπει να διαχειρίζονται πολύ μεγάλο όγκο δεδομένων σε σχεδόν πραγματικό χρόνο κάτι το οποίο απαιτεί την χρήση εξειδικευμένων τεχνολογιών και την προσαρμογή τους στις συγκεκριμένες ανάγκες.

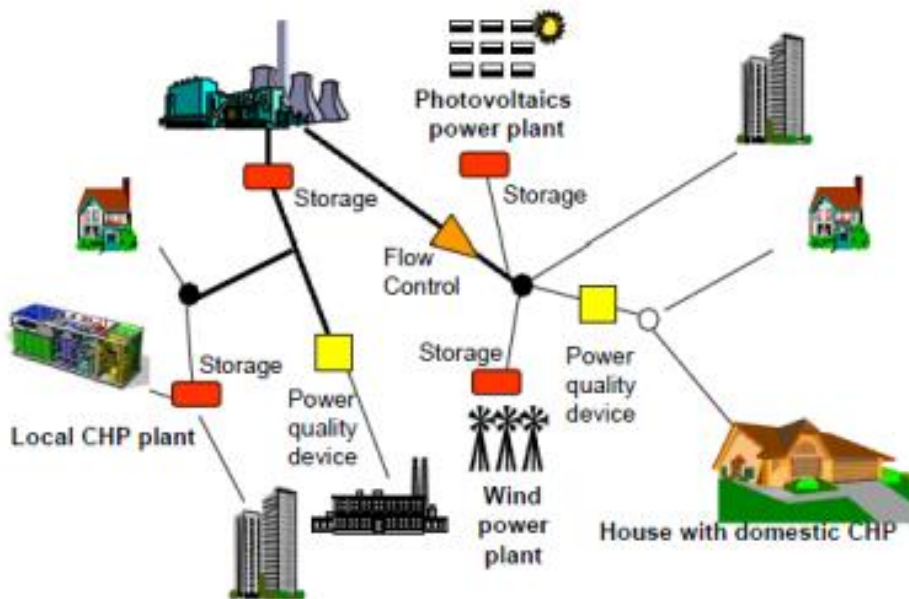


Σχήμα 5.9: Οι τρεις τομείς – στόχοι του Ευφυούς Ηλεκτρικού Δικτύου

Τα ακόλουθα σχήματα απεικονίζουν το συμβατικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας και το ευφυές ηλεκτρικό δίκτυο (smart grid).



Σχήμα 5.10: Συμβατικό σύστημα ΗΕ



Σχήμα 5.11: Ευφύες Ηλεκτρικό Δίκτυο



Τα συγκεντρωτικά χαρακτηριστικά του ΕΗΔ σε αντιπαραβολή με τα χαρακτηριστικά του υπάρχοντος παραδοσιακού ηλεκτρικού δικτύου παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα. Από τη σύγκρισή τους προκύπτουν σημαντικές διαφορές.

<b>Traditional Grid</b>	<b>Smart</b>
<b>Electromechanical devices</b> Ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός	<b>Digital/microprocessor devices</b> Ψηφιακός εξοπλισμός
<b>Conventional meters</b> Παραδοσιακοί μετρητές	<b>Smart meters</b> Έξυπνοι μετρητές
<b>One kind of tariff</b> Ενιαίος τρόπος τιμολόγησης ΗΕ	<b>Flexible tariffs</b> Ευέλικτη τιμολόγηση
<b>Estimated billing</b> Κατά προσέγγιση τιμολόγηση	<b>Precise billing</b> Ακριβής τιμολόγηση
<b>Estimated load profile</b> Εκτιμώμενο ενεργειακό προφίλ	<b>Accurate forecasting</b> Ακριβής πρόβλεψη φορτίων
<b>One-way power flow</b> Μονόδρομη ροή ισχύος	<b>Two-ways power flow</b> Αμφίδρομη ροή ισχύος
<b>One-way information flow</b> Μονόδρομη ροή πληροφορίας	<b>Two-ways information flow</b> Αμφίδρομη ροή πληροφορίας
<b>Centralized generation</b> Συγκεντρωτική παραγωγή	<b>Distributed generation</b> Διεσπαρμένη παραγωγή
<b>Congestion and bottlenecks</b> Φαινόμενα συμφόρησης και υπερφόρτωσης	<b>Security and sustainability</b> Ασφάλεια και βιωσιμότητα
<b>Centralized control</b> Συγκεντρωτικός έλεγχος	<b>Optimal maintenance and operation</b> Βέλτιστη συντήρηση και λειτουργία
<b>Radial and loop topology</b> Ακτινική και βροχοειδής τοπολογία	<b>Network topology</b> Τοπολογία δικτύου
<b>Manual restoration</b> Χειροκίνητη αποκατάσταση	<b>Self-healing</b> Αυτόματη αποκατάσταση βλαβών/σφαλμάτων
<b>Limited integration of renewable energies</b> Περιορισμένη διείσδυση ΑΠΕ	<b>Full integration of renewable energies</b> Πλήρης ενσωμάτωση ΑΠΕ
<b>Differing regulatory</b> Διαφορετική λειτουργία δικτύων ανά κράτος	<b>Cross-border trading</b> Διεθνώς διασυνδεδεμένα και συγχρονισμένα δίκτυα
<b>Outdated structure</b> Παρωχημένες υποδομές	<b>Flexible structure</b> Ευέλικτες υποδομές
	<b>Real-time operations</b> Χειρισμοί σε πραγματικό χρόνο
	<b>Active customers participation</b> Ενεργή συμμετοχή των χρηστών ΗΕ
	<b>Monitoring real time status</b> Απεικόνιση σε πραγματικό χρόνο της κατάστασης του
	<b>Customers own generation</b> Αυτοπαραγωγή ΗΕ καταναλωτών
	<b>Smart house control</b> Έλεγχος έξυπνης κατοικίας
	<b>Power storage</b> Αποθήκευση ενέργειας

**Πίνακας 5.2:** Αντιπαραβολή χαρακτηριστικών του συμβατικού ΣΗΕ με το ΕΗΔ



## Κεφάλαιο 6: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΔΟΜΗΣ ΤΟΥ ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΟΥ

### 6.1 Εισαγωγή

Στις ηλιόλουστες περιοχές του κόσμου η ηλιακή ενέργεια είναι η βασική ανανεώσιμη πηγή ενέργειας κυρίως από τους καταναλωτές. Τα οικιακά Φωτοβολταϊκά συστήματα είναι πολύ διαδεδομένα σε παγκόσμιο επίπεδο, διότι παρέχουν μια τοπική πηγή ενέργειας για τους καταναλωτές, που χρησιμοποιείται με διάφορους τρόπους, για κάλυψη των αναγκών των οικιών τους αποφεύγοντας έτσι τις απώλειες μεταφοράς και τις αιχμές του συστήματος ηλεκτρισμού [56]. Για την απαιτούμενη εγκατεστημένη ισχύ των φωτοβολταϊκών συστημάτων για τον κάθε τύπο καταναλωτή γίνεται η διαστασιολόγηση των διαφόρων στοιχείων, σύμφωνα με τις ηλεκτρικές απαιτήσεις του χρηστών [57,58].

Όμως, τα οικιακά φωτοβολταϊκά συστήματα όταν συνδέονται με το δίκτυο χρησιμοποιούν πολλαπλούς αντιστροφείς, και έτσι συχνά δημιουργούνται προβλήματα εμφάνισης «αρμονικών» στο δίκτυο. Επιπροσθέτως, υπάρχει μία σημαντική απώλεια ενέργειας εξαιτίας των πολλαπλών μετατροπών ισχύος, από DC που παράγεται στα φωτοβολταϊκά συστήματα, σε AC που μεταφέρεται στο δίκτυο διανομής και κατόπιν, σε DC, εντός των οικιών για την χρησιμοποίησή της από τις διάφορες οικιακές συσκευές, καθώς λόγω της αύξησης της δημοτικότητας των ηλεκτρονικών ισχύος, οι περισσότερες συσκευές λειτουργούν με DC πηγή παροχής ισχύος. Για την αποφυγή αναποτελεσματικών μετατροπών χρησιμοποιούμε το διπλό δίκτυο διανομής AC/DC [59]. Η DC μορφή ενέργειας χρησιμοποιείται σε συσκευές, όπως: λαμπτήρες LED, τηλεοράσεις, φορτιστές κινητών συσκευών, υπολογιστές, συστήματα αναπαραγωγής ήχου, κλπ.

Επιπλέον, οι οικίες που συμμετέχουν στο μικροδίκτυο έχουν ηλεκτρικές και θερμικές καταναλώσεις. Λόγω του ότι έχουμε τρεις διαφορετικούς τύπους οικιών, έχουμε τρεις διαφορετικές καταναλώσεις. Για να καλύψουμε τις θερμικές καταναλώσεις έχουμε προσθέσει τρεις μονάδες συμπαραγωγής και ένα λέβητα (boiler), ύστερα από τις κατάλληλες διαστασιολογήσεις. Για την αξιόπιστη και ευσταθή λειτουργία του μικροδικτύου έχει υλοποιηθεί ο αλγόριθμος ελέγχου της ροής ισχύος τόσο από την πλευρά του χρήστη όσο και από την πλευρά του διαχειριστή του μικροδικτύου.

Η ιδέα για τους αλγόριθμους ελέγχου, καθώς και για άλλα χαρακτηριστικά του μοντέλου προσομοίωσης αντλήθηκαν από δημοσίευση του Eindhoven University of Technology [31]. Η εφαρμογή του μοντέλου και οι αλγόριθμοι ελέγχου δημιουργήθηκαν με χρήση του πακέτου λογισμικού Matlab.

Εφόσον, υπάρχουν εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών συστημάτων στις στέγες των οικιών και μονάδες συμπαραγωγής για την κάλυψη των αναγκών τους, οι χρήστες του μικροδικτύου συμμετέχουν στην παραγωγή ενέργειας στο σύστημα. Τους δίνεται η δυνατότητα να επιτελέσουν ένα μικρό κομμάτι ελέγχου επί του συνολικού συστήματος [60]. Αυτή η δυνατότητα πραγματοποιείται με τον αλγόριθμο ελέγχου χρήστη ή αλλιώς Οικιακό Σύστημα Διαχείρισης Ενέργειας HEMS (Home Energy Management System), όπου αναλύεται στη συνέχεια και επεξηγείται με το διάγραμμα ροής του.

Εκτός από τον έλεγχο του χρήστη της οικίας, υπάρχει ακόμα ένας αλγόριθμος ελέγχου διαχείρισης ενέργειας για όλες τις οικίες του μικροδικτύου και όλους τους τύπους καταναλωτών, που έχει τον πλήρη έλεγχο ο διαχειριστής του μικροδικτύου. Το σύστημα αυτό ονομάζεται Σύστημα Διαχείρισης

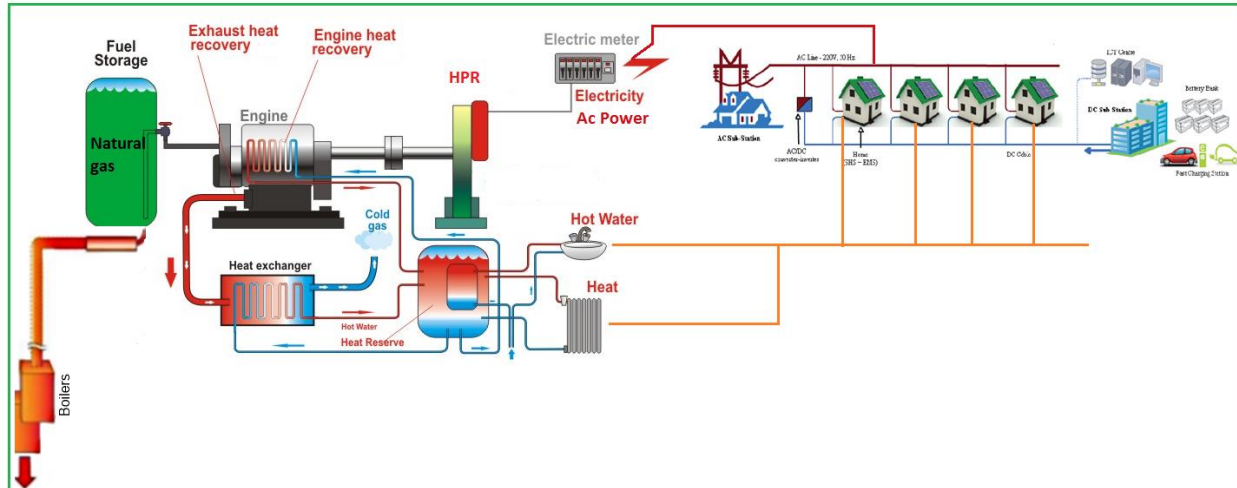
Ενέργειας του Διαχειριστή του Μικροδικτύου NEMS (Network Energy Management System), και έχει την εποπτεία για την αξιόπιστη και ευσταθή λειτουργία του μικροδικτύου, όπου αναλύεται στη συνέχεια και επεξηγείται με το διάγραμμα ροής του [6].

Επιπρόσθετως, υπάρχει και ένας αλγόριθμος διαχείρισης της ηλεκτρικής ισχύος που προκύπτει από τη λειτουργία των μονάδων συμπαραγωγής. Αυτή η ηλεκτρική ισχύς προέκυψε μέσω των λόγων μετατροπής HPR (Heat Power Ratio) των μονάδων συμπαραγωγής και μοιράζεται στην κάθε οικία. Με τα διάφορα mode λειτουργίας δίνει διαφορετικές δυνατότητες για την κάλυψη των AC και DC αναγκών των οικιών του μικροδικτύου. Αναλύεται στη συνέχεια και επεξηγείται με το διάγραμμα ροής του.

Στο εξελιγμένο περιβάλλον που βασίστηκε στο `grid_model` έχει προστεθεί η δυνατότητα της κάλυψης των θερμικών φορτίων μέσω χρήσης μονάδων CHP. Το σύστημα κάνει χρήση τριών τύπων CHP (ένα με μεγάλη ονομαστική θερμική ισχύ, ένα με μεσαίο επίπεδο ικανότητας παραγωγής θερμικής ισχύος καθώς και ένα με μικρή ικανότητα παραγωγής). Όλες οι μονάδες CHP είναι οργανωμένες σε μία κεντρική οντότητα η οποία καλείται `CHP_unit` και ενσωματώνει τις υπάρχουσες μονάδες στην ικανότητα προσομοίωσης και λειτουργίας του `grid_model`. Αναλύεται στη συνέχεια και επεξηγείται με το διάγραμμα ροής του.

#### **6.1.1 Σχεδίαση του Συστήματος Λειτουργίας**

Το σύστημα αποτελείται από το υπάρχον AC δίκτυο το οποίο συζεύγνυται με το DC δίκτυο διανομής, χρησιμοποιώντας αντιστροφείς AC/DC. Το DC δίκτυο συνδέεται σε ένα κέντρο διανομής, όπου υπάρχει το κοινό σύστημα αποθήκευσης ενέργειας με χρήση των συσσωρευτών του μικροδικτύου. Επιπλέον, υπάρχουν τρεις μονάδες συμπαραγωγής για κάλυψη των θερμικών απαιτήσεων των οικιών του μικροδικτύου παράγοντας θερμική ισχύ και μέσω των λόγων μετατροπής HPR (Heat Power Ratio) και ηλεκτρική AC ισχύ. Επιπροσθέτως, όπως απεικονίζεται και στο ακόλουθο σχήμα υπάρχει λέβητας (boiler) που ενεργοποιείται για την κάλυψη των θερμικών αναγκών που δεν καλύφθηκαν από τη λειτουργία των μονάδων συμπαραγωγής. Και τα δύο δίκτυα, AC και DC, συνδέονται με όλους τους τύπους οικιών του μικροδικτύου, μέσω του οικιακού συστήματος διαχείρισης ενέργειας. Το σύστημα αυτό δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη, να επεμβαίνει μερικώς στο σύστημα, λόγω της ισχύος που δίνεται σε κάθε οικία από την παραγωγή των φωτοβολταϊκών αλλά και από τον διαμοιρασμό της ηλεκτρικής ισχύος που προκύπτει από τη λειτουργία των μονάδων συμπαραγωγής. Το μικροδίκτυο υλοποιήθηκε για να προσφέρει υψηλές υπηρεσίες ποιότητας ισχύος στους χρήστες του, κάνοντας το σύστημα να λειτουργεί με αξιοπιστία και ευστάθεια. Στο παρακάτω σχήμα βλέπουμε το σύστημα όπως υλοποιήθηκε.

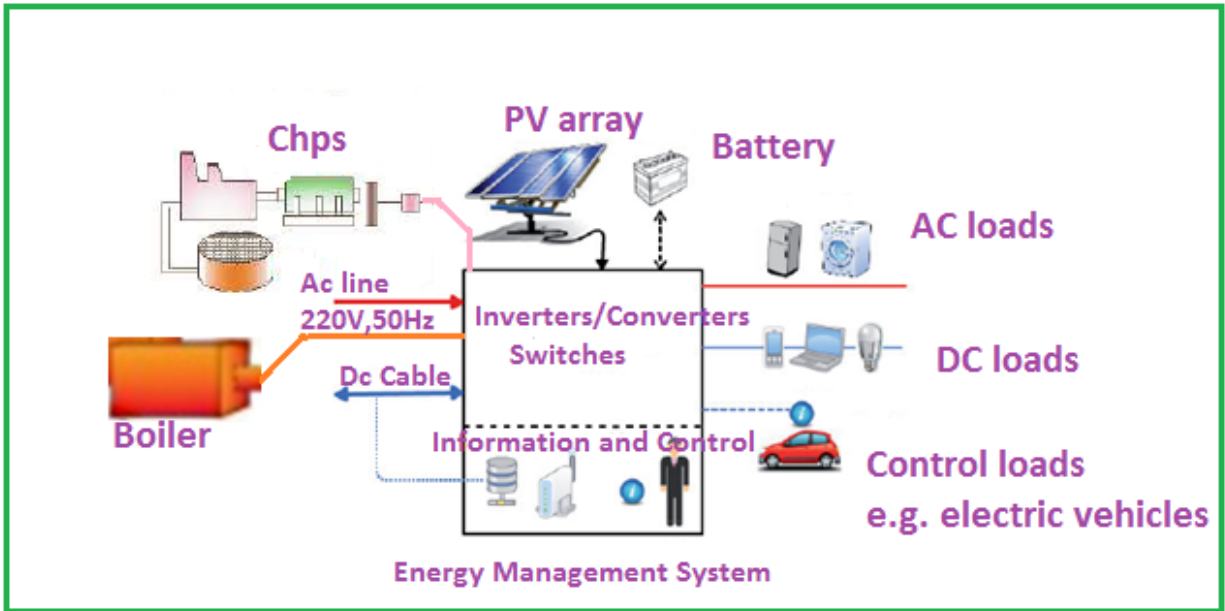


**Σχήμα 6.1:** Δομή μικροδικτύου με τρεις τύπους οικιών, εγκαταστάσεις φ/β, chps, boiler και συσσωρευτών

### 6.1.2 Συστήματα Διαχείρισης Ενέργειας του Μικροδικτύου

Η εγκατάσταση ενός συστήματος ενεργειακής διαχείρισης (Energy Management System–EMS) αποσκοπεί στην επιτήρηση και τον αυτόματο έλεγχο των ηλεκτρολογικών και μηχανολογικών εγκαταστάσεων ενός κτιρίου και καθιστά δυνατή την ανάλυση δεδομένων και τη ρύθμιση παραμέτρων των εγκαταστάσεων από ένα κέντρο ελέγχου. Επιπλέον, προσφέρει την παρακολούθηση και καταγραφή της ενεργειακής συμπεριφοράς των συστημάτων που είναι εγκατεστημένα στο κτίριο, καθώς και τη δημιουργία αρχείου με στατιστικά στοιχεία.

Ένα σύστημα EMS αποτελείται από ένα Κεντρικό Σταθμό Παρακολούθησης και Ελέγχου, τα αισθητήρια όργανα, τις διατάξεις εκτέλεσης εντολών, καθώς και κατάλληλη τηλεπικοινωνιακή υποδομή. Ο προγραμματισμός και η διαχείριση του συστήματος EMS γίνεται μέσω του κεντρικού σταθμού ελέγχου. Το Οικιακό Σύστημα Διαχείρισης Ενέργειας αποτελεί ένα σύστημα το οποίο ενεργεί ως εργαλείο διασύνδεσης ανάμεσα σε διαφορετικά τμήματα του οικιακού δικτύου. Το φωτοβολταϊκό σύστημα, συνδέεται απευθείας σε αυτήν την οντότητα καθώς και η ηλεκτρική ισχύς από τη συμπαραγωγή, που καλύπτει τις θερμικές ανάγκες μαζί με το λέβητα (boiler). Οι γραμμές διασύνδεσης των AC και DC δικτύων κατευθύνονται στα αντίστοιχα AC και DC οικιακά φορτία διαμέσου της οντότητας HEMS. Επίσης, υπάρχει και συσσωρευτής υποστήριξης καθώς και διάφορα έξυπνα φορτία, όπως απεικονίζονται στο ακόλουθο σχήμα.



**Σχήμα 6.2:** Αρχιτεκτονική του Οικιακού Συστήματος Διαχείρισης Ενέργειας

Το οικιακό σύστημα διαχείρισης ενέργειας αποτελεί ένα μηχανισμό διασύνδεσης για την κάθε οικία, έχει όμως και την δυνατότητα να μετατρέπει την ισχύ από AC σε DC και το αντίστροφο όταν απαιτείται [61]. Επίσης, είναι εφοδιασμένο με μετατροπείς, διότι τα επίπεδα τάσης του DC δικτύου διανομής είναι κατά κανόνα υψηλότερα από τα αντίστοιχα οικιακά επίπεδα, καθώς τα υψηλότερα επίπεδα τάσης επιτρέπουν την καλύτερη μετάδοση σε μεγάλες αποστάσεις.

Επιπροσθέτως, το οικιακό σύστημα διαχείρισης ενέργειας αποτελεί το κέντρο ελέγχου και διαχείρισης πληροφορίας για τα όρια της επικράτειας μίας οικίας. Παρακολουθεί την κατάσταση του συστήματος και επιτρέπει στον χρήστη να λάβει αποφάσεις βασισμένες σε πληροφορίες για τις τρέχουσες καταναλώσεις ηλεκτρικής και θερμικής ισχύος. Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει την λειτουργία του οικιακού δικτύου μέσω ενός προκαθορισμένου συνόλου εντολών που βασίζονται στην τρέχουσα κατάσταση του συστήματος και στις οικιακές ενεργειακές απαιτήσεις. Η λειτουργικότητα μπορεί να βελτιωθεί ακόμα περισσότερο, χρησιμοποιώντας πιο σύνθετους αλγορίθμους και ειδικά σήματα ελέγχου όπως η πρόβλεψη των ενεργειακών αναγκών των φορτίων της οικίας, κυρίως μέσω στατιστικών δεδομένων. Οι ενέργειες αυτές διασφαλίζουν την βέλτιστη και αξιόπιστη λειτουργικότητα του δικτύου και ενισχύουν τον ρόλο του χρήστη στον χειρισμό των ενεργειακών του αναγκών της οικίας του.

Το Σύστημα Διαχείρισης Ενέργειας του Μικροδικτύου αποτελεί ένα σύστημα το οποίο ενεργεί ως εργαλείο διασύνδεσης ανάμεσα στον AC και DC ζυγό του μικροδικτύου καθώς και στη συστοιχία των συσσωρευτών του μικροδικτύου. Το σύστημα είναι επιφορτισμένο με τη συλλογή και την καταγραφή των δεδομένων ζήτησης και παραγωγής συνολικά στο μικροδίκτυο και ελέγχει τις ροές ισχύος στους ζυγούς. Η κύρια ευθύνη του διαχειριστή του δικτύου είναι να αποφασίζει τα ελάχιστα και τα μέγιστα επίπεδα ισχύος που το εξωτερικό δίκτυο είναι διατεθειμένο να διαθέσει προς το μικροδίκτυο.

Τέλος, αξίζει να γίνει γνωστό ότι οι οντότητες χρήστη και διαχειριστή του μικροδικτύου έχουν τη δυνατότητα να παράξουν σήματα συναγερμού, ενημερώνοντας με τον τρόπο αυτό τον οικιακό χρήστη ή το διαχειριστή του μικροδικτύου, στις περιπτώσεις που απαιτείται, όπως για παράδειγμα να αυξήσει την παρεχόμενη ισχύ από το εξωτερικό δίκτυο όταν δεν μπορούν να καλυφθούν οι ανάγκες από την ηλεκτρική ισχύ των φωτοβολταϊκών συστημάτων, την ηλεκτρική ισχύ των μονάδων συμπαραγωγής και από τους συσσωρευτές του μικροδικτύου.

### **6.1.3 Ανάλυση λειτουργίας μονάδων συμπαραγωγής**

Για τον έλεγχο και την πιστοποίηση της λειτουργίας του μικροδικτύου με έμφαση στην προσθήκη της βαθμίδας λειτουργίας συμπαραγωγής CHP που αφορά στην κάλυψη θερμικών (Heat Match) ή/και ηλεκτρικών απαιτήσεων (Electricity Match) του μικροδικτύου, γίνεται χρήση ειδικά διαμορφωμένων σεναρίων προσομοίωσης, που περιγράφονται και αναλύονται σε επόμενο κεφάλαιο. Το σύστημα υλοποιήθηκε για να κάνει χρήση τριών τύπων CHPs, ένα με μεγάλη ονομαστική θερμική ισχύ, ένα με μεσαίο επίπεδο ικανότητας παραγωγής θερμικής ισχύος καθώς και ένα με μικρή ικανότητα παραγωγής θερμικής ισχύος. Όλες οι μονάδες CHPs είναι οργανωμένες σε μία κεντρική οντότητα η οποία καλείται CHP\_unit και ενσωματώνει τις υπάρχουσες μονάδες στην ικανότητα προσομοίωσης και λειτουργίας του grid\_model. Τα χαρακτηριστικά αυτών των CHPs είναι εντελώς ανεξάρτητα και καθοριζόμενα/ελεγχόμενα πλήρως από τον χρήστη, κατά την διάρκεια εισαγωγής παραμέτρων στο σενάριο και η λειτουργία τους παραμένει πλήρως παραμετροποιημένη. Η χρήση τριών μονάδων έναντι μίας η οποία συνολικά θα κάλυπτε τις θερμικές απαιτήσεις των οικιών του μικροδικτύου προσφέρεται κατά τέτοιο τρόπο ώστε να δίνει την δυνατότητα της κλιμακωτής ενεργοποίησής τους, ανάλογα με τις επαγόμενες θερμικές ανάγκες, όπως αυτές μεταβάλλονται δυναμικά κατά την διάρκεια εξέλιξης του σεναρίου προσομοίωσης. Έτσι το σύστημα μπορεί να ενεργοποιήσει αυτόματα την μικρή μονάδα θερμικής παραγωγής όταν οι θερμικές απαιτήσεις είναι χαμηλές και δυναμικά στην συνέχεια να ενεργοποιήσει σταδιακά και τις υπόλοιπες μονάδες εφόσον αυτό κριθεί αναγκαίο κατά την διάρκεια εφαρμογής του σεναρίου.

Ο μηχανισμός ενεργοποίησης των θερμικών μονάδων παραγωγής βασίζεται σε δύο αλγόριθμους που έχουν υλοποιηθεί οι οποίοι εισάγουν κλιμακωτά την λειτουργία των μονάδων σε αύξουσα ή φθίνουσα κατεύθυνση για την κάλυψη των θερμικών αναγκών.

Σε αύξουσα φορά η βαθμίδα chr\_unit αναθέτει τα θερμικά φορτία από χαμηλά προς υψηλά ενεργοποιώντας σε πρώτο βαθμό το μικρότερο από τα CHPs που παρέχονται και στην συνέχεια με το υπόλοιπο των θερμικών απαιτήσεων ενεργοποιεί το μεσαίας κλίμακας και αν ανακύψουν επιπλέον απαιτήσεις τέλος ενεργοποιείται και το μεγαλύτερης κλίμακας με στόχο την ολική κάλυψη των απαιτήσεων.

Σε φθίνουσα φορά γίνεται το ακριβώς αντίθετο, δηλαδή τα θερμικά φορτία ανατίθενται στα CHPs υψηλής παραγωγής και τα εναπομείναντα θερμικά φορτία στην συνέχεια ενεργοποιούν το μεσαίο και εφόσον ανακύπτουν περαιτέρω ανάγκες ενεργοποιείται και το μικρότερης κλίμακας CHP. Οι δύο αυτοί διαφορετικοί τρόποι λειτουργίας (mode λειτουργίας) αναμένεται να δώσουν διαφορετικά αποτελέσματα προσομοίωσης εφόσον τα ονομαστικά χαρακτηριστικά καθώς και οι δείκτες απόδοσης των μονάδων που συνιστούν το CHP\_unit διαφέρουν μεταξύ τους καθιστώντας άλλοτε συμφέρουσα την ενεργοποίηση της μεγάλης κλίμακας CHP ενώ άλλοτε της μικρότερης κλίμακας.

Στην περίπτωση όπου η μονάδα του `chr_unit` δεν επαρκεί για την συνολική κάλυψη των θερμικών φορτίων του συστήματος, οι επιπλέον ανάγκες κάλυψης αναφέρονται σε ένα νέο διάνυσμα στο μοντέλο προσομοίωσης (`Q_Plus`), το οποίο οδηγείται για κάλυψή του σε ειδική μονάδα παραγωγής θερμότητας (θερμαντήρας - boiler). Οι ισχύεις των μονάδων συμπαραγωγής καθώς και του boiler προέκυψαν από τις αντίστοιχες διαστασιολογήσεις των θερμικών απαιτήσεων των οικιών του μικροδικτύου.

Επιπλέον από την χρήση των CHPs για την κάλυψη θερμικών αναγκών του συστήματος, στο περιβάλλον προσομοίωσης προβλέπεται και ένα άλλο mode λειτουργίας, όπου οι μονάδες CHPs χρησιμοποιούνται ως μονάδες συμπαραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας δρώντας συνεπικουρικά με την παροχή ενέργειας από το εξωτερικό δίκτυο. Στην περίπτωση αυτή ως στόχος τίθεται η κάλυψη των ηλεκτρικών ενεργειακών αναγκών του συστήματος και όχι οι θερμικές απαιτήσεις των οικιών του μικροδικτύου. Στόχος με χρήση αυτού του τρόπου λειτουργίας είναι η διερεύνηση της αποδοτικότητας λειτουργίας των βαθμίδων συμπαραγωγής θερμότητας για την κάλυψη ηλεκτρικών αναγκών.

Για την αυτόνομη λειτουργία των δύο διαφορετικών τρόπων στο υπάρχον μοντέλο προσομοίωσης προσαρμόστηκε η βαθμίδα `CHP_electricity` η οποία περιλαμβάνει τις τρεις μονάδες παραγωγής των CHPs αλλά αυτήν την φορά με λειτουργία για την κάλυψη των ηλεκτρικών αναγκών των οικιών του μικροδικτύου. Η συγκεκριμένη μονάδα ενεργοποιείται εφόσον ο χρήστης ζητήσει την λειτουργία ηλεκτρικής κάλυψης μέσω των CHPs με χρήση της παραμέτρου `use_chr_ac_pron='y'` στο περιβάλλον `grid_model`. Εφόσον αυτή η παράμετρος τεθεί σε τιμή 'y' ενεργοποιεί την μονάδα `chr_electricity` για την κάλυψη των ηλεκτρικών αναγκών απενεργοποιώντας την προηγούμενη βαθμίδα `chr_unit` η οποία απευθύνεται αποκλειστικά για την κάλυψη θερμικών αναγκών όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως. Η λογική ενεργοποίησης και λειτουργίας των τριών μονάδων CHPs που χρησιμοποιούνται για την κάλυψη των ηλεκτρικών αναγκών είναι ίδια με τη λογική για την κάλυψη των θερμικών αναγκών που παρουσιάστηκε αναλυτικά παραπάνω, με μόνη διαφορά ότι οι μονάδες CHPs λειτουργούν για την κάλυψη των ηλεκτρικών αναγκών. Αν δεν μπορούν να τις καλύψουν πλήρως τις ηλεκτρικές ανάγκες, αγοράζουν ισχύ από το εξωτερικό δίκτυο παροχής ισχύος, την οποία συμβολίζουμε στο σενάριο `Electricity Match P_grid`.

#### **6.1.4 Διαμοιρασμός DC και AC ισχύος στις οικίες του μικροδικτύου**

Η ηλεκτρική ισχύς που παράγεται από την λειτουργία των μονάδων συμπαραγωγής βάσει των θερμικών απαιτήσεων των οικιών του μικροδικτύου είναι AC ισχύς και χρησιμοποιείται για κάλυψη των AC απαιτήσεων των χρηστών. Η περίσσεια της ισχύος αυτής μετατρέπεται σε DC ισχύ μέσω των αντίστοιχων μετατροπών και χρησιμοποιείται από το DC δίκτυο διανομής. Τον τρόπο με τον οποίο διατίθεται η ηλεκτρική ισχύ που παρέχεται από τις μονάδες συμπαραγωγής θα δούμε αναλυτικά παρακάτω με την επεξήγηση του διάγραμματος ροής. Το DC δίκτυο διανομής χρησιμοποιείται γιατί μειώνει τις ενεργειακές απώλειες που οφείλονται σε συνεχόμενες μετατροπές ενέργειας από AC σε DC και αντίστροφα αυξάνοντας την αποδοτικότητα του συστήματος. Επιπλέον, παρέχει ένα δίκτυο υποδομής για το μικροδίκτυο μέσα στο υπάρχον σύστημα για ανταλλαγή ενέργειας, όπου μας δίνει τη δυνατότητα σύνδεσης των οικιών με τους συσσωρευτές του συστήματος οι οποίοι επίσης λειτουργούν με συνεχή DC τάση. Το δίκτυο διανομής DC παρακολουθείται πιο εύκολα σε σχέση με το AC, διότι δεν υπεισέρχονται αρμονικές συχνότητες στην λειτουργία του. Οι γραμμές μεταφοράς του DC δικτύου μπορούν και να

χρησιμοποιηθούν για επικοινωνία και μετάδοση δεδομένων παρέχοντας ασφαλή και οικονομική επικοινωνία εντός του δικτύου [62,63].

Το AC δίκτυο συνδέεται με το DC δίκτυο μέσω κατάλληλων ηλεκτρονικών διατάξεων, που εξασφαλίζει στο σύστημά μας αμφίδρομη ροή ισχύος. Αυτό κάνει το μικροδίκτυο να λειτουργεί με ευστάθεια και αξιοπιστία, εξασφαλίζοντας επαρκώς τις απαιτήσεις των χρηστών του.

Η τυποποίηση των επιπέδων της τάσης λειτουργίας των DC συσκευών, οι μηχανισμοί ασφαλείας και η μεγάλη κλίμακας εφαρμογή τους, αποτελούν ουσιαστικά εμπόδια για την αποδοχή των DC δικτύων σε μαζικότερο επίπεδο [64].

### 6.1.5 Διαστασιολόγηση Συσσωρευτών Μικροδικτύου

Για την διαστολολόγηση των μπαταριών του grid και την ανάγκη διαπίστωσης της κατάλληλης χωρητικότητας των μπαταριών λαμβάνουμε υπόψη τα εξής ακόλουθα:

- Η χωρητικότητα των μπαταριών (1 Ah = 3600Cb) θα πρέπει να επαρκεί έτσι ώστε στο χειρότερο σενάριο το grid να μην ξεμένει από ενέργεια, όπου στην περίπτωση αυτή θα έχουμε την ελάχιστη χωρητικότητα των μπαταριών.
- Οι κατασκευαστές των μπαταριών δίνουν στις οδηγίες τους ένα διάστημα επί τοις % επιπέδου φόρτισης (State of charge –Soc) που πρέπει να κυμαίνονται έτσι ώστε να παραμείνουν σε καλή κατάσταση και να έχουν αρκετή διάρκεια. Επιπλέον, μας δίνουν ένα μέγιστο πλήθος συνολικών αποφορτίσεων 0 % πρωτού η μπαταρία αποφορτιστεί πλήρως για να μην χαλάσει και έτσι δημιουργηθεί πρόβλημα στην ευσταθή λειτουργία του grid.
- Επίσης, το επίπεδο φόρτισης των συσσωρευτών (State of charge –Soc) δεν θα πρέπει να είναι από 95% και άνω, διότι η μπαταρία οδηγείται σε υπερφόρτιση και μειώνεται η χρονική διάρκεια ζωής της.
- Όλες αυτές τις απότομες μεταβολές, φορτίσεις και εκφορτίσεις, πάνω από κάποια συγκεκριμένα όρια τις έχουμε προβλέψει στον κώδικα που έχουμε υλοποιήσει στο matlab ενεργοποιώντας κάποια σήματα συναγερμού και κάνοντας τον διαχειριστή του grid να πάρει τις ανάλογες αποφάσεις όπως την αύξηση όταν απαιτείται ή τη μείωση της χωρητικότητας των συσσωρευτών.
- Η κατάλληλη χωρητικότητα των συσσωρευτών είναι πλήρης συνάρτηση των  $P_{min}$  και  $P_{max}$  που θα αγοράσουμε από το δίκτυο της ΔΕΗ για να καλύψουμε τις ανάγκες του grid με την έννοια ότι η κατάλληλη επιλογή των επιπέδων  $P_{min}$  και  $P_{max}$  μπορεί να μας γλιτώσει την ανάγκη αύξησης της χωρητικότητας των μπαταριών, πλήρης συνάρτηση της μονάδας συμπαραγωγής  $chp$ , των ηλεκτρικών και θερμικών καταναλώσεων για τους πέντε διαφορετικούς τύπους καταναλωτών που έχουμε στο grid.
- Τέλος σε κάθε σενάριο που τρέχαμε προσθέτοντας και άλλους τύπους καταναλωτών ή και περισσότερο πλήθος σπιτιών αυξάναμε τη χωρητικότητα της μπαταρίας σε κατάλληλο μέγεθος έτσι ώστε να πληρούνται όλες οι παραπάνω προϋποθέσεις.

### **6.1.6 Σύστημα αποθήκευσης ενέργειας και DC υποσταθμός του μικροδικτύου**

Το DC δίκτυο συνδέει τις οικίες με το DC υποσταθμό. Συμπεριλαμβάνει το σύστημα κοινής αποθήκευσης ενέργειας, το οποίο είναι υπεύθυνο για την αποθήκευση της πλεονάζουσας ισχύος από τα Φωτοβολταϊκά συστήματα και από την περίσσεια ηλεκτρικής ισχύος που παράχθηκε από τη λειτουργία των μονάδων συμπαραγωγής και μετατράπηκε σε DC αφού κάλυψε τις AC απαιτήσεις των οικιών του μικροδικτύου κατά τις χρονικές φάσεις της προσομοίωσης, προσφέροντας την δυνατότητα για χρήση αυτής τις ώρες εκείνες όπου απαιτείται κυρίως απογευματινές και βραδινές ώρες. Μια μελλοντική επέκταση της παρούσας εργασίας είναι ο DC υποσταθμός να λειτουργήσει ως γρήγορος σταθμός φόρτισης για ηλεκτρικά οχήματα. Αυτό αν συνέβαινε τις ώρες της ημέρας όπου το επίπεδο φόρτισης των συσσωρευτών φτάνει στο μέγιστο επίπεδο θα μπορούσαμε να διοχετεύσουμε αποδοτικά την διαθέσιμη ενέργεια.

Επίσης, οι υποσταθμοί μπορούν να λειτουργήσουν ως κέντρα συλλογής πληροφοριών και διαχείρισης δεδομένων που αφορούν το DC δίκτυο. Ο υποσταθμός μπορεί να παρακολουθήσει την λειτουργία διαφορετικών τμημάτων του συστήματος και να αποφασίζει για την λειτουργία του DC δικτύου, στοχεύοντας στην βελτιστοποίηση της λειτουργίας του. Αυτό μπορεί να γίνει με κατάλληλες ενέργειες και σήματα από τον διαχειριστή του μικροδικτύου.

### **6.1.7 Εγκατάσταση/Εφαρμογή του Μικροδικτύου προσομοίωσης**

Το μικροδίκτυο όπως έχει υλοποιηθεί χρησιμοποιείται για σενάρια προσομοίωσης ακόμα και χωρίς την προσφορά του εξωτερικού δικτύου παροχής ισχύος, στις περιπτώσεις όπου έχουμε αυξημένες θερμικές απαιτήσεις των οικιών του μικροδικτύου, όπου μαζί με την παραγωγή ισχύος από τα φωτοβολταϊκά και του συσσωρευτές του συστήματος καλύπτουν τις ανάγκες όλων των οικιών, κάνοντας τη λειτουργία του αυτόνομη και αξιόπιστη.

Το τρέχων σύστημα μπορεί να εφαρμοστεί σε περιοχές που είναι απομονωμένες από το εξωτερικό δίκτυο παροχής ισχύος, ή σε αναπτυσσόμενες περιοχές όπου το προσφερόμενο εξωτερικό δίκτυο είναι ασθενές και οι διακοπές παροχής ενέργειας είναι πολύ συνηθισμένο φαινόμενο. Επίσης, το σύστημα λειτουργεί σε διάφορες συνθήκες λειτουργίας υπό το διαφορετικό καθεστώς των απαιτήσεων κάθε χρήστη, καθώς υπάρχουν τρεις διαφορετικοί τύποι καταναλωτών. Η λειτουργία μπορεί να αλλάξει για περιοχές που είναι πολύ καλά συνδεδεμένες σε εξωτερικά δίκτυα παροχής ισχύος και το δίκτυο είναι αξιόπιστο.



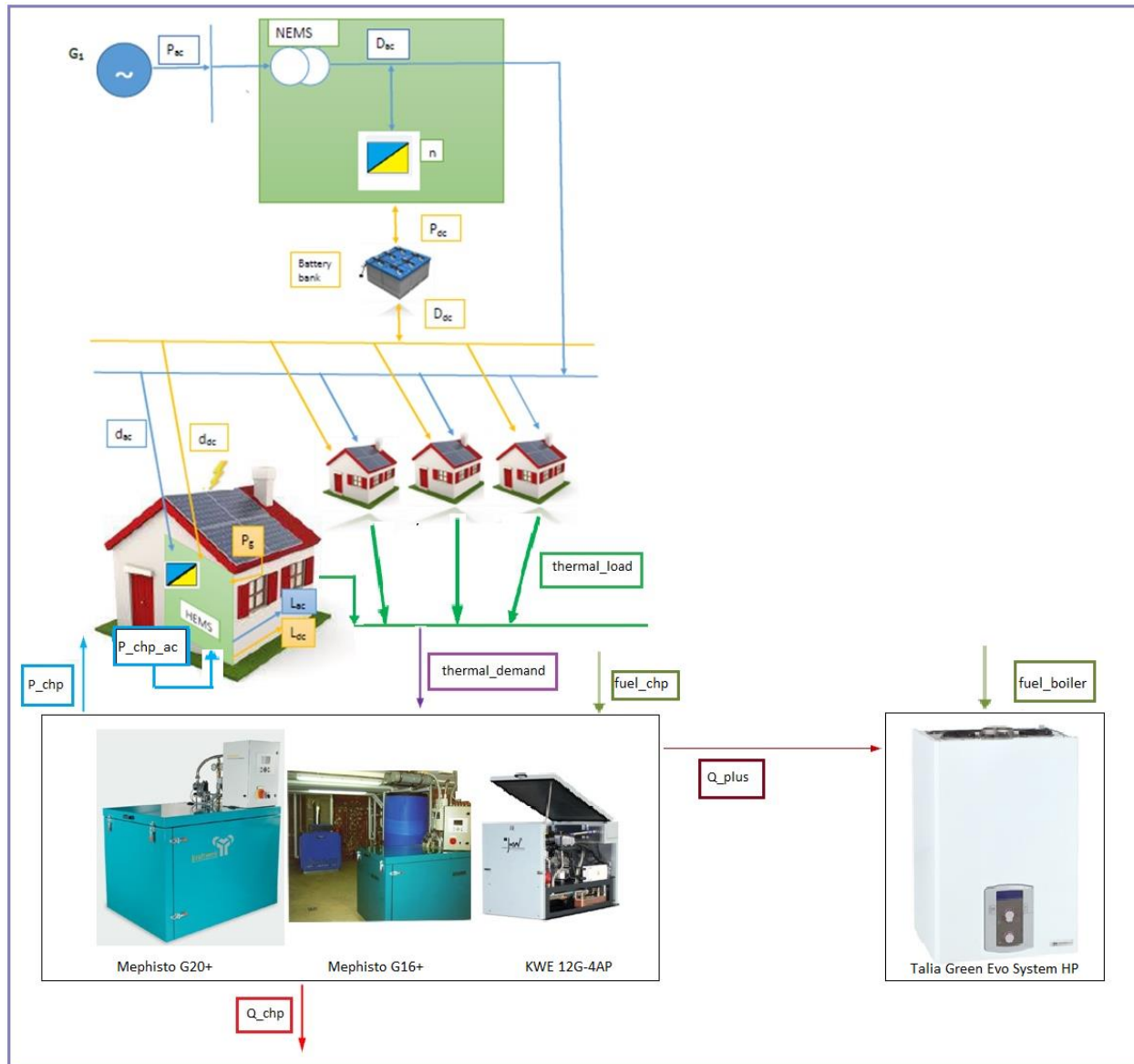
## 6.2 Περιγραφή Πολιτικών Διαχείρισης Ενέργειας και Ελέγχου του Μικροδικτύου

Όπως αναφέραμε και παραπάνω, το σύστημα είναι αρκετά ευέλικτο και ελέγχεται από αρκετές παραμέτρους τόσο από τον Διαχειριστή του Μικροδικτύου όσο και από τον απλό οικιακό χρήστη. Αυτές οι παράμετροι αναλύονται και περιγράφονται στον παρακάτω πίνακα.

Παράμετρος	Περιγραφή
$L_{dc}$	Κατανάλωση DC φορτίου ανά οικία ανά τύπο καταναλωτή
$L_{ac}$	Κατανάλωση AC φορτίου ανά οικία ανά τύπο καταναλωτή
$P_g$	Παραγόμενη ισχύς από το φωτοβολταϊκό σύστημα ανά οικία ανά τύπο καταναλωτή
$d_{dc}$	Απαίτηση από το DC δίκτυο ανά οικία ανά τύπο καταναλωτή
$d_{ac}$	Απαίτηση από το AC δίκτυο ανά οικία ανά τύπο καταναλωτή
$D_{dc}$	Συνολικές απαιτήσεις από το DC δίκτυο για όλες τις οικίες και τύπους καταναλωτών του μικροδικτύου
$D_{ac}$	Συνολικές απαιτήσεις από το AC δίκτυο για όλες τις οικίες και τύπους καταναλωτών του μικροδικτύου
$P_{min}$	Κατώτατο επίπεδο παρεχόμενης ισχύος προς το μικροδίκτυο από το AC δίκτυο
$P_{max}$	Ανώτατο επίπεδο παρεχόμενης ισχύος προς το μικροδίκτυο από το AC δίκτυο
$P_{ac}(t)$	Πραγματική παρεχόμενη ισχύς στο μικροδίκτυο από το AC δίκτυο σε κάθε βήμα (step) κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης
$P_{dc}(t)$	Πραγματική παρεχόμενη ισχύς στο δίκτυο από τους συσσωρευτές του μικροδικτύου σε κάθε βήμα (step) κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης
$H$	Συντελεστής απόδοσης των μετατροπέων που χρησιμοποιούνται στο μικροδίκτυο
$SOC$	Κατάσταση φόρτισης των συσσωρευτών του μικροδικτύου
$thermal\_load$	Θερμική κατανάλωση φορτίου ανά οικία ανά τύπο καταναλωτή
$thermal\_demand$	Συνολικές θερμικές απαιτήσεις φορτίων για όλες τις οικίες και τύπους καταναλωτών του μικροδικτύου
$P_{chp\_ac}$	Ηλεκτρική ισχύς διαμοιρασμένη στις οικίες του μικροδικτύου που παρέχεται από τη λειτουργία των μονάδων συμπαραγωγής
$P_{chp}$	Συνολική παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς από τη λειτουργία των μονάδων συμπαραγωγής
$Q_{chp}$	Συνολική παραγόμενη θερμική ισχύς από τη λειτουργία των μονάδων συμπαραγωγής
$Q_{plus}$	Συνολική Θερμική ισχύς καλυπτόμενη από τη λειτουργία του λέβητα (boiler)
$fuel_{chp}$	Ποσότητα καυσίμου (φυσικού αερίου) που απαιτείται για τη λειτουργία των μονάδων συμπαραγωγής
$fuel_{boiler}$	Ποσότητα καυσίμου (φυσικού αερίου) που απαιτείται για τη λειτουργία του λέβητα (boiler)

**Πίνακας 6.1:** Περιγραφή των συμβόλων για την ανάλυση της ροής ισχύος στο μικροδίκτυο

Το σχήμα που ακολουθεί μας δείχνει τις ροές ισχύος στο μικροδίκτυο με τις παραμέτρους που αναλύθηκαν στον προηγούμενο πίνακα.

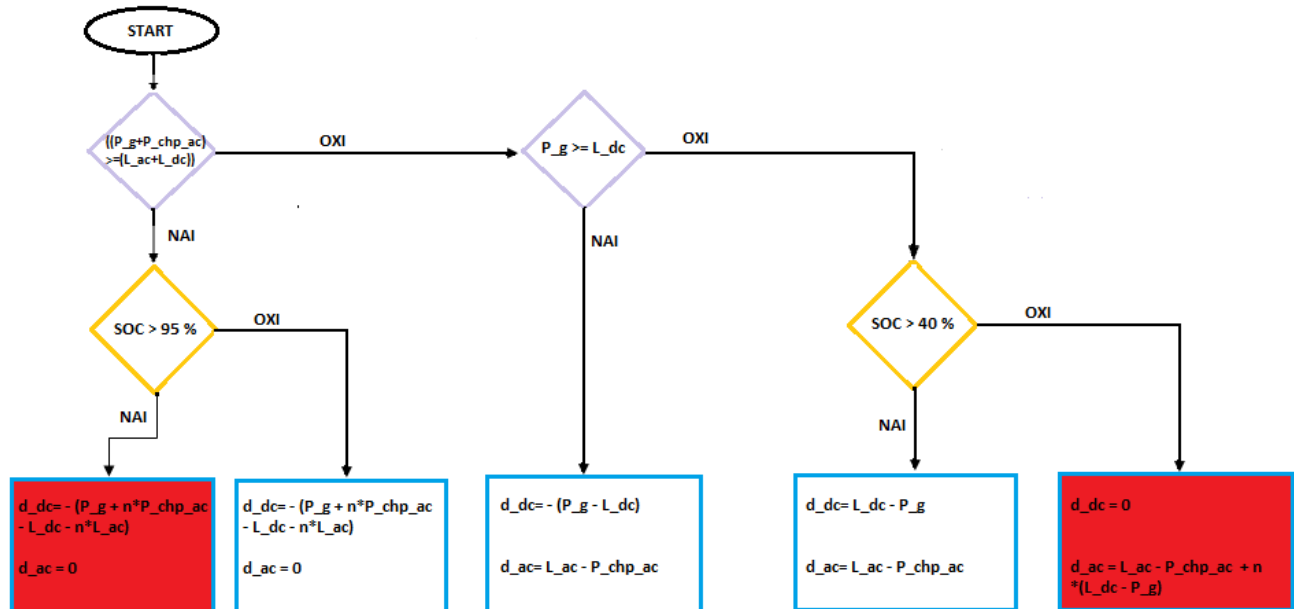


**Σχήμα 6.3:** Διάγραμμα ροών ισχύος κατά μήκος της τοπολογίας του μικροδικτύου

Όπως αναφέραμε και παραπάνω υπάρχουν σύνολα πολιτικών διαχείρισης και ελέγχου για το σύστημα. Αυτοί οι έλεγχοι διασφαλίζουν ότι το μικροδίκτυο λειτουργεί με ευστάθεια και αξιοπιστία. Οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται παρουσιάζονται και αναλύονται από τα διαγράμματα ροής τους.

## 6.2.1 Πολιτική Διαχείρισης Ενέργειας και Έλεγχος Οικιακού Συστήματος

Το παρακάτω διάγραμμα ροής μας περιγράφει την πολιτική διαχείρισης ενέργειας καθώς και τον έλεγχο του οικιακού χρήστη στη συνολική λειτουργία του μικροδικτύου.



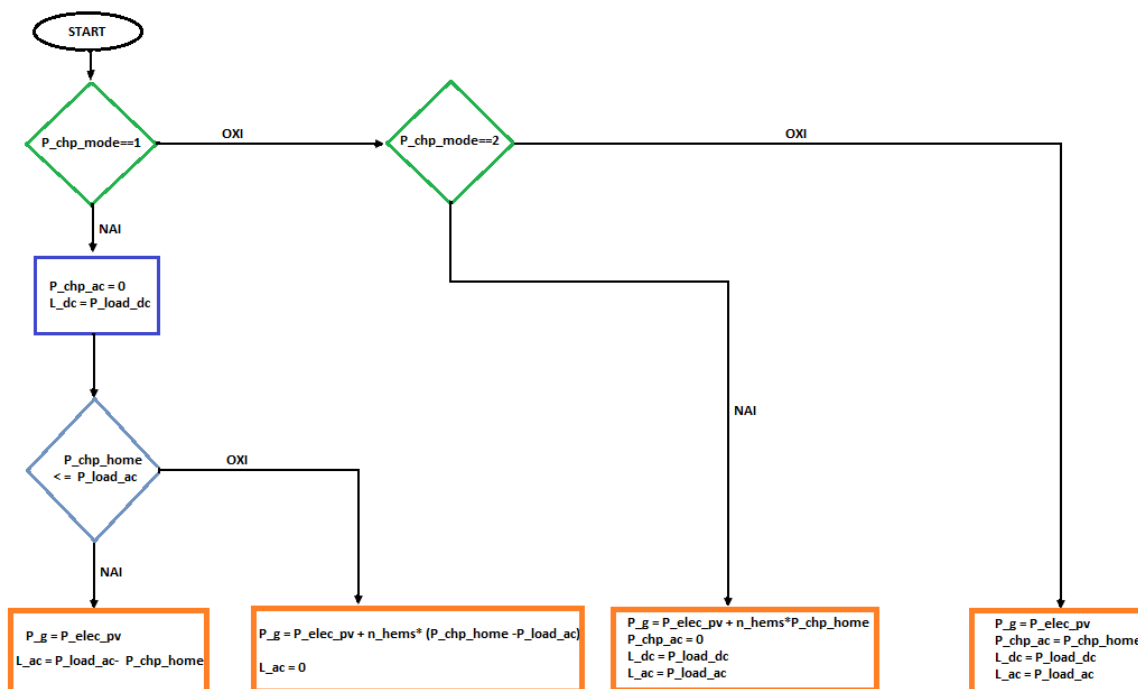
**Σχήμα 6.4:** Αλγόριθμος του οικιακού συστήματος διαχείρισης ενέργειας

- 1<sup>η</sup> περίπτωση: Όταν η παρεχόμενη ηλεκτρική ισχύς από τα φωτοβολταϊκά και τις μονάδες συμπαραγωγής καλύπτουν τις καταναλώσεις AC και DC φορτίων, η περίσσεια ισχύος αποθηκεύεται στους συσσωρευτές του μικροδικτύου. Εάν το επίπεδο φόρτισης των συσσωρευτών είναι μεγαλύτερο από 95% τότε ενεργοποιείται συναγερμός προκειμένου να αλλάξουν κάποιες συνθήκες απόφασης, όπως μεγαλύτεροι συσσωρευτές.
- 2<sup>η</sup> περίπτωση: Εάν το επίπεδο φόρτισης των συσσωρευτών δεν είναι μεγαλύτερο από 95% τότε δεν ενεργοποιείται συναγερμός και η περίσσεια ισχύος καταλήγει στους συσσωρευτές του μικροδικτύου.
- 3<sup>η</sup> περίπτωση: Όταν η παρεχόμενη ηλεκτρική ισχύς από τα φωτοβολταϊκά συστήματα καλύπτει τις DC καταναλώσεις φορτίων αλλά όχι τις συνολικές, τότε οι καταναλώσεις των AC φορτίων καλύπτονται από την ηλεκτρική ισχύ μέσω των μονάδων συμπαραγωγής. Αν υπάρχει περίσσεια ισχύος AC μετατρέπεται σε DC μέσω αντιστροφών και καταλήγει στους συσσωρευτές του συστήματος, εφόσον έχουν καλυφθεί οι DC ανάγκες εξ' ολοκλήρου. Αν υπάρχει πλεόνασμα ισχύος και από τις DC ανάγκες και αυτή καταλήγει στους συσσωρευτές. Σε περίπτωση που δεν καλύπτονται πλήρως οι AC απαιτήσεις από τις μονάδες συμπαραγωγής, ούτε από το πλεόνασμα των φωτοβολταϊκών, ούτε από τους συσσωρευτές, τότε αυτές καλύπτονται από το εξωτερικό AC δίκτυο.

- 4<sup>η</sup> περίπτωση: Όταν η παραγόμενη ισχύς από τα φωτοβολταϊκά δεν επαρκεί για να καλύψει τις DC ανάγκες τότε ελέγχεται η κατάσταση των συσσωρευτών και αν είναι πάνω από 40% καλύπτονται οι DC από τους συσσωρευτές. Οι AC ανάγκες καλύπτονται από τη λειτουργία των μονάδων συμπαραγωγής. Αν υπάρχει πλεόνασμα μετατρέπεται σε DC και χρησιμοποιείται αν χρειάζεται για τις DC ανάγκες αλλιώς καταλήγει στους συσσωρευτές. Σε περίπτωση που οι AC ανάγκες δεν καλύπτονται από την παρεχόμενη ηλεκτρική ισχύ των μονάδων συμπαραγωγής τότε αυτές καλύπτονται από το εξωτερικό AC δίκτυο παροχής ισχύος.
- 5<sup>η</sup> περίπτωση: Στην περίπτωση που η κατάσταση φόρτισης των συσσωρευτών είναι μικρότερη από 40% δεν παίρνουμε τίποτα από τους συσσωρευτές για την κάλυψη των DC αναγκών. Οι AC ανάγκες καλύπτονται από τη λειτουργία των μονάδων συμπαραγωγής και αν υπάρχει πλεόνασμα καλύπτουν και τις DC ανάγκες μέσω των αντιστροφών. Αν δεν καλύπτονται από την παρεχόμενη ηλεκτρική ισχύ των μονάδων συμπαραγωγής, οι απαιτήσεις καλύπτονται από το εξωτερικό AC δίκτυο παροχής ισχύος. Τέλος, ενεργοποιείται και ο συναγερμός για να δείξει τη χαμηλή στάθμη της κατάστασης των συσσωρευτών του μικροδικτύου.

### 6.2.2 Πολιτική Διαχείρισης και Έλεγχος Ηλεκτρικής Ισχύος από ΣΗΘ

Το παρακάτω διάγραμμα ροής μας επεξηγεί τον τρόπο με τον οποίο μπορούμε να διαχειριστούμε την παρεχόμενη ηλεκτρική ισχύ που προκύπτει από τη λειτουργία των μονάδων συμπαραγωγής με κάλυψη θερμικού φορτίου. Όσον αφορά για την κάλυψη του ηλεκτρικού φορτίου από τις μονάδες συμπαραγωγής δεν ισχύει αυτή η πολιτική μιας και σ' αυτή την περίπτωση οι μονάδες συμπαραγωγής παίζουν το ρόλο του εξωτερικού παρόχου.



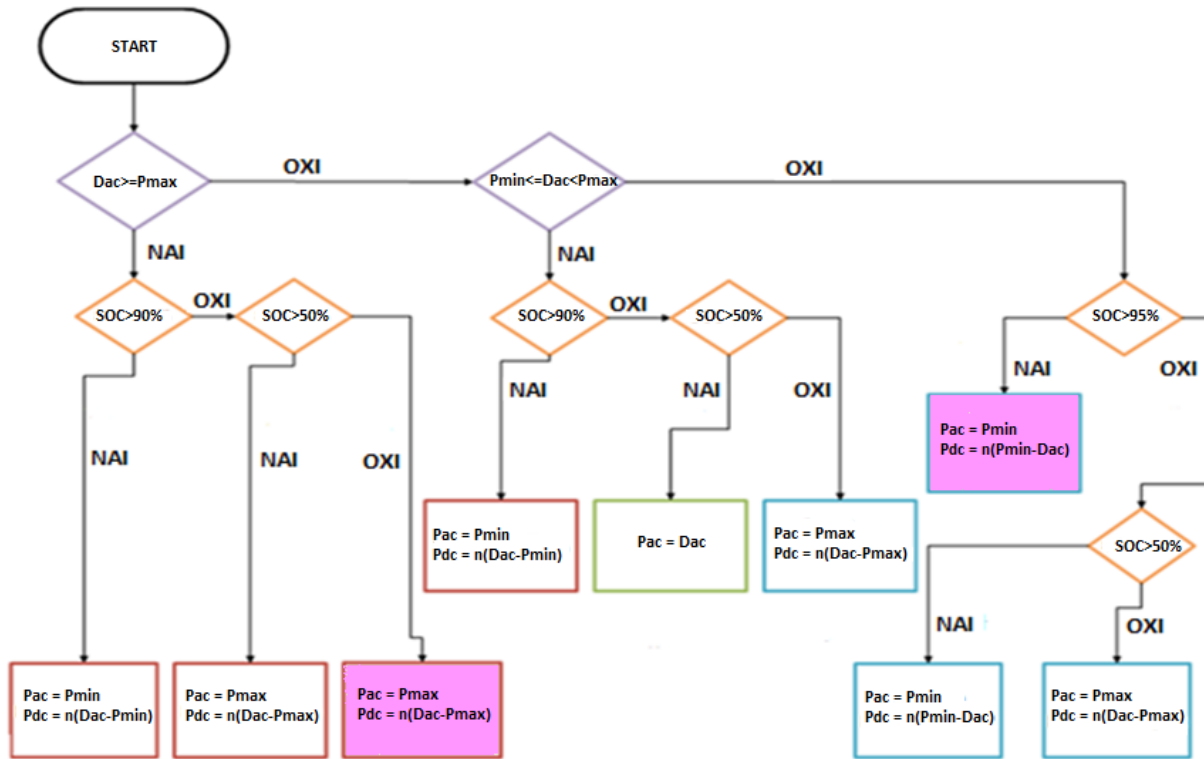
Σχήμα 6.5: Διαχείριση της ηλεκτρικής ισχύος από τις μονάδες συμπαραγωγής

Όπως βλέπουμε και στο παραπάνω διάγραμμα ροής υπάρχουν τρεις διαφορετικές λειτουργίες για τη διαχείριση της ηλεκτρικής ισχύος που προκύπτει από τη λειτουργία των μονάδων συμπαραγωγής.

- 1<sup>η</sup> περίπτωση:  $P_{chr\_mode}=1$ , που σημαίνει ότι η ηλεκτρική ισχύς από τη λειτουργία των μονάδων συμπαραγωγής διατίθεται για την κάλυψη των AC αναγκών των οικιών του μικροδικτύου, η πλεονάζουσα αν υπάρχει γυρνά πίσω στον διαχειριστή του μικροδικτύου να την διαχειριστεί.
- 2<sup>η</sup> περίπτωση:  $P_{chr\_mode}=2$ , που σημαίνει ότι η ηλεκτρική ισχύς από τη λειτουργία των μονάδων συμπαραγωγής διατίθεται για την κάλυψη των DC αναγκών των οικιών του μικροδικτύου, η πλεονάζουσα αν υπάρχει γυρνά πίσω στον διαχειριστή του μικροδικτύου να την διαχειριστεί.
- 3<sup>η</sup> περίπτωση:  $P_{chr\_mode}=0$ , που σημαίνει ότι η ηλεκτρική ισχύς από τη λειτουργία των μονάδων συμπαραγωγής διατίθεται για την κάλυψη πρώτα των AC αναγκών και ύστερα των DC αναγκών των οικιών του μικροδικτύου. Κάθε οικία επικοινωνεί συνολικά με τον διαχειριστή του μικροδικτύου.

### 6.2.3 Πολιτική Διαχείρισης Ενέργειας Συνολικού Συστήματος

Το παρακάτω διάγραμμα μας περιγράφει και επεξηγεί την πολιτική διαχείρισης ενέργειας του συνολικού συστήματος όπως πραγματοποιείται από τον διαχειριστή του μικροδικτύου.



**Σχήμα 6.6:** Διαχείριση Συνολικού Συστήματος από τον Διαχειριστή του Μικροδικτύου

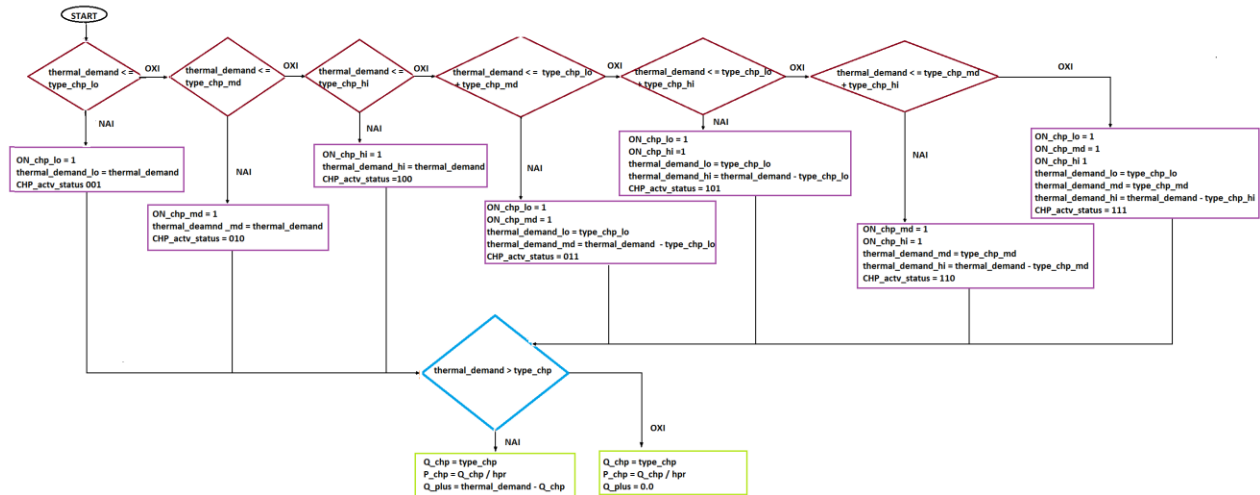
- 1<sup>η</sup> περίπτωση: Σε περίπτωση που οι συνολικές απαιτήσεις είναι μεγαλύτερες από την μέγιστη παροχή της εξωτερικά προσφερόμενης ισχύος και η κατάσταση του επιπέδου φόρτισης των συσσωρευτών είναι μεγαλύτερη του 90%, τότε παρέχεται η ελάχιστη παροχή της εξωτερικά προσφερόμενης ισχύος προς το μικροδίκτυο και οι εναπομείναντες απαιτήσεις καλύπτονται από την διαθέσιμη ισχύ των συσσωρευτών.
- 2<sup>η</sup> περίπτωση: Σε περίπτωση που το επίπεδο φόρτισης των συσσωρευτών είναι μεγαλύτερο του 50% αλλά χαμηλότερο του 90% τότε η μέγιστη παροχή της εξωτερικά προσφερόμενης ισχύος παρέχεται από το εξωτερικό AC δίκτυο και αν υπάρχουν απαιτήσεις καλύπτονται από την αποθηκευμένη ενέργεια των συσσωρευτών του μικροδικτύου.
- 3<sup>η</sup> περίπτωση: Σε περίπτωση που το επίπεδο φόρτισης των συσσωρευτών του μικροδικτύου είναι μικρότερο του 50%, ενεργοποιείται ο συναγερμός όπου απαιτούνται μη αυτοματοποιημένες αποφάσεις για την εξισορρόπηση της λειτουργίας του συστήματος, όπως αύξηση της μέγιστης παροχής της εξωτερικά προσφερόμενης ισχύος.
- 4<sup>η</sup> περίπτωση: Σε περίπτωση που οι ανάγκες είναι στο διάστημα μέγιστης και ελάχιστης εξωτερικά προσφερόμενης ισχύος, εάν η κατάσταση του επιπέδου φόρτισης των συσσωρευτών είναι πάνω από το 90% το ελάχιστο επίπεδο της ισχύος παρέχεται από το

εξωτερικό AC δίκτυο και οι εναπομείναντες απαιτήσεις ισχύος καλύπτονται από τους συσσωρευτές του μικροδικτύου.

- 5<sup>η</sup> περίπτωση: Σε περίπτωση που η κατάσταση του επιπέδου φόρτισης των συσσωρευτών είναι μεγαλύτερη από 50% αλλά χαμηλότερη από 90%, η προσφερόμενη ισχύς από το εξωτερικό AC δίκτυο προορίζεται για την κάλυψη των AC αναγκών των οικιών του μικροδικτύου.
- 6<sup>η</sup> περίπτωση: Σε περίπτωση που η κατάσταση του επιπέδου φόρτισης των συσσωρευτών είναι χαμηλότερη από 50% η μέγιστη ισχύς παρέχεται από το εξωτερικό δίκτυο και αν υπάρχει πλεονάζουσα ισχύς μετά την κάλυψη των αναγκών χρησιμοποιείται για την φόρτιση των συσσωρευτών του συστήματος.
- 7<sup>η</sup> περίπτωση: Σε περίπτωση που οι απαιτήσεις ισχύος είναι χαμηλότερες από το ελάχιστο όριο της εξωτερικά προσφερόμενης ισχύος και η κατάσταση του επιπέδου φόρτισης των συσσωρευτών είναι πάνω από 95%, το μικρότερο επίπεδο ισχύος από το εξωτερικό AC δίκτυο διοχετεύεται για την κάλυψη των αναγκών και η περίσσεια ισχύος πηγαίνει για την φόρτιση των συσσωρευτών. Το σήμα συναγερμού ενεργοποιείται ώστε να λάβει κάποιες αποφάσεις ο διαχειριστής που θα εξασφαλίζουν την ευσταθή και αξιόπιστη λειτουργία του συστήματος.
- 8<sup>η</sup> περίπτωση: Σε περίπτωση που η κατάσταση φόρτισης των συσσωρευτών ανήκει στο διάστημα [50% -95%] ο συναγερμός είναι απενεργοποιημένος.
- 9<sup>η</sup> περίπτωση: Στην περίπτωση που η κατάσταση φόρτισης των συσσωρευτών είναι μικρότερη από 50% τότε παίρνουμε από το AC δίκτυο τη μέγιστη εξωτερικά παρεχόμενη ισχύς και αν υπάρχει περίσσεια χρησιμοποιείται για την φόρτιση των συσσωρευτών του συστήματος.

## 6.2.4 Πολιτική Διαχείρισης και Έλεγχος Τρόπου Λειτουργίας των Μονάδων ΣΗΘ

Το παρακάτω διάγραμμα ροής μας εξηγεί τον τρόπο με τον οποίο μπορούμε να διαχειριστούμε τις θερμικές απαιτήσεις των χρηστών του μικροδικτύου λειτουργώντας τις αντίστοιχες μονάδες συμπαραγωγής με κάλυψη θερμικού φορτίου.



Σχήμα 6.7: Αλγόριθμος ελέγχου τρόπου λειτουργίας των μονάδων συμπαραγωγής

Όπως παρατηρούμε από το παραπάνω διάγραμμα κάθε χρονική στιγμή καθ' όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης ενεργοποιούνται οι αντίστοιχες μονάδες συμπαραγωγής ανάλογα με τις θερμικές απαιτήσεις που έχουν να καλύψουν για τις οικίες του μικροδικτύου. Στις περιπτώσεις όπου το  $Q_{plus}=0.0$  σημαίνει ότι ο λέβητας (boiler) δεν ενεργοποιείται διότι οι θερμικές ανάγκες των χρηστών του μικροδικτύου έχουν καλυφθεί πλήρως από τις μονάδες συμπαραγωγής. Όταν ενεργοποιείται παραπάνω από μια μονάδα συμπαραγωγής για την κάλυψη των θερμικών απαιτήσεων έχουμε προβλέψει μια εντολή την *ascending\_mode* να λαμβάνει τιμή '1' ή '0'. Στην περίπτωση που έχει τιμή '1', οι συνολικές θερμικές ανάγκες καλύπτονται από τη μικρότερη προς τη μεγαλύτερη μονάδα συμπαραγωγής. Στη διαφορετική περίπτωση που λαμβάνει τιμή '0' ισχύει το αντίστροφο. Η εντολή αυτή στα σενάρια που πραγματοποιήσαμε λαμβάνει τιμή '1'.

- 1<sup>η</sup> περίπτωση: Αν οι θερμικές απαιτήσεις όλων των οικιών του μικροδικτύου καλύπτονται πλήρως με τη μικρότερη μονάδα συμπαραγωγής *chp*, τότε ενεργοποιείται αυτή η μονάδα (κατάσταση ON) και το διάνυσμα *CHP\_actv\_status* λαμβάνει τιμή 1 ή (0012). Η λειτουργία της μας δίνει στην έξοδο τη Θερμική ισχύ που χρειαζόμαστε και διαιρεμένη με το λόγο μετατροπής HPR αυτής της μονάδας, λαμβάνουμε την αντίστοιχη ηλεκτρική ισχύ. Οι άλλες μονάδες συμπαραγωγής και ο λέβητας (boiler) βρίσκονται σε κατάσταση OFF.
- 2<sup>η</sup> περίπτωση: Αν οι θερμικές απαιτήσεις όλων των οικιών του μικροδικτύου καλύπτονται μόνο με τη μεσαία μονάδα συμπαραγωγής *chp*, τότε ενεργοποιείται η μεσαία μονάδα (κατάσταση ON) και το διάνυσμα *CHP\_actv\_status* λαμβάνει τιμή 2 ή (0102). Η λειτουργία της μας δίνει στην έξοδο τη Θερμική ισχύ που χρειαζόμαστε και διαιρεμένη με το λόγο μετατροπής HPR της μεσαίας μονάδας, λαμβάνουμε την αντίστοιχη ηλεκτρική ισχύ. Η μικρή και η μεγάλη μονάδα συμπαραγωγής καθώς και ο λέβητας (boiler) βρίσκονται σε κατάσταση OFF.



