



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

**Μελέτη και διαχείριση ενεργών δικτύων διανομής
με χρήση υπηρεσιών ευέλικτης ζήτησης**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΚΑΡΔΑΜΠΙΚΗΣ ΓΙΑΝΝΗΣ

Επίβλεψη: Νικόλαος Χατζηαργυρίου, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάρτιος 2022



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

Μελέτη και διαχείριση ενεργών δικτύων διανομής με χρήση υπηρεσιών ευέλικτης ζήτησης

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΚΑΡΔΑΜΠΙΚΗΣ ΓΙΑΝΝΗΣ

Επίβλεψη: Νικόλαος Χατζηαργυρίου, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 8η Μαρτίου 2022

.....
Χατζηαργυρίου Νικόλαος

.....
Παπαθανασίου Σταύρος

.....
Γεωργιλάκης Παύλος

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάρτιος 2022

.....

Καρδαμπίκης Γιάννης

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

Copyright © Καρδαμπίκης Γιάννης, 2021 . Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα σύγχρονα συστήματα ισχύος εξελίσσονται σε έξυπνα δίκτυα με υψηλό επίπεδο διείσδυσης μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής. Αυτή η σταδιακή μετάβαση στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας δημιουργεί σοβαρές λειτουργικές προκλήσεις για τα συστήματα διανομής. Ένα βασικό ζήτημα σχετικά με την εξέλιξή τους είναι ο τρόπος προσαρμογής των λειτουργικών και σχεδιαστικών προτύπων ώστε να εξυπηρετείται η ολοένα αυξανόμενη παραγωγή με κατεύθυνση την εκπομπή χαμηλών ρύπων σε συνδυασμό με την ενσωμάτωση «έξυπνων» λύσεων στις υπάρχουσες εγκαταστάσεις.

Επίσης, με την ένταξη έξυπνων δικτύων θα υπάρξει αποδοτικότερη χρήση της υπάρχουσας εγκατεστημένης ισχύος. Όπως επίσης, με την αξιοποίηση των σύγχρονων τεχνολογιών επικοινωνίας και των καινοτόμων μεθόδων τεχνητής νοημοσύνης, η αναβάθμιση του δικτύου προβλέπεται να είναι ραγδαία

Στην παρούσα διπλωματική εργασία ,αναλύεται η λειτουργία ενεργών δικτύων διανομής μέσης τάσης μέσω της επίλυσης βέλτιστης ροής ισχύος και εφαρμογής στρατηγικών διαχείρισης της ευέλικτης ζήτησης. Αρχικά, θα μελετηθεί η απόδοση λειτουργίας του δικτύου διανομής και θα προσδιοριστούν κρίσιμες γραμμές και ζυγοί υπό διαφορετικά προφίλ κατανάλωσης. Ύστερα θα εξεταστούν στρατηγικές διαχείρισης της ζήτησης. Η ανάλυση θα βασιστεί στην παράσταση δικτύου διανομής σε κατάλληλο λογισμικό και θα περιλαμβάνει τη δυναμική προσομοίωση του δικτύου.

Συγκεκριμένα , μελετάται η αντίδραση του δικτύου σε ένα 24ώρο του χειμώνα και του καλοκαιριού από το φορτίο του συστήματος, την παραγωγή ενός φωτοβολταϊκού συστήματος και μιας μπαταρίας. Με βάση τα αποτελέσματα που προκύπτουν , αναζητείται η βέλτιστη λειτουργία του συστήματος αγοράζοντας ευελιξία από τον Φο.Σ.Ε σε ώρες αιχμής . Στόχος του προβλήματος βελτιστοποίησης αποτελεί η εύρεση εκείνης της συντονισμένης λειτουργίας μεταξύ του διαχειριστεί, του Φο.Σ.Ε και του καταναλωτή ώστε να μην υπάρχουν συμφορήσεις και υπερφορτώσεις στο δίκτυο. Οι λύσεις αυτές αποτελούν εναλλακτική πρόταση απέναντι στην κλασική ενίσχυση των γραμμών του δικτύου κατά το μακροπρόθεσμο σχεδιασμό, καθώς συμβάλλουν στην αναβολή κοστοβόρων και μη αναστρέψιμων επενδύσεων.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

Ενεργά δίκτυα διανομής μέσης τάσης , Έξυπνα δίκτυα ,Ευέλικτη ζήτηση ,Βέλτιστη ροή ισχύος , Python , Διεσπαρμένη παραγωγή , Απόκριση ζήτησης

ABSTRACT

The distribution networks operate so that the production can serve the demand at any time. Modern power systems are moving toward smart grids with a high penetration level of distributed generation units. This gradual transition in power systems is creating serious operational challenges for distribution systems. A key issue in their evolution is how to adapt operational and design standards to serve the increasing production of low emissions combined with the integration of "smart" solutions in existing facilities. Also, with the integration of smart grids, there will be more efficient use of the existing installed power. As well as, with the use of modern communication technologies and innovative methods of artificial intelligence, the upgrade of the network is expected to be rapid

In this dissertation, we analyze the operation of active medium voltage distribution networks through the solution of power flow and implementation of flexible demand management strategies. Initially, the operating efficiency of the distribution network will be studied and critical lines and balances under different consumption profiles will be identified. Demand management strategies will then be considered. The analysis will be based on the distribution network representation in appropriate software and will include the Time Series network simulation.

These solutions are an alternative to the classic reinforcement of the network lines in the long-term design, as they contribute to the postponement of costly and irreversible investments. Specifically, the reaction of the network in a 24-hour winter and summer from the load of the system, the production of a photovoltaic system and a battery is studied. Based on the results obtained, the optimal operation of the system is sought by purchasing flexibility from aggregators at peak hours. The aim of the optimization problem is to find that coordinated operation between the DSO, the aggregator and the consumer so that there are no congestion and overload in the network.

KEY WORDS

Active Medium Voltage Distribution Networks, Smart grids, Flexible demand, Optimal Power Flow, Python, Distributed generation, Demand response

Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε κατά το ακαδημαϊκό έτος 2020-2021 υπό την επίβλεψη του κ. Ν. Χατζηαργυρίου , καθηγητή της σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Ε.Μ.Π , τον οποίο οφείλω ιδιαίτερες ευχαριστίες για την ανάθεση της , δίνοντας μου την ευκαιρία να ασχοληθώ με ένα ενδιαφέρον θέμα.

Θα ήθελα να επίσης να ευχαριστήσω θερμά την διδάκτορα ερευνήτρια Αγγελική Συρρή, για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση που μου παρείχε κατά την εκπόνηση της εργασίας .

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και την κοπέλα μου οι οποίοι αποτελούν πηγή έμπνευσης και δύναμης σε όλη τη διάρκεια της ζωής μου. Τέλος, όλους τους φίλους μου για την αμέτρητη στήριξη που μου δίνουν καθημερινός για να μπορέσω να υλοποιήσω τους στόχους μου .

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	Error! Bookmark not defined.
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	7
ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ	7
ABSTRACT.....	9
KEY WORDS	9
Συνοπτομογραφίες – Συντομήσεις.....	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	16
1.1 Εισαγωγή.....	16
1.2 Αντικείμενο της εργασίας.....	20
1.3 Δομή της εργασίας	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	23
2.1 Δίκτυα Διανομής.....	23
2.2 Βέλτιστη Λειτουργία Ενεργών Δικτύων Διανομής.....	26
2.3 Γραμμές μεταφοράς και διανομής ΜΤ.....	27
2.4 Διεσπαρμένη παραγωγή	28
2.5 Τεχνικά Προβλήματα Δικτύων Διανομής λόγω Υψηλής Διείσδυσης Διεσπαρμένων Μονάδων Παραγωγής.....	29
2.6 Ευελιξία στα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας	31
2.7 Έξυπνοι Μετρητές.....	32
2.8 Ενεργός απόκριση της Ζήτησης (Demand Side Response)	35
2.9 Φορείς Σωρευτικής Εκπροσώπησης Φορτίων.....	37
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	41
3.1 Ροή ισχύος.....	41
3.2 Βέλτιστη ροή ισχύος	45
3.3 Σύνολα και παράμετροι.....	48
3.4 Μοντελοποίηση της ευέλικτης ζήτησης	51
3.5 Μοντελοποίηση του Φωτοβολταϊκού συστήματος.....	53
3.6 Μοντελοποίηση Μπαταρίας.....	56
3.7 Παρουσίαση του μοντέλου συνεργασίας του διαχειριστή του ΔΔΗΕ με τους διαχειριστές ελαστικής ζήτησης (Φο.Σ.Ε).....	58
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	60
4.1 Python.....	60
4.3 Time series	66
4.4 PV lib	67

4.5 Smart meters	70
4.6 Matplotlib	75
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	78
5.1 Περιγραφή του δικτύου.....	78
5.2 Περιγραφή σεναρίων	81
5.3 Εισαγωγή σεναρίου χειμώνα	82
5.4 Σενάριο 1A , Διαχείριση υπερφόρτωσης γραμμών	87
5.5 Σενάριο 1B , Διαχείριση παραβίασης ορίων τάσης ζυγών.....	96
5.6 Εισαγωγή σεναρίου καλοκαιριού	102
5.7 Σενάριο 2 A , Διαχείριση υπερφόρτωσης γραμμών.....	106
5.8 Σενάριο 2B , Διαχείριση παραβίασης ορίων τάσης ζυγών.....	114
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6	120
6.1 Συμπεράσματα	120
6.2 Μελλοντικές Προεκτάσεις	127
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7	129
Βιβλιογραφία.....	129