- 3<sup>η</sup> περίπτωση: Αν οι θερμικές απαιτήσεις όλων των οικιών του μικροδικτύου καλύπτονται πλήρως με τη μεγάλη μονάδα συμπαραγωγής chp, τότε ενεργοποιείται η μεγάλη μονάδα (κατάσταση ON) και το διάνυσμα CHP\_actv\_status λαμβάνει τιμή 4 ή (1002). Η λειτουργία της μας δίνει στην έξοδο τη Θερμική ισχύ που χρειαζόμαστε και διαιρεμένη με το λόγο μετατροπής HPR της μεγάλης μονάδας, λαμβάνουμε την αντίστοιχη ηλεκτρική ισχύ. Η μικρή και η μεσαία μονάδα συμπαραγωγής καθώς και ο λέβητας (boiler) βρίσκονται σε κατάσταση OFF.
- 4<sup>η</sup> περίπτωση: Αν οι θερμικές απαιτήσεις όλων των οικιών του μικροδικτύου καλύπτονται πλήρως με τη μικρή και μεσαία μονάδα συμπαραγωγής chp, τότε ενεργοποιούνται αυτές οι δύο μονάδες (κατάσταση ON) και το διάνυσμα CHP\_actv\_status λαμβάνει τιμή 3 ή (0112). Με βάση την ascending\_mode τα θερμικά φορτία ανατίθενται από το μικρότερο στο μεγαλύτερο chp. Η λειτουργία κάθε μονάδας δίνει στην έξοδο τη Θερμική ισχύ βάσει των θερμικών απαιτήσεων που έχει λάβει και διαιρεμένη με το λόγο μετατροπής HPR ξεχωριστά της κάθε μονάδας, λαμβάνουμε την αντίστοιχη ηλεκτρική ισχύ από τη μικρή και μεσαία μονάδα συμπαραγωγής. Η μεγάλη μονάδα συμπαραγωγής καθώς και ο λέβητας (boiler) βρίσκονται σε κατάσταση OFF.
- 5<sup>η</sup> περίπτωση: Αν οι θερμικές απαιτήσεις όλων των οικιών του μικροδικτύου καλύπτονται πλήρως με τη μικρή και μεγάλη μονάδα συμπαραγωγής chp, τότε ενεργοποιούνται αυτές οι δύο μονάδες (κατάσταση ON) και το διάνυσμα CHP\_actv\_status λαμβάνει τιμή 5 ή (1012). Με βάση την ascending\_mode τα θερμικά φορτία ανατίθενται από το μικρότερο στο μεγαλύτερο chp. Η λειτουργία κάθε μονάδας δίνει στην έξοδο τη Θερμική ισχύ βάσει των θερμικών απαιτήσεων που έχει λάβει και διαιρεμένη με το λόγο μετατροπής HPR ξεχωριστά της κάθε μονάδας, λαμβάνουμε την αντίστοιχη ηλεκτρική ισχύ από τη μικρή και μεγάλη μονάδα συμπαραγωγής. Η μεσαία μονάδα συμπαραγωγής καθώς και ο λέβητας (boiler) βρίσκονται σε κατάσταση OFF.
- 6<sup>η</sup> περίπτωση: Αν οι θερμικές απαιτήσεις όλων των οικιών του μικροδικτύου καλύπτονται πλήρως με τη μεσαία και μεγάλη μονάδα συμπαραγωγής chp, τότε ενεργοποιούνται αυτές οι δύο μονάδες (κατάσταση ON) και το διάνυσμα CHP\_actv\_status λαμβάνει τιμή 6 ή (1102). Με βάση την ascending\_mode τα θερμικά φορτία ανατίθενται από το μικρότερο στο μεγαλύτερο chp. Η λειτουργία κάθε μονάδας δίνει στην έξοδο τη Θερμική ισχύ βάσει των θερμικών απαιτήσεων που έχει λάβει και διαιρεμένη με το λόγο μετατροπής HPR ξεχωριστά της κάθε μονάδας, λαμβάνουμε την αντίστοιχη ηλεκτρική ισχύ από τη μεσαία και μεγάλη μονάδα συμπαραγωγής. Η μικρότερη μονάδα συμπαραγωγής καθώς και ο λέβητας (boiler) βρίσκονται σε κατάσταση OFF.
- 7<sup>η</sup> περίπτωση:
 

A. Αν οι θερμικές απαιτήσεις όλων των οικιών του μικροδικτύου καλύπτονται πλήρως με όλες τις μονάδες συμπαραγωγής chp, τότε όλες οι μονάδες ενεργοποιούνται (κατάσταση ON) και το διάνυσμα CHP\_actv\_status λαμβάνει τιμή 7 ή (1112). Με βάση την ascending\_mode τα θερμικά φορτία ανατίθενται από το μικρότερο στο μεγαλύτερο chp. Η λειτουργία κάθε μονάδας δίνει στην έξοδο τη Θερμική ισχύ βάσει των θερμικών απαιτήσεων που έχει λάβει και διαιρεμένη με το λόγο μετατροπής HPR ξεχωριστά της κάθε μονάδας, λαμβάνουμε την αντίστοιχη ηλεκτρική ισχύ από τη μικρή, μεσαία και μεγάλη μονάδα συμπαραγωγής. Σ' αυτή την περίπτωση ο λέβητας (boiler) βρίσκεται σε κατάσταση OFF.

Β. Αν οι θερμικές απαιτήσεις όλων των οικιών του μικροδικτύου δεν καλύπτονται πλήρως με τη λειτουργία όλων των μονάδων συμπαραγωγής  $chp$ , τότε όλες οι μονάδες ενεργοποιούνται (κατάσταση ON) και το διάνυσμα  $CHP\_actv\_status$  λαμβάνει τιμή 7 ή (1112). Με βάση την  $ascending\_mode$  τα θερμικά φορτία ανατίθενται από το μικρότερο στο μεγαλύτερο  $chp$ . Η λειτουργία κάθε μονάδας δίνει στην έξοδο τη Θερμική ισχύ βάσει των θερμικών απαιτήσεων που έχει λάβει και διαιρεμένη με το λόγο μετατροπής HPR ξεχωριστά της κάθε μονάδας, λαμβάνουμε την αντίστοιχη ηλεκτρική ισχύ από τη μικρή, μεσαία και μεγάλη μονάδα συμπαραγωγής. Σ' αυτή την περίπτωση ο λέβητας (boiler) βρίσκεται σε κατάσταση ON, προκειμένου να καλυφθούν πλήρως τα θερμικά φορτία του μικροδικτύου.

### 6.3 Διαστασιολόγηση και Επιλογή των Συστημάτων ΣΗΘ

Η διαδικασία επιλογής του κατάλληλου συστήματος συμπαραγωγής είναι αρκετά περίπλοκη υπόθεση και επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες. Το σύστημα συμπαραγωγής που θα χρησιμοποιήσουμε θα είναι μια τυποποιημένη μονάδα συμπαραγωγής, "πακέτο", που ανήκει στην κατηγορία των συστημάτων συμπαραγωγής πολύ μικρής κλίμακας, το οποίο θέλουμε να καλύπτει το θερμικό φορτίο βάσης, και όχι τις αιχμές. Για την κατάλληλη διαστασιολόγηση του συστήματος ΣΗΘ ο σημαντικότερος παράγοντας είναι το θερμικό φορτίο των διάφορων καταναλωτών που καλείται να καλύψει το σύστημα. Επειδή έχουμε τρεις διαφορετικούς τύπους καταναλωτών με τρεις διαφορετικές καταναλώσεις ηλεκτρικών και θερμικών φορτίων θα κατασκευάσουμε την ετήσια καμπύλη διάρκειας θερμικού φορτίου για 3 είδη θερμικών αναγκών [47].

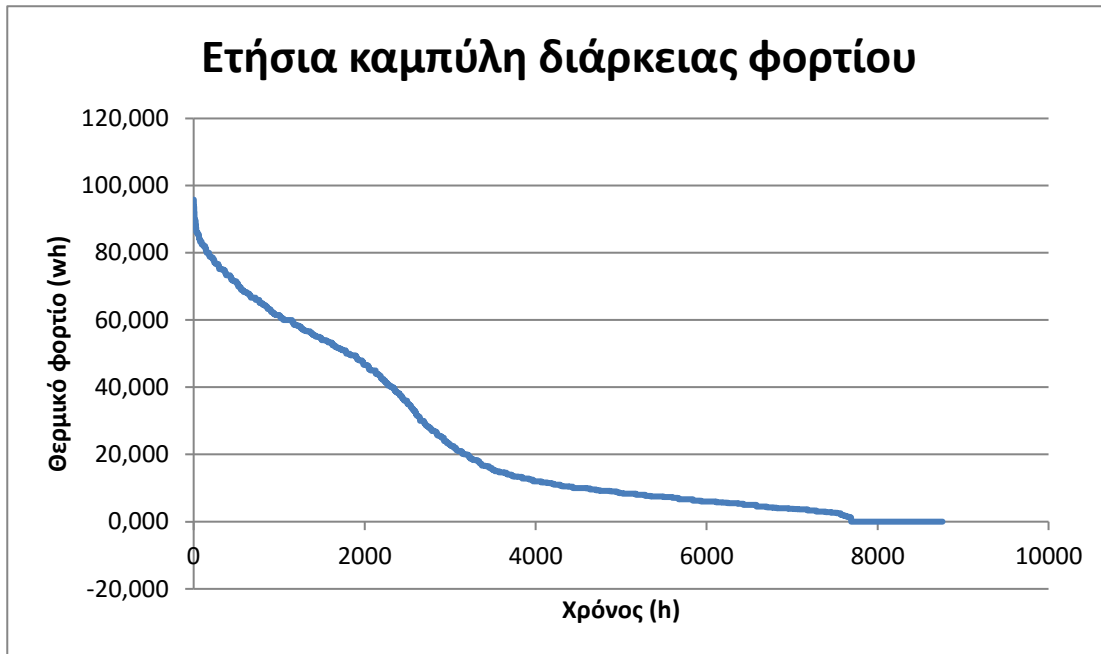
Το θερμικά φορτία που καλείται να καλύψει η κάθε μονάδα συμπαραγωγής έχουν παρουσιαστεί στο προηγούμενο κεφάλαιο. Υπενθυμίζουμε ότι τα προφίλ των θερμικών φορτίων υπολογίστηκαν προσεγγιστικά και τα πραγματικά φορτία είναι δυνατόν να παρουσιάζουν κάποιες αποκλίσεις.

Τα συστήματα συμπαραγωγής που θα επιλέξουμε είναι συστήματα συμπαραγωγής πολύ μικρής κλίμακας που θα λειτουργούν με φυσικό αέριο και θα έχουν ως κύρια λειτουργία την παραγωγή θερμότητας, κάτι που οδηγεί σε καλύτερη οικονομική απόδοση του συστήματος. Είναι γνωστό το γεγονός ότι οι μηχανές των συστημάτων μικρής κλίμακας είναι συνήθως σχεδιασμένες να καλύπτουν το φορτίο βάσης και όχι τις αιχμές. Κάτι τέτοιο μεγιστοποιεί τις ώρες λειτουργίας σε πλήρες φορτίο, καθιστά όμως ταυτόχρονα αναγκαίο το συνδυασμό της συμπαραγωγικής μονάδας με κάποια πρόσθετη πηγή θερμότητας, ικανή να καλύψει τις αιχμές του θερμικού φορτίου. Στην περίπτωση μας θα θεωρήσουμε ότι η μονάδα συμπαραγωγής που θα επιλέξουμε θα συνδυαστεί με έναν λέβητα φυσικού αερίου και συγκεκριμένα με τον λέβητα που χρησιμοποιήσαμε στην μελέτη της συμβατικής λύσης.

Από τις διαθέσιμες ωριαίες τιμές των θερμικών φορτίων προκύπτουν οι παρακάτω καμπύλες διάρκειας φορτίου για τους 3 διαφορετικούς τύπους καταναλωτών.

Από την κάθε καμπύλη των παρακάτω σχημάτων, η ισχύς του συστήματος Μικρο\_ΣΗΘ προκύπτει από το σημείο εκείνο της καμπύλης για το οποίο μεγιστοποιείται το περικλειόμενο εμβαδόν ορθογώνιου που σχηματίζεται μεταξύ των αξόνων  $x$  και  $y$  και κάτω από την καμπύλη, μεγιστοποιείται με άλλα λόγια η παρεχόμενη στο πλήρες φορτίο ενέργεια.

- Για τον πρώτο τύπο καταναλωτών με υψηλά θερμικά φορτία η καμπύλη είναι η ακόλουθη:

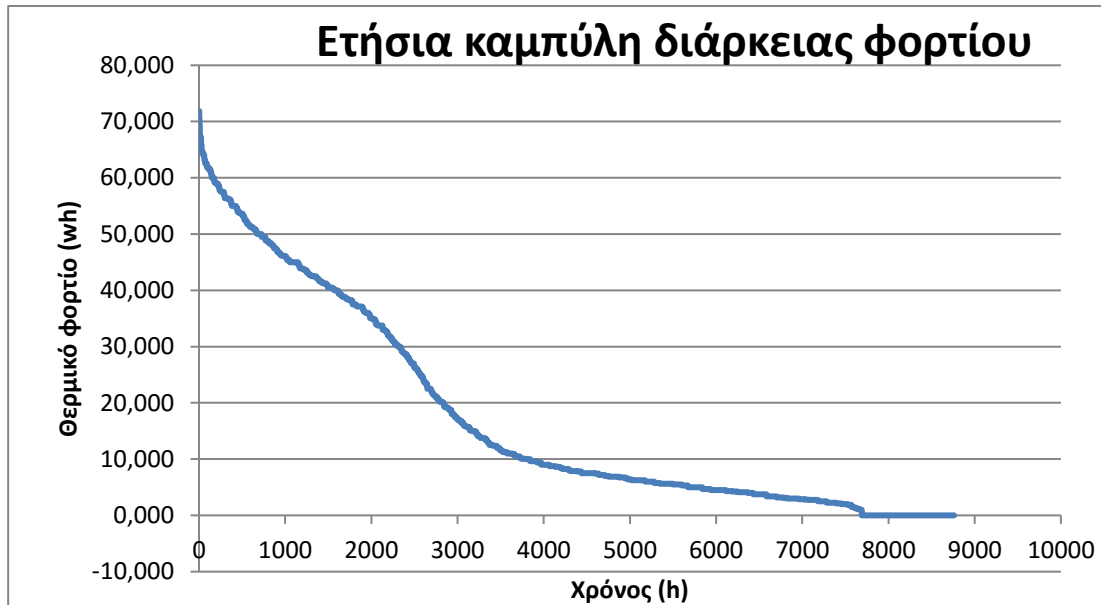


Στην περίπτωση αυτή το μέγιστο εμβαδόν προκύπτει για το σημείο (2.129,45.000) που σημαίνει ότι μια μονάδα Μίκρο\_ΣΗΘ των 45Kw θα λειτουργήσει στο πλήρες φορτίο για 2.129h. Αναζητώντας μια τέτοια μονάδα καταλήγουμε στην Mephisto G20+ της Kraftwerk GmbH, που αποτελεί ένα παλινδρομικό σύστημα. Η συγκεκριμένη μονάδα λειτουργεί με μηχανή κύκλου Otto, είναι γερμανικής προέλευσης και τα τεχνικά χαρακτηριστικά της παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα. Έχουν τη δυνατότητα να εργάζονται με φυσικό αέριο, υγραέριο και βιοαέριο. Εμείς στην προσομοίωση χρησιμοποιήσαμε ως καύσιμο το φυσικό αέριο. Ακολουθούν αναλυτικά περισσότερα στοιχεία για τη συγκεκριμένη μονάδα.

Όνομασία μοντέλου	Mephisto G20+
Κινητήρας	Ford DSG 423
Χαρακτηριστικά κινητήρα	Τετρακύλινδρος Otto 2.261 cc
Ονομαστική ταχύτητα κινητήρα	1538 rpm
Ηλεκτρική ισχύς [KWe]	8-20
Θερμική ισχύς [KWth]	27 - 46,7
Ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης	31,5 %
Θερμικός βαθμός απόδοσης	73,5%
Εκπομπές NOx [mg / Nm <sup>3</sup> ]	< 125 mg / Nm <sup>3</sup>
Εκπομπές CO [mg / Nm <sup>3</sup> ]	< 150 mg / Nm <sup>3</sup>
Επίπεδα θορύβου	< 58,0 dB (A)
Διαστάσεις [mm]	102,0 x 166,0 x 145,0
Βάρος	800 kg
Ηλεκτρική έξοδος	3 x 400 V, 50 Hz

**Πίνακας 6.2:** Τεχνικά χαρακτηριστικά προτεινόμενου συστήματος **Mephisto G20+** [65]

- Για το δεύτερο τύπο καταναλωτών με μεσαία θερμικά φορτία η καμπύλη είναι:

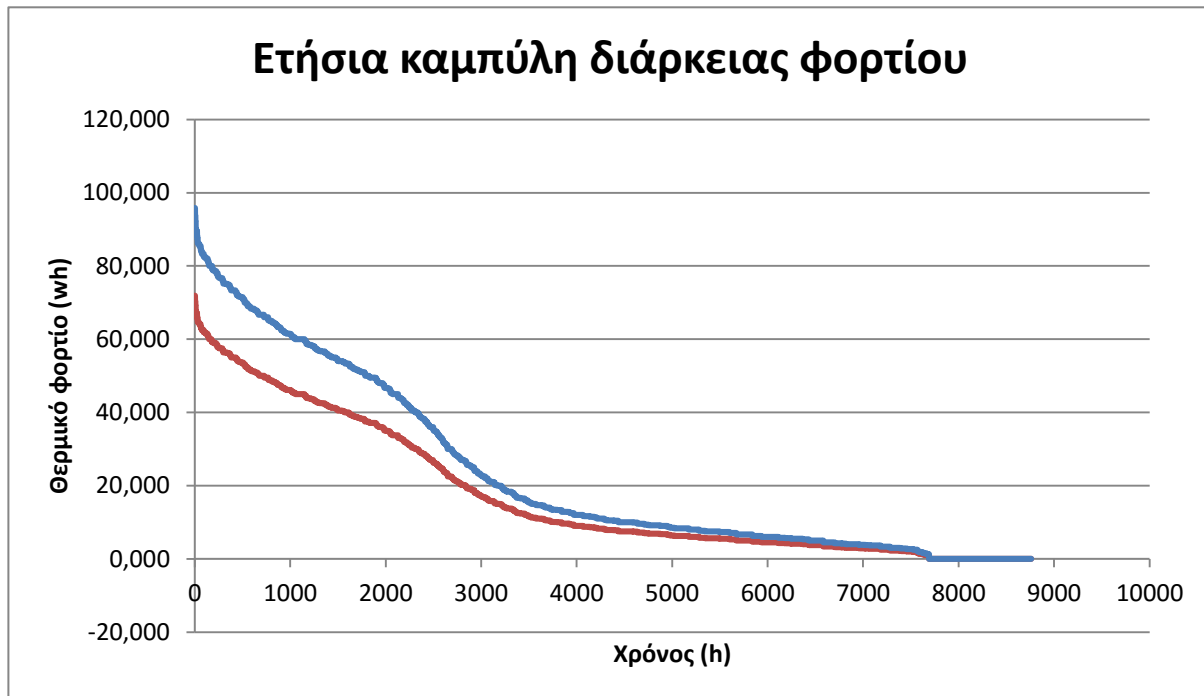


Στην περίπτωση αυτή το μέγιστο εμβαδόν προκύπτει για το σημείο (2.129,33.750) που σημαίνει ότι μια μονάδα Μίκρο\_ΣΗΘ των 33.75Kw θα λειτουργήσει στο πλήρες φορτίο για 2.129h. Αναζητώντας μια τέτοια μονάδα καταλήγουμε στην Mephisto G16+ της Kraftwerk GmbH, που αποτελεί ένα παλινδρομικό σύστημα. Η συγκεκριμένη μονάδα λειτουργεί με μηχανή κύκλου Otto, είναι γερμανικής προέλευσης και τα τεχνικά χαρακτηριστικά της παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα. Έχουν τη δυνατότητα να εργάζονται με φυσικό αέριο, υγραέριο και βιοαέριο. Εμείς στην προσομοίωση χρησιμοποιήσαμε ως καύσιμο το φυσικό αέριο. Ακολουθούν αναλυτικά περισσότερα στοιχεία για τη συγκεκριμένη μονάδα.

Όνομασία μοντέλου	Mephisto G16+
Κινητήρας	Ford DSG 423
Χαρακτηριστικά κινητήρα	Τετρακύλινδρος Otto 2.261 cc
Ονομαστική ταχύτητα κινητήρα	1538 rpm
Ηλεκτρική ισχύς [KWe]	5 – 16
Θερμική ισχύς [KWth]	19 – 35,3
Ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης	31,5%
Θερμικός βαθμός απόδοσης	69,5%
Εκπομπές NOx [mg / Nm <sup>3</sup> ]	< 250 mg / Nm <sup>3</sup>
Εκπομπές CO [mg / Nm <sup>3</sup> ]	< 150 mg / Nm <sup>3</sup>
Επίπεδα θορύβου	< 58,0 dB (A)
Διαστάσεις [mm]	102,0 x 166,0 x 145,0
Βάρος	800 kg
Ηλεκτρική έξοδος	3 x 400 V, 50 Hz

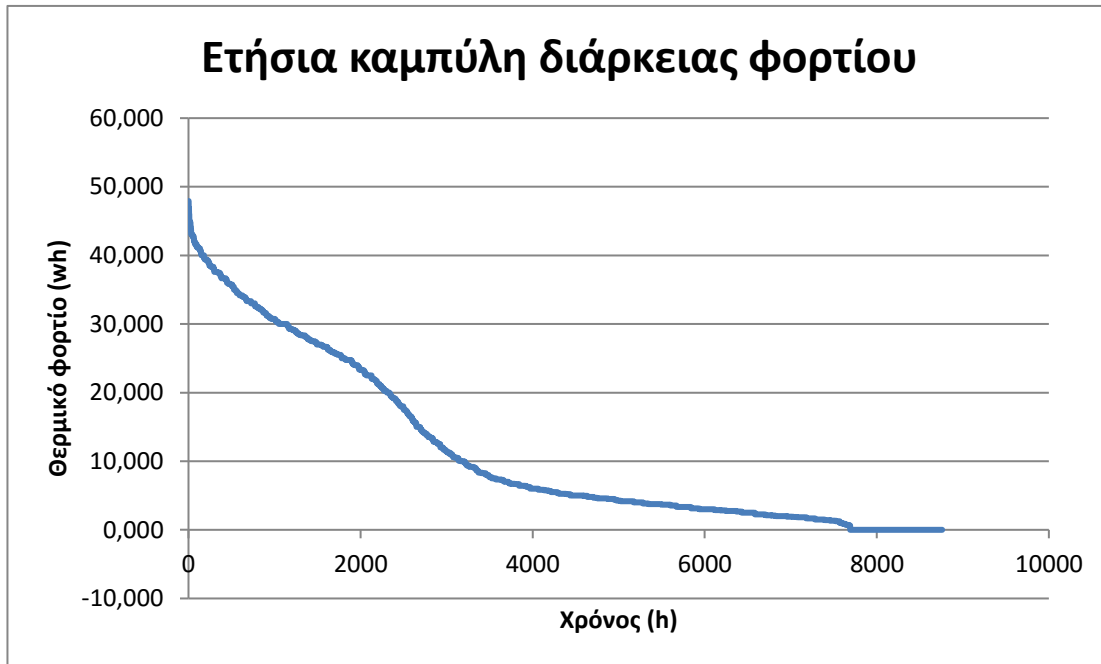
**Πίνακας 6.3:** Τεχνικά χαρακτηριστικά προτεινόμενου συστήματος **Mephisto G16+** [65]

## Συνδυασμός των θερμικών καταναλώσεων μεγάλων και μεσαίων



Η παραπάνω εικόνα μας δείχνει τη μονάδα συμπαραγωγής **Mephisto G16+** [65]

- Για τον τρίτο τύπο καταναλωτών με χαμηλά θερμικά φορτία η καμπύλη είναι:



Στην περίπτωση αυτή το μέγιστο εμβαδόν προκύπτει για το σημείο (2.128,22.500) που σημαίνει ότι μια μονάδα Μίκρο\_ΣΗΘ των 22.5 Kw θα λειτουργήσει στο πλήρες φορτίο για 2.128h. Αναζητώντας μια τέτοια μονάδα καταλήγουμε στην KWE 12G – 4AP της KW Energie Technik, που αποτελεί ένα παλινδρομικό σύστημα. Η συγκεκριμένη μονάδα λειτουργεί με μηχανή κύκλου Otto, είναι γερμανικής προέλευσης και τα τεχνικά χαρακτηριστικά της παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα. Έχουν τη δυνατότητα να εργάζονται με φυσικό αέριο, υγραέριο και βιοαέριο. Εμείς στην προσομοίωση χρησιμοποιήσαμε ως καύσιμο το φυσικό αέριο. Ακολουθούν αναλυτικά περισσότερα στοιχεία για τη συγκεκριμένη μονάδα.

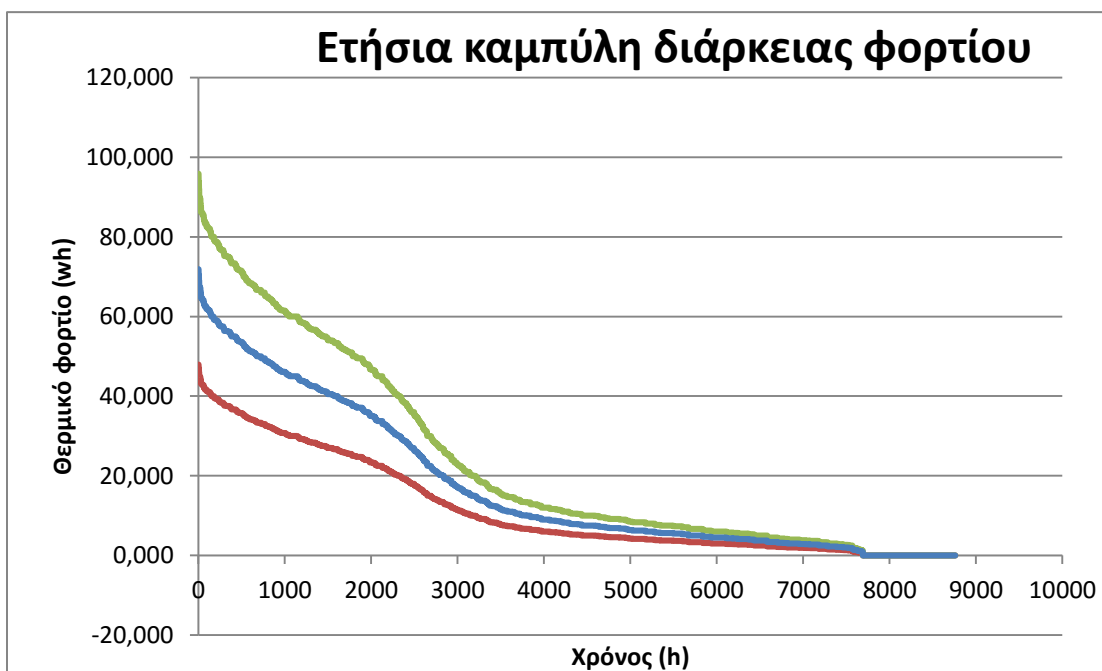
Όνομασία μοντέλου	KWE 12G – 4AP
Κινητήρας	Ford ZSG 416
Χαρακτηριστικά κινητήρα	Τετρακύλινδρος Otto 1.600 cc
Ονομαστική ταχύτητα κινητήρα	1.550 rpm
Ηλεκτρική ισχύς [KWe]	12 KWe
Θερμική ισχύς [KWth]	28 KWth
Ολικός βαθμός απόδοσης	93%
Ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης	28%
Θερμικός βαθμός απόδοσης	65%
Εκπομπές NOx [mg / Nm <sup>3</sup> ]	< 125 mg / Nm <sup>3</sup>
Εκπομπές CO [mg / Nm <sup>3</sup> ]	< 150 mg / Nm <sup>3</sup>
Επίπεδα θορύβου	< 55dB (A)
Διαστάσεις [mm]	1.490x 780 x 1.220
Βάρος	700 kg
Ηλεκτρική έξοδος	400 V, 50 Hz

**Πίνακας 6.4:** Τεχνικά χαρακτηριστικά προτεινόμενου συστήματος KWE 12G – 4AP [65]



Η παρακάτω εικόνα μας δείχνει τη μονάδα συμπαραγωγής KWE 12G – 4AP [65]

**Συνδυασμός όλων των θερμικών καταναλώσεων στο παρακάτω διάγραμμα**



Όπως αναφέραμε παραπάνω, οι μονάδες ΣΗΘ που επιλέξαμε πρόκειται αν συνδυαστούν με ένα λέβητα φυσικού αερίου ισχύος 62,5 Kw, ο οποίος θα αναλάβει να καλύψει τις αιχμές του θερμικού φορτίου των χρηστών στην περίπτωση που η παραγωγή από τις συμπαραγωγικές μονάδες δεν επαρκεί πλήρως.

Ακολουθούν τα τεχνικά χαρακτηριστικά του λέβητα που χρησιμοποιήσαμε:

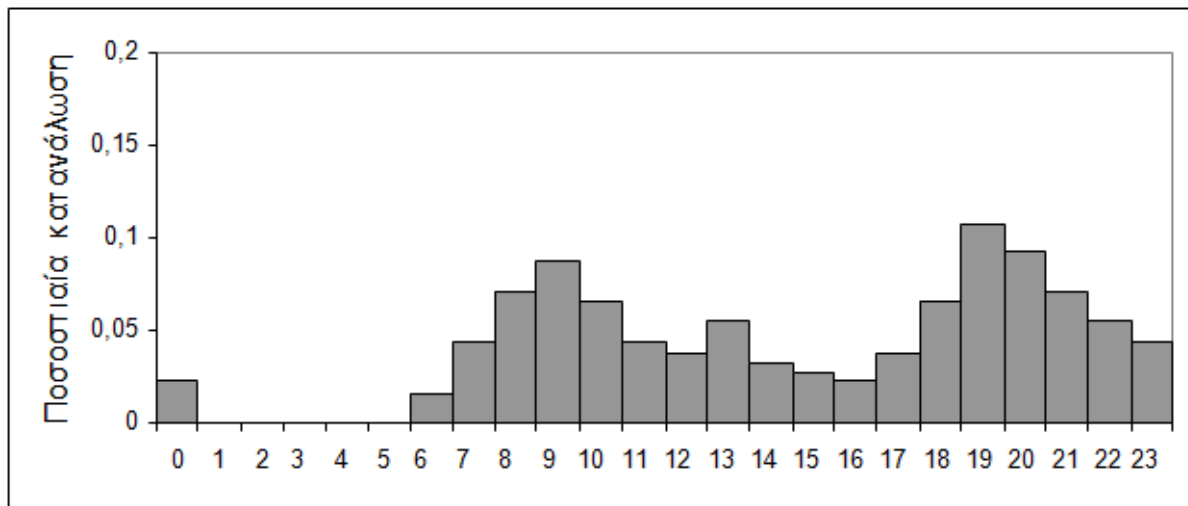
Με ισχύ θέρμανσης από 45 kW έως 65 kW, ο Talia Green Evo System HP είναι η καλύτερη λύση για μεγάλες οικιακές εγκαταστάσεις και εμπορικά κτίρια. Δίνει τη δυνατότητα να εγκαταστήσετε από 2 έως 6 λέβητες (σε συστοιχία γραμμής) και από 3 έως 8 λέβητες (σε συστοιχία πλάτη με πλάτη) για

να ικανοποιήσει τις ανάγκες των δημόσιων και βιομηχανικών κτιρίων. Η νέα σειρά είναι συμπαγής, ισχυρή και εύκολη στην εγκατάσταση [65].



Η παραπάνω εικόνα μας δείχνει το λέβητα **Talia Green Evo System HP 45-65KW**

Όσον αφορά στην κατανομή του φορτίου για ζεστό νερό χρήσης ανά ώρα, ο Mutch προτείνει, για μια τυπική κατοικία, την κατανομή του ημερήσιου φορτίου, κατά την καμπύλη του ακόλουθου σχήματος.



**Σχήμα 6.8:** Κατανομή ημερήσιου φορτίου για θέρμανση νερού χρήσης



## 6.4 Περιγραφή Μοντελοποίησης στο Πρόγραμμα MATLAB

Για να ελέγξουμε τη λειτουργία του συστήματος που υλοποιήσαμε, με τη βοήθεια του προγράμματος Matlab, δημιουργήσαμε ένα μοντέλο που συνδυάζει τις διάφορες οντότητες που συνθέτουν το μικροδίκτυο. Αυτό αποτελείται από διάφορες συναρτήσεις που απαιτούνται για την ορθή και αξιόπιστη λειτουργία του μικροδικτύου, οι οποίες μας δείχνουν πως λειτουργεί κάθε ανεξάρτητο στοιχείο του συστήματος. Έχουμε θεωρήσει ότι το DC δίκτυο διανομής ισχύος λειτουργεί με τάση 200 V, ενώ τα αντίστοιχα οικιακά DC υποδίκτυα λειτουργούν με τάση 48 V. Επιπροσθέτως, η παραγωγή από τα φωτοβολταϊκά έχει σταθερή τιμή τάσης DC 48 V και η παραγόμενη ισχύς που παίρνουμε από τη λειτουργία τους μεταβάλλεται εφόσον μεταβάλλονται κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης τα επίπεδα φωτεινότητας των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Οι ηλεκτρικές καταναλώσεις των οικιών AC και DC τις θεωρήσαμε ίσες μεταξύ τους εφόσον πολλές σύγχρονες συσκευές που χρησιμοποιούμε στις οικίες μας λειτουργούν με συνεχή τάση. Οι τιμές των φορτίων AC και DC μεταβαλλόμενες κατά τη 24ωρη φάση της προσομοίωσης προήλθαν από πραγματικά δεδομένα, όπως και οι τιμές που χρησιμοποιήθηκαν για τις θεμικές καταναλώσεις των οικιών καθώς και για τις παραγωγές των οικιακών φωτοβολταϊκών συστημάτων. Για να υλοποιήσουμε το DC δίκτυο διανομής ώστε να λειτουργεί με αξιοπιστία χρησιμοποιήσαμε υψηλής απόδοσης μετατροπής για την εναλλαγή των επιπέδων τάσεων στα σημεία εκείνα που χρειάζεται. Επιπλέον, οι αντιστροφείς που τοποθετήθηκαν μεταξύ AC και DC δικτύου επιτρέπουν αμφίδρομες μετατροπές σε περιπτώσεις όπου κρίνονται απαραίτητες. Οι τάσεις των αντιστροφέν σε μια πιο ρεαλιστική προσομοίωση θα ελέγχονταν από τα επίπεδα τάσεων των αντίστοιχων ζυγών, που είναι εφικτό λόγω των διαθέσιμων ηλεκτρονικών ισχύος στην αγορά. Έτσι, αυτές οι ηλεκτρονικές διατάξεις, έχουν τη δυνατότητα να ελέγξουν τη ροή ισχύος από και προς το εξωτερικό δίκτυο παροχής ηλεκτρισμού.

Το μικροδίκτυο που υλοποιήσαμε αποτελείται από 30 οικίες μεγάλων καταναλώσεων κάθε μια από τις οποίες έχει οικιακά φωτοβολταϊκά συστήματα οροφής εγκατεστημένης ισχύος 10 KW, 30 οικίες μεσαίων καταναλώσεων κάθε μια από τις οποίες έχει οικιακά φωτοβολταϊκά συστήματα οροφής εγκατεστημένης ισχύος 6 KW και 30 οικίες μικρών καταναλώσεων κάθε μια από τις οποίες έχει οικιακά φωτοβολταϊκά συστήματα οροφής εγκατεστημένης ισχύος 3 KW, δηλαδή 90 οικίες συνολικά. Όταν λέμε καταναλώσεις εννοούμε ηλεκτρικές και θερμικές καταναλώσεις.

Παρακάτω παρουσιάζονται οι εσωτερικές διεργασίες, μεταβλητές και δομές του μοντέλου AC/DC + PV +CHPs +Boiler Grid Model, στην γλώσσα Matlab, ώστε να γίνει κατανοητό. Θα πρέπει να γίνει γνωστό ότι ως εσωτερικές μεταβλητές στον κώδικα έχουμε ορίσει τις μεταβλητές που δημιουργούνται τοπικά και χρησιμοποιούνται εσωτερικά από τις συναρτήσεις παράγοντας τα αλγοριθμικά αποτελέσματα με βάση τις συνθήκες εισόδου της συνάρτησης `grid_model version 1.14`. Η ρουτίνα `main_grid_modelv1_14` λειτουργεί με βάση τα δεδομένα τα οποία προέρχονται από παραμέτρους που έχουν δηλωθεί στο αρχικό τμήμα του αρχείου καθώς και από τιμές που προέρχονται από εξωτερικά αρχεία μεταβλητών (`Hometype_1.txt`, `Hometype_2.txt`, `Hometype_3.txt`) λόγω του ότι έχουμε τρεις διαφορετικούς τύπους καταναλωτών. Για την σωστή και αξιόπιστη λειτουργία της προσομοίωσης έχουμε υλοποιήσει τις ακόλουθες συναρτήσεις:

- `ac_load.m` Η συνάρτηση έχει δημιουργηθεί για την υλοποίηση του AC φορτίου κάθε οικίας για κάθε τύπο καταναλωτή που συμμετέχει στην οντότητα του μικροδικτύου. Σε κάθε βήμα προσομοίωσης μας δίνει ως έξοδο τις τιμές ισχύος που καταναλώνονται για τα AC φορτία κάθε οικίας για κάθε τύπο καταναλωτή. Επίσης, υπολογίζει την τάση λειτουργίας του στοιχείου και το ρεύμα που καταναλίσκεται σ' αυτό το στοιχείο. Αυτό συνεχίζεται καθ' όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης, εφόσον το φορτίο μετέχει στην κατανάλωση (κατάσταση ON). Οι τιμές ισχύος για τα AC φορτία θεωρήθηκαν ίσες με το μισό της συνολικής καταναλισκόμενης ισχύος που πάρθηκαν από την εταιρεία Διανομής ΔΕΔΔΗΕ [66].
- `high_of_ac_load_calc.m` Η συνάρτηση δέχεται ως είσοδο την ισχύ που καταναλίσκεται για το AC φορτίο μιας οικίας ενός μεγάλου καταναλωτή και υπολογίζει την ωμική αντίσταση  $R$  και την επαγωγική αντίδραση  $X$  για κάθε ώρα λειτουργίας της προσομοίωσης. Ο συντελεστής ισχύος που χρησιμοποιείται για τους υπολογισμούς παίρνει τιμές στο διάστημα [0.89-0.98].
- `middle_of_ac_load_calc.m` Η συνάρτηση δέχεται ως είσοδο την ισχύ που καταναλίσκεται για το AC φορτίο μιας οικίας ενός μεσαίου καταναλωτή και υπολογίζει την ωμική αντίσταση  $R$  και την επαγωγική αντίδραση  $X$  για κάθε ώρα λειτουργίας της προσομοίωσης. Ο συντελεστής ισχύος που χρησιμοποιείται για τους υπολογισμούς παίρνει τιμές στο διάστημα [0.88-0.99].
- `low_of_ac_load_calc.m` Η συνάρτηση δέχεται ως είσοδο την ισχύ που καταναλίσκεται για το AC φορτίο μιας οικίας ενός μικρού καταναλωτή και υπολογίζει την ωμική αντίσταση  $R$  και την επαγωγική αντίδραση  $X$  για κάθε ώρα λειτουργίας της προσομοίωσης. Ο συντελεστής ισχύος που χρησιμοποιείται για τους υπολογισμούς παίρνει τιμές στο διάστημα [0.88-0.99].
- `ac2dc.m` Η συνάρτηση υλοποιήθηκε για τη μετατροπή της ηλεκτρικής ισχύος από εναλλασσόμενη AC σε συνεχή DC όταν απαιτείται για να καλυφθούν οι ανάγκες μετατροπής ή λειτουργίας όλων των οντοτήτων που συμμετέχουν στο μικροδίκτυο.
- `battery.m` Η συνάρτηση δημιουργήθηκε για τη λειτουργία των συσσωρευτών του μικροδικτύου και χρησιμοποιείται για αποθήκευση ενέργειας όταν έχουν οι καλυφθεί οι ανάγκες όλων των οικιών του μικροδικτύου και προσφορά ενέργειας όταν υπάρχουν απαιτήσεις που πρέπει να καλυφθούν. Αυξάνουν ή μειώνουν το συνολικό φορτίο τους ανάλογα με τις ροές ισχύος που εισέρχονται σε αυτούς ή εξέρχονται από αυτούς. Το ανώτατο όριο φόρτισης των συσσωρευτών έχει τεθεί στο 90% του μέγιστου επευέδου φόρτισης, ενώ το κατώτατο όριο δεν λαμβάνει κάποια συγκεκριμένη τιμή δεδομένου ότι το μικροδίκτυο όταν έχει ανάγκες που πρέπει να καλυφθούν θα χρησιμοποιήσει και την ισχύ των συσσωρευτών ακόμα και το επίπεδο φόρτισης τους φτάσει σε τιμές 20% ή μικρότερες. Σε μια τέτοια περίπτωση που το επίπεδο φόρτισης πέσει τόσο χαμηλά ενεργοποιείται το σήμα συναγερμού και ο διαχειριστής πρέπει να κάνει τις κατάλληλες ενέργειες, όπως να αυξήσει τα επίπεδα παροχής ισχύος από το εξωτερικό δίκτυο ηλεκτρικής ισχύος, προκειμένου να απενεργοποιηθεί το σήμα συναγερμού. Ο διαχειριστής του μικροδικτύου έχει ορίσει μικρότερες τιμές στα επίπεδα φόρτισης 40% και έχει τη δυνατότητα να τις τροποποιήσει. Ο λόγος που κρατάμε τα επίπεδα φόρτισης σε ένα συγκεκριμένο εύρος τιμών είναι για να αποφεύγονται οι απότομες μεταβολές φορτίσεων και εκφορτίσεων και να αυξάνουμε τον κύκλο ζωής των συσσωρευτών.

- `dc_load.m` Η συνάρτηση που δημιουργήθηκε μας δίνει το DC φορτίο κάθε οικίας για κάθε τύπο καταναλωτή που συμμετέχει στο μικροδίκτυο. Σε κάθε βήμα προσομοίωσης μας δίνει ως έξοδο τις τιμές ισχύος που καταναλώνονται για τα DC φορτία κάθε οικίας για κάθε τύπο καταναλωτή. Επίσης, υπολογίζει την τάση λειτουργίας του στοιχείου και το ρεύμα που καταναλίσκεται σ' αυτό το στοιχείο. Αυτό συνεχίζεται καθ'όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης, εφόσον το φορτίο μετέχει στην κατανάλωση (κατάσταση ON). Οι τιμές ισχύος για τα DC φορτία θεωρήθηκαν ίσες με το μισό της συνολικής καταναλισκόμενης ισχύος που πάρθηκαν από την εταιρεία Διανομής ΔΕΔΔΗΕ [66].
- `high_of_dc_load_calc.m` Η συνάρτηση δέχεται ως είσοδο την ισχύ που καταναλίσκεται για το DC φορτίο μιας οικίας ενός μεγάλου καταναλωτή και υπολογίζει την ωμική αντίσταση για κάθε ώρα λειτουργίας της προσομοίωσης.
- `middle_of_dc_load_calc.m` Η συνάρτηση δέχεται ως είσοδο την ισχύ που καταναλίσκεται για το DC φορτίο μιας οικίας ενός μεσαίου καταναλωτή και υπολογίζει την ωμική αντίσταση για κάθε ώρα λειτουργίας της προσομοίωσης.
- `low_of_dc_load_calc.m` Η συνάρτηση δέχεται ως είσοδο την ισχύ που καταναλίσκεται για το DC φορτίο μιας οικίας ενός μικρού καταναλωτή και υπολογίζει την ωμική αντίσταση για κάθε ώρα λειτουργίας της προσομοίωσης.
- `dc2dc.m` Η συνάρτηση υλοποιήθηκε για τη μετατροπή της ηλεκτρικής ισχύος από συνεχή τάση DC ενός επιπέδου σε συνεχή τάση DC άλλου επιπέδου όταν απαιτείται για να καλύφθούν οι ανάγκες μετατροπής ή λειτουργίας όλων των οντοτήτων που συμμετέχουν στο μικροδίκτυο.
- `pv_panel.m` Η συνάρτηση δημιουργήθηκε για την λειτουργία του φωτοβολταϊκού συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, όπου δίνοντας τη θερμοκρασία του πάνελ μας δίνει τον αντίστοιχο βαθμό απόδοσης του φωτοβολταϊκού.
- `hems.m` Η συνάρτηση υλοποιήθηκε για να καλύψει τις ανάγκες ηλεκτρικές και θερμικές καθώς και τον έλεγχο κάθε οικίας κάθε τύπου καταναλωτή.
- `nems.m` Η συνάρτηση υλοποιήθηκε για τον έλεγχο των περιορισμών και των λειτουργιών όλου του μικροδικτύου. Αν υπάρχει κάποιο πρόβλημα στην ευσταθή λειτουργία του μικροδικτύου τότε ενεργοποιείται το σήμα συναγερμού και παίρνει την τιμή '1', ζητώντας από το διαχειριστή να προβεί στις απαραίτητες ενέργειες που να εξασφαλίζουν την ευσταθή και αξιόπιστη λειτουργία του μικροδικτύου ώστε το σήμα συναγερμού να απενεργοποιηθεί παίρνοντας την τιμή '0'.
- `chr_unit.m` Η συνάρτηση υλοποιήθηκε για τη δημιουργία τριών μονάδων `chrs` που ενεργοποιούνται ανάλογα με τα ποσά θερμικών αναγκών που καλούνται να καλύψουν σε κάθε βήμα καθόλη τη διάρκεια της προσομοίωσης. Οι ισχείς αυτών των μονάδων προέκυψαν από τις αντίστοιχες διαστασιολογήσεις (Heat Match).
- `chr.m` Η συνάρτηση καλείται από τη `chr_unit.m` σε κάθε βήμα καθόλη τη διάρκεια της προσομοίωσης και ανάλογα με ποιές μονάδες είναι ενεργοποιημένες μας δίνει τη θερμική ισχύ που παράγουν και μέσω των λόγων μετατροπής HPR την αντίστοιχη ηλεκτρική ισχύ. Στην περίπτωση που είναι ενεργοποιημένες όλες οι μονάδες `chrs` και δεν έχουν καλύφθει πλήρως οι θερμικές απαιτήσεις ενεργοποιείται το `boiler`, ώστε να καλυφθούν πλήρως. Επιπλέον, υπολογίζεται η συνολική ποσότητα φυσικού αερίου καθώς και το κόστος του φυσικού αερίου σε ευρώ για την κάλυψη των θερμικών φορτίων.

- `thermal.m` Η συνάρτηση υλοποιήθηκε για το διαχωρισμό των θερμικών φορτίων της κάθε οικίας του κάθε τύπου καταναλωτή σε θέρμανση και ζεστό νερό χρήσης. Αυτό το ποσοστό διαχωρισμού του συνολικού θερμικού φορτίου διαφοροποιείται ανάλογα με το μήνα που γίνεται η προσομοίωση.
- `chr_electricity_unit.m` Η συνάρτηση υλοποιήθηκε για τη δημιουργία τριών μονάδων `chrs` που ενεργοποιούνται ανάλογα με τα ποσά ηλεκτρικών αναγκών που καλούνται να καλύψουν σε κάθε βήμα καθόλη τη διάρκεια της προσομοίωσης (`Electricity Match`).
- `chr_electricity.m` Η συνάρτηση καλείται από τη `chr_electricity_unit.m` σε κάθε βήμα καθόλη τη διάρκεια της προσομοίωσης και ανάλογα με ποιές μονάδες είναι ενεργοποιημένες μας δίνει την ηλεκτρική ισχύ που παράγουν και μέσω των λόγων μετατροπής HPR την αντίστοιχη θερμική ισχύ. Στην περίπτωση που είναι ενεργοποιημένες όλες οι μονάδες `chrs` και δεν έχουν καλυφθεί πλήρως οι ηλεκτρικές απαιτήσεις των οικιών του μικροδικτύου αγοράζονται από το εξωτερικό δίκτυο παροχής ηλεκτρικής ισχύος, ώστε να καλυφθούν πλήρως. Επιπλέον, υπολογίζεται η συνολική ποσότητα φυσικού αερίου καθώς και το κόστος του φυσικού αερίου σε `euro` για την κάλυψη των ηλεκτρικών φορτίων όλων των οικιών του μικροδικτύου.
- `home_model.m` Η συνάρτηση δημιουργήθηκε για την ενοποίηση του βασικού περιβάλλοντος μιας οικίας κάθε τύπου καταναλωτή που μετέχει στο μικροδίκτυο. Η συνάρτηση αυτή περιέχει στο σώμα της τις οντότητες `rv_panel.m`, `dc_load.m`, `ac_load.m`, `thermal.m`, `hems.m` καθώς και αλγόριθμο απόφασης διαχείρισης της ηλεκτρικής ισχύος `P_chr_mode` που μοιράζεται στην οικία από τη θερμική λειτουργία των μονάδων συμπαραγωγής.
- `grid_model.m` Είναι το κύριο πρόγραμμα που αποτελεί το συνολικό περιβάλλον λειτουργίας του μικροδικτύου. Περιλαμβάνει έναν αριθμό οικιών για κάθε ξεχωριστή κατηγορία καταναλωτών, το διαχειριστή του μικροδικτύου ο οποίος συντονίζει τον έλεγχο για την σωστή λειτουργία του μικροδικτύου, τις συναρτήσεις που αναφέραμε παραπάνω καθώς και τη συνάρτηση `boiler` η οποία ενεργοποιείται όταν υπάρχουν θερμικές ανάγκες που πρέπει να καλυφθούν, τις οποίες δεν μπόρεσαν να καλύψουν οι μονάδες συμπαραγωγής.

Για τη συνολική λειτουργία της προσομοίωσης ορίζονται κάποιες μεταβλητές εντός του κύριου προγράμματος του `grid_model.m` στο αρχικό τμήμα των δηλώσεων. Επιπλέον, για τον ορισμό τιμών του μοντέλου προσομοίωσης καθώς απαιτούνται τιμές για κάθε ώρα λειτουργίας της προσομοίωσης χρησιμοποιούμε αρχεία αναφοράς `hometype.txt`.

Στο `Hometype1` ανήκει ο μεγάλος τύπος καταναλωτών.

Στο `Hometype2` ανήκει ο μεσαίος τύπος καταναλωτών.

Στο `Hometype3` ανήκει ο μικρός τύπος καταναλωτών.

Η επιλογή αυτή έγινε τυχαία των `hometypes` με τους αντίστοιχους τύπους καταναλωτών. Η λειτουργία του μοντέλου προσομοίωσης συνεχίζει και λειτουργεί σωστά ακόμα και αν αλλάξουμε τη σειρά των τύπων καταναλωτών στα `hometypes`.

Σε κάθε ένα από αυτά τα αρχεία περιλαμβάνεται το πλήθος των οικιών σ' αυτή τη ζώνη, τιμές για τα DC και AC φορτία της κάθε οικίας, εγκατεστημένη ισχύ του φωτοβολταϊκού συστήματος, παραγωγή PV, θερμοκρασία κελιού του πάνελ καθώς και συντελεστής απόδοσης του φωτοβολταϊκού. Επίσης, περιλαμβάνονται τιμές για κάθε ώρα λειτουργίας που αφορούν τις θερμικές καταναλώσεις της οικίας για την κάλυψη των αναγκών θέρμανσης και ζεστού νερού χρήσης. Επιπλέον, περιλαμβάνουν το μήνα που γίνεται η προσομοίωση για να μπορούμε κατόπιν να κάνουμε τον διαχωρισμό ποσοστού του συνολικού θερμικού φορτίου της οικίας καθώς και άλλα στοιχεία. Η ανάλυση καθενός Hometype καθώς και των εσωτερικών μεταβλητών που βρίσκονται στο αρχικό τμήμα του κυρίως προγράμματος `grid_model` γίνεται στο κεφάλαιο των σεναρίων προσομοίωσης.

Η τελική έκδοση του κώδικα που χρησιμοποιήσαμε για τις προσομοιώσεις είναι η `grid_modelv1_14` η οποία περιλαμβάνει τρεις μονάδες συμπαραγωγής ύστερα από διαστασιολόγηση των θερμικών αναγκών, διαμοιρασμό της ηλεκτρικής ισχύος που προκύπτει από τη λειτουργία των μονάδων συμπαραγωγής, λειτουργία boiler, ανάλυση του συνολικού θερμικού φορτίου, μέσες τιμές μιας οικίας για κάθε τύπο καταναλωτή.

Το συνολικό μοντέλο προσομοίωσης περιλαμβάνει εσωτερικούς ελέγχους (validity checks) που ελέγχουν όλα τα δεδομένα εισόδου ώστε να αποφεύγονται λάθη ενημερώνοντας το χρήστη με κατάλληλα μηνύματα στο παράθυρο εκτέλεσης του Matlab για τις τυχόν λανθασμένες επιλογές του χρήστη.

## Κεφάλαιο 7: ΣΕΝΑΡΙΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

### 7.1 Περιγραφή των Επιλεγμένων Σεναρίων Προσομοίωσης

Τα σενάρια προσομοίωσης που θα χρησιμοποιηθούν για τον έλεγχο και την πιστοποίηση της λειτουργίας του `grid_model` είναι τα παρακάτω:

- 1<sup>ο</sup> Σενάριο: Επιλογή χειμωνιάτικης ημέρας (μηνός Ιανουαρίου) με χαμηλή παραγωγή PV για τους διάφορους τύπους φωτοβολταϊκών και αυξημένα φορτία κατανάλωσης για τους διάφορους τύπους καταναλωτών συνδυαζόμενους με αυξημένα θερμικά φορτία βάσης από τις μονάδες CHPs.
- 2<sup>ο</sup> Σενάριο: Επιλογή καλοκαιρινής ημέρας (μηνός Ιουλίου) με υψηλή παραγωγή PV για τους διάφορους τύπους φωτοβολταϊκών και χαμηλά φορτία κατανάλωσης για τους διάφορους τύπους καταναλωτών συνδυαζόμενα με μειωμένα θερμικά φορτία με κάλυψη θερμικού φορτίου βάσης από τις μονάδες CHPs. Έχει προστεθεί και κάλυψη ηλεκτρικού φορτίου από τις μονάδες συμπαραγωγής.
- 3<sup>ο</sup> Σενάριο: Επιλογή χειμωνιάτικης ημέρας (μηνός Δεκεμβρίου) με υψηλή παραγωγή PV για τους διάφορους τύπους φωτοβολταϊκών και χαμηλά φορτία κατανάλωσης για τους διάφορους τύπους καταναλωτών συνδυαζόμενα με αυξημένα θερμικά φορτία βάσης (λόγω χειμώνα) από τις μονάδες CHPs, αλλά χαμηλότερα από το προηγούμενο του σεναρίου.
- 4<sup>ο</sup> Σενάριο: Επιλογή καλοκαιρινής ημέρας (μηνός Ιουνίου) με χαμηλή παραγωγή PV για τους διάφορους τύπους φωτοβολταϊκών και αυξημένα φορτία κατανάλωσης για τους διάφορους τύπους καταναλωτών συνδυαζόμενα με μειωμένα θερμικά φορτία με κάλυψη θερμικού φορτίου βάσης από τις μονάδες CHPs. Έχει προστεθεί και κάλυψη ηλεκτρικού φορτίου από τις μονάδες συμπαραγωγής.
- 5<sup>ο</sup> Σενάριο: Επιλογή φθινοπωρινής ημέρας (μηνός Οκτωμβρίου) με μεγάλη παραγωγή PV για τους διάφορους τύπους φωτοβολταϊκών και μειωμένα φορτία κατανάλωσης για τους διάφορους τύπους καταναλωτών συνδυαζόμενα με μειωμένα θερμικά φορτία με κάλυψη θερμικού φορτίου βάσης από τις μονάδες CHPs. Έχει προστεθεί και κάλυψη ηλεκτρικού φορτίου από τις μονάδες συμπαραγωγής.
- 6<sup>ο</sup> Σενάριο: Επιλογή ανοιξιάτικης ημέρας (μηνός Μαρτίου) με χαμηλή παραγωγή PV για τους διάφορους τύπους φωτοβολταϊκών και αυξημένα φορτία κατανάλωσης για τους διάφορους τύπους καταναλωτών συνδυαζόμενα με αυξημένα θερμικά φορτία βάσης με κάλυψη θερμικού φορτίου βάσης από τις μονάδες CHPs.

Τα προηγούμενα σενάρια αναμένεται να καλύψουν μια σημαντική πληθώρα ρεαλιστικών συνθηκών προσομοίωσης για το υπομελέτη μικροδίκτυο, αναφερόμενα στην θερμική λειτουργία και την κάλυψη των θερμικών αναγκών του συνολικού συστήματος. Στην συνέχεια τα παραπάνω σενάρια μπορούν να παραλλαγούν με στόχο την κάλυψη των ηλεκτρικών αναγκών από την χρήση της μονάδας `CHP_unit` αντί για την κάλυψη των θερμικών αναγκών, που αναφέρεται και στα προηγούμενα σενάρια. Στην φάση αυτής της προσομοίωσης αναμένεται η κάλυψη με ευκολία των ηλεκτρικών απαιτήσεων του συνολικού συστήματος με συνεπαγόμενη μείωση των απαιτήσεων ισχύος προς τον εξωτερικό πάροχο ενέργειας δεδομένης της εσωτερικής παραγωγής που διασφαλίζεται από τα CHPs.

Τα σενάρια προσομοίωσης διασφαλίζουν επίσης την χρονική κάλυψη όλων των εποχών λειτουργίας του μοντέλου, ελέγχοντας την ευσταθή λειτουργία του μικροδικτύου συνολικά και για τον λόγο αυτό εκτείνονται σε όλες τις περιόδους του έτους (4 εποχές).

Στην συνέχεια θα παρουσιαστούν αναλυτικά τα αποτελέσματα από την εκτέλεση των προσομοιώσεων για τα ανωτέρω σενάρια που περιγράφησαν, δίνοντας τόσο αριθμητικά όσο και γραφικά αποτελέσματα από το περιβάλλον Matlab.

## 7.2 1<sup>ο</sup> Σενάριο Προσομοίωσης

Το συγκεκριμένο σενάριο στο υπομελέτη μικροδίκτυο που προσομοιώνουμε έχει χαμηλή PV (παραγωγή από φωτοβολταϊκά), αυξημένα ηλεκτρικά φορτία κατανάλωσης και αυξημένες θερμικές ανάγκες.

### 7.2.1 Παράμετροι Σεναρίου Προσομοίωσης για τους 3 τύπους Καταναλωτών

Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν για την προσομοίωση του συγκεκριμένου σεναρίου παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες.

Για το **πρώτο** (μεγάλο) τύπο καταναλωτών με τις υψηλές καταναλώσεις και με φωτοβολταϊκά που έχουν εγκατεστημένη ισχύ 10Kw.

Τα δεδομένα ηλεκτρικής παραγωγής από τα Φ/Β συστήματα προέκυψαν με την χρήση του διαδικτυακού PVCalculator – PVWatts -που διατίθεται δωρεάν απο το NREL (National Renewable Energy Laboratory των ΗΠΑ)-για την πόλη των Αθηνών (Ελλάδα) και συνοψίζονται στον πίνακα που ακολουθεί:

Ώρα	Φωτεινότητα (W/m <sup>2</sup> )	Θερμοκρασία Πάνελ (°C)	DC έξοδος(W)	AC έξοδος(W)
0	0	9	0	0
1	0	10	0	0
2	0	9	0	0
3	0	9	0	0
4	0	10.4	0	0
5	0	9	0	0
6	0	9	0	0
7	1.866	6.021	18.089	0
8	27.1	7.394	261.148	200.678
9	69.82	9.195	667.559	599.137
10	106.9	14.016	1000.532	925.175
11	130.483	14.358	1219.379	1139.258
12	136.389	15.009	1270.86	1189.595
13	123.553	17.262	1139.611	1061.245
14	118.08	16.054	1095.101	1017.705
15	81.029	12.764	762.632	692.269
16	20.781	10.727	197.361	138.088
17	0	12	0	0
18	0	12	0	0
19	0	12	0	0

20	0	12	0	0
21	0	11	0	0
22	0	13	0	0
23	0	13	0	0

Τα DC και τα AC φορτία όλων των οικιών του μικροδικτύου θεωρήθηκαν ίσα μεταξύ τους για κάθε χρονική στιγμή του σεναρίου προσομοίωσης καθώς έχουμε διπλό δίκτυο διανομής DC και AC. Οι αθροιστικές τους τιμές συνοψίζονται και απεικονίζονται στον παρακάτω πίνακα. Είναι αναγκαίο να σημειωθεί πως οι τιμές των φορτίων προέκυψαν με χρήση των δεδομένων που διαθέτει η εταιρεία διανομής ηλεκτρικής ενέργειας ΔΕΔΔΗΕ και αφορούν μεγάλες οικιακές καταναλώσεις [66]. Για την κατανομή αυτών των τιμών σε κάθε ώρα της ημέρας χρησιμοποιήθηκε ένα άρθρο της ΚΑΠΕ [67], όπου συνοψίζουμε το προφίλ ζήτησης ισχύος της μέσης ημέρας. Είναι φανερό ότι η ελάχιστη κατανάλωση παρουσιάζεται κατά τη διάρκεια της νύχτας από τις 12:00 έως τις 6 το πρωί. Στη συνέχεια η κατανάλωση αυξάνεται συνεχώς μέχρι τις 8:00 το πρωί, όπου και παρουσιάζεται μια πρώτη αιχμή στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία σχετίζεται με τις πρωινές δραστηριότητες των ανθρώπων πριν την αποχώρησή τους για τη δουλειά τους. Τις επόμενες ώρες η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας παρουσιάζει μια μικρή μείωση και σχεδόν σταθεροποιείται καταλήγοντας γύρω στις 2:00 - 3:00 το μεσημέρι σε μια δεύτερη αιχμή. Επίσης, η μέγιστη κατανάλωση εμφανίζεται κατά τη διάρκεια του απογεύματος μέχρι και τις 11:00 το βράδυ. Το συγκεκριμένο προφίλ ζήτησης ισχύος είναι χαρακτηριστικό για την μέση κατοικία όπου πλέον τα μέγιστα φορτία παρουσιάζονται τις απογευματινές ώρες μέχρι τις 11:00 το βράδυ και ακολουθούν τις υποχρεώσεις της σύγχρονης ελληνικής οικογένειας. Τέλος, ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι κατά τις νυκτερινές από τις 12:00 το βράδυ έως τις 6:00 το πρωί υπάρχει ένα σταθερό φορτίο που πιθανότατα οφείλεται στον φωτισμό νυκτός (εσωτερικό και εξωτερικό), σε συσκευές που λειτουργούν όλο το 24ωρο π.χ. ψυγεία ή συσκευές που τίθενται σε λειτουργία τις βραδινές ώρες λόγω χρήσης νυχτερινού τιμολογίου π.χ. πλυντήριο ρούχων ή πιάτων. Οφείλεται όμως και κατά ένα σημαντικό μέρος σε φορτία αναμονής (standby και off mode) από ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές όπως υπολογιστές, τηλεοράσεις και άλλες μικροσυσκευές (fax, modem, router κ.α).

Ώρες	Συνολικό φορτίο (AC και DC) (W)
0	1064.10412
1	819.36017
2	634.20605
3	606.53935
4	574.61622
5	602.28293
6	627.82143
7	808.71913
8	1042.82203
9	872.56537
10	872.56537
11	893.84746
12	978.97579
13	915.12954
14	1064.10412
15	915.12954



16	915.12954
17	1106.66828
18	1479.10472
19	1266.28390
20	1457.82264
21	1553.59201
22	1489.74576
23	1266.28390

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται το ωριαίο θερμικό φορτίο για θέρμανση χώρων και ζεστό νερό χρήσης που αφορά τους μεγάλους καταναλωτές για το σύνολο των σπιτιών καθώς και για το κάθε σπίτι, για μια τυπική μέρα του χειμώνα που πραγματοποιείται το συγκεκριμένο σενάριο, όπου οι θερμικές ανάγκες είναι αυξημένες. Οι τιμές που αφορούν τις θερμικές καταναλώσεις για το σύνολο των σπιτιών υπολογίστηκαν βάση της αναφοράς [68] και επεξηγούνται στο προηγούμενο κεφάλαιο με βάση τον υπολογισμό της ετήσιας καμπύλης διάρκειας φορτίου που είναι απαραίτητος για την ορθή διαστασιολόγηση της κατάλληλης μονάδας συμπαραγωγής (chp).

Ώρες ημέρας	Θερμικό φορτίο για το σύνολο των σπιτιών (Kw)	Θερμικό φορτίο ανά σπίτι (Kw)
0	71.6667	2.3889
1	66.6667	2.2222
2	68.3333	2.2778
3	68.3333	2.2778
4	70.0000	2.3333
5	71.6667	2.3889
6	76.6667	2.5556
7	68.3333	2.2778
8	75.0000	2.5000
9	75.0000	2.5000
10	51.6667	1.7222
11	35.0000	1.1667
12	30.0000	1.0000
13	31.6667	1.0556
14	25.0000	0.8333
15	23.3333	0.7778
16	25.0000	0.8333
17	33.3333	1.1111
18	48.3333	1.6111
19	66.6667	2.2222
20	66.6667	2.2222
21	63.3333	2.1111
22	60.0000	2.0000
23	60.0000	2.0000

Στον παρακάτω πίνακα αναλύεται το 1<sup>ο</sup> Hometype όπου αφορά τον πρώτο τύπο καταναλωτών που είναι οι μεγάλοι καταναλωτές στη περίπτωση μας.

Παράμετροι	Τιμές	Σχόλια – Επεξηγήσεις
Hometype_file_version	1.0	Προετοιμάζει το σύστημα για τη δομή του αρχείου.
Homes	30	Πλήθος σπιτιών μεγάλων καταναλώσεων.
Version_pv	1.1	Με χρήση θερμοκρασιακών συντελεστών μας δίνει την απόδοση του συστήματος.
P_l_vector_length	24	Μια τιμή ανά ώρα της ημέρας για την παραγωγή από το φωτοβολταϊκό.
P_vector	0 0 0 0 0 0 0 18.089 261.148 667.559 1000.532 1219.379 1270.86 1139.611 1095.101 762.632 197.361 0 0 0 0 0 0 0	DC έξοδος σε Watts που μας δίνει την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος του φωτοβολταϊκού 10Kw με τη βοήθεια του PV Watts Calculator για μια ημέρα ενός χειμωνιάτικου μήνα.
I_vector	0 0	Χρησιμοποιώντας τη μεταβλητή bypass_P_l=1 έχουμε ενεργοποιήσει την κατάργηση των υπολογισμών φωτεινότητας γι αυτό το διάνυσμα περιέχει 24 μηδενικές τιμές.
S_panel	1.0	Μια ενδεικτική τιμή, δεν χρησιμοποιείται εφόσον έχουμε θέσει τη μεταβλητή bypass_P_l=1.
n_eff_pv	0.95	Η τιμή αυτή μας δείχνει το συντελεστή απόδοσης του φωτοβολταϊκού.
Voltage_op_pv	48	Μας δείχνει την τιμή της τάσης λειτουργίας του φωτοβολταϊκού εκφρασμένη σε Volts.
P_max_pv	10000	Μέγιστη αποδιδόμενη ισχύ του φωτοβολταϊκού σε Watts.
Temp_pv_vector	9 10 9 9 10.4 9 9 6.021 7.394 9.195 14.016 14.358 15.009 17.262 16.054 12.764 10.727 12 12 12 12 11 13 13	Τιμές Θερμοκρασίας του φωτοβολταϊκού 10Kw με τη βοήθεια του PV Watts Calculator για μια ημέρα ενός χειμωνιάτικου μήνα.
Version_dc_load	1.0	Καθορίζει την έκδοση για τον τύπο της συνάρτησης dc_load.
ON/OFF_Load_State	1.0	Ενεργοποιεί το DC φορτίο σε όλες τις οικίες του συγκεκριμένου τύπου καταναλωτών.
Voltage_load_dc	48	Τάση λειτουργίας του DC φορτίου εκφρασμένη σε Volts.
R_load_dc_vector	4.3304 5.6239 7.2658 7.5972 8.0193 7.6509 7.3397 5.6979 4.4188 5.2810 5.2810 5.1553 4.7070 5.0354 4.3304 5.0354 5.0354 4.1639 3.1154 3.6390 3.1609 2.9660 3.0931 3.6390	Υπολογισμένο διάνυσμα αντιστάσεων για τα DC φορτία κάθε οικίας του τύπου μεγάλων καταναλωτών. Οι τιμές αυτές υπολογίζονται χρησιμοποιώντας την υποσυνάρτηση high_of_dc_load_calc.m που δέχεται ως εισόδους τις τιμές ισχύος που καταναλώνονται επί των DC φορτίων κατά τη διάρκεια του 24ώρου που πραγματοποιείται η προσομοίωση και την τάση λειτουργίας του DC φορτίου .
Version_ac_load	1.0	Καθορίζει την έκδοση για τον τύπο της συνάρτησης ac_load.
ON/OFF_Load_State	1.0	Ενεργοποιεί το AC φορτίο σε όλες τις οικίες του συγκεκριμένου τύπου καταναλωτών.

Voltage_load_ac	230	Τάση λειτουργίας του AC φορτίου εκφρασμένη σε Volts.
R_load_ac_vector	94.4551 123.9602 163.4863 170.9439 165.7107 172.1519 151.6677 120.3584 94.3536 109.1267 109.1267 112.4467 99.4265 98.2704 88.4895 104.0510 106.3633 89.8662 67.9533 81.8807 68.2196 62.6522 66.0476 79.3741	Υπολογισμένο διάνυσμα αντιστάσεων για τα AC φορτία κάθε οικίας του τύπου μεγάλων καταναλωτών. Οι τιμές αυτές υπολογίζονται χρησιμοποιώντας την υποσυνάρτηση high_of_ac_load_calc.m που δέχεται ως εισόδους τις τιμές ισχύος που καταναλίσκονται επί των AC φορτίων κατά τη διάρκεια του 24ώρου που πραγματοποιείται η προσομοίωση, την τάση λειτουργίας του AC φορτίου καθώς και το συντελεστή ισχύος που είναι απαραίτητος για τον υπολογισμό του διανύσματος R_load_ac_vector και παίρνει τιμές από 0.89-0.99.
X_load_ac_vector	31.0459 36.1550 33.1973 34.7116 80.2573 34.9569 73.4560 51.2725 37.2909 52.8525 52.8525 36.9594 42.3555 60.9025 45.3345 50.3942 45.3106 32.6171 22.3352 16.6266 24.7604 26.6897 26.1037 26.0890	Υπολογισμένο διάνυσμα αντιστάσεων για τα AC φορτία κάθε οικίας του τύπου μεγάλων καταναλωτών. Οι τιμές αυτές υπολογίζονται χρησιμοποιώντας την υποσυνάρτηση high_of_ac_load_calc.m που δέχεται ως εισόδους τις τιμές ισχύος που καταναλίσκονται επί των AC φορτίων κατά τη διάρκεια του 24ώρου που πραγματοποιείται η προσομοίωση, την τάση λειτουργίας του AC φορτίου καθώς και το συντελεστή ισχύος που είναι απαραίτητος για τον υπολογισμό του διανύσματος X_load_ac_vector και παίρνει τιμές από 0.89-0.99.
Version_hems	1.1	Μας δίνει την έκδοση της συνάρτησης hems.m που χρησιμοποιείται από το περιβάλλον προσομοίωσης για τον έλεγχο της ενέργειας στην κάθε οικία. Η έκδοση είναι 1.1 γιατί σε κάθε οικία έχουμε ηλεκτρική ισχύ από φωτοβολταϊκό και από τη μονάδα συμπαραγωγής και αν σε κάθε βήμα προσομοίωσης δεν καλύπτονται τα συνολικά φορτία της οικίας επικοινωνούν στο σύνολό τους με τον διαχειριστή του μικροδικτύου και αν δεν μπορεί να τα καλύψει και από τους συσσωρευτές αγοράζονται από το εξωτερικό δίκτυο.
Time_start	0.0	Χρόνος έναρξης της προσομοίωσης
Time_stop	23.99	Χρόνος λήξης της προσομοίωσης
Time_step	0.1	Βήμα προσομοίωσης
I_calc_version	1.0	Έκδοση για τον υπολογισμό της φωτεινότητας, που όμως δεν χρησιμοποιείται γιατί έχουμε θέσει τη μεταβλητή bypass_P_I=1.
n_hems	0.95	Συντελεστής hems για μετατροπή ηλεκτρικής ενέργειας που όταν χρειάζεται

		ζητάει και όταν περισσεύει δίνει στους συσσωρευτές και κατ'επέκταση στο διαχειριστή του μικροδικτύου.
version_nems	1.0	Ορίζει την έκδοση της συνάρτησης nems.m που χρησιμοποιείται από το περιβάλλον προσομοίωσης.
P_min	0	Ελάχιστη ισχύς διαθέσιμη από το εξωτερικό δίκτυο.
P_max	0	Μέγιστη ισχύς διαθέσιμη από το εξωτερικό δίκτυο.
n_nems	0.88	Συντελεστής μετατροπής ισχύς στο επίπεδο του διαχειριστή του μικροδικτύου.
Soc_Init	0.60	Αρχικό επίπεδο φόρτισης των συσσωρευτών.
version_batt	1.1	Η μεταβλητή ορίζει την έκδοση της συνάρτησης battery.m που χρησιμοποιείται από το περιβάλλον προσομοίωσης.
Voltage_chg	48	Τάση διεπαφής φόρτισης της μπαταρίας.
Voltage_cons	200	Τάση διεπαφής κατανάλωσης της μπαταρίας.
n_chg	0.85	Συντελεστής φόρτισης της μπαταρίας.
Q_max	50000000	Μέγιστο φορτίο των συσσωρευτών σε Coulombs.
version_chp	1.0	Ορίζει την έκδοση που χρησιμοποιείται για τις συναρτήσεις chp_unit.m και chp_electricity_unit.m από το περιβάλλον προσομοίωσης σε κάθε βήμα προσομοίωσης.
ON_chp	1.0	Ενεργοποιεί το θερμικό φορτίο σε όλες τις οικίες του συγκεκριμένου τύπου καταναλωτών.
use_chp_ac_prov	'n' or 'y'	Όταν η μεταβλητή έχει τιμή 'n' καλείται μόνο η συνάρτηση chp_unit.m από το περιβάλλον προσομοίωσης που σημαίνει ότι και τα 3 chp που έχουμε υλοποιήσει χρησιμοποιούνται μόνο για την κάλυψη του θερμικού φορτίου βάσης. Όταν η μεταβλητή έχει τιμή 'y' καλείται μόνο η συνάρτηση chp_electricity_unit.m από το περιβάλλον προσομοίωσης που σημαίνει ότι και τα 3 chp που έχουμε υλοποιήσει χρησιμοποιούνται μόνο για την κάλυψη του ηλεκτρικού φορτίου βάσης.
n_chp_hi	0.89	Συντελεστής παραγωγής για το μεγάλο τύπου chp.
hpr_hi	2.335	Λόγος ονομαστικής θερμικής με ονομαστική ηλεκτρική ισχύ για το μεγάλο τύπου chp. Το κατάλληλο chp προέκυψε από διαστασιολόγηση με βάση την ετήσια καμπύλη διάρκειας θερμικού φορτίου για το μεγάλο τύπο καταναλώσεων.
type_chp_hi	46.7	Ονομαστική θερμική ισχύ (Kw) που δίνει ο

		κατασκευαστής για το συγκεκριμένο chp, που επιλέξαμε ύστερα από διαστασιόλογηση.
type_chp_el_hi	20	Ονομαστική ηλεκτρική ισχύ (Kw) που δίνει ο κατασκευαστής για το συγκεκριμένο chp, που επιλέξαμε ύστερα από διαστασιόλογηση.
thermal_load	2.3888 2.2222 2.2778 2.2778 2.3333 2.3889 2.5556 2.2778 2.500 2.500 1.7222 1.1667 1.0000 1.0556 0.8333 0.7778 0.8333 1.1111 1.6111 2.2222 2.2222 2.1111 2.0000 2.0000	Οριαίο θερμικό φορτίο για θέρμανση χώρων και ζεστό νερό χρήσης σε Kw, ανά οικία για το μεγάλο τύπο καταναλώσεων.
Month	1	Η μεταβλητή αυτή μας δείχνει το μήνα που γίνεται η προσομοίωση και τη χρησιμοποιούμε για το διαχωρισμό του θερμικού φορτίου σε ανάγκες θέρμανσης και ανάγκες για ζεστό νερό χρήσης.
inspect_module	1-30	Επιλέγοντας έναν αριθμό σ' αυτό το διάστημα που αντιστοιχεί σε οικία του μεγάλου τύπου καταναλώσεων παίρνουμε τα γραφήματα από το περιβάλλον προσομοίωσης, που μας δείχνουν τις παραγωγές και τις καταναλώσεις που έχει η κάθε οικία.
inspect_hometype	1	Η μεταβλητή αυτή μας δείχνει τον τύπο μεγάλων καταναλώσεων.
heat_load	$0.89 * \text{thermal\_load}$	24 διαφορετικές τιμές σε Kw που χωρίζουν το θερμικό φορτίο κάθε οικίας σε ανάγκες θέρμανσης.
hot_water_load	$0.11 * \text{thermal\_load}$	24 διαφορετικές τιμές σε Kw που χωρίζουν το θερμικό φορτίο κάθε οικίας σε ανάγκες για ζεστό νερό χρήσης.
ascending_mode	1	Με τιμή '1' οι συνολικές θερμικές ανάγκες καλύπτονται από το μικρότερο chp προς το μεγαλύτερο.