Συντομογραφίες – Συντμήσεις

AC-OPF	Alternate current optimal power flow
BSS	Battery String Simulator
PCS	Power Conversion Systems
PF	Power Flow
DSO	Distribution System Operator
DSR	Demand-Side Response
DG	Distributed Generation
WAN	Wide area network
FAN	Field Area Network
HAN	Home Area Network
ΑΠΕ	Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας
ΔΔ	Δίκτυα Διανομής
ΔΕΔΔΗΕ	Διαχειριστής Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας
ΣΗΕ	Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας
Υ/Σ	Υποσταθμός
ΥΤ	Υψηλή Τάση
Φ/Β	Φωτοβολταϊκά
Φο.Σ.Ε	Φορέας Σωρευτικής Εκπροσώπησης
ΧΤ	Χαμηλή Τάση
ΔΠ	Διεσπαρμένη Παραγωγή

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Σύγχρονα δίκτυα διανομής

1.1 Εισαγωγή

Τα δίκτυα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας αποσκοπούν στην παροχή ηλεκτρικής ενέργειας μέσης τάσης (MT) και χαμηλής τάσης (XT) στους καταναλωτές. Τα παραδοσιακά δίκτυα διανομής, των οποίων τις υποδομές συναντάμε μέχρι και σήμερα, χαρακτηρίζονται ως παθητικά δίκτυα, αφού λόγω της μεγάλης απουσίας διεσπαρμένης παραγωγής, η ροή ισχύος έχει κατεύθυνση μόνο προς τους καταναλωτές, κάτι το οποίο καθιστά πολύ πιο απλή τη λειτουργία και το σχεδιασμό τους. Η συνεχώς αυξανόμενη εγκατάσταση μονάδων διανεμημένης παραγωγής από ΑΠΕ, απαιτεί σημαντικές αλλαγές στη λειτουργία και τη δομή των δικτύων διανομής, καθώς πλέον ανά πάσα στιγμή, λόγω και της στοχαστικής τους φύσης, η ροή ισχύος μπορεί να αλλάζει φορά.

Η αναβάθμιση των ήδη υπαρχόντων υποδομών με την εγκατάσταση προηγμένων υποδομών τεχνολογία πληροφορικής και επικοινωνιών, είναι πολύ σημαντικός καθώς καθιστά τον ρόλο των δικτύων διανομής ενεργό και μπορούν έτσι να επιτευχθούν οι προκλήσεις για υψηλή διείσδυση των ΑΠΕ στο σύστημα, χωρίς πολλά προβλήματα. Τα ενεργά δίκτυα διανομής χαρακτηρίζονται από την ύπαρξη συνδυασμού διανεμημένης παραγωγής, ειδικά από ΑΠΕ, αλλά και έξυπνων και μεταβαλλόμενων φορτίων και μονάδων αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας. Οι διαχειριστές τους έχουν την ικανότητα να ελέγχουν την λειτουργία τους και τη ροή ισχύος στις γραμμές τους με πιο ευέλικτο τρόπο ώστε να αποφεύγονται τυχόν συμφορήσεις. Ο τρόπος με τον οποίο γίνεται αυτός ο έλεγχος, είναι μέσω των ευέλικτων φορτίων του δικτύου όπου ουσιαστικά επιτρέπουν τον διαχειριστή να ρυθμίζει ανάλογα με τις ανάγκες του. Η λειτουργία των ενεργών δικτύων διανομής θυμίζει πολύ αυτή των συστημάτων μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς με τη βοήθεια της τεχνολογίας πληροφορικής και επικοινωνιών, γίνεται πιο εφικτή η εποπτεία, ο έλεγχος και η επικοινωνία μεταξύ των στοιχείων και του εξοπλισμού του δικτύου σε πραγματικό χρόνο, αποφέροντας καλύτερη αντιμετώπιση στα προβλήματα που δημιουργούνται λόγω της υψηλής διείσδυσης των ΑΠΕ στο σύστημα, καθιστώντας τα πιο αξιόπιστα και οικονομικά.

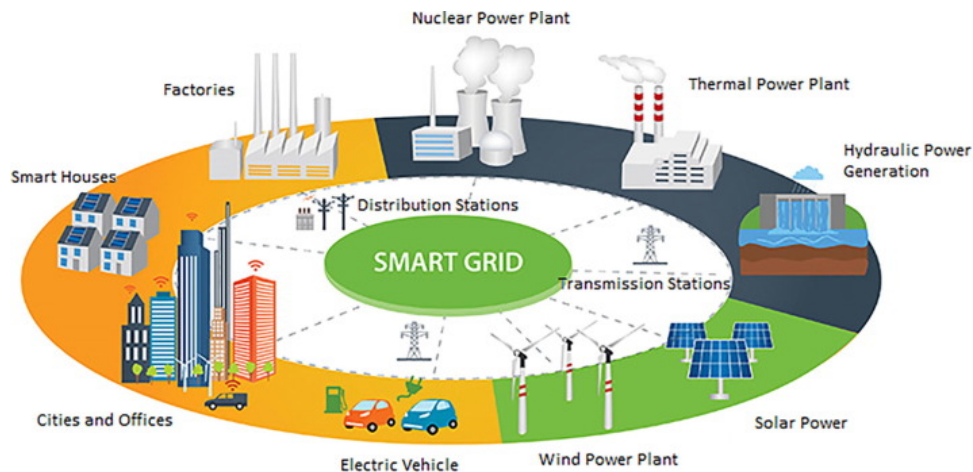
Για να υλοποιηθούν στη πραγματικότητα αυτά τα δίκτυα διανομής πρέπει πρώτα να επιλυθούν κάποια προβλήματα, τα οποία προκύπτουν. Ένα από αυτά είναι η

αναβάθμιση των υποδομών τεχνολογίας πληροφορικής και επικοινωνιών και των μετρητικών διατάξεων, με τα οποία θα πραγματοποιούνται η εποπτεία, ο έλεγχος των συσκευών, ο έλεγχος εξόδου των διανεμημένων μονάδων παραγωγής και οι προηγμένες απαιτούμενες μετρήσεις σε πραγματικό χρόνο. Δηλαδή χρειάζονται ενσωμάτωση στοιχείων λογισμικού και υλικού, αναβάθμιση συστημάτων εποπτείας υποσταθμών, έξυπνοι μετρητές για απόκτηση δεδομένων, προηγμένοι αισθητήρες για διαχείριση εξοπλισμού. Έτσι, μπορούν να προβλεφθούν καλύτερα προβλέψεις φορτίων και παραγωγής ΑΠΕ .Συνεπώς πιο γρήγορες αντιδράσεις του δικτύου σε έκτακτες καταστάσεις. Σε αυτό το νέο είδος δικτύου παρατηρούμε ότι η δόμηση πλέον γίνεται από κάτω προς τα πάνω (bottom-up), για την αξιοποίηση του ψηφιακού εξοπλισμού και της τεχνολογίας που βασίζεται σε αυτόν, δηλαδή η έμφαση δίνεται στη χαμηλή και μέση τάση, όπου ανήκει η πλειονότητα των καταναλωτών. Χωρίς αυτή την προσέγγιση θα είναι αδύνατη η αντιμετώπιση της συνεχούς αυξανόμενης πολυπλοκότητας των ΣΗΕ των νέων δεκαετιών.

Τα πλεονεκτήματα των έξυπνων δικτύων περιλαμβάνουν :

- ✓ Αποδοτικότερη μεταφορά της ενέργειας
- ✓ Ταχύτερη αποκατάσταση του δικτύου μετά από διαταραχές.
- ✓ Αυξημένη δυνατότητα υποστήριξης μεγάλων υποδομών ΑΠΕ.
- ✓ Καλύτερη ενσωμάτωση μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής που χρησιμοποιούνται για ιδιοκατανάλωση. Αποτέλεσμα αυτού θα είναι η περαιτέρω απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας και η δυνατότητα άμεσου εφοδιασμού του καταναλωτή από τον παραγωγό, χωρίς τη χρησιμοποίηση δικτύου μεταφοράς.
- ✓ Ενσωμάτωση και χρήση ψηφιακών διατάξεων (π.χ. μετρητές ασύρματης τεχνολογίας), ώστε να επωφελούνται τα συνδεδεμένα μέλη από το προηγμένο δίκτυο τηλεπικοινωνιών.
- ✓ Αυξημένη προστασία του δικτύου. [8],[9],[10],[11]

Η λειτουργία ενός έξυπνου δικτύου δημιουργεί την εικόνα ενός πλήρως αυτοματοποιημένου συστήματος διανομής, ικανού να παρακολουθεί τη χρήση και τα επίπεδα τάσης, πραγματοποιώντας συνεχώς ρυθμίσεις για τη διατήρηση της βέλτιστης λειτουργίας του συστήματος υπό οποιεσδήποτε συνθήκες. Η παρακάτω εικόνα αντικατοπτρίζει την ιδέα ενός έξυπνου δικτύου.