Για το **δεύτερο** τύπο (μεσαίο) καταναλωτών με τις μεσαίες καταναλώσεις και με φωτοβολταϊκά που έχουν εγκατεστημένη ισχύ 6Kw.

Τα δεδομένα ηλεκτρικής παραγωγής από τα ΦΒ συστήματα προέκυψαν με την χρήση του διαδικτυακού PVCalculator – PVWatts -που διατίθεται δωρεάν απο το NREL (National Renewable Energy Laboratory των ΗΠΑ)-για την πόλη των Αθηνών (Ελλάδα) και συνοψίζονται στον πίνακα που ακολουθεί:

Ώρα	Φωτεινότητα (W/m <sup>2</sup> )	Θερμοκρασία Πάνελ (°C)	DC έξοδος(W)	AC έξοδος(W)
0	0	12	0	0
1	0	12.4	0	0
2	0	12	0	0
3	0	12	0	0
4	0	11.4	0	0
5	0	10	0	0
6	0	11	0	0
7	1.866	9.754	10.679	0
8	34.344	7.921	198.117	161.049
9	82.217	11.965	465.936	423.546
10	103.973	16.762	576.714	532.004
11	127.49	13.894	716.331	668.597
12	134.389	14.49	753.084	704.535
13	123.608	13.48	695.805	648.522
14	119.159	11.976	675.257	628.423
15	83.146	11.398	472.383	429.859
16	22.595	9.757	129.303	93.536
17	0	10	0	0
18	0	10	0	0
19	0	10.6	0	0
20	0	10	0	0
21	0	9	0	0
22	0	9.2	0	0
23	0	8	0	0

Τα DC και τα AC φορτία όλων των οικιών του μικροδικτύου θεωρήθηκαν ίσα μεταξύ τους για κάθε χρονική στιγμή του σεναρίου προσομοίωσης καθώς έχουμε διπλό δίκτυο διανομής DC και AC. Οι αθροιστικές τους τιμές συνοψίζονται και απεικονίζονται στον παρακάτω πίνακα. Είναι αναγκαίο να σημειωθεί πως οι τιμές των φορτίων προέκυψαν με χρήση των δεδομένων που διαθέτει η εταιρεία διανομής ηλεκτρικής ενέργειας ΔΕΔΔΗΕ και αφορούν μεσαίες οικιακές καταναλώσεις [66]. Για την κατανομή αυτών των τιμών σε κάθε ώρα της ημέρας χρησιμοποιήθηκε ένα άρθρο της ΚΑΠΕ [67], όπου συνοψίζουμε το προφίλ ζήτησης ισχύος της μέσης ημέρας, όπου επεξηγήθηκε αναλυτικά παραπάνω.

Ώρες	Συνολικό φορτίο (AC και DC) (W)
0	757.03880
1	582.91988
2	451.19513
3	431.51212
4	408.80095
5	428.48396
6	446.65289
7	575.34949
8	741.89803
9	620.77182
10	620.85129
11	635.91260
12	696.47570
13	651.05337
14	757.03880
15	651.05337
16	651.90417
17	787.32036
18	1052.28394
19	900.87618
20	1037.14316
21	1105.27665
22	1059.85433
23	900.87618

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται το ωριαίο θερμικό φορτίο για θέρμανση χώρων και ζεστό νερό χρήσης που αφορά το μεσαίο τύπο καταναλωτών για το σύνολο των σπιτιών καθώς και για το κάθε σπίτι, για μια τυπική μέρα του χειμώνα που πραγματοποιείται το συγκεκριμένο σενάριο όπου οι θερμικές ανάγκες είναι αυξημένες. Οι τιμές που αφορούν τις θερμικές καταναλώσεις για το σύνολο των σπιτιών υπολογίστηκαν βάση της αναφοράς [68] και επεξηγούνται στο προηγούμενο κεφάλαιο με βάση τον υπολογισμό της ετήσιας καμπύλης διάρκειας φορτίου που είναι απαραίτητος για την ορθή διαστασιολόγηση της κατάλληλης μονάδας συμπαραγωγής (chr).

Ώρες ημέρας	Θερμικό φορτίο για το σύνολο των σπιτιών (Kw)	Θερμικό φορτίο ανά σπίτι (Kw)
0	53.7500	1.7917
1	50.0000	1.6667
2	51.2500	1.7083
3	51.2500	1.7083
4	52.5000	1.7500
5	53.7500	1.7917
6	57.5000	1.9167
7	51.2500	1.7083
8	56.2500	1.8750
9	56.2500	1.8750
10	38.7500	1.2917
11	26.2500	0.8750
12	22.5000	0.7500
13	23.7500	0.7917
14	18.7500	0.6250
15	17.5000	0.5833
16	18.7500	0.6250
17	25.0000	0.8333
18	36.2500	1.2083
19	50.0000	1.6667
20	50.0000	1.6667
21	47.5000	1.5833
22	45.0000	1.5000
23	45.0000	1.5000

Στον παρακάτω πίνακα αναλύεται το 2<sup>ο</sup> Hometype όπου αφορά τον δεύτερο τύπο καταναλωτών που είναι οι μεσαίοι καταναλωτές στη περίπτωσή μας.



Παράμετροι	Τιμές	Σχόλια - Επεξηγήσεις
Hometype_file_version	1.0	Προετοιμάζει το σύστημα για τη δομή του αρχείου.
Homes	30	Πλήθος σπιτιών μεγάλων καταναλώσεων.
Version_pv	1.1	Με χρήση θερμοκρασιακών συντελεστών μας δίνει την απόδοση του συστήματος.
P_l_vectror_length	24	Μια τιμή ανά ώρα της ημέρας για την παραγωγή από το φωτοβολταϊκό.
P_vector	0 0 0 0 0 0 0 10.679 198.117 465.936 576.714 716.331 753.084 695.805 675.257 472.383 129.303 0 0 0 0 0 0 0	DC έξοδος σε Watts που μας δίνει την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος του φωτοβολταϊκού 6Kw με τη βοήθεια του PV Watts Calculator για μια ημέρα ενός χειμωνιάτικου μήνα.
I_vector	0 0	Χρησιμοποιώντας τη μεταβλητή bypass_P_l=1 έχουμε ενεργοποιήσει την κατάργηση των υπολογισμών φωτεινότητας γι αυτό το διάνυσμα περιέχει 24 μηδενικές τιμές.
S_panel	1.0	Μια ενδεικτική τιμή, δεν χρησιμοποιείται εφόσον έχουμε θέσει τη μεταβλητή bypass_P_l=1.
n_eff_pv	0.95	Η τιμή αυτή μας δείχνει το συντελεστή απόδοσης του φωτοβολταϊκού.
Voltage_op_pv	48	Μας δείχνει την τιμή της τάσης λειτουργίας του φωτοβολταϊκού εκφρασμένη σε Volts.
P_max_pv	6000	Μέγιστη αποδιδόμενη ισχύ του φωτοβολταϊκού σε Watts.
Temp_pv_vector	12 12.4 12 12 11.4 10 11 9.754 7.921 11.965 16.762 13.894 14.49 13.48 11.976 11.398 9.757 10 10 10.6 10 9 9.2 8	Τιμές Θερμοκρασίας του φωτοβολταϊκού 6Kw με τη βοήθεια του PV Watts Calculator για μια ημέρα ενός χειμωνιάτικου μήνα.
Version_dc_load	1.0	Καθορίζει την έκδοση για τον τύπο της συνάρτησης dc_load.
ON/OFF_Load_State	1.0	Ενεργοποιεί το DC φορτίο σε όλες τις οικίες του συγκεκριμένου τύπου καταναλωτών.
Voltage_load_dc	48	Τάση λειτουργίας του DC φορτίου εκφρασμένη σε Volts.
R_load_dc_vector	6.0869 7.9051 10.2129 10.6787 11.2720 10.7542 10.3168 8.0091 6.2111 7.4230 7.4221 7.2463 6.6162 7.0778 6.0869 7.0778 7.0685 5.8528 4.3791 5.1150 4.4430 4.1691 4.3478 5.1150	Υπολογισμένο διάνυσμα αντιστάσεων για τα DC φορτία κάθε οικίας του τύπου μεσαίων καταναλωτών. Οι τιμές αυτές υπολογίζονται χρησιμοποιώντας την υποσυνάρτηση middle_of_dc_load_calc.m που δέχεται ως εισόδους τις τιμές ισχύος που καταναλίσκονται επί των DC φορτίων κατά τη διάρκεια του 24ώρου που πραγματοποιείται η προσομοίωση και την τάση λειτουργίας του DC φορτίου .
Version_ac_load	1.0	Καθορίζει την έκδοση για τον τύπο της συνάρτησης ac_load.

ON/OFF_Load_State	1.0	Ενεργοποιεί το AC φορτίο σε όλες τις οικίες του συγκεκριμένου τύπου καταναλωτών.
Voltage_load_ac	230	Τάση λειτουργίας του AC φορτίου εκφρασμένη σε Volts.
R_load_ac_vector	132.7674 172.4256 229.7992 240.2807 245.8659 234.5723 201.3424 161.8221 128.3465 153.3901 168.7074 164.7115 150.3890 154.3809 132.7674 154.3809 146.0645 120.9419 88.4782 111.5692 96.9105 93.8082 97.8286 111.5692	Υπολογισμένο διάνυσμα αντιστάσεων για τα AC φορτία κάθε οικίας του τύπου μεσαίων καταναλωτών. Οι τιμές αυτές υπολογίζονται χρησιμοποιώντας την υποσυνάρτηση middle_of_ac_load_calc.m που δέχεται ως εισόδους τις τιμές ισχύος που καταναλίσκονται επί των AC φορτίων κατά τη διάρκεια του 24ώρου που πραγματοποιείται η προσομοίωση, την τάση λειτουργίας του AC φορτίου καθώς και το συντελεστή ισχύος που είναι απαραίτητος για τον υπολογισμό του διανύσματος R_load_ac_vector και παίρνει τιμές από 0.89-0.99.
X_load_ac_vector	43.6385 56.6736 46.6627 48.7911 80.8122 77.1002 124.7808 87.3423 62.1610 74.2902 24.0395 23.4701 21.4293 50.7426 43.6385 50.7426 70.7422 58.5748 47.7555 36.6710 31.8530 19.0486 19.8649 36.6710	Υπολογισμένο διάνυσμα αντιστάσεων για τα AC φορτία κάθε οικίας του τύπου μεσαίων καταναλωτών. Οι τιμές αυτές υπολογίζονται χρησιμοποιώντας την υποσυνάρτηση middle_of_ac_load_calc.m που δέχεται ως εισόδους τις τιμές ισχύος που καταναλίσκονται επί των AC φορτίων κατά τη διάρκεια του 24ώρου που πραγματοποιείται η προσομοίωση, την τάση λειτουργίας του AC φορτίου καθώς και το συντελεστή ισχύος που είναι απαραίτητος για τον υπολογισμό του διανύσματος X_load_ac_vector και παίρνει τιμές από 0.89-0.99.
Version_hems	1.1	Μας δίνει την έκδοση της συνάρτησης hems.m που χρησιμοποιείται από το περιβάλλον προσομοίωσης για τον έλεγχο της ενέργειας στην κάθε οικία. Η έκδοση είναι 1.1 γιατί σε κάθε οικία έχουμε ηλεκτρική ισχύ από φωτοβολταϊκό και από τη μονάδα συμπαραγωγής και αν σε κάθε βήμα προσομοίωσης δεν καλύπτονται τα συνολικά φορτία της οικίας επικοινωνούν στο σύνολό τους με τον διαχειριστή του μικροδικτύου και αν δεν μπορεί να τα καλύψει και από τους συσσωρευτές αγοράζονται από το εξωτερικό δίκτυο.
Time_start	0.0	Χρόνος έναρξης της προσομοίωσης
Time_stop	23.99	Χρόνος λήξης της προσομοίωσης
Time_step	0.1	Βήμα προσομοίωσης
I_calc_version	1.0	Έκδοση για τον υπολογισμό της φωτεινότητας, που όμως δεν χρησιμοποιείται γιατί έχουμε θέσει τη μεταβλητή bypass_P_I=1.

n_hems	0.95	Συντελεστής hems για μετατροπή ηλεκτρικής ενέργειας που όταν χρειάζεται ζητάει και όταν περισσεύει δίνει στους συσσωρευτές και κατ'επέκταση στο διαχειριστή του μικροδικτύου.
version_nems	1.0	Ορίζει την έκδοση της συνάρτησης nems.m που χρησιμοποιείται από το περιβάλλον προσομοίωσης.
P_min	0	Ελάχιστη ισχύς διαθέσιμη από το εξωτερικό δίκτυο.
P_max	0	Μέγιστη ισχύς διαθέσιμη από το εξωτερικό δίκτυο.
n_nems	0.88	Συντελεστής μετατροπής ισχύς στο επίπεδο του διαχειριστή του μικροδικτύου.
Soc_Init	0.60	Αρχικό επίπεδο φόρτισης των συσσωρευτών.
version_batt	1.1	Η μεταβλητή ορίζει την έκδοση της συνάρτησης battery.m που χρησιμοποιείται από το περιβάλλον προσομοίωσης.
Voltage_chg	48	Τάση διεπαφής φόρτισης της μπαταρίας.
Voltage_cons	200	Τάση διεπαφής κατανάλωσης της μπαταρίας.
n_chg	0.85	Συντελεστής φόρτισης της μπαταρίας.
Q_max	50000000	Μέγιστο φορτίο των συσσωρευτών σε Coulombs.
version_chp	1.0	Ορίζει την έκδοση που χρησιμοποιείται για τις συναρτήσεις chp_unit.m και chp_electricity_unit.m από το περιβάλλον προσομοίωσης σε κάθε βήμα προσομοίωσης.
ON_chp	1.0	Ενεργοποιεί το θερμικό φορτίο σε όλες τις οικίες του συγκεκριμένου τύπου καταναλωτών.
use_chp_ac_prov	'n' or 'y'	Όταν η μεταβλητή έχει τιμή 'n' καλείται μόνο η συνάρτηση chp_unit.m από το περιβάλλον προσομοίωσης που σημαίνει ότι και τα 3 chp που έχουμε υλοποιήσει χρησιμοποιούνται μόνο για την κάλυψη του θερμικού φορτίου βάσης. Όταν η μεταβλητή έχει τιμή 'y' καλείται μόνο η συνάρτηση chp_electricity_unit.m από το περιβάλλον προσομοίωσης που σημαίνει ότι και τα 3 chp που έχουμε υλοποιήσει χρησιμοποιούνται μόνο για την κάλυψη του ηλεκτρικού φορτίου βάσης.
n_chp_md	0.88	Συντελεστής παραγωγής για το μεσαίου τύπου chp.
hpr_md	2.206	Λόγος ονομαστικής θερμικής με ονομαστική ηλεκτρική ισχύ για το μεσαίου τύπου chp. Το κατάλληλο chp προέκυψε από διαστασιολόγηση με βάση την ετήσια καμπύλη διάρκειας θερμικού φορτίου για το

		μεσαίο τύπο καταναλώσεων.
type_chp_md	35.3	Ονομαστική θερμική ισχύ (Kw) που δίνει ο κατασκευαστής για το συγκεκριμένο chp, που επιλέξαμε ύστερα από διαστασιόλογηση.
type_chp_el_md	16	Ονομαστική ηλεκτρική ισχύ (Kw) που δίνει ο κατασκευαστής για το συγκεκριμένο chp, που επιλέξαμε ύστερα από διαστασιόλογηση.
thermal_load	1.7917 1.6667 1.7083 1.7083 1.7500 1.7917 1.9167 1.7083 1.8750 1.8750 1.2917 0.8750 0.7500 0.7917 0.6250 0.5833 0.6250 0.8333 1.2083 1.6667 1.6667 1.5833 1.5000 1.5000	Ωριαίο θερμικό φορτίο για θέρμανση χώρων και ζεστό νερό χρήσης σε Kw, ανά οικία για το μεσαίο τύπο καταναλώσεων.
Month	1	Η μεταβλητή αυτή μας δείχνει το μήνα που γίνεται η προσομοίωση και τη χρησιμοποιούμε για το διαχωρισμό του θερμικού φορτίου σε ανάγκες θέρμανσης και ανάγκες για ζεστό νερό χρήσης.
inspect_module	31-60	Επιλέγοντας έναν αριθμό σ' αυτό το διάστημα που αντιστοιχεί σε οικία του μεσαίου τύπου καταναλώσεων παίρνουμε τα γραφήματα από το περιβάλλον προσομοίωσης, που μας δείχνουν τις παραγωγές και τις καταναλώσεις που έχει η κάθε οικία.
inspect_hometype	2	Η μεταβλητή αυτή μας δείχνει τον τύπο μεσαίων καταναλώσεων.
heat_load	$0.89 * \text{thermal\_load}$	24 διαφορετικές τιμές σε Kw που χωρίζουν το θερμικό φορτίο κάθε οικίας σε ανάγκες θέρμανσης.
hot_water_load	$0.11 * \text{thermal\_load}$	24 διαφορετικές τιμές σε Kw που χωρίζουν το θερμικό φορτίο κάθε οικίας σε ανάγκες για ζεστό νερό χρήσης.
ascending_mode	1	Με τιμή '1' οι συνολικές θερμικές ανάγκες καλύπτονται από το από το μικρότερο chp προς το μεγαλύτερο.

Για τον **τρίτο**(μικρό) τύπο καταναλωτών με τις μικρές καταναλώσεις και με φωτοβολταϊκά που έχουν εγκατεστημένη ισχύ 3Kw.

Τα δεδομένα ηλεκτρικής παραγωγής από τα ΦΒ συστήματα προέκυψαν με την χρήση του διαδικτυακού PVCalculator – PVWatts -που διατίθεται δωρεάν απο το NREL (National Renewable Energy Laboratory των ΗΠΑ)-για την πόλη των Αθηνών (Ελλάδα) και συνοψίζονται στον πίνακα που ακολουθεί:

Ώρα	Φωτεινότητα (W/m <sup>2</sup> )	Θερμοκρασία Πάνελ (°C)	DC έξοδος(W)	AC έξοδος(W)
0	0	12	0	0
1	0	12.4	0	0
2	0	12	0	0
3	0	12	0	0
4	0	11.4	0	0
5	0	10	0	0
6	0	11	0	0
7	1.866	9.754	5.339	0
8	34.344	7.921	99.059	80.524
9	82.217	11.965	232.968	211.773
10	103.973	16.762	288.357	266.002
11	127.49	13.894	358.166	334.298
12	134.389	14.49	376.542	352.268
13	123.608	13.48	347.902	324.261
14	119.159	11.976	337.628	314.212
15	83.146	11.398	236.191	214.93
16	22.595	9.757	64.652	46.768
17	0	10	0	0
18	0	10	0	0
19	0	10.6	0	0
20	0	10	0	0
21	0	9	0	0
22	0	9.2	0	0
23	0	8	0	0

Τα DC και τα AC φορτία όλων των οικιών του μικροδικτύου θεωρήθηκαν ίσα μεταξύ τους για κάθε χρονική στιγμή του σεναρίου προσομοίωσης καθώς έχουμε διπλό δίκτυο διανομής DC και AC. Οι αθροιστικές τους τιμές συνοψίζονται και απεικονίζονται στον παρακάτω πίνακα. Είναι αναγκαίο να σημειωθεί πως οι τιμές των φορτίων προέκυψαν με χρήση των δεδομένων που διαθέτει η εταιρεία διανομής ηλεκτρικής ενέργειας ΔΕΔΔΗΕ και αφορούν μικρές οικιακές καταναλώσεις [66]. Για την κατανομή αυτών των τιμών σε κάθε ώρα της ημέρας χρησιμοποιήθηκε ένα άρθρο της ΚΑΠΕ [67], όπου συνοψίζουμε το προφίλ ζήτησης ισχύος της μέσης ημέρας, όπου επεξηγήθηκε αναλυτικά παραπάνω.

Ώρες	Συνολικό φορτίο (AC και DC) (W)
0	406.39514
1	312.92426
2	242.21150
3	231.64523
4	219.45338
5	230.01965
6	239.77313
7	308.86031
8	398.26724
9	333.24402
10	333.37016
11	341.37192
12	373.88353
13	349.49982
14	406.39514
15	349.49982
16	349.71821
17	422.65095
18	564.88925
19	483.61022
20	556.76134
21	593.33691
22	568.95320
23	483.61022

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται το ωριαίο θερμικό φορτίο για θέρμανση χώρων και ζεστό νερό χρήσης που αφορά το μικρό τύπο καταναλωτών για το σύνολο των σπιτιών καθώς και για το κάθε σπίτι, για μια τυπική μέρα του χειμώνα που πραγματοποιείται το συγκεκριμένο σενάριο όπου οι θερμικές ανάγκες είναι αυξημένες. Οι τιμές που αφορούν τις θερμικές καταναλώσεις για το σύνολο των σπιτιών υπολογίστηκαν βάση της αναφοράς [68] και επεξηγούνται στο προηγούμενο κεφάλαιο με βάση τον υπολογισμό της ετήσιας καμπύλης διάρκειας φορτίου που είναι απαραίτητος για την ορθή διαστασιολόγηση της κατάλληλης μονάδας συμπαραγωγής (chp).

Ώρες ημέρας	Θερμικό φορτίο για το σύνολο των σπιτιών (Kw)	Θερμικό φορτίο ανά σπίτι (Kw)
0	35.8333	1.1944
1	33.3333	1.1111
2	34.1667	1.1389
3	34.1667	1.1389
4	35.0000	1.1667
5	35.8333	1.1944
6	38.3333	1.2778
7	34.1667	1.1389
8	37.5000	1.2500
9	37.5000	1.2500
10	25.8333	0.8611
11	17.5000	0.5833
12	15.0000	0.5000
13	15.8333	0.5278
14	12.5000	0.4167
15	11.6667	0.3889
16	12.5000	0.4167
17	16.6667	0.5556
18	24.1667	0.8056
19	33.3333	1.1111
20	33.3333	1.1111
21	31.6667	1.0556
22	30.0000	1.0000
23	30.0000	1.0000

Στον παρακάτω πίνακα αναλύεται το 3<sup>ο</sup> Hometype όπου αφορά τον τρίτο τύπο καταναλωτών που είναι οι μικροί καταναλωτές στη περίπτωση μας.

Παράμετροι	Τιμές	Σχόλια - Επεξηγήσεις
Hometype_file_version	1.0	Προετοιμάζει το σύστημα για τη δομή του αρχείου.
Homes	30	Πλήθος σπιτιών μεγάλων καταναλώσεων.
Version_pv	1.1	Με χρήση θερμοκρασιακών συντελεστών μας δίνει την απόδοση του συστήματος.
P_l_vectror_length	24	Μια τιμή ανά ώρα της ημέρας για την παραγωγή από το φωτοβολταϊκό.
P_vector	0 0 0 0 0 0 0 5.339 99.059 232.968 288.357 358.166 376.542 347.902 337.628 236.191 64.652 0 0 0 0 0 0 0	DC έξοδος σε Watts που μας δίνει την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος του φωτοβολταϊκού 3Kw με τη βοήθεια του PV Watts Calculator για μια ημέρα ενός χειμωνιάτικου μήνα.
I_vector	0 0	Χρησιμοποιώντας τη μεταβλητή bypass_P_l=1 έχουμε ενεργοποιήσει την κατάργηση των υπολογισμών φωτεινότητας γι αυτό το διάνυσμα περιέχει 24 μηδενικές τιμές.
S_panel	1.0	Μια ενδεικτική τιμή, δεν χρησιμοποιείται εφόσον έχουμε θέσει τη μεταβλητή bypass_P_l=1.
n_eff_pv	0.95	Η τιμή αυτή μας δείχνει το συντελεστή απόδοσης του φωτοβολταϊκού.
Voltage_op_pv	48	Μας δείχνει την τιμή της τάσης λειτουργίας του φωτοβολταϊκού εκφρασμένη σε Volts.
P_max_pv	3000	Μέγιστη αποδιδόμενη ισχύ του φωτοβολταϊκού σε Watts.
Temp_pv_vector	12 12.4 12 12 11.4 10 11 9.754 7.921 11.965 16.762 13.894 14.49 13.48 11.976 11.398 9.757 10 10 10.6 10 9 9.2 8	Τιμές Θερμοκρασίας του φωτοβολταϊκού 3Kw με τη βοήθεια του PV Watts Calculator για μια ημέρα ενός χειμωνιάτικου μήνα.
Version_dc_load	1.0	Καθορίζει την έκδοση για τον τύπο της συνάρτησης dc_load.
ON/OFF_Load_State	1.0	Ενεργοποιεί το DC φορτίο σε όλες τις οικίες του συγκεκριμένου τύπου καταναλωτών.
Voltage_load_dc	48	Τάση λειτουργίας του DC φορτίου εκφρασμένη σε Volts.
R_load_dc_vector	11.3388 14.7256 19.0248 19.8926 20.9978 20.0332 19.2183 14.9194 11.5702 13.8277 13.8225 13.4985 12.3247 13.1846 11.3388 13.1846 13.1763 10.9026 8.1574 9.5283 8.2765 7.7663 8.0991 9.5283	Υπολογισμένο διάνυσμα αντιστάσεων για τα DC φορτία κάθε οικίας του τύπου μικρών καταναλωτών. Οι τιμές αυτές υπολογίζονται χρησιμοποιώντας την υποσυνάρτηση low_of_dc_load_calc.m που δέχεται ως εισόδους τις τιμές ισχύος που καταναλώνονται επί των DC φορτίων κατά τη διάρκεια του 24ώρου που πραγματοποιείται η προσομοίωση και την τάση λειτουργίας του DC φορτίου .
Version_ac_load	1.0	Καθορίζει την έκδοση για τον τύπο της συνάρτησης ac_load.
ON/OFF_Load_State	1.0	Ενεργοποιεί το AC φορτίο σε όλες τις οικίες



		του συγκεκριμένου τύπου καταναλωτών.
Voltage_load_ac	230	Τάση λειτουργίας του AC φορτίου εκφρασμένη σε Volts.
R_load_ac_vector	247.3216 321.1962 428.0748 447.6006 458.0045 436.9658 375.0646 301.4440 239.0864 285.7366 314.1914 306.8284 280.1472 287.5839 247.3216 287.5839 272.2765 225.2928 164.8185 207.8328 180.5266 174.7475 182.2368 207.8328	Υπολογισμένο διάνυσμα αντιστάσεων για τα AC φορτία κάθε οικίας του τύπου μικρών καταναλωτών. Οι τιμές αυτές υπολογίζονται χρησιμοποιώντας την υποσυνάρτηση low_of_ac_load_calc.m που δέχεται ως εισόδους τις τιμές ισχύος που καταναλίσκονται επί των AC φορτίων κατά τη διάρκεια του 24ώρου που πραγματοποιείται η προσομοίωση, την τάση λειτουργίας του AC φορτίου καθώς και το συντελεστή ισχύος που είναι απαραίτητος για τον υπολογισμό του διανύσματος R_load_ac_vector και παίρνει τιμές από 0.89-0.99.
X_load_ac_vector	81.2907 105.5721 86.9243 90.8892 150.5388 143.6237 232.4442 162.7022 115.7948 138.3885 44.7699 43.7207 39.9188 94.5243 81.2907 94.5243 131.8695 109.1143 88.9596 68.3113 59.3362 35.4840 37.0048 68.3113	Υπολογισμένο διάνυσμα αντιστάσεων για τα AC φορτία κάθε οικίας του τύπου μικρών καταναλωτών. Οι τιμές αυτές υπολογίζονται χρησιμοποιώντας την υποσυνάρτηση low_of_ac_load_calc.m που δέχεται ως εισόδους τις τιμές ισχύος που καταναλίσκονται επί των AC φορτίων κατά τη διάρκεια του 24ώρου που πραγματοποιείται η προσομοίωση, την τάση λειτουργίας του AC φορτίου καθώς και το συντελεστή ισχύος που είναι απαραίτητος για τον υπολογισμό του διανύσματος X_load_ac_vector και παίρνει τιμές από 0.89-0.99.
Version_hems	1.1	Μας δίνει την έκδοση της συνάρτησης hems.m που χρησιμοποιείται από το περιβάλλον προσομοίωσης για τον έλεγχο της ενέργειας στην κάθε οικία. Η έκδοση είναι 1.1 γιατί σε κάθε οικία έχουμε ηλεκτρική ισχύ από φωτοβολταϊκό και από τη μονάδα συμπαραγωγής και αν σε κάθε βήμα προσομοίωσης δεν καλύπτονται τα συνολικά φορτία της οικίας επικοινωνούν στο σύνολό τους με τον διαχειριστή του μικροδικτύου και αν δεν μπορεί να τα καλύψει και από τους συσσωρευτές αγοράζονται από το εξωτερικό δίκτυο.
Time_start	0.0	Χρόνος έναρξης της προσομοίωσης
Time_stop	23.99	Χρόνος λήξης της προσομοίωσης
Time_step	0.1	Βήμα προσομοίωσης
I_calc_version	1.0	Έκδοση για τον υπολογισμό της φωτεινότητας, που όμως δεν χρησιμοποιείται γιατί έχουμε θέσει τη μεταβλητή bypass_P_I=1.
n_hems	0.95	Συντελεστής hems για μετατροπή

		ηλεκτρικής ενέργειας που όταν χρειάζεται ζητάει και όταν περισσεύει δίνει στους συσσωρευτές και κατ'επέκταση στο διαχειριστή του μικροδικτύου.
version_nems	1.0	Ορίζει την έκδοση της συνάρτησης nems.m που χρησιμοποιείται από το περιβάλλον προσομοίωσης.
P_min	0	Ελάχιστη ισχύς διαθέσιμη από το εξωτερικό δίκτυο.
P_max	0	Μέγιστη ισχύς διαθέσιμη από το εξωτερικό δίκτυο.
n_nems	0.88	Συντελεστής μετατροπής ισχύς στο επίπεδο του διαχειριστή του μικροδικτύου.
Soc_Init	0.60	Αρχικό επίπεδο φόρτισης των συσσωρευτών.
version_batt	1.1	Η μεταβλητή ορίζει την έκδοση της συνάρτησης battery.m που χρησιμοποιείται από το περιβάλλον προσομοίωσης.
Voltage_chg	48	Τάση διεπαφής φόρτισης της μπαταρίας.
Voltage_cons	200	Τάση διεπαφής κατανάλωσης της μπαταρίας.
n_chg	0.85	Συντελεστής φόρτισης της μπαταρίας.
Q_max	50000000	Μέγιστο φορτίο των συσσωρευτών σε Coulombs.
version_chp	1.0	Ορίζει την έκδοση που χρησιμοποιείται για τις συναρτήσεις chp_unit.m και chp_electricity_unit.m από το περιβάλλον προσομοίωσης σε κάθε βήμα προσομοίωσης.
ON_chp	1.0	Ενεργοποιεί το θερμικό φορτίο σε όλες τις οικίες του συγκεκριμένου τύπου καταναλωτών.
use_chp_ac_prov	'n' or 'y'	Όταν η μεταβλητή έχει τιμή 'n' καλείται μόνο η συνάρτηση chp_unit.m από το περιβάλλον προσομοίωσης που σημαίνει ότι και τα 3 chp που έχουμε υλοποιήσει χρησιμοποιούνται μόνο για την κάλυψη του θερμικού φορτίου βάσης. Όταν η μεταβλητή έχει τιμή 'y' καλείται μόνο η συνάρτηση chp_electricity_unit.m από το περιβάλλον προσομοίωσης που σημαίνει ότι και τα 3 chp που έχουμε υλοποιήσει χρησιμοποιούνται μόνο για την κάλυψη του ηλεκτρικού φορτίου βάσης.
n_chp_lo	0.9	Συντελεστής παραγωγής για το μικρό τύπου chp.
hpr_lo	2.333	Λόγος ονομαστικής θερμικής με ονομαστική ηλεκτρική ισχύ για το μικρό τύπου chp. Το κατάλληλο chp προέκυψε από διαστασιολόγηση με βάση την ετήσια καμπύλη διάρκειας θερμικού φορτίου για το μικρό τύπο καταναλώσεων.

type_chp_lo	28	Ονομαστική θερμική ισχύ (Kw) που δίνει ο κατασκευαστής για το συγκεκριμένο chp, που επιλέξαμε ύστερα από διαστασιολόγηση.
type_chp_el_lo	12	Ονομαστική ηλεκτρική ισχύ (Kw) που δίνει ο κατασκευαστής για το συγκεκριμένο chp, που επιλέξαμε ύστερα από διαστασιολόγηση.
thermal_load	1.1944 1.1111 1.1389 1.1389 1.1667 1.1944 1.2778 1.1389 1.2500 1.2500 0.8611 0.5833 0.5000 0.5278 0.4167 0.3889 0.4167 0.5556 0.8056 1.1111 1.1111 1.0556 1.0000 1.0000	Οριαίο θερμικό φορτίο για θέρμανση χώρων και ζεστό νερό χρήσης σε Kw, ανά οικία για το μικρό τύπο καταναλώσεων.
Month	1	Η μεταβλητή αυτή μας δείχνει το μήνα που γίνεται η προσομοίωση και τη χρησιμοποιούμε για το διαχωρισμό του θερμικού φορτίου σε ανάγκες θέρμανσης και ανάγκες για ζεστό νερό χρήσης.
inspect_module	61-90	Επιλέγοντας έναν αριθμό σ' αυτό το διάστημα που αντιστοιχεί σε οικία του μικρού τύπου καταναλώσεων παίρνουμε τα γραφήματα από το περιβάλλον προσομοίωσης, που μας δείχνουν τις παραγωγές και τις καταναλώσεις που έχει η κάθε οικία.
inspect_hometype	3	Η μεταβλητή αυτή μας δείχνει τον τύπο μικρών καταναλώσεων.
heat_load	$0.89 * \text{thermal\_load}$	24 διαφορετικές τιμές σε Kw που χωρίζουν το θερμικό φορτίο κάθε οικίας σε ανάγκες θέρμανσης.
hot_water_load	$0.11 * \text{thermal\_load}$	24 διαφορετικές τιμές σε Kw που χωρίζουν το θερμικό φορτίο κάθε οικίας σε ανάγκες για ζεστό νερό χρήσης.
ascending_mode	1	Με τιμή '1' οι συνολικές θερμικές ανάγκες καλύπτονται από το μικρότερο chp προς το μεγαλύτερο.

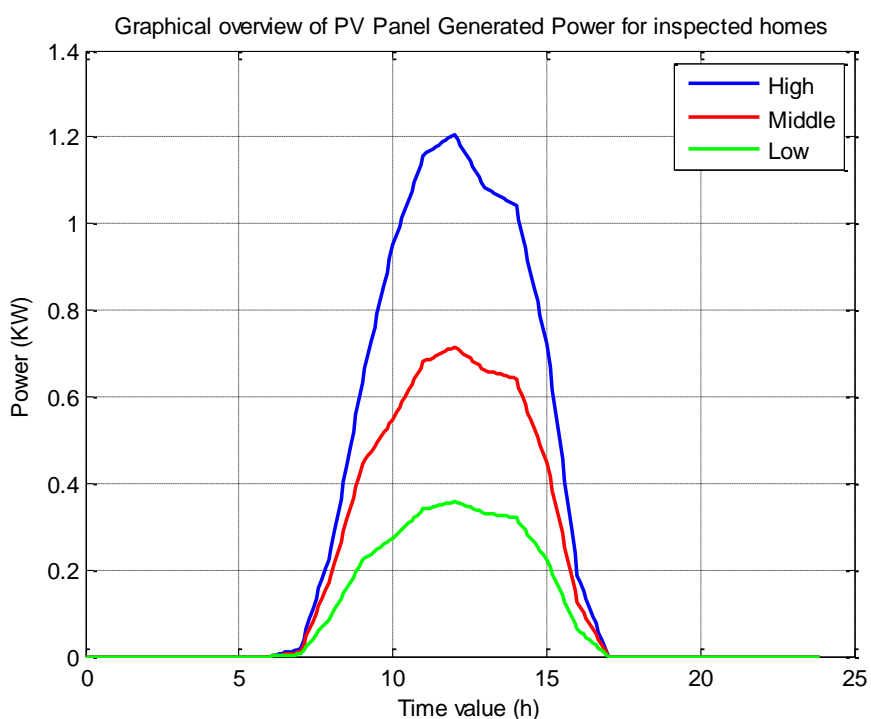
### 7.2.2 Στόχος Σεναρίου Προσομοίωσης Θερμικής Λειτουργίας ΣΗΘ

Ο στόχος του συγκεκριμένου σεναρίου είναι η κάλυψη ηλεκτρικών και θερμικών αναγκών 30 οικιών τριών διαφορετικών τύπων, δηλαδή 90 οικιών, οι οποίες μετέχουν στη δομή ενός μικροδικτύου με χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων, μονάδων συμπαραγωγής ύστερα από κατάλληλη διαστασιολόγηση και λέβητα (boiler). Λόγω της χαμηλής παραγωγής των ΦΒ κατά την διάρκεια της χειμωνιάτικης ημέρας σε συνδυασμό με τις αυξημένες ηλεκτρικές απαιτήσεις της κατανάλωσης, αναμένουμε αυξημένη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας από το μικροδίκτυο, η οποία θα πρέπει να καλυφθεί κατά ένα μέρος από την υπάρχουσα ισχύ των συσσωρευτών, την προσφερόμενη ηλεκτρική ισχύ από τα Φ/Β και περισσότερο από την επιπλέον ισχύ που προκύπτει

από την θερμική λειτουργία των μονάδων CHPs. Τα θερμικά φορτία αναμένεται να καλυφθούν κατά ένα σημαντικό μέρος από τις μονάδες των CHPs ενώ οποιοδήποτε πλεόνασμα ζητηθεί που δεν μπορεί να καλυφθεί από τις μονάδες συμπαραγωγής θα καλυφθεί από την χρήση εξωτερικού θερμαντήρα (boiler).

### 7.2.3 Αποτελέσματα Σεναρίου Προσομοίωσης Θερμικής Λειτουργίας ΣΗΘ

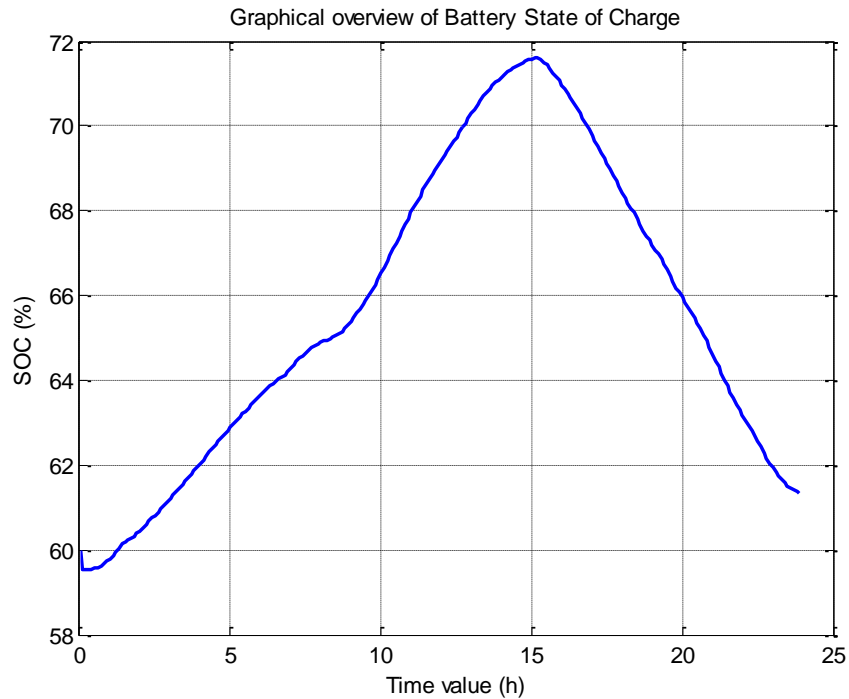
Τα αποτελέσματα από το σενάριο προσομοίωσης που πραγματοποιήσαμε για χειμερινό μήνα με χαμηλή παραγωγή από τα φωτοβολταϊκά σε συνδυασμό με αυξημένα φορτία κατανάλωσης και αυξημένες θερμικές ανάγκες απεικονίζονται στα παρακάτω γραφήματα. Είναι αναγκαίο να γίνει γνωστό ότι έχουμε τρεις διαφορετικούς τύπους καταναλωτών με τρεις διαφορετικές καταναλώσεις (ηλεκτρικές και θερμικές) και με φωτοβολταϊκά που έχουν εγκατεστημένη ισχύ 10Kw για τη μεγάλη κατηγορία, 6Kw για τη μεσαία και 3Kw για τη μικρή κατηγορία.



**Σχήμα7.1:**Γράφημα για την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος από 3 είδη Φ/Β για ένα σπίτι κάθε κατηγορίας

Από το διάγραμμα παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος που ανήκει σε μία από τους τρεις διαφορετικούς τύπους οικιών του μικροδικτύου, παρατηρούμε ότι εμφανίζεται μία μονότονη αυξητική συμπεριφορά στα παραγόμενα ποσά ενέργειας καθώς διερχόμαστε από τις πρωινές ώρες της ημέρας προς την διάρκεια των μεσημβρινών ωρών. Οι μέγιστες τιμές στην παραγωγή ισχύος που εμφανίζονται στο παραπάνω διάγραμμα ανέρχονται σε τιμή 1.2 kW, 0.75 kW 0.37 kW για φωτοβολταϊκά με εγκατεστημένη ισχύ 10 kW, 6 kW και 3 kW αντίστοιχα, οι οποίες είναι μικρότερες και συνηφασμένες με τα χαμηλότερα επίπεδα παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος που χαρακτηρίζει και τον τύπο του συγκεκριμένου σεναρίου προσομοίωσης. Στην συνέχεια καθώς απομακρυνόμαστε από το μέγιστο των μεσημβρινών ωρών, το σύστημα παραγωγής εμφανίζει μία

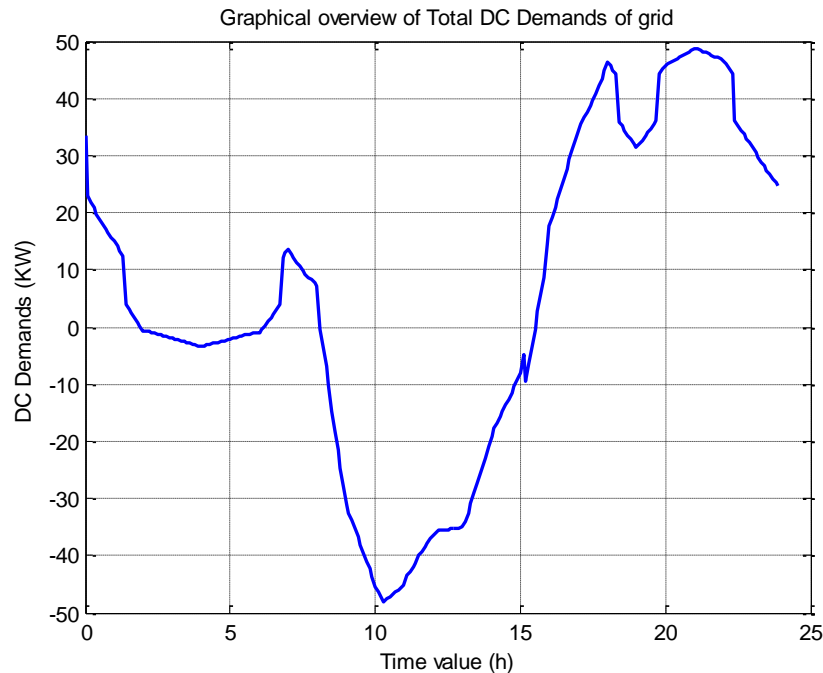
μονοτονικά φθίνουσα συμπεριφορά, η οποία δικαιολογείται από την φάση δύσεως του ηλίου για το γεωγραφικό πλάτος της πόλης των Αθηνών, όπου θεωρούμε ότι είναι εγκατεστημένο το μικροδίκτυο παραγωγής. Οι ελάχιστες τιμές παραγωγής ισχύος καταλήγουν στο μηδέν μετά τις μεσημβρινές ώρες. Η συμπεριφορά του διαγράμματος παραγωγής ισχύος είναι κατά προσέγγιση μία θετική ημιπερίοδος ημιτόνου με καθαρή περιοδική συμπεριφορά στην περίπτωση που θα χρειαζόταν να εξαχθεί μία μαθηματική φόρμουλα περιγραφής της εν λόγω ισχύος. Θα πρέπει να ληφθεί επίσης υπόψη ότι το διάγραμμα παραγόμενης ισχύος αφορά ενδεικτικά σε ένα από τρία διαφορετικά είδη ΦΒ πάνελ για μία από τους τρεις διαφορετικούς τύπους οικιών του μικροδικτύου.



**Σχήμα 7.2:** Γράφημα για την κατάσταση φόρτισης (SOC) των συσσωρευτών του μικροδικτύου

Από το διάγραμμα φόρτισης των συσσωρευτών του μικροδικτύου παρατηρούμε ότι κατά τη χρονική εκτέλεση του σεναρίου το σύστημα εκκινεί με τιμή ποσοστού φόρτισης 60%. Αρχικά και για πολύ μικρό χρονικό διάστημα το σύστημα αποδίδει ενέργεια από τους συσσωρευτές για την κάλυψη των αναγκών ισχύος όλων των οικιών του μικροδικτύου μέχρι οι μονάδες συμπαραγωγής να αρχίσουν να καλύπτουν τις θερμικές απαιτήσεις όλων των οικιών και να αποδώσουν την ηλεκτρική ισχύ στις οικίες του μικροδικτύου. Λόγω του ότι έχουμε αυξημένες θερμικές ανάγκες που χαρακτηρίζουν το συγκεκριμένο σενάριο προσομοίωσης, έχουμε μεγάλη παροχή ηλεκτρικής ισχύος από τις μονάδες συμπαραγωγής, μέρος αυτής διοχετεύεται για την φόρτιση των συσσωρευτών με αποτέλεσμα να παρατηρούμε αύξηση του επιπέδου φόρτισης παρά το γεγονός ότι τα φωτοβολταϊκά συστήματα δεν έχουν ακόμα τεθεί σε φάση παραγωγής. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την συνεχή αύξηση των επιπέδων φόρτισης των συσσωρευτών η οποία συνεχίζεται επίσης ομαλά και μονοτονικά κατά τη φάση ενεργοποίησης των φωτοβολταϊκών συστημάτων μετά τις 7 π.μ. Η αύξηση του επιπέδου φόρτισης των συσσωρευτών μεγιστοποιείται κατά τις 3 μ.μ όπου πετυχαίνει τη μέγιστη τιμή των 71.7% που είναι όμως χαμηλότερη από τα μέγιστα επιτρεπτά όρια φόρτισης των 90% σύμφωνα με τα περιθώρια ασφαλείας που προβλέπονται για τους

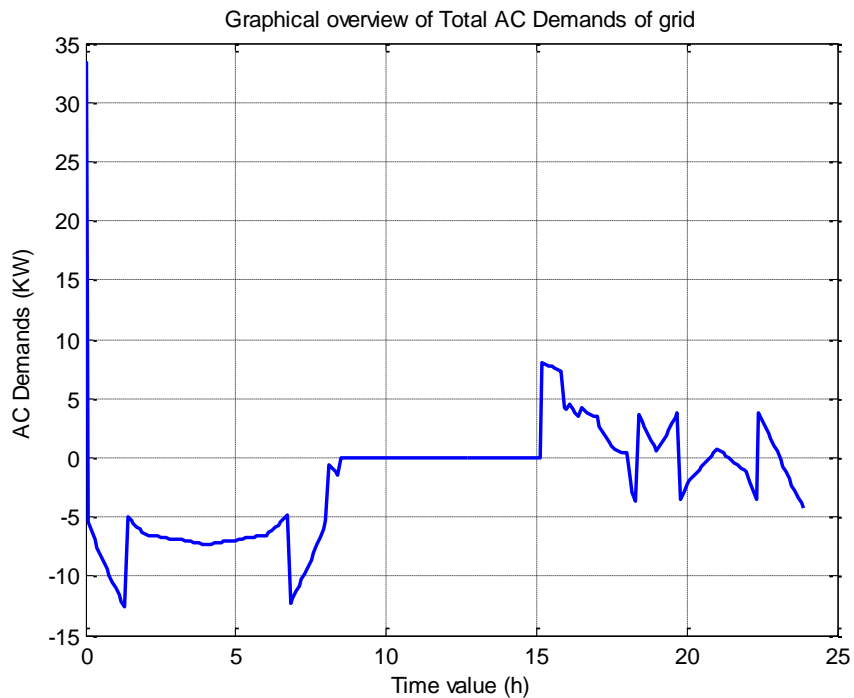
συσσωρευτές. Μετά τις μεσημβρινές ώρες ξεκινά η διαδικασία αποφόρτισης των συσσωρευτών καθώς η παρεχόμενη ισχύ από τα φωτοβολταϊκά δεν επαρκεί για να διατηρήσει τα επίπεδα φόρτισης των συσσωρευτών αφού τα επίπεδα της ηλιακής φωτεινότητας έχουν αρχίσει να μειώνονται (καθώς το σενάριο πραγματοποιείται για χειμωνιάτικη ημέρα) και κατά κύριο η παραγόμενη ηλεκτρική ισχύ από τη θερμική λειτουργία των μονάδων συμπαραγωγής διατίθεται για την κάλυψη των φορτίων του συστήματος. Η διαδικασία εκφόρτισης διαρκεί σε όλη την υπόλοιπη διάρκεια του σεναρίου όπου τα επίπεδα φόρτισης των συσσωρευτών καταλήγουν σε ποσοστό 61.6%, το οποίο είναι ικανό για την διασφάλιση ευσταθούς λειτουργίας του μικροδικτύου.



**Σχήμα7.3:** Γράφημα συνολικών απαιτήσεων DC όλων των οικιών του μικροδικτύου

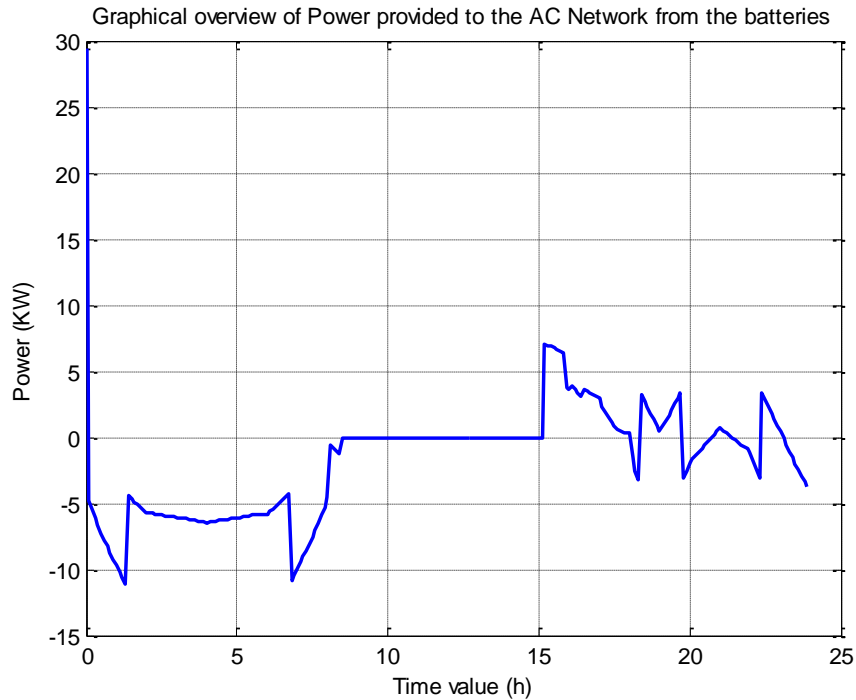
Από το διάγραμμα των DC απαιτήσεων φορτίου παρατηρούμε ότι αρχικά έχουμε απαιτήσεις στο μικροδίκτυο που ανέρχονται σε επίπεδα μεγαλύτερα των 20 KW διότι τα φωτοβολταϊκά δεν παράγουν ενέργεια εκείνες τις ώρες. Από την άλλη έχουμε αυξημένες θερμικές ανάγκες καθώς το σενάριο προσομοίωσης πραγματοποιείται για χειμωνιάτικη ημέρα κάνοντας έτσι τις μονάδες συμπαραγωγής (και το boiler αν χρειάζεται) να δουλεύουν για να τις καλύψουν. Οι μονάδες συμπαραγωγής παρέχουν μια θερμική ισχύ η οποία μέσω του λόγω μετατροπής (HPR) μετατρέπεται σε ηλεκτρική ισχύ η οποία καλύπτει στην προκειμένη περίπτωση και τις DC ανάγκες του μικροδικτύου. Στη συνέχεια ενεργοποιούνται τα φωτοβολταϊκά συστήματα και παρατηρούμε ότι τα επίπεδα απαίτησης ισχύος για την κάλυψη των DC φορτίων μειώνονται και καταλήγουν σε αρνητικές απαιτήσεις από τις 9 π.μ. μέχρι λίγο μετά τις 3μ.μ. Αυτό συμβαίνει γιατί παράγεται ισχύς από τα φωτοβολταϊκά που καλύπτει τα DC φορτία και η επιπλέον ισχύς οδηγεί στη διαδικασία φόρτισης των συσσωρευτών του μικροδικτύου (και ηλεκτρική ισχύ από τη λειτουργία των μονάδων συμπαραγωγής). Στη συνέχεια κατά την πορεία της φάσης προσομοίωσης μετά τις μεσημβρινές ώρες και κατά τις νυχτερινές ώρες τα φωτοβολταϊκά δεν παράγουν ισχύ και η κάλυψη των DC φορτίων γίνεται με παροχή ενέργειας από τους συσσωρευτές (πορεία εκφόρτισης

των συσσωρευτών του μικροδικτύου) και από την παρεχόμενη ηλεκτρική ισχύ από τις μονάδες συμπαραγωγής.



**Σχήμα 7.4:** Γράφημα συνολικών απαιτήσεων AC όλων των οικιών του μικροδικτύου

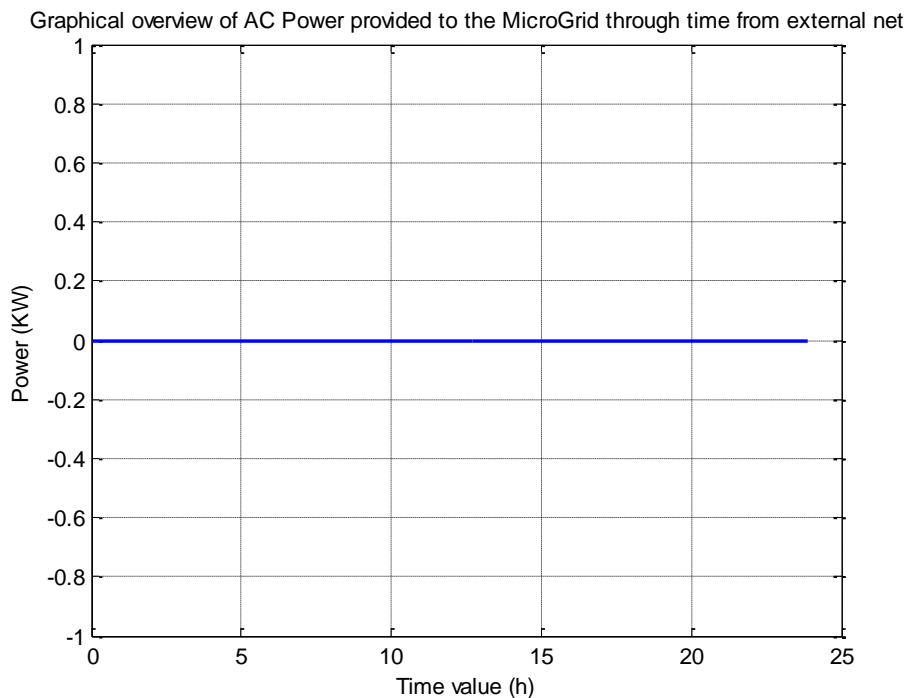
Από το παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε τη χρονική εξέλιξη των απαιτήσεων για την κάλυψη των AC φορτίων του μικροδικτύου. Εδώ θα πρέπει να γίνει γνωστό ότι οι απαιτήσεις που βλέπουμε έχουν αυτές τις τιμές γιατί στον κώδικα που έχουμε υλοποιήσει στο Matlab σε κάθε βήμα προσομοίωσης υπολογίζουμε τις θερμικές ανάγκες που καλύπτονται από τη λειτουργία των μονάδων συμπαραγωγής και μέσω του λόγου μετατροπής (HPR) παίρνουμε μια ηλεκτρική ισχύ την οποία μοιράζουμε στις οικίες του μικροδικτύου για να καλύψουν τις AC ανάγκες τους. Και σ' αυτές τιμές έχει αφαιρεθεί η ηλεκτρική ισχύ που παρέχεται από τις μονάδες συμπαραγωγής. Εφόσον το συγκεκριμένο σενάριο πραγματοποιείται για χειμωνιάτικη ημέρα όπου οι θερμικές ανάγκες είναι αυξημένες βλέπουμε ότι υπάρχει έλλειμα από την κάλυψη των AC φορτίων του μικροδικτύου και πηγαίνει για φόρτιση της κατάστασης των συσσωρευτών. Από τις 9 π.μ έως λίγο μετά τις 3 μ.μ όπου οι θερμικές ανάγκες είναι λιγότερες (λόγω του ότι είναι ημέρα και κάποιος μπορεί να λείπουν από τις οικίες τους) με σκοπό να έχουμε λιγότερη ηλεκτρική από τη λειτουργία των μονάδων συμπαραγωγής είναι αναγκαία μόνο για να καλύψει τα AC φορτία του μικροδικτύου και δεν περισσεύει, όμως έχουν αρχίσει να συνεισφέρουν και τα φωτοβολταϊκά. Μετά τις μεσημβρινές ώρες όταν έχουμε απαίτηση για κάλυψη των AC φορτίων του μικροδικτύου καλύπτονται από τους συσσωρευτές και όταν έχουμε έλλειμα καλύπτονται οι DC ανάγκες αν υπάρχουν, αλλιώς καταλήγουν στους συσσωρευτές.



**Σχήμα 7.5:** Γράφημα της ισχύος που αποδίδεται από τους συσσωρευτές για τις AC ανάγκες

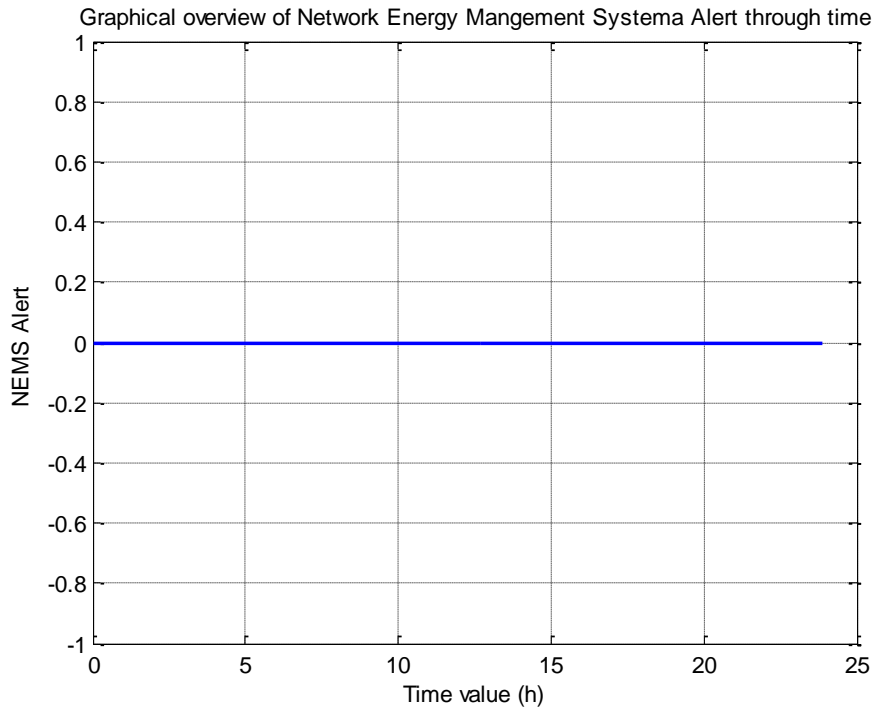
Από το διάγραμμα παρατηρούμε την προσφορά ισχύος που αποδίδεται για τις ανάγκες AC από τους συσσωρευτές του μικροδικτύου κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης. Μέχρι να αρχίσουν τα φωτοβολταϊκά συστήματα να λειτουργούν παρέχεται ισχύς για την φόρτιση της κατάστασης των συσσωρευτών η οποία παράγεται από τη λειτουργία των μονάδων συμπαραγωγής και εφόσον έχουν καλυφθεί οι AC ανάγκες του μικροδικτύου. Η παροχή ισχύος προς τους συσσωρευτές μειώνεται από τις 7π.μ, όπου αρχίζουν να ενεργοποιούνται τα φωτοβολταϊκά συστήματα, και μηδενίζεται από τις 9 π.μ μέχρι περίπου τις 3μ.μ γιατί τα φωτοβολταϊκά αποδίδουν ενέργεια προς τους συσσωρευτές που επαληθεύεται και από τα επίπεδα φόρτισης των συσσωρευτών στο ίδιο χρονικό διάστημα. Μετά τις μεσημβρινές ώρες οι συσσωρευτές παρέχουν ισχύ για κάλυψη των AC φορτίων όταν απαιτείται και δέχονται όταν περισσεύει ηλεκτρική ισχύ από τη λειτουργία των μονάδων συμπαραγωγής μιας και έχουν καλυφθεί οι απαιτήσεις των AC φορτίων του μικροδικτύου. Συμπερασματικά, το διάγραμμα εντοπίζει τις χρονικές περιόδους εκφόρτισης των συσσωρευτών δείχνοντας τα επίπεδα της παρεχόμενης ισχύος των συσσωρευτών για την κάλυψη των AC αναγκών του μικροδικτύου.





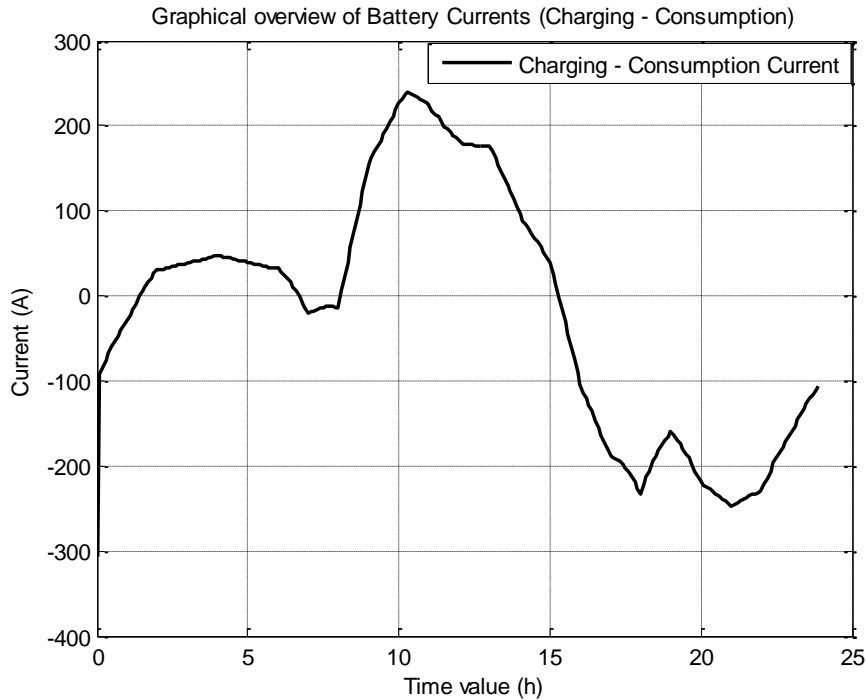
**Σχήμα 7.6:** Γράφημα της AC ισχύος που αποδίδεται στο μικροδίκτυο από το εξωτερικό δίκτυο

Το παραπάνω διάγραμμα δείχνει τη συνολική προσφορά ισχύος από το εξωτερικό δίκτυο προς συνολικά το μικροδίκτυο για την κάλυψη των AC και DC φορτίων του μικροδικτύου. Παρατηρούμε ότι το εξωτερικό δίκτυο δεν παρέχει καθόλου ισχύ καθόλη τη διάρκεια της προσομοίωσης για το συγκεκριμένο σενάριο. Το σενάριο έχει πραγματοποιηθεί για χειμωνιάτικη ημέρα με αυξημένες θερμικές ανάγκες που σημαίνει ότι οι μονάδες συμπαραγωγής δουλεύουν κοντά στις ονομαστικές τους τιμές για να καλύψουν τις θερμικές απαιτήσεις των οικιών του μικροδικτύου και μέσω του λόγω μετατροπής (HPR) έχουμε την αντίστοιχη ηλεκτρική ισχύ η οποία σε συνδυασμό με φωτοβολταϊκά και την ενέργεια από τους συσσωρευτές μας καλύπτουν τα DC και AC φορτία όλων των οικιών του μικροδικτύου και γι' αυτό δεν χρειάζεται να αγοράσουμε AC ισχύ από το εξωτερικό δίκτυο. Αυτό μπορεί να επαληθευτεί και από το διάγραμμα της λειτουργίας του διαχειριστή δεδομένου ότι δεν παρουσιάζονται σήματα συναγερμού (άρα και ζήτησης ισχύος από το εξωτερικό δίκτυο).



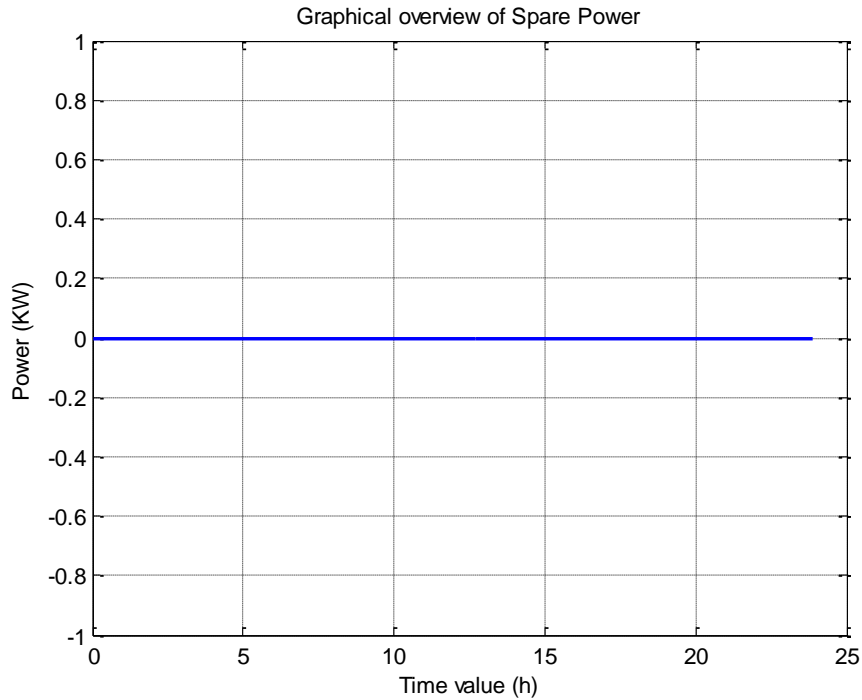
**Σχήμα7.7:** Γράφημα απεικόνισης σημάτων συναγερμού από τον διαχειριστή του μικροδικτύου

Από το παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε τα σήματα συναγερμού όπως έχουν οριστεί από την οντότητα του διαχειριστή του μικροδικτύου. Βλέπουμε ότι δεν ενεργοποιούνται σήματα συναγερμού σε όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης του συγκεκριμένου σεναρίου διότι τα επίπεδα της κατάστασης φόρτισης των συσσωρευτών δεν είναι μικρότερα από 50% αλλά ούτε και μεγαλύτερα από 95%.



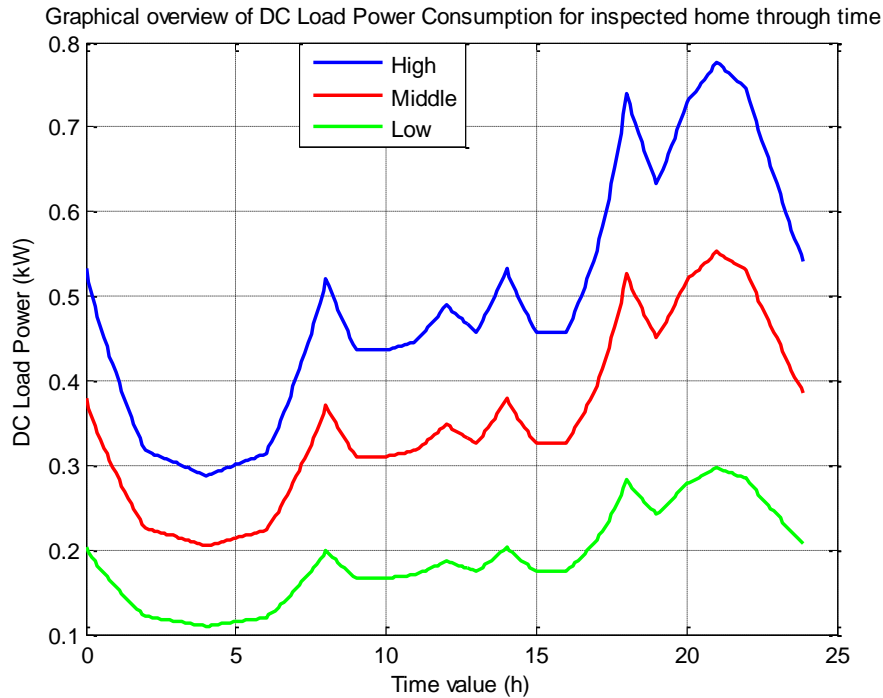
**Σχήμα7.8:** Γράφημα ρεύματος φόρτισης και εκφόρτισης των συσσωρευτών του μικροδικτύου

Το παραπάνω διάγραμμα παρουσιάζει τη χρονική εξέλιξη του ρεύματος φόρτισης και εκφόρτισης των συσσωρευτών του συστήματος. Παρατηρούμε ότι μέχρι τις 7π.μ ώρα που ξεκινούν τα φωτοβολταϊκά να παράγουν ισχύ οι μονάδες συμπαραγωγής λόγω των αυξημένων θερμικών αναγκών του συγκεκριμένου σεναρίου βοηθούν στη φόρτιση των συσσωρευτών όταν έχουν καλύψει τις ανάγκες των οικιών του μικροδικτύου, και όταν δεν έχουν καλύψει παίρνουν ενέργεια από τους συσσωρευτές για πολύ μικρό χρονικό διάστημα. Μετά τις 7π.μ οι συσσωρευτές ξεκινούν να φορτίζονται και αυτό συνεχίζεται λίγο μετά τις 3μ.μ, διότι έχει ξεκινήσει η λειτουργία των φωτοβολταϊκών. Μετά τις μεσημβρινές ώρες βλέπουμε ότι τα ρεύματα φόρτισης είναι αρνητικά που σημαίνει ότι εκφορτίζονται οι συσσωρευτές του μικροδικτύου για να καλύψουν τις ανάγκες των οικιών του μικροδικτύου μαζί με την ηλεκτρική ισχύ από τις μονάδες συμπαραγωγής, δεδομένου ότι τα φωτοβολταϊκά αυτές τις ώρες έχουν σταματήσει να παράγουν ενέργεια. Αυτό φαίνεται και από τα προηγούμενα διαγράμματα που απεικονίζουν την κατάσταση των συσσωρευτών, την παραγωγή των φωτοβολταϊκών και την παροχή ισχύος για την κάλυψη των AC αναγκών (AC δίκτυο) που προέρχεται από τις μπαταρίες.