Εικόνα 1.1 : Έξυπνο δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας [35]

Η αυξανόμενη διείσδυση των διεσπαρμένων μονάδων παραγωγής καθώς και η αυξημένη ζήτηση φορτίου στα δίκτυα διανομής θέτει νέες προκλήσεις για την ασφαλή και αποτελεσματική λειτουργία των δικτύων διανομής. Μια σημαντική πρόκληση είναι η συμφόρηση του δικτύου που προκαλείται από τη μη συντονισμένη λειτουργία ευέλικτων απαιτήσεων, όπως τα ηλεκτρικά οχήματα. Η αποσυμφόρηση του δικτύου γίνεται μείζον μέλημα των διαχειριστών συστημάτων διανομής για την ασφαλή λειτουργία των δικτύων διανομής.

Ο Διαχειριστής δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας (ΔΔΗΕ) , είναι υπεύθυνος για την σωστή και ομαλή λειτουργία του δικτύου, εξασφαλίζοντας κάθε ώρα ότι δεν θα υπάρξουν συμφορήσεις σε γραμμές και υπερτάσεις σε ζυγούς του συστήματος . Για να συμβεί αυτό , θα πρέπει να εξασφαλίσει ευελιξία από καταναλωτές για πιθανές ώρες μέσα στην μέρα που μπορεί να προκύψει κάποια συμφόρηση . Αυτό συμβαίνει μέσω της αγοράς ευελιξίας .

Η αγορά ευελιξίας , είναι μια διαδικασία κατά την οποία διαφορετικά μέλη ανταλλάσσουν ευελιξία σε μια γεωγραφικά περιορισμένη περιοχή , όπως μια κοινότητα ή μια πόλη . Συγκεκριμένα , στην διαδικασία αυτή εμπλέκονται ο διαχειριστής ΔΔΗΕ , ο Φορέας Σωρευτικής Εκπροσώπησης (Φο.Σ.Ε) και ο διαχειριστής αγοράς . Ο Φο.Σ.Ε , ενεργεί ως μεσολαβητής μεταξύ των καταναλωτών , του ΔΔΗΕ και του διαχειριστή αγοράς . Καθώς ο κάθε καταναλωτής μεμονωμένα έχει μικρό μερίδιο φορτίου στο συνολικό δίκτυο , χρειάζεται να υπάρχει ο Φο.Σ.Ε , ώστε να συγκεντρώνει την ευελιξία απο τους καταναλωτές , να διαμορφώνει προσφορές και να ανταλλάσσει ευελιξία στην αγορά . Στην συνέχεια , ο διαχειριστής αγοράς είναι υπεύθυνος να καθορίσει τα

αποτελέσματα των συναλλαγών , δηλαδή το κόστος προμήθειας και το ποσό της ευελιξίας που διαπραγματεύεται. Συνεπώς ο διαχειριστής ΔΔΗΕ αρχικά ζητάει της ανάγκες ευελιξίας που χρειάζεται, έπειτα ο Φο.Σ.Ε βρίσκει μέσω των καταναλωτών την αντίστοιχη ευελιξία και τέλος ο διαχειριστής ΔΔΗΕ πληρώνει το αντίστοιχο κόστος προμήθειας στον Φο.Σ.Ε και εκείνος με την σειρά του στους καταναλωτές .

Σε γενικές γραμμές, υπάρχουν δύο κατηγορίες μεθόδων ώστε να καταφέρει ο Φο.Σ.Ε να εξασφαλίσει ευελιξία από τους καταναλωτές, είτε χρησιμοποιώντας κάποια τιμολόγια κοστολόγησης της ενέργειας ανάλογα με την ώρα , είτε με κάποια κίνητρα που δίνονται στους καταναλωτές για να διαφοροποιήσουν την ώρα που χρησιμοποιούν ενέργεια [2]. Τα τιμολόγια κοστολόγησης δηλώνουν ότι οι τελικές τιμές ηλεκτρικής ενέργειας σε ώρες συμφόρησης είναι υψηλότερες από αυτές σε ώρες χωρίς συμφόρηση.

1.2 Αντικείμενο της εργασίας

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η διαχείριση ενεργών δικτύων διανομής σε ώρες αιχμής χρησιμοποιώντας υπηρεσίες ευέλικτης ζήτησης. Συγκεκριμένα , η διαχείριση της ευέλικτης ζήτησης και η αναζήτηση σχετικών υπηρεσιών γίνεται από την πλευρά του διαχειριστή ΔΔΗΕ με σκοπό να επιτευχθεί βέλτιστη λειτουργία του ΔΔΗΕ και ελαχιστοποίηση των τεχνικών προβλημάτων. Μελετάται η αντίδραση του δικτύου σε ένα 24ώρο του χειμώνα και του καλοκαιριού από το φορτίο του συστήματος, την παραγωγή ενός φωτοβολταϊκού συστήματος και μιας μπαταρίας. Με βάση τα αποτελέσματα που προκύπτουν , αναζητείται η βέλτιστη λειτουργία του συστήματος αγοράζοντας ευελιξία από τον Φο.Σ.Ε σε ώρες αιχμής . Στόχος του προβλήματος βελτιστοποίησης αποτελεί η εύρεση εκείνης της συντονισμένης λειτουργίας μεταξύ του διαχειριστή, του Φο.Σ.Ε και του καταναλωτή ώστε να μην υπάρχουν συμφορήσεις και υπερφορτώσεις στο δίκτυο.

1.3 Δομή της εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία οργανώνεται σε 7 κεφάλαια :

- Στο **Κεφάλαιο 2** παρουσιάζονται αναλυτικά τα δίκτυα διανομής μαζί με τις γραμμές διανομής και συγκεκριμένα τα ενεργά δίκτυα που ασχολείται και η διπλωματική .Όπως επίσης ορίζετε η διεσπαρμένη παραγωγή , εξηγούνται έννοιες Ευελιξίας των δικτύων , Έξυπνα Δίκτυα και Μετρητές .
- Στο **Κεφάλαιο 3** παρουσιάζονται τα μαθηματικά μοντέλα της ευέλικτης ζήτησης , του Φωτοβολταϊκού συστήματος και Μπαταρίας που έχουν χρησιμοποιηθεί στην παρούσα διπλωματική .Όπως επίσης , διατυπώνεται η ροή αλλά και η βέλτιστη ροή ισχύος με μαθηματική εξήγηση.
- Στο **Κεφάλαιο 4** παρουσιάζεται το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για την εκπόνηση της εργασίας , μαζί με όλες τις βιβλιοθήκες που χρησιμοποιήθηκαν
- Στο **Κεφάλαιο 5** παρουσιάζεται η περιγραφή του δικτύου μαζί με τα τέσσερα σενάρια που εξετάστηκαν και τα αποτελέσματα τους .
- Στο **Κεφάλαιο 6** παρουσιάζονται τα συμπεράσματα των τεσσάρων σεναρίων και προτείνονται ορισμένες μελλοντικές επεκτάσεις της διπλωματικής εργασίας.
- Στο **Κεφάλαιο 7** παρουσιάζεται η βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Θεωρητικό υπόβαθρο

2.1 Δίκτυα Διανομής

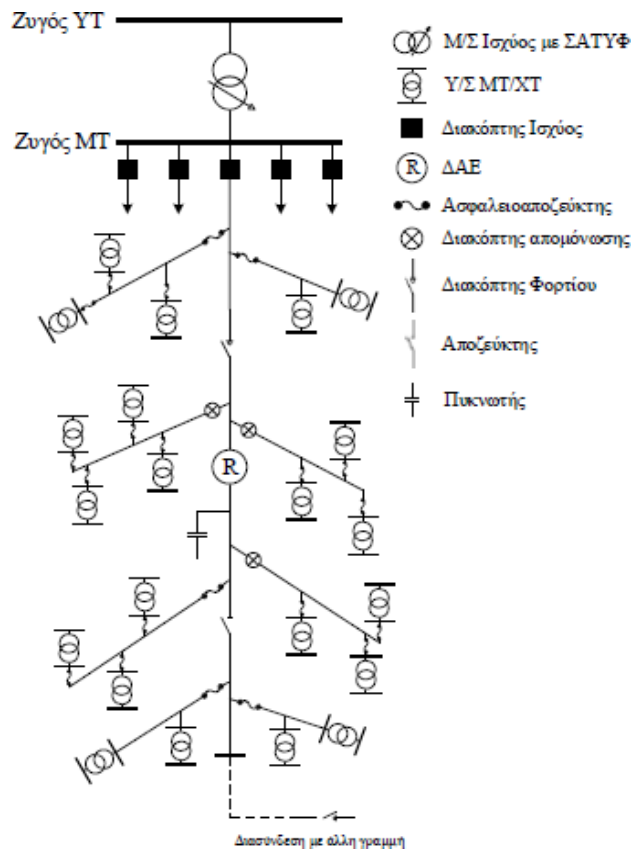
Τα δίκτυα διανομής (ΔΔ) διανέμουν την ηλεκτρική ενέργεια στους καταναλωτές. Τα ΔΔ εξυπηρετούν μεγάλη έκταση περιοχών και φθάνουν μέχρι και τον τελευταίο καταναλωτή. Τα ΔΔ ηλεκτρικής ενέργειας κατηγοριοποιούνται στα δίκτυα μέσης τάσης (20 kV) που είναι η πρωτεύουσα διανομή και χαμηλής τάσης (220-380 V) που είναι η δευτερεύουσα διανομή. Οι περιοχές καταναλώσεως είναι βιομηχανικές, αστικές, υπεραστικές ή αγροτικές , ενώ αντίστοιχος προς το είδος της περιοχής είναι και ο τύπος του δικτύου ΜΤ.