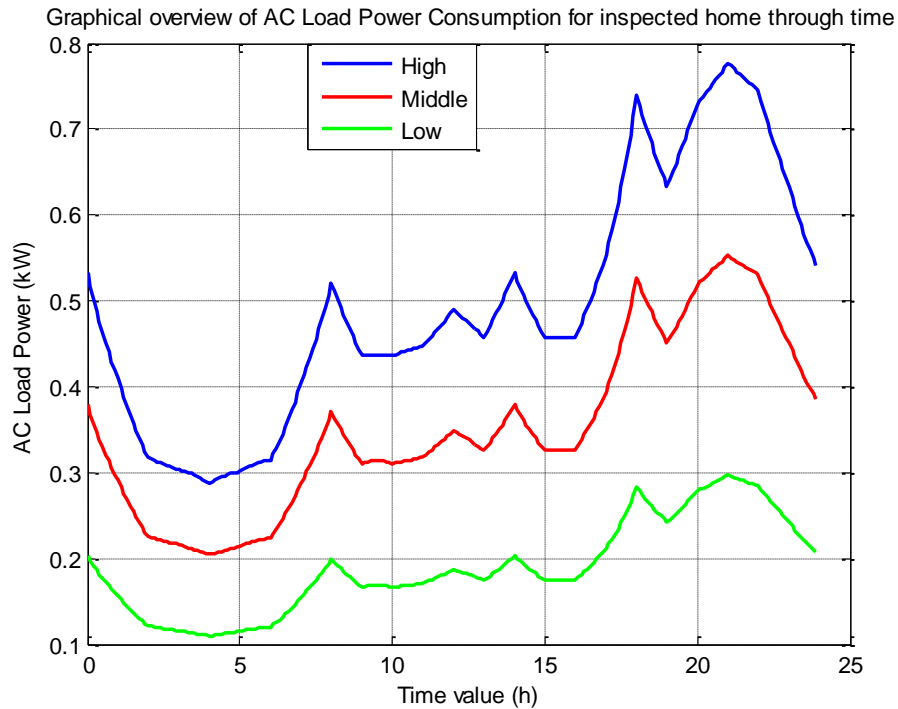
**Σχήμα 7.9:** Γράφημα πλεονάζουσας ισχύος του μικροδικτύου

Από το παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε ότι το μικροδίκτυο δεν εμφανίζει πλεονάζουσα ισχύς καθόλη τη διάρκεια της προσομοίωσης για το συγκεκριμένο σενάριο. Αυτό έχει επιτευχθεί στο συγκεκριμένο σενάριο γιατί οι μονάδες συμπαραγωγής παρέχουν μεγάλη ισχύ και μαζί με την παραγωγή από τα φωτοβολταϊκά συστήματα (που δεν είναι μεγάλη γιατί το σενάριο έχει ημέρα χαμηλής παραγωγής από PV) καλύπτουν τις ανάγκες του μικροδικτύου και κατόπιν φορτίζουν τους συσσωρευτές μέχρι ένα περιθώριο ασφαλείας που έχουμε ορίσει το 90%. Αν ξεπεράσει η κατάσταση φόρτισης των συσσωρευτών το 90% τότε έχουμε πλεονάζουσα ισχύ. Από το διάγραμμα της κατάστασης των συσσωρευτών του μικροδικτύου παρατηρούμε ότι το επίπεδο φόρτισης των συσσωρευτών δεν φτάνει αυτό το ποσοστό γι' αυτό και δεν έχουμε περίσσεια ισχύος. Από την άλλη πλευρά αν είχαμε επιλέξει για τα επίπεδα εξωτερικής παροχής ισχύος  $P_{min}$  και  $P_{max}$  μη μηδενικές τιμές τότε θα είχαμε πλεονάζουσα ισχύ αλλά επιλέξαμε αυτές τις τιμές ώστε να μην υπάρχει απώλεια ή σπατάλη της εξωτερικά και εσωτερικά παρεχόμενης ισχύος στο μικροδίκτυο.



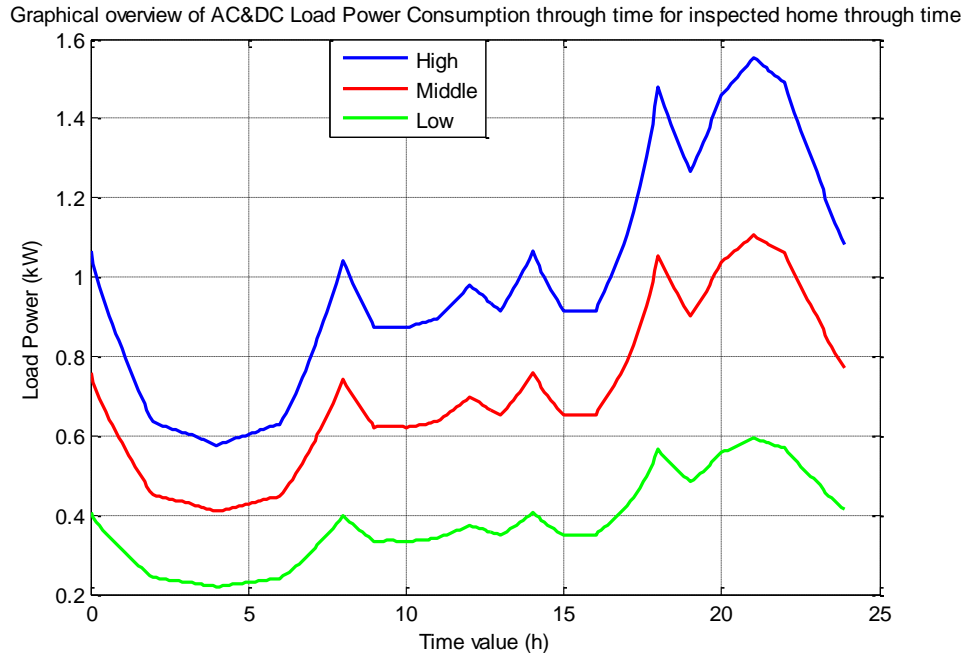
**Σχήμα 7.10:** Γράφημα των DC φορτίων κατανάλωσης για μια οικία κάθε κατηγορίας

Το παραπάνω διάγραμμα παρουσιάζει τις καταναλώσεις των DC φορτίων για κάθε οικία από τις τρεις διαφορετικές κατηγορίες. Η απαιτούμενη ισχύς για την κάλυψη των DC αναγκών καθόλη τη διάρκεια του σεναρίου προσομοίωσης δεν είναι μονοτονική και εμφανίζει διακυμάνσεις διότι οι ηλεκτρικές καταναλώσεις των φορτίων είναι ρεαλιστικές τιμές που έχουν παρθεί από το ΔΕΔΔΗΕ και για την κατανομή τους σε κάθε ώρα της ημέρας χρησιμοποιήθηκε ένα άρθρο της ΚΑΠΕ, συνοψίζοντας το προφίλ ζήτησης ισχύος για τις ανάγκες των DC φορτίων την ημέρα του συγκεκριμένου σεναρίου προσομοίωσης. Οι αιχμές των ηλεκτρικών καταναλώσεων παρουσιάζονται στις 9μ.μ έως 10 μ.μ με κατανάλωση 776W, 552W και 296W αντίστοιχα για μια οικία μεγάλων, μεσαίων και μικρών καταναλωτών. Σε όλα τα υπόλοιπα σενάρια προσομοίωσης όπως και στο συγκεκριμένο, η οικιακή συνεχής τάση λειτουργίας ισούται με 48 V και για τους τρεις τύπους καταναλώσεων. Μπορούμε έτσι να υπολογίσουμε και τα DC ρεύματα για μια οικία κάθε κατηγορίας. Τέλος, αξίζει να αναφερθεί ότι οι καταναλώσεις των DC φορτίων είναι αντίστροφες των τιμών των DC αντιστάσεων ανά κατηγορία καταναλώσεων.



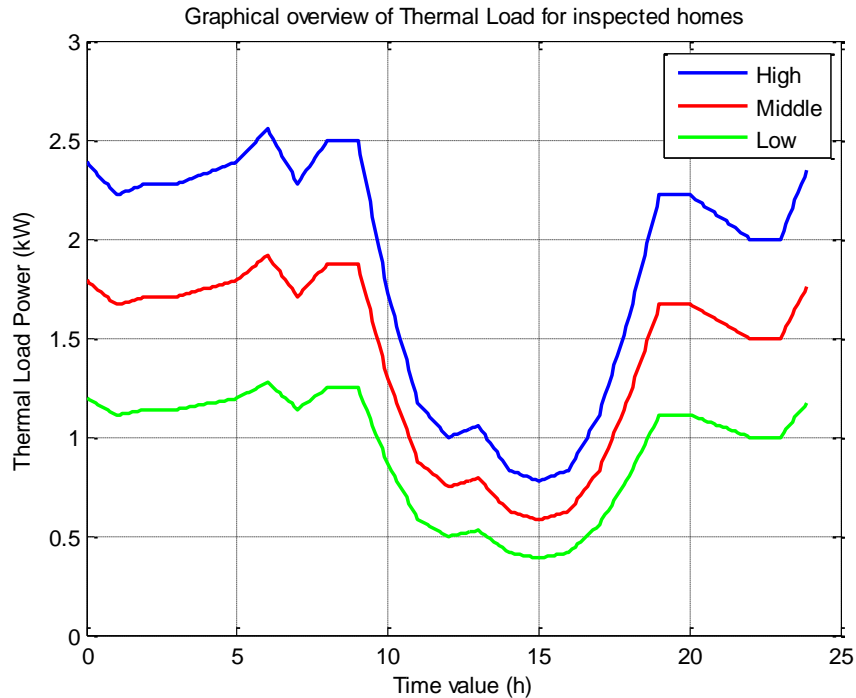
**Σχήμα 7.11:** Γράφημα των AC φορτίων κατανάλωσης για μια οικία κάθε κατηγορίας

Το παραπάνω διάγραμμα παρουσιάζει τις καταναλώσεις των AC φορτίων για κάθε οικία από τις τρεις διαφορετικές κατηγορίες. Η απαιτούμενη ισχύς για την κάλυψη των AC αναγκών καθόλη τη διάρκεια του σεναρίου προσομοίωσης δεν είναι μονοτονική και εμφανίζει διακυμάνσεις διότι οι ηλεκτρικές καταναλώσεις των φορτίων είναι ρεαλιστικές τιμές που έχουν παρθεί από το ΔΕΔΔΗΕ και για την κατανομή τους σε κάθε ώρα της ημέρας χρησιμοποιήθηκε ένα άρθρο της ΚΑΠΕ, συνοψίζοντας το προφίλ ζήτησης ισχύος για τις ανάγκες των AC φορτίων την ημέρα του συγκεκριμένου σεναρίου προσομοίωσης. Σε όλα τα υπόλοιπα σενάρια προσομοίωσης όπως και στο συγκεκριμένο, η τάση λειτουργίας ισούται με 230 V(rms) για το AC δίκτυο και για τους τρεις τύπους καταναλώσεων. Μπορούμε έτσι να υπολογίσουμε και τα AC ρεύματα για την κάθε οικία των τριών διαφορετικών καταναλώσεων. Παρατηρούμε ότι οι AC απαιτήσεις των φορτίων είναι σχετικά υψηλές τις πρώτες πρωινές ώρες και αρχίζουν να αυξομειώνονται κατά τη διάρκεια της ημέρας και για τρεις διαφορετικούς τύπους καταναλώσεων. Τις απογευματινές ώρες παίρνουν υψηλότερες τιμές και καταλήγουν για τις βραδινές ώρες προσομοίωσης της λειτουργίας για το μοντέλο της κάθε οικίας των τριών διαφορετικών τύπων σε σχετικά υψηλά επίπεδα της τάξης των 600W ανά οικία για το μεγάλο τύπο, 400W ανά οικία για το μεσαίο τύπο και 200W ανά οικία για το μικρό τύπο καταναλώσεων.



**Σχήμα 7.12:** Γράφημα συνολικών φορτίων κατανάλωσης AC και DC για μια οικία κάθε κατηγορίας

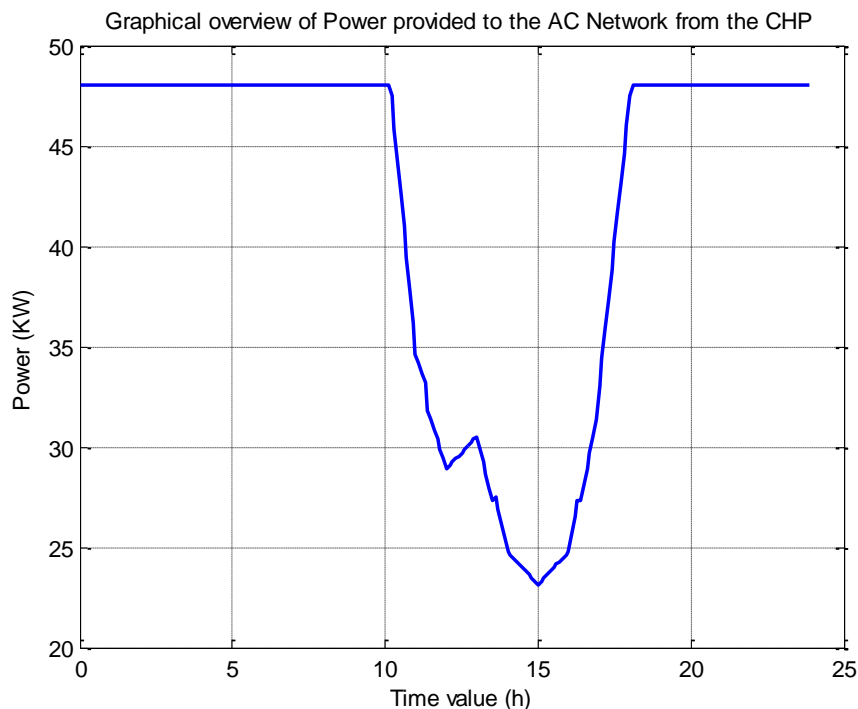
Το παραπάνω διάγραμμα μας παρουσιάζει γραφικά καθόλη τη διάρκεια της προσομοίωσης για το μικροδίκτυο τις συνολικές απαιτήσεις των φορτίων AC και DC σε μια οικία από τις τρεις κατηγορίες καταναλώσεων, όπως αυτές μεταβάλλονται σε διάφορες χρονικές φάσεις. Παρατηρούμε ότι τα επιβαλλόμενα σενάρια προσομοίωσης είναι αρκετά ρεαλιστικά μεταβάλλοντας τις απαιτήσεις συνολικών φορτίων. Είναι φανερό ότι η ελάχιστη κατανάλωση παρουσιάζεται κατά τη διάρκεια της νύχτας από τις 12:00 έως τις 6 το πρωί. Στη συνέχεια η κατανάλωση αυξάνεται συνεχώς μέχρι τις 8:00 το πρωί, όπου και παρουσιάζεται μια πρώτη αιχμή στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία σχετίζεται με τις πρωινές δραστηριότητες των ανθρώπων πριν την αποχώρησή τους για τη δουλειά τους. Τις επόμενες ώρες η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας παρουσιάζει μια μικρή μείωση και σχεδόν σταθεροποιείται καταλήγοντας γύρω στις 2:00 - 3:00 το μεσημέρι σε μια δεύτερη αιχμή. Επίσης, η μέγιστη κατανάλωση εμφανίζεται κατά τη διάρκεια του απογεύματος μέχρι και τις 11:00 το βράδυ. Τέλος, ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι κατά τις νυκτερινές από τις 12:00 το βράδυ έως τις 6:00 το πρωί υπάρχει ένα σταθερό φορτίο που πιθανότατα οφείλεται στον φωτισμό νυκτός (εσωτερικό και εξωτερικό), σε συσκευές που λειτουργούν όλο το 24ωρο π.χ. ψυγεία ή συσκευές που τίθενται σε λειτουργία τις βραδινές ώρες λόγω χρήσης νυχτερινού τιμολογίου π.χ. πλυντήριο ρούχων ή πιάτων. Οφείλεται όμως και κατά ένα σημαντικό μέρος σε φορτία αναμονής (standby και off mode) από ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές όπως υπολογιστές, τηλεοράσεις και άλλες μικροσυσκευές (fax, modem, router κ.α). Οι παραπάνω μεταβολές δεν είναι μονοτονικές αλλά εμφανίζουν αυξομειώσεις κατά τα μεταβατικά στάδια όπως προβλέπει ο σχεδιασμός του σεναρίου. Οι υψηλές τιμές των φορτίων δικαιολογούν και το χαρακτηρισμό του συγκεκριμένου σεναρίου προσομοίωσης ως καταναλώσεις υψηλών φορτίων. Οι αιχμές των ηλεκτρικών καταναλώσεων παρουσιάζονται στις 9μ.μ έως 10 μ.μ με κατανάλωση 1552W, 1104W και 592W αντίστοιχα για μια οικία μεγάλων, μεσαίων και μικρών καταναλωτών.



**Σχήμα 7.13:** Γράφημα θερμικών φορτίων για μια οικία κάθε κατηγορίας

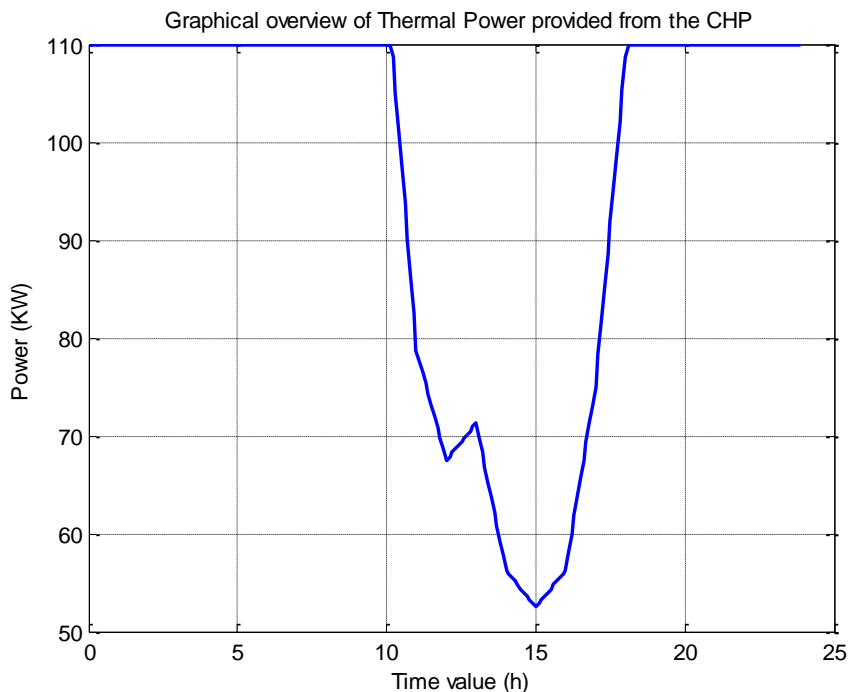
Το παραπάνω διάγραμμα παρουσιάζει γραφικά καθόλη τη διάρκεια της προσομοίωσης για το μικροδίκτυο τις συνολικές απαιτήσεις θερμικών φορτίων για θέρμανση χώρων και νερό χρήσης σε μια οικία από τις τρεις κατηγορίες καταναλώσεων, όπως αυτές μεταβάλλονται στις διάφορες χρονικές φάσεις. Παρατηρούμε ότι το σενάριο προσομοίωσης είναι αρκετά ρεαλιστικό μεταβάλλοντας τις απαιτήσεις θερμικών φορτίων από υψηλές τιμές μέχρι τις 9π.μ σε χαμηλές τιμές κατά τη διάρκεια της ημέρας από 10π.μ έως 3μ.μ. Μετά τις μεσημβρινές ώρες αυξάνονται οι απαιτήσεις θερμικών φορτίων που δικαιολογείται και από την φάση δύσεως του ηλίου για το γεωγραφικό πλάτος της πόλης των Αθηνών, όπου θεωρούμε ότι είναι εγκατεστημένο το μικροδίκτυο παραγωγής. Οι αιχμές των θερμικών καταναλώσεων παρουσιάζονται από τις 6π.μ έως τις 7π.μ με κατανάλωση 2.55 KW, 1.91 KW και 1.28 KW αντίστοιχα για μια οικία μεγάλων, μεσαίων και μικρών καταναλωτών του μικροδικτύου. Οι υψηλές τιμές των θερμικών φορτίων δικαιολογούν και τον χαρακτηρισμό του σεναρίου προσομοίωσης ως αυξημένων θερμικών αναγκών.





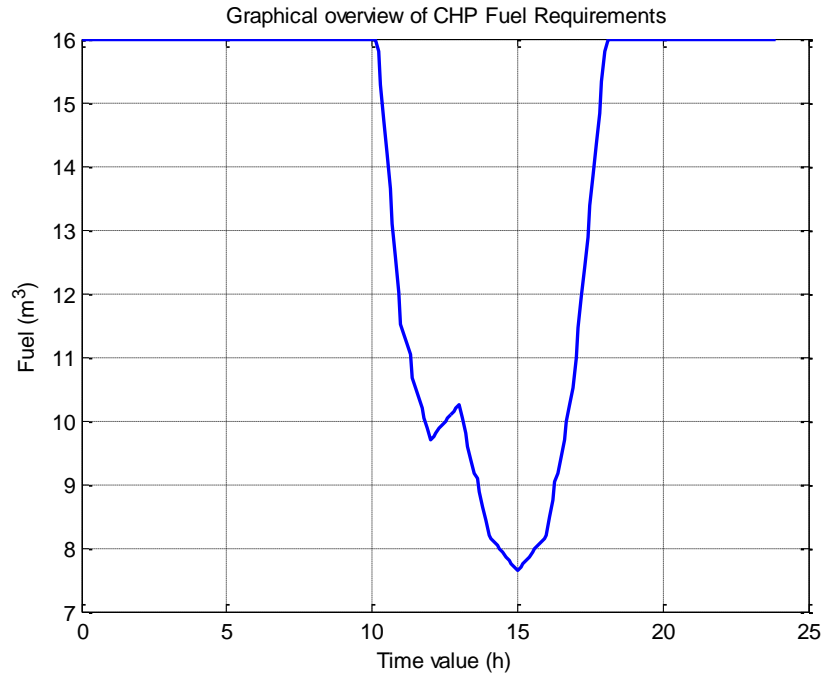
**Σχήμα 7.14:** Γράφημα ισχύος AC παραγόμενη από τις μονάδες συμπαραγωγής

Το παραπάνω διάγραμμα παρουσιάζει γραφικά καθόλη τη διάρκεια της προσομοίωσης για το μικροδίκτυο τη συνολική παραγωγή AC ισχύος από τις μονάδες συμπαραγωγής οι οποίες λειτουργούν για την κάλυψη του θερμικού φορτίου βάσης. Παρατηρούμε ότι τα επίπεδα παρεχόμενης ισχύος είναι αρκετά υψηλά προς το AC δίκτυο λόγω των υψηλών θερμικών απαιτήσεων των οικιών του μικροδικτύου από υψηλές τιμές μέχρι τις 9π.μ σε χαμηλές τιμές κατά τη διάρκεια της ημέρας από 10π.μ έως 3μ.μ. Μετά τις μεσημβρινές ώρες αυξάνονται οι απαιτήσεις θερμικών φορτίων που δικαιολογείται και από την φάση δύσεως του ηλίου για το γεωγραφικό πλάτος της πόλης των Αθηνών, όπου θεωρούμε ότι είναι εγκατεστημένο το μικροδίκτυο παραγωγής. Οι φάσεις παρεχόμενης ισχύος συμφωνούν και με τις φάσεις φόρτισης των συσσωρευτών του συστήματος κυρίως κατά τις πρωϊνές ώρες, ενώ η διαδικασία εκφόρτισης των συσσωρευτών συντελείται κατά τις απογευματινές ώρες οπότε και οι ηλεκτρικές απαιτήσεις των οικιών προς το σύστημα είναι αυξημένες ενώ τα ΦΒ συστήματα λόγω δύσεως του ηλίου δεν παρέχουν πλέον ισχύ στο δίκτυο. Τέλος, αν θέλουμε να επαληθεύσουμε το παραπάνω γράφημα κοιτάμε σε επόμενο σχήμα ποιές μονάδες συμπαραγωγής δουλεύουν κάθε χρονική στιγμή της προσομοίωσης και μέσω των λόγων μετατροπών HPR βρίσκουμε την ηλεκτρική ισχύ που αντιστοιχεί σ' αυτό το σχήμα.



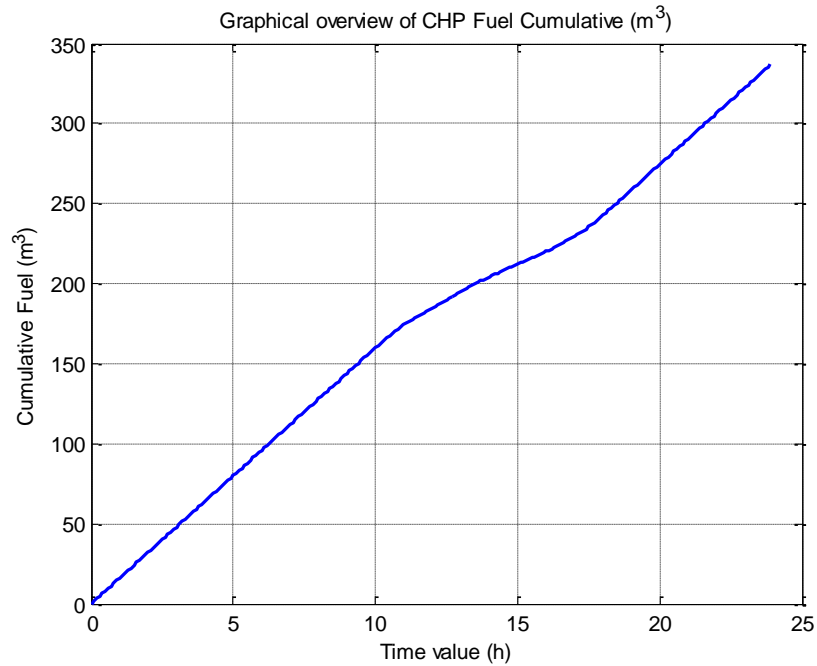
**Σχήμα 7.15:** Γράφημα παραγόμενης θερμικής ισχύος από τις μονάδες συμπαραγωγής

Η μορφή του διαγράμματος οφείλεται στην κάλυψη των αναγκών των θερμικών απαιτήσεων όλων των οικιών του μικροδικτύου. Το διάγραμμα μορφολογικά συμφωνεί και με το αντίστοιχο παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος η οποία παρέχεται από τα CHPs προς το σύστημα και τους συσσωρευτές. Για μεγάλο χρονικό διάστημα κατά την φάση προσομοίωσης παρατηρείται τιμή κορυφής των 110 KWh από τις μονάδες CHPs γεγονός που συνιστά την μέγιστα παρεχόμενη θερμική ισχύ από τις βαθμίδες των CHPs για να καλυφθούν οι απαιτήσεις των χρηστών του μικροδικτύου. Αναμένουμε λοιπόν ότι υπάρχουν και διάφορες χρονικές φάσεις καθόλη τη διάρκεια της προσομοίωσης όπου η προσφερόμενη θερμική ισχύς δεν καλύπτει πλήρως τις απαιτούμενες θερμικές ανάγκες των οικιών και γι' αυτό χρησιμοποιούμε και boiler ώστε να καλυφθούν πλήρως οι ανάγκες θερμικών φορτίων των οικιών του μικροδικτύου. Αυτό συμβαίνει γιατί το σενάριο πραγματοποιείται για χειμωνιάτικη ημέρα όπου οι θερμικές ανάγκες είναι αυξημένες. Οι τιμές είναι ρεαλιστικές γεγονός που δείχνει ότι κατά τη διάρκεια της ημέρας οι θερμικές απαιτήσεις μονοτικά φθίνουν ενώ μετά τις μεσημβρινές ώρες έως και τις πρώτες πρωινές ώρες είναι αυξημένες.



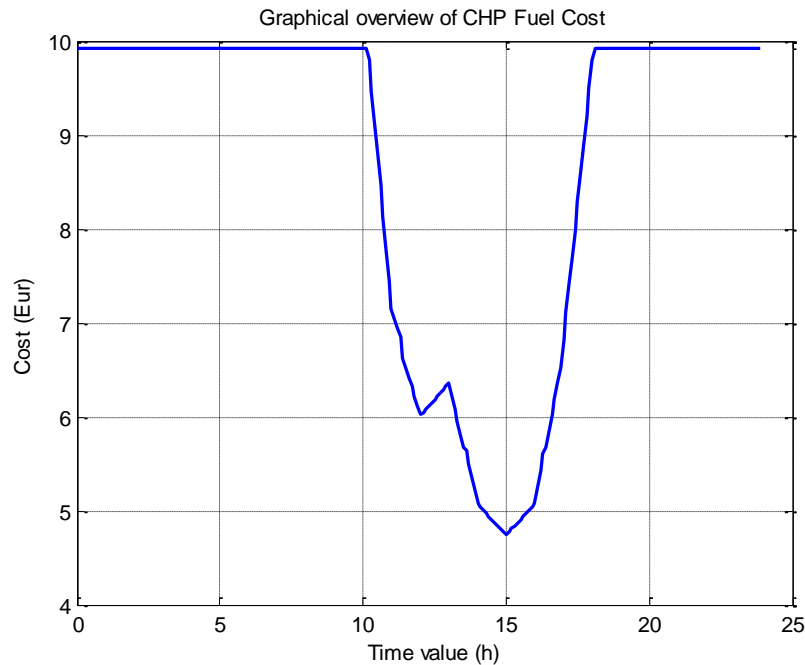
**Σχήμα 7.16:** Γράφημα απαιτήσεων καυσίμου για την λειτουργία των CHPs

Το παραπάνω διάγραμμα παρουσιάζει γραφικά καθόλη τη διάρκεια της προσομοίωσης για το μικροδίκτυο τις στιγμιαίες απαιτήσεις καυσίμου, όπως αυτές μεταβάλλονται στις διάφορες χρονικές φάσεις. Η μορφή του διαγράμματος κατανάλωσης καυσίμου των CHPs βρίσκεται σε πλήρη συμφωνία με την μορφή των διαγραμμάτων θερμικής και ηλεκτρικής παραγωγής από τις μονάδες συμπαραγωγής που έχουν αναλυθεί προηγουμένα.



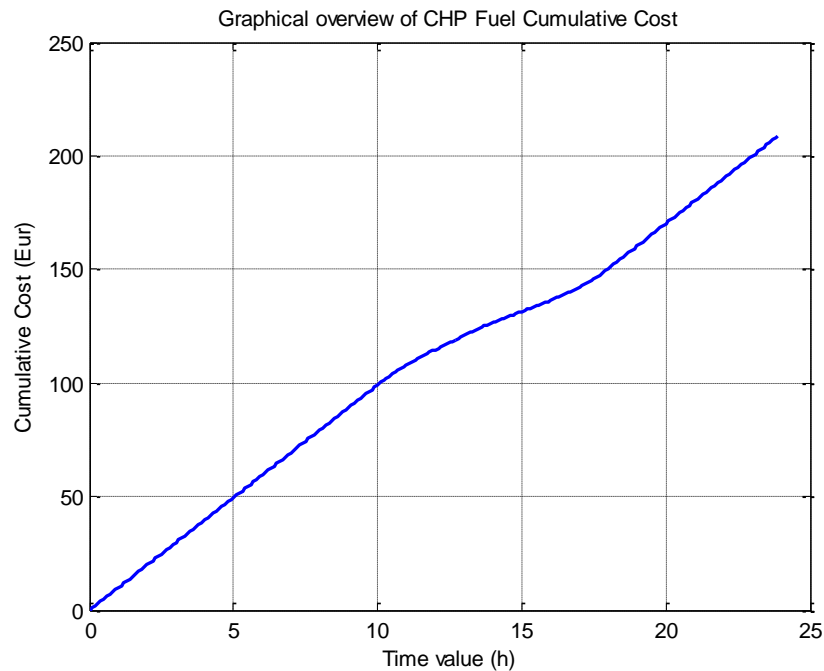
**Σχήμα 7.17:** Γράφημα συσσωρευτικών απαιτήσεων καυσίμου για την λειτουργίας των CHPs

Το παραπάνω διάγραμμα παρουσιάζει γραφικά καθόλη τη διάρκεια της προσομοίωσης για το μικροδίκτυο τις συνολικές απαιτήσεις καυσίμου, όπως αυτές μεταβάλλονται στις διάφορες χρονικές φάσεις. Η μορφή του διαγράμματος κατανάλωσης καυσίμου των CHPs είναι γνησίως αύξουσα γεγονός που μας δείχνει ότι έχουμε αυξημένες θερμικές ανάγκες και οι μονάδες συμπαραγωγής δουλεύουν για να τις καλύψουν, που δικαιολογεί και το συγκεκριμένο σενάριο προσομοίωσης.



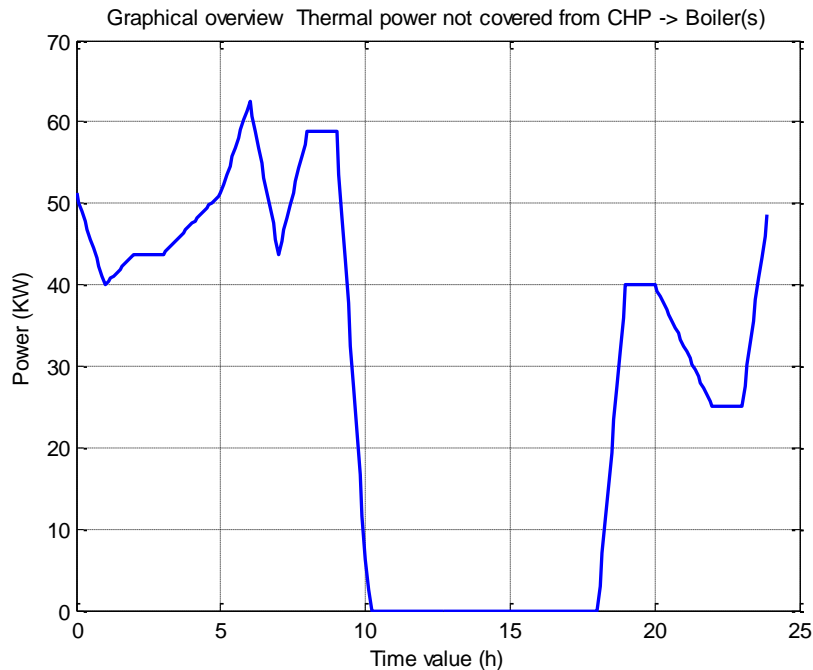
**Σχήμα 7.18:** Γράφημα στιγμιαίου κόστους της λειτουργίας των CHPs

Το παραπάνω διάγραμμα παρουσιάζει γραφικά καθόλη τη διάρκεια της προσομοίωσης για το μικροδίκτυο το στιγμιαίο κόστος λειτουργίας των μονάδων συμπαραγωγής, και μεταβάλλεται στις διάφορες χρονικές φάσεις. Η μορφή του διαγράμματος στιγμιαίου κόστους των CHPs βρίσκεται σε πλήρη συμφωνία με την μορφή των διαγραμμάτων θερμικής και ηλεκτρικής παραγωγής από τις μονάδες συμπαραγωγής και στιγμιαίων απαιτήσεων καυσίμου που έχουν αναλυθεί προηγουμένα.



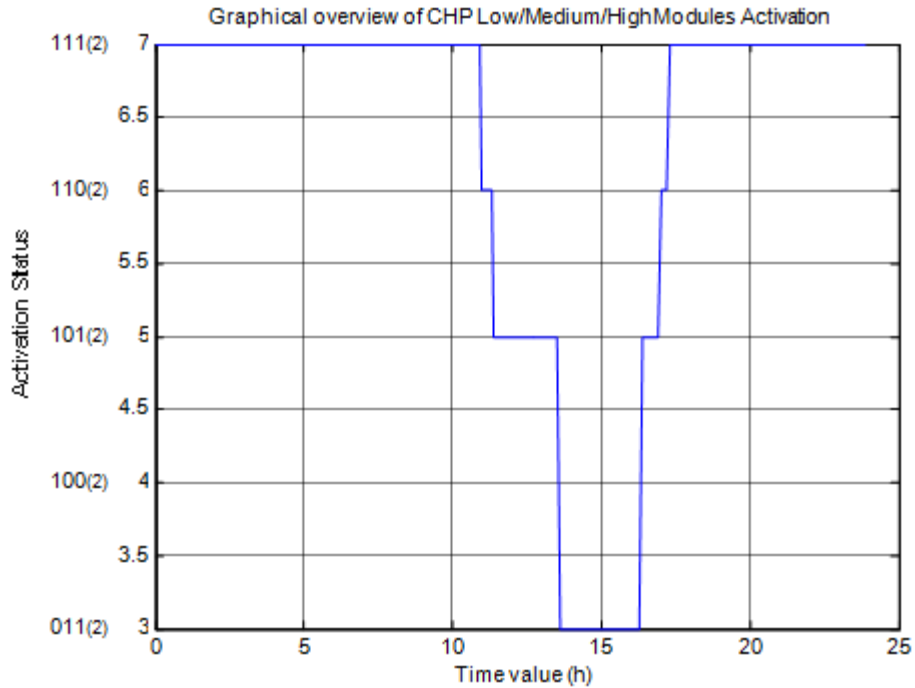
**Σχήμα 7.19:** Γράφημα συσσωρευτικού κόστους για την λειτουργία των CHPs

Το παραπάνω διάγραμμα παρουσιάζει γραφικά καθόλη τη διάρκεια της προσομοίωσης για το μικροδίκτυο το συσσωρευτικό κόστος που απαιτείται για την λειτουργία των μονάδων συμπαραγωγής καυσίμου. Η μορφή του διαγράμματος συνολικού κόστους των CHPs είναι γνησίως αύξουσα γεγονός που μας δείχνει ότι έχουμε αυξημένες θερμικές ανάγκες και οι μονάδες συμπαραγωγής δουλεύουν για να τις καλύψουν, που δικαιολογεί και το συγκεκριμένο σενάριο προσομοίωσης, χειμωνιάτικη ημέρα με αυξημένες θερμικές ανάγκες.



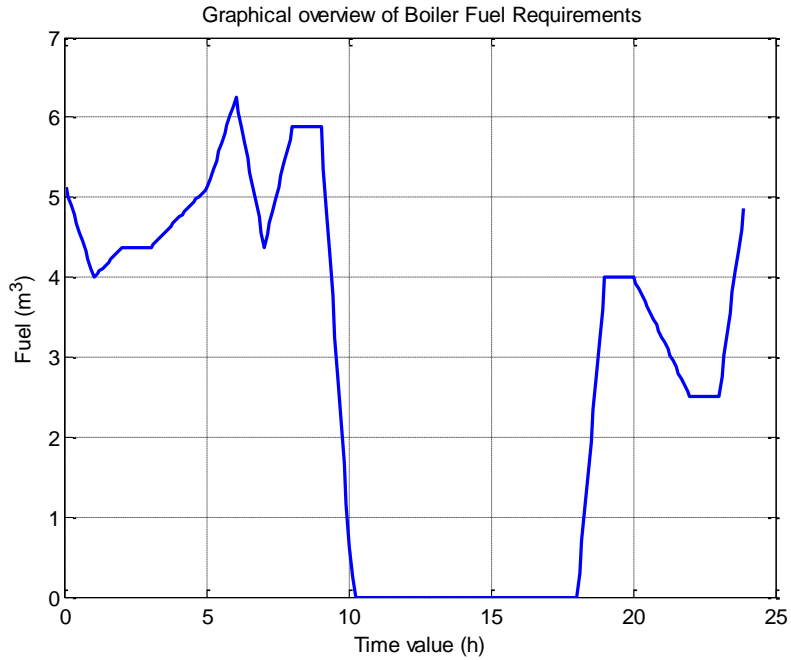
**Σχήμα 7.20:** Γράφημα Θερμικής ισχύς που καλύπτεται από boiler

Το παραπάνω διάγραμμα παρουσιάζει γραφικά καθόλη τη διάρκεια της προσομοίωσης τα επίπεδα θερμικών φορτίων που δεν καλύπτονται από τα CHPs και κατευθύνονται για κάλυψη σε εξωτερικό θερμαντήρα (boiler). Η διαμόρφωση του διαγράμματος αφορά στην μορφή και τις απαιτήσεις του συγκεκριμένου σεναρίου προσομοίωσης. Οι χρονικές περίοδοι στις οποίες εμφανίζονται θερμικές ανάγκες που δεν καλύπτονται από τις μονάδες συμπαραγωγής είναι πριν τις 9π.μ και μετά τις 6μ.μ, που προβλέπονται και στο ακόλουθο διάγραμμα λειτουργίας των CHPs.



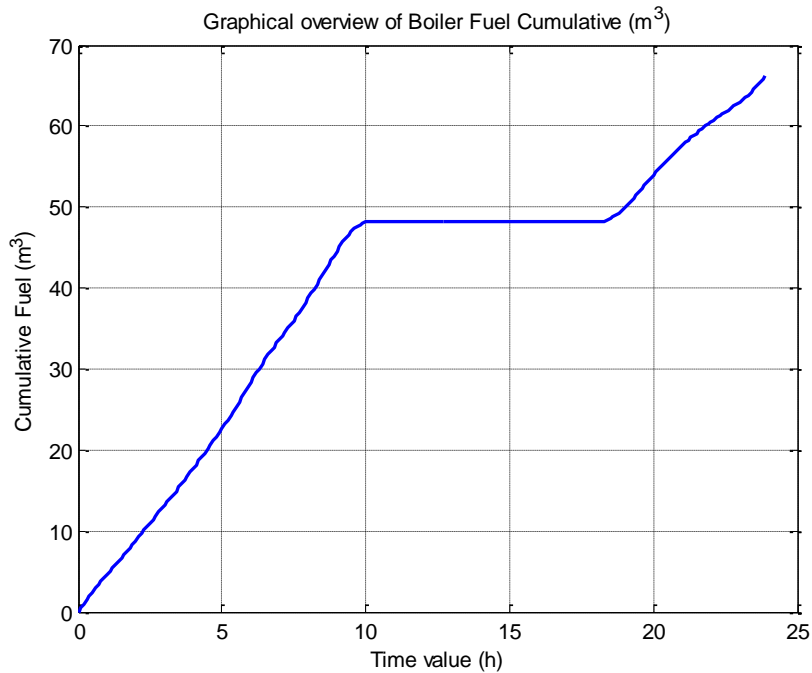
**Σχήμα 7.21:** Διάγραμμα χρονικής λειτουργίας των 3 μονάδων CHPs του συστήματος

Το παραπάνω διάγραμμα παρουσιάζει τις χρονικές στιγμές ενεργοποίησης των CHPs που διαθέτει το σύστημά μας. Η τιμή 7 αντιστοιχεί σε ταυτόχρονη ενεργοποίηση και των 3 CHPs  $7_{<10>} = 111_{<2>}$ . Δηλαδή, η λειτουργία των CHPs αντιστοιχεί σε δυαδική μεταβλητή η οποία λαμβάνει την τιμή 1 όταν το αντίστοιχο CHP είναι ενεργοποιημένο και 0 αλλιώς. Από το σενάριο προσμείωσης παρατηρούμε ότι κατά το μεγαλύτερο χρονικό διάστημα για την κάλυψη των θερμικών αναγκών του συστήματος, και τα 3 CHPs είναι ενεργοποιημένα, εκτός των φάσεων όπου οι θερμικές απαιτήσεις μειώνονται οπότε σε κατάσταση ON παραμένουν μόνο το μικρό και μεσαίας κλίμακας CHP  $3_{<10>} = 011_{<2>}$  (τιμή 3).



**Σχήμα 7.22:** Γράφημα απαιτήσεων καυσίμου για την λειτουργία του boiler

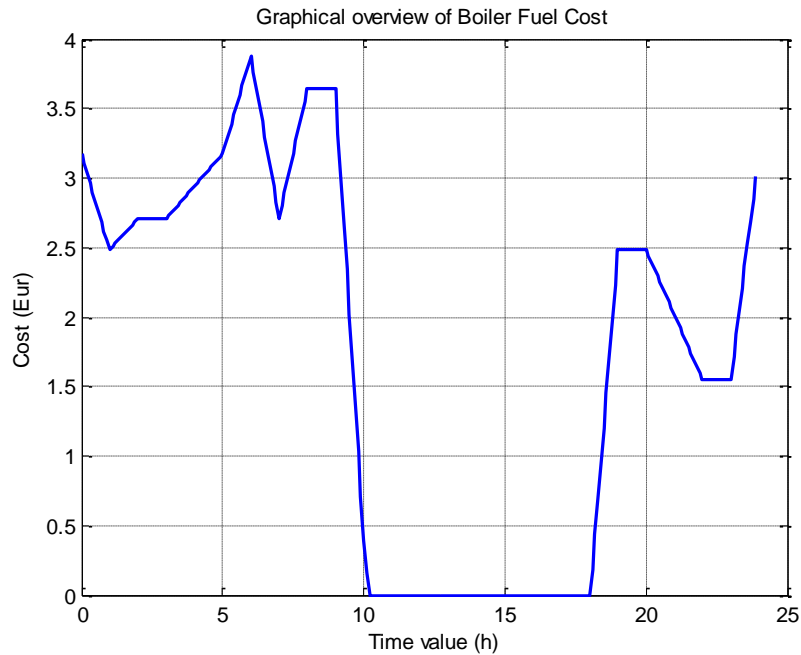
Το παραπάνω διάγραμμα παρουσιάζει γραφικά καθόλη τη διάρκεια της προσομοίωσης για το μικροδίκτυο τις στιγμιαίες απαιτήσεις καυσίμου για την λειτουργία του λέβητα, όπως αυτές μεταβάλλονται στις διάφορες χρονικές φάσεις. Η μορφή του διαγράμματος κατανάλωσης καυσίμου του λέβητα βρίσκεται σε πλήρη συμφωνία με την μορφή του διαγράμματος θερμικών απαιτήσεων που δεν καλύπτονται από τις μονάδες συμπαραγωγής όπως άλλωστε ορίζει και το σενάριο προσομοίωσης.





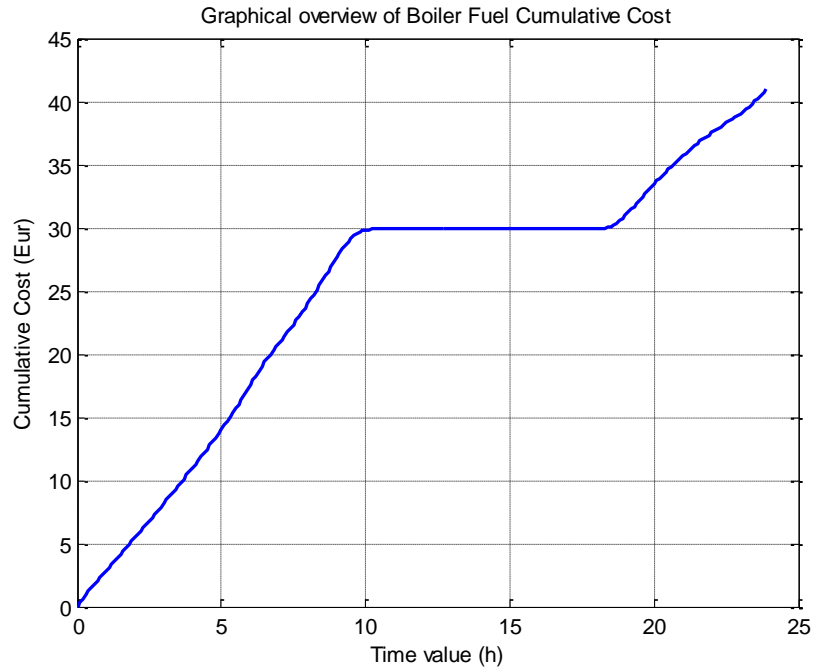
**Σχήμα 7.23:** Γράφημα συσσωρευτικών απαιτήσεων καυσίμου για την λειτουργία του boiler

Το παραπάνω διάγραμμα παρουσιάζει γραφικά καθόλη τη διάρκεια της προσομοίωσης για το μικροδίκτυο τις συνολικές απαιτήσεις καυσίμου για την λειτουργία του λέβητα. Η μορφή του διαγράμματος κατανάλωσης καυσίμου του λέβητα είναι γνησίως αύξουσα μέχρι τις 9π.μ και μετά τις 6μ.μ γεγονός που μας δείχνει ότι έχουμε αυξημένες θερμικές ανάγκες σ' αυτά τα χρονικά διαστήματα και οι μονάδες συμπαραγωγής δεν μπορούν να τις καλύψουν, ενώ το χρονικό διάστημα 9π.μ έως 6μ.μ η μορφή του διαγράμματος είναι σταθερή που μας δείχνει ότι τις ώρες εκείνες δεν λειτουργεί ο λέβητας, που δικαιολογεί και το συγκεκριμένο σενάριο προσομοίωσης.



**Σχήμα 7.24:** Γράφημα στιγμιαίου κόστους της λειτουργίας του boiler

Το παραπάνω διάγραμμα παρουσιάζει γραφικά καθόλη τη διάρκεια της προσομοίωσης για το μικροδίκτυο το στιγμιαίο κόστος για την λειτουργία του λέβητα, και μεταβάλλεται στις διάφορες χρονικές φάσεις. Η μορφή του διαγράμματος στιγμιαίου κόστους του λέβητα βρίσκεται σε πλήρη συμφωνία με την μορφή των διαγραμμάτων θερμικής ισχύς που δεν καλύπτεται από τις μονάδες συμπαραγωγής και στιγμιαίων απαιτήσεων καυσίμου για την λειτουργία του λέβητα που έχουν αναλυθεί προηγούμενα.



**Σχήμα 7.25:** Γράφημα συσσωρευτικού κόστους για την λειτουργίας του boiler

Το παραπάνω διάγραμμα παρουσιάζει γραφικά καθόλη τη διάρκεια της προσομοίωσης για το μικροδίκτυο το συσσωρευτικό κόστος που απαιτείται για την λειτουργία του λέβητα. Η μορφή του διαγράμματος συνολικού κόστους για την λειτουργία του λέβητα είναι ανάλογη με αυτή του γραφήματος συσσωρευτικών απαιτήσεων καυσίμου για την λειτουργία του λέβητα που αναλύθηκε σε προηγούμενο διάγραμμα.

#### 7.2.4 Χαρακτηριστικές Τιμές Σεναρίου Προσομοίωσης Θερμικής Λειτουργίας ΣΗΘ

Τα χαρακτηριστικά του σεναρίου που προσομοιώθηκε συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα:

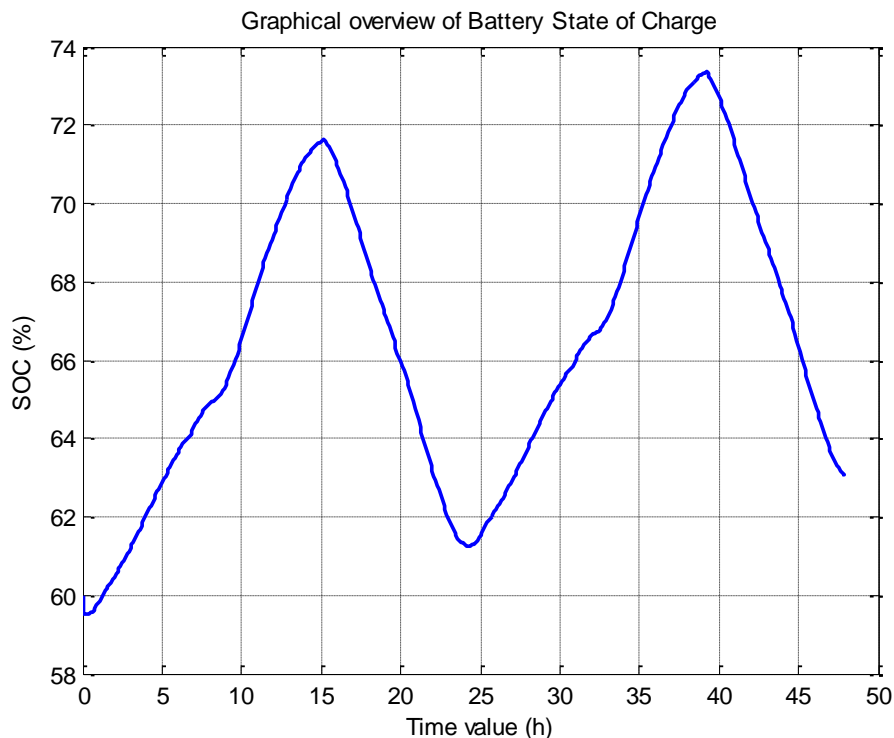
External Network provides AC power

Χαρακτηριστικά	Τιμή		
Simulation Duration	0 – 23.99		
Number of Home Types	3		
Number of Homes per Type	30	30	30
Max D_DC Load value (KW)	48.7832		
Max D_AC Load value (KW)	33.4130		
Peak P_dc value (KW)	29.4035		
Peak P_ac value (KW)	0		
Average Power produced in PV panels (KW)	0.1936		
Average Power produced in PV panels per type (KW)	0.3021	0.1858	0.0929
Average AC Power used from network (KW)	0		
Average DC Power Load per Home (KW)	0.3450		
Average DC Power Load per Home per type (KW)	0.4944	0.3517	0.1888
Average AC Power Load per Home (KW)	0.3453		
Average AC Power Load per Home per type (KW)	0.4948	0.3521	0.1890
Average Power Total Load (KW)	62.1219		
Total Spare Energy (KWh)	0.0		
Peak thermal_demand all homes (KW)	172.5030		
Peak thermal_load per Home per type (KW)	2.5556	1.9167	1.2778
Peak heat_load per Home per type (KW)	2.2745	1.7059	1.1372
Peak hw_load per Home per type (KW)	0.2811	0.2108	0.1406
CHP Cumulative Fuel Consumption (m <sup>3</sup> )	338.5034		
CHP Cumulative Cost (€)	209.8721		
Boiler Cumulative Fuel Consumption (m <sup>3</sup> )	66.6942		
Boiler Cumulative Cost (€)	41.3504		

### 7.2.5 Συμπεράσματα Σεναρίου Προσομοίωσης Θερμικής Λειτουργίας ΣΗΘ

Από την εκτέλεση του σεναρίου προσομοίωσης το οποίο συμπεριελάμβανε σημαντικά ποσά θερμικών φορτίων, παρατηρούμε ότι η χρήση των μονάδων CHPs συνεισέφερε σημαντικά στα επίπεδα ηλεκτρικής ισχύος του συνολικού συστήματος, αφού όπως είδαμε καθόλη τη διάρκεια της προσομοίωσης δεν αγοράσαμε ηλεκτρική ισχύ από το εξωτερικό δίκτυο. Παράλληλα, οι αυξημένες θερμικές απαιτήσεις οδήγησαν και σε ένα ποσοστό θερμικού φορτίου το οποίο θα πρέπει να καλυφθεί με την χρήση εξωτερικού θερμαντήρα (boiler) αφού οι μονάδες συμπαραγωγής δεν μπορούσαν να το καλύψουν. Η λειτουργία του συνολικού συστήματος είναι ευσταθής εφόσον παραλαμβάνει τους συσσωρευτές του συστήματος σε ένα ποσοστό φόρτισης της τάξης του 60% όπου και καταλήγει προσεγγιστικά μετά την ολοκλήρωση του σεναρίου προσομοίωσης σε ένα ποσοστό της τάξης περίπου 61.6% (για μια ημέρα) που μας δείχνει ότι λειτουργεί με αξιοπιστία το συνολικό σύστημα. Ένα επιπλέον συμπέρασμα που εξάγεται είναι ότι το μικροδίκτυο δεν παράγει καθόλου διαθέσιμη ισχύ, αλλά καλύπτει πλήρως τις ανάγκες του χωρίς προσφορά εξωτερικής AC ισχύος.

Παρακάτω ακολουθεί το διάγραμμα κατάστασης των συσσωρευτών του συστήματος για χρονικό διάστημα προσομοίωσης το οποίο υπερβαίνει τη χρονική διάρκεια της μιας μέρας.



**Σχήμα 7.26:** Γράφημα για την κατάσταση φόρτισης (SOC) των συσσωρευτών του μικροδικτύου

Από το διάγραμμα παρατηρούμε ότι τα επίπεδα φόρτισης των συσσωρευτών του συστήματος διατηρούνται σε οριακά μεγαλύτερα επίπεδα για το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα προσομοίωσης, γεγονός που μας δείχνει την ευσταθή λειτουργία του μικροδικτύου, χωρίς να παίρνουμε καθόλου AC ισχύ από το εξωτερικό δίκτυο, δεδομένου ότι οι αυξημένες θερμικές

ανάγκες σε συνδυασμό με τη χαμηλή παραγωγή από τα φωτοβολταϊκά μας καλύπτουν τις ανάγκες των οικιών του μικροδικτύου, χωρίς να έχουμε πλεονάζουσα ισχύ.

### 7.3 2° Σενάριο Προσομοίωσης

Το συγκεκριμένο σενάριο στο υπομελέτη μικροδίκτυο που προσομοιώνουμε έχει υψηλή PV (παραγωγή από φωτοβολταϊκά), χαμηλά ηλεκτρικά φορτία κατανάλωσης και μειωμένες θερμικές ανάγκες.

#### 7.3.1 Παράμετροι Σεναρίου Προσομοίωσης για τους 3 τύπους Καταναλωτών

Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν για την προσομοίωση του συγκεκριμένου σεναρίου παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες.

Για το **πρώτο** (μεγάλο) τύπο καταναλωτών με τις υψηλές καταναλώσεις και με φωτοβολταϊκά που έχουν εγκατεστημένη ισχύ 10Kw.

Τα δεδομένα ηλεκτρικής παραγωγής από τα ΦΒ συστήματα προέκυψαν με την χρήση του διαδικτυακού PVCalculator – PVWatts -που διατίθεται δωρεάν απο το NREL (National Renewable Energy Laboratory των ΗΠΑ)-για την πόλη των Αθηνών (Ελλάδα) και συνοψίζονται στον πίνακα που ακολουθεί:

Ώρα	Φωτεινότητα (W/m <sup>2</sup> )	Θερμοκρασία Πάνελ (°C)	DC έξοδος(W)	AC έξοδος(W)
0	0	25.2	0	0
1	0	24.4	0	0
2	0	25	0	0
3	0	24	0	0
4	0	22.4	0	0
5	9.889	22.364	89.103	31.831
6	72.923	25.328	601.201	534.116
7	244.132	30.98	1935.345	1838.499
8	467.862	36.326	3817.706	3668.551
9	685.474	41.463	5575.929	5367.006
10	857.508	44.892	6903.456	6642.426
11	960.839	54.824	7349.623	7069.731
12	1001.573	46.233	8023.311	7713.654
13	965.067	52.247	7486.098	7200.302
14	863.198	53.964	6622.584	6373.079
15	691.111	50.033	5377.866	5176.203
16	474.704	41.404	3775.666	3627.811
17	249.085	37.835	1901.557	1805.539
18	82.031	33.44	663.378	595.041
19	10.792	28.931	94.27	36.903
20	0	29	0	0
21	0	28	0	0
22	0	27.8	0	0
23	0	28	0	0

Τα DC και τα AC φορτία όλων των οικιών του μικροδικτύου θεωρήθηκαν ίσα μεταξύ τους για κάθε χρονική στιγμή του σεναρίου προσομοίωσης καθώς έχουμε διπλό δίκτυο διανομής DC και AC. Οι αθροιστικές τους τιμές συνοψίζονται και απεικονίζονται στον επόμενο πίνακα. Είναι αναγκαίο να σημειωθεί πως οι τιμές των φορτίων προέκυψαν με χρήση των δεδομένων που διαθέτει η εταιρεία διανομής ηλεκτρικής ενέργειας ΔΕΔΔΗΕ και αφορούν μεγάλες οικιακές καταναλώσεις [66]. Για την κατανομή αυτών των τιμών σε κάθε ώρα της ημέρας χρησιμοποιήθηκε ένα άρθρο της ΚΑΠΕ [67], όπου συνοψίζουμε το προφίλ ζήτησης ισχύος της μέσης ημέρας. Είναι φανερό ότι η ελάχιστη κατανάλωση παρουσιάζεται κατά τη διάρκεια της νύχτας από τις 12:00 έως τις 6 το πρωί. Στη συνέχεια η κατανάλωση αυξάνεται συνεχώς μέχρι τις 8:00 το πρωί, όπου και παρουσιάζεται μια πρώτη αιχμή στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία σχετίζεται με τις πρωινές δραστηριότητες των ανθρώπων πριν την αποχώρησή τους για τη δουλειά τους. Τις επόμενες ώρες η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας παρουσιάζει μια μικρή μείωση και σχεδόν σταθεροποιείται καταλήγοντας γύρω στις 2:00 - 3:00 το μεσημέρι σε μια δεύτερη αιχμή. Επίσης, η μέγιστη κατανάλωση εμφανίζεται κατά τη διάρκεια του απογεύματος μέχρι και τις 11:00 το βράδυ. Το συγκεκριμένο προφίλ ζήτησης ισχύος είναι χαρακτηριστικό για την μέση κατοικία όπου πλέον τα μέγιστα φορτία παρουσιάζονται τις απογευματινές ώρες μέχρι τις 11:00 το βράδυ. Τέλος, ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι κατά τις νυκτερινές από τις 12:00 το βράδυ έως τις 6:00 το πρωί υπάρχει ένα σταθερό φορτίο που πιθανότατα οφείλεται στον φωτισμό νυκτός (εσωτερικό και εξωτερικό), σε συσκευές που λειτουργούν όλο το 24ωρο.

Ώρες	Συνολικό φορτίο (AC και DC) (W)
0	1153.95421
1	888.54474
2	687.75671
3	657.75390
4	623.13527
5	653.13808
6	680.83298
7	877.00520
8	1130.87512
9	948.26845
10	946.24245
11	969.32153
12	1061.63787
13	992.40062
14	1153.95421
15	991.38762
16	994.42662
17	1200.11237
18	1603.99635
19	1373.20551
20	1580.91726
21	1684.77314
22	1615.53589
23	1373.20551

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται το ωριαίο θερμικό φορτίο για θέρμανση χώρων και ζεστό νερό χρήσης που αφορά τους μεγάλους καταναλωτές για το σύνολο των σπιτιών καθώς και για το κάθε σπίτι, για μια τυπική μέρα του καλοκαιριού που πραγματοποιείται το συγκεκριμένο σενάριο όπου οι θερμικές ανάγκες είναι χαμηλές. Οι τιμές που αφορούν τις θερμικές καταναλώσεις για το σύνολο των σπιτιών υπολογίστηκαν βάση της αναφοράς [68] και επεξηγούνται στο προηγούμενο κεφάλαιο με βάση τον υπολογισμό της ετήσιας καμπύλης διάρκειας φορτίου που είναι απαραίτητος για την ορθή διαστασιολόγηση της κατάλληλης μονάδας συμπαραγωγής (chp).

Ώρες ημέρας	Θερμικό φορτίο για το σύνολο των σπιτιών (Kw)	Θερμικό φορτίο ανά σπίτι (Kw)
0	3.3333	0.1111
1	0.0000	0.0000
2	0.0000	0.0000
3	0.0000	0.0000
4	0.0000	0.0000
5	0.0000	0.0000
6	1.6667	0.0556
7	5.0000	0.1667
8	8.3333	0.2778
9	11.6667	0.3889
10	8.3333	0.2778
11	5.0000	0.1667
12	5.0000	0.1667
13	6.6667	0.2222
14	5.0000	0.1667
15	3.3333	0.1111
16	3.3333	0.1111
17	5.0000	0.1667
18	8.3333	0.2778
19	13.3333	0.4444
20	11.6667	0.3889
21	8.3333	0.2778
22	6.6667	0.2222
23	5.0000	0.1667

Στον παρακάτω πίνακα αναλύεται το 1<sup>ο</sup> Hometype όπου αφορά τον πρώτο τύπο καταναλωτών που είναι οι μεγάλοι καταναλωτές στη περίπτωση μας.

Παράμετροι	Τιμές	Σχόλια – Επεξηγήσεις
Hometype_file_version	1.0	Προετοιμάζει το σύστημα για τη δομή του αρχείου.
Homes	30	Πλήθος σπιτιών μεγάλων καταναλώσεων.
Version_pv	1.1	Με χρήση θερμοκρασιακών συντελεστών μας δίνει την απόδοση του συστήματος.
P_l_vectror_length	24	Μια τιμή ανά ώρα της ημέρας για την παραγωγή από το φωτοβολταϊκό.
P_vector	0 0 0 0 0 89.103 601.201 1935.345 3817.706 5575.929 6903.456 7349.623 8023.311 7486.098 6622.584 5377.866 3755.666 1901.557 663.378 94.27 0 0 0 0	DC έξοδος σε Watts που μας δίνει την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος του φωτοβολταϊκού 10Kw με τη βοήθεια του PV Watts Calculator για μια ημέρα ενός καλοκαιρινού μήνα.
I_vector	0 0	Χρησιμοποιώντας τη μεταβλητή bypass_P_l=1 έχουμε ενεργοποιήσει την κατάργηση των υπολογισμών φωτεινότητας γι αυτό το διάνυσμα περιέχει 24 μηδενικές τιμές.
S_panel	1.0	Μια ενδεικτική τιμή, δεν χρησιμοποιείται εφόσον έχουμε θέσει τη μεταβλητή bypass_P_l=1.
n_eff_pv	0.95	Η τιμή αυτή μας δείχνει το συντελεστή απόδοσης του φωτοβολταϊκού.
Voltage_op_pv	48	Μας δείχνει την τιμή της τάσης λειτουργίας του φωτοβολταϊκού εκφρασμένη σε Volts.
P_max_pv	10000	Μέγιστη αποδιδόμενη ισχύ του φωτοβολταϊκού σε Watts.
Temp_pv_vector	25.2 24.4 25 24 22.4 22.364 25.328 30.98 36.326 41.463 44.892 54.824 46.233 52.247 53.964 50.033 41.404 37.835 33.44 28.931 29 28 27.8 28	Τιμές Θερμοκρασίας του φωτοβολταϊκού 10Kw με τη βοήθεια του PV Watts Calculator για μια ημέρα ενός καλοκαιρινού μήνα.
Version_dc_load	1.0	Καθορίζει την έκδοση για τον τύπο της συνάρτησης dc_load.
ON/OFF_Load_State	1.0	Ενεργοποιεί το DC φορτίο σε όλες τις οικίες του συγκεκριμένου τύπου καταναλωτών.
Voltage_load_dc	48	Τάση λειτουργίας του DC φορτίου εκφρασμένη σε Volts.
R_load_dc_vector	3.9932 5.1860 6.7001 7.0057 7.3949 7.0552 6.7682 5.2543 4.0747 4.8594 4.8698 4.7538 4.3405 4.6433 3.9932 4.6480 4.6338 3.8396 2.8728 3.3557 2.9148 2.7351 2.8523 3.3557	Υπολογισμένο διάνυσμα αντιστάσεων για τα DC φορτία κάθε οικίας του τύπου μεγάλων καταναλωτών. Οι τιμές αυτές υπολογίζονται χρησιμοποιώντας την υποσυνάρτηση high_of_dc_load_calc.m που δέχεται ως εισόδους τις τιμές ισχύος που καταναλίσκονται επί των DC φορτίων κατά τη διάρκεια του 24ώρου που πραγματοποιείται η προσομοίωση και την τάση λειτουργίας του DC φορτίου .
Version_ac_load	1.0	Καθορίζει την έκδοση για τον τύπο της συνάρτησης ac_load.
ON/OFF_Load_State	1.0	Ενεργοποιεί το AC φορτίο σε όλες τις οικίες



		του συγκεκριμένου τύπου καταναλωτών.
Voltage_load_ac	230	Τάση λειτουργίας του AC φορτίου εκφρασμένη σε Volts.
R_load_ac_vector	87.1005 114.3084 150.7570 157.6339 152.8082 158.7475 139.8583 110.9870 87.0070 100.4147 100.6296 103.6912 91.6849 90.6187 81.5994 96.0474 97.8816 82.8689 62.6623 75.5052 62.9078 57.7740 60.9049 73.1938	Υπολογισμένο διάνυσμα αντιστάσεων για τα AC φορτία κάθε οικίας του τύπου μεγάλων καταναλωτών. Οι τιμές αυτές υπολογίζονται χρησιμοποιώντας την υποσυνάρτηση high_of_ac_load_calc.m που δέχεται ως εισόδους τις τιμές ισχύος που καταναλίσκονται επί των AC φορτίων κατά τη διάρκεια του 24ώρου που πραγματοποιείται η προσομοίωση, την τάση λειτουργίας του AC φορτίου καθώς και το συντελεστή ισχύος που είναι απαραίτητος για τον υπολογισμό του διανύσματος R_load_ac_vector και παίρνει τιμές από 0.89-0.99.
X_load_ac_vector	28.6286 33.3399 30.6125 32.0089 74.0084 32.2350 67.7365 47.2802 34.3874 48.6330 48.7372 34.0817 39.0576 56.1604 41.8046 46.5179 41.6974 30.0774 20.5961 15.3320 22.8325 24.6116 24.0712 24.0576	Υπολογισμένο διάνυσμα αντιστάσεων για τα AC φορτία κάθε οικίας του τύπου μεγάλων καταναλωτών. Οι τιμές αυτές υπολογίζονται χρησιμοποιώντας την υποσυνάρτηση high_of_ac_load_calc.m που δέχεται ως εισόδους τις τιμές ισχύος που καταναλίσκονται επί των AC φορτίων κατά τη διάρκεια του 24ώρου που πραγματοποιείται η προσομοίωση, την τάση λειτουργίας του AC φορτίου καθώς και το συντελεστή ισχύος που είναι απαραίτητος για τον υπολογισμό του διανύσματος X_load_ac_vector και παίρνει τιμές από 0.89-0.99.
Version_hems	1.1	Μας δίνει την έκδοση της συνάρτησης hems.m που χρησιμοποιείται από το περιβάλλον προσομοίωσης για τον έλεγχο της ενέργειας στην κάθε οικία. Η έκδοση είναι 1.1 γιατί σε κάθε οικία έχουμε ηλεκτρική ισχύ από φωτοβολταϊκό και από τη μονάδα συμπαραγωγής και αν σε κάθε βήμα προσομοίωσης δεν καλύπτονται τα συνολικά φορτία της οικίας επικοινωνούν στο σύνολό τους με τον διαχειριστή του μικροδικτύου και αν δεν μπορεί να τα καλύψει και από τους συσσωρευτές αγοράζονται από το εξωτερικό δίκτυο.
Time_start	0.0	Χρόνος έναρξης της προσομοίωσης
Time_stop	23.99	Χρόνος λήξης της προσομοίωσης
Time_step	0.1	Βήμα προσομοίωσης
I_calc_version	1.0	Έκδοση για τον υπολογισμό της φωτεινότητας, που όμως δεν χρησιμοποιείται γιατί έχουμε θέσει τη μεταβλητή bypass_P_I=1.
n_hems	0.95	Συντελεστής hems για μετατροπή

		ηλεκτρικής ενέργειας που όταν χρειάζεται ζητάει και όταν περισσεύει δίνει στους συσσωρευτές και κατ'επέκταση στο διαχειριστή του μικροδικτύου.
version_nems	1.0	Ορίζει την έκδοση της συνάρτησης nems.m που χρησιμοποιείται από το περιβάλλον προσομοίωσης.
P_min	0	Ελάχιστη ισχύς διαθέσιμη από το εξωτερικό δίκτυο.
P_max	23000	Μέγιστη ισχύς διαθέσιμη από το εξωτερικό δίκτυο.
n_nems	0.88	Συντελεστής μετατροπής ισχύς στο επίπεδο του διαχειριστή του μικροδικτύου.
Soc_Init	0.60	Αρχικό επίπεδο φόρτισης των συσσωρευτών.
version_batt	1.1	Η μεταβλητή ορίζει την έκδοση της συνάρτησης battery.m που χρησιμοποιείται από το περιβάλλον προσομοίωσης.
Voltage_chg	48	Τάση διεπαφής φόρτισης της μπαταρίας.
Voltage_cons	200	Τάση διεπαφής κατανάλωσης της μπαταρίας.
n_chg	0.85	Συντελεστής φόρτισης της μπαταρίας.
Q_max	50000000	Μέγιστο φορτίο των συσσωρευτών σε Coulombs.
version_chp	1.0	Ορίζει την έκδοση που χρησιμοποιείται για τις συναρτήσεις chp_unit.m και chp_electricity_unit.m από το περιβάλλον προσομοίωσης σε κάθε βήμα προσομοίωσης.
ON_chp	1.0	Ενεργοποιεί το θερμικό φορτίο σε όλες τις οικίες του συγκεκριμένου τύπου καταναλωτών.
use_chp_ac_prov	'n' or 'y'	Όταν η μεταβλητή έχει τιμή 'n' καλείται μόνο η συνάρτηση chp_unit.m από το περιβάλλον προσομοίωσης που σημαίνει ότι και τα 3 chp που έχουμε υλοποιήσει χρησιμοποιούνται μόνο για την κάλυψη του θερμικού φορτίου βάσης. Όταν η μεταβλητή έχει τιμή 'y' καλείται μόνο η συνάρτηση chp_electricity_unit.m από το περιβάλλον προσομοίωσης που σημαίνει ότι και τα 3 chp που έχουμε υλοποιήσει χρησιμοποιούνται μόνο για την κάλυψη του ηλεκτρικού φορτίου βάσης.
n_chp_hi	0.89	Συντελεστής παραγωγής για το μεγάλο τύπου chp.
hpr_hi	2.335	Λόγος ονομαστικής θερμικής με ονομαστική ηλεκτρική ισχύ για το μεγάλο τύπου chp. Το κατάλληλο chp προέκυψε από διαστασιολόγηση με βάση την ετήσια καμπύλη διάρκειας θερμικού φορτίου για το μεγάλο τύπο καταναλώσεων.

type_chp_hi	46.7	Ονομαστική θερμική ισχύ (Kw) που δίνει ο κατασκευαστής για το συγκεκριμένο chp, που επιλέξαμε ύστερα από διαστασιόλογηση.
type_chp_el_hi	20	Ονομαστική ηλεκτρική ισχύ (Kw) που δίνει ο κατασκευαστής για το συγκεκριμένο chp, που επιλέξαμε ύστερα από διαστασιόλογηση.
thermal_load	0.1111 0.0001 0.0001 0.0001 0.0001 0.0001 0.0556 0.1667 0.2778 0.3889 0.2778 0.1667 0.1667 0.2222 0.1667 0.1111 0.1111 0.1667 0.2728 0.4444 0.3889 0.2778 0.2222 0.1667	Ωριαίο θερμικό φορτίο για θέρμανση χώρων και ζεστό νερό χρήσης σε Kw, ανά οικία για το μεγάλο τύπο καταναλώσεων.
Month	7	Η μεταβλητή αυτή μας δείχνει το μήνα που γίνεται η προσομοίωση και τη χρησιμοποιούμε για το διαχωρισμό του θερμικού φορτίου σε ανάγκες θέρμανσης και ανάγκες για ζεστό νερό χρήσης.
inspect_module	1-30	Επιλέγοντας έναν αριθμό σ' αυτό το διάστημα που αντιστοιχεί σε οικία του μεγάλου τύπου καταναλώσεων παίρνουμε τα γραφήματα από το περιβάλλον προσομοίωσης, που μας δείχνουν τις παραγωγές και τις καταναλώσεις που έχει η κάθε οικία.
inspect_hometype	1	Η μεταβλητή αυτή μας δείχνει τον τύπο μεγάλων καταναλώσεων.
heat_load	0.0*thermal_load	24 διαφορετικές τιμές σε Kw που χωρίζουν το θερμικό φορτίο κάθε οικίας σε ανάγκες θέρμανσης.
hot_water_load	1.0*thermal_load	24 διαφορετικές τιμές σε Kw που χωρίζουν το θερμικό φορτίο κάθε οικίας σε ανάγκες για ζεστό νερό χρήσης.
ascending_mode	1	Με τιμή '1' οι συνολικές θερμικές ανάγκες καλύπτονται από το μικρότερο chp προς το μεγαλύτερο.

Για το **δεύτερο** τύπο (μεσαίο) καταναλωτών με τις μεσαίες καταναλώσεις και με φωτοβολταϊκά που έχουν εγκατεστημένη ισχύ 6Kw.

Τα δεδομένα ηλεκτρικής παραγωγής από τα ΦΒ συστήματα προέκυψαν με την χρήση του διαδικτυακού PVCalculator – PVWatts -που διατίθεται δωρεάν απο το NREL (National Renewable Energy Laboratory των ΗΠΑ)-για την πόλη των Αθηνών (Ελλάδα) και συνοψίζονται στον πίνακα που ακολουθεί:

Ώρα	Φωτεινότητα (W/m <sup>2</sup> )	Θερμοκρασία Πάνελ (°C)	DC έξοδος(W)	AC έξοδος(W)
0	0	25.2	0	0
1	0	24.4	0	0
2	0	25	0	0
3	0	24	0	0
4	0	22.4	0	0
5	9.889	22.364	53.462	19.098
6	72.923	25.328	360.721	320.47
7	244.132	30.98	1161.207	1103.099
8	467.862	36.326	2290.624	2201.131
9	685.474	41.463	3345.557	3220.204
10	857.508	44.892	4142.074	3985.456
11	960.839	54.824	4409.773	4241.839
12	1001.573	46.233	4813.986	4628.192
13	965.067	52.247	4491.659	4320.181
14	863.198	53.964	3973.55	3823.848
15	691.111	50.033	3226.72	3105.722
16	474.704	41.404	2265.4	2176.687
17	249.085	37.835	1140.934	1083.324
18	82.031	33.44	398.027	357.025
19	10.792	28.931	56.562	22.142
20	0	29	0	0
21	0	28	0	0
22	0	27.8	0	0
23	0	28	0	0

Τα DC και τα AC φορτία όλων των οικιών του μικροδικτύου θεωρήθηκαν ίσα μεταξύ τους για κάθε χρονική στιγμή του σεναρίου προσομοίωσης καθώς έχουμε διπλό δίκτυο διανομής DC και AC. Οι αθροιστικές τους τιμές συνοψίζονται και απεικονίζονται στον παρακάτω πίνακα. Είναι αναγκαίο να σημειωθεί πως οι τιμές των φορτίων προέκυψαν με χρήση των δεδομένων που διαθέτει η εταιρεία διανομής ηλεκτρικής ενέργειας ΔΕΔΔΗΕ και αφορούν μεσαίες οικιακές καταναλώσεις [66]. Για την κατανομή αυτών των τιμών σε κάθε ώρα της ημέρας χρησιμοποιήθηκε ένα άρθρο της ΚΑΠΕ [67], όπου συνοψίζουμε το προφίλ ζήτησης ισχύος της μέσης ημέρας, όπου εξηγήθηκε αναλυτικά παραπάνω.

Ώρες	Συνολικό φορτίο (AC και DC) (W)
0	832.74268
1	641.21187
2	496.31464
3	474.66333
4	449.68105
5	471.33236
6	491.31818
7	632.88444
8	816.08783
9	682.84900
10	684.84900
11	699.50386
12	766.12327
13	716.15871
14	832.74268
15	715.15871
16	719.15871
17	866.05239
18	1157.51233
19	990.96379
20	1140.85748
21	1215.80432
22	1165.83976
23	995.96379

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται το ωριαίο θερμικό φορτίο για θέρμανση χώρων και ζεστό νερό χρήσης που αφορά το μεσαίο τύπο καταναλωτών για το σύνολο των σπιτιών καθώς και για το κάθε σπίτι, για μια τυπική μέρα του καλοκαιριού που πραγματοποιείται το συγκεκριμένο σενάριο όπου οι θερμικές ανάγκες είναι αρκετά χαμηλές. Οι τιμές που αφορούν τις θερμικές καταναλώσεις για το σύνολο των σπιτιών υπολογίστηκαν βάση της αναφοράς [68] και επεξηγούνται στο προηγούμενο κεφάλαιο με βάση τον υπολογισμό της ετήσιας καμπύλης διάρκειας φορτίου που είναι απαραίτητος για την ακριβή διαστασιολόγηση της κατάλληλης μονάδας συμπαραγωγής (chp).

Ώρες ημέρας	Θερμικό φορτίο για το σύνολο των σπιτιών (Kw)	Θερμικό φορτίο ανά σπίτι (Kw)
0	2.5000	0.0833
1	0.0000	0.0000
2	0.0000	0.0000
3	0.0000	0.0000
4	0.0000	0.0000
5	0.0000	0.0000
6	1.2500	0.0417
7	3.7500	0.1250
8	6.2500	0.2083
9	8.7500	0.2917
10	6.2500	0.2083
11	3.7500	0.1250
12	3.7500	0.1250
13	5.0000	0.1667
14	3.7500	0.1250
15	2.5000	0.0833
16	2.5000	0.0833
17	3.7500	0.1250
18	6.2500	0.2083
19	10.0000	0.3333
20	8.7500	0.2917
21	6.2500	0.2083
22	5.0000	0.1667
23	3.7500	0.1250

Στον παρακάτω πίνακα αναλύεται το 2<sup>ο</sup> Hometype όπου αφορά τον δεύτερο τύπο καταναλωτών που είναι οι μεσαίοι καταναλωτές στη περίπτωση μας.

Παράμετροι	Τιμές	Σχόλια - Επεξηγήσεις
Hometype_file_version	1.0	Προετοιμάζει το σύστημα για τη δομή του αρχείου.
Homes	30	Πλήθος σπιτιών μεγάλων καταναλώσεων.
Version_pv	1.1	Με χρήση θερμοκρασιακών συντελεστών μας δίνει την απόδοση του συστήματος.
P_l_vectror_length	24	Μια τιμή ανά ώρα της ημέρας για την παραγωγή από το φωτοβολταϊκό.
P_vector	0 0 0 0 0 53.462 360.721 1161.207 2290.624 3345.557 4142.074 4409.773 4813.986 4491.659 3973.55 3226.72 2265.4 1140.934 398.027 56.562 0 0 0 0	DC έξοδος σε Watts που μας δίνει την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος του φωτοβολταϊκού 6Kw με τη βοήθεια του PV Watts Calculator για μια ημέρα ενός καλοκαιρινού μήνα.
I_vector	0 0	Χρησιμοποιώντας τη μεταβλητή bypass_P_I=1 έχουμε ενεργοποιήσει την κατάργηση των υπολογισμών φωτεινότητας γι αυτό το διάνυσμα περιέχει 24 μηδενικές τιμές.
S_panel	1.0	Μια ενδεικτική τιμή, δεν χρησιμοποιείται εφόσον έχουμε θέσει τη μεταβλητή bypass_P_I=1.
n_eff_pv	0.95	Η τιμή αυτή μας δείχνει το συντελεστή απόδοσης του φωτοβολταϊκού.
Voltage_op_pv	48	Μας δείχνει την τιμή της τάσης λειτουργίας του φωτοβολταϊκού εκφρασμένη σε Volts.
P_max_pv	6000	Μέγιστη αποδιδόμενη ισχύ του φωτοβολταϊκού σε Watts.
Temp_pv_vector	25.2 24.4 25 24 22.4 22.364 25.328 30.98 36.326 41.463 44.892 54.824 46.233 52.247 53.964 50.033 41.404 37.835 33.44 28.931 29 28 27.8 28	Τιμές Θερμοκρασίας του φωτοβολταϊκού 6Kw με τη βοήθεια του PV Watts Calculator για μια ημέρα ενός καλοκαιρινού μήνα.
Version_dc_load	1.0	Καθορίζει την έκδοση για τον τύπο της συνάρτησης dc_load.
ON/OFF_Load_State	1.0	Ενεργοποιεί το DC φορτίο σε όλες τις οικίες του συγκεκριμένου τύπου καταναλωτών.
Voltage_load_dc	48	Τάση λειτουργίας του DC φορτίου εκφρασμένη σε Volts.
R_load_dc_vector	5.5335 7.1864 9.2844 9.7080 10.2473 9.7765 9.3789 7.2810 5.6465 6.7482 6.7285 6.5875 6.0147 6.4343 5.5335 6.4433 6.4075 5.3207 3.9810 4.6500 4.0391 3.7901 3.9525 4.6267	Υπολογισμένο διάνυσμα αντιστάσεων για τα DC φορτία κάθε οικίας του τύπου μεσαίων καταναλωτών. Οι τιμές αυτές υπολογίζονται χρησιμοποιώντας την υποσυνάρτηση middle_of_dc_load_calc.m που δέχεται ως εισόδους τις τιμές ισχύος που καταναλίσκονται επί των DC φορτίων κατά τη διάρκεια του 24ώρου που πραγματοποιείται η προσομοίωση και την τάση λειτουργίας του DC φορτίου .
Version_ac_load	1.0	Καθορίζει την έκδοση για τον τύπο της συνάρτησης ac_load.

ON/OFF_Load_State	1.0	Ενεργοποιεί το AC φορτίο σε όλες τις οικίες του συγκεκριμένου τύπου καταναλωτών.
Voltage_load_ac	230	Τάση λειτουργίας του AC φορτίου εκφρασμένη σε Volts.
R_load_ac_vector	120.6976 156.7505 208.9081 218.4375 223.5145 213.2467 183.0383 147.1107 116.6789 139.4454 152.9420 149.7380 136.7171 140.3461 120.6976 140.5424 132.4048 109.9472 80.4346 101.4267 88.1005 85.2802 88.9352 100.9175	Υπολογισμένο διάνυσμα αντιστάσεων για τα AC φορτία κάθε οικίας του τύπου μεσαίων καταναλωτών. Οι τιμές αυτές υπολογίζονται χρησιμοποιώντας την υποσυνάρτηση middle_of_ac_load_calc.m που δέχεται ως εισόδους τις τιμές ισχύος που καταναλίσκονται επί των AC φορτίων κατά τη διάρκεια του 24ώρου που πραγματοποιείται η προσομοίωση, την τάση λειτουργίας του AC φορτίου καθώς και το συντελεστή ισχύος που είναι απαραίτητος για τον υπολογισμό του διανύσματος R_load_ac_vector και παίρνει τιμές από 0.89-0.99.
X_load_ac_vector	39.6714 51.5214 42.4206 44.3556 73.4657 70.0908 113.4369 79.4019 56.5102 67.5365 21.7930 21.3365 19.4811 46.1295 39.6714 46.1940 64.1266 53.2499 43.4140 33.3373 28.9572 17.3169 18.0591 33.1700	Υπολογισμένο διάνυσμα αντιστάσεων για τα AC φορτία κάθε οικίας του τύπου μεσαίων καταναλωτών. Οι τιμές αυτές υπολογίζονται χρησιμοποιώντας την υποσυνάρτηση middle_of_ac_load_calc.m που δέχεται ως εισόδους τις τιμές ισχύος που καταναλίσκονται επί των AC φορτίων κατά τη διάρκεια του 24ώρου που πραγματοποιείται η προσομοίωση, την τάση λειτουργίας του AC φορτίου καθώς και το συντελεστή ισχύος που είναι απαραίτητος για τον υπολογισμό του διανύσματος X_load_ac_vector και παίρνει τιμές από 0.89-0.99.
Version_hems	1.1	Μας δίνει την έκδοση της συνάρτησης hems.m που χρησιμοποιείται από το περιβάλλον προσομοίωσης για τον έλεγχο της ενέργειας στην κάθε οικία. Η έκδοση είναι 1.1 γιατί σε κάθε οικία έχουμε ηλεκτρική ισχύ από φωτοβολταϊκό και από τη μονάδα συμπαραγωγής και αν σε κάθε βήμα προσομοίωσης δεν καλύπτονται τα συνολικά φορτία της οικίας επικοινωνούν στο σύνολό τους με τον διαχειριστή του μικροδικτύου και αν δεν μπορεί να τα καλύψει και από τους συσσωρευτές αγοράζονται από το εξωτερικό δίκτυο.
Time_start	0.0	Χρόνος έναρξης της προσομοίωσης
Time_stop	23.99	Χρόνος λήξης της προσομοίωσης
Time_step	0.1	Βήμα προσομοίωσης
I_calc_version	1.0	Έκδοση για τον υπολογισμό της φωτεινότητας, που όμως δεν χρησιμοποιείται γιατί έχουμε θέσει τη μεταβλητή bypass_P_I=1.



n_hems	0.95	Συντελεστής hems για μετατροπή ηλεκτρικής ενέργειας που όταν χρειάζεται ζητάει και όταν περισσεύει δίνει στους συσσωρευτές και κατ'επέκταση στο διαχειριστή του μικροδικτύου.
version_nems	1.0	Ορίζει την έκδοση της συνάρτησης nems.m που χρησιμοποιείται από το περιβάλλον προσομοίωσης.
P_min	0	Ελάχιστη ισχύς διαθέσιμη από το εξωτερικό δίκτυο.
P_max	23000	Μέγιστη ισχύς διαθέσιμη από το εξωτερικό δίκτυο.
n_nems	0.88	Συντελεστής μετατροπής ισχύς στο επίπεδο του διαχειριστή του μικροδικτύου.
Soc_Init	0.60	Αρχικό επίπεδο φόρτισης των συσσωρευτών.
version_batt	1.1	Η μεταβλητή ορίζει την έκδοση της συνάρτησης battery.m που χρησιμοποιείται από το περιβάλλον προσομοίωσης.
Voltage_chg	48	Τάση διεπαφής φόρτισης της μπαταρίας.
Voltage_cons	200	Τάση διεπαφής κατανάλωσης της μπαταρίας.
n_chg	0.85	Συντελεστής φόρτισης της μπαταρίας.
Q_max	50000000	Μέγιστο φορτίο των συσσωρευτών σε Coulombs.
version_chp	1.0	Ορίζει την έκδοση που χρησιμοποιείται για τις συναρτήσεις chp_unit.m και chp_electricity_unit.m από το περιβάλλον προσομοίωσης σε κάθε βήμα προσομοίωσης.
ON_chp	1.0	Ενεργοποιεί το θερμικό φορτίο σε όλες τις οικίες του συγκεκριμένου τύπου καταναλωτών.
use_chp_ac_prov	'n' or 'y'	Όταν η μεταβλητή έχει τιμή 'n' καλείται μόνο η συνάρτηση chp_unit.m από το περιβάλλον προσομοίωσης που σημαίνει ότι και τα 3 chp που έχουμε υλοποιήσει χρησιμοποιούνται μόνο για την κάλυψη του θερμικού φορτίου βάσης. Όταν η μεταβλητή έχει τιμή 'y' καλείται μόνο η συνάρτηση chp_electricity_unit.m από το περιβάλλον προσομοίωσης που σημαίνει ότι και τα 3 chp που έχουμε υλοποιήσει χρησιμοποιούνται μόνο για την κάλυψη του ηλεκτρικού φορτίου βάσης.
n_chp_md	0.88	Συντελεστής παραγωγής για το μεσαίου τύπου chp.
hpr_md	2.206	Λόγος ονομαστικής θερμικής με ονομαστική ηλεκτρική ισχύ για το μεσαίου τύπου chp. Το κατάλληλο chp προέκυψε από διαστασιολόγηση με βάση την ετήσια καμπύλη διάρκειας θερμικού φορτίου για το

		μεσαίο τύπο καταναλώσεων.
type_chp_md	35.3	Ονομαστική θερμική ισχύ (Kw) που δίνει ο κατασκευαστής για το συγκεκριμένο chp, που επιλέξαμε ύστερα από διαστασιόλογηση.
type_chp_el_md	16	Ονομαστική ηλεκτρική ισχύ (Kw) που δίνει ο κατασκευαστής για το συγκεκριμένο chp, που επιλέξαμε ύστερα από διαστασιόλογηση.
thermal_load	0.0833 0.0001 0.0001 0.0001 0.0001 0.0001 0.0417 0.1250 0.2083 0.2917 0.2083 0.1250 0.1250 0.1667 0.1250 0.0833 0.0833 0.1250 0.2083 0.3333 0.2917 0.2083 0.1667 0.1250	Ωριαίο θερμικό φορτίο για θέρμανση χώρων και ζεστό νερό χρήσης σε Kw, ανά οικία για το μεσαίο τύπο καταναλώσεων.
Month	7	Η μεταβλητή αυτή μας δείχνει το μήνα που γίνεται η προσομοίωση και τη χρησιμοποιούμε για το διαχωρισμό του θερμικού φορτίου σε ανάγκες θέρμανσης και ανάγκες για ζεστό νερό χρήσης.
inspect_module	31-60	Επιλέγοντας έναν αριθμό σ' αυτό το διάστημα που αντιστοιχεί σε οικία του μεσαίου τύπου καταναλώσεων παίρνουμε τα γραφήματα από το περιβάλλον προσομοίωσης, που μας δείχνουν τις παραγωγές και τις καταναλώσεις που έχει η κάθε οικία.
inspect_hometype	2	Η μεταβλητή αυτή μας δείχνει τον τύπο μεσαίων καταναλώσεων.
heat_load	0.0*thermal_load	24 διαφορετικές τιμές σε Kw που χωρίζουν το θερμικό φορτίο κάθε οικίας σε ανάγκες θέρμανσης.
hot_water_load	1.0*thermal_load	24 διαφορετικές τιμές σε Kw που χωρίζουν το θερμικό φορτίο κάθε οικίας σε ανάγκες για ζεστό νερό χρήσης.
ascending_mode	1	Με τιμή '1' οι συνολικές θερμικές ανάγκες καλύπτονται από το από το μικρότερο chp προς το μεγαλύτερο.

Για τον **τρίτο**(μικρό) τύπο καταναλωτών με τις μικρές καταναλώσεις και με φωτοβολταϊκά που έχουν εγκατεστημένη ισχύ 3Kw.

Τα δεδομένα ηλεκτρικής παραγωγής από τα ΦΒ συστήματα προέκυψαν με την χρήση του διαδικτυακού PVCalculator – PVWatts -που διατίθεται δωρεάν απο το NREL (National Renewable Energy Laboratory των ΗΠΑ)-για την πόλη των Αθηνών (Ελλάδα) και συνοψίζονται στον πίνακα που ακολουθεί:

Ώρα	Φωτεινότητα (W/m <sup>2</sup> )	Θερμοκρασία Πάνελ (°C)	DC έξοδος(W)	AC έξοδος(W)
0	0	25.2	0	0
1	0	24.4	0	0
2	0	25	0	0
3	0	24	0	0
4	0	22.4	0	0
5	9.889	22.364	26.731	9.549
6	72.923	25.328	180.36	160.235
7	244.132	30.98	580.604	551.55
8	467.862	36.326	1145.312	1100.565
9	685.474	41.463	1672.779	1610.102
10	857.508	44.892	2071.037	1992.728
11	960.839	54.824	2204.887	2120.919
12	1001.573	46.233	2406.993	2314.096
13	965.067	52.247	2245.83	2160.091
14	863.198	53.964	1986.775	1911.924
15	691.111	50.033	1613.36	1552.861
16	474.704	41.404	1132.7	1088.343
17	249.085	37.835	570.467	541.662
18	82.031	33.44	199.014	178.512
19	10.792	28.931	28.281	11.071
20	0	29	0	0
21	0	28	0	0
22	0	27.8	0	0
23	0	28	0	0

Τα DC και τα AC φορτία όλων των οικιών του μικροδικτύου θεωρήθηκαν ίσα μεταξύ τους για κάθε χρονική στιγμή του σεναρίου προσομοίωσης καθώς έχουμε διπλό δίκτυο διανομής DC και AC. Οι αθροιστικές τους τιμές συνοψίζονται και απεικονίζονται στον παρακάτω πίνακα. Είναι αναγκαίο να σημειωθεί πως οι τιμές των φορτίων προέκυψαν με χρήση των δεδομένων που διαθέτει η εταιρεία διανομής ηλεκτρικής ενέργειας ΔΕΔΔΗΕ και αφορούν μικρές οικιακές καταναλώσεις [66]. Για την κατανομή αυτών των τιμών σε κάθε ώρα της ημέρας χρησιμοποιήθηκε ένα άρθρο της ΚΑΠΕ [67], όπου συνοψίζουμε το προφίλ ζήτησης ισχύος της μέσης ημέρας, όπου επεξηγήθηκε αναλυτικά παραπάνω.

Ώρες	Συνολικό φορτίο (AC και DC) (W)
0	500.16077
1	385.12379
2	298.09582
3	285.09164
4	270.08682
5	283.09100
6	295.09486
7	380.12219
8	490.15756
9	410.13183
10	413.27394
11	420.13505
12	460.14791
13	430.13826
14	500.16077
15	432.21226
16	435.37511
17	520.16720
18	695.22347
19	604.39158
20	685.22026
21	730.23473
22	700.22508
23	595.19132

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται το ωριαίο θερμικό φορτίο για θέρμανση χώρων και ζεστό νερό χρήσης που αφορά το μικρό τύπο καταναλωτών για το σύνολο των σπιτιών καθώς και για το κάθε σπίτι, για μια τυπική μέρα του καλοκαιριού που πραγματοποιείται το συγκεκριμένο σενάριο όπου οι θερμικές ανάγκες είναι ιδιαίτερα χαμηλές. Οι τιμές που αφορούν τις θερμικές καταναλώσεις για το σύνολο των σπιτιών υπολογίστηκαν βάση της αναφοράς [68] και επεξηγούνται στο προηγούμενο κεφάλαιο με βάση τον υπολογισμό της ετήσιας καμπύλης διάρκειας φορτίου που είναι απαραίτητος για την ακριβή διαστασιολόγηση της κατάλληλης μονάδας συμπαραγωγής (chr).

Ώρες ημέρας	Θερμικό φορτίο για το σύνολο των σπιτιών (Kw)	Θερμικό φορτίο ανά σπίτι (Kw)
0	1.6667	0.0556
1	0.0000	0.0000
2	0.0000	0.0000
3	0.0000	0.0000
4	0.0000	0.0000
5	0.0000	0.0000
6	0.8333	0.0278
7	2.5000	0.0833
8	4.1667	0.1389
9	5.8333	0.1944
10	4.1667	0.1389
11	2.5000	0.0833
12	2.5000	0.0833
13	3.3333	0.1111
14	2.5000	0.0833
15	1.6667	0.0556
16	1.6667	0.0556
17	2.5000	0.0833
18	4.1667	0.1389
19	6.6667	0.2222
20	5.8333	0.1944
21	4.1667	0.1389
22	3.3333	0.1111
23	2.5000	0.0833

Στον παρακάτω πίνακα αναλύεται το 3<sup>ο</sup> Hometype όπου αφορά τον τρίτο τύπο καταναλωτών που είναι οι μικροί καταναλωτές στη περίπτωση μας.

Παράμετροι	Τιμές	Σχόλια - Επεξηγήσεις
Hometype_file_version	1.0	Προετοιμάζει το σύστημα για τη δομή του αρχείου.
Homes	30	Πλήθος σπιτιών μεγάλων καταναλώσεων.
Version_pv	1.1	Με χρήση θερμοκρασιακών συντελεστών μας δίνει την απόδοση του συστήματος.
P_l_vectror_length	24	Μια τιμή ανά ώρα της ημέρας για την παραγωγή από το φωτοβολταϊκό.
P_vector	0 0 0 0 0 26.731 180.36 580.604 1145.312 1672.779 2071.037 2204.887 2406.993 2245.83 1986.775 1613.36 1132.7 570.467 199.014 28.281 0 0 0 0	DC έξοδος σε Watts που μας δίνει την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος του φωτοβολταϊκού 3Kw με τη βοήθεια του PV Watts Calculator για μια ημέρα ενός καλοκαιρινού μήνα.
I_vector	0 0	Χρησιμοποιώντας τη μεταβλητή bypass_P_l=1 έχουμε ενεργοποιήσει την κατάργηση των υπολογισμών φωτεινότητας γι αυτό το διάνυσμα περιέχει 24 μηδενικές τιμές.
S_panel	1.0	Μια ενδεικτική τιμή, δεν χρησιμοποιείται εφόσον έχουμε θέσει τη μεταβλητή bypass_P_l=1.
n_eff_pv	0.95	Η τιμή αυτή μας δείχνει το συντελεστή απόδοσης του φωτοβολταϊκού.
Voltage_op_pv	48	Μας δείχνει την τιμή της τάσης λειτουργίας του φωτοβολταϊκού εκφρασμένη σε Volts.
P_max_pv	3000	Μέγιστη αποδιδόμενη ισχύ του φωτοβολταϊκού σε Watts.
Temp_pv_vector	25.2 24.4 25 24 22.4 22.364 25.328 30.98 36.326 41.463 44.892 54.824 46.233 52.247 53.964 50.033 41.404 37.835 33.44 28.931 29 28 27.8 28	Τιμές Θερμοκρασίας του φωτοβολταϊκού 3Kw με τη βοήθεια του PV Watts Calculator για μια ημέρα ενός καλοκαιρινού μήνα.
Version_dc_load	1.0	Καθορίζει την έκδοση για τον τύπο της συνάρτησης dc_load.
ON/OFF_Load_State	1.0	Ενεργοποιεί το DC φορτίο σε όλες τις οικίες του συγκεκριμένου τύπου καταναλωτών.
Voltage_load_dc	48	Τάση λειτουργίας του DC φορτίου εκφρασμένη σε Volts.
R_load_dc_vector	9.2131 11.9650 15.4582 16.1633 17.0612 16.2775 15.6154 12.1224 9.4011 11.2355 11.1500 10.9679 10.0142 10.7128 9.2131 10.6614 10.5840 8.8587 6.6281 7.6242 6.7248 6.3103 6.5808 7.7421	Υπολογισμένο διάνυσμα αντιστάσεων για τα DC φορτία κάθε οικίας του τύπου μικρών καταναλωτών. Οι τιμές αυτές υπολογίζονται χρησιμοποιώντας την υποσυνάρτηση low_of_dc_load_calc.m που δέχεται ως εισόδους τις τιμές ισχύος που καταναλώνονται επί των DC φορτίων κατά τη διάρκεια του 24ώρου που πραγματοποιείται η προσομοίωση και την τάση λειτουργίας του DC φορτίου .
Version_ac_load	1.0	Καθορίζει την έκδοση για τον τύπο της συνάρτησης ac_load.
ON/OFF_Load_State	1.0	Ενεργοποιεί το AC φορτίο σε όλες τις οικίες

		του συγκεκριμένου τύπου καταναλωτών.
Voltage_load_ac	230	Τάση λειτουργίας του AC φορτίου εκφρασμένη σε Volts.
R_load_ac_vector	200.9557 260.9822 347.8232 363.6887 372.1407 355.0461 304.7504 244.9319 194.2647 232.1703 253.4457 249.3062 227.6278 233.6692 200.9557 232.5479 218.7085 183.0569 133.9198 166.2999 146.6828 141.9874 148.0726 168.8704	Υπολογισμένο διάνυσμα αντιστάσεων για τα AC φορτία κάθε οικίας του τύπου μικρών καταναλωτών. Οι τιμές αυτές υπολογίζονται χρησιμοποιώντας την υποσυνάρτηση low_of_ac_load_calc.m που δέχεται ως εισόδους τις τιμές ισχύος που καταναλίσκονται επί των AC φορτίων κατά τη διάρκεια του 24ώρου που πραγματοποιείται η προσομοίωση, την τάση λειτουργίας του AC φορτίου καθώς και το συντελεστή ισχύος που είναι απαραίτητος για τον υπολογισμό του διανύσματος R_load_ac_vector και παίρνει τιμές από 0.89-0.99.
X_load_ac_vector	66.0509 85.7807 70.6285 73.8501 122.3167 116.6980 188.8673 132.2002 94.0867 112.4452 36.1141 35.5242 32.4352 76.8034 66.0509 76.4348 105.9254 88.6585 72.2823 54.6601 48.2123 28.8318 30.0674 55.5050	Υπολογισμένο διάνυσμα αντιστάσεων για τα AC φορτία κάθε οικίας του τύπου μικρών καταναλωτών. Οι τιμές αυτές υπολογίζονται χρησιμοποιώντας την υποσυνάρτηση low_of_ac_load_calc.m που δέχεται ως εισόδους τις τιμές ισχύος που καταναλίσκονται επί των AC φορτίων κατά τη διάρκεια του 24ώρου που πραγματοποιείται η προσομοίωση, την τάση λειτουργίας του AC φορτίου καθώς και το συντελεστή ισχύος που είναι απαραίτητος για τον υπολογισμό του διανύσματος X_load_ac_vector και παίρνει τιμές από 0.89-0.99.
Version_hems	1.1	Μας δίνει την έκδοση της συνάρτησης hems.m που χρησιμοποιείται από το περιβάλλον προσομοίωσης για τον έλεγχο της ενέργειας στην κάθε οικία. Η έκδοση είναι 1.1 γιατί σε κάθε οικία έχουμε ηλεκτρική ισχύ από φωτοβολταϊκό και από τη μονάδα συμπαραγωγής και αν σε κάθε βήμα προσομοίωσης δεν καλύπτονται τα συνολικά φορτία της οικίας επικοινωνούν στο σύνολό τους με τον διαχειριστή του μικροδικτύου και αν δεν μπορεί να τα καλύψει και από τους συσσωρευτές αγοράζονται από το εξωτερικό δίκτυο.
Time_start	0.0	Χρόνος έναρξης της προσομοίωσης
Time_stop	23.99	Χρόνος λήξης της προσομοίωσης
Time_step	0.1	Βήμα προσομοίωσης
I_calc_version	1.0	Έκδοση για τον υπολογισμό της φωτεινότητας, που όμως δεν χρησιμοποιείται γιατί έχουμε θέσει τη μεταβλητή bypass_P_I=1.
n_hems	0.95	Συντελεστής hems για μετατροπή

		ηλεκτρικής ενέργειας που όταν χρειάζεται ζητάει και όταν περισσεύει δίνει στους συσσωρευτές και κατ'επέκταση στο διαχειριστή του μικροδικτύου.
version_nems	1.0	Ορίζει την έκδοση της συνάρτησης nems.m που χρησιμοποιείται από το περιβάλλον προσομοίωσης.
P_min	0	Ελάχιστη ισχύς διαθέσιμη από το εξωτερικό δίκτυο.
P_max	23000	Μέγιστη ισχύς διαθέσιμη από το εξωτερικό δίκτυο.
n_nems	0.88	Συντελεστής μετατροπής ισχύς στο επίπεδο του διαχειριστή του μικροδικτύου.
Soc_Init	0.60	Αρχικό επίπεδο φόρτισης των συσσωρευτών.
version_batt	1.1	Η μεταβλητή ορίζει την έκδοση της συνάρτησης battery.m που χρησιμοποιείται από το περιβάλλον προσομοίωσης.
Voltage_chg	48	Τάση διεπαφής φόρτισης της μπαταρίας.
Voltage_cons	200	Τάση διεπαφής κατανάλωσης της μπαταρίας.
n_chg	0.85	Συντελεστής φόρτισης της μπαταρίας.
Q_max	50000000	Μέγιστο φορτίο των συσσωρευτών σε Coulombs.
version_chp	1.0	Ορίζει την έκδοση που χρησιμοποιείται για τις συναρτήσεις chp_unit.m και chp_electricity_unit.m από το περιβάλλον προσομοίωσης σε κάθε βήμα προσομοίωσης.
ON_chp	1.0	Ενεργοποιεί το θερμικό φορτίο σε όλες τις οικίες του συγκεκριμένου τύπου καταναλωτών.
use_chp_ac_prov	'n' or 'y'	Όταν η μεταβλητή έχει τιμή 'n' καλείται μόνο η συνάρτηση chp_unit.m από το περιβάλλον προσομοίωσης που σημαίνει ότι και τα 3 chp που έχουμε υλοποιήσει χρησιμοποιούνται μόνο για την κάλυψη του θερμικού φορτίου βάσης. Όταν η μεταβλητή έχει τιμή 'y' καλείται μόνο η συνάρτηση chp_electricity_unit.m από το περιβάλλον προσομοίωσης που σημαίνει ότι και τα 3 chp που έχουμε υλοποιήσει χρησιμοποιούνται μόνο για την κάλυψη του ηλεκτρικού φορτίου βάσης.
n_chp_lo	0.9	Συντελεστής παραγωγής για το μικρό τύπου chp.
hpr_lo	2.333	Λόγος ονομαστικής θερμικής με ονομαστική ηλεκτρική ισχύ για το μικρό τύπου chp. Το κατάλληλο chp προέκυψε από διαστασιολόγηση με βάση την ετήσια καμπύλη διάρκειας θερμικού φορτίου για το μικρό τύπο καταναλώσεων.



type_chp_lo	28	Ονομαστική θερμική ισχύ (Kw) που δίνει ο κατασκευαστής για το συγκεκριμένο chp, που επιλέξαμε ύστερα από διαστασιολόγηση.
type_chp_el_lo	12	Ονομαστική ηλεκτρική ισχύ (Kw) που δίνει ο κατασκευαστής για το συγκεκριμένο chp, που επιλέξαμε ύστερα από διαστασιολόγηση.
thermal_load	0.0556 0.0001 0.0001 0.0001 0.0001 0.0001 0.0278 0.0833 0.1389 0.1944 0.1389 0.0833 0.0833 0.1111 0.0833 0.0556 0.0556 0.0833 0.1389 0.2222 0.1944 0.1389 0.1111 0.0833	Οριαίο θερμικό φορτίο για θέρμανση χώρων και ζεστό νερό χρήσης σε Kw, ανά οικία για το μικρό τύπο καταναλώσεων.
Month	7	Η μεταβλητή αυτή μας δείχνει το μήνα που γίνεται η προσομοίωση και τη χρησιμοποιούμε για το διαχωρισμό του θερμικού φορτίου σε ανάγκες θέρμανσης και ανάγκες για ζεστό νερό χρήσης.
inspect_module	61-90	Επιλέγοντας έναν αριθμό σ' αυτό το διάστημα που αντιστοιχεί σε οικία του μικρού τύπου καταναλώσεων παίρνουμε τα γραφήματα από το περιβάλλον προσομοίωσης, που μας δείχνουν τις παραγωγές και τις καταναλώσεις που έχει η κάθε οικία.
inspect_hometype	3	Η μεταβλητή αυτή μας δείχνει τον τύπο μικρών καταναλώσεων.
heat_load	0.0*thermal_load	24 διαφορετικές τιμές σε Kw που χωρίζουν το θερμικό φορτίο κάθε οικίας σε ανάγκες θέρμανσης.
hot_water_load	1.0*thermal_load	24 διαφορετικές τιμές σε Kw που χωρίζουν το θερμικό φορτίο κάθε οικίας σε ανάγκες για ζεστό νερό χρήσης.
ascending_mode	1	Με τιμή '1' οι συνολικές θερμικές ανάγκες καλύπτονται από το μικρότερο chp προς το μεγαλύτερο.

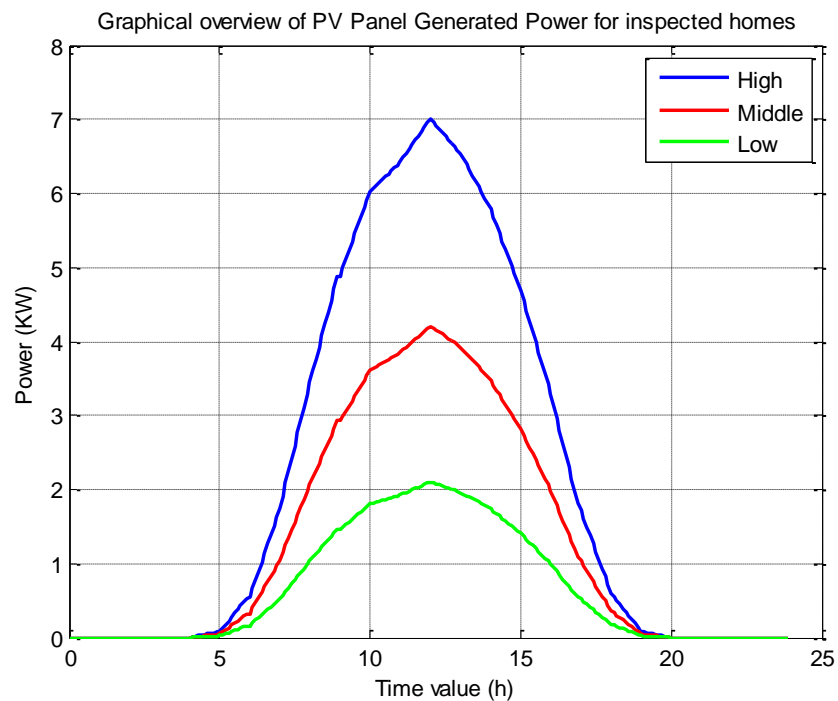
### 7.3.2 Στόχος Σεναρίου Προσομοίωσης Θερμικής Λειτουργίας ΣΗΘ

Ο στόχος του συγκεκριμένου σεναρίου είναι η κάλυψη ηλεκτρικών και θερμικών αναγκών 30 οικιών τριών διαφορετικών τύπων, δηλαδή 90 οικιών, οι οποίες μετέχουν στη δομή ενός μικροδικτύου με χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων, μονάδων συμπαραγωγής ύστερα από κατάλληλη διαστασιολόγηση και boiler. Λόγω της υψηλής παραγωγής των Φ/Β κατά την διάρκεια της καλοκαιρινής ημέρας σε συνδυασμό με τις μειωμένες ηλεκτρικές απαιτήσεις της κατανάλωσης, αναμένουμε σημαντική ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας για κάλυψη των αναγκών του μικροδικτύου, η οποία θα πρέπει να καλυφθεί κατά ένα μέρος από την υπάρχουσα ισχύ των συσσωρευτών, την προσφερόμενη ηλεκτρική ισχύ από τα ΦΒ, την εξωτερικά παρεχόμενη ισχύ από το δίκτυο και λιγότερο από την ισχύ που προκύπτει από την θερμική λειτουργία των μονάδων CHPs, εφόσον είναι κατά πολύ μειωμένες οι θερμικές ανάγκες όπως ορίζει το συγκεκριμένο σενάριο. Τα θερμικά

φορτία αναμένεται να καλυφθούν στο συνολό τους από τις μονάδες των CHPs ενώ δεν θα υπάρχει πλεόνασμα και το boiler δεν θα λειτουργήσει. Σ' αυτό το σενάριο παίρνουμε σημαντικά ποσά ισχύος από το εξωτερικό δίκτυο. Τέλος, αναμένουμε τις ώρες λειτουργίας των φωτοβολταϊκών πλεονάζουσα ισχύ του μικροδικτύου λόγω της υψηλής παραγωγής από τα φωτοβολταϊκά.

### 7.3.3 Αποτελέσματα Σεναρίου Προσομοίωσης Θερμικής Λειτουργίας ΣΗΘ

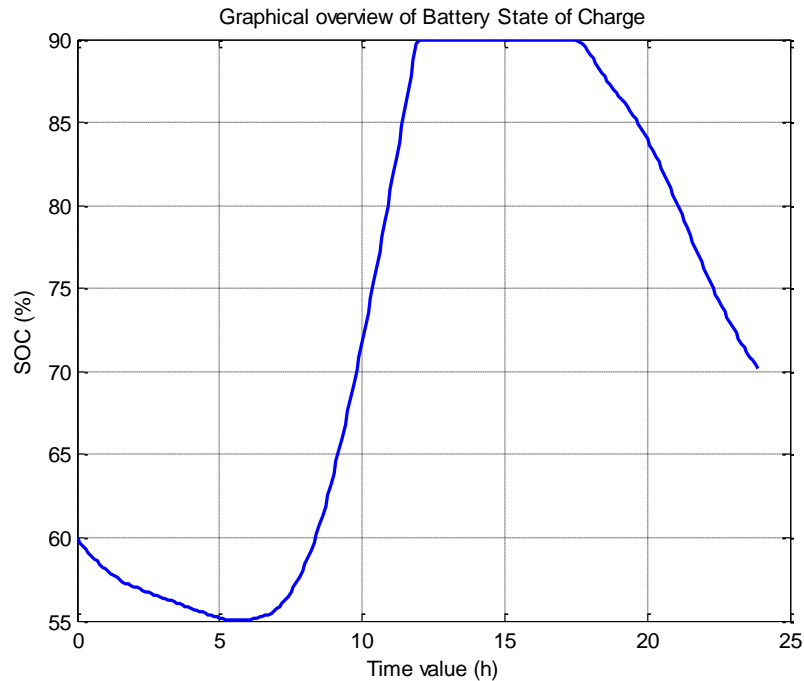
Τα αποτελέσματα από το σενάριο προσομοίωσης που πραγματοποιήσαμε για καλοκαιρινό μήνα με υψηλή παραγωγή από τα φωτοβολταϊκά σε συνδυασμό με μειωμένα φορτία κατανάλωσης και μειωμένες θερμικές ανάγκες απεικονίζονται στα παρακάτω γραφήματα. Είναι αναγκαίο να γίνει γνωστό ότι έχουμε τρεις διαφορετικούς τύπους καταναλωτών με τρεις διαφορετικές καταναλώσεις (ηλεκτρικές και θερμικές) και με φωτοβολταϊκά που έχουν εγκατεστημένη ισχύ 10Kw για τη μεγάλη κατηγορία, 6Kw για τη μεσαία και 3Kw για τη μικρή κατηγορία.



**Σχήμα 7.27:** Γράφημα για την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος από 3 είδη Φ/Β για ένα σπίτι κάθε κατηγορίας

Από το διάγραμμα παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος που ανήκει σε μία από τους τρεις διαφορετικούς τύπους οικιών του μικροδικτύου, παρατηρούμε ότι εμφανίζεται μία μονότονη αυξητική συμπεριφορά στα παραγόμενα ποσά ενέργειας καθώς διερχόμαστε από τις πρωινές ώρες της ημέρας προς την διάρκεια των μεσημβρινών ωρών. Οι μέγιστες τιμές στην παραγωγή ισχύος που εμφανίζονται στο παραπάνω διάγραμμα ανέρχονται σε τιμή 7 kW, 4.2 kW και 2.1 kW για φωτοβολταϊκά με εγκατεστημένη ισχύ 10 kW, 6 kW και 3 kW αντίστοιχα, οι οποίες είναι συνηφασμένες με τα υψηλότερα επίπεδα παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος για καλοκαιρινή ημέρα που χαρακτηρίζει και τον τύπο του συγκεκριμένου σεναρίου προσομοίωσης. Στην συνέχεια καθώς απομακρυνόμαστε από το μέγιστο των μεσημβρινών ωρών, το σύστημα παραγωγής εμφανίζει μία μονοτονικά φθίνουσα συμπεριφορά, η οποία δικαιολογείται από την φάση δύσεως του ηλίου για

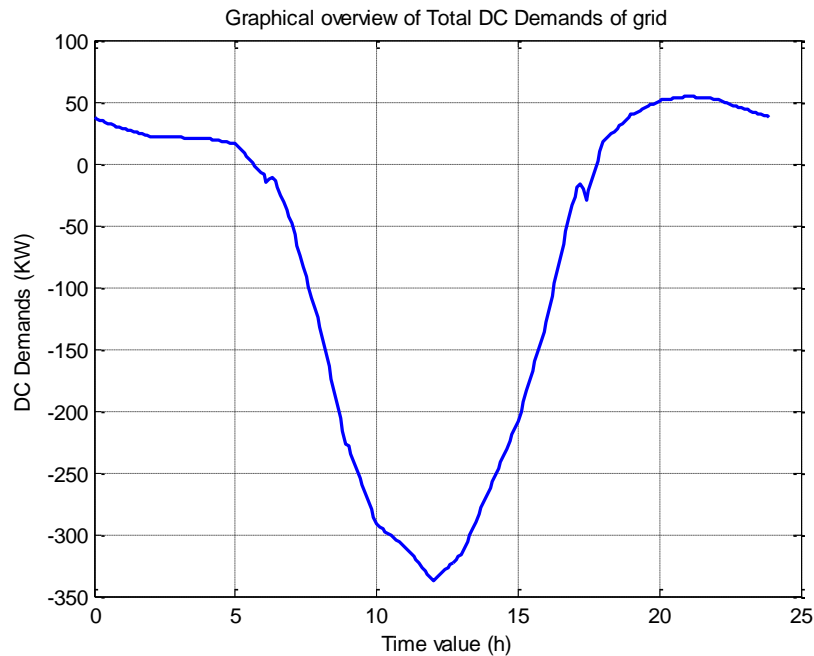
το γεωγραφικό πλάτος της πόλης των Αθηνών, όπου θεωρούμε ότι είναι εγκατεστημένο το μικροδίκτυο παραγωγής. Οι ελάχιστες τιμές παραγωγής ισχύος καταλήγουν στο μηδέν αργά το απόγευμα περίπου μετά τις 7μ.μ.



**Σχήμα 7.28:** Γράφημα για την κατάσταση φόρτισης (SOC) των συσσωρευτών του μικροδικτύου

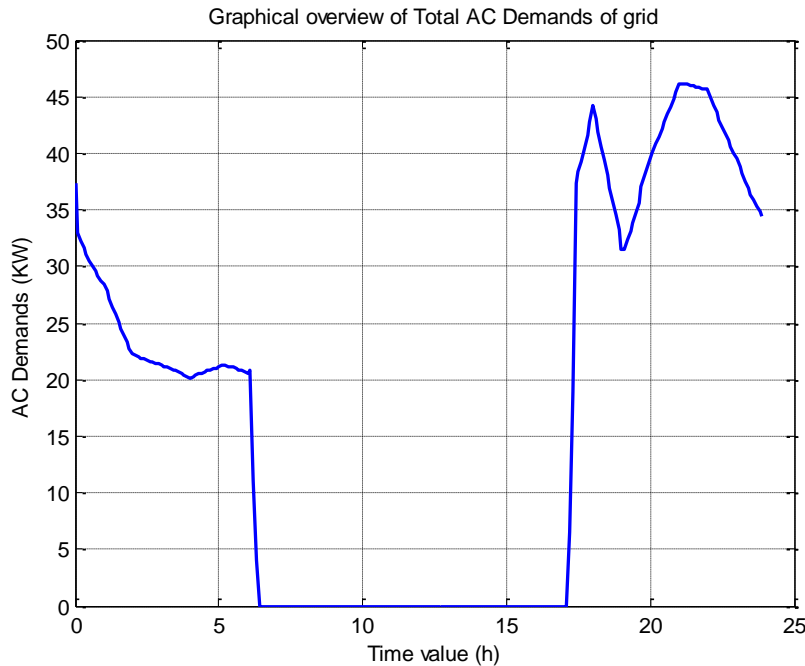
Από το διάγραμμα φόρτισης των συσσωρευτών του μικροδικτύου παρατηρούμε ότι κατά τη χρονική εκτέλεση του σεναρίου το σύστημα εκκινεί με τιμή ποσοστού φόρτισης 60%. Κατά τις αρχικές πρωϊνές ώρες της προσομοίωσης το σύστημα αποδίδει ενέργεια από τους συσσωρευτές για την κάλυψη των αναγκών ισχύος του μικροδικτύου, διότι στη φάση αυτή τα φωτοβολταϊκά συστήματα δεν αποδίδουν ακόμη ενέργεια προς το σύστημα και έχουμε πολύ μικρή παροχή ηλεκτρικής ισχύος από τις μονάδες συμπαραγωγής διότι έχουμε μειωμένες θερμικές ανάγκες των χρηστών του μικροδικτύου λόγω καλοκαιριού, όπως ορίζει και το συγκεκριμένο σενάριο προσομοίωσης. Η φάση αυτή καταλήγει σε ένα ποσοστό φόρτισης της τάξης του 55% για τους συσσωρευτές του συστήματος. Γύρω στις 12μ.μ, όπου η παροχή ισχύος από τα φωτοβολταϊκά συστήματα του μικροδικτύου είναι υψηλή και σημαντική για τη λειτουργία του μικροδικτύου, η φόρτιση των συσσωρευτών οδηγείται στο μέγιστο επιτρεπτό επίπεδο φόρτισης που έχουμε ορίσει το 90%. Η τιμή αυτή επιλέχθηκε για να βοηθήσει τους συσσωρευτές του μικροδικτύου ώστε να εμφανίσουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής αποφεύγοντας μια πλήρη φόρτιση 100% η οποία μπορεί να οδηγήσει σε υπερφόρτιση καταστρέφοντας τις συστοιχίες των συσσωρευτών. Το ποσοστό αυτό θα διατηρηθεί καθόλη τη διάρκεια της ημέρας όπου υπάρχει μέγιστη προσφορά ισχύος από τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Αντίστοιχα όπως θα γίνει εμφανές, αυτές τις ώρες η πλεονάζουσα παραγόμενη ισχύς η οποία δεν μπορεί να διοχετευθεί σε κατανάλωση ή προς τους συσσωρευτές, αποδεσμεύεται ως περίσσεια ισχύος Spare Power την οποία μπορεί ο διαχειριστής να πουλήσει στην εταιρεία διανομής ηλεκτρικής ενέργειας ή να τη διαθέσει για να καλύψει ανάγκες φωτισμού σε δημόσιους και κοινόχρηστους χώρους. Τις απογευματινές ώρες η παρεχόμενη ενέργεια από τα

φωτοβολταϊκά συστήματα δεν επαρκεί για να διατηρήσει τα επίπεδα φόρτισης των συσσωρευτών και κατά κύριο λόγο η παραγόμενη ισχύς διατίθεται για την κάλυψη των φορτίων του μικροδικτύου. Τα επίπεδα φόρτισης των συσσωρευτών μετά τις απογευματινές ώρες εμφανίζονται να μειώνονται όπου στο τέλος της προσομοίωσης καταλήγουν σε ένα επίπεδο φόρτισης λίγο υψηλότερο της τάξης του 70%.



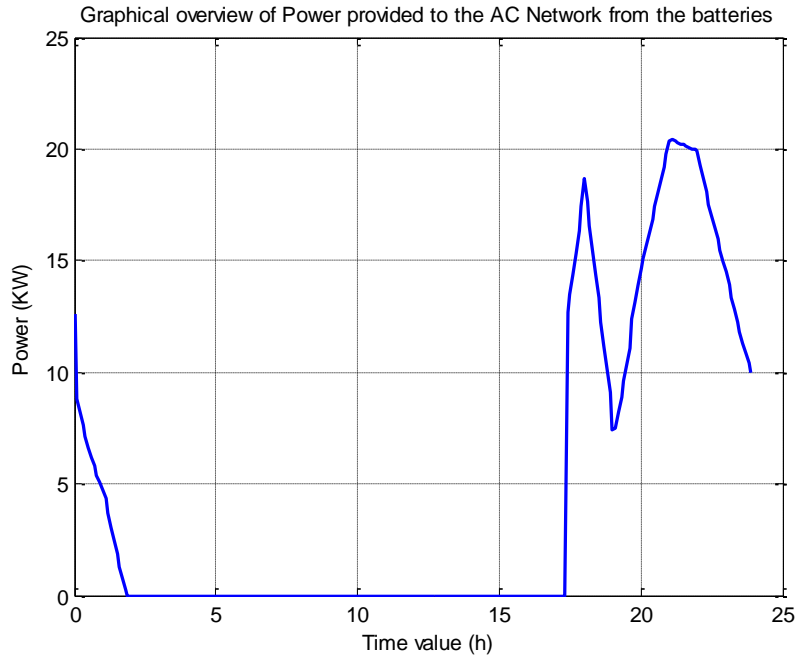
**Σχήμα 7.29:** Γράφημα συνολικών απαιτήσεων DC όλων των οικιών του μικροδικτύου

Από το διάγραμμα των DC απαιτήσεων φορτίου παρατηρούμε ότι τις πρωινές ώρες οι απαιτήσεις στο μικροδίκτυο ανέρχονται στα επίπεδα των 20 KW διότι τα φωτοβολταϊκά συστήματα δεν παράγουν καθόλου ενέργεια τις ώρες αυτές και έχουμε πολύ μικρή παροχή ηλεκτρικής ισχύος από τις μονάδες συμπαραγωγής που δεν καλύπτουν τις απαιτήσεις για DC φορτία, διότι έχουμε μειωμένες θερμικές ανάγκες των χρηστών του μικροδικτύου λόγω καλοκαιριού, όπως ορίζει και το συγκεκριμένο σενάριο προσομοίωσης. Στην συνέχεια και εφόσον τα φωτοβολταϊκά συστήματα ενεργοποιούνται, τα επίπεδα απαίτησης ισχύος για την κάλυψη των DC φορτίων μειώνονται και καταλήγουν σε μηδενικές απαιτήσεις γύρω στις 6π.μ. Στην συνέχεια της προσομοίωσης και πλησιάζοντας προς τις μεσημβρινές ώρες η παραγόμενη ισχύς από τα φωτοβολταϊκά συστήματα επαρκεί για την κάλυψη των DC φορτίων παράγοντας και επιπλέον ενέργεια, η οποία θα οδηγήσει στη διαδικασία φόρτισης των συσσωρευτών του μικροδικτύου. Η μέγιστη επιστρεφόμενη ισχύς που τα φωτοβολταϊκά συστήματα αποδίδουν στο μικροδίκτυο, εφόσον έχουν καλύψει τα DC φορτία, ανέρχεται σε επίπεδα της τάξης των 335 KW. Κατά την πορεία της φάσης προσομοίωσης η παραγόμενη ισχύς αρχίζει να μειώνεται μονοτονικά από το προηγούμενο μέγιστο, φτάνοντας περίπου στις 6μ.μ στην κάλυψη των DC αναγκών του μικροδικτύου, δηλαδή σε μηδενική τιμή των DC αναγκών. Το τέλος της προσομοίωσης καταλήγει με πέρασμα σε τιμές οι οποίες δεν μπορούν να καλυφθούν από την παραγωγή των φωτοβολταϊκών συστημάτων κατά τις νυχτερινές ώρες (με μέγιστη τιμή 54.46 KW) και υποχρεωτικά καλύπτονται από παροχή ενέργειας από τους συσσωρευτές και το εξωτερικό AC δίκτυο.



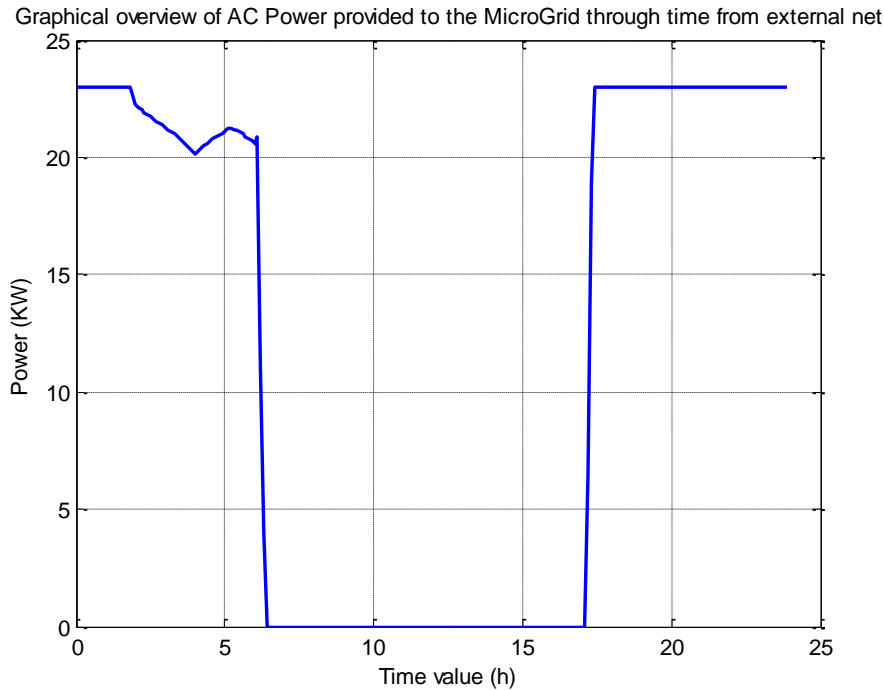
**Σχήμα7.30:** Γράφημα συνολικών απαιτήσεων AC όλων των οικιών του μικροδικτύου

Από το παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε τη χρονική εξέλιξη των απαιτήσεων για την κάλυψη των AC φορτίων του μικροδικτύου. Τα φορτία αυτά με βάση τους κανόνες για τις οντότητες λειτουργίας χρήστη (hems) και διαχειριστή (nems) του μικροδικτύου, όπως έχουν υλοποιηθεί στο περιβάλλον Matlab, θα πρέπει να καλυφθούν είτε αυτόνομα από την παροχή ηλεκτρικής ισχύος που δίνουν οι μονάδες συμπαραγωγής εφόσον υπάρχουν μεγάλες θερμικές ανάγκες που όμως στο συγκεκριμένο σενάριο δεν ισχύει, είτε από τους συσσωρευτές του μικροδικτύου εφόσον τα επίπεδα ισχύος των συσσωρευτών είναι αρκετά υψηλά, είτε να καλυφθούν κατά μέρος ή και εξ' ολοκλήρου με τη χρήση εξωτερικής παροχής ισχύος από το AC δίκτυο. Όπως φαίνεται και από το διάγραμμα παροχής AC ισχύος από τους συσσωρευτές που ακολουθεί, στο μικροδίκτυο υπάρχουν χρονικές στιγμές εξωτερικής προσφοράς AC ισχύος. Βλέπουμε ότι μέχρι τις 6π.μ όπου τα φωτοβολταϊκά δεν λειτουργούν, έχουμε μειωμένες θερμικές ανάγκες άρα λιγότερη ηλεκτρική ισχύ από CHPs, έχουμε σημαντικές απαιτήσεις για AC φορτία διότι έχουμε σημαντικές ηλεκτρικές καταναλώσεις, όπως προβλέπει το συγκεκριμένο σενάριο. Στην συνέχεια και εφόσον η παραγωγή ισχύος από τα φωτοβολταϊκά συστήματα αρχίζει να συνεισφέρει αρκετά στην ενέργεια του συστήματος, οι απαιτήσεις των AC φορτίων μηδενίζονται εφόσον αυτά αρχίζουν να καλύπτονται με μετατροπή ισχύος από DC σε AC από την παραγόμενη ενέργεια, η περίσσεια των οποίων καταλήγει στους συσσωρευτές. Οι μηδενικές απαιτήσεις για τα AC φορτία συνεχίζουν να διατηρούνται μέχρι και τις 4μ.μ όπου τα επίπεδα παραγωγής από τα φωτοβολταϊκά συστήματα αρχίζουν να μειώνονται. Το γεγονός αυτό συντελεί σε μια γραμμική αύξηση των απαιτήσεων, εφόσον αυτές δεν είναι δυνατόν να καλυφθούν από την παρεχόμενη ισχύ στους συσσωρευτές και από την ηλεκτρική ισχύ των μονάδων συμπαραγωγής, καταλήγοντας στη μέγιστη τιμή απαίτησης των 46 KW στις 9μ.μ, διότι οι οικίες του μικροδικτύου εμφανίζουν σημαντικές ηλεκτρικές καταναλώσεις. Οι απαιτήσεις αρχίζουν να μειώνονται δεδομένης της μείωσης ζήτησης των AC φορτίων των οικιών του μικροδικτύου.



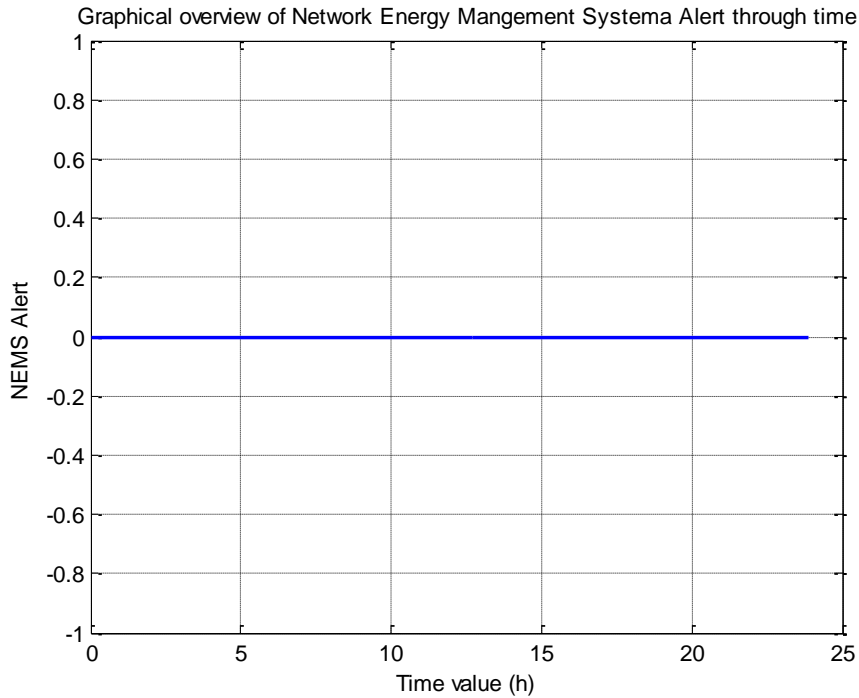
**Σχήμα 7.31:** Γράφημα της ισχύος που αποδίδεται στο AC δίκτυο από τους συσσωρευτές

Από το διάγραμμα παρατηρούμε την προσφορά ισχύος που αποδίδεται για τις ανάγκες AC από τους συσσωρευτές του μικροδικτύου κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης. Μέχρι να αρχίσουν τα φωτοβολταϊκά συστήματα να λειτουργούν και εφόσον δεν παρέχεται μεγάλη ηλεκτρική ισχύ από τις μονάδες συμπαραγωγής λόγω του ότι έχουμε πολύ μειωμένες θερμικές ανάγκες όπως ορίζει το συγκεκριμένο σενάριο, για μικρό χρονικό διάστημα δίνεται ισχύς από τους συσσωρευτές στο AC δίκτυο για την κάλυψη των φορτίων των οικιών του μικροδικτύου. Από τις 2π.μ έως τις 5μ.μ το AC δίκτυο δεν χρειάζεται να λαμβάνει ενέργεια από τους συσσωρευτές, ούτε να δίνει σ' αυτούς, για την λειτουργία του συστήματος και την κάλυψη των φορτίων του μικροδικτύου. Αυτό συμβαίνει διότι ακόμα και τις πρώτες πρωινές ώρες που δεν υπάρχει σημαντική παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος από τα φωτοβολταϊκά, ούτε από τις μονάδες συμπαραγωγής (εφόσον πραγματοποιείται για καλοκαιρινή ημέρα), οι συσσωρευτές έχουν την κατάλληλη χωρητικότητα και το επίπεδο φόρτισής τους δεν πέφτει κάτω από το 50% (περιθώριο ασφαλείας που έχουμε προβλέψει). Κατά την πορεία της προσομοίωσης και μετά τις 5μ.μ οι συσσωρευτές φαίνεται να αποδίδουν ενέργεια για την κάλυψη των AC αναγκών του μικροδικτύου δεδομένου ότι οι συσσωρευτές ήδη βρίσκονται σε υψηλό επίπεδο φόρτισης της τάξης του 90%. Αυτή η παρεχόμενη ισχύς τείνει να καταλήξει περίπου σε τιμή 10 KW εκφορτίζοντας τους συσσωρευτές καλύπτοντας τις ενεργειακές ανάγκες των φορτίων των οικιών.



**Σχήμα 7.32:** Γράφημα της AC ισχύος που αποδίδεται στο μικροδίκτυο από το εξωτερικό δίκτυο

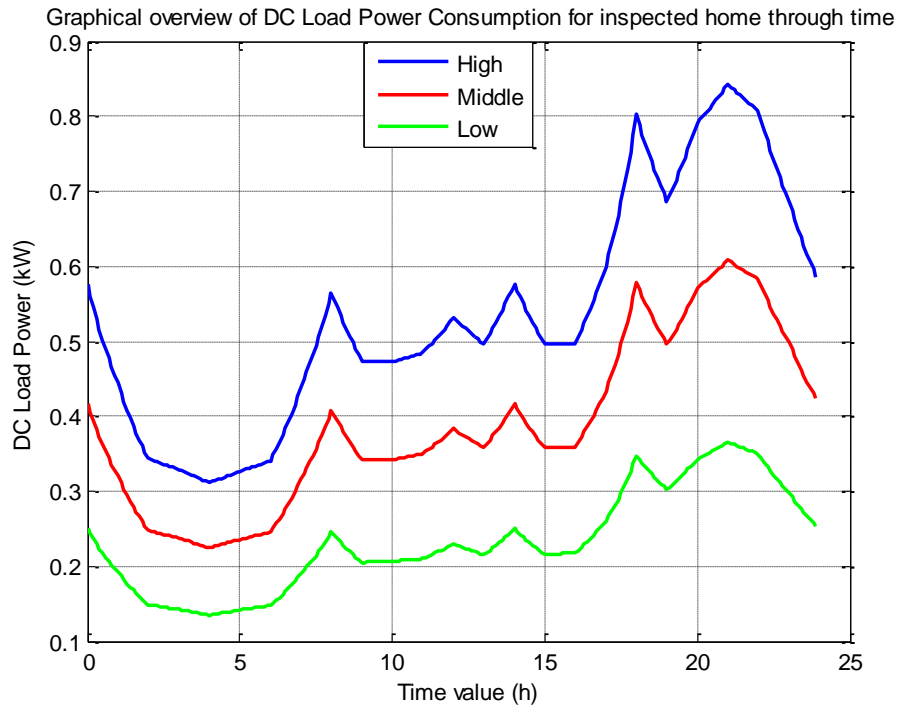
Το παραπάνω διάγραμμα δείχνει τη συνολική προσφορά ισχύος από το εξωτερικό δίκτυο προς συνολικά το μικροδίκτυο για την κάλυψη των AC και DC φορτίων του μικροδικτύου. Παρατηρούμε ότι περίπου έως τις 6π.μ η συνολικά προσφερόμενη ισχύς καλύπτει αθροιστικά τα AC φορτία του μικροδικτύου, με βάση τον αλγόριθμο του διαχειριστή του ελέγχου, εφόσον δεν έχουμε την απαιτούμενη ηλεκτρική ισχύ για την κάλυψή τους από τις μονάδες συμπαραγωγής διότι οι θερμικές ανάγκες είναι ελάχιστες λόγω καλοκαιριού, όπως ορίζει το σενάριο προσομοίωσης. Θα πρέπει να γίνει γνωστό ότι από τις προδιαγραφές του σεναρίου προσομοίωσης το εξωτερικό δίκτυο έχει οριστεί να παρέχει ισχύ στο διάστημα που ανήκει  $P_{min}=0$  έως  $P_{max}=23$  KW. Η προσφερόμενη ισχύς από το εξωτερικό δίκτυο αρχίζει να μειώνεται με σχετικά ομαλό γραμμικό και μονότονο τρόπο κατά τη φάση όπου τα φωτοβολταϊκά συστήματα αρχίζουν να τίθενται σε λειτουργία και με την ελάχιστη παροχή ηλεκτρικής ισχύος από τις μονάδες συμπαραγωγής, προσφέροντας στο μικροδίκτυο σημαντικά ποσά ισχύος. Το γεγονός αυτό καταλήγει σε προσφορά μηδενικού επιπέδου ισχύος προς το μικροδίκτυο για όλο το χρονικό διάστημα μετά τις 6π.μ μέχρι και τις 5μ.μ. Μετά την φάση αυτή τα επίπεδα παροχής ισχύος από τα φωτοβολταϊκά συστήματα αρχίζουν να μειώνονται λόγω μείωσης των επιπέδων φωτεινότητας κατά την πάροδο της ημέρας, και επειδή η ηλεκτρική ισχύ που προκύπτει από θερμική κάλυψη των μονάδων συμπαραγωγής δεν είναι αναγκαία ώστε να καλυφθούν οι απαιτήσεις του μικροδικτύου, αυξάνεται η προσφορά ισχύος από το εξωτερικό AC δίκτυο. Το φαινόμενο αυτό κορυφώνεται σύντομα παίρνοντας από το εξωτερικό δίκτυο τα μέγιστα των απαιτήσεων 23 KW. Με βάση τις απαιτήσεις των ηλεκτρικών καταναλώσεων, καθώς και τα επίπεδα φόρτισης των συσσωρευτών, και δεδομένου ότι οι θερμικές απαιτήσεις είναι ελάχιστες, παρατηρούμε ότι η εξωτερικά παρεχόμενη ισχύς διατηρείται στα μέγιστα επίπεδα μέχρι το τέλος της προσομοίωσης.



**Σχήμα 7.33:** Γράφημα απεικόνισης σημάτων συναγερμού από τον διαχειριστή του μικροδικτύου

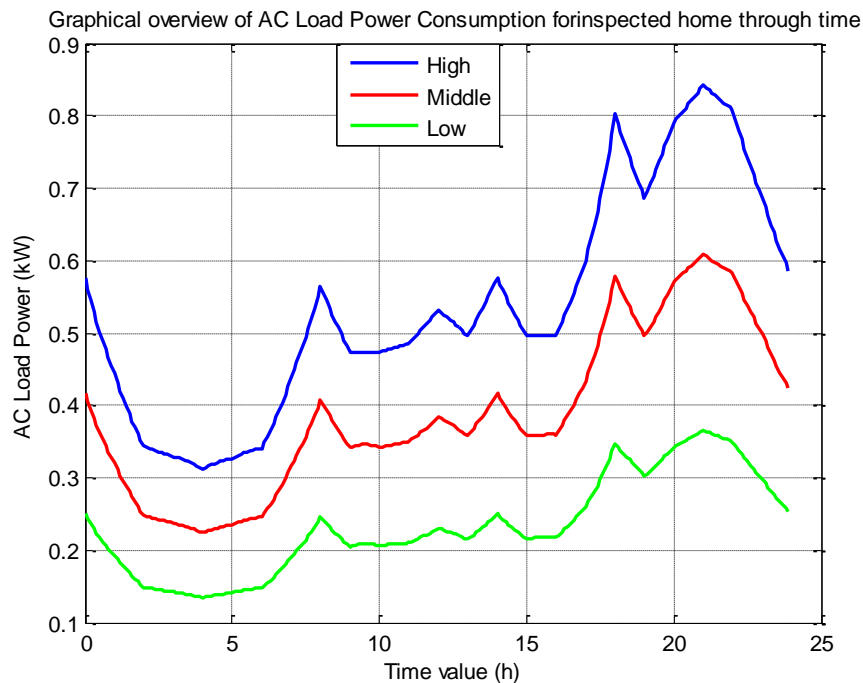
Από το παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε τα σήματα συναγερμού όπως έχουν οριστεί από την οντότητα του διαχειριστή του μικροδικτύου κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης. Παρατηρούμε ότι το συγκεκριμένο σήμα δεν ενεργοποιείται καθόλη τη διάρκεια του σεναρίου προσομοίωσης με βάση το πρωτόκολλο διαχείρισης και λήψης αποφάσεων από το διαχειριστή του μικροδικτύου. Η ενεργοποίησή του δηλώνει ότι οι συσσωρευτές του μικροδικτύου βρίσκονται σε επίπεδο φόρτισης μικρότερο του 50% και οι AC ανάγκες του μικροδικτύου δεν μπορούν να καλυφθούν από την μέγιστη τιμή παροχής ισχύος από το εξωτερικό δίκτυο, ή οι συσσωρευτές βρίσκονται σε επίπεδο μεγαλύτερο του 95% (υπερφόρτιση=>μικρότερη διάρκεια ζωής). Το νόημα των συναγερμών είναι η λήψη συγκεκριμένων ενεργειών, προκειμένου να συνεχιστεί η απρόσκοπτη λειτουργία του μικροδικτύου. Στη συγκεκριμένη περίπτωση οι απαιτήσεις των φορτίων ως το τέλος της προσομοίωσης καλύπτονται από τη μέγιστη εξωτερικά προσφερόμενη ισχύ  $P_{max}$ , τους συσσωρευτές, και την ηλεκτρική ισχύ από φωτοβολταϊκά και μονάδες συμπαραγωγής.





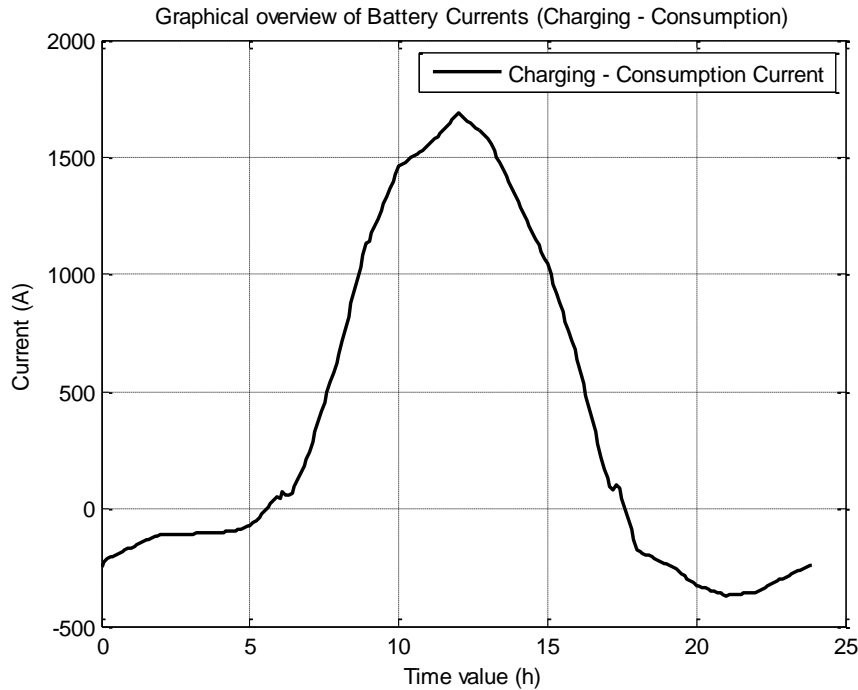
**Σχήμα 7.34:** Γράφημα των DC φορτίων κατανάλωσης για μια οικία κάθε κατηγορίας

Το παραπάνω διάγραμμα παρουσιάζει τις καταναλώσεις των DC φορτίων για κάθε οικία από τις τρεις διαφορετικές κατηγορίες. Η απαιτούμενη ισχύς για την κάλυψη των DC αναγκών καθόλη τη διάρκεια του σεναρίου προσομοίωσης δεν είναι μονοτονική και εμφανίζει διακυμάνσεις διότι οι ηλεκτρικές καταναλώσεις των φορτίων είναι ρεαλιστικές τιμές που έχουν παρθεί από το ΔΕΔΔΗΕ και για την κατανομή τους σε κάθε ώρα της ημέρας χρησιμοποιήθηκε ένα άρθρο της ΚΑΠΕ, συνοψίζοντας το προφίλ ζήτησης ισχύος για τις ανάγκες των DC φορτίων την ημέρα του συγκεκριμένου σεναρίου προσομοίωσης. Οι αιχμές των ηλεκτρικών καταναλώσεων παρουσιάζονται στις 9μ.μ έως 10 μ.μ με κατανάλωση 842W, 608W και 365W αντίστοιχα για μια οικία μεγάλων, μεσαίων και μικρών καταναλωτών. Σε όλα τα υπόλοιπα σενάρια προσομοίωσης όπως και στο συγκεκριμένο, η οικιακή συνεχής τάση λειτουργίας ισούται με 48 V και για τους τρεις τύπους καταναλώσεων. Μπορούμε έτσι να υπολογίσουμε και τα DC ρεύματα για μια οικία κάθε κατηγορίας. Τέλος, αξίζει να αναφερθεί ότι οι καταναλώσεις των DC φορτίων είναι αντίστροφες των τιμών των DC αντιστάσεων ανά κατηγορία καταναλώσεων.