Τα ΔΔ συναντώνται είτε σε εναέριο χώρο είτε υπόγεια . Στα κέντρα των πόλεων, ή γενικά σε περιοχές μεγάλης πυκνότητας φορτίου, τα δίκτυα είναι ως επί το πλείστον υπόγεια, . Στις υπόλοιπες περιοχές, τα δίκτυα είναι κατά κανόνα εναέρια. Τα εναέρια δίκτυα είναι λιγότερο δαπανηρά από τα υπόγεια και είναι ευκολότερα στην εγκατάσταση και στη συντήρησή τους. Μειονεκτούν ωστόσο στο ότι καταλαμβάνουν σημαντικό χώρο. [3]

Τα δίκτυα διανομής προϋποθέτουν η τάση στο επίπεδο των καταναλωτών να παραμένει στο $\pm 5\%$ της ονομαστικής τάσης, να μη γίνεται υπερφόρτιση των αγωγών, προβλέποντας τη βέλτιστη αποδοτικότητά τους και να μην υπάρχουν διακοπές ρεύματος (αν υπάρχουν, να περιορίζονται σε ελάχιστο βαθμο) .Τα ΔΔ ανάλογα με τη διάταξη τους διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες, τα ακτινικά τα βροχοειδή και τα Σύστημα πλέγματος (Αραχνοειδή) δίκτυα διανομής

1) Τα ακτινικά

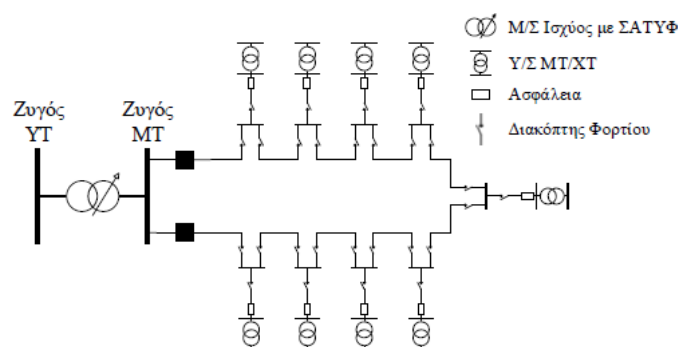
Τα ακτινικά δίκτυα διανομής συνήθως συναντώνται σε εναέρια μορφή, που βρίσκονται σε αγροτικές περιοχές και εξυπηρετούν φορτία, τα οποία δεν απαιτούν υψηλό βαθμό αξιοπιστίας. Αποτελούνται από μια κεντρική γραμμή, τον κορμό και τις διακλαδώσεις, στις οποίες τοποθετούνται οι Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ. Ρίζα του δέντρου αυτού που σχηματίζει το ακτινικό δίκτυο διανομής είναι ο Υ/Σ ΥΤ/ΜΤ και φύλλα οι καταναλωτές φορτίων. Κατά μήκος του κορμού, στην αρχή των διακλαδώσεων και των Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ τοποθετούνται κατάλληλα μέσα ζεύξης και προστασίας, για τον κατάλληλο έλεγχο και απομόνωση τμημάτων του δικτύου. Η διάταξη αυτή φαίνεται στο παρακάτω σχήμα [4]



Εικόνα 2.1: Ακτινικό δίκτυο διανομής [36]

2) Βροχοειδή

Τα βροχοειδή, συνήθως εφαρμόζεται σε υπόγεια δίκτυα διανομής αστικών περιοχών και λιγότερο σε εναέρια. Οι γραμμές της διάταξης αυτής συνιστούν τμήματα βρόγχου που αρχίζουν και τελειώνουν στον ίδιο κόμβο, αυτόν με τον Υ/Σ ΥΤ/ΜΤ. Τα βροχοειδή δίκτυα διανομής έχουν παρόμοια δομή με αυτή των ακτινικών, αφού σε συνθήκες κανονικής λειτουργίας λειτουργούν με τον ίδιο τρόπο. Αυτό γίνεται έχοντας ένα διακόπτη φορτίου ανοικτό στο μέσο της κύριας γραμμής ή σε ένα Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ και έτσι ο βρόχος του δικτύου δεν κλείνει. Η διάταξη αυτή φαίνεται στο παρακάτω σχήμα [4].



Εικόνα 2.2: Βροχοειδές δίκτυο διανομής [36]

3) Σύστημα πλέγματος (Αραχνοειδή)

Τέτοιου είδους δίκτυα συναντώνται σε μεγάλα αστικά κέντρα με μεγάλα φορτία, όπου το σύστημα πρέπει να είναι πιο αξιόπιστο. Το σύστημα αποτελείται από έναν αριθμό διασυνδεδεμένων πρωτεύοντων αγωγών, που προέρχονται από διαφορετικούς Υ/Σ μέσης τάσης. Με αυτόν τον τρόπο, ακόμα και αν εμφανιστεί σφάλμα, συνεχίζεται κανονικά η τροφοδότηση των φορτίων

2.2 Βέλτιστη Λειτουργία Ενεργών Δικτύων Διανομής

Για την επαρκή παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στους καταναλωτές, την ενσωμάτωση διανεμημένης παραγωγής από ΑΠΕ και την οικονομική διαχείριση της ενέργειας σπουδείο ρόλο αποτελεί η βέλτιστη λειτουργία των ενεργών δικτύων διανομής. Η λειτουργία των δικτύων αυτών διαχωρίζεται σε δύο κατηγορίες. Στη λειτουργία πραγματικού χρόνου, όπου οι δράσεις γίνονται σε πολύ μικρές χρονικές περιόδους και βασίζονται σε τηλεπικοινωνιακά σήματα ή αλγορίθμους εκτίμησης κατάστασης και στη προγραμματισμένη λειτουργία, στην οποία σχεδιάζεται πλάνο λειτουργίας μια ή και περισσότερες μέρες πριν, με βάση την πρόβλεψη ζήτησης φορτίου και παραγωγής από ΑΠΕ. Η βέλτιστη λειτουργία των ενεργών δικτύων διανομής, επιτυγχάνεται με το συντονισμένο έλεγχο και λειτουργία των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής, των μονάδων αποθήκευσης, των μεταβαλλόμενων φορτίων, του εξοπλισμού του δικτύου και των έξυπνων ηλεκτρονικών συσκευών, με σκοπό την αξιόπιστη και οικονομική παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στους καταναλωτές.

Υπάρχουν δύο κύριες κατηγορίες μεθόδων για τη βέλτιστη λειτουργία των ενεργών δικτύων διανομής σε κανονική κατάσταση. Οι μέθοδοι βέλτιστου ελέγχου τάσης και οι μέθοδοι βέλτιστης διαχείρισης ροής ισχύος των γραμμών διανομής. Οι πρώτες μέθοδοι, επιτρέπουν τον έλεγχο της ενεργού και αέργου ισχύος των διανεμημένων μονάδων παραγωγής, σε αντίθεση με τις αντίστοιχες των παθητικών δικτύων διανομής που χρησιμοποιούν την πρακτική “συνδέω και ξεχνώ” (“fit and forget”), αντιμετωπίζοντας την διεσπαρμένη παραγωγή σαν αρνητικό φορτίο. Στόχος των μεθόδων βέλτιστου ελέγχου τάσης είναι η αντιμετώπιση των προβλημάτων ανύψωσης και διακύμανσης τάσης που επιφέρουν στο δίκτυο οι μονάδες διανεμημένης παραγωγής από ΑΠΕ, ενώ μπορεί να είναι και κεντρικού και αποκεντρωμένου ελέγχου. Από την άλλη, οι μέθοδοι βέλτιστης διαχείρισης ροής ισχύος αποσκοπούν στον περιορισμό της συμφόρησης των γραμμών διανομής, που προκαλείται τις περισσότερες φορές σε συνθήκες υψηλής παραγωγής και χαμηλής ζήτησης φορτίου και η στρατηγική ελέγχου τους είναι συνήθως κεντρική. Σε καταστάσεις εκτάκτου καταστάσεως, για τη βέλτιστη λειτουργία των ενεργών δικτύων διανομής λαμβάνονται υπόψη τα οφέλη των διανεμημένων μονάδων παραγωγής και των δυνατοτήτων εποπτείας, ελέγχου και επικοινωνίας σε πραγματικό χρόνο. Αποφεύγονται πιθανές υπερφορτίσεις των γραμμών και μεγάλες πτώσεις τάσης σε ορισμένους κόμβους και έτσι η αποκατάσταση των σφαλμάτων γίνεται με λιγότερους χειρισμούς διακοπών, χωρίς επιπλέον αποκοπή φορτίων.

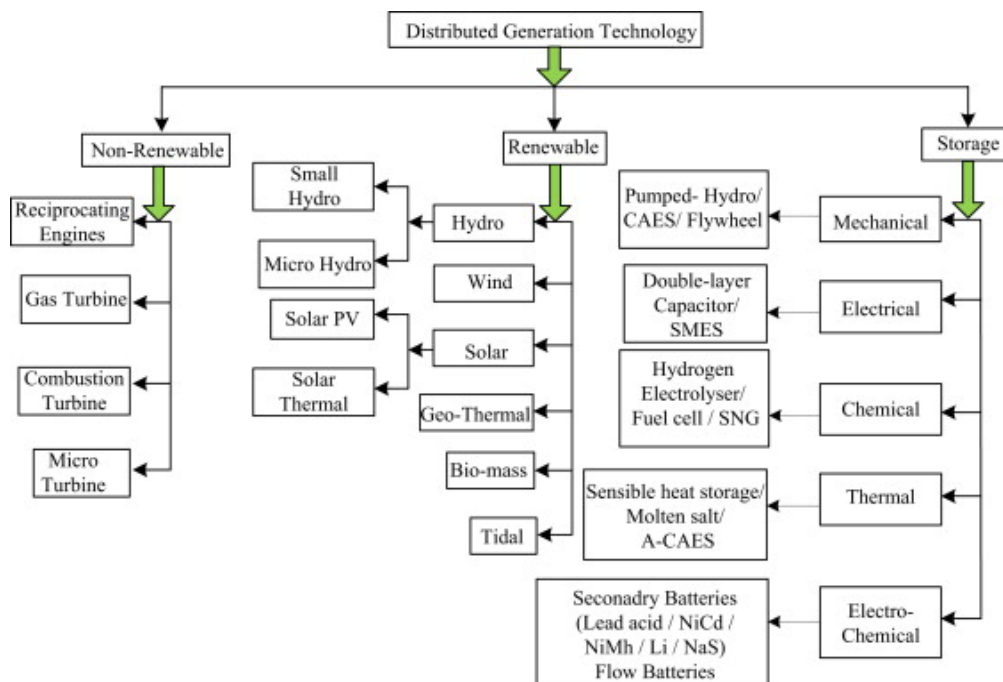
2.3 Γραμμές μεταφοράς και διανομής ΜΤ

Οι γραμμές μεταφοράς και διανομής αποτελούνται από ηλεκτρικούς αγωγούς κατάλληλα προστατευόμενους με μόνωση (πύργοι μεταφοράς, αλυσίδες μονωτήρων, μονωτικά τυλίγματα) από τις διαρροές τάσης και τις ανεπιθύμητες γειώσεις. Αυτοί οι αγωγοί είναι υπεύθυνοι για τη μεταφορά της ενέργειας από ένα σημείο σε ένα άλλο. Οι γραμμές μεταφοράς είναι πάντα τριφασικές (τρεις ξεχωριστοί αγωγοί για το εναλλασσόμενο ρεύμα) και σπανίως έχουν και τέταρτο ουδέτερο (αφόρτιστο) αγωγό. Τα κύρια μέρη ενός συστήματος διανομής κατασκευάζονται ως τριφασικές γραμμές.

Οι γραμμές διανομής στη ΜΤ είναι πάντοτε τριφασικές, ενώ οι γραμμές διανομής ΧΤ είναι συνήθως τριφασικές, αλλά υπάρχουν και μονοφασικές γραμμές. Ανεξάρτητα από τον τύπο του ή την χωρητικότητά του, κάθε ηλεκτρικός αγωγός έχει μια αντίδραση (αντίσταση στη ροή ρεύματος διαμέσου αυτού) που προκαλεί πτώση τάσης και ηλεκτρικές απώλειες κατά τη μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας. Πτώση τάσης είναι η μείωση της τάσης ανάμεσα στα σημεία αναχώρησης και άφιξης της ενεργειακής ροής. Οι απώλειες συνιστούν μείωση της καθαρής ενέργειας και είναι ανάλογες του τετραγώνου του ρεύματος.

2.4 Διεσπαρμένη παραγωγή

Η τελευταία δεκαετία χαρακτηρίζεται από την ολοένα αυξανόμενη παραγωγή ενέργειας και τη σύνδεση μικρής κλίμακας μονάδων παραγωγής που κατά κανόνα κυμαίνονται από 1 kW μέχρι 10 MW, απευθείας στο σύστημα διανομής κοντά στο σημείο κατανάλωσης. Η ενέργεια αυτή έχει ονομαστεί Διεσπαρμένη Παραγωγή (ΔΠ) – Distributed Generation (DG) – και λαμβάνει ολοένα αυξανόμενη προσοχή από τους παίκτες της αγοράς ενέργειας (εταιρείες & απλοί ιδιώτες) ανά τον κόσμο[6]. Οι τεχνολογίες των μονάδων ΔΠ φαίνονται στην παρακάτω Εικόνα . Μια από τις πιο σημαντικές προκλήσεις των Συστημάτων Μεταφοράς και Διανομής είναι η ανάγκη για ενσωμάτωση περισσότερων ΑΠΕ, ως απάντηση στις απαιτήσεις των εθνικών, κοινοτικών και διεθνών ενεργειακών πολιτικών. Η πλειονότητα αυτής της ανανεώσιμης παραγωγής βασίζεται είτε σε ηλιακή είτε σε αιολική ισχύ και η παραγόμενη ενέργεια είναι μεταβαλλόμενη στη διάρκεια του χρόνου και δύσκολα προβλέψιμη. Ως αποτέλεσμα, οι χρονοσειρές παραγωγής εμπεριέχουν μεγάλο βαθμό στοχαστικότητας, δυσκολεύοντας τους λειτουργούς του συστήματος να ταιριάζουν κάθε χρονική στιγμή την παραγωγή με το φορτίο. [7]



Εικόνα 2.3: Πλαίσιο με τις τεχνολογίες μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής. [37]

Η παρουσία αποκεντρωμένης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στο ΔΔ επηρεάζει το υπάρχον δίκτυο. Πιο συγκεκριμένα, οι ροές ισχύος του δικτύου μεταβάλλονται όταν η παραγωγή υπερβαίνει την κατανάλωση, με αποτέλεσμα την εμφάνιση ανάστροφων ροών ισχύος. Όμως, ο σχεδιασμός των ΔΔ είχε πραγματοποιηθεί υποθέτοντας πως η ροή ισχύος θα είναι μονόδρομη από την παραγωγή προς την κατανάλωση. Συνεπώς, η παρουσία ΔΠ έχει μεγάλο αντίκτυπο στη διαχείριση και τον έλεγχο του συστήματος διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Μερικές από τις προκλήσεις που συνεπάγεται η παρουσία ΔΠ για τους λειτουργούς του δικτύου είναι η διατήρηση της τάσης στα επιτρεπτά όρια, η αποφυγή υπερφόρτισης των γραμμών διανομής ΜΤ και ΧΤ και ο έλεγχος της ευστάθειας του συστήματος. Οι μονάδες ΔΠ προσφέρουν αναντίρρητα σημαντικά λειτουργικά, οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη. Εντούτοις, η ενσωμάτωσή τους πρέπει να εξεταστεί προσεκτικά προς τη διασφάλιση της βέλτιστης λειτουργίας του συστήματος.

2.5 Τεχνικά Προβλήματα Δικτύων Διανομής λόγω Υψηλής Διείδυσης Διεσπαρμένων Μονάδων Παραγωγής

Με την διείδυση μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής στα δίκτυα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, προκύπτουν αρκετά τεχνικά προβλήματα. Μέσω κάποιων μελέτων πριν από κάθε σύνδεση μιας τέτοιας μονάδας στο δίκτυο διανομής, γίνεται εκτίμηση, των λειτουργικών περιορισμών του δικτύου τους οποίους τυχόν παραβιάζει η εγκατάσταση της, όπως των ορίων τάσης και συχνότητας, των ορίων φόρτισης γραμμών, τις αρμονικές που προσθέτει και τα flicker που εκπέμπει στο σύστημα, τόσο σε κανονική όσο και σε έκτακτη λειτουργία. Πολλές φορές οι μονάδες διανεμημένης παραγωγής αντιμετωπίζονται από το διαχειριστή του δικτύου σαν αρνητικά φορτία καθώς συνήθως λειτουργούν με σταθερό συντελεστή ισχύος. Συνεπώς να προκαλούνται καινούριες προκλήσεις για τη λειτουργία των δικτύων διανομής, τα οποία είχαν σχεδιαστεί προ πολλού, απλά για τη διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας από το σύστημα μεταφοράς προς τους καταναλωτές, χωρίς να ληφθούν υπόψη τεχνικοί περιορισμοί για τη σύνδεση διανεμημένων μονάδων.

Ένα από τα πιο καίρια προβλήματα τα οποία οφείλουν να αντιμετωπίσουν τα δίκτυα διανομής, λόγω της υψηλής διείδυσης μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής από ΑΠΕ είναι η ανύψωση τάσης. Το μέτρο της τάσης στους ζυγούς του συστήματος διανομής πρέπει να βρίσκεται εντός κάποιων ορίων, όπως για παράδειγμα συνήθως +/-10%. Η

σύνδεση μονάδων διανεμημένης παραγωγής στο δίκτυο πιθανόν να προκαλέσει ανεπιθύμητες διακυμάνσεις στο μέτρο της τάσης, λόγω και της στοχαστικής φύσης των γεννητριών τους, κυρίως σε συνθήκες μέγιστης ζήτησης φορτίου με ελάχιστη παραγωγή και ελάχιστης ζήτησης φορτίου με μέγιστη παραγωγή.