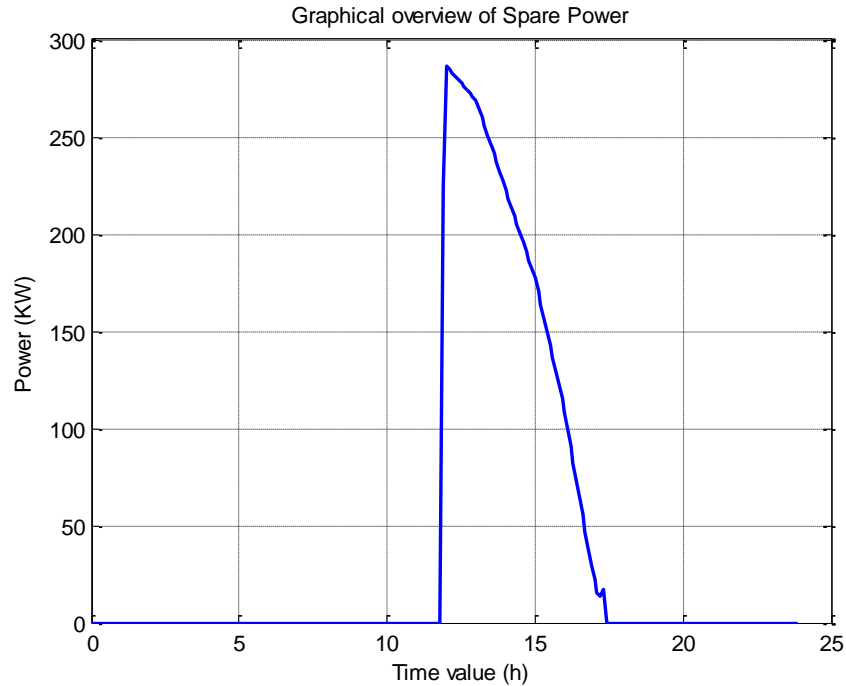
**Σχήμα 7.35:** Γράφημα των AC φορτίων κατανάλωσης για μια οικία κάθε κατηγορίας

Το παραπάνω διάγραμμα παρουσιάζει τις καταναλώσεις των AC φορτίων για κάθε οικία από τις τρεις διαφορετικές κατηγορίες. Η απαιτούμενη ισχύς για την κάλυψη των AC αναγκών καθόλη τη διάρκεια του σεναρίου προσομοίωσης δεν είναι μονοτονική και εμφανίζει διακυμάνσεις διότι οι ηλεκτρικές καταναλώσεις των φορτίων είναι ρεαλιστικές τιμές που έχουν παρθεί από το ΔΕΔΔΗΕ και για την κατανομή τους σε κάθε ώρα της ημέρας χρησιμοποιήθηκε ένα άρθρο της ΚΑΠΕ, συνοψίζοντας το προφίλ ζήτησης ισχύος για τις ανάγκες των AC φορτίων την ημέρα του συγκεκριμένου σεναρίου προσομοίωσης. Σε όλα τα υπόλοιπα σενάρια προσομοίωσης όπως και στο συγκεκριμένο, η τάση λειτουργίας ισούται με 230 V(rms) για το AC δίκτυο και για τους τρεις τύπους καταναλώσεων. Μπορούμε έτσι να υπολογίσουμε και τα AC ρεύματα για την κάθε οικία των τριών διαφορετικών καταναλώσεων. Παρατηρούμε ότι οι AC απαιτήσεις των φορτίων είναι σχετικά υψηλές τις πρώτες πρωινές ώρες και αρχίζουν να αυξομειώνονται κατά τη διάρκεια της ημέρας και για τρεις διαφορετικούς τύπους καταναλώσεων. Τις απογευματινές ώρες παίρνουν υψηλότερες τιμές και καταλήγουν για τις βραδινές ώρες προσομοίωσης της λειτουργίας για το μοντέλο της κάθε οικίας των τριών διαφορετικών τύπων σε σχετικά υψηλά επίπεδα της τάξης των 686W ανά οικία για το μεγάλο τύπο, 500W ανά οικία για το μεσαίο τύπο και 300W ανά οικία για το μικρό τύπο καταναλώσεων.



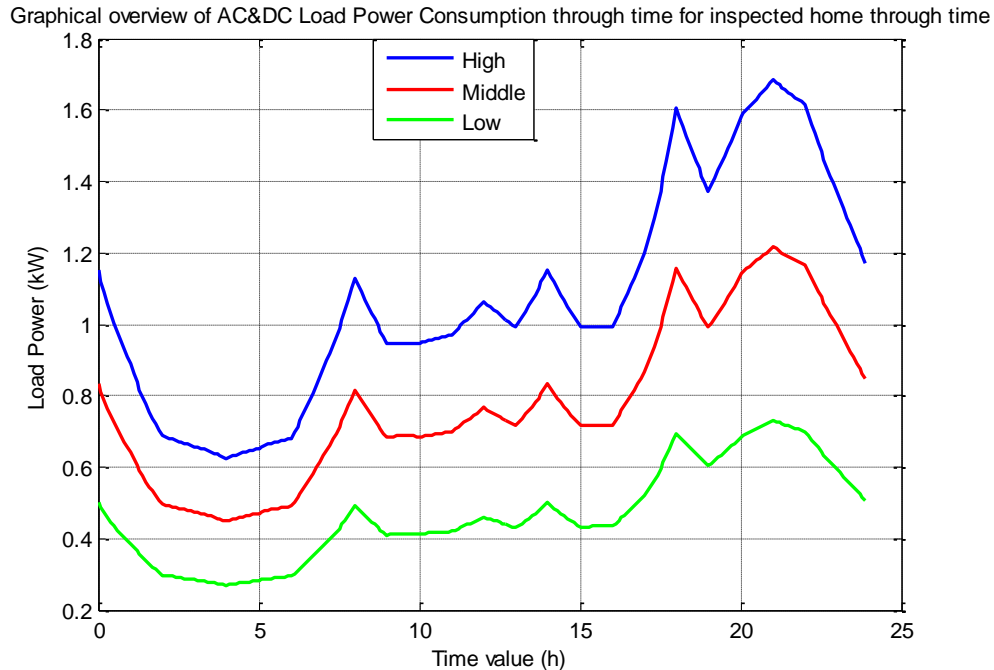
**Σχήμα 7.36:** Γράφημα ρεύματος φόρτισης και εκφόρτισης των συσσωρευτών του μικροδικτύου

Το παραπάνω διάγραμμα παρουσιάζει τη χρονική εξέλιξη του ρεύματος φόρτισης και εκφόρτισης των συσσωρευτών του συστήματος. Παρατηρούμε ότι μέχρι την ώρα που ξεκινούν τα φωτοβολταϊκά να παράγουν ισχύ, και λόγω του ότι οι μονάδες συμπαραγωγής λόγω των μειωμένων θερμικών αναγκών του συγκεκριμένου σεναρίου δεν παράγουν μεγάλη ηλεκτρική ισχύ, και επειδή δεν καλύπτονται οι απαιτήσεις του μικροδικτύου, εκφορτίζονται οι συσσωρευτές μέχρι τις 6π.μ. Στη συνέχεια κατά τη φάση της προσομοίωσης, οι συσσωρευτές έχουν αρχίσει να φορτίζονται εφόσον έχουμε υψηλή παραγωγή από τα φωτοβολταϊκά συστήματα και χαμηλά φορτία κατανάλωσης για τις οικίες του μικροδικτύου, όπου συνεχίζεται μέχρι τις 5μ.μ. Τις απογευματινές ώρες βλέπουμε ότι τα ρεύματα φόρτισης είναι αρνητικά που σημαίνει ότι εκφορτίζονται οι συσσωρευτές του μικροδικτύου για να καλύψουν τις ανάγκες των οικιών του μικροδικτύου μαζί με την λιγοστή ηλεκτρική ισχύ από τις μονάδες συμπαραγωγής, δεδομένου ότι τα φωτοβολταϊκά αυτές τις ώρες έχουν σταματήσει να παράγουν ισχύ. Αυτό φαίνεται και από τα προηγούμενα διάγραμματα που απεικονίζουν την κατάσταση των συσσωρευτών, την παραγωγή των φωτοβολταϊκών και την παροχή ισχύος στο AC δίκτυο που προέρχεται από τις μπαταρίες.



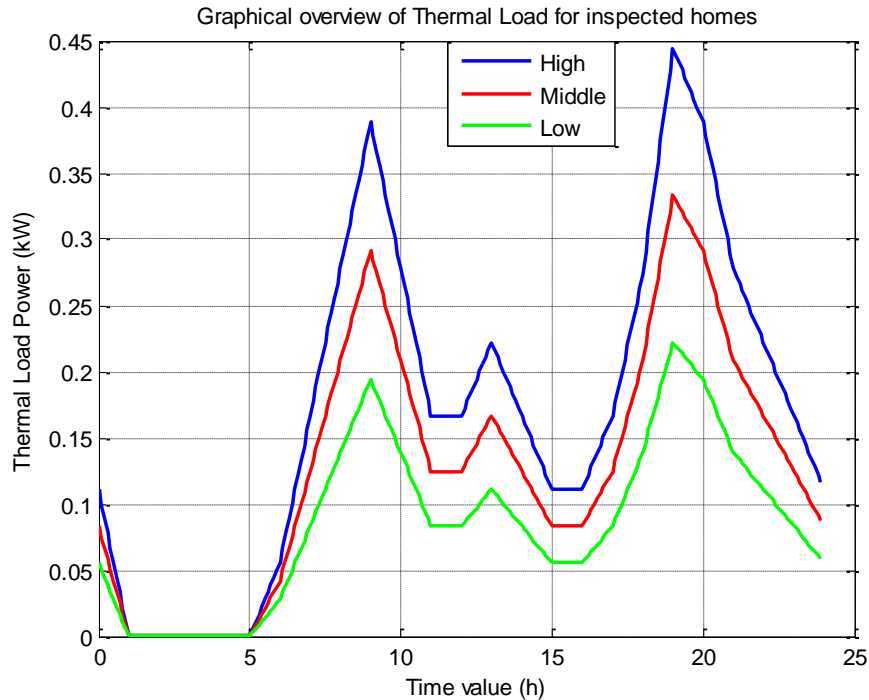
**Σχήμα 7.37:** Γράφημα πλεονάζουσας ισχύος του μικροδικτύου

Το διάγραμμα της πλεονάζουσας ισχύος (Spare Power) προκύπτει αφαιρώντας από την συνολικά παραγόμενη και παρεχόμενη ισχύ προς το μικροδίκτυο, τις καταναλώσεις των AC και DC φορτίων καθώς και τη διαδικασία φόρτισης των συσσωρευτών με το μέγιστο επιτρεπτό ποσοστό της τάξης του 90%. Η ισχύς που πλεονάζει όπως παρουσιάζεται και από το διάγραμμα αφορά το χρονικό διάστημα από τις 12μ.μ έως τις 5μ.μ όπου το μικροδίκτυο έχει περίσσεια ισχύος, εφόσον το σενάριο πραγματοποιείται για καλοκαιρινή ημέρα με υψηλή παραγωγή από τα φωτοβολταϊκά και χαμηλά φορτία κατανάλωσης των οικιών του μικροδικτύου. Η ισχύς αυτή παρουσιάζει μια μέγιστη τιμή της τάξης των 280KW κατά την χρονική στιγμή γύρω στις 12μ.μ και στη συνέχεια πέφτει σε μηδενικά επίπεδα λίγο μετά τις 5μ.μ. Η συνολική ενέργεια που πλεονάζει στο σύστημα θα μπορούσε να ενταμιευθεί στην περίπτωση που το μικροδίκτυο διέθετε μεγαλύτερη σε χωρητικότητα συστοιχία συσσωρευτών έτσι ώστε να διατεθεί τις βραδινές ώρες απαλλάσσοντας το εξωτερικό AC δίκτυο από την ανάγκη προσφοράς ισχύος τις ώρες αυτές, αλλά κρατήσαμε σε όλα τα σενάρια προσομοίωσης το ίδιο μέγεθος για τους συσσωρευτές κάνοντας έτσι τα σενάρια μας ρεαλιστικά. Η περίσσεια ισχύος που έχουμε θα μπορούσε να επιστραφεί προς το δίκτυο του φορέα διανομής ενέργειας μέσω πώλησης δίνοντας κάποιο έσοδο στους χρήστες του μικροδικτύου ή θα μπορούσε να καλύψει ανάγκες φωτισμού σε δημόσιους και κοινόχρηστους χώρους.



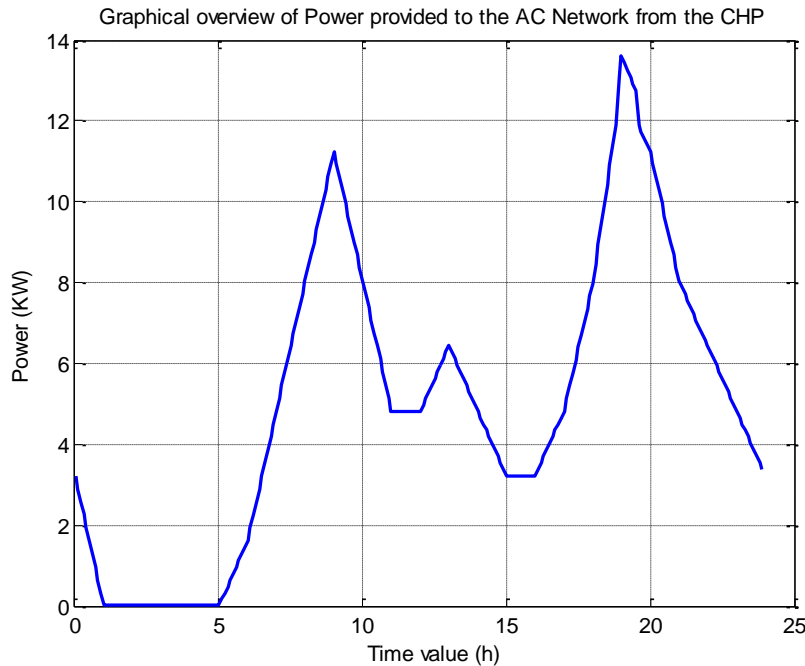
**Σχήμα 7.38:** Γράφημα συνολικών φορτίων κατανάλωσης AC και DC για μια οικία κάθε κατηγορίας

Το παραπάνω διάγραμμα μας παρουσιάζει γραφικά καθόλη τη διάρκεια της προσομοίωσης για το μικροδίκτυο τις συνολικές απαιτήσεις των φορτίων AC και DC σε μια οικία από τις τρεις κατηγορίες καταναλώσεων, όπως αυτές μεταβάλλονται σε διάφορες χρονικές φάσεις. Παρατηρούμε ότι τα επιβαλλόμενα σενάρια προσομοίωσης είναι αρκετά ρεαλιστικά μεταβάλλοντας τις απαιτήσεις συνολικών φορτίων. Είναι φανερό ότι η ελάχιστη κατανάλωση παρουσιάζεται κατά τη διάρκεια της νύχτας από τις 12:00 έως τις 6 το πρωί. Στη συνέχεια η κατανάλωση αυξάνεται συνεχώς μέχρι τις 8:00 το πρωί, όπου και παρουσιάζεται μια πρώτη αιχμή στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Τις επόμενες ώρες η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας παρουσιάζει μια μικρή μείωση και σχεδόν σταθεροποιείται καταλήγοντας γύρω στις 2:00 - 3:00 το μεσημέρι σε μια δεύτερη αιχμή. Επίσης, η μέγιστη κατανάλωση εμφανίζεται κατά τη διάρκεια του απογεύματος μέχρι και τις 11:00 το βράδυ. Τέλος, ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι κατά τις νυκτερινές από τις 12:00 το βράδυ έως τις 6:00 το πρωί υπάρχει ένα σταθερό φορτίο που πιθανότατα οφείλεται στον φωτισμό νυκτός (εσωτερικό και εξωτερικό), σε συσκευές που λειτουργούν όλο το 24ωρο π.χ. ψυγεία ή συσκευές που τίθενται σε λειτουργία τις βραδινές ώρες λόγω χρήσης νυκτερινού τιμολογίου π.χ. πλυντήριο ρούχων ή πιάτων. Οι παραπάνω μεταβολές δεν είναι μονοτονικές αλλά εμφανίζουν αυξομειώσεις κατά τα μεταβατικά στάδια όπως προβλέπει ο σχεδιασμός του σεναρίου. Οι αιχμές των ηλεκτρικών καταναλώσεων παρουσιάζονται στις 9μ.μ έως 10 μ.μ με κατανάλωση 1684W, 1216W και 730W αντίστοιχα για μια οικία μεγάλων, μεσαίων και μικρών καταναλωτών.



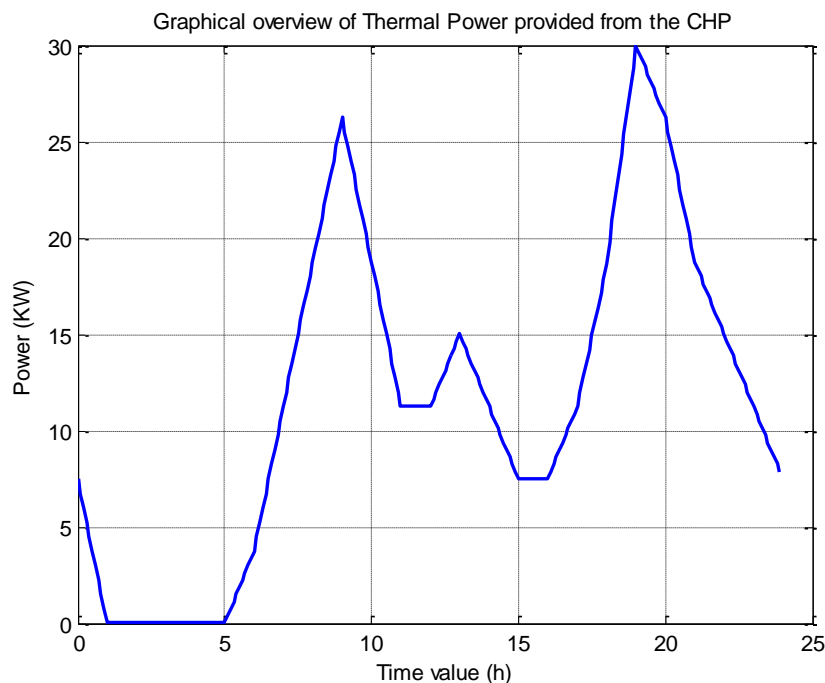
**Σχήμα 7.39:** Γράφημα θερμικών φορτίων για μια οικία κάθε κατηγορίας

Το παραπάνω διάγραμμα παρουσιάζει γραφικά καθόλη τη διάρκεια της προσομοίωσης για το μικροδίκτυο τις συνολικές απαιτήσεις θερμικών φορτίων για ζεστό νερό χρήσης σε μια οικία από τις τρεις κατηγορίες καταναλώσεων, λόγω του ότι το σενάριο πραγματοποιείται για καλοκαιρινή ημέρα όπου δεν υπάρχουν ανάγκες θέρμανσης, όπως αυτές μεταβάλλονται στις διάφορες χρονικές φάσεις. Παρατηρούμε ότι το σενάριο προσομοίωσης είναι αρκετά ρεαλιστικό μεταβάλλοντας τις απαιτήσεις θερμικών φορτίων κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης. Κατά τη διάρκεια της νύχτας έως τις 5π.μ έχουμε μηδενικές θερμικές ανάγκες και στην υπόλοιπη μέρα οι ανάγκες μεταβάλλονται. Οι αιχμές των θερμικών καταναλώσεων παρουσιάζονται περίπου στις 7μ.μ με κατανάλωση 0.45 KW, 0.33 KW και 0.22 KW αντίστοιχα για μια οικία μεγάλων, μεσαίων και μικρών καταναλωτών του μικροδικτύου. Οι χαμηλές τιμές των θερμικών φορτίων δικαιολογούν και τον χαρακτηρισμό του σεναρίου προσομοίωσης ως μειωμένων θερμικών αναγκών.



**Σχήμα 7.40:** Γράφημα ισχύος AC παραγόμενη από τις μονάδες συμπαραγωγής

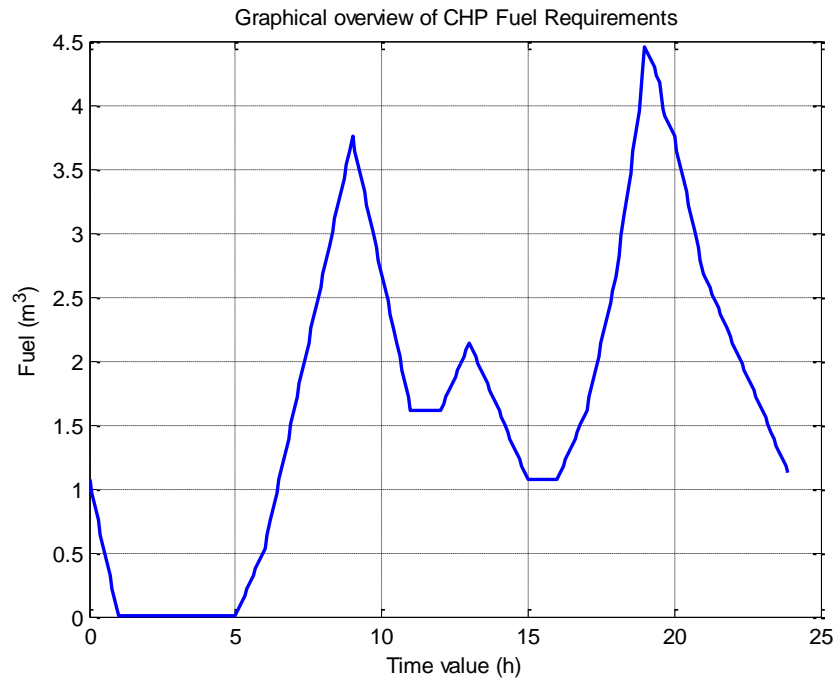
Το παραπάνω διάγραμμα παρουσιάζει γραφικά καθόλη τη διάρκεια της προσομοίωσης για το μικροδίκτυο τη συνολική παραγωγή AC ισχύος από τις μονάδες συμπαραγωγής οι οποίες λειτουργούν για την κάλυψη του θερμικού φορτίου βάσης. Παρατηρούμε ότι τα επίπεδα παρεχόμενης ισχύος είναι αρκετά χαμηλά για την κάλυψη των AC απαιτήσεων λόγω των χαμηλών θερμικών αναγκών των οικιών του μικροδικτύου. Κατά τη διάρκεια της νύχτας έως τις 5π.μ έχουμε μηδενική παραγόμενη ισχύ, ενώ κατά την διάρκεια της προσομοίωσης έχουμε παρεχόμενη ισχύ διότι υπάρχουν θερμικές ανάγκες που πρέπει να καλυφθούν. Η μέγιστη παρεχόμενη ηλεκτρική ισχύς είναι 13.8 KW στις 7μ.μ από τις βαθμίδες των CHPs. Τέλος, αν θέλουμε να επαληθεύσουμε το παραπάνω γράφημα κοιτάμε σε επόμενο σχήμα ποιές μονάδες συμπαραγωγής δουλεύουν κάθε χρονική στιγμή της προσομοίωσης και μέσω των λόγων μετατροπών HPR βρίσκουμε την ηλεκτρική ισχύ που αντιστοιχεί σ' αυτό το σχήμα.



**Σχήμα 7.41:** Γράφημα παραγόμενης θερμικής ισχύος από τις μονάδες συμπαραγωγής

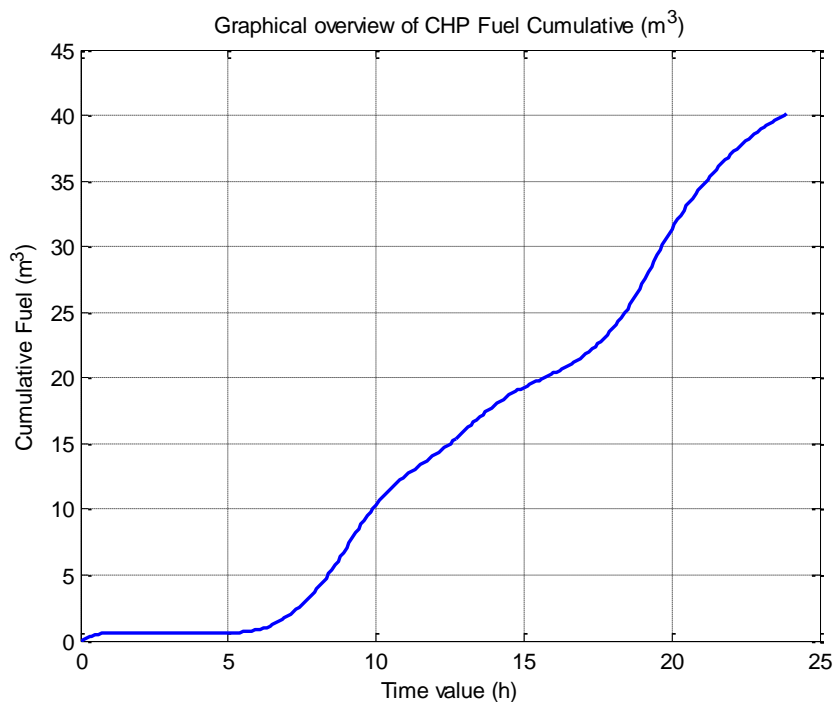
Η μορφή του διαγράμματος οφείλεται στην κάλυψη των αναγκών των θερμικών απαιτήσεων όλων των οικιών του μικροδικτύου. Το διάγραμμα μορφολογικά συμφωνεί και με το αντίστοιχο παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος η οποία παρέχεται από τα CHPs προς το σύστημα. Παρατηρούμε ότι κατά τη διάρκεια της νύχτας έως τις 5π.μ η θερμική ισχύς είναι μηδενική διότι δεν υπάρχουν θερμικές καταναλώσεις από τις οικίες του μικροδικτύου, ενώ στην υπόλοιπη φάση της προσομοίωσης η θερμική ισχύς μεταβάλλεται ανάλογα με τις θερμικές απαιτήσεις. Η μέγιστη παρεχόμενη θερμική ισχύς είναι 30 KW στις 7μ.μ από τις βαθμίδες των CHPs. Εφόσον έχουμε μειωμένες θερμικές απαιτήσεις, αυτές καλύπτονται από τις μονάδες συμπαραγωγής χωρίς να δουλεύουν όλες και το boiler δεν χρησιμοποιείται καθόλου στο συγκεκριμένο σενάριο προσομοίωσης. Αυτό συμβαίνει γιατί το σενάριο πραγματοποιείται για καλοκαιρινή ημέρα όπου οι θερμικές ανάγκες είναι κατά πολύ μειωμένες.





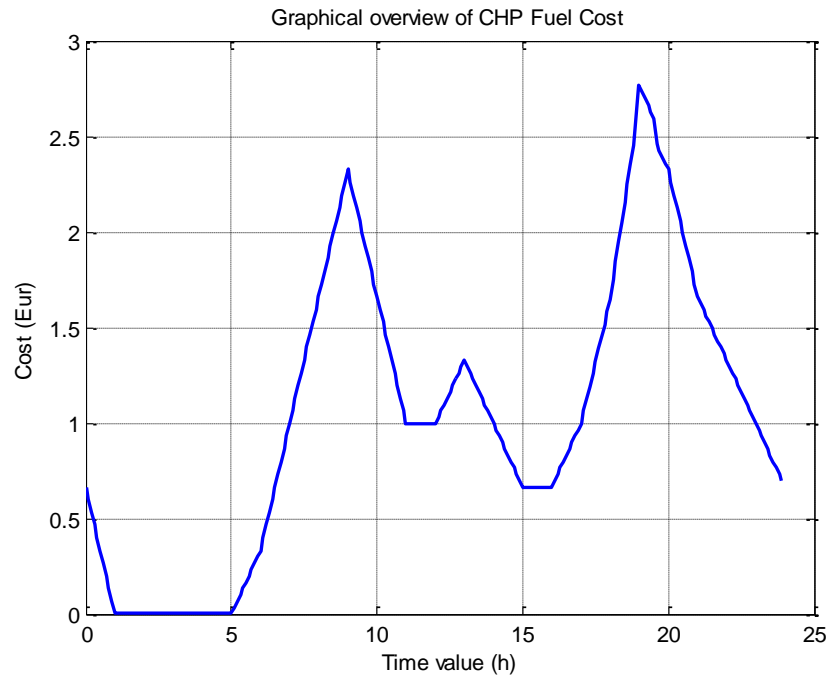
**Σχήμα 7.42:** Γράφημα απαιτήσεων καυσίμου για την λειτουργία των CHPs

Το παραπάνω διάγραμμα παρουσιάζει γραφικά καθόλη τη διάρκεια της προσομοίωσης για το μικροδίκτυο τις στιγμιαίες απαιτήσεις καυσίμου, όπως αυτές μεταβάλλονται στις διάφορες χρονικές φάσεις. Η μορφή του διαγράμματος κατανάλωσης καυσίμου των CHPs βρίσκεται σε πλήρη συμφωνία με την μορφή των διαγραμμάτων θερμικής και ηλεκτρικής παραγωγής από τις μονάδες συμπαραγωγής που έχουν αναλυθεί προηγουμένα. Οι απαιτήσεις καυσίμου είναι ελάχιστες διότι έχουν να καλύψουν λίγες θερμικές ανάγκες.



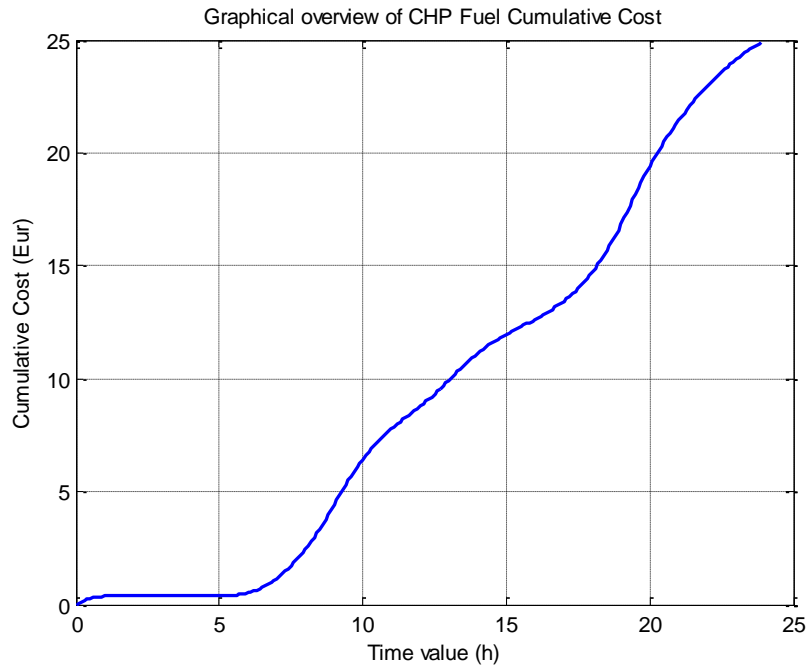
**Σχήμα 7.43:** Γράφημα συσσωρευτικών απαιτήσεων καυσίμου για την λειτουργία των CHPs

Το παραπάνω διάγραμμα παρουσιάζει γραφικά καθόλη τη διάρκεια της προσομοίωσης για το μικροδίκτυο τις συνολικές απαιτήσεις καυσίμου, όπως αυτές μεταβάλλονται στις διάφορες χρονικές φάσεις. Η μορφή του διαγράμματος κατανάλωσης καυσίμου των CHPs μετά τις 6π.μ είναι αύξουσα, αλλά οι συνολικές απαιτήσεις καυσίμου είναι λίγες γεγονός που μας δείχνει ότι έχουμε μειωμένες θερμικές ανάγκες, που δικαιολογεί και το συγκεκριμένο σενάριο προσομοίωσης.



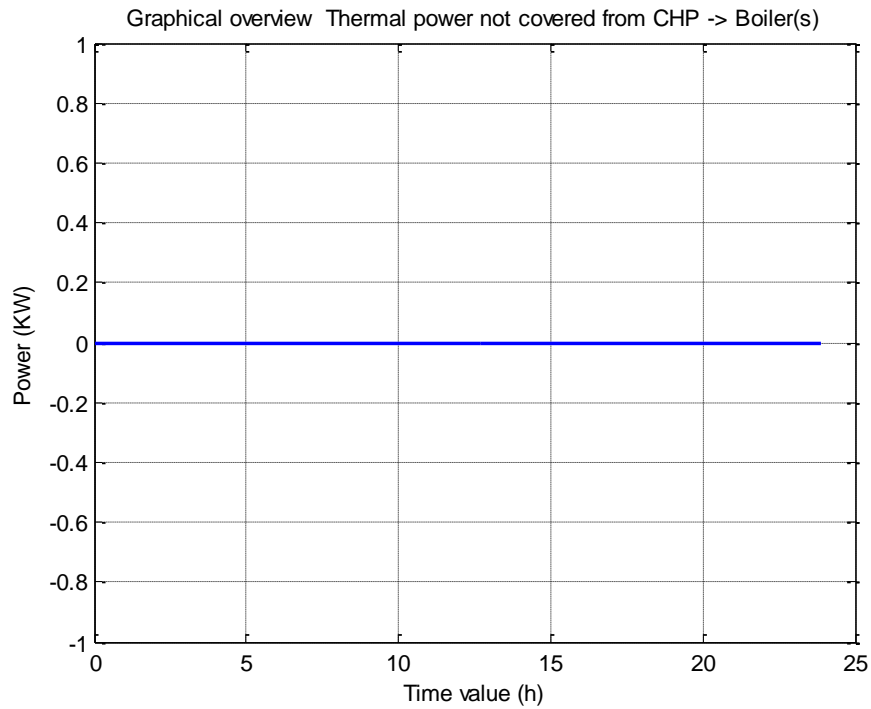
**Σχήμα 7.44:** Γράφημα στιγμιαίου κόστους της λειτουργίας των CHPs

Το παραπάνω διάγραμμα παρουσιάζει γραφικά καθόλη τη διάρκεια της προσομοίωσης για το μικροδίκτυο το στιγμιαίο κόστος λειτουργίας των μονάδων συμπαραγωγής, και μεταβάλλεται στις διάφορες χρονικές φάσεις. Η μορφή του διαγράμματος στιγμιαίου κόστους των CHPs βρίσκεται σε πλήρη συμφωνία με την μορφή των διαγραμμάτων θερμικής και ηλεκτρικής παραγωγής από τις μονάδες συμπαραγωγής και στιγμιαίων απαιτήσεων καυσίμου που έχουν αναλυθεί προηγούμενα.



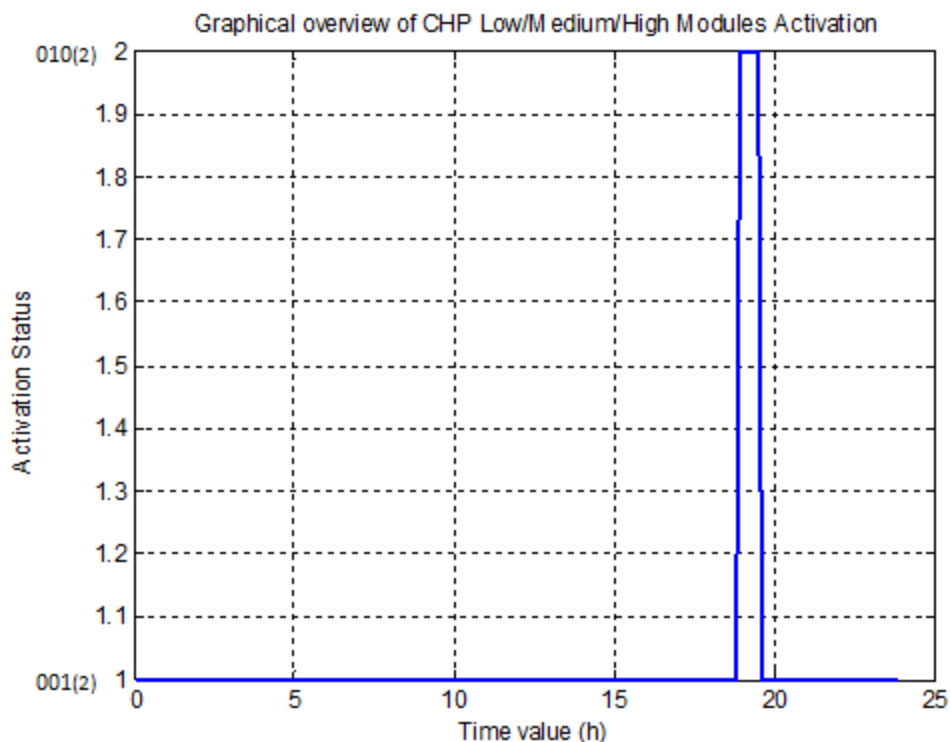
**Σχήμα 7.45:** Γράφημα συσσωρευτικού κόστους για την λειτουργίας των CHPs

Το παραπάνω διάγραμμα παρουσιάζει γραφικά καθόλη τη διάρκεια της προσομοίωσης για το μικροδίκτυο το συσσωρευτικό κόστος που απαιτείται για την λειτουργία των μονάδων συμπαραγωγής. Η μορφή του διαγράμματος συνολικού κόστους των CHPs είναι αύξουσα μετά τις 6π.μ αλλά το συνολικό κόστος είναι μικρό γεγονός που μας δείχνει ότι έχουμε μειωμένες θερμικές ανάγκες, που δικαιολογεί και το συγκεκριμένο σενάριο προσομοίωσης.



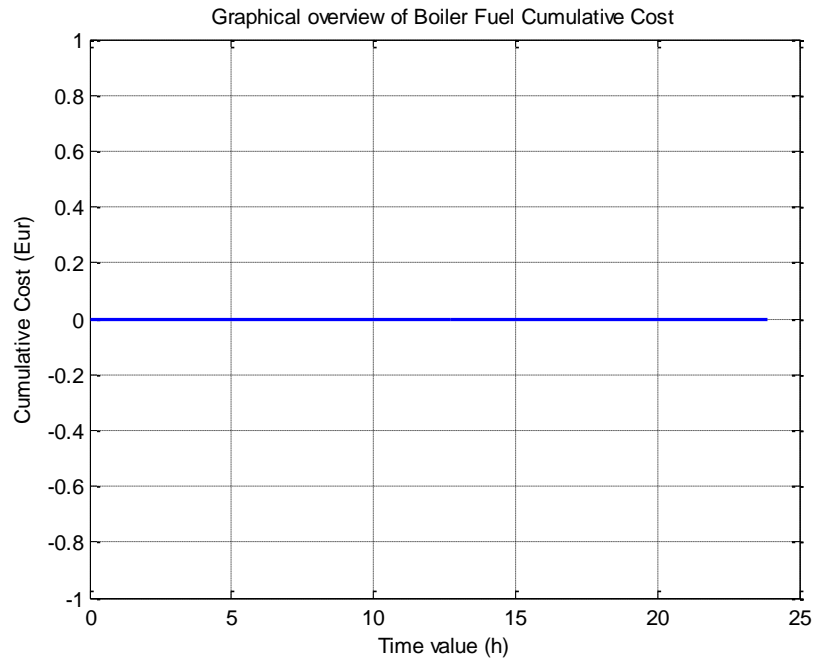
**Σχήμα 7.46:** Γράφημα Θερμικής ισχύς που καλύπτεται από boiler

Το παραπάνω διάγραμμα παρουσιάζει γραφικά καθόλη τη διάρκεια της προσομοίωσης τα επίπεδα θερμικών φορτίων που δεν καλύπτονται από τα CHPs και κατευθύνονται για κάλυψη σε εξωτερικό θερμαντήρα (boiler). Η διαμόρφωση του διαγράμματος αφορά στην μορφή και τις απαιτήσεις του συγκεκριμένου σεναρίου προσομοίωσης. Παρατηρούμε ότι στο συγκεκριμένο σενάριο δεν υπάρχουν θερμικά φορτία που να καλύπτονται από το boiler γιατί το σενάριο πραγματοποιείται για καλοκαιρινή ημέρα με μειωμένες θερμικές απαιτήσεις.



**Σχήμα 7.47:** Διάγραμμα χρονικής λειτουργίας των 3 μονάδων CHPs του συστήματος

Το παραπάνω διάγραμμα παρουσιάζει τις χρονικές στιγμές ενεργοποίησης των CHPs που διαθέτει το σύστημά μας. Η τιμή 1 αντιστοιχεί σε ενεργοποίηση του ενός από τα 3 CHPs  $1_{<10>} = 001_{<2>}$ . Δηλαδή, η λειτουργία των CHPs αντιστοιχεί σε δυαδική μεταβλητή η οποία λαμβάνει την τιμή 1 όταν το αντίστοιχο CHP είναι ενεργοποιημένο και 0 αλλιώς. Από το σενάριο προσομοίωσης παρατηρούμε ότι κατά το μεγαλύτερο χρονικό διάστημα για την κάλυψη των θερμικών αναγκών του συστήματος, το ένα (μικρότερο) CHP είναι ενεργοποιημένο, εφόσον οι θερμικές ανάγκες είναι ελάχιστες, εκτός των φάσεων όπου οι θερμικές απαιτήσεις αυξάνονται στο διάστημα 6.30μ.μ - 7.30μ.μ, οπότε σε κατάσταση ON παραμένει μόνο το μεσαίας κλίμακας CHP  $2_{<10>} = 010_{<2>}$  (τιμή 2).



**Σχήμα 7.48:** Γράφημα συσσωρευτικού κόστους για την λειτουργία του boiler

Το παραπάνω διάγραμμα παρουσιάζει γραφικά καθόλη τη διάρκεια της προσομοίωσης για το μικροδίκτυο το συσσωρευτικό κόστος που απαιτείται για την λειτουργία του λέβητα. Παρατηρούμε ότι είναι μηδενικό διότι δεν χρησιμοποιείται ο λέβητας κατά τη φάση της προσομοίωσης, εφόσον έχουμε ελάχιστες θερμικές απαιτήσεις, που καλύπτονται με 2 από τα 3 CHPs.

### 7.3.4 Χαρακτηριστικές Τιμές Σεναρίου Προσομοίωσης Θερμικής Λειτουργίας ΣΗΘ

Τα χαρακτηριστικά του σεναρίου που προσομοιώθηκε συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα:

External Network provides AC power

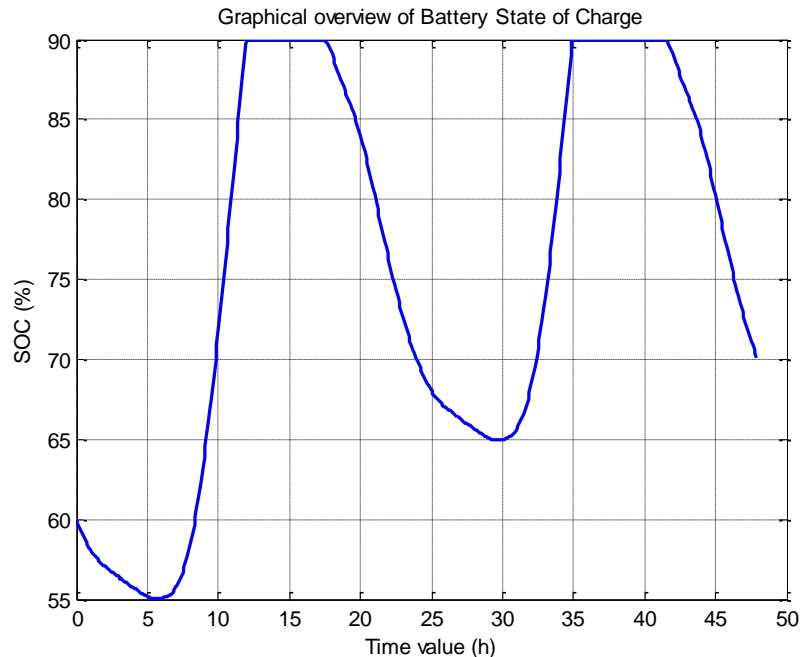
Χαρακτηριστικά	Τιμή		
Simulation Duration	0 – 23.99		
Number of Home Types	3		
Number of Homes per Type	30	30	30
Max D_DC Load value (KW)	54.4620		
Max D_AC Load value (KW)	46.1937		
Peak P_dc value (KW)	20.4104		
Peak P_ac value (KW)	23		
Average Power produced in PV panels (KW)	1.3971		
Average Power produced in PV panels per type (KW)	2.2057	1.3238	0.6619
Average AC Power used from network (KW)	12.0921		
Average DC Power Load per Home (KW)	0.3853		
Average DC Power Load per Home per type (KW)	0.5362	0.3871	0.2328
Average AC Power Load per Home (KW)	0.3857		
Average AC Power Load per Home per type (KW)	0.5366	0.3874	0.2330
Average Power Total Load (KW)	69.3939		
Total Spare Energy (KWh)	974.0829		
Peak thermal_demand all homes (KW)	29.9970		
Peak thermal_load per Home per type (KW)	0.4444	0.3333	0.2222
Peak heat_load per Home per type (KW)	0	0	0
Peak hw_load per Home per type (KW)	0.4444	0.3333	0.2222
CHP Cumulative Fuel Consumption (m <sup>3</sup> )	40.2866		
CHP Cumulative Cost (€)	24.9777		
Boiler Cumulative Fuel Consumption (m <sup>3</sup> )	0		
Boiler Cumulative Cost (€)	0		



### 7.3.5 Συμπεράσματα Σεναρίου Προσομοίωσης Θερμικής Λειτουργίας ΣΗΘ

Από την εκτέλεση του σεναρίου προσομοίωσης το οποίο συμπεριελάμβανε ελάχιστα ποσά θερμικών φορτίων, παρατηρούμε ότι η χρήση των μονάδων CHPs συνεισέφερε ελάχιστα στα επίπεδα ηλεκτρικής ισχύος για την κάλυψη των AC αναγκών, δεδομένου ότι πραγματοποιήθηκε για καλοκαιρινή ημέρα. Επίσης, έχουμε υψηλή παραγωγή ισχύος από τα φωτοβολταϊκά, όπως ορίζει το σενάριο. Όπως παρατηρήσαμε από την ανάλυση των διαγραμμάτων, το σύστημα εκκινεί με επίπεδο φόρτισης 60% για τους συσσωρευτές του. Τις πρωινές ώρες όπου οι απαιτήσεις των ηλεκτρικών αναγκών του μικροδικτύου δεν μπορούν να καλυφθούν από την παραγωγή των φωτοβολταϊκών και από την παροχή ισχύος από τα CHPs, με κάλυψη θερμικού φορτίου βάσης, εφόσον οι θερμικές απαιτήσεις είναι πολύ χαμηλές, η απαιτούμενη ενέργεια παρέχεται από το εξωτερικό AC δίκτυο και από τους συσσωρευτές. Το επίπεδο φόρτισης των συσσωρευτών διατηρείται παρά την εκφόρτιση στο επίπεδο του 55% τις πρωινές ώρες. Στη συνέχεια εφόσον έχουμε υψηλές τιμές ισχύος από τα φωτοβολταϊκά λόγω υψηλής παραγωγής, η κάλυψη των ενεργειακών απαιτήσεων του δικτύου μεταβιβάζεται προς τους συσσωρευτές του συστήματος ενώ ταυτόχρονα τα επίπεδα φόρτισής τους αυξάνουν και έχουμε πλεονάζουσα ισχύ γύρω στις 12μ.μ, διότι η φόρτιση των συσσωρευτών έχει φτάσει το μέγιστο επίπεδο 90%. Το επίπεδο αυτό έχει καθοριστεί ώστε να αποφεύγονται οι υπερφορτίσεις των συσσωρευτών ώστε να έχουν μεγαλύτερο χρόνο ζωής. Το μικροδίκτυο παράγει μεγάλη πλεονάζουσα ισχύ την οποία χρειάζεται ο διαχειριστής του μικροδικτύου να την αξιοποιήσει είτε με πώληση, είτε με κάλυψη κοινωφελών αναγκών. Τις απογευματινές ώρες έχουμε εκφόρτιση των συσσωρευτών για την κάλυψη των αναγκών του μικροδικτύου. Με τη μικρότερη μονάδα συμπαραγωγής καλύπτουμε το μεγαλύτερο χρονικό διάστημα της προσομοίωσης εκτός από το διάστημα 6.30μ.μ-7.30μ.μ όπου χρησιμοποιούμε τη μεσαία μονάδα για την κάλυψη των θερμικών απαιτήσεων. Καθόλη τη διάρκεια της προσομοίωσης η μεγάλη μονάδα συμπαραγωγής και το boiler δεν χρησιμοποιούνται, διότι οι θερμικές απαιτήσεις είναι ελάχιστες. Στο μικροδίκτυο έχουμε ορίσει επίπεδα εξωτερικής ισχύος  $P_{min}=0$  και  $P_{max}=23$  KW και παρατηρούμε ότι μπορεί να διατηρήσει ευσταθώς την λειτουργία του, διασφαλίζοντας σταθερά επίπεδα φόρτισης των συσσωρευτών του για χρονικό διάστημα προσομοίωσης το οποίο υπερβαίνει τη χρονική διάρκεια της μιας ημέρας, διότι το επίπεδο φόρτισης των συσσωρευτών δεν έχει μειωθεί κάτω από το περιθώριο ασφαλείας 50%, μετά από 24 ώρες λειτουργίας του μικροδικτύου.

Παρακάτω ακολουθεί το διάγραμμα κατάστασης των συσσωρευτών του συστήματος για χρονικό διάστημα προσομοίωσης το οποίο υπερβαίνει τη χρονική διάρκεια της μιας μέρας διατηρώντας περιοδικά τις ίδιες συνθήκες προσομοίωσης όσον αφορά παραγωγή από φωτοβολταϊκά και καταναλώσεις (ηλεκτρικές και θερμικές).



**Σχήμα 7.49:** Γράφημα για την κατάσταση φόρτισης (SOC) των συσσωρευτών του μικροδικτύου

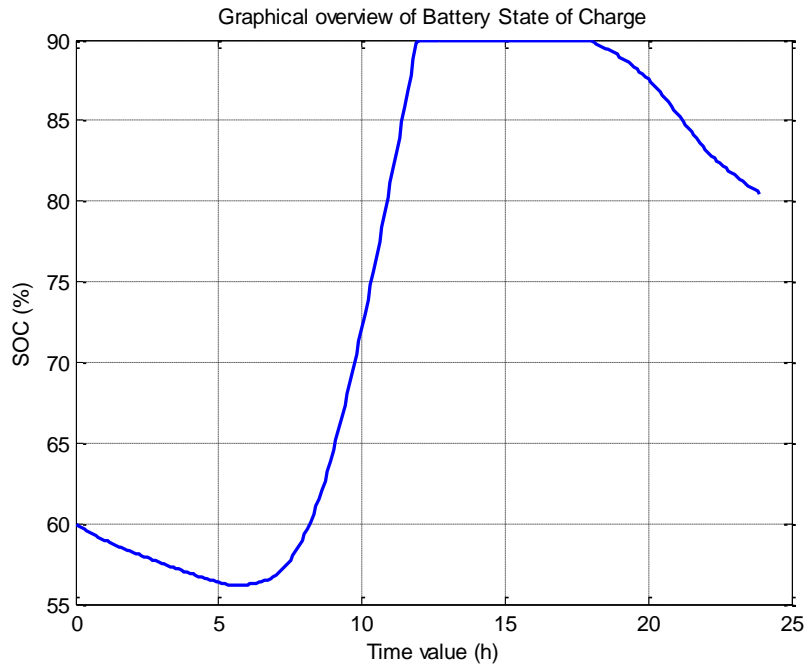
Η τελευταία παρατήρηση επαληθεύεται από το γράφημα για την κατάσταση φόρτισης των συσσωρευτών για χρονικό διάστημα προσομοίωσης δύο ημερών όπου παρατηρούμε ότι τα επίπεδα φόρτισης των συσσωρευτών δεν έχουν εκφορτιστεί κάτω από το κατώφλι ασφαλείας 50% μετά το τέλος της 1<sup>ης</sup> και στην αρχή της 2<sup>ης</sup> ημέρας. Αξίζει να σημειωθεί πως αν είχαμε χρησιμοποιήσει μικρότερη χωρητικότητα συσσωρευτών θα χρειαζόταν να αυξήσουμε τα όρια προσφοράς ισχύος από το εξωτερικό δίκτυο παροχής ισχύος, όπου η ευσταθής λειτουργία του μικροδικτύου και πάλι θα ήταν εφικτή.

### 7.3.6 Στόχος Σεναρίου Προσομοίωσης Ηλεκτρικής Λειτουργίας ΣΗΘ

Επαναλαμβάνουμε το ίδιο σενάριο για καλοκαιρινό μήνα με τις ίδιες καταναλώσεις (ηλεκτρικές και θερμικές), τις ίδιες παραγωγές από τα φωτοβολταϊκά συστήματα, μόνο που τώρα οι μονάδες συμπαραγωγής θα δουλεύουν σε electricity match, δηλαδή κάλυψη του ηλεκτρικού φορτίου βάσης και όχι του θερμικού όπως προηγουμένως. Στόχος είναι όλο το μικροδίκτυο να καλύπτεται αυτόνομα χωρίς την προσφορά ισχύος από το εξωτερικό δίκτυο παροχής ισχύος και η λειτουργία του μικροδικτύου να είναι ευσταθής, δηλαδή η κατάσταση του επιπέδου φόρτισης των συσσωρευτών να είναι από 50% και άνω, ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος στη λειτουργία του μικροδικτύου.

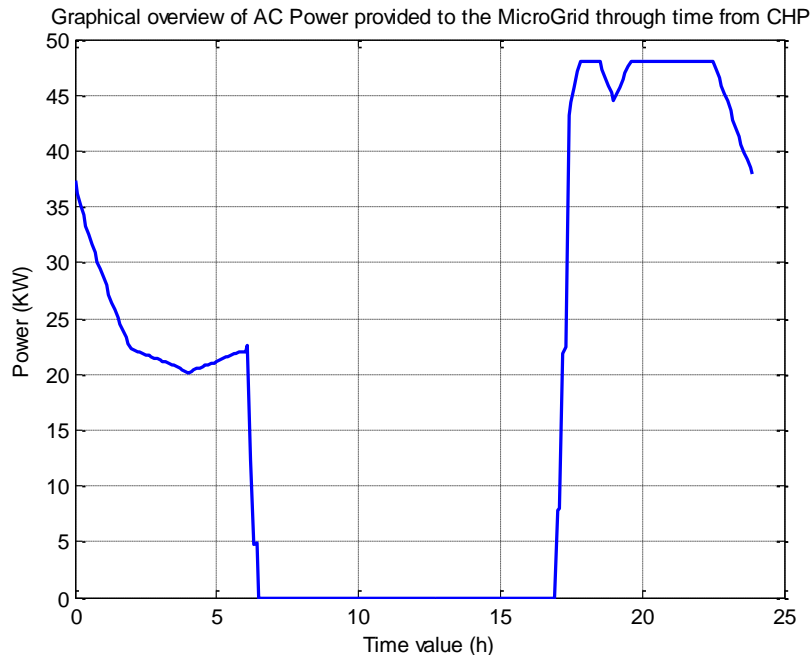
### 7.3.7 Αποτελέσματα Σεναρίου Προσομοίωσης Ηλεκτρικής Λειτουργίας ΣΗΘ

Τα αποτελέσματα από το σενάριο προσομοίωσης που πραγματοποιήσαμε για καλοκαιρινό μήνα με υψηλή παραγωγή από τα φωτοβολταϊκά σε συνδυασμό με μειωμένα φορτία κατανάλωσης και μειωμένες θερμικές ανάγκες απεικονίζονται στα παρακάτω γραφήματα.



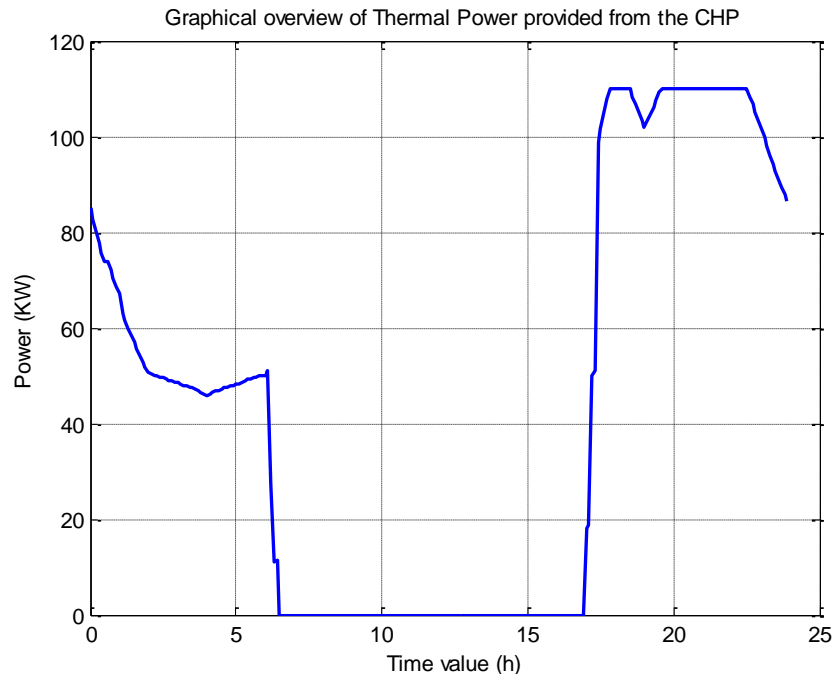
**Σχήμα 7.50:** Γράφημα για την κατάσταση φόρτισης (SOC) των συσσωρευτών του μικροδικτύου

Από το διάγραμμα φόρτισης των συσσωρευτών του μικροδικτύου παρατηρούμε ότι κατά τη χρονική εκτέλεση του σεναρίου το σύστημα εκκινεί με τιμή ποσοστού φόρτισης 60%. Κατά τις αρχικές πρωινές ώρες της προσομοίωσης το σύστημα αποδίδει ενέργεια από τους συσσωρευτές για την κάλυψη των αναγκών ισχύος του μικροδικτύου, διότι στη φάση αυτή τα φωτοβολταϊκά συστήματα δεν αποδίδουν ακόμη ενέργεια προς το σύστημα. Η φάση αυτή καταλήγει σε ένα ποσοστό φόρτισης της τάξης του 56% για τους συσσωρευτές του συστήματος. Γύρω στις 12μ.μ, όπου η παροχή ισχύος από τα φωτοβολταϊκά συστήματα του μικροδικτύου είναι υψηλή και σημαντική για τη λειτουργία του μικροδικτύου, η φόρτιση των συσσωρευτών οδηγείται στο μέγιστο επιτρεπτό επίπεδο φόρτισης που έχουμε ορίσει το 90%. Το ποσοστό αυτό θα διατηρηθεί καθόλη τη διάρκεια της ημέρας, όπου υπάρχει μέγιστη προσφορά ισχύος από τα φωτοβολταϊκά συστήματα και λόγω του ότι οι μονάδες συμπαραγωγής δουλεύουν για να καλύψουν τις ηλεκτρικές ανάγκες των οικιών του μικροδικτύου, μέχρι τις 6.30μ.μ. Αντίστοιχα όπως θα γίνει εμφανές, αυτές τις ώρες η πλεονάζουσα παραγόμενη ισχύς η οποία δεν μπορεί να διοχετευθεί σε κατανάλωση ή προς τους συσσωρευτές, αποδεσμεύεται ως περίσσεια ισχύος Spare Power την οποία μπορεί ο διαχειριστής να πουλήσει στην εταιρεία διανομής ηλεκτρικής ενέργειας ή να τη διαθέσει για να καλύψει ανάγκες φωτισμού σε δημόσιους και κοινόχρηστους χώρους. Μετά τις 6.30μ.μ η παρεχόμενη ενέργεια από τα φωτοβολταϊκά συστήματα δεν επαρκεί για να διατηρήσει τα επίπεδα φόρτισης των συσσωρευτών και κατά κύριο λόγο η παραγόμενη ισχύς διατίθεται για την κάλυψη των φορτίων του μικροδικτύου. Τα επίπεδα φόρτισης των συσσωρευτών μετά τις απογευματινές ώρες εμφανίζονται να μειώνονται όπου στο τέλος της προσομοίωσης καταλήγουν σε ένα επίπεδο φόρτισης της τάξης του 81%, ικανό για την ευσταθή λειτουργία του μικροδικτύου.



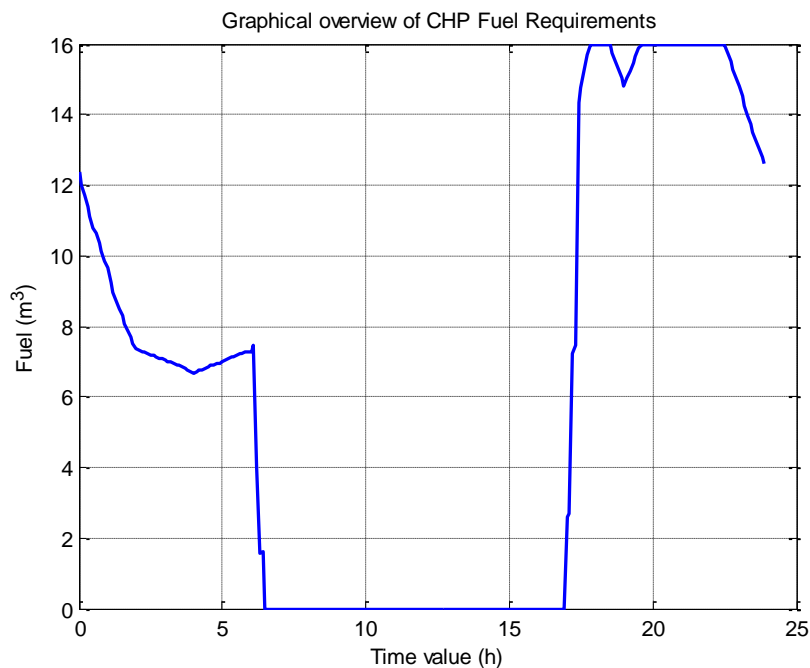
**Σχήμα 7.51:** Γράφημα της AC ισχύος που αποδίδεται στο μικροδίκτυο από τις μονάδες συμπαραγωγής

Το παραπάνω διάγραμμα δείχνει τη συνολική προσφορά ισχύος από τις μονάδες συμπαραγωγής εφόσον δουλεύουν για κάλυψη του ηλεκτρικού φορτίου βάσης προς συνολικά το μικροδίκτυο για την κάλυψη των AC και DC φορτίων του μικροδικτύου. Παρατηρούμε ότι μέχρι τις 7π.μ η συνολικά προσφερόμενη ισχύς καλύπτει αθροιστικά τα AC φορτία του μικροδικτύου, με βάση τον αλγόριθμο του διαχειριστή του ελέγχου. Η προσφερόμενη ισχύς από τις μονάδες συμπαραγωγής αρχίζει να μειώνεται με σχετικά ομαλό γραμμικό και μονότονο τρόπο κατά τη φάση όπου τα φωτοβολταϊκά συστήματα αρχίζουν να τίθενται σε λειτουργία, προσφέροντας στο μικροδίκτυο σημαντικά ποσά ισχύος. Το γεγονός αυτό καταλήγει σε προσφορά μηδενικού επιπέδου ισχύος προς το μικροδίκτυο για όλο το χρονικό διάστημα από τις 7π.μ μέχρι και τις 5μ.μ. Μετά την φάση αυτή τα επίπεδα παροχής ισχύος από τα φωτοβολταϊκά συστήματα αρχίζουν να μειώνονται λόγω μείωσης των επιπέδων φωτεινότητας κατά την πάροδο της ημέρας, και αυξάνεται η προσφορά ισχύος από τις μονάδες συμπαραγωγής. Το φαινόμενο αυτό κορυφώνεται σύντομα παίρνοντας από τις μονάδες συμπαραγωγής τα μέγιστα των απαιτήσεων 48 KW. Με βάση τις απαιτήσεις των ηλεκτρικών καταναλώσεων, καθώς και τα επίπεδα φόρτισης των συσσωρευτών, παρατηρούμε ότι η παρεχόμενη ισχύς από τα CHPs διατηρείται στα μέγιστα επίπεδα περίπου ως το τέλος της προσομοίωσης, ανάλογα με τις απαιτήσεις που χρειάζεται να καλυφθούν.



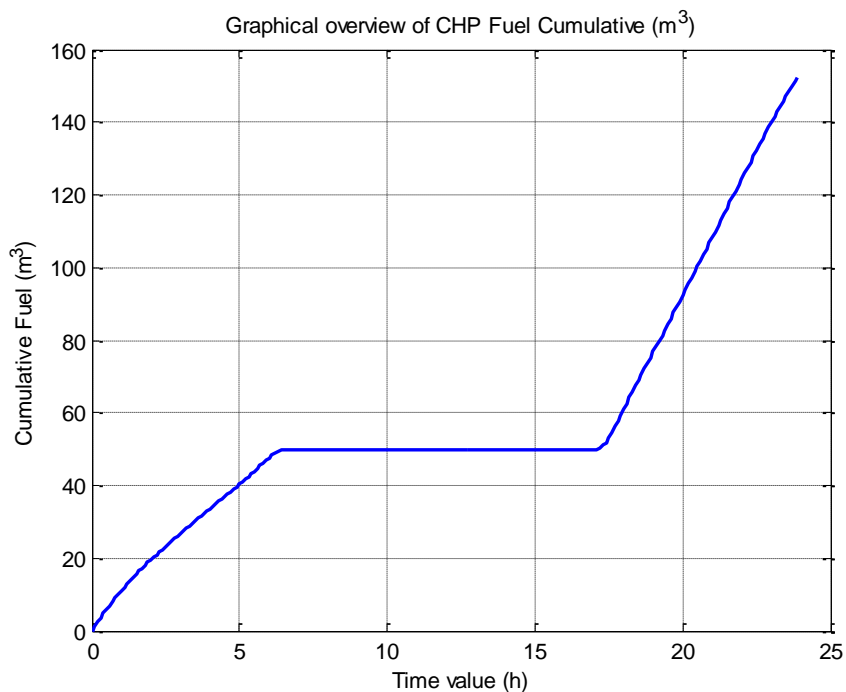
**Σχήμα 7.52:** Γράφημα παραγόμενης θερμικής ισχύος από τις μονάδες συμπαραγωγής

Η μορφή του διαγράμματος οφείλεται στην παραγωγή θερμικής ισχύος που προκύπτει μέσω του λόγου μετατροπής HPR από την λειτουργία των μονάδων συμπαραγωγής οι οποίες λειτουργούν για κάλυψη του ηλεκτρικού φορτίου βάσης. Παρατηρούμε ότι μέχρι τις 7π.μ παράγεται θερμική ισχύς διότι υπάρχουν ηλεκτρικές καταναλώσεις που καλύπτονται από τις μονάδες συμπαραγωγής, αλλά αυτές τις ώρες οι θερμικές ανάγκες των οικιών του μικροδικτύου είναι ελάχιστες, όπως ορίζει το σενάριο προσομοίωσης. Από τις 7π.μ έως τις 5μ.μ έχουμε μηδενική παραγωγή θερμικής ισχύος, εφόσον δεν υπάρχουν ηλεκτρικές ανάγκες και οι μονάδες συμπαραγωγής δεν λειτουργούν. Οι όποιες θερμικές ανάγκες προκύψουν αυτό το χρονικό διάστημα θα καλυφθούν από το boiler, όπως φαίνεται και στο αντίστοιχο διάγραμμα λειτουργίας του. Μετά την φάση αυτή τα επίπεδα παροχής ισχύος από τα φωτοβολταϊκά συστήματα αρχίζουν να μειώνονται λόγω μείωσης των επιπέδων φωτεινότητας κατά την πάροδο της ημέρας, και αυξάνεται η προσφορά ισχύος από τις μονάδες συμπαραγωγής, γι' αυτό και έχουμε μεγάλη παραγωγή θερμικής ισχύος. Με βάση τις απαιτήσεις των ηλεκτρικών καταναλώσεων, καθώς και τα επίπεδα φόρτισης των συσσωρευτών, παρατηρούμε ότι η παρεχόμενη θερμική ισχύς από τα CHPs διατηρείται στα μέγιστα επίπεδα περίπου ως το τέλος της προσομοίωσης.



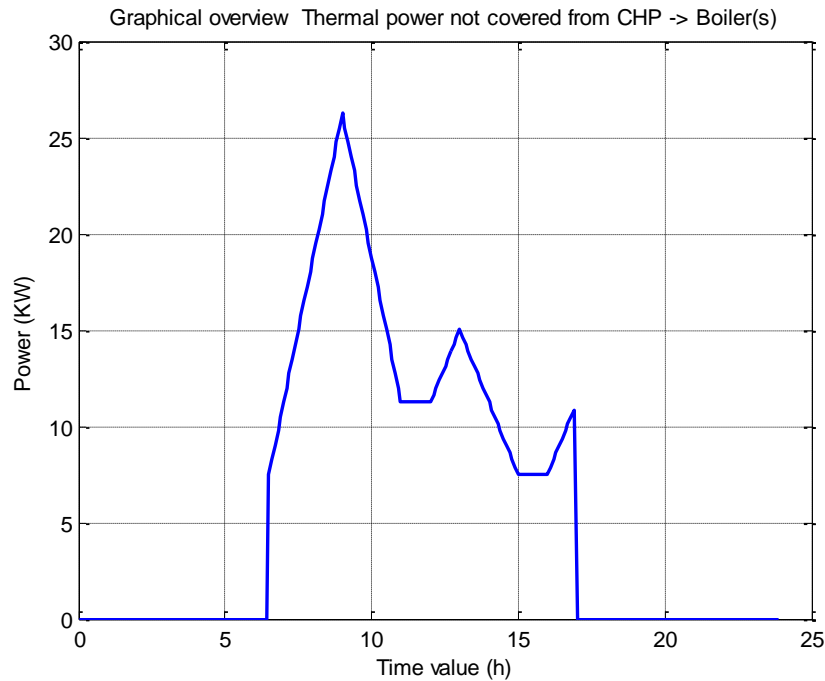
**Σχήμα 7.53:** Γράφημα απαιτήσεων καυσίμου για την λειτουργία των CHPs

Το παραπάνω διάγραμμα παρουσιάζει γραφικά καθόλη τη διάρκεια της προσομοίωσης για το μικροδίκτυο τις στιγμιαίες απαιτήσεις καυσίμου, όπως αυτές μεταβάλλονται στις διάφορες χρονικές φάσεις. Η μορφή του διαγράμματος κατανάλωσης καυσίμου των CHPs βρίσκεται σε πλήρη συμφωνία με την μορφή των διαγραμμάτων θερμικής και ηλεκτρικής παραγωγής από τις μονάδες συμπαραγωγής, που λειτουργούν για κάλυψη του ηλεκτρικού φορτίου βάσης, που έχουν αναλυθεί προηγουμένως.



**Σχήμα 7.54:** Γράφημα συσσωρευτικών απαιτήσεων καυσίμου για την λειτουργία των CHPs

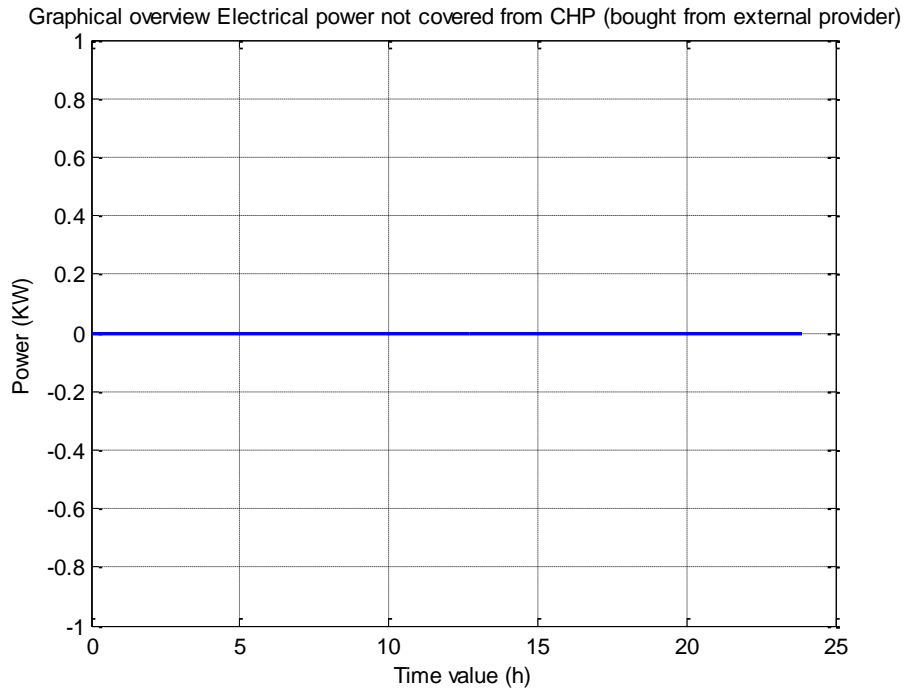
Το παραπάνω διάγραμμα παρουσιάζει γραφικά καθόλη τη διάρκεια της προσομοίωσης για το μικροδίκτυο τις συνολικές απαιτήσεις καυσίμου, όπως αυτές μεταβάλλονται στις διάφορες χρονικές φάσεις. Η μορφή του διαγράμματος κατανάλωσης καυσίμου των CHPs είναι γνησίως αύξουσα μέχρι τις 7π.μ και από τις 5μ.μ μέχρι το τέλος της προσομοίωσης, γεγονός που μας δείχνει ότι έχουμε σημαντικές ηλεκτρικές ανάγκες και οι μονάδες συμπαραγωγής δουλεύουν για να τις καλύψουν, που δικαιολογεί και το συγκεκριμένο σενάριο προσομοίωσης. Στο διάστημα 7π.μ -5μ.μ το γράφημα παραμένει σταθερό γιατί οι ηλεκτρικές ανάγκες καλύπτονται από την υψηλή παραγωγή των φωτοβολταϊκών και οι μονάδες συμπαραγωγής δεν λειτουργούν.