Ακόμη ένα άλλο σημαντικό τεχνικό ζήτημα το οποίο καλείται να αντιμετωπιστεί στα δίκτυα διανομής είναι η συμφόρηση των γραμμών τους. Λόγω της διανεμημένης τους τοποθέτησης, αλλά και της παραγωγής τους με διακύμανση, οι μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής, όσο αυξάνεται και η ενσωμάτωση τους στο δίκτυο και έτσι έχουν και σχετικά κοντινές αποστάσεις, οδηγούν στην αύξηση του συνολικού ρεύματος που ρέει στις γραμμές. Αποτέλεσμα της συμφόρησης των γραμμών είναι η λειτουργία των γραμμών, των μετασχηματιστών και άλλων στοιχείων του δικτύου αρκετά κοντά στα τεχνικά τους όρια, κάτι που είναι ανεπιθύμητο. Η υψηλή ενσωμάτωση διανεμημένων μονάδων παραγωγής, προκαλεί, επιπλέον, προβλήματα και στην προστασία του δικτύου διανομής, μεταξύ των οποίων τα πιο σημαντικά αφορούν τη μεταβολή της στάθμης βραχυκύκλωσης, την αμφίδρομη ροή ρεύματος βραχυκύκλωσης, που απαιτεί αύξηση των ηλεκτρονόμων προστασίας, ώστε να μην υπάρξει τύφλωση και εσφαλμένη λειτουργία των προστασιών και τη νησιδοποίηση.

Τέλος, σημαντικό τεχνικό ζήτημα το οποίο επηρεάζεται με την αυξημένη ενσωμάτωση της διανεμημένης παραγωγής είναι η ποιότητα ισχύος του δικτύου διανομής. Η ποιότητα ισχύος επηρεάζεται από αρμονικές παραμορφώσεις, οι οποίες προκαλούνται από τα ηλεκτρονικά ισχύος και τη μη ιδανικότητα των ηλεκτρικών μηχανών, και από το flicker, δηλαδή τις μικρές διακυμάνσεις της τάσης που προκαλούν μικρές διαταραχές στην φωτεινή ακτινοβολία και προέρχονται από τα μεταβατικά ζεύξης, την τύρβη, τη σκίαση πύργου και τη διάτμηση ανέμου των ανεμογεννητριών.

Συνεπώς, όλα αυτά τα τεχνικά προβλήματα προωθούν ακόμα περισσότερο την ανάγκη για εξέλιξη της λειτουργία και του σχεδιασμού των σύγχρονων δικτύων διανομής, μετατρέποντας το ρόλο των στοιχείων και του εξοπλισμού του δικτύου σε πιο ενεργό, με αποτέλεσμα την προαγωγή της ανάπτυξης του δικτύου τόσο σε μέγεθος όσο και σε αποδοτικότητα και το κυριότερο, τη περαιτέρω ενσωμάτωση μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής.

2.6 Ευελιξία στα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας

Πολύ σημαντικό ρόλο στην μετάβαση από τα παθητικά στα ενεργά δίκτυα διανομής έχει η ευελιξία, η οποία υποστηρίζει την λειτουργία τους συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, προσφέροντας ενεργό και άεργο ισχύ για την αποφυγή παραβιάσεων ορίων τάσης ή συμφόρηση γραμμής. Αποτελεί καθαρά προϊόν των ενεργών δικτύων διανομής και εξασφαλίζεται με την περαιτέρω εποπτεία, επικοινωνία και έλεγχο της διανεμημένης παραγωγής, των φορτίων και της αποθήκευσης, που πλέον αυτά προσφέρουν.

Στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας χρειάζεται συνεχώς να είναι εξασφαλισμένη η ισορροπία μεταξύ παραγωγής και ζήτησης, και αφού η ζήτηση δεν είναι σταθερή, η παραγωγή πρέπει να είναι ευέλικτη ανά πάσα στιγμή να επαναφέρει την αυτή την ισότητα. Η διαδικασία αυτή γίνεται στις απορυθμίζουσες αγορές ενέργειας, αλλά και στα πλαίσια ελέγχου σε πραγματικό χρόνο, αντισταθμίζοντας βλάβες γεννητριών, λάθη προβλέψεων ή θόρυβο φορτίων. Για να γίνει ενσωμάτωση διεσπαρμένων μονάδων παραγωγής μέσα στο σύστημα διανομής, είναι αναγκαίο να εξασφαλίζεται η αποκατάσταση των ανισορροπιών, παρόλο που ο αριθμός των μεγάλων σταθμών παραγωγής, οι οποίοι βοηθούν σε αυτό, μειώνεται. Έτσι, η ενσωμάτωση διεσπαρμένης παραγωγής, η οποία εξαρτάται από τις καιρικές συνθήκες ωθεί σε μεγαλύτερες αβεβαιότητες τη διαδικασία σχεδιασμού, λόγω των λαθών στις προβλέψεις. Επιπλέον και πολλά φορτία που είναι πλέον συνδεδεμένα στο δίκτυο γίνονται λιγότερο ελεγχόμενα, αφού εξαρτώνται από εξωτερικούς παράγοντες, όπως τα ηλεκτρικά οχήματα. Επίσης, λόγω της απομακρυσμένης εγκατάστασης των αποκεντρωμένων μονάδων παραγωγής, οι αποστάσεις μεταξύ των κέντρων παραγωγής και κατανάλωσης αυξάνεται περισσότερο από όσο ήταν με τον αρχικό σχεδιασμό του συστήματος μεταφοράς και έτσι προκαλείται μεγαλύτερη μεταφορά ισχύος σε μεγαλύτερες αποστάσεις, με αποτέλεσμα την έντονη αύξηση της λειτουργίας των συστημάτων μεταφοράς και διανομής στα όρια τους.

Η αντιμετώπιση των προκλήσεων αυτών που συναντιούνται στα δίκτυα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας σήμερα, ώστε αυτά να λειτουργούν μέσα σε επιτρεπτά λειτουργικά όρια, γίνεται με την ευέλικτη συμπεριφορά των διεσπαρμένων μονάδων παραγωγής, των μονάδων αποθήκευσης και φορτίων του συστήματος. Με τον όρο ευελιξία αναφερόμαστε στην προσαρμοστικότητα που έχει μια γεννήτρια ή φορτίο να

μεταβάλει την τιμή της εν ώρα λειτουργίας, όταν επιβληθεί κάποιο συγκεκριμένο εξωτερικό σήμα. Η ευελιξία μια μονάδας του δικτύου διανομής, ανάλογα με τα φυσικά χαρακτηριστικά της, ουσιαστικά υποδεικνύει πόση ενεργό ή άεργο ισχύ μπορεί να προσφέρει, πόσο γρήγορη ανταπόκριση έχει, πόσο γρήγορο ρυθμό μεταβολής έχει, ώστε να αποφευχθούν παραβιάσεις στα όρια λειτουργίας, όπως για παράδειγμα παραβίαση ορίου τάσης ή ροής ισχύος. Οι περισσότερες μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής και οι μονάδες αποθήκευσης συνδέονται στο ηλεκτρικό σύστημα μέσω μετατροπέων, για αυτό και προσφέρουν γρήγορη και συνεχώς ελεγχόμενη δυνατότητα ευελιξίας, η οποία χρησιμεύει για τον έλεγχο της ροής φορτίου στα σημεία διασύνδεσης μεταξύ συστήματος διανομής και μεταφοράς.

Η ενσωμάτωση των ευελιξιών στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας επηρεάζει διάφορες περιόδους λήψης αποφάσεων, από μακροπρόθεσμους σχεδιασμούς επέκτασης δικτύου, λειτουργικούς σχεδιασμούς μέχρι και μεθόδους ελέγχου και παρακολούθησης πραγματικού χρόνου. Σε συνδυασμό με τη πρόβλεψη φορτίου και διεσπαρμένων γεννητριών, η οποία πρέπει να είναι αξιόπιστη, αποτελούν τους μηχανισμούς που καθορίζουν την διαθεσιμότητα της ευελιξίας του συστήματος και έτσι απαρτίζουν τους πιο σημαντικούς παράγοντες για τον οποιοδήποτε σχεδιασμό πρέπει να πραγματοποιηθεί.

2.7 Έξυπνοι Μετρητές

Η Έξυπνη Μέτρηση (Smart Metering) περιγράφει τη διαδικασία της ηλεκτρονικής μετάδοσης δεδομένων από έξυπνους μετρητές (Smart Meters), τις συναφείς διαδικασίες ελέγχου και το άθροισμα των συστημάτων πληροφορικής που απαιτούνται για αυτές τις διαδικασίες. Εκτός από τις απλές λειτουργίες ενός κλασικού ηλεκτρομηχανικού μετρητή, οι συσκευές έξυπνων μετρητών συλλέγουν και μεταδίδουν λεπτομερή στατιστικά στοιχεία και δεδομένα κατανάλωσης στο κέντρο διαχείρισης, καταμετρούν την κατανάλωση σε πραγματικό χρόνο και μπορούν να διακόψουν την παροχή ισχύος σε έναν πελάτη με βάση ένα λαμβανόμενο σήμα ελέγχου. [12]

Οι έξυπνοι μετρητές μας δείχνουν πόση ενέργεια χρησιμοποιούμε. Έτσι μπορούμε να δούμε τι ξοδεύουμε μέχρι και σε χρονικό διάστημα του λεπτού. Γνωρίζοντας περισσότερα για το πόση ενέργεια χρησιμοποιούν οι συσκευές μας, λοιπόν, θα μας

βοηθήσει να επιλέξουμε τον τρόπο που τις χρησιμοποιούμε, καθώς θα έχουμε μια καλύτερη ιδέα για το πόσο θα είναι ο επόμενος λογαριασμός του ηλεκτρικού και δεν θα υπάρξουν μεγάλες εκπλήξεις οπότε θα είναι και ευκολότερο να υπολογιστεί ο προϋπολογισμός εξοικονομώντας χρήματα.

Η σύνδεση των έξυπνων μετρητών πραγματοποιείται είτε απευθείας στο δίκτυο, είτε μέσω Μ/Σ έντασης. Πέρα από την υπολογιστική δυνατότητα και τον αυτοματισμό που διαθέτει ένας έξυπνος μετρητής, ίσως το πιο χαρακτηριστικό στοιχείο της λειτουργίας του σχετίζεται με τη δυνατότητα ασφαλούς ανταλλαγής δεδομένων μεταξύ των καταναλωτών και των εταιρειών παροχής ηλεκτρικής ενέργειας.

Οι έξυπνοι μετρητές περιλαμβάνουν θύρα οπτικής και ηλεκτρικής επικοινωνίας για τοπική και απομακρυσμένη μετάδοση δεδομένων αντίστοιχα καθώς και αισθητήρες (συνήθως έως 90 Α/φάση) , οι οποίοι μέσω ασύρματου πομπού ράγας που βρίσκεται στο εξωτερικό του ηλεκτρολογικού πίνακα, συλλέγουν και μεταδίδουν τα δεδομένα κατανάλωσης.[13]



Εικόνα 2.4: Παράδειγμα έξυπνου μετρητή . [38]

Η επικοινωνία ενός έξυπνου μετρητή γίνεται με τρεις διαφορετικούς τρόπους .

i. WAN (Wide-Area Network):

Το δίκτυο ευρείας περιοχής ή το δίκτυο WAN είναι το όνομα που δίνεται στο δίκτυο επικοινωνιών μεταξύ των μετρητών και της εταιρείας που είναι υπεύθυνη για τη συλλογή των δεδομένων. Η μετάδοση των πληροφοριών γίνεται από τους Υ/Σ ΜΤ, με τη βοήθεια μιας τεχνολογίας όπως η ADSL τηλεφωνίας ή με οπτική ίνα καθώς και με ασύρματο WAN, όπως οι τεχνολογίες κινητής τηλεφωνίας GSM/GPRS και LTE ή με τεχνολογία WiMax. Οι τεχνολογίες αυτές, με εξαίρεση αυτής της κινητής τηλεφωνίας,

οφείλουν να έχουν την διευθυνσιοδότηση προτύπου Ipv6 έτσι ώστε να μην έχουμε διένεξη με τις υπόλοιπες διευθύνσεις του παγκόσμιου ιστού [15].

ii. FAN (Field-Area Network):

Η διασύνδεση του έξυπνου μετρητή του καταναλωτή MT και XT με τον Υ/Σ MT και κατ' επέκταση με την κεντρική υπηρεσία επιτυγχάνεται μέσω μετάδοσης PLC (Power Line Communication) πάνω στο δίκτυο XT. Πρόκειται για μία ευπαθή στο θόρυβο επικοινωνία και γι' αυτό το λόγο έχουν αναπτυχθεί ευφυείς κόμβοι αναμετάδοσης (repeaters) κατά μήκος των γραμμών μέχρι τον κοντινότερο σταθμό συσσώρευσης δεδομένων. Γεωγραφικά, καλύπτει αστικές, προαστιακές και αγροτικές περιοχές. Η παρακολούθηση της διανομής επιτυγχάνεται από προηγμένες υποδομές μέτρησης (AMI-Advanced Metering Infrastructure), όπου ο πάροχος ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να εκτελέσει σε πραγματικό χρόνο αμφίδρομες επικοινωνίες μεταξύ των καταναλωτών και της κεντρικής τοποθεσίας διαχείρισης. Επιπλέον, το δίκτυο FAN επιτρέπει μια σειρά από εφαρμογές όπως η αυτοματοποίηση της διανομής, η διαχείριση των μονάδων ΔΠ, η ενεργός απόκριση της ζήτησης, η διαχείριση διακοπής ρεύματος και αποκατάσταση της καθώς και η τιμολόγηση των πελατών [16].

iii. LAN/HAN (Local/Home-Area Network).

Αυτή η κατηγορία επικοινωνιών περιλαμβάνει την απευθείας διασύνδεση μεταξύ των πελατών και του κεντρικού σημείου διαχείρισης. Αποτελεί εναλλακτική λύση της ενσύρματης μετάδοσης PLC, όπου χρησιμοποιείται ασύρματη τεχνολογία χαμηλής ισχύος σε δίκτυο HAN εφόσον ο μετρητής είναι εγκατεστημένος σε οικία ή LAN για μεγάλες εγκαταστάσεις. Η πληροφορία φθάνει στον προορισμό της μέσω αναμετάδοσης ραδιοσυχνότητας από γειτονικούς μετρητές, αποφεύγοντας την ανάγκη ύπαρξης κεντρικού σταθμού συσσώρευσης δεδομένων. [14],[17]

Πρωτοβουλία της ΕΕ μέχρι το 2020 αποτελεί η αντικατάσταση τουλάχιστον του 80% των υπάρχοντων μετρητών ηλεκτρικής ενέργειας με έξυπνους μετρητές, όπου αυτό κρίνεται οικονομικά αποδοτικό. Σύμφωνα με υπολογισμούς, η ανάπτυξη έξυπνων δικτύων θα συμβάλλει στην ετήσια μείωση των εκπομπών άνθρακα καθώς και της κατανάλωσης ενέργειας των νοικοκυριών έως και 9%.

2.8 Ενεργός απόκριση της Ζήτησης (Demand Side Response)

Μία εναλλακτική αναδυόμενη λύση στο πλαίσιο της ανάπτυξης των έξυπνων δικτύων είναι η προσωρινή αλλαγή (από λίγα λεπτά μέχρι και μερικές ώρες) του προφίλ κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας από τους καταναλωτές, σε περιπτώσεις συμφόρισης του συστήματος. Η αλλαγή της χρήσης αφορά συνήθως τη μείωση της κατανάλωσης, παρόλα αυτά θα μπορούσαν να υπάρξουν καταστάσεις στις οποίες η αύξηση της χρήσης θα μείωνε την καταπόνηση του συστήματος και για το λόγο αυτό θα μπορούσε να χαρακτηριστεί επίσης ως DSR. Η εφαρμογή της υπηρεσίας καθοδηγείται συνήθως από τιμολογιακές πολιτικές (ενδεχομένως αποζημίωση ανά kWh περικοπής) ή από συμφωνηθέν συμβόλαιο μεταξύ του καταναλωτή και του διαχειριστή που περιλαμβάνει σταθερές αποζημιώσεις ανά έτος και κυρώσεις σε περίπτωση μη συμμόρφωσης [18], [19].

Το DSR παρουσιάζει πολλές ομοιότητες με τη διαχείριση ηλεκτρικής ενέργειας από μεριάς καταναλωτών, καθώς συμβάλλει στην αποφυγή ανώφελης κατανάλωσης. Εντούτοις, ενώ η διαχείριση αφορά την αύξηση της απόδοσης με την ικανότητα εξυπηρέτησης των καταναλωτών αμετάβλητη, το DSR είναι μια χρονική αλλαγή στη χρήση του ηλεκτρισμού σε συγκεκριμένες ώρες, που στοχεύει στην καλύτερη αξιοποίηση του συνόλου της παρεχόμενης ενέργειας. Τα συνεπαγόμενα οφέλη για τους καταναλωτές περιλαμβάνουν τη μείωση του κόστους κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας από τη χρήση λιγότερης ενέργειας σε περιόδους υψηλού κόστους (άμεσο όφελος) και την συμβολή τους στην καλύτερη αξιοπιστία του συστήματος (έμμεσο όφελος) [18], [20].

Οι τεχνολογίες που προσφέρουν οι έξυπνοι μετρητές επιτρέπουν την ευκολότερη διεξαγωγή των παραπάνω προγραμμάτων. Για την επιτυχή εφαρμογή τιμολογιακών πολιτικών, ο πελάτης θα πρέπει να έχει την πλήρη εποπτεία των τιμολογίων που συνδέουν το ποσό που πληρώνει σε πραγματικό χρόνο με τις τιμές χονδρικής πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας. Οι έξυπνοι μετρητές παρέχουν στους παρόχους ηλεκτρικής ενέργειας τη δυνατότητα να συλλέγουν ωριαία δεδομένα κατανάλωσης (ή και συχνότερα), τα οποία είναι απαραίτητα για την υποστήριξη προγραμμάτων χρόνου χρήσης και τιμολόγησης κρίσιμων αιχμών.

Με την εφαρμογή προγραμμάτων DSR επιτυγχάνεται ένας αποδοτικός και ευέλικτος μηχανισμός περικοπής φορτίου, τα οποία σε μακροπρόθεσμο ορίζοντα οδηγούν στην αναβολή της ανάγκης για αναβάθμιση του συστήματος (ενίσχυση γραμμών διανομής, αντικατάσταση Μ/Σ, αύξηση εγκατεστημένης ισχύος) και την πτώση των οριακών τιμών (χοντρικής) πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας. Τέλος, θα λειτουργήσουν ως εξισορροπητικός παράγοντας μεταξύ της ζήτησης και της παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές [21].