**Σχήμα 7.55:** Γράφημα Θερμικής ισχύς που καλύπτεται από boiler

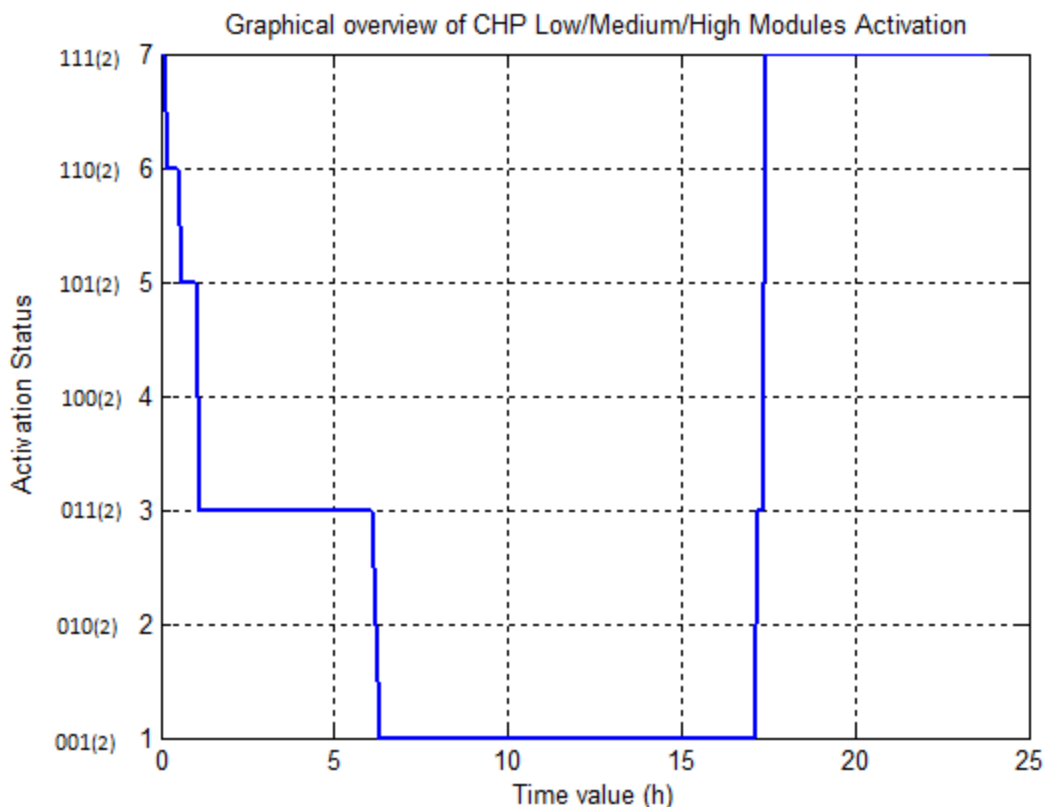
Το παραπάνω διάγραμμα παρουσιάζει γραφικά καθόλη τη διάρκεια της προσομοίωσης τα επίπεδα θερμικών φορτίων που δεν καλύπτονται από τα CHPs και κατευθύνονται για κάλυψη σε εξωτερικό θερμαντήρα (boiler). Η διαμόρφωση του διαγράμματος αφορά στην μορφή και τις απαιτήσεις του συγκεκριμένου σεναρίου προσομοίωσης. Οι χρονικές περίοδοι στις οποίες εμφανίζονται θερμικές ανάγκες που δεν καλύπτονται από τις μονάδες συμπαραγωγής είναι κυρίως από τις 7π.μ έως τις 5μ.μ, διότι τα CHPs δεν λειτουργούν, όπως απεικονίζεται και στο ακόλουθο διάγραμμα λειτουργίας των CHPs.





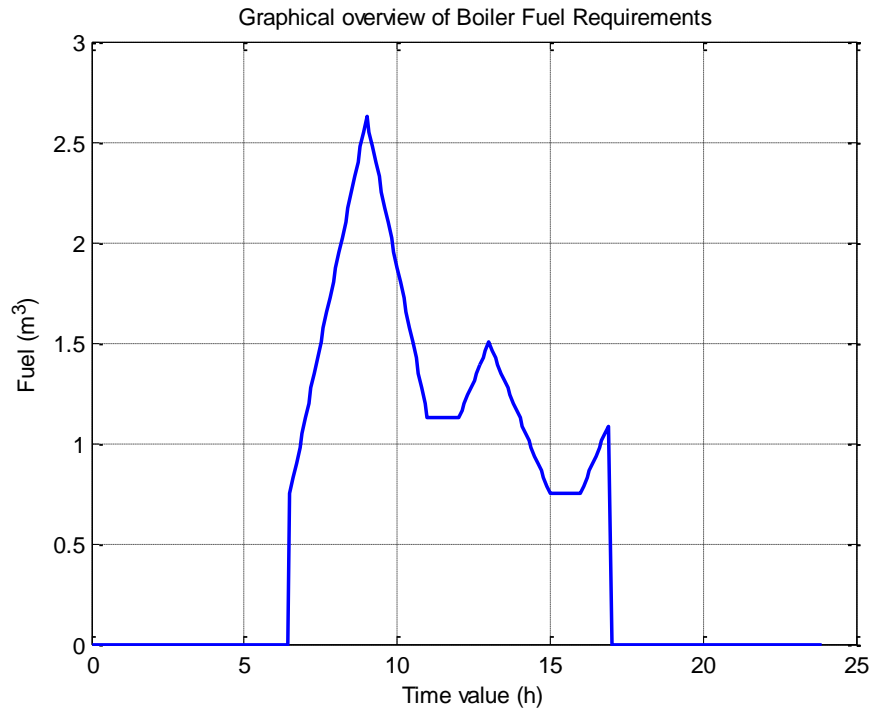
**Σχήμα 7.56:** Γράφημα της AC ισχύος που αποδίδεται στο μικροδίκτυο από το εξωτερικό δίκτυο

Το παραπάνω διάγραμμα δείχνει τη συνολική προσφορά ισχύος από το εξωτερικό δίκτυο προς συνολικά το μικροδίκτυο για την κάλυψη των AC και DC φορτίων του μικροδικτύου. Παρατηρούμε ότι το εξωτερικό δίκτυο δεν παρέχει καθόλου ισχύ καθόλη τη διάρκεια της προσομοίωσης για το συγκεκριμένο σενάριο. Το σενάριο έχει πραγματοποιηθεί για καλοκαιρινή ημέρα με μειωμένες θερμικές ανάγκες και υψηλή παραγωγή φωτοβολταϊκών, μόνο που οι μονάδες συμπαραγωγής λειτουργούν για κάλυψη των ηλεκτρικών φορτίων κατανάλωσης των οικιών του μικροδικτύου όπου σε συνδυασμό με τα φωτοβολταϊκά που παράγουν μεγάλη ισχύ και την ενέργεια από τους συσσωρευτές μας, καλύπτουν τα DC και AC φορτία όλων των οικιών του μικροδικτύου και γι' αυτό δεν χρειάζεται να αγοράσουμε AC ισχύ από το εξωτερικό δίκτυο. Αυτό μπορεί να επαληθευτεί και από το διάγραμμα κατάστασης του επιπέδου φόρτισης των συσσωρευτών το οποίο δεν πέφτει κάτω από 50% γι' αυτό δεν παρουσιάζονται σήματα συναγερμού (άρα και ζήτησης ισχύος από το εξωτερικό δίκτυο).



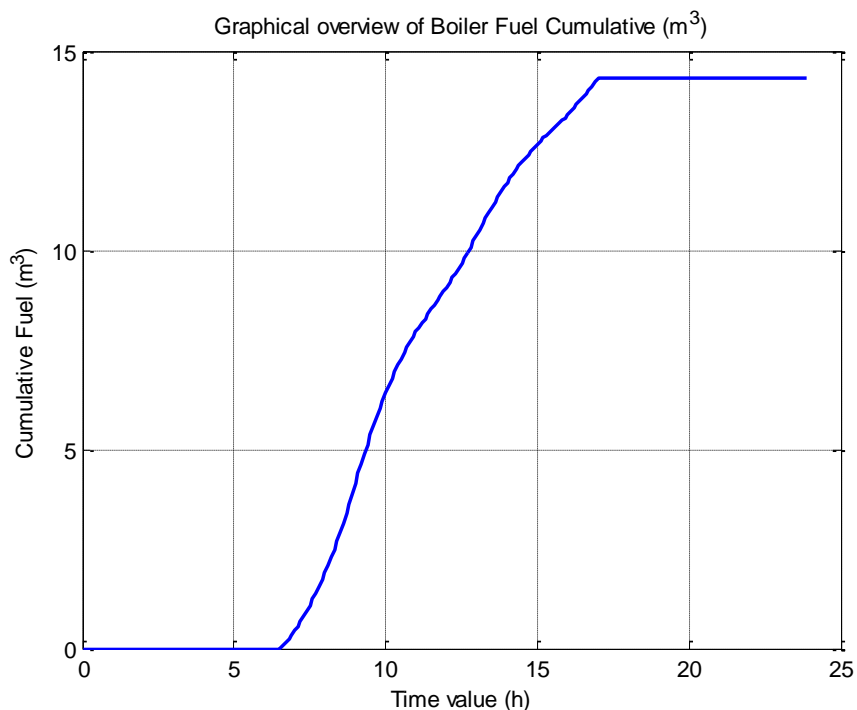
**Σχήμα 7.57:** Διάγραμμα χρονικής λειτουργίας των 3 μονάδων CHPs του συστήματος

Το παραπάνω διάγραμμα παρουσιάζει τις χρονικές στιγμές ενεργοποίησης των CHPs που διαθέτει το σύστημά μας. Η τιμή 7 αντιστοιχεί σε ταυτόχρονη ενεργοποίηση και των 3 CHPs  $7_{<10>} = 111_{<2>}$ . Δηλαδή, η λειτουργία των CHPs αντιστοιχεί σε δυαδική μεταβλητή η οποία λαμβάνει την τιμή 1 όταν το αντίστοιχο CHP είναι ενεργοποιημένο και 0 αλλιώς. Από το σενάριο προσομοίωσης παρατηρούμε ότι κατά τις 5μ.μ μέχρι το τέλος της προσομοίωσης ενεργοποιούνται και τα 3 CHPs, εφόσον σταματάει η παραγωγή φωτοβολταϊκών, και οι μονάδες συμπαραγωγής λειτουργούν για κάλυψη των ηλεκτρικών φορτίων κατανάλωσης των οικιών του μικροδικτύου. Από το βράδυ έως τις 7π.μ επειδή οι ηλεκτρικές ανάγκες κυμαίνονται έχουμε την αντίστοιχη ενεργοποίηση των CHPs που χρειάζεται για να καλυφθούν. Στο χρονικό διάστημα λίγο πριν τις 7π.μ -5μ.μ οι ηλεκτρικές ανάγκες καλύπτονται από την υψηλή παραγωγή φωτοβολταϊκών και είναι ενεργοποιημένο μόνο το μικρής κλίμακας CHP  $1_{<10>} = 001_{<2>}$  (τιμή 1) εφεδρικά.



**Σχήμα 7.58:** Γράφημα απαιτήσεων καυσίμου για την λειτουργία του boiler

Το παραπάνω διάγραμμα παρουσιάζει γραφικά καθόλη τη διάρκεια της προσομοίωσης για το μικροδίκτυο τις στιγμιαίες απαιτήσεις καυσίμου για την λειτουργία του λέβητα, όπως αυτές μεταβάλλονται στις διάφορες χρονικές φάσεις. Η μορφή του διαγράμματος κατανάλωσης καυσίμου του λέβητα βρίσκεται σε πλήρη συμφωνία με την μορφή του διαγράμματος θερμικών απαιτήσεων που δεν καλύπτονται από τις μονάδες συμπαραγωγής όπως άλλωστε ορίζει και το συγκεκριμένο σενάριο προσομοίωσης.



**Σχήμα 7.59:** Γράφημα συσσωρευτικών απαιτήσεων καυσίμου για την λειτουργία του boiler

Το παραπάνω διάγραμμα παρουσιάζει γραφικά καθόλη τη διάρκεια της προσομοίωσης για το μικροδίκτυο τις συνολικές απαιτήσεις καυσίμου για την λειτουργία του λέβητα. Η μορφή του διαγράμματος κατανάλωσης καυσίμου του λέβητα είναι γνησίως αύξουσα από τις 7π.μ έως τις 5μ.μ, διότι τις ώρες αυτές καλύπτονται οι ελάχιστες θερμικές απαιτήσεις των οικιών από το λέβητα, εφόσον οι μονάδες συμπαραγωγής λειτουργούν για κάλυψη των ηλεκτρικών απαιτήσεων, όπου οι ηλεκτρικές απαιτήσεις αυτές τις ώρες καλύπτονται από την υψηλή παραγωγή φωτοβολταϊκών. Τις υπόλοιπες ώρες η μορφή του διαγράμματος είναι σταθερή που μας δείχνει ότι τις ώρες εκείνες δεν λειτουργεί ο λέβητας, που δικαιολογεί ότι αυτές τις χρονικές στιγμές οι θερμικές ανάγκες καλύπτονται από τις μονάδες συμπαραγωγής.

### 7.3.8 Χαρακτηριστικές Τιμές Σεναρίου Προσομοίωσης Ηλεκτρικής Λειτουργίας των ΣΗΘ

Τα χαρακτηριστικά του σεναρίου που προσομοιώθηκε συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα:

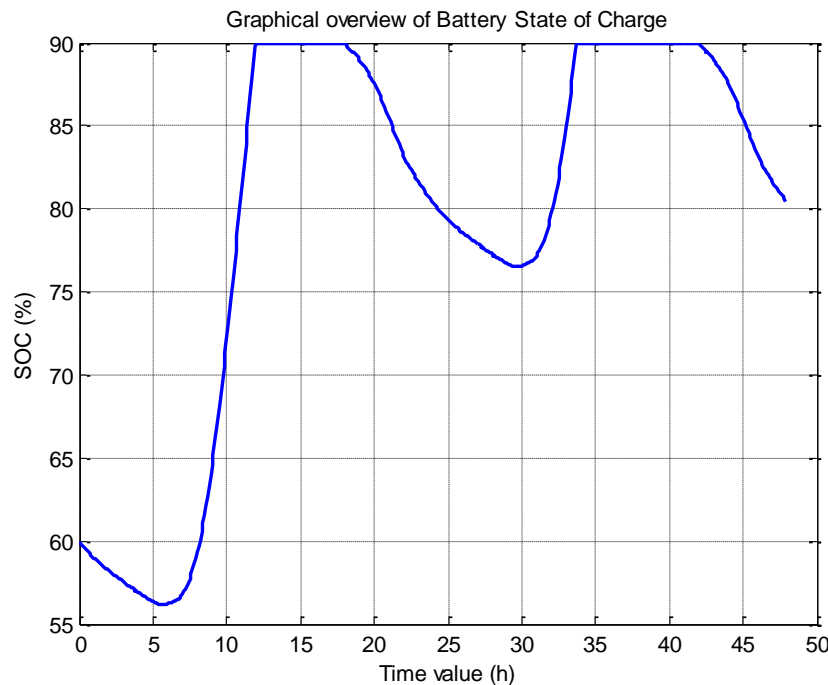
CHP provides AC power

Χαρακτηριστικά	Τιμή		
Simulation Duration	0 – 23.99		
Number of Home Types	3		
Number of Homes per Type	30	30	30
Max D_DC Load value (KW)	54.4620		
Max D_AC Load value (KW)	54.4621		
Peak P_dc value (KW)	5.6867		
Peak P_ac value (KW)	48		
Average Power produced in PV panels (KW)	1.3971		
Average Power produced in PV panels per type (KW)	2.2057	1.3238	0.6619
Average AC Power used from network (KW)	19.2599		
Average DC Power Load per Home (KW)	0.3853		
Average DC Power Load per Home per type (KW)	0.5362	0.3871	0.2328
Average AC Power Load per Home (KW)	0.3857		
Average AC Power Load per Home per type (KW)	0.5366	0.3874	0.2330
Average Power Total Load (KW)	69.3939		
Total Spare Energy (KWh)	964.0720		
Peak thermal_demand all homes (KW)	29.9970		
Peak thermal_load per Home per type (KW)	0.4444	0.3333	0.2222
Peak heat_load per Home per type (KW)	0	0	0
Peak hw_load per Home per type (KW)	0.4444	0.3333	0.2222
CHP Cumulative Fuel Consumption (m <sup>3</sup> )	153.7125		
CHP Cumulative Cost (€)	95.3018		
Boiler Cumulative Fuel Consumption (m <sup>3</sup> )	14.3265		
Boiler Cumulative Cost (€)	8.8824		

### 7.3.9 Συμπεράσματα Σεναρίου Προσομοίωσης Ηλεκτρικής Λειτουργίας ΣΗΘ

Από την εκτέλεση του σεναρίου προσομοίωσης το οποίο συμπεριελάμβανε ελάχιστα ποσά θερμικών φορτίων, παρατηρούμε ότι η χρήση των μονάδων CHPs λειτουργώντας για κάλυψη του ηλεκτρικού φορτίου βάσης προσέφερε σημαντικά επίπεδα ισχύος για την κάλυψη των αναγκών των οικιών του μικροδικτύου και με την υψηλή παραγωγή ισχύος από τα φωτοβολταϊκά συστήματα καλύπτουμε πλήρως τις ανάγκες για καταναλώσεις AC και DC, χωρίς να χρειαστεί να αγοράσουμε ηλεκτρική ισχύ καθόλη τη διάρκεια της προσομοίωσης. Όπως παρατηρήσαμε από την ανάλυση των διαγραμμάτων, το σύστημα εκκινεί με επίπεδο φόρτισης 60% για τους συσσωρευτές του και τελειώνει την προσομοίωση με ένα ποσοστό φόρτισης των συσσωρευτών της τάξης του 81%, το οποίο εξασφαλίζει την ευσταθή λειτουργία του μικροδικτύου. Επίσης, το μικροδίκτυο εμφανίζει πλεονάζουσα ισχύ, όπως και στην περίπτωση θερμικής λειτουργίας των μονάδων συμπαραγωγής, για την οποία προτείναμε τρόπους για την καλύτερη αξιοποίησή της από τον διαχειριστή του μικροδικτύου. Τέλος, είδαμε ότι λειτουργεί και ο λέβητας, ενώ στην προηγούμενη περίπτωση δεν λειτουργούσε, για την κάλυψη των ελάχιστων θερμικών αναγκών, λόγω καλοκαιριού, όπως ορίζει το συγκεκριμένο σενάριο προσομοίωσης.

Παρακάτω ακολουθεί το διάγραμμα κατάστασης των συσσωρευτών του συστήματος για χρονικό διάστημα προσομοίωσης το οποίο υπερβαίνει τη χρονική διάρκεια της μιας μέρας διατηρώντας περιοδικά τις ίδιες συνθήκες προσομοίωσης όσον αφορά παραγωγή από φωτοβολταϊκά και καταναλώσεις (ηλεκτρικές και θερμικές).



**Σχήμα 7.60:** Γράφημα για την κατάσταση φόρτισης (SOC) των συσσωρευτών του μικροδικτύου

Από το διάγραμμα παρατηρούμε ότι τα επίπεδα φόρτισης των συσσωρευτών του συστήματος διατηρούνται οριακά στα ίδια επίπεδα για το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα προσομοίωσης, γεγονός που μας δείχνει την ευσταθή λειτουργία του μικροδικτύου, χωρίς να παίρνουμε καθόλου

AC ισχύ από το εξωτερικό δίκτυο, δεδομένου ότι έχουμε μειωμένες θερμικές ανάγκες αλλά οι μονάδες συμπαραγωγής λειτουργούν για κάλυψη των ηλεκτρικών απαιτήσεων των οικιών του μικροδικτύου σε συνδυασμό με τη υψηλή παραγωγή από τα φωτοβολταϊκά μας καλύπτουν τις ανάγκες του μικροδικτύου και έχουμε μεγάλη περίσσεια ισχύος την οποία μπορούμε να διαχειριστούμε με τους τρόπους που αναφέραμε παραπάνω.

#### **7.4 Επιπρόσθετα Σενάρια Προσομοίωσης**

##### **7.4.1 3<sup>ο</sup> Σενάριο Προσομοίωσης**

Το συγκεκριμένο σενάριο στο υπομελέτη μικροδίκτυο που προσομοιώνουμε έχει υψηλή PV (παραγωγή από φωτοβολταϊκά), χαμηλά ηλεκτρικά φορτία κατανάλωσης και αυξημένες θερμικές ανάγκες (αλλά χαμηλότερες σε σχέση με το 1<sup>ο</sup> σενάριο).

##### **7.4.2 Στόχος Σεναρίου Προσομοίωσης Θερμικής Λειτουργίας ΣΗΘ**

Ο στόχος του συγκεκριμένου σεναρίου είναι η κάλυψη ηλεκτρικών και θερμικών αναγκών 30 οικιών τριών διαφορετικών τύπων, δηλαδή 90 οικιών, οι οποίες μετέχουν στη δομή ενός μικροδικτύου με χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων, μονάδων συμπαραγωγής ύστερα από κατάλληλη διαστασιολόγηση και boiler. Λόγω της υψηλής παραγωγής των ΦΒ κατά την διάρκεια της χειμωνιάτικης ημέρας σε συνδυασμό με τις μειωμένες ηλεκτρικές απαιτήσεις της κατανάλωσης, αναμένουμε λιγότερη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας (σε σχέση με το πρώτο σενάριο) από το μικροδίκτυο, η οποία θα πρέπει να καλυφθεί κατά ένα μέρος από την υπάρχουσα ισχύ των συσσωρευτών, την προσφερόμενη ηλεκτρική ισχύ από τα ΦΒ και περισσότερο από την επιπλέον ισχύ που προκύπτει από την θερμική λειτουργία των μονάδων CHPs. Τα θερμικά φορτία αναμένεται να καλυφθούν κατά ένα σημαντικό μέρος από τις μονάδες των CHPs ενώ οποιοδήποτε πλεόνασμα ζητηθεί που δεν μπορεί να καλυφθεί από τις μονάδες συμπαραγωγής θα καλυφθεί από την χρήση εξωτερικού θερμαντήρα (boiler). Τέλος, αναμένουμε τις ώρες λειτουργίας των φωτοβολταϊκών πλεονάζουσα ισχύ του μικροδικτύου λόγω της υψηλής παραγωγής από τα φωτοβολταϊκά.

### 7.4.3 Χαρακτηριστικές Τιμές Σεναρίου Προσομοίωσης Θερμικής Λειτουργίας ΣΗΘ

Τα χαρακτηριστικά του σεναρίου που προσομοιώθηκε συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα:

External Network provides AC power

Χαρακτηριστικά	Τιμή		
Simulation Duration	0 – 23.99		
Number of Home Types	3		
Number of Homes per Type	30	30	30
Max D_DC Load value (KW)	35.1193		
Max D_AC Load value (KW)	29.4222		
Battery State of Charge of Microgrid <sub>input</sub>	60%		
Battery State of Charge of Microgrid <sub>output</sub>	83.5%		
Peak P_dc value (KW)	25.8915		
Peak P_ac value (KW)	0		
Average Power produced in PV panels (KW)	0.9238		
Average Power produced in PV panels per type (KW)	1.5956	0.7840	0.3920
Average AC Power used from network (KW)	0		
Average DC Power Load per Home (KW)	0.3038		
Average DC Power Load per Home per type (KW)	0.4388	0.3081	0.1645
Average AC Power Load per Home (KW)	0.3041		
Average AC Power Load per Home per type (KW)	0.4391	0.3084	0.1647
Average Power Total Load (KW)	54.7095		
Total Spare Energy (KWh)	806.9515		
Peak thermal_demand all homes (KW)	161.2500		
Peak thermal_load per Home per type (KW)	2.3889	1.7917	1.1944
Peak heat_load per Home per type (KW)	2.1261	1.5946	1.0630
Peak hw_load per Home per type (KW)	0.2628	0.1971	0.1314
CHP Cumulative Fuel Consumption (m <sup>3</sup> )	323.3041		
CHP Cumulative Cost (€)	200.4485		
Boiler Cumulative Fuel Consumption (m <sup>3</sup> )	55.4699		
Boiler Cumulative Cost (€)	34.3913		



#### 7.4.4 Συμπεράσματα Σεναρίου Προσομοίωσης Θερμικής Λειτουργίας ΣΗΘ

Από την εκτέλεση του σεναρίου προσομοίωσης το οποίο συμπεριελάμβανε σημαντικά ποσά θερμικών φορτίων, παρατηρούμε ότι η χρήση των μονάδων CHPs συνεισέφερε σημαντικά στα επίπεδα ηλεκτρικής ισχύος του συνολικού συστήματος, αφού όπως είδαμε καθόλη τη διάρκεια της προσομοίωσης δεν αγοράσαμε ηλεκτρική ισχύ από το εξωτερικό δίκτυο **Peak P<sub>ac</sub> value (KW) =0**. Παράλληλα, οι αυξημένες θερμικές απαιτήσεις οδήγησαν και σε ένα ποσοστό θερμικού φορτίου το οποίο θα πρέπει να καλυφθεί με την χρήση εξωτερικού θερμαντήρα (boiler) αφού οι μονάδες συμπαραγωγής δεν μπορούσαν να το καλύψουν. Η λειτουργία του συνολικού συστήματος είναι ευσταθής εφόσον παραλαμβάνει τους συσσωρευτές του συστήματος σε ένα ποσοστό φόρτισης της τάξης του 60% όπου και καταλήγει προσεγγιστικά μετά την ολοκλήρωση του σεναρίου προσομοίωσης σε ένα ποσοστό της τάξης περίπου 83.5% που μας δείχνει ότι λειτουργεί με αξιοπιστία το συνολικό σύστημα. Ένα επιπλέον συμπέρασμα που εξάγεται είναι ότι το μικροδίκτυο παράγει μεγάλη πλεονάζουσα ισχύ, διότι έχουμε υψηλή παραγωγή από τα φωτοβολταϊκά, χαμηλές ηλεκτρικές καταναλώσεις των χρηστών του μικροδικτύου αλλά σημαντικές θερμικές ανάγκες λόγω του ότι το σενάριο πραγματοποιείται για χειμωνιάτικη ημέρα. Αυτή τη διαθέσιμη ισχύ ο διαχειριστής του μικροδικτύου θα μπορούσε να την επιστρέφει προς το δίκτυο του φορέα διανομής ενέργειας μέσω πώλησης λαμβάνοντας κάποιο έσοδο ή να καλύπτει ανάγκες φωτισμού σε δημόσιους και κοινόχρηστους χώρους.

#### 7.4.5 4<sup>ο</sup> Σενάριο Προσομοίωσης

Το συγκεκριμένο σενάριο στο υπομελέτη μικροδίκτυο που προσομοιώνουμε έχει χαμηλή PV (παραγωγή από φωτοβολταϊκά), υψηλά ηλεκτρικά φορτία κατανάλωσης και μειωμένες θερμικές ανάγκες.

#### 7.4.6 Στόχος Σεναρίου Προσομοίωσης Θερμικής Λειτουργίας ΣΗΘ

Ο στόχος του συγκεκριμένου σεναρίου είναι η κάλυψη ηλεκτρικών και θερμικών αναγκών 30 οικιών τριών διαφορετικών τύπων, δηλαδή 90 οικιών, οι οποίες μετέχουν στη δομή ενός μικροδικτύου με χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων, μονάδων συμπαραγωγής ύστερα από κατάλληλη διαστασιολόγηση και boiler. Λόγω της χαμηλής παραγωγής των ΦΒ κατά την διάρκεια της καλοκαιρινής ημέρας σε συνδυασμό με τις αυξημένες ηλεκτρικές απαιτήσεις της κατανάλωσης, αναμένουμε αρκετά μεγάλη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας για κάλυψη των αναγκών του μικροδικτύου, η οποία θα πρέπει να καλυφθεί κατά ένα μέρος από την υπάρχουσα ισχύ των συσσωρευτών, την προσφερόμενη ηλεκτρική ισχύ από τα ΦΒ, περισσότερο από την εξωτερικά παρεχόμενη ισχύ από το δίκτυο και λιγότερο από την ισχύ που προκύπτει από την θερμική λειτουργία των μονάδων CHPs, εφόσον είναι κατά πολύ μειωμένες οι θερμικές ανάγκες όπως ορίζει το συγκεκριμένο σενάριο. Τα θερμικά φορτία αναμένεται να καλυφθούν στο συνολό τους από τις μονάδες των CHPs ενώ δεν θα υπάρχει πλεόνασμα και το boiler δεν θα λειτουργήσει. Σ' αυτό το σενάριο παίρνουμε μεγάλα ποσά ισχύος από το εξωτερικό δίκτυο. Τέλος, αναμένουμε τις ώρες λειτουργίας των φωτοβολταϊκών πλεονάζουσα ισχύ του μικροδικτύου, αλλά χαμηλότερη από το προηγούμενο σενάριο που πραγματοποιήθηκε για καλοκαιρινή ημέρα λόγω των δεδομένων που ορίζει το συγκεκριμένο σενάριο.

#### 7.4.7 Χαρακτηριστικές Τιμές Σεναρίου Προσομοίωσης Θερμικής Λειτουργίας ΣΗΘ

Τα χαρακτηριστικά του σεναρίου που προσομοιώθηκε συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα:

External Network provides AC power

Χαρακτηριστικά	Τιμή		
Simulation Duration	0 – 23.99		
Number of Home Types	3		
Number of Homes per Type	30	30	30
Max D_DC Load value (KW)	61.5852		
Max D_AC Load value (KW)	51.6789		
Battery State of Charge of Microgrid <sub>input</sub>	60%		
Battery State of Charge of Microgrid <sub>output</sub>	68%		
Peak P_dc value (KW)	20.8374		
Peak P_ac value (KW)	28		
Average Power produced in PV panels (KW)	1.0826		
Average Power produced in PV panels per type (KW)	1.8498	0.9320	0.4660
Average AC Power used from network (KW)	15.2848		
Average DC Power Load per Home (KW)	0.4372		
Average DC Power Load per Home per type (KW)	0.5866	0.4362	0.2888
Average AC Power Load per Home (KW)	0.4376		
Average AC Power Load per Home per type (KW)	0.5871	0.4366	0.2891
Average Power Total Load (KW)	78.7284		
Total Spare Energy (KWh)	337.9840		
Peak thermal_demand all homes (KW)	33.7500		
Peak thermal_load per Home per type (KW)	0.5000	0.3750	0.2500
Peak heat_load per Home per type (KW)	0	0	0
Peak hw_load per Home per type (KW)	0.5000	0.3750	0.2500
CHP Cumulative Fuel Consumption (m <sup>3</sup> )	45.2803		
CHP Cumulative Cost (€)	28.0738		
Boiler Cumulative Fuel Consumption (m <sup>3</sup> )	0		
Boiler Cumulative Cost (€)	0		

#### 7.4.8 Συμπεράσματα Σεναρίου Προσομοίωσης Θερμικής Λειτουργίας ΣΗΘ

Από την εκτέλεση του σεναρίου προσομοίωσης το οποίο συμπεριελάμβανε ελάχιστα ποσά θερμικών φορτίων, παρατηρούμε ότι η χρήση των μονάδων CHPs συνεισέφερε ελάχιστα στα επίπεδα ηλεκτρικής ισχύος για την κάλυψη των AC αναγκών, δεδομένου ότι πραγματοποιήθηκε για καλοκαιρινή ημέρα με υψηλές ηλεκτρικές καταναλώσεις των χρηστών του μικροδικτύου. Επίσης, έχουμε χαμηλή παραγωγή ισχύος από τα φωτοβολταϊκά, όπως ορίζει το σενάριο. Το σύστημα εκκινεί με επίπεδο φόρτισης 60% για τους συσσωρευτές του. Τις πρωινές ώρες όπου οι απαιτήσεις των ηλεκτρικών αναγκών του μικροδικτύου δεν μπορούν να καλυφθούν από την παραγωγή των φωτοβολταϊκών και από την παροχή ισχύος από τα CHPs, με κάλυψη θερμικού φορτίου βάσης, εφόσον οι θερμικές απαιτήσεις είναι πολύ χαμηλές, η απαιτούμενη ενέργεια παρέχεται από το εξωτερικό AC δίκτυο και από τους συσσωρευτές. Στη συνέχεια εφόσον η παραγωγή ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά συστήματα αρχίζει να δίνει υψηλές τιμές ισχύος, η κάλυψη των ενεργειακών απαιτήσεων του δικτύου μεταβιβάζεται σταδιακά προς τους συσσωρευτές του συστήματος ενώ ταυτόχρονα τα επίπεδα φόρτισής τους αυξάνουν και έχουμε πλεονάζουσα ισχύ, διότι η φόρτιση των συσσωρευτών έχει φτάσει το μέγιστο επίπεδο 90%. Το επίπεδο αυτό έχει καθοριστεί ώστε να αποφεύγονται οι υπερφορτίσεις των συσσωρευτών ώστε να έχουν μεγαλύτερο χρόνο ζωής. Το μικροδίκτυο παράγει μεγάλη πλεονάζουσα ισχύ την οποία χρειάζεται ο διαχειριστής του μικροδικτύου να την αξιοποιήσει είτε με πώληση, είτε με κάλυψη κοινωφελών αναγκών. Τις απογευματινές ώρες έχουμε εκφόρτιση των συσσωρευτών για την κάλυψη των αναγκών του μικροδικτύου. Με τη μικρότερη μονάδα συμπαραγωγής καλύπτουμε το μεγαλύτερο χρονικό διάστημα της προσομοίωσης για την κάλυψη των θερμικών απαιτήσεων. Καθόλη τη διάρκεια της προσομοίωσης η μεγάλη μονάδα συμπαραγωγής και το boiler δεν χρησιμοποιούνται, διότι οι θερμικές απαιτήσεις είναι ελάχιστες. Στο μικροδίκτυο έχουμε ορίσει επίπεδα εξωτερικής ισχύος  $P_{min}=0$  και  $P_{max}=28$  KW και παρατηρούμε ότι μπορεί να διατηρήσει ευσταθώς την λειτουργία του, διασφαλίζοντας σταθερά επίπεδα φόρτισης των συσσωρευτών του για χρονικό διάστημα προσομοίωσης το οποίο υπερβαίνει τη χρονική διάρκεια της μιας ημέρας, διότι το επίπεδο φόρτισης των συσσωρευτών δεν μειώνεται κάτω από 50%, μετά από 24 ώρες λειτουργίας του μικροδικτύου.

#### 7.4.9 Στόχος Σεναρίου Προσομοίωσης Ηλεκτρικής Λειτουργίας ΣΗΘ

Επαναλαμβάνουμε το ίδιο σενάριο για καλοκαιρινό μήνα με τις ίδιες καταναλώσεις (ηλεκτρικές και θερμικές), τις ίδιες παραγωγές από τα φωτοβολταϊκά συστήματα, μόνο που τώρα οι μονάδες συμπαραγωγής θα δουλεύουν σε electricity match, δηλαδή κάλυψη του ηλεκτρικού φορτίου βάσης και όχι του θερμικού όπως προηγουμένως. Στόχος είναι όλο το μικροδίκτυο να καλύπτεται αυτόνομα χωρίς την προσφορά ισχύος από το εξωτερικό δίκτυο παροχής ισχύος και η λειτουργία του μικροδικτύου να είναι ευσταθής, δηλαδή η κατάσταση του επιπέδου φόρτισης των συσσωρευτών να είναι από 50% και άνω, ώστε να υπάρχει κίνδυνος στη λειτουργία του μικροδικτύου.

#### 7.4.10 Χαρακτηριστικές Τιμές Σεναρίου Προσομοίωσης Ηλεκτρικής Λειτουργίας ΣΗΘ

Τα χαρακτηριστικά του σεναρίου που προσομοιώθηκε συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα:

CHP provides AC power

Χαρακτηριστικά	Τιμή		
Simulation Duration	0 – 23.99		
Number of Home Types	3		
Number of Homes per Type	30	30	30
Max D_DC Load value (KW)	61.5852		
Max D_AC Load value (KW)	61.5851		
Battery State of Charge of Microgrid <sub>input</sub>	60%		
Battery State of Charge of Microgrid <sub>output</sub>	75.5%		
Peak P_dc value (KW)	11.9549		
Peak P_ac value (KW)	48		
Average Power produced in PV panels (KW)	1.0826		
Average Power produced in PV panels per type (KW)	1.8498	0.9320	0.4660
Average AC Power used from network (KW)	21.7557		
Average DC Power Load per Home (KW)	0.4372		
Average DC Power Load per Home per type (KW)	0.5866	0.4362	0.2888
Average AC Power Load per Home (KW)	0.4376		
Average AC Power Load per Home per type (KW)	0.5871	0.4366	0.2891
Average Power Total Load (KW)	78.7284		
Total Spare Energy (KWh)	319.4165		
Peak thermal_demand all homes (KW)	33.7500		
Peak thermal_load per Home per type (KW)	0.5000	0.3750	0.2500
Peak heat_load per Home per type (KW)	0	0	0
Peak hw_load per Home per type (KW)	0.5000	0.3750	0.2500
CHP Cumulative Fuel Consumption (m <sup>3</sup> )	173.6290		
CHP Cumulative Cost (€)	107.6500		
Boiler Cumulative Fuel Consumption (m <sup>3</sup> )	13.6003		
Boiler Cumulative Cost (€)	8.4322		

#### **7.4.11 Συμπεράσματα Σεναρίου Προσομοίωσης Ηλεκτρικής Λειτουργίας ΣΗΘ**

Από την εκτέλεση του σεναρίου προσομοίωσης το οποίο συμπεριελάμβανε ελάχιστα ποσά θερμικών φορτίων, παρατηρούμε ότι η χρήση των μονάδων CHPs λειτουργώντας για κάλυψη του ηλεκτρικού φορτίου βάσης προσέφερε σημαντικά επίπεδα ισχύος για την κάλυψη των αναγκών των οικιών του μικροδικτύου και με την παραγωγή ισχύος από τα φωτοβολταϊκά συστήματα καλύπτουμε πλήρως τις ανάγκες για καταναλώσεις AC και DC, χωρίς να χρειαστεί να αγοράσουμε ηλεκτρική ισχύ καθόλη τη διάρκεια της προσομοίωσης. Όπως παρατηρήσαμε από την ανάλυση των διαγραμμάτων, το σύστημα εκκινεί με επίπεδο φόρτισης 60% για τους συσσωρευτές του και τελειώνει την προσομοίωση με ένα ποσοστό φόρτισης των συσσωρευτών της τάξης του 75.5%, το οποίο εξασφαλίζει την ευσταθή λειτουργία του μικροδικτύου. Επίσης, το μικροδίκτυο εμφανίζει πλεονάζουσα ισχύ, όπως και στην περίπτωση θερμικής λειτουργίας των μονάδων συμπαραγωγής αλλά λιγότερη, για την οποία προτείναμε τρόπους για την καλύτερη αξιοποίησή της από τον διαχειριστή του μικροδικτύου. Τέλος, είδαμε ότι λειτουργεί και ο λέβητας, ενώ στην προηγούμενη περίπτωση δεν λειτουργούσε, για την κάλυψη των ελάχιστων θερμικών αναγκών, λόγω καλοκαιριού, όπως ορίζει το συγκεκριμένο σενάριο προσομοίωσης.

#### **7.4.12 5<sup>ο</sup> Σενάριο Προσομοίωσης**

Το συγκεκριμένο σενάριο στο υπομελέτη μικροδίκτυο που προσομοιώνουμε έχει υψηλή PV (παραγωγή από φωτοβολταϊκά), χαμηλά ηλεκτρικά φορτία κατανάλωσης και μειωμένες θερμικές ανάγκες.

#### **7.4.13 Στόχος Σεναρίου Προσομοίωσης Θερμικής Λειτουργίας ΣΗΘ**

Ο στόχος του συγκεκριμένου σεναρίου είναι η κάλυψη ηλεκτρικών και θερμικών αναγκών 30 οικιών τριών διαφορετικών τύπων, δηλαδή 90 οικιών, οι οποίες μετέχουν στη δομή ενός μικροδικτύου με χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων, μονάδων συμπαραγωγής ύστερα από κατάλληλη διαστασιολόγηση και boiler. Λόγω της υψηλής παραγωγής των ΦΒ κατά την διάρκεια της φθινοπωρινής ημέρας σε συνδυασμό με τις μειωμένες ηλεκτρικές απαιτήσεις της κατανάλωσης, αναμένουμε σημαντική ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας για κάλυψη των αναγκών του μικροδικτύου, η οποία θα πρέπει να καλυφθεί κατά ένα μέρος από την υπάρχουσα ισχύ των συσσωρευτών, την προσφερόμενη ηλεκτρική ισχύ από τα ΦΒ, την εξωτερικά παρεχόμενη ισχύ από το δίκτυο και λιγότερο από την ισχύ που προκύπτει από την θερμική λειτουργία των μονάδων CHPs, εφόσον είναι κατά πολύ μειωμένες οι θερμικές ανάγκες όπως ορίζει το συγκεκριμένο σενάριο. Τα θερμικά φορτία αναμένεται να καλυφθούν στο σύνολό τους από τις μονάδες των CHPs ενώ δεν θα υπάρχει πλεόνασμα και το boiler δεν θα λειτουργήσει. Σ' αυτό το σενάριο παίρνουμε σημαντικά ποσά ισχύος από το εξωτερικό δίκτυο. Τέλος, αναμένουμε τις ώρες λειτουργίας των φωτοβολταϊκών πλεονάζουσα ισχύ του μικροδικτύου λόγω της υψηλής παραγωγής από τα φωτοβολταϊκά.

#### 7.4.14 Χαρακτηριστικές Τιμές Σεναρίου Προσομοίωσης Θερμικής Λειτουργίας ΣΗΘ

Τα χαρακτηριστικά του σεναρίου που προσομοιώθηκε συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα:

External Network provides AC power

Χαρακτηριστικά	Τιμή		
Simulation Duration	0 – 23.99		
Number of Home Types	3		
Number of Homes per Type	30	30	30
Max D_DC Load value (KW)	52.1461		
Max D_AC Load value (KW)	40.6729		
Battery State of Charge of Microgrid <sub>input</sub>	60%		
Battery State of Charge of Microgrid <sub>output</sub>	70%		
Peak P_dc value (KW)	19.0722		
Peak P_ac value (KW)	19		
Average Power produced in PV panels (KW)	1.2921		
Average Power produced in PV panels per type (KW)	2.0070	1.2927	0.5766
Average AC Power used from network (KW)	10.7745		
Average DC Power Load per Home (KW)	0.3691		
Average DC Power Load per Home per type (KW)	0.5121	0.3707	0.2245
Average AC Power Load per Home (KW)	0.3694		
Average AC Power Load per Home per type (KW)	0.5126	0.3711	0.2247
Average Power Total Load (KW)	66.4698		
Total Spare Energy (KWh)	846.0555		
Peak thermal_demand all homes (KW)	41.2500		
Peak thermal_load per Home per type (KW)	0.6111	0.4583	0.3056
Peak heat_load per Home per type (KW)	0	0	0
Peak hw_load per Home per type (KW)	0.6111	0.4583	0.3056
CHP Cumulative Fuel Consumption (m <sup>3</sup> )	56.8463		
CHP Cumulative Cost (€)	35.2447		
Boiler Cumulative Fuel Consumption (m <sup>3</sup> )	0		
Boiler Cumulative Cost (€)	0		

#### 7.4.15 Συμπεράσματα Σεναρίου Προσομοίωσης Θερμικής Λειτουργίας ΣΗΘ

Από την εκτέλεση του σεναρίου προσομοίωσης το οποίο συμπεριελάμβανε χαμηλές θερμικές απαιτήσεις, παρατηρούμε ότι η χρήση των μονάδων CHPs δεν συνεισέφερε σημαντικά στα επίπεδα ηλεκτρικής ισχύος για την κάλυψη των AC αναγκών, δεδομένου ότι πραγματοποιήθηκε για φθινοπωρινή ημέρα. Επίσης, έχουμε υψηλή παραγωγή ισχύος από τα φωτοβολταϊκά, όπως ορίζει το σενάριο. Το σύστημα εκκινεί με επίπεδο φόρτισης 60% για τους συσσωρευτές του. Τις πρωινές ώρες όπου οι απαιτήσεις των ηλεκτρικών αναγκών του μικροδικτύου δεν μπορούν να καλυφθούν από την παραγωγή των φωτοβολταϊκών και από την παροχή ισχύος από τα CHPs, με κάλυψη θερμικού φορτίου βάσης, εφόσον οι θερμικές απαιτήσεις είναι μειωμένες, η απαιτούμενη ενέργεια παρέχεται από το εξωτερικό AC δίκτυο και από τους συσσωρευτές. Το επίπεδο φόρτισης των συσσωρευτών διατηρείται παρά την εκφόρτιση σε επίπεδο του 54% τις πρωινές ώρες. Στη συνέχεια εφόσον έχουμε υψηλές τιμές ισχύος από τα φωτοβολταϊκά λόγω υψηλής παραγωγής, η κάλυψη των ενεργειακών απαιτήσεων του δικτύου μεταβιβάζεται προς τους συσσωρευτές του συστήματος ενώ ταυτόχρονα τα επίπεδα φόρτισής τους αυξάνουν και έχουμε πλεονάζουσα ισχύ λίγο μετά τις 12μ.μ, διότι η φόρτιση των συσσωρευτών έχει φτάσει το μέγιστο επίπεδο 90%. Το επίπεδο αυτό έχει καθοριστεί ώστε να αποφεύγονται οι υπερφορτίσεις των συσσωρευτών ώστε να έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής. Το μικροδίκτυο παράγει μεγάλη πλεονάζουσα ισχύ την οποία χρειάζεται ο διαχειριστής του μικροδικτύου να την αξιοποιήσει είτε με πώληση, είτε με κάλυψη κοινωφελών αναγκών. Τις απογευματινές ώρες έχουμε εκφόρτιση των συσσωρευτών για την κάλυψη των αναγκών του μικροδικτύου. Με τη μικρότερη μονάδα συμπαραγωγής καλύπτουμε το μεγαλύτερο χρονικό διάστημα της προσομοίωσης, εφόσον οι θερμικές ανάγκες είναι ελάχιστες, εκτός των φάσεων όπου οι θερμικές απαιτήσεις αυξάνονται στο διάστημα 9.00π.μ -10.00π.μ, οπότε σε κατάσταση ON παραμένει μόνο το μεσαίας κλίμακας CHP 2<10> = 010<2> (τιμή 2) και στο διάστημα 7.00μ.μ – 8.00μ.μ, όπου σε κατάσταση ON παραμένει μόνο το μεγάλης κλίμακας CHP 4<10> = 100<2> (τιμή 4). Καθόλη τη διάρκεια της προσομοίωσης το boiler δεν χρησιμοποιείται, διότι οι θερμικές απαιτήσεις καλύπτονται από τη λειτουργία των CHPs. Στο μικροδίκτυο έχουμε ορίσει επίπεδα εξωτερικής ισχύος  $P_{min}=0$  και  $P_{max}=19$  KW και παρατηρούμε ότι μπορεί να διατηρήσει ευσταθώς την λειτουργία του, διασφαλίζοντας σταθερά επίπεδα φόρτισης των συσσωρευτών του για χρονικό διάστημα προσομοίωσης το οποίο υπερβαίνει τη χρονική διάρκεια της μιας ημέρας, διότι το επίπεδο φόρτισης των συσσωρευτών δεν έχει μειωθεί κάτω από το κατώφλι ασφαλείας 50%, μετά από 24 ώρες λειτουργίας του μικροδικτύου.

#### 7.4.16 Στόχος Σεναρίου Προσομοίωσης Ηλεκτρικής Λειτουργίας ΣΗΘ

Επαναλαμβάνουμε το ίδιο σενάριο για φθινοπωρινό μήνα με τις ίδιες καταναλώσεις (ηλεκτρικές και θερμικές), τις ίδιες παραγωγές από τα φωτοβολταϊκά συστήματα, μόνο που τώρα οι μονάδες συμπαραγωγής θα δουλεύουν σε electricity match, δηλαδή κάλυψη του ηλεκτρικού φορτίου βάσης και όχι του θερμικού όπως προηγουμένως. Στόχος είναι όλο το μικροδίκτυο να καλύπτεται αυτόνομα χωρίς την προσφορά ισχύος από το εξωτερικό δίκτυο παροχής ισχύος και η λειτουργία του μικροδικτύου να είναι ευσταθής, δηλαδή η κατάσταση του επιπέδου φόρτισης των συσσωρευτών να είναι από 50% και άνω, ώστε να υπάρχει κίνδυνος στη λειτουργία του μικροδικτύου. Πραγματοποιούμε αυτό το σενάριο εφόσον έχουμε χαμηλές θερμικές απαιτήσεις των οικιών του μικροδικτύου.

#### 7.4.17 Χαρακτηριστικές Τιμές Σεναρίου Προσομοίωσης Ηλεκτρικής Λειτουργίας ΣΗΘ

Τα χαρακτηριστικά του σεναρίου που προσομοιώθηκε συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα:

CHP provides AC power

Χαρακτηριστικά	Τιμή		
Simulation Duration	0 – 23.99		
Number of Home Types	3		
Number of Homes per Type	30	30	30
Max D_DC Load value (KW)	52.1461		
Max D_AC Load value (KW)	52.1463		
Battery State of Charge of Microgrid <sub>input</sub>	60%		
Battery State of Charge of Microgrid <sub>output</sub>	81%		
Peak P_dc value (KW)	3.6487		
Peak P_ac value (KW)	48		
Average Power produced in PV panels (KW)	1.2921		
Average Power produced in PV panels per type (KW)	2.0070	1.2927	0.5766
Average AC Power used from network (KW)	19.6344		
Average DC Power Load per Home (KW)	0.3691		
Average DC Power Load per Home per type (KW)	0.5121	0.3707	0.2245
Average AC Power Load per Home (KW)	0.3694		
Average AC Power Load per Home per type (KW)	0.5126	0.3711	0.2247
Average Power Total Load (KW)	66.4698		
Total Spare Energy (KWh)	845.9657		
Peak thermal_demand all homes (KW)	41.2500		
Peak thermal_load per Home per type (KW)	0.6111	0.4583	0.3056
Peak heat_load per Home per type (KW)	0	0	0
Peak hw_load per Home per type (KW)	0.6111	0.4583	0.3056
CHP Cumulative Fuel Consumption (m <sup>3</sup> )	156.8417		
CHP Cumulative Cost (€)	97.2419		
Boiler Cumulative Fuel Consumption (m <sup>3</sup> )	18.4514		
Boiler Cumulative Cost (€)	11.4399		



#### **7.4.18 Συμπεράσματα Σεναρίου Προσομοίωσης Ηλεκτρικής Λειτουργίας ΣΗΘ**

Από την εκτέλεση του σεναρίου προσομοίωσης το οποίο συμπεριελάμβανε χαμηλά ποσά θερμικών απαιτήσεων, παρατηρούμε ότι η χρήση των μονάδων CHPs λειτουργώντας για κάλυψη του ηλεκτρικού φορτίου βάσης προσέφερε σημαντικά επίπεδα ισχύος για την κάλυψη των αναγκών των οικιών του μικροδικτύου και με την υψηλή παραγωγή ισχύος από τα φωτοβολταϊκά συστήματα καλύπτουμε πλήρως τις ανάγκες για καταναλώσεις AC και DC, χωρίς να χρειαστεί να αγοράσουμε ηλεκτρική ισχύ καθόλη τη διάρκεια της προσομοίωσης. Όπως παρατηρήσαμε από την ανάλυση των διαγραμμάτων, το σύστημα εκκινεί με επίπεδο φόρτισης 60% για τους συσσωρευτές του και τελειώνει την προσομοίωση με ένα ποσοστό φόρτισης των συσσωρευτών της τάξης του 81%, το οποίο εξασφαλίζει την ευσταθή λειτουργία του μικροδικτύου. Επίσης, το μικροδίκτυο εμφανίζει πλεονάζουσα ισχύ, όπως και στην περίπτωση θερμικής λειτουργίας των μονάδων συμπαραγωγής, για την οποία προτείναμε τρόπους για την καλύτερη αξιοποίησή της από τον διαχειριστή του μικροδικτύου. Τέλος, είδαμε ότι λειτουργεί και ο λέβητας, ενώ στην προηγούμενη περίπτωση δεν λειτουργούσε, για την κάλυψη των ελάχιστων θερμικών αναγκών, τις ώρες εκείνες που οι μονάδες συμπαραγωγής δεν λειτουργούν διότι οι ηλεκτρικές ανάγκες του μικροδικτύου καλύπτονται από την υψηλή παραγωγή των φωτοβολταϊκών συστημάτων, όπως ορίζει το συγκεκριμένο σενάριο προσομοίωσης.

#### **7.4.19 6<sup>ο</sup> Σενάριο Προσομοίωσης**

Το συγκεκριμένο σενάριο στο υπομελέτη μικροδίκτυο που προσομοιώνουμε έχει χαμηλή PV (παραγωγή από φωτοβολταϊκά), αυξημένα ηλεκτρικά φορτία κατανάλωσης και αυξημένες θερμικές ανάγκες.

#### **7.4.20 Στόχος Σεναρίου Προσομοίωσης Θερμικής Λειτουργίας ΣΗΘ**

Ο στόχος του συγκεκριμένου σεναρίου είναι η κάλυψη ηλεκτρικών και θερμικών αναγκών 30 οικιών τριών διαφορετικών τύπων, δηλαδή 90 οικιών, οι οποίες μετέχουν στη δομή ενός μικροδικτύου με χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων, μονάδων συμπαραγωγής ύστερα από κατάλληλη διαστασιολόγηση και boiler. Λόγω της χαμηλής παραγωγής των ΦΒ κατά την διάρκεια της ανοιξιάτικης ημέρας σε συνδυασμό με τις αυξημένες ηλεκτρικές απαιτήσεις της κατανάλωσης, αναμένουμε αυξημένη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας από το μικροδίκτυο, η οποία θα πρέπει να καλυφθεί κατά ένα μέρος από την υπάρχουσα ισχύ των συσσωρευτών, την προσφερόμενη ηλεκτρική ισχύ από τα ΦΒ και περισσότερο από την επιπλέον ισχύ που προκύπτει από την θερμική λειτουργία των μονάδων CHPs καθώς και από την παρεχόμενη ισχύ από το εξωτερικό AC δίκτυο. Τα θερμικά φορτία αναμένεται να καλυφθούν κατά ένα σημαντικό μέρος από τις μονάδες των CHPs ενώ οποιοδήποτε πλεόνασμα ζητηθεί που δεν μπορεί να καλυφθεί από τις μονάδες συμπαραγωγής θα καλυφθεί από την χρήση εξωτερικού θερμαντήρα (boiler).

#### 7.4.21 Χαρακτηριστικές Τιμές Σεναρίου Προσομοίωσης Θερμικής Λειτουργίας ΣΗΘ

Τα χαρακτηριστικά του σεναρίου που προσομοιώθηκε συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα:

External Network provides AC power

Χαρακτηριστικά	Τιμή		
Simulation Duration	0 – 23.99		
Number of Home Types	3		
Number of Homes per Type	30	30	30
Max D_DC Load value (KW)	58.1017		
Max D_AC Load value (KW)	39.7955		
Battery State of Charge of Microgrid <sub>input</sub>	60%		
Battery State of Charge of Microgrid <sub>output</sub>	61.5%		
Peak P_dc value (KW)	21.8201		
Peak P_ac value (KW)	15		
Average Power produced in PV panels (KW)	0.2959		
Average Power produced in PV panels per type (KW)	0.4672	0.2803	0.1402
Average AC Power used from network (KW)	7.9282		
Average DC Power Load per Home (KW)	0.4126		
Average DC Power Load per Home per type (KW)	0.5783	0.4076	0.2518
Average AC Power Load per Home (KW)	0.4129		
Average AC Power Load per Home per type (KW)	0.5788	0.4080	0.2520
Average Power Total Load (KW)	74.2957		
Total Spare Energy (KWh)	0.0		
Peak thermal_demand all homes (KW)	142.5000		
Peak thermal_load per Home per type (KW)	2.1111	1.5833	1.0556
Peak heat_load per Home per type (KW)	1.8789	1.4091	0.9395
Peak hw_load per Home per type (KW)	0.2322	0.1742	0.1161
CHP Cumulative Fuel Consumption (m <sup>3</sup> )	285.7978		
CHP Cumulative Cost (€)	177.1947		
Boiler Cumulative Fuel Consumption (m <sup>3</sup> )	12.9597		
Boiler Cumulative Cost (€)	8.0350		

#### **7.4.22 Συμπεράσματα Σεναρίου Προσομοίωσης Θερμικής Λειτουργίας ΣΗΘ**

Από την εκτέλεση του σεναρίου προσομοίωσης το οποίο συμπεριελάμβανε σημαντικά ποσά θερμικών φορτίων, παρατηρούμε ότι η χρήση των μονάδων CHPs συνεισέφερε σημαντικά στα επίπεδα ηλεκτρικής ισχύος του συνολικού συστήματος, αφού όπως είδαμε καθόλη τη διάρκεια της προσομοίωσης αγοράσαμε ελάχιστες ποσότητες ηλεκτρικής ισχύος από το εξωτερικό δίκτυο, εφόσον δεν είχαμε μεγάλη παρεχόμενη ηλεκτρική ισχύ από τα φωτοβολταϊκά σε αντίθεση με τις αυξημένες ηλεκτρικές απαιτήσεις των χρηστών του μικροδικτύου. Παράλληλα, οι αυξημένες θερμικές απαιτήσεις οδήγησαν και σε ένα ποσοστό θερμικού φορτίου το οποίο θα πρέπει να καλυφθεί με την χρήση εξωτερικού θερμαντήρα (boiler) αφού οι μονάδες συμπαραγωγής δεν μπορούσαν να το καλύψουν. Η λειτουργία του συνολικού συστήματος είναι ευσταθής εφόσον παραλαμβάνει τους συσσωρευτές του συστήματος σε ένα ποσοστό φόρτισης της τάξης του 60% όπου και καταλήγει προσεγγιστικά μετά την ολοκλήρωση του σεναρίου προσομοίωσης σε ένα ποσοστό της τάξης περίπου 61.5% (για μια ημέρα) που μας δείχνει ότι λειτουργεί με αξιοπιστία το συνολικό σύστημα. Ένα επιπλέον συμπέρασμα που εξάγεται είναι ότι το μικροδίκτυο δεν παράγει καθόλου διαθέσιμη (πλεονάζουσα) ισχύ κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης, διότι οι συσσωρευτές του συστήματος δεν φτάνουν στην πλήρη φόρτιση (90%).

## Κεφάλαιο 8: ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ- ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

### 8.1 Ορισμός της Επένδυσης

Με τον όρο επένδυση εννοούμε μια σειρά (ακολουθία) καθαρών ταμειακών ροών (ΚΤΡ) όπως τα ακόλουθα:

- παραγωγικές επενδύσεις: διαφορά μεταξύ εισπράξεων από πωλήσεις και πληρωμών
- μετοχές: μέρισμα που λαμβάνει ο επενδυτής από τη διακράτηση μετοχών και εισπράξεις από την πώληση
- χρεώγραφα σταθερής προσόδου: τόκοι και τιμή εξόφλησης (πώλησης)

Η διάσταση χρόνος έχει ιδιαίτερη σημασία στην αξιολόγηση επενδύσεων.

Οι μέθοδοι αξιολόγησης των επενδύσεων βασίζονται στην υπόθεση ότι οι ΚΤΡ είναι γνωστές με βεβαιότητα και δεν αναμένονται αυξήσεις στις τιμές των προϊόντων διαχρονικά. Χρειάζεται να αναφέρουμε ότι οι ταμειακές ροές είναι οι πιο σημαντικές παράμετροι που χρησιμοποιούνται στην οικονομική αξιολόγηση των ενεργειακών προγραμμάτων. Οι ταμειακές ροές που εξετάζονται στις οικονομικές αξιολογήσεις είναι οι εισροές και οι εκροές που εμφανίζονται όσο το πρόγραμμα προχωρά, γνωστές και ως «σταδιακές» ταμειακές ροές. Οι ταμειακές ροές συσσωρεύονται, χαρακτηριστικά, σε χρονικές περιόδους ενός έτους. Οι ροές μπορεί να εμφανιστούν στην αρχή, τη μέση ή το τέλος της περιόδου.

Οι ταμειακές ροές μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις ευρείες κατηγορίες βασισμένες στις κύριες δραστηριότητες που περιλαμβάνονται σε ένα ενεργειακό πρόγραμμα:

- ταμειακές ροές επένδυσης
- ταμειακές εισροές
- ταμειακές εκροές.

Το πρώτο καλείται συχνά το «κόστος κεφαλαίου» του προγράμματος, ενώ οι εισροές και οι εκροές αναφέρονται συχνά ως έσοδα και λειτουργικά έξοδα ή «κόστη λειτουργίας και συντήρησης» (O&M), αντίστοιχα. Οι ταμειακές εισροές ενός προγράμματος παροχής ενέργειας και ενεργειακής αποδοτικότητας προκύπτουν χαρακτηριστικά είτε από την πώληση της ενέργειας είτε των ενεργειακών κοστών που αποφεύγονται είτε την εξοικονόμηση στις λειτουργικές δαπάνες. Οι εισροές ενεργειακών ταμειακών ροών είναι τα προϊόντα της παραχθείσας ενέργειας (ή της ενέργειας που αποφεύγεται) και του σχετικού δασμολογίου, που αθροίζονται για κάθε ενεργειακό τύπο (π.χ. θερμότητα, ηλεκτρική ενέργεια και ψύξη).

Οι ταμειακές εκροές στα ενεργειακά προγράμματα είναι συνήθως καύσιμα και έξοδα λειτουργίας και συντήρησης.

Στα προγράμματα παραγωγής ενέργειας και ενεργειακής αποδοτικότητας, οι ταμειακές ροές επένδυσης απαιτούν μεγάλο αρχικό κεφάλαιο και προκύπτουν από την αρχική αγορά των εγκαταστάσεων και του εξοπλισμού. Οι επενδύσεις μπορούν να διαρκέσουν πάνω από 1 έτος έως αρκετά έτη, αναλόγως τα στάδια του προγράμματος, και πρέπει να αυξάνουν την αξία της επιχείρησης.

Η διαφορά μεταξύ των ταμειακών εισροών και εκροών είναι τα καθαρά λειτουργικά κέρδη (εξίσωση 1). Το σύνολο των ταμειακών εισροών, εκροών και ροών επένδυσης καλούνται καθαρές ταμειακές ροές και δίνονται από την εξίσωση 2

$$F_{no,n} = F_{i,n} - F_{o,n} \quad (\text{εξίσωση 1})$$

$$F_{n,n} = F_{i,n} - F_{o,n} - F_{c,n} = F_{no,n} - F_c \quad (\text{εξίσωση 2})$$

όπου  $F_{no,n}$  είναι οι καθαρές λειτουργικές ταμειακές ροές στο έτος επένδυσης  $n$ ,  $F_{i,n}$  και  $F_{o,n}$  είναι τα ποσά των ταμειακών εισροών και εκροών, αντίστοιχα, στο έτος  $n$ ,  $F_{n,n}$  είναι οι καθαρές ταμειακές ροές στο έτος  $n$  επένδυσης και  $F_{c,n}$  είναι οι ταμειακές ροές επένδυσης στο έτος  $n$ .

### 8.1.1 Γενικός τύπος Παρούσας Αξίας

Ο τύπος για τον προσδιορισμό της ΠΑ για οποιαδήποτε χρονική διάρθρωση καθαρών ταμειακών ροών (KTP) διαμορφώνεται σε

$$ΠΑ = \sum_{t=1}^v \frac{KTP_t}{(1+i)^t}$$

Με τη μέθοδο της παρούσας αξίας μπορούμε να εκφράσουμε μελλοντικές KTP σε ισοδύναμες παρούσες αξίες. Κατά συνέπεια μπορούμε να συγκρίνουμε την ΠΑ των εσόδων (KTP) από την επένδυση με το κεφάλαιο (τιμή της επένδυσης) που απαιτείται σήμερα για να την αποκτήσουμε.

Το προεξοφλητικό επιτόκιο είναι το επιτόκιο με το οποίο η μελλοντική αξία μιας επένδυσης μετατρέπεται σε παρούσα (σημερινή) αξία.

Είναι το επιτόκιο που ΕΚΤ χρεώνει τις εμπορικές τράπεζες εάν αυτές χρειαστούν ρευστά διαθέσιμα.

Η απόδοση που επιθυμεί ο επενδυτής.

### 8.1.2 Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ – NPV)

Η καθαρή παρούσα αξία (NPV) μετρά την οικονομική αξία μιας επένδυσης ως το άθροισμα όλων των μελλοντικών καθαρών ταμειακών ροών. Όλες οι μελλοντικές ταμειακές εισροές, οι ταμειακές εκροές και οι ροές επένδυσης είναι ανοιγμένες στο έτος αναφοράς χρησιμοποιώντας ένα κατάλληλο επιτόκιο αναγωγής. Όταν η NPV είναι μηδέν ή θετική, τότε το πρόγραμμα θα δώσει μια επιστροφή ίση ή μεγαλύτερη από το επιτόκιο αναγωγής και επομένως, το πρόγραμμα είναι ελκυστικό στον επενδυτή. Όσο μεγαλύτερο το NPV, τόσο ελκυστικότερο το πρόγραμμα. Εάν είναι αρνητικό το NPV, τότε το πρόγραμμα δεν πρέπει να προχωρήσει επειδή δεν παρέχει την ελάχιστη επιστροφή που απαιτείται. Ωστόσο, σε μερικές περιπτώσεις τα προγράμματα με αρνητικό NPV γίνονται αποδεκτά. Αυτά περιλαμβάνουν:

- υποχρεωτικά προγράμματα, όπως αυτά που απαιτούνται από κανονισμό
- προγράμματα που παρέχουν απαραίτητα αποτελέσματα που είναι όμως δύσκολο να αξιολογηθούν, και

- προγράμματα που επιτυγχάνουν τους στρατηγικούς στόχους μιας επιχείρησης, όπως τα «πράσινα προγράμματα» που αποτελούν μέρος της περιβαλλοντικής στρατηγικής μιας επιχείρησης.

Η NPV σχετίζεται με τις καθαρές ταμειακές ροές μετρητών και το επιτόκιο αναγωγής με την σχέση:

$$NPV = \sum_{n=0}^N \frac{F_{n,n}}{(1+d)^n} = F_0 + \frac{F_1}{(1+d)^1} + \frac{F_2}{(1+d)^2} + \dots + \frac{F_N}{(1+d)^N}$$

όπου  $F_{n,n}$  είναι οι καθαρές ταμειακές ροές στο έτος  $n$ , το  $N$  είναι η περίοδος μελέτης (η διάρκεια ζωής του προγράμματος) και το  $d$  είναι το επιτόκιο αναγωγής. Εναλλακτικά, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τους παράγοντες αναγωγής (discount factors), οπότε η σχέση γράφεται:

$$NPV = \sum_{n=0}^N F_n DF_n = F_0 + F_1 DF_1 + F_2 DF_2 + \dots + F_N DF_N$$

όπου  $DF_n$  είναι ο παράγοντας αναγωγής για το έτος  $n$ . Στην απλή περίπτωση όπου τα προγράμματα έχουν μια αρχική κύρια επένδυση στο έτος 0 και ίσες ετήσιες καθαρές λειτουργικές ταμειακές ροές κατά τη διάρκεια της ζωής επένδυσης και καμία υπολοιπόμενη αξία, η εξίσωση μπορεί να απλοποιηθεί:

$$NPV = F_{c,0} + F_{no} \sum_{n=0}^N DF_n = F_{c,0} + F_{no}(DF_1 + DF_2 + \dots + DF_N)$$

όπου το  $F_{c,0}$  είναι οι ταμειακές ροές κεφαλαίου της επένδυσης που εμφανίζονται στο έτος 0 και  $F_{no}$  είναι οι καθαρές ετήσιες λειτουργικές ταμειακές ροές που είναι οι ίδιες για όλα τα έτη. Αντί του αθροίσματος όλων των παραγόντων αναγωγής.

Η NPV θεωρείται ευρέως ως ο αντιπροσωπευτικότερος δείκτης της χρηματοοικονομικής αξιολόγησης μιας επένδυσης και χρησιμοποιείται σε όλους τους τομείς της βιομηχανίας για όλα τα είδη προγραμμάτων, δεδομένου ότι εξετάζει και τη χρονική αξία του χρήματος και το μέγεθος της επένδυσης. Επομένως, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την σύγκριση επενδύσεων διαφορετικού μεγέθους. Καλό είναι να χρησιμοποιείται οπουδήποτε είναι δυνατόν ως αρχικό μέτρο της χρηματοοικονομικής αξιολόγησης.

Η NPV, βέβαια, έχει και κάποιες αδυναμίες. Υποθέτει ότι οι ταμειακές ροές που παράγονται από το πρόγραμμα επανεπενδύονται στο επιτόκιο αναγωγής κατά τη διάρκεια της διάρκειας ζωής της, το οποίο είναι απίθανο να συμβεί. Ο υπολογισμός της NPV είναι παρόμοιος με τις σύνθετες αποδοχές σε έναν λογαριασμού ταμειευτηρίου, όπου οι πραγματικές αποδοχές από το επιτόκιο διατηρούνται και επανεπενδύονται με το αρχικό ποσό για να κερδίσουν περισσότερες αποδοχές. Ωστόσο, οι ταμειακές ροές που παράγονται από ένα ενεργειακό πρόγραμμα δεν μπορούν να επανεπενδυθούν στο ίδιο πρόγραμμα επειδή έχει ήδη υλοποιηθεί. Επομένως, στην πραγματικότητα, πρέπει να επανεπενδυθεί αλλού και συχνά σε ένα διαφορετικό επιτόκιο αναγωγής. Αυτή η αδυναμία της NPV μπορεί να διορθωθεί χρησιμοποιώντας μία τροποποιημένη NPV, που να επιτρέπει διαφορετικά επιτόκια αναγωγής και επανεπένδυσης.

Μια ακόμα αδυναμία της NPV είναι ότι υποθέτει ένα ενιαίο επιτόκιο αναγωγής καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του προγράμματος. Για παράδειγμα, η δομή χρηματοδότησης μιας επιχείρησης μπορεί να ποικίλει με την πάροδο του χρόνου και ίσως πρέπει να αξιολογηθούν οι επενδύσεις χρησιμοποιώντας διαφορετικό ποσοστό επιτόκιο αναγωγής. Όταν γνωρίζουμε τα διαφορετικά απαραίτητα επιτόκια αναγωγής, τότε η NPV μπορεί να υπολογιστεί ως εξής:

$$NPV = \sum_{n=0}^N \frac{F_n}{\prod_{i=1}^N (1 + d_i)^n}$$

όπου το  $d_i$  είναι το επιτόκιο αναγωγής για την περίοδο  $i$  και  $\Pi$  είναι το γινόμενο.

Έχουμε ήδη αναφέρει ότι μπορεί να είναι δύσκολο να επιλεγεί ένα κατάλληλο επιτόκιο αναγωγής που να αντιπροσωπεύει ένα απαραίτητο βαθμό απόδοσης για την επιχείρησης. Ένας τρόπος να ξεπεραστεί αυτή η δυσκολία είναι η παραγωγή ενός σχεδιαγράμματος NPV για τα διαφορετικά επιτόκια αναγωγής, που αντιπροσωπεύει γραφικά την NPV της επένδυσης για τα διαφορετικά επιτόκια αναγωγής.

Απόφαση με βάση αυτό το κριτήριο αξιολόγησης της επένδυσης

- **NPV > 0**      Η επένδυση γίνεται αποδεκτή
- **NPV = 0**      Η επένδυση θεωρείται οριακή (αδιάφορος επενδυτής)
- **NPV < 0**      Η επένδυση δεν πρέπει να γίνει αποδεκτή

### 8.1.3 Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης (EBA –IRR)

Ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης (IRR) είναι το επιτόκιο αναγωγής, για το οποίο η καθαρή παρούσα αξία (NPV) μιας επένδυσης γίνεται ίση με μηδέν. Δηλαδή, το σύνολο των καθαρών ταμειακών εισροών είναι ίσο με το σύνολο των καθαρών ταμειακών εκροών (συμπεριλαμβανομένου και του κόστους επένδυσης). Αυτό μπορεί να εκφραστεί ως:

$$\sum_{n=0}^N \frac{F_{i,n}}{(1 + irr)^n} = \sum_{n=0}^N \frac{F_{o,n} + F_{c,n}}{(1 + irr)^n}$$

όπου το  $F_{i,n}$  και τα  $F_{o,n}$  είναι τα σύνολα των εισροών και των εκροών, αντίστοιχα, στο έτος  $n$ ,  $F_{c,n}$  είναι οι ταμειακές ροές επένδυσης στο έτος  $n$ , το  $N$  είναι η διάρκεια ζωής της επένδυσης και το IRR είναι το επιτόκιο αναγωγής που ικανοποιεί την ισότητα.

Το IRR είναι ένας κατάλληλος τρόπος να συγκρίνουμε την απόδοση του προγράμματος με άλλους τύπους επένδυσης και για αυτόν τον λόγο, είναι ένας δημοφιλής δείκτης για τις επιχειρήσεις. Ωστόσο, παρουσιάζει κάποια σημαντικά μειονεκτήματα. Αρχικά, δεν λαμβάνει υπόψη το μέγεθος της επένδυσης και δεν είναι επομένως, κατάλληλο κριτήριο για την επιλογή μεταξύ των αμοιβαία αποκλειόμενων προγραμμάτων διαφορετικής κλίμακας. Για παράδειγμα, ένα πολύ μικρό πρόγραμμα με ένα υψηλό IRR μπορεί να ευνοηθεί από ένα μεγαλύτερο με χαμηλότερο IRR ακόμα κι αν το δεύτερο αποτελεί τον πολυτιμότερο τρόπο να επενδυθεί το διαθέσιμο κεφάλαιο. Ένα δεύτερο πρόβλημα με το IRR είναι ότι ένα πρόγραμμα με το υψηλότερο IRR μπορεί να μην παρέχει

απαραιτήτως την υψηλότερη NPV. Το IRR, ομοίως με την NPV, υποθέτει ότι οι πρόσθετες ροές μετρητών που παράγονται από το πρόγραμμα επανεπενδύονται στο IRR κατά τη διάρκεια της ζωής της επένδυσης. Ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης δείχνει την απόδοση ενός επενδυτικού προγράμματος.

Απόφαση με βάση αυτό το κριτήριο αξιολόγησης της επένδυσης

- **IRR > i**            Η επένδυση γίνεται αποδεκτή
- **IRR = 1**            Η επένδυση θεωρείται οριακή (αδιάφορος επενδυτής)
- **IRR < i**            Η επένδυση δεν πρέπει να γίνει αποδεκτή

### Συγκριτική Αξιολόγηση των μεθόδων ΚΠΑ και ΕΒΑ

<b>ΚΑΘΑΡΗ ΠΑΡΟΥΣΑ ΑΞΙΑ (ΚΠΑ – NPV)</b>	<b>ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΣ ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ (ΕΒΑ – IRR)</b>
Μετράει το απόθεμα του πλούτου, που είναι συμβατό με την οικονομική θεωρία, π.χ. μεγιστοποίηση της χρησιμότητας. Όμως, δεν προσδιορίζει κατά πόσο χρησιμοποιείται αποτελεσματικά το κεφαλαίο.	Μετράει το βαθμό συσσώρευσης πλούτου ή το ρυθμό μεταβολής του πλούτου. Αναδεικνύει την αποτελεσματικότητα της χρήσης του κεφαλαίου, αλλά όχι το συνολικό αποτέλεσμα του σχεδίου.
Το μέγεθος της ΚΠΑ είναι εξαρτώμενο από το επιτόκιο προεξόφλησης και από το μέγεθος της αρχικής επένδυσης. Η ΚΠΑ αυξάνει για σχέδια μεγαλύτερου μεγέθους.	Ο ΕΒΑ είναι ανεξάρτητη του μεγέθους της αρχικής επένδυσης. Για να μεγαλώσει ο ΕΒΑ πρέπει η επένδυση να αποφέρει μεγαλύτερα κέρδη.
Απαιτεί πρόβλεψη τιμών για τα έξοδα και τις πωλήσεις.	Απαιτεί πρόβλεψη τιμών για τα έξοδα και τις πωλήσεις.
Απαιτεί την επιλογή ενός εξωτερικού επιτοκίου προεξόφλησης και δεδομένου ότι η επιλογή είναι δύσκολη χαρακτηρίζεται ως αδυναμία της μεθόδου.	Αναφέρεται ότι ο ΕΒΑ δεν απαιτεί παρά μόνο γνώση του ελάχιστου αποδεκτού βαθμού απόδοσης για σύγκριση.
Θεωρεί ότι τα ετήσια μερίσματα επανεπενδύονται με το κόστος κεφαλαίου της επιχείρησης.	Θεωρεί ότι τα ετήσια μερίσματα επανεπενδύονται με το επιτόκιο ίσο με τον ΕΒΑ.
Αναφέρεται συχνά ότι η ΚΠΑ έχει μόνο μια τιμή σε αντίθεση με τον ΕΒΑ που εμφανίζει το πρόβλημα των πολλαπλών ριζών.	Πολλαπλές ρίζες μπορεί να υπάρχουν και αυτό δυσχεραίνει την ανάλυση. Αναφέρεται μόνο ως αδυναμία του ΕΒΑ.
Η ΚΠΑ κατατάσσει ορθά αμοιβαίως αποκλειόμενα σχέδια υπό συνθήκες περιορισμένου κεφαλαίου.	Ο ΕΒΑ κατατάσσει ορθά αμοιβαίως αποκλειόμενα σχέδια υπό συνθήκες περιορισμένου κεφαλαίου.



### Συγκεντρωτικός Πίνακας

Ταμειακές Ροές	Αριθμός EBA	EBA - IRR	ΚΠΑ – NPV
Η 1 <sup>η</sup> αρνητική και οι υπόλοιπες θετικές	1	Αποδεκτή εάν EBA > i Μη Αποδεκτή εάν EBA < i	Αποδεκτή εάν ΚΠΑ > 0 Μη αποδεκτή εάν ΚΠΑ < 0
Η 1 <sup>η</sup> θετική και οι υπόλοιπες αρνητικές	1	Αποδεκτή εάν EBA < i Μη Αποδεκτή εάν EBA > i	Αποδεκτή εάν ΚΠΑ > 0 Μη αποδεκτή εάν ΚΠΑ < 0
Η 1 <sup>η</sup> αρνητική, μετά κάποιες είναι θετικές και μετά κάποιες αρνητικές	Ίσως >1	Μη μονοσήμαντος (αξιόπιστος) EBA	Αποδεκτή εάν ΚΠΑ > 0 Μη αποδεκτή εάν ΚΠΑ < 0

#### 8.1.4 Οικονομική Αξιολόγηση της Επένδυσης

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα κόστη που απαιτούνται για την υλοποίηση του μοντέλου που έχουμε κατασκευάσει με τη βοήθεια του Matlab. Στην τελευταία γραμμή του πίνακα αθροίζουμε όλα τα κόστη και υπολογίζουμε το αρχικό κόστος επένδυσης.

Κόστος PV	$570 \text{ KW} * \frac{1250\text{€}}{\text{KW}} = 712500\text{€}$
Κόστος CHP	$\Sigma(36720\text{€} + 34368\text{€} + 28700\text{€}) = 99788\text{€}$
Κόστος Boiler	5000 €
Κόστος Μπαταριών	$\frac{50000000Cb}{3600Cb} * \frac{1.5\text{€}}{Ah} = 20833 \text{ €}$
Κόστος DC Μικροδικτύου	45000 €
Κόστος AC Μικροδικτύου	45000 €
Κόστος εγκαταστάσεων για τοποθέτηση CHP και Μπαταριών	7600 €
<b>Αρχικό κόστος επένδυσης</b>	<b>935721 €</b>

Στον επόμενο πίνακα αναλύουμε το κόστος που απαιτείται για την κατασκευή του μικροδικτύου (για κάθε ένα, με τον ίδιο τρόπο και για το επόμενο).

Τιμή για Κάθε MByte Δεδομένων	0.20 €
Αναμενόμενη Ανταλλαγή Δεδομένων για Κάθε Μήνα από Κάθε Έξυπνο Μετρητή	50 MB
Έξυπνος Μετρητής (Εξοπλισμός και Εγκατάσταση)	150 €
Αριθμός Έξυπνων Μετρητών	90
Κεντρικός Ελεγκτής του Μικροδικτύου (MGCC)	5000 €
Αποζεύκτης ΧΤ του Δικτύου	1700 €
Προστασία του Δικτύου MT / Σύνδεση Μικροδικτύου	7000 €
Ελεγκτές Φορτίου	5000 €
Ελεγκτές Μικροδικτύου	2000 €
<b>Συνολικό Κόστος Μικροδικτύου</b>	<b>45000 €</b>

**Χωρίς το μοντέλο** υπολογίζουμε τι κόστος σε € θα πληρώναμε για να καλύψουμε τις ηλεκτρικές και θερμικές ανάγκες των οικιών του μικροδικτύου.

Τιμή ΔΕΗ =0.1025 €/KWh Θερμογόνος δύναμη καυσίμου 0.11€/KWh	Κόστος ΔΕΗ €	Κόστος Καυσίμου €	Συνολικό κόστος €	Συνολικό Κόστος /Εποχές €
1° σενάριο Χειμώνας/ημέρα προσομοίωσης	0.1025*1494=153.135	0.11*2996.25=329.5875	482.7225	21722.5125
2° σενάριο Καλοκαίρι/ημέρα προσομοίωσης	0.1025*1614=165.435	0.11*281.25=30.9375	196.3725	8836.7625
3° σενάριο Χειμώνας /ημέρα προσομοίωσης	0.1025*1317.45=135.03	0.11*2778.75=305.6625	440.7011	19831.5506
4° σενάριο Καλοκαίρι/ημέρα προσομοίωσης	0.1025*1893=194.032	0.11*315=34.65	228.6825	10290.7125
5° σενάριο Φθινόπωρ./ημέρα προσομοίωσης	0.1025*1596=163.59	0.11*393.75=43.3125	206.9025	18621.225
6° σενάριο Άνοιξη/ημέρα προσομοίωσης	0.1025*1785=182.962	0.11*2096.25=230.5875	413.55	37219.5
<b>Συνολικό κόστος 116522.263€/έτος</b>				

**Με το μοντέλο** που κατασκευάσαμε με τη βοήθεια του Matlab υπολογίζουμε τι κόστος σε € θα πληρώναμε για να καλύψουμε τις ηλεκτρικές και θερμικές ανάγκες των οικιών του μικροδικτύου.

Τιμή ΔΕΗ =0.1025 €/KWh	Κόστος ΔΕΗ €	Κόστος Φυσικού Αερίου CHPs €	Κόστος Φυσικού Αερίου Boiler €	Συνολικό κόστος €	Διαθέσιμη Ενέργεια /ημέρα KWh	Διαθέσιμη Ενέργεια /Εποχές KWh	Συνολικό κόστος /Εποχές €
1° σενάριο Χειμώνας/ημέρα προσομοίωσης	0.1025*0=0	209.87	41.35	251.22	0.0	0.0	11305.00
2° σενάριο Καλοκαίρι/ημέρα προσομοίωσης	0.1025*292=29.93	24.98	0.0	54.91	974.083	43833.731	2470.95
3° σενάριο Χειμώνας/ημέρα προσομοίωσης	0.1025*0=0	200.45	34.40	234.85	806.951	36312.817	10568.25
4° σενάριο Καλοκαίρι/ημέρα προσομοίωσης	0.1025*348.3=35.70	28.08	0.0	63.78	337.984	15209.28	2870.10
5° σενάριο Φθινόπωρο/ημέρα προσομοίωσης	0.1025*265.5=27.20	35.25	0.0	62.45	846.055	76144.995	5620.50
6° σενάριο Άνοιξη/ημέρα προσομοίωσης	0.1025*195.9=20.10	177.20	8.10	205.4	0.0	0.0	18486.00
<b>Συνολική Διαθέσιμη Ενέργεια 171500.823 KWh/έτος ή 171.5008 MWh/έτος</b>							
<b>Συνολικό κόστος</b>				<b>51320.80 €/έτος</b>			

### 8.1.5 Υπολογισμός Δεικτών NPV, IRR

Ακολουθούν υπολογισμοί Καθαρής Παρούσας Αξίας της Επένδυσης **NPV** και Εσωτερικού Βαθμού Απόδοσης **IRR**, για τρεις διαφορετικές περιπτώσεις. Θεωρήσαμε σταθερές Καθαρές ταμειακές ροές και το κόστος συντήρησης που γίνεται σε κάθε έτος ίσο με το 1.5% της Αρχικού κόστους της επένδυσης.

#### Υπολογισμός Καθαρών Ταμειακών Ροών/έτος

Καθαρές Ταμειακές Ροές KTP	
Εξοικονόμηση	65201.463 €
Έσοδα από πώληση Ενέργειας	17578.834 €
Συντήρηση 1.5% Αρχικού κόστους Επένδυσης	14035.815 €
<b>KTP/έτος</b>	<b>68744.482 €</b>

**1<sup>η</sup> περίπτωση:** Σ' αυτή την περίπτωση δεν υπάρχει καμιά επιδότηση στο αρχικό κόστος επένδυσης που έχουμε πληρώσει για την κατασκευή και λειτουργία του μικροδικτύου.

N = έτη	Επιτόκιο αναγωγής i=5%	Καθαρές Ταμειακές Ροές KTP	ΚΠΑ - NPV	EBA - IRR
5	5	68744.482	-638093.369	-26.19%
10	5	68744.482	-404894.332	-5.246%
15	5	68744.482	-222176.785	1.239%
20	5	68744.482	-79012.805	3.982%
24	5	68744.482	12859.482	5.141%

**Συμπέρασμα 1<sup>ης</sup> περίπτωσης:** Από τον υπολογισμό της Καθαρής Παρούσας Αξίας και του Εσωτερικού Βαθμού Απόδοσης για την 1<sup>η</sup> πρώτη περίπτωση, χωρίς καμιά επιδότηση στο αρχικό κόστος επένδυσης, παρατηρούμε ότι η επένδυση γίνεται αποδεκτή στα 24 έτη με επιτόκιο αναγωγής 5% και σταθερές ταμειακές ροές, διότι τότε η καθαρή παρούσα αξία είναι θετική και ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης είναι μεγαλύτερος από το επιτόκιο αναγωγής.

**2<sup>η</sup> περίπτωση:** Σ' αυτή την περίπτωση υπάρχει 30% επιδότηση στο αρχικό κόστος επένδυσης που έχουμε πληρώσει για την κατασκευή και λειτουργία του μικροδικτύου, οπότε προσαρμόζεται στην τιμή **655005 €**.

N = έτη	Επιτόκιο αναγωγής i=5%	Καθαρές Ταμειακές Ροές KTP	ΚΠΑ - NPV	EBA - IRR
5	5	68744.482	-357377.369	-18.251%
10	5	68744.482	-124178.332	0.889%
14	5	68744.482	25471.944	5.602%
16	5	68744.482	90031.854	6.871%
20	5	68744.482	201703.195	8.407%
24	5	68744.482	293575.482	9.236%

**Συμπέρασμα 2<sup>ης</sup> περίπτωσης:** Από τον υπολογισμό της Καθαρής Παρούσας Αξίας και του Εσωτερικού Βαθμού Απόδοσης για την 2<sup>η</sup> πρώτη περίπτωση, με επιδότηση 30% στο αρχικό κόστος

επένδυσης, παρατηρούμε ότι η επένδυση γίνεται αποδεκτή στα 14 έτη με επιτόκιο αναγωγής 5% και σταθερές ταμειακές ροές, διότι τότε η καθαρή παρούσα αξία είναι θετική και ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης είναι μεγαλύτερος από το επιτόκιο αναγωγής.

**3<sup>η</sup> περίπτωση:** Σ' αυτή την περίπτωση απαραίτητη προϋπόθεση για να ενταχθεί μια οικία στην οντότητα του μικροδικτύου είναι να έχει τοποθετήσει (εκείνη την περίοδο) το φωτοβολταϊκό της. Αν πρόκειται για μεγάλο τύπο καταναλωτή η εγκατεστημένη φωτοβολταϊκή ισχύς είναι 10KW, αν πρόκειται για μεσαίο τύπο καταναλωτή 6KW και για μικρό τύπο καταναλωτή 3KW. Οπότε σ' αυτή την περίπτωση το αρχικό κόστος επένδυσης για την κατασκευή και λειτουργία του προσαρμόζεται στην τιμή των **223221 €**, κατά πολύ μειωμένο σε σχέση με τις δύο παραπάνω περιπτώσεις.

N = έτη	Επιτόκιο αναγωγής i=5%	Καθαρές Ταμειακές Ροές KTP	ΚΠΑ - NPV	EBA - IRR
3	5	68744.482	-36012.725	-3.856%
4	5	68744.482	20543.531	8.896%
6	5	68744.482	125704.822	20.969%
8	5	68744.482	221089.213	25.926%
10	5	68744.482	307605.668	28.236%
20	5	68744.482	633487.195	30.650%
24	5	68744.482	725359.482	30.747%

**Συμπέρασμα 3<sup>ης</sup> περίπτωσης:** Από τον υπολογισμό της Καθαρής Παρούσας Αξίας και του Εσωτερικού Βαθμού Απόδοσης για την 3<sup>η</sup> πρώτη περίπτωση, όπου το αρχικό κόστος επένδυσης είναι αρκετά μικρότερο σχετικά με τις προηγούμενες περιπτώσεις, παρατηρούμε ότι η επένδυση γίνεται αποδεκτή στα 4 έτη με επιτόκιο αναγωγής 5% και σταθερές ταμειακές ροές, διότι τότε η καθαρή παρούσα αξία είναι θετική και ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης είναι μεγαλύτερος από το επιτόκιο αναγωγής. Αυτό συνέβη γιατί κάθε οικία είχε τοποθετήσει το φωτοβολταϊκό της σύστημα πριν ενταχθεί στην οντότητα του μικροδικτύου.

## 8.2 Συμπεράσματα Λειτουργίας και Αξιολόγησης του Μικροδικτύου

Στις μέρες μας, λόγω των κλιματικών αλλαγών και του πεπερασμένου των συμβατικών πηγών ενέργειας παρουσιάζεται ολοένα και εντονότερα η ανάγκη αύξησης της διείσδυσης των Μονάδων Διεσπαρμένης παραγωγής στην παραγωγή ενέργειας. Χρησιμοποιώντας μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής δεν επιβαρύνουμε το δίκτυο σε ώρες μεγάλης αιχμής και το περιβάλλον διότι οι εκπομπές των ρύπων τους είναι κατά πολύ μειωμένες σε σχέση με τις συμβατικές μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Στην παρούσα Διπλωματική εργασία έχουμε υλοποιήσει ένα μικροδίκτυο με τρεις διαφορετικούς τύπους ηλεκτρικών και θερμικών καταναλώσεων ενσωματώνοντας φωτοβολταϊκά συστήματα, μονάδες συμπαραγωγής και λέβητα (boiler). Για να ελέγξουμε τη λειτουργία του εφαρμόσαμε διάφορα σενάρια προσομοίωσης από τα οποία έχουμε καταλήξει σε χρήσιμα συμπεράσματα. Τα συγκεκριμένα σενάρια προσομοίωσης έχουν ως γενικό στόχο να αναδείξουν τα χαρακτηριστικά και τις ιδιαιτερότητες του μοντέλου του μικροδικτύου σε διαφορετικές συνθήκες παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος από τα φωτοβολταϊκά συστήματα και τις μονάδες συμπαραγωγής, ηλεκτρικών και θερμικών καταναλώσεων καθώς και παρεχόμενης ενέργειας από το εξωτερικό δίκτυο παροχής AC ισχύος.

Το Μικροδίκτυο ανταποκρίνεται στις ανάγκες των χρηστών του για Ηλεκτρική και Θερμική ενέργεια, για αξιοπιστία και ποιότητα ισχύος, και επιπλέον λειτουργεί σύμφωνα με τις ανάγκες της αγοράς (τιμές ηλεκτρικής ενέργειας, καυσίμων, κλπ). Τέλος, εξασφαλίζει ότι το δίκτυο Διανομής λειτουργεί με τέτοιο τρόπο, ώστε να μεγιστοποιείται η συνολική απόδοση (βέλτιστη χρήση καυσίμων, ελαχιστοποίηση των απωλειών), και να ελαχιστοποιούνται οι πιθανότητες για κρίση του συστήματος, μέσω των υπηρεσιών αξιοπιστίας.

Στα σενάρια που εφαρμόστηκαν και προσομοιώθηκαν για τους Χειμερινούς μήνες παρατηρήσαμε ότι καθ'όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης δεν αγοράσαμε ηλεκτρική ισχύ από το εξωτερικό δίκτυο παροχής AC ισχύος. Αυτό συνέβη γιατί είχαμε μεγάλες θερμικές απαιτήσεις των οικιών του μικροδικτύου, με αποτέλεσμα οι μονάδες συμπαραγωγής CHPs να δουλεύουν στις ονομαστικές τους τιμές για να τις καλύψουν, και μέσω των λόγων μετατροπής θερμικής – ηλεκτρικής ισχύος να έχουμε μεγάλες ποσότητες ηλεκτρικής ισχύος που επαρκούσαν για την κάλυψη των αναγκών του μικροδικτύου. Επιπλέον, παρατηρήσαμε ότι παρόλο που λειτουργούσαν οι μονάδες συμπαραγωγής στις ονομαστικές τους τιμές, υπήρχαν θερμικές ανάγκες των χρηστών και γι' αυτό λειτουργούσε και ο λέβητας (boiler) προκειμένου να καλυφθούν πλήρως.

Η επιλογή των μονάδων συμπαραγωγής και του λέβητα έγινε κατόπιν των σχετικών διαστασιολογήσεων. Επίσης, η κατάλληλη τιμή της χωρητικότητας των συσσωρευτών που επιλέξαμε πραγματοποιήθηκε με την αντίστοιχη διαστασιολόγηση με στόχο την επίτευξη ευσταθούς και αξιόπιστης λειτουργίας του μικροδικτύου. Χρησιμοποιήσαμε συσσωρευτές προκειμένου να γίνει η σύνδεσή τους με τις μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής επιτρέποντας με τον τρόπο αυτό μια πιο ουσιαστική αύξηση της ιδιοκαταναλώμενης ενέργειας εντός του μικροδικτύου. Η παραγόμενη ενέργεια που δεν καταναλώνεται επιτόπου στα φορτία διότι έχουν καλύψει τις ανάγκες τους την παρούσα χρονική στιγμή αποθηκεύεται στους συσσωρευτές και χρησιμοποιείται όταν απαιτείται σε κάποια άλλη χρονική στιγμή κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης. Με τον τρόπο αυτό μειώνεται η ενέργεια που λαμβάνει το μικροδίκτυο από το

εξωτερικό δίκτυο παροχής AC ισχύος αυξάνοντας έτσι σε μεγαλύτερο βαθμό την αυτονομία του μικροδικτύου.

Στο σενάριο προσομοίωσης Χειμερινού μήνα με υψηλή παραγωγή από τα φωτοβολταϊκά συστήματα, αυξημένες θερμικές απαιτήσεις αλλά λίγο μειωμένες ηλεκτρικές είχαμε σημαντικά ποσά διαθέσιμης ενέργειας για πώληση έχοντας καλύψει τις ανάγκες των χρηστών του μικροδικτύου.

Ενώ στο διαφορετικό σενάριο Χειμερινού μήνα με χαμηλή παραγωγή από τα φωτοβολταϊκά συστήματα, αυξημένες θερμικές και ηλεκτρικές απαιτήσεις παρατηρήσαμε ότι δεν είχαμε καθόλου διαθέσιμη ενέργεια προς πώληση. Παρόλα αυτά και στη συγκεκριμένη περίπτωση δεν χρειάστηκε παροχή ισχύος από το εξωτερικό AC δίκτυο, διότι είχαν καλυφθεί επαρκώς οι ανάγκες των οικιών του μικροδικτύου.

Από την άλλη πλευρά τους καλοκαιρινούς μήνες τα σενάρια προσομοίωσης έχουν ελάχιστες θερμικές απαιτήσεις μιας και δεν υπάρχουν ανάγκες για θέρμανση αυτούς τους μήνες παρά μόνο ανάγκες για ζεστό νερό χρήσης. Παρατηρήσαμε ότι δεν λειτουργούν και οι τρεις μονάδες συμπαραγωγής, εφόσον οι ανάγκες είναι λίγες, και καλύπτονται με τη μικρή ή τη μεσαία μονάδα κάποιες χρονικές στιγμές κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης. Καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι αυτούς τους μήνες δεν ήταν καθόλου ευνοϊκό προς το μικροδίκτυο και τους χρήστες του να λειτουργούμε τις μονάδες συμπαραγωγής με θερμική κάλυψη φορτίου και υλοποιήσαμε στα συγκεκριμένα σενάρια τη δυνατότητα οι μονάδες συμπαραγωγής να λειτουργούν για κάλυψη του ηλεκτρικού φορτίου. Αυτή η προσθήκη πραγματοποιήθηκε διότι σ' αυτά σενάρια το μικροδίκτυο ζητούσε σημαντικά ποσά ισχύος από το εξωτερικό δίκτυο παροχής AC ισχύος. Βλέποντας τα αποτελέσματα των σεναρίων γι' αυτούς μήνες με ηλεκτρική λειτουργία των μονάδων συμπαραγωγής φαίνεται ότι το μικροδίκτυο καλύπτει επαρκώς τις ανάγκες των καταναλωτών του χωρίς τη συμβολή του εξωτερικού δικτύου παροχής AC ισχύος. Λειτουργούν όλες οι μονάδες συμπαραγωγής και ο λέβητας που δεν λειτουργούσε με θερμική κάλυψη προηγουμένως.

Στο σενάριο προσομοίωσης καλοκαιρινού μήνα με υψηλή παραγωγή από τα φωτοβολταϊκά συστήματα, μειωμένες θερμικές και ηλεκτρικές απαιτήσεις είχαμε σημαντικά ποσά διαθέσιμης ενέργειας για πώληση. Παρόλα αυτά χρειαζόταν να αγοράζουμε ηλεκτρική ισχύ από το εξωτερικό δίκτυο τις χρονικές στιγμές της προσομοίωσης που δεν λειτουργούσαν τα φωτοβολταϊκά και οι μονάδες συμπαραγωγής δούλευαν για θερμική κάλυψη του φορτίου. Στην ίδια περίπτωση με λειτουργία ηλεκτρικής κάλυψης του φορτίου για τις μονάδες συμπαραγωγής δεν χρειάστηκε η συμβολή του εξωτερικού δικτύου κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης, έχοντας σημαντική διαθέσιμη ενέργεια.

Ενώ στο σενάριο καλοκαιρινού μήνα με χαμηλή παραγωγή από τα φωτοβολταϊκά συστήματα, μειωμένες θερμικές και αυξημένες ηλεκτρικές απαιτήσεις παρατηρήσαμε ότι είχαμε κατά πολύ μειωμένα ποσά διαθέσιμης ενέργειας προς πώληση. Παρόλα αυτά χρειαστήκαμε μεγαλύτερα ποσά παροχής ισχύος από το εξωτερικό AC δίκτυο, διότι είχαν καλυφθεί οι ανάγκες των οικιών του μικροδικτύου, που είναι απόλυτα λογικό μιας και δεν είχαμε αυξημένη παραγωγή από τα φωτοβολταϊκά και τις μονάδες συμπαραγωγής εφόσον λειτουργούσαν για κάλυψη του θερμικού φορτίου. Και σ' αυτή την περίπτωση λειτουργώντας τις μονάδες συμπαραγωγής με κάλυψη ηλεκτρικού φορτίου παρατηρήσαμε από τα γραφήματα και τις τιμές των αποτελεσμάτων ότι δεν αγοράσαμε ηλεκτρική ισχύ από το εξωτερικό AC δίκτυο διότι είχαν καλυφθεί επαρκώς οι ανάγκες

του μικροδικτύου έχοντας και διαθέσιμη ενέργεια, μικρότερη σε σχέση με το προηγούμενο σενάριο του καλοκαιρινού μήνα.

Επιπροσθέτως, εφαρμόσαμε άλλα δύο σενάρια προσομοίωσης για άνοιξη και φθινόπωρο εναλλάσσοντας τις παραγωγές ηλεκτρικής ισχύος και τις ηλεκτρικές και θερμικές καταναλώσεις. Αυτό έγινε προκειμένου να έχουμε μια γενικότερη ανάλυση της λειτουργίας του μικροδικτύου στο έτος, προκειμένου να γίνει αξιόπιστα και η οικονομική αξιολόγηση της επένδυσης. Για το σενάριο του φθινοπωρινού μήνα με υψηλή παραγωγή από τα φωτοβολταϊκά συστήματα, μειωμένες θερμικές και ηλεκτρικές καταναλώσεις έχουμε μεγάλη διαθέσιμη ενέργεια αλλά οι ηλεκτρικές απαιτήσεις δεν καλύπτονται επαρκώς και χρειάζεται η συμβολή του εξωτερικού δικτύου παροχής AC ισχύος, μιας και τα θερμικά φορτία είναι ελάχιστα και λειτουργώντας τις μονάδες συμπαραγωγής για κάλυψη θερμικού φορτίου παίρνουμε μικρά ποσά ηλεκτρικής ισχύος. Όπως και σε προηγούμενο σενάριο με ελάχιστες θερμικές απαιτήσεις των οικιών του μικροδικτύου έτσι και σ' αυτό εφαρμόσαμε και τη μέθοδο ηλεκτρικής κάλυψης του φορτίου για τις μονάδες συμπαραγωγής. Το συμπέρασμα ήταν αναμενόμενο, να μην χρειάζεται καθ' όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης η αγορά ηλεκτρικής ισχύος από το εξωτερικό δίκτυο, εφόσον καλύπτονταν οι απαιτήσεις του μικροδικτύου. Για το σενάριο του ανοιξιάτικου μήνα με χαμηλή παραγωγή από τα φωτοβολταϊκά συστήματα, αυξημένες θερμικές και ηλεκτρικές καταναλώσεις λειτουργώντας τις μονάδες συμπαραγωγής για κάλυψη του θερμικού φορτίου παρατηρήσαμε ότι λόγω των μεγάλων θερμικών απαιτήσεων καλύψαμε τις μεγαλύτερες ανάγκες των χρηστών του μικροδικτύου αγοράζοντας μικρή ποσότητα ισχύος από το εξωτερικό δίκτυο παροχής AC ισχύος. Σ' αυτή την περίπτωση δεν είχαμε καθόλη διαθέσιμη ενέργεια, που ήταν αναμενόμενο μιας και η παραγωγή από τα φωτοβολταϊκά ήταν σε χαμηλά επίπεδα.

Τα σενάρια προσομοίωσης διαμορφώθηκαν με τέτοιο τρόπο ώστε να αναδεικνύουν τα επίπεδα ευμενούς ή δυσμενούς παραγωγής και κατανάλωσης του μικροδικτύου. Στα σενάρια προσομοίωσης γίνεται εμφανές ότι η εξωτερικά από το μικροδίκτυο παρεχόμενη ισχύς έχει τιμές μικρότερες από το συνολικό φορτίο, διότι χρησιμοποιείται και η παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς από τα φωτοβολταϊκά και τις μονάδες συμπαραγωγής είτε απευθείας είτε από την αποθήκευσή της στους συσσωρευτές του συστήματος. Αξίζει να αναφερθεί ότι οι τιμές των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από τα σενάρια που εφαρμόστηκαν είχαν ως στόχο την ανάλυση του τρόπου λειτουργίας του μικροδικτύου, διαμορφώνοντας τις κατάλληλες παραμέτρους.

Επιπλέον, καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι η αξιοπιστία του συστήματος αυξάνεται χρησιμοποιώντας διπλό δίκτυο διανομής για AC και DC και η λειτουργία γίνεται πιο αξιόπιστη μιας και οι απαιτήσεις από το εξωτερικό δίκτυο περιορίζονται κατά πολύ σε σχέση με τις καταναλώσεις του μικροδικτύου.

Για την επίτευξη των παραπάνω εφαρμόσαμε τις απαραίτητες πολιτικές διαχείρισης ενέργειας στο μικροδίκτυο, που επεξηγούνται στο κεφάλαιο Περιγραφή και Ανάλυση της Δομής του Μικροδικτύου.

Οι συσσωρευτές του συστήματος έχουν την κατάλληλη χωρητικότητα που απαιτείται ώστε να διασφαλίζουν σημαντικά ποσά ισχύος για την κάλυψη των αναγκών του μικροδικτύου και είναι αρκετά σημαντικό να είναι αξιόπιστοι ως προς τη λειτουργικότητά τους, με μεγάλη διάρκεια ζωής, διασφαλίζοντας στο μικροδίκτυο ομαλή και απρόσκοπτη αποθήκευση και ανάκληση ενέργειας. Για το λόγο αυτό υπάρχει καθορισμός των επιπέδων φόρτισης και εκφόρτισης των συσσωρευτών

προκειμένου να διασφαλίζεται η μέγιστη διάρκεια του κύκλου ζωής των συσσωρευτών του μικροδικτύου.

Επίσης, σε όλα τα σενάρια προσομοίωσης που εφαρμόσαμε ελέγξαμε ότι η λειτουργία του μικροδικτύου καθ'όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης είναι ευσταθής. Αυτό φαίνεται και στα σενάρια όπου οι συσσωρευτές του συστήματος δεν ήταν εκτός των επιπέδων ασφαλείας που είχαμε ορίσει ως διαχειριστές του μικροδικτύου και επιπλέον δεν είχαμε ενεργοποίηση σημάτων συναγερμού προς το διαχειριστή του μικροδικτύου για ρύθμιση των πολιτικών διαχείρισης.

Τέλος, πραγματοποιήσαμε οικονομική αξιολόγηση του μοντέλου που υλοποιήσαμε και παρατηρήσαμε ότι η επένδυση χωρίς καμιά επιδότηση στο αρχικό κόστος γίνεται αποδεκτή στα 24 έτη. Θεωρώντας ότι τα συστήματα που χρειάζονται για την ευσταθή και αξιόπιστη λειτουργία του μικροδικτύου έχουν διάρκεια ζωής τα 25 έτη, η επένδυση οριακά πραγματοποιείται. Στην περίπτωση όμως 30% επιδότησης στο αρχικό κόστος βλέπουμε ότι η επένδυση γίνεται αποδεκτή στα 14 έτη και πραγματοποιείται γιατί είναι συμφέρουσα για τους χρήστες του μικροδικτύου. Στην τελευταία περίπτωση όπου για την εισαγωγή μιας οικίας στο μικροδίκτυο απαιτείται να έχει το αντίστοιχο φωτοβολταϊκό της, ανάλογα σε ποιόν τύπο κατανάλωσης ανήκει, παρατηρούμε ότι το αρχικό κόστος για τη λειτουργία του μικροδικτύου είναι κατά πολύ μειωμένο και η επένδυση γίνεται αποδεκτή στα 4 έτη. Η περίπτωση αυτή είναι συμφέρουσα για τους χρήστες του μικροδικτύου αλλά περισσότερο για έναν ιδιώτη διαχειριστή του μικροδικτύου.

Πολύ σημαντικός παράγοντας είναι η σωστή διαστασιολόγηση, καθώς και ο υπολογισμός των ενεργειακών καταναλώσεων των οικιών του μικροδικτύου που πρόκειται να εγκατασταθούν τα συστήματα. Οι παραδοχές και προσεγγίσεις που πραγματοποιήθηκαν σε διάφορα στάδια της μελέτης όπως θερμικές και ηλεκτρικές καταναλώσεις, μαζί με επιδότηση του αρχικού κόστους επένδυσης φαίνεται να μας οδηγούν σε ένα αρκετά αισιόδοξο σενάριο. Για μια ακριβέστερη προσέγγιση απαιτείται πληρέστερος ενεργειακός έλεγχος και οικονομική ανάλυση στα πλαίσια του ελληνικού οικονομικού συστήματος. Οι προοπτικές ωστόσο αυτών των συστημάτων δείχνουν με μια πρώτη, σύντομη ματιά ευοίωνες και αναμένουμε το μέλλον για να παρακολουθήσουμε την εξέλιξή τους.



### 8.3 Προοπτικές Εξέλιξης της Λειτουργίας του Μοντέλου

Μελλοντική επέκταση στην παρούσα εργασία μπορεί να παραγματοποιηθεί με τη βελτίωση στην αξιοπιστία των δεδομένων των χαρακτηριστικών λειτουργίας των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής καθώς και των ηλεκτρικών και θερμικών φορτίων. Αυτό θα αυξήσει σημαντικά την ρεαλιστικότητα του μοντέλου που υλοποιήσαμε. Επίσης, μεγαλύτερη ακρίβεια όσον αφορά το πραγματικό κόστος μπορεί να επιτευχθεί με χρήση πιο έγκυρων πληροφοριών για το κόστος εγκατάστασης και μετασκευής, αξιοποιώντας τη μεγαλύτερη εμπειρία από εφαρμογές τεχνολογιών διεσπαρμένης παραγωγής. Ακόμα, η πιο λεπτομερής μοντελοποίηση της θερμοδυναμικής που διέπει τα συστήματα συμπαραγωγής, θα καταστήσει τα αποτελέσματα πιο ρεαλιστικά. Επιπροσθέτως, η μοντελοποίηση μικροδικτύου με μεγαλύτερα θερμικά και ηλεκτρικά φορτία, όπως νοσοκομεία και ξενοδοχεία, θα παρέχει πληροφορίες σχετικά με κατηγορίες κτιρίων στα οποία η εφαρμογή τεχνολογιών CHP θα είναι πιο συμφέρουσα. Επιπλέον, παρατηρήσαμε πως σε όλα τα σενάρια προσομοίωσης οι συσσωρευτές του συστήματος είχαν αποθηκεύσει αρκετά ποσά ενέργειας καταλήγοντας έτσι στο συμπέρασμα ότι κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες θα μπορούσαν να φορτίζουν ηλεκτρικά αυτοκίνητα που θα είχε οικονομικό όφελος για τον διαχειριστή και κατ' επέκταση για τους χρήστες του μικροδικτύου, αλλά θα προσέφεραν και πολλά περιβαλλοντικά οφέλη.

Επιπροσθέτως, ανάπτυξη του μοντέλου μπορεί να γίνει συμπεριλαμβάνοντας εκτιμήσεις για εκπομπές ρύπων, σύμφωνα με τα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών, προκειμένου να δούμε τις επιπτώσεις που αποφεύγουμε χρησιμοποιώντας τις τεχνολογίες διεσπαρμένης παραγωγής στην οντότητα του μικροδικτύου.

Ενσωμάτωση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (Geographic Information System – GIS), ώστε να είναι δυνατή η εφαρμογή του μοντέλου σε διαφορετικές περιοχές και να διερευνηθούν: η επίδραση των θερμοδυναμικών απωλειών, των διαφορετικών τιμών ενέργειας, της υποδομής των εταιρειών κοινής ωφέλειας, των περιβαλλοντικών περιορισμών και κανονισμών, των συνθηκών περιβαλλοντικής ποιότητας, οι κατηγορίες επιχειρήσεων στον εμπορικό και βιομηχανικό τομέα που είναι συμφέρουσες, καθώς και υπάρχουσες ή μελλοντικές βελτιώσεις στις τεχνολογίες διεσπαρμένης παραγωγής και συμπαραγωγής.

Δεδομένα εκπομπών ρύπων (CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, VOCs, PM<sub>10</sub>) μπορούν να συμπεριληφθούν για τις τεχνολογίες παραγωγής. Τα δεδομένα αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μελλοντική έρευνα με επίκεντρο τη σύγκριση στις εκπομπές ρύπων των τεχνολογιών διεσπαρμένης παραγωγής (DER) με αυτές του κεντρικού εργοστασίου παραγωγής και τον αντίκτυπό τους στην τοπική κοινωνία.

Η ενσωμάτωση κινήτρων φοροαπαλλαγής και άλλων επιδοτήσεων για σχετικές επενδύσεις.

Ο συνυπολογισμός της θερμικής αποθήκευσης εντός των κτιρίων (θερμική μάζα) για τα θερμικά φορτία.

Η δυνατότητα μακροπρόθεσμης προσομοίωσης με εκτιμήσεις για τις μελλοντικές τιμές ενέργειας, το κόστος και τα χαρακτηριστικά λειτουργίας των τεχνολογιών.

Η ενσωμάτωση στο μοντέλο του κόστους και των επιπτώσεων των διακοπών ηλεκτρικού ρεύματος όσον αφορά την ελκυστικότητα των αυτών των συστημάτων (διεσπαρμένης παραγωγής).

Η αποτίμηση των προγραμμάτων εμπορίας εκπομπών στην οικονομική απόδοση των συστημάτων CHP.

Η διερεύνηση του οφέλους των χρηστών του μικροδικτύου από τη βελτίωση της αξιοπιστίας και της ποιότητας ισχύος των συστημάτων.

Επιπροσθέτως, για να επεκτείνουμε την παρούσα εργασία με σύγχρονες μεθόδους είναι αναγκαία η τηλεπικοινωνιακή υποδομή με τις κατάλληλες τεχνολογίες πληροφορικής και τηλεπικοινωνιών (Information Communication and Technologies – ICT), διότι προσφέρουν έξυπνη διαχείριση, μέτρηση και ανάλυση των δεδομένων παραγωγής από τις μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής που λειτουργούν στην οντότητα του μικροδικτύου. Κατά συνέπεια, το μικροδίκτυο θα βασίζεται στην ύπαρξη ενός τηλεπικοινωνιακού δικτύου που θα είναι ικανό να μεταβιβάζει πληροφορίες, οι οποίες θα συλλέγονται από έναν μεγάλο αριθμό αισθητήρων τοποθετημένων σε όλο το δίκτυο διανομής, από και προς τους αντίστοιχους φορείς ελέγχου. Με αυτό τον τρόπο το δίκτυο θα παραμείνει σταθερό και οι όποιες ανωμαλίες θα εντοπίζονται έγκαιρα πριν προκαλέσουν βλάβες. Η επικοινωνία είναι αναγκαία για την ακριβέστερη πρόβλεψη της ζήτησης, έτσι ώστε να ελέγχεται με πιο αποτελεσματικό τρόπο η προσφορά.

Η έρευνα αυτή αποτελεί ένα σημαντικό βήμα προς την ανάπτυξη ενός μοντέλου παραγωγής και διαχείρισης ηλεκτρικών και θερμικών αναγκών των χρηστών που ανήκουν στην οντότητα του μικροδικτύου με επίκεντρο τη ζήτηση αξιοποιώντας δεδομένα σχετικά με την υιοθέτηση τεχνολογιών διεσπαρμένης παραγωγής και με τις ευρύτερες γεωγραφικές συνθήκες. Ο στόχος είναι η απόκτηση γνώσεων, σχετικά με τοπικά ενεργειακά συστήματα, κατανοώντας τη σχέση μεταξύ συστημάτων ενέργειας τελικής χρήσης και της υποδομής ηλεκτρισμού και φυσικού αερίου που τα πλαισιώνει, τους περιβαλλοντικούς κανονισμούς σχετικά με τις εκπομπές ρύπων, τους κανονισμούς των κτιρίων, τα πρότυπα διασύνδεσης αυτών των τεχνολογιών και τις περιβαλλοντικές συνθήκες.

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Βουρνάς και Γ. Κονταξής, Εισαγωγή στα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας, Αθήνα: Ε.Μ.Π., 2001
- [2] Εισαγωγή στα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας, Πανεπιστήμιο Πατρών, Γαβριήλ Β.Γιαννακόπουλος, Νικόλαος Α. Βοβός, Μάιος 2008
- [3] Εναλλασσόμενα Ρεύματα, Δίκτυο Παροχής Ηλεκτρικής Ενέργειας, FAER105
- [4] Βουρνάς Κ. Και Παππαδιάς Β., Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας- Έλεγχος και Ευστάθεια Συστήματος, Αθήνα: Σ. Αθανασόπουλος ΣΙΑ Ο.Ε., 2010
- [5] ΔΕΗ, Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού, Διαθέσιμο: [www.dei.gr](http://www.dei.gr)
- [6] HadiSaadat, Power system analysis, PSA Publishing, 2004
- [7] Πετράκη Αικατερίνη, Κατασκευή DC μικροδικτύου στο περιβάλλον Matlab/Simulink και μελέτη τεχνικών ελέγχου, Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Απρίλιος 2015
- [8] CIGRE (International Council on Large Electric Systems), Development of Dispersed Generation and Consequences for Power Systems, WG C6.01 (ex 37.33) final report. July 2003
- [9] University of Cyprus Department of Electrical and Computer Engineering, Εισαγωγή στη Διεσπαρμένη Παραγωγή HMMY 445/681
- [10] Ι. Ε. Φραγκιαδάκης, «Φωτοβολταϊκά Συστήματα», Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη, 2006
- [11] Παπαθανασίου Σταύρος, Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές, ΕΜΠ
- [12] [http://www.renewwisconsin.org/An Introduction to Distributed Generation Interconnection](http://www.renewwisconsin.org/An%20Introduction%20to%20Distributed%20Generation%20Interconnection)
- [13] <http://www.nrel.gov/docs/fy02osti/31570.pdf>
- [14] Price, L., Marnay, C., Sathaye, J., Murtishaw, S., Fisher, D., Phadke, A., and Franco, G. (2002) The California Climate Action Registry: Development of Methodologies for Calculating Greenhouse Gas Emissions from Electricity Generation,” in Proceedings of the ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings. Pacific Grove, CA : s.n., 2002
- [15] Διονύσης Γ. Σταματιάδης, Συστήματα διεσπαρμένης παραγωγής σε συνδυασμό με τεχνολογίες συμπαραγωγής και τιμολόγια dynamic pricing, Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Νοέμβριος 2011
- [16] [http://en.wikipedia.org/wiki/Photovoltaic\\_system](http://en.wikipedia.org/wiki/Photovoltaic_system)
- [17] T. Markvart, “Ηλεκτρισμός από ηλιακή ενέργεια”, Εκδόσεις ΙΩΝ, 2003

[18] Παπακωνσταντίνου Χ. Κωνσταντίνος, Μελέτη διαστασιολόγησης και ενσωμάτωσης στο δίκτυο φωτοβολταϊκών-αποθηκευτικών συστημάτων υπό τον θεσμό της ιδιοκατανάλωσης, Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Απρίλιος 2015

[19] Γ.Τσόλκας, Ετήσια ενεργειακή απόδοση πλασίων λεπτού φιλμ και ισοδύναμη μοντελοποίηση, Διπλωματική εργασία, Πανεπιστήμιο Πατρών, Φεβρουάριος 2011

[20] Ηλεκτρονικό, Διαθέσιμο:[www.shielcosolarpv.gr](http://www.shielcosolarpv.gr)

[21] Ασημίνα Β. Καρακυριάκου, Βέλτιστος Προγραμματισμός Λειτουργίας Υβριδικού Συστήματος Φωτοβολταϊκών και Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας με Βάση την Ανάλυση Διακύμανσης του Ηλεκτρικού Φορτίου, Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Απρίλιος 2009

[22] Κ.Θ.Δέρβος, Εισαγωγή στα ημιαγώγιμα υλικά και στις φωτοβολταϊκές διατάξεις, Εκδόσεις ΕΜΠ, 2009

[23] Ηλεκτρονικό, Διαθέσιμο:[www.selasenergy.gr](http://www.selasenergy.gr)

[24] Θωμάς Α. Αλεξόπουλος, Μελέτη Μοντελοποίηση και Προσομοίωση Εγκατεστημένου Μικροδικτύου, Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Δεκέμβριος 2008

[25] Ελευθέριος Νικολάου, Ανάπτυξη αλγορίθμου για την διαστασιολόγηση αυτόνομων υβριδικών συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας Algorithm Development for Hybrid Autonomous Electrical Power Systems Sizing, Χανιά Οκτώβριος 2015

[26]<http://www.energyalternatives.ca/PDF/Photovoltaic/Introduction.pdf>

[27] <http://www.triplepundit.com/2012/04/solar-photovoltaics-pros-cons>

[28]<http://www.renewableenergyworld.com/rea/blog/post/2012/12/advantages-and-disadvantages-of-solar-photovoltaic-quick-pros-and-cons-of-solar-pv>

[29] [www.sma-hellas.com](http://www.sma-hellas.com)

[30] Antonio Luque, Steven Hegedus, Handbook of Photovoltaic Science and Engineering, John Wiley & Sons Ltd (2003)

[31] B. Alipuria, B. Asare Bediako, J.G.Slootweg, W.L.Kling, Application of DC micro-grids for integration of solar home systems in smart grids, Eindhoven University of Technology, October 2013

[32] Τσιουμπρή Ελένη, Συσσωρευτές στα Φωτοβολταϊκά Συστήματα – Αντιμετώπιση των συνηθισμένων προβλημάτων των συσσωρευτών μολύβδου οξέως στα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα, Διπλωματική Εργασία, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών (2012)

- [33] Maria Teresa Penella – Lopez, Manuel Gasulla – Forner, Powering Autonomous Sensors: An Integral Approach With Focus On Solar And RF Energy Harvesting, Springer (2011)
- [34] DOE Handbook, Primer on Lead Acid Storage Batteries, Department of Energy, United States of America (09/1995)
- [35] T. Markvart, L. Castaner, “Practical Handbook of Photovoltaics: Fundamentals and Applications”, 2<sup>η</sup> Έκδοση Elsevier Ltd, 2003
- [36] H.A. Kiehne, Battery Technology Handbook, Marcel Dekker Inc, 2nd edition (2003)
- [37] IPSI Diesel Generator Sets 10kW through 30kW, Integrated Power Systems International Inc
- [38] Semadeni M, Energy storage as an essential part of sustainable energy systems, CEPE Working Paper (2003)
- [39] Kaldelis J K.-Zafirakis D.-Kavadias K., Techno-economic comparison of energy storage systems for island autonomous electrical networks, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13:2, Elsevier (2009)
- [40] Chen H.-Cong T N.-Yanga W.-Tan C.-Li Y.-Ding Y., Progress in electrical energy storage system: A critical review, Progress in Natural Science, 19:3, Elsevier (2009)
- [41] Kopera J J C, Inside the Nickel Metal Hydride Battery, Cobasys (2004)
- [42] Jossen A.-Sauer D U., Advances in Redox-Flow Batteries, First International Renewable Energy Storage Conference, 30-31 October, Gelsenkirchen, Germany (2006)
- [43] Εύα Παρασκευαδάκη - Ηλεκτρολόγος Μηχανικός Ε.Μ.Π. , Μπαταρίες μολύβδου οξέως για Φ/Β Συστήματα, [electroepistimi.blogspot.com](http://electroepistimi.blogspot.com)
- [44] Ηλεκτρονικό, Διαθέσιμο: [aix.meng.auth.gr/lhtee/education/IAxBE7](http://aix.meng.auth.gr/lhtee/education/IAxBE7)
- [45] Afzal S. Siddiqui, Ryan Firestone, Srijay Ghosh, Michael Stadler, Jennifer L. Edwards, and Chris Marnay (2003). Distributed Energy Resources with Combined Heat and Power Applications Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory University of Cal. s.l. : Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory University of California
- [46] Bailey, O., Boubekour Ouaglal, Emily Bartholomew, Chris Marnay, and Norman Bourassa (2002), An Engineering-Economic Analysis of Combined Heat and Power Technologies in a μGrid Application.s.l. : Lawrence Berkeley National Laboratory Report LBNL-50023, Berkeley
- [47] Ανέστης Γ. Αναστασιάδης, Συμβολή στην Διαχείριση Μικροδικτύων Ηλεκτρικής Ενέργειας με Ενσωμάτωση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και Συστημάτων Συμπαράγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας, Διδακτορική Διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Νοέμβριος 2014
- [48] Χ. Α. Φραγκόπουλος, Η. Π. Καρυδογιάννης, Γ. Κ. Καραλής, Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας, ΕΛΚΕΠΑ, Νοέμβριος 2004

[49] Εργαστήριο Μεταφοράς Θερμότητας και Μηχανικής Περιβάλλοντος Α.Π.Θ., Συμπαράγωγή Θερμότητας- Ηλεκτρισμού, Σημειώσεις, Κεφάλαιο 7, 2009

[50] Ελληνικός Σύνδεσμος Συμπαράγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας, Ηλεκτρονικό Διαθέσιμο: [www.hachp.gr](http://www.hachp.gr)

[51] Βαρβάρα Κ. Ρίζου, Επίδραση Φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων στα μεγέθη ενός μικροδικτύου με αυξημένη διείσδυση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Νοέμβριος 2012

[52] Αικατερίνη Βαβαλάκη, Επίδραση της τιμολόγησης των ΑΠΕ στα Μικροδίκτυα, Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Απρίλιος 2010

[53] Βακρίνος Θεόδωρος και Βαρσαμίδης Νικόλαος, Μοντελοποίηση και δυναμική ανάλυση μικροδικτύου, Πολυτεχνική Σχολή Πανεπιστημίου Πατρών, Οκτώβριος 2013

[54] Έλλη Ντάκου, Οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη των Μικροδικτύων με αυξημένη διείσδυση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Ιούλιος 2011

[55] Αντώνης Καρακούσης, Μετάβαση στο Ευφυές Ηλεκτρικό Δίκτυο και Ανάπτυξη του Ευφυούς Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας, Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Φεβρουάριος 2015

[56] Χρήστος Αρ. Νικολόπουλος, Εφαρμογή υβριδικού AC/DC Μικροδικτύου για την ενσωμάτωση Οικιακών Φωτοβολταϊκών Συστημάτων σε Ευφυή Δίκτυα, Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Μάρτιος 2015

[57] M. Bond, R.J. Fuller, L. Aye, Sizing solar home systems for optimal development impact, Elsevier Energy Policy, vol. 42, pp.699-709, March 2012

[58] M.M.H.Bhuiyan, M.A.Asgar, Sizing of a stand-alone photovoltaic system at Dhaka, Elsevier Renewable Energy, vol. 28.6, pp. 929-938, May 2003

[59] D.Hammerstrom, Ac versus dc distribution systems. Did we get it right?, Piscataway, NJ, USA, June 2007

[60] H. Dick, H. Eden, G. Fischer and J. Zietz, Empowering users to become designers: Using Metadesign environments to enable and motivate sustainable energy decisions, Colorado University, 2012

[61] Shah, K., Sehnai, K., Smart DC micro-grid for efficient utilization of distributed renewable energy, IEEE - EnergyTech ; Cleveland, OH, pp. 1-6, May 2011

[62] Sarker, M.J. Asare-Bediako, B. Sloomweg, J.G. Kling, W.L. Alipuria, B., DC micro-grid with distributed generation for rural electrification, Universities Power Engineering Conference (UPEC), 2012

[63] A.Pinomaa, J.Ahola, Power-line communication based network architecture for LVDC distribution system, Power line communication and its applicaitons, IEEE, 2011

[64] M.Saeedifard, M.Graovac, R.F.Dias, R.Iravani, DC power systems: Challenges and Opportunities, IEEE Power Engineering Society General Meeting, July 2010, pp 1-7

[65] Εταιρίες για Μονάδες Συμπαγωγής και Λέβητα, Ηλεκτρονικά, Διαθέσιμα: <http://www.kwk.info>, <http://www.kwenergie.de>, <http://www.chaffoteaux.gr/private/TALIA-GREEN-EVO-SYSTEM-HP-45-65>

[66] Ευταξίας Δημήτριος, Ενεργειακή Επιθεώρηση Συγκροτήματος Πολυκατοικιών, Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Ιούλιος 2015

[67] PEPSESEC PROJECT Ενεργειακός Σχεδιασμός για Αειφόρες Κοινότητες, Ηλεκτρονικό Διαθέσιμο: [www.cres.gr](http://www.cres.gr)

[68] Νταβέλου Ελένη, Κάλυψη Ενεργειακών Αναγκών Οικιστικού Συγκροτήματος με Μονάδα Συμπαγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας, Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Ιούλιος 2009

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΚΑΙ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΩΝ

Οι Θερμικές καταναλώσεις αφορούν το σύνολο των οικιών σε κάθε κατηγορία καταναλωτών και είναι εκφρασμένες σε KWh, ενώ οι Ηλεκτρικές καταναλώσεις αφορούν την κάθε οικία ξεχωριστά σε κάθε κατηγορία καταναλωτών και είναι εκφρασμένες σε Wh.

### Μεγάλες Θερμικές Καταναλώσεις

	Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Μάρτιος	Απρίλιος	Μάιος	Ιούνιος	Ιούλιος	Αύγουστος	Σεπτέμβρης	Οκτώμβρης	Νοέμβριος	Δεκέμβριος
0-1πμ	71.667	68.333	55.000	3.333	3.333	3.333	3.333	3.333	3.333	3.333	53.333	70.000
1-2πμ	66.667	65.000	50.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	51.667	65.000
2-3πμ	68.333	66.667	51.667	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	51.667	65.000
3-4πμ	68.333	66.667	55.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	53.333	66.667
4-5πμ	70.000	66.667	56.667	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	55.000	66.667
5-6πμ	71.667	68.333	58.333	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	55.000	68.333
6-7πμ	76.667	71.667	63.333	3.333	3.333	1.667	1.667	1.667	1.667	3.333	60.000	71.667
7-8πμ	68.333	61.667	56.667	8.333	6.667	6.667	5.000	5.000	6.667	8.333	56.667	61.667
8-9πμ	75.000	66.667	53.333	13.333	11.667	10.000	8.333	8.333	10.000	11.667	61.667	68.333
9-10πμ	75.000	63.333	43.333	16.667	13.333	11.667	11.667	10.000	13.333	15.000	50.000	66.667
10-11πμ	51.667	45.000	31.667	11.667	10.000	8.333	8.333	8.333	10.000	11.667	25.000	45.000
11πμ-12	35.000	35.000	21.667	8.333	6.667	6.667	5.000	5.000	6.667	8.333	13.333	28.333
12-1μμ	30.000	30.000	18.333	6.667	6.667	5.000	5.000	5.000	5.000	6.667	8.333	23.333
1-2μμ	31.667	30.000	18.333	10.000	8.333	8.333	6.667	6.667	8.333	10.000	11.667	23.333
2-3μμ	25.000	25.000	11.667	6.667	5.000	5.000	5.000	3.333	5.000	5.000	6.667	18.333
3-4μμ	23.333	23.333	10.000	5.000	5.000	3.333	3.333	3.333	3.333	5.000	5.000	18.333
4-5μμ	25.000	23.333	8.333	3.333	3.333	3.333	3.333	3.333	3.333	3.333	5.000	20.000
5-6μμ	33.333	30.000	15.000	6.667	6.667	5.000	5.000	5.000	5.000	6.667	11.667	28.333
6-7μμ	48.333	40.000	26.667	11.667	10.000	8.333	8.333	8.333	10.000	11.667	33.333	48.333
7-8μμ	66.667	58.333	43.333	20.000	16.667	15.000	13.333	11.667	16.667	18.333	50.000	65.000
8-9μμ	66.667	60.000	46.667	16.667	15.000	13.333	11.667	10.000	13.333	16.667	50.000	65.000
9-10μμ	63.333	58.333	46.667	13.333	11.667	10.000	8.333	8.333	10.000	11.667	46.667	61.667
10-11μμ	60.000	56.667	45.000	10.000	8.333	8.333	6.667	6.667	8.333	10.000	45.000	60.000
11μμ-12	60.000	55.000	45.000	8.333	6.667	6.667	5.000	5.000	6.667	8.333	45.000	60.000



### Μεσαίες Θερμικές Καταναλώσεις

	Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Μάρτιος	Απρίλιος	Μάιος	Ιουνίος	Ιούλιος	Αύγουστος	Σεπτέμβρης	Οκτώβρης	Νοέμβριος	Δεκέμβριος
0-1πμ	53.750	51.250	41.250	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500	40.000	52.500
1-2πμ	50.000	48.750	37.500	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	38.750	48.750
2-3πμ	51.250	50.000	38.750	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	38.750	48.750
3-4πμ	51.250	50.000	41.250	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	40.000	50.000
4-5πμ	52.500	50.000	42.500	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	41.250	50.000
5-6πμ	53.750	51.250	43.750	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	41.250	51.250
6-7πμ	57.500	53.750	47.500	2.500	2.500	1.250	1.250	1.250	1.250	2.500	45.000	53.750
7-8πμ	51.250	46.250	42.500	6.250	5.000	5.000	3.750	3.750	5.000	6.250	42.500	46.250
8-9πμ	56.250	50.000	40.000	10.000	8.750	7.500	6.250	6.250	7.500	8.750	46.250	51.250
9-10πμ	56.250	47.500	32.500	12.500	10.000	8.750	8.750	7.500	10.000	11.250	37.500	50.000
10-11πμ	38.750	33.750	23.750	8.750	7.500	6.250	6.250	6.250	7.500	8.750	18.750	33.750
11πμ-12	26.250	26.250	16.250	6.250	5.000	5.000	3.750	3.750	5.000	6.250	10.000	21.250
12-1μμ	22.500	22.500	13.750	5.000	5.000	3.750	3.750	3.750	3.750	5.000	6.250	17.500
1-2μμ	23.750	22.500	13.750	7.500	6.250	6.250	5.000	5.000	6.250	7.500	8.750	17.500
2-3μμ	18.750	18.750	8.750	5.000	3.750	3.750	3.750	2.500	3.750	3.750	5.000	13.750
3-4μμ	17.500	17.500	7.500	3.750	3.750	2.500	2.500	2.500	2.500	3.750	3.750	13.750
4-5μμ	18.750	17.500	6.250	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500	3.750	15.000
5-6μμ	25.000	22.500	11.250	5.000	5.000	3.750	3.750	3.750	3.750	5.000	8.750	21.250
6-7μμ	36.250	30.000	20.000	8.750	7.500	6.250	6.250	6.250	7.500	8.750	25.000	36.250
7-8μμ	50.000	43.750	32.500	15.000	12.500	11.250	10.000	8.750	12.500	13.750	37.500	48.750
8-9μμ	50.000	45.000	35.000	12.500	11.250	10.000	8.750	7.500	10.000	12.500	37.500	48.750
9-10μμ	47.500	43.750	35.000	10.000	8.750	7.500	6.250	6.250	7.500	8.750	35.000	46.250
10-11μμ	45.000	42.500	33.750	7.500	6.250	6.250	5.000	5.000	6.250	7.500	33.750	45.000
11μμ-12	45.000	41.250	33.750	6.250	5.000	5.000	3.750	3.750	5.000	6.250	33.750	45.000

## Μικρές Θερμικές Καταναλώσεις

	Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Μάρτιος	Απρίλιος	Μάιος	Ιουνίος	Ιούλιος	Αύγουστος	Σεπτέμβρης	Οκτώμβρης	Νοέμβριος	Δεκέμβριος
0-1πμ	35.833	34.167	27.500	1.667	1.667	1.667	1.667	1.667	1.667	1.667	26.667	35.000
1-2πμ	33.333	32.500	25.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	25.833	32.500
2-3πμ	34.167	33.333	25.833	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	25.833	32.500
3-4πμ	34.167	33.333	27.500	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	26.667	33.333
4-5πμ	35.000	33.333	28.333	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	27.500	33.333
5-6πμ	35.833	34.167	29.167	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	27.500	34.167
6-7πμ	38.333	35.833	31.667	1.667	1.667	0.833	0.833	0.833	0.833	1.667	30.000	35.833
7-8πμ	34.167	30.833	28.333	4.167	3.333	3.333	2.500	2.500	3.333	4.167	28.333	30.833
8-9πμ	37.500	33.333	26.667	6.667	5.833	5.000	4.167	4.167	5.000	5.833	30.833	34.167
9-10πμ	37.500	31.667	21.667	8.333	6.667	5.833	5.833	5.000	6.667	7.500	25.000	33.333
10-11πμ	25.833	22.500	15.833	5.833	5.000	4.167	4.167	4.167	5.000	5.833	12.500	22.500
11πμ-12	17.500	17.500	10.833	4.167	3.333	3.333	2.500	2.500	3.333	4.167	6.667	14.167
12-1μμ	15.000	15.000	9.167	3.333	3.333	2.500	2.500	2.500	2.500	3.333	4.167	11.667
1-2μμ	15.833	15.000	9.167	5.000	4.167	4.167	3.333	3.333	4.167	5.000	5.833	11.667
2-3μμ	12.500	12.500	5.833	3.333	2.500	2.500	2.500	1.667	2.500	2.500	3.333	9.167
3-4μμ	11.667	11.667	5.000	2.500	2.500	1.667	1.667	1.667	1.667	2.500	2.500	9.167
4-5μμ	12.500	11.667	4.167	1.667	1.667	1.667	1.667	1.667	1.667	1.667	2.500	10.000
5-6μμ	16.667	15.000	7.500	3.333	3.333	2.500	2.500	2.500	2.500	3.333	5.833	14.167
6-7μμ	24.167	20.000	13.333	5.833	5.000	4.167	4.167	4.167	5.000	5.833	16.667	24.167
7-8μμ	33.333	29.167	21.667	10.000	8.333	7.500	6.667	5.833	8.333	9.167	25.000	32.500
8-9μμ	33.333	30.000	23.333	8.333	7.500	6.667	5.833	5.000	6.667	8.333	25.000	32.500
9-10μμ	31.667	29.167	23.333	6.667	5.833	5.000	4.167	4.167	5.000	5.833	23.333	30.833
10-11μμ	30.000	28.333	22.500	5.000	4.167	4.167	3.333	3.333	4.167	5.000	22.500	30.000
11μμ-12	30.000	27.500	22.500	4.167	3.333	3.333	2.500	2.500	3.333	4.167	22.500	30.000

## Μεγάλες Ηλεκτρικές Καταναλώσεις

	Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Μάρτιος	Απρίλιος	Μάϊος	Ιουνίος	Ιούλιος	Αύγουστος	Σεπτέμβρης	Οκτώμβρης	Νοέμβριος	Δεκέμβριος
0-1πμ	1064.104	1071.014	1238.201	1139.145	1019.283	1153.954	1253.885	1202.319	950.860	1101.096	975.795	944.318
1-2πμ	819.360	824.681	953.415	877.142	784.848	888.545	965.492	925.785	732.163	847.844	751.362	727.125
2-3πμ	634.206	638.324	737.968	678.931	607.493	687.757	747.316	716.582	566.713	656.253	581.574	562.813
3-4πμ	606.539	610.478	705.775	649.313	580.991	657.754	714.715	685.322	541.990	627.625	556.203	538.261
4-5πμ	574.616	578.347	668.629	615.138	550.413	623.135	677.098	649.252	513.465	594.592	526.929	509.932
5-6πμ	602.283	606.194	700.822	644.756	576.914	653.138	709.699	680.512	538.187	623.221	552.300	534.484
6-7πμ	627.821	631.898	730.539	672.096	601.377	680.833	739.792	709.368	561.008	649.647	575.719	557.147
7-8πμ	808.719	813.971	941.033	865.750	774.655	877.005	952.953	913.762	722.654	836.833	741.604	717.681
8-9πμ	1042.822	1049.594	1213.437	1116.362	998.898	1130.875	1228.808	1178.272	931.843	1079.074	956.279	925.431
9-10πμ	872.565	878.231	1015.325	936.099	835.812	948.268	1028.186	985.901	779.706	902.899	800.152	774.340
10-11πμ	872.565	878.231	1024.517	934.099	835.812	946.242	1031.538	985.901	779.706	909.741	800.152	774.340
11πμ-12	893.847	899.652	1040.089	956.882	856.198	969.322	1053.264	1009.948	798.723	924.921	819.668	793.227
12-1μμ	978.976	985.333	1139.145	1048.014	937.741	1061.638	1153.574	1106.133	874.792	1013.009	897.731	868.772
1-2μμ	915.130	921.072	1064.853	979.665	876.584	992.401	1078.341	1033.994	817.740	959.978	839.184	812.113
2-3μμ	1064.104	1071.014	1311.143	1139.145	1019.283	1153.954	1253.885	1202.319	950.860	1101.096	975.795	944.318
3-4μμ	915.130	921.072	1068.231	978.665	876.584	991.388	1116.787	1033.994	817.740	946.943	839.184	812.113
4-5μμ	915.130	921.072	1092.943	981.665	876.584	994.427	1225.459	1033.994	817.740	951.343	839.184	812.113
5-6μμ	1106.668	1113.854	1287.729	1184.711	1060.055	1200.112	1304.041	1250.411	988.895	1145.140	1014.827	982.090
6-7μμ	1479.105	1488.709	1721.100	1583.412	1416.804	1603.996	1742.901	1671.223	1321.696	1530.524	1356.355	1312.602
7-8μμ	1266.284	1274.507	1473.460	1355.583	1212.947	1373.206	1492.124	1430.759	1131.524	1310.305	1161.196	1123.738
8-9μμ	1457.823	1467.289	1696.336	1560.629	1396.418	1580.917	1717.823	1647.177	1302.679	1508.502	1336.839	1293.715
9-10μμ	1553.592	1563.680	1807.774	1663.152	1488.154	1684.773	1830.673	1755.385	1388.256	1607.601	1424.661	1378.704
10-11μμ	1489.746	1499.419	1733.482	1594.803	1426.997	1615.536	1755.439	1683.246	1331.205	1541.535	1366.113	1322.045
11μμ-12	1266.284	1274.507	1512.970	1355.583	1212.947	1373.206	1492.124	1430.759	1131.524	1312.341	1161.196	1123.738

## Μεσαίες Ηλεκτρικές Καταναλώσεις

	Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Μάρτιος	Απρίλιος	Μάιος	Ιουνίος	Ιούλιος	Αύγουστος	Σεπτέμβρης	Οκτώμβρης	Νοέμβριος	Δεκέμβριος
0-1πμ	757.039	690.843	874.178	782.273	802.915	937.463	832.743	874.178	816.500	797.700	758.805	663.209
1-2πμ	582.920	531.949	673.117	602.351	618.244	721.846	641.212	673.117	628.705	614.229	584.280	510.671
2-3πμ	451.195	411.742	521.010	466.235	478.537	558.728	496.315	521.010	486.634	475.429	452.248	395.273
3-4πμ	431.512	393.780	498.282	445.896	457.662	534.354	474.663	498.282	465.405	454.689	432.519	378.029
4-5πμ	408.801	373.055	472.056	422.428	433.574	506.230	449.681	472.056	440.910	430.758	409.755	358.133
5-6πμ	428.484	391.017	494.785	442.767	454.450	530.604	471.332	494.785	462.139	451.498	429.484	375.376
6-7πμ	446.653	407.597	515.765	461.541	473.720	553.103	491.318	515.765	481.735	470.643	447.695	391.293
7-8πμ	575.349	525.041	664.375	594.528	610.215	712.472	632.884	664.375	620.540	606.252	576.692	504.039
8-9πμ	741.898	677.026	856.695	766.628	786.857	918.714	816.088	856.695	800.170	781.746	743.629	649.945
9-10πμ	620.772	566.491	722.926	641.464	658.390	767.719	682.849	722.926	669.530	649.394	622.220	543.832
10-11πμ	620.851	566.491	716.826	641.464	658.390	774.948	684.849	716.826	669.530	654.114	622.220	543.832
11πμ-12	635.913	580.308	734.310	657.110	674.449	787.469	699.504	734.310	685.860	670.068	637.396	557.096
12-1μμ	696.476	635.575	804.244	719.692	738.682	810.466	766.123	804.244	751.180	733.884	698.101	610.152
1-2μμ	651.053	594.125	751.793	672.755	690.507	862.218	716.159	751.793	702.190	686.022	652.572	570.360
2-3μμ	757.039	690.843	879.390	782.273	802.915	937.463	832.743	879.390	816.500	797.700	758.805	663.209
3-4μμ	651.053	594.125	758.195	672.755	690.507	812.799	715.159	758.195	702.190	686.022	652.572	570.360
4-5μμ	651.904	594.125	765.515	672.755	690.507	806.218	719.159	765.515	702.190	691.194	652.572	570.360
5-6μμ	787.320	718.477	909.145	813.564	835.032	974.961	866.052	909.145	849.160	829.608	789.157	689.738
6-7μμ	1052.284	960.272	1215.108	1087.360	1116.052	1303.073	1157.512	1215.108	1134.935	1108.803	1054.739	921.861
7-8μμ	900.876	822.103	1040.272	930.905	955.469	1125.807	990.964	1040.272	971.635	949.263	902.978	789.219
8-9μμ	1037.143	946.455	1197.624	1071.715	1099.993	1284.324	1140.857	1197.624	1118.605	1092.849	1039.563	908.597
9-10μμ	1105.277	1008.631	1276.300	1142.119	1172.256	1368.696	1215.804	1276.300	1192.090	1164.642	1107.856	968.285
10-11μμ	1059.854	967.180	1223.849	1095.183	1124.081	1312.448	1165.840	1223.849	1143.100	1116.780	1062.327	928.493
11μμ-12	900.876	822.103	1078.979	930.905	955.469	1115.581	995.964	1078.979	971.635	954.291	902.978	789.219

## Μικρές Ηλεκτρικές Καταναλώσεις

	Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Μάρτιος	Απρίλιος	Μάϊος	Ιουνίος	Ιούλιος	Αύγουστος	Σεπτέμβρης	Οκτώμβρης	Νοέμβριος	Δεκέμβριος
0-1πμ	406.395	357.847	540.660	445.338	452.278	620.757	500.161	519.033	434.187	482.315	378.734	353.957
1-2πμ	312.924	275.542	416.308	342.910	348.254	477.983	385.124	399.656	334.324	371.383	291.625	272.547
2-3πμ	242.212	213.277	322.233	265.421	269.558	369.971	298.096	309.344	258.776	287.460	225.725	210.958
3-4πμ	231.645	203.973	308.176	253.842	257.799	353.832	285.092	295.849	247.487	274.920	215.878	201.756
4-5πμ	219.453	193.237	291.956	240.482	244.230	335.209	270.087	280.278	234.461	260.450	204.516	191.137
5-6πμ	230.020	202.541	306.013	252.061	255.990	351.349	283.091	293.773	245.750	272.990	214.363	200.340
6-7πμ	239.773	211.130	318.989	262.749	266.844	366.247	295.095	306.230	256.171	284.566	223.453	208.835
7-8πμ	308.860	271.963	410.901	338.457	343.732	471.776	380.122	394.465	329.982	366.559	287.838	269.007
8-9πμ	398.267	350.690	529.846	436.431	443.233	608.342	490.158	508.653	425.504	472.669	371.159	346.878
9-10πμ	333.244	293.434	443.341	365.177	370.868	509.021	410.132	425.607	356.034	395.498	310.562	290.245
10-11πμ	333.370	293.434	452.940	365.177	370.868	512.021	413.274	434.822	356.034	398.528	310.562	290.245
11πμ-12	341.372	300.591	454.154	374.084	379.914	521.436	420.135	435.988	364.717	405.145	318.137	297.324
12-1μμ	373.884	329.219	497.407	409.711	416.096	571.097	460.148	477.511	399.452	443.730	348.435	325.640
1-2μμ	349.500	307.748	464.967	382.990	388.959	536.514	430.138	446.369	373.401	414.791	325.711	304.403
2-3μμ	406.395	357.847	551.968	445.338	452.278	620.757	500.161	529.890	434.187	482.315	378.734	353.957
3-4μμ	349.500	307.748	464.967	382.990	388.959	533.514	432.212	446.369	373.401	416.791	325.711	304.403
4-5μμ	349.718	307.748	468.733	382.990	388.959	542.851	435.375	449.983	373.401	419.841	325.711	304.403
5-6μμ	422.651	372.161	562.286	463.151	470.370	645.588	520.167	539.795	451.555	501.608	393.883	368.115
6-7μμ	564.889	497.407	751.517	619.019	628.667	862.853	695.223	721.456	603.520	670.418	526.440	492.000
7-8μμ	483.610	425.838	643.385	529.952	538.211	742.013	604.392	617.650	516.683	582.827	450.694	421.209
8-9μμ	556.761	490.250	740.704	610.113	619.621	850.438	685.220	711.076	594.837	660.772	518.866	484.921
9-10μμ	593.337	522.456	789.363	650.193	660.327	906.306	730.235	757.789	633.913	704.180	552.952	516.777
10-11μμ	568.953	500.985	756.924	623.473	633.190	869.060	700.225	726.647	607.862	675.241	530.228	495.540
11μμ-12	483.610	425.838	651.850	529.952	538.211	738.701	595.191	625.776	516.683	573.955	450.694	421.209