Ακόμα, υπάρχουν προγράμματα βασισμένα σε οικονομικά κίνητρα τα οποία προωθούν τους πελάτες για μείωση του φορτίου τους σε κρίσιμες περιόδους, όταν τους ζητηθεί. Σε αυτού του είδους τα προγράμματα οι καταναλωτές οφείλουν να ανταποκριθούν στη μείωση της ζήτησης όταν τους ζητηθεί, και η μη ανταπόκριση μπορεί να τιμωρηθεί με οικονομικές ποινές. Τέτοιου είδους προγράμματα είναι [22]

- Πρόγραμμα προσφοράς ζήτησης : Στο συγκεκριμένο πρόγραμμα, είτε οι μεγάλοι καταναλωτές ενθαρρύνονται να υποβάλουν προσφορά για μείωση φορτίου σε μια χονδρική αγορά πώλησης ενέργειας, είτε αποφασίζουν οι καταναλωτές για το μέγεθος του φορτίου που θα μειώσουν.
- Πρόγραμμα διακοπόμενου φορτίου : Απευθύνεται σε μεγάλους βιομηχανικούς καταναλωτές και ουσιαστικά παρέχουν εκπτώσεις στον λογαριασμό των καταναλωτών. Η συμμετοχή τους στη μείωση του φορτίου είναι υποχρεωτική.
- Άμεσος έλεγχος φορτίου : Ο πάροχος έχει την δυνατότητα να κόψει τη λειτουργία κάποιων φορτίων (π.χ κλιματισμού) αφού πρώτα ενημερώσει τον καταναλωτή. Ο καταναλωτής ωφελείται, με μείωση στον λογαριασμό του ρεύματος του.

Η συμμετοχή των καταναλωτών μέχρι πρότινος δεν ήταν πολύ μεγάλη, το οποίο οφειλόταν στο υψηλό κόστος προεργασίας και ενεργοποίησης των προγραμμάτων απόκρισης ζήτησης αλλά κυρίως και ότι τα οικονομικά κίνητρα των προγραμμάτων κρίνονται ως λιγότερο κερδοφόρα από την πλευρά πολλών οικιακών πελατών. Λύση στο πρόβλημα αυτό, αποτελούν οι έξυπνοι μετρητές, οι οποίοι παρέχουν πληροφορίες

στον καταναλωτή , όπως η ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνουν οι ηλεκτρικές συσκευές , τα τιμολόγια χρέωσης .

Παρόλο που ο σύγχρονος εξοπλισμός , όπως οι έξυπνοι μετρητές , συνδράμει τα προγράμματα απόκρισης ζήτησης , πρέπει να υπάρξει μεγάλη συμμετοχή από τους τελικούς καταναλωτές , ώστε τα προγράμματα απόκρισης ζήτησης να είναι αποτελεσματικά. Οι διαχειριστές των δικτύων , λόγω φορτίου εργασίας και πολλών αρμοδιοτήτων έχουν δυσκολία στην αναλυτική χαρτογράφηση της συμπεριφοράς ζήτησης των καταναλωτών, έναν προς έναν, και στην εύρεση των κατάλληλων αναδιαμορφωμένων προφίλ κατανάλωσης , όπου θα ικανοποιούν και δεν θα δυσανασχετούν τους πελάτες. Τον ρόλο αυτό μπορούν να επιτελέσουν με επιτυχία οι Φο.Σ.Ε , οι οποίοι έχουν τη δυνατότητα της εκπροσώπησης ομάδων καταναλωτών και λαμβάνουν σοβαρά υπόψη τις καταναλωτικές προτιμήσεις και προτεραιότητες των πελατών τους , ενώ ταυτόχρονα έχουν τα τεχνικά μέσα απομακρυσμένου ελέγχου των ηλεκτρικών τους φορτίων . Ως αποτέλεσμα , καθίσταται δυνατή η ευρεία συμμετοχή των καταναλωτών στα προγράμματα υπηρεσιών απόκρισης ζήτησης των ΦΟ.Σ.Ε .

2.9 Φορείς Σωρευτικής Εκπροσώπησης Φορτίων

Ο ΦοΣΕ ορίζεται ως η επιχειρησιακή οντότητα που παρέχει προγράμματα απόκρισης ζήτησης στους ηλεκτρικούς καταναλωτές, προκειμένου οι τελευταίοι να περιορίσουν την ηλεκτρική ζήτηση σε συγκεκριμένες χρονικές περιόδους, με αντάλλαγμα την παροχή οικονομικών κινήτρων. Οι ΦοΣΕ φορτίων αποτελούν διαμεσολαβητές μεταξύ των συμμετεχόντων στη χονδρική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας και των τελικών καταναλωτών (οικιακοί, βιομηχανικοί, εμπορικοί). Έχουν την ιδιότητα διαχείρισης ενός αξιοσημείωτου ποσού ηλεκτρικής ενέργειας, που προκύπτει από τον επιμέρους έλεγχο που ασκούν στα ηλεκτρικά φορτία που εκπροσωπούν σε περιόδους αυξημένης ζήτησης. Στόχος του κάθε ΦοΣΕ φορτίων αποτελεί η εκπροσώπηση κατάλληλου πλήθους καταναλωτών, προκειμένου η συνολική διαχειριζόμενη ενέργεια να επιτρέπει τη διείσδυσή του στη χονδρική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας. Με τη σειρά τους οι εταιρίες ηλεκτρισμού καλούνται να επιβαρυνθούν με ένα οικονομικό ποσό, έτσι ώστε να εξοφλήσουν τους ΦοΣΕ φορτίων για την ποσότητα ενέργειας που διαχειρίζονται. Όσες εταιρίες πραγματοποιούν οικονομικές συναλλαγές με τους ΦοΣΕ, μπορούν στη συνέχεια να χρησιμοποιήσουν την περικοπόμενη ενέργεια που οι τελευταίοι έχουν

συλλέξει από τους καταναλωτές ως ένα πρόγραμμα απόκρισης ζήτησης ή για συμμετοχή στην αγορά ικανότητας παραγωγής (capacity market) [23].

Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι συναλλαγής μεταξύ εταιριών ηλεκτρισμού και ΦοΣΕ φορτίων, οι οποίοι είναι οι ακόλουθοι [24]:

- i. Αμοιβαία αλληλεπίδραση: Όπου ο ΦοΣΕ δρα ως ένας έμπορος που αγοράζει ηλεκτρική ενέργεια στην αγορά επόμενης ημέρας και η εταιρία ηλεκτρισμού πραγματοποιεί μία εκ των προτέρων επικύρωση όσον αφορά την τιμή προσφοράς που λαμβάνει από τον ΦοΣΕ. Επίσης, η εταιρία ηλεκτρισμού παρέχει στον ΦοΣΕ εκ των προτέρων πληροφορίες σχετικές με την αναμενόμενη καμπύλη ζήτησης στις κρίσιμες χρονικές στιγμές.
- ii. Κατόπιν οδηγίας αλληλεπίδραση: Σε αυτήν την περίπτωση η εταιρία ηλεκτρισμού δίνει οδηγία στον ΦοΣΕ φορτίων να μειώσει την κατανάλωση τις περιόδους που αυτή το κρίνει ως απαραίτο. Για αυτή του την κινητοποίηση, ο ΦοΣΕ φορτίων λαμβάνει μία αμοιβή από την εταιρία ηλεκτρισμού. Ένα ερώτημα που γεννάται σε αυτό το σενάριο είναι πως θα λειτουργεί αυτός ο μηχανισμός αμοιβής. Είτε θα δίνεται μία σταθερή αμοιβή για τις υπηρεσίες που παρέχει ο ΦοΣΕ φορτίων, είτε η αμοιβή αυτή θα βασίζεται στη δυναμική συμπεριφορά της τιμής ηλεκτρικής ενέργειας τις ώρες αιχμής.

Σε κάθε περίπτωση η αμοιβή που δίνεται στους ΦοΣΕ φορτίων επικυρώνεται μέσω συμβολαίων που οι δύο πλευρές αμοφότερες συνάπτουν. Τα συμβόλαια μεταξύ της εταιρίας ηλεκτρισμού και των ΦοΣΕ φορτίων είναι είτε διμερή είτε μονομερή. Στα διμερή συμβόλαια η εταιρία δίνει μία υπόσχεση πληρωμής στον ΦοΣΕ και ως αντάλλαγμα ο τελευταίος υπόσχεται την περικοπή της κατάλληλης ποσότητας ενέργειας τις αντίστοιχες ώρες αιχμής. Οι δύο πλευρές είναι υποχρεωμένες με βάση το συμβόλαιο να τηρούν τους κανόνες της συμφωνίας. Όμως, στην περίπτωση μονομερούς συμβολαίου, μόνο η εταιρία ηλεκτρισμού υπόσχεται αμοιβή στους ΦοΣΕ φορτίων, αν τελικά προκύψει περικοπή της αντίστοιχης ποσότητας ενέργειας. Δηλαδή, δεν δημιουργείται η υποχρέωση, ο ΦοΣΕ να περικόψει ποσότητες ζήτησης, αλλά η εταιρία είναι υποχρεωμένη να τον εξοφλήσει σε περίπτωση που ο ΦοΣΕ φορτίων προβεί σε αντίστοιχη περικοπή [24].

Η συμμετοχή των οικιακών, βιομηχανικών και εμπορικών καταναλωτών στα προγράμματα απόκρισης ζήτησης που προσφέρουν οι ΦοΣΕ φορτίων συντελούν στον περιορισμό της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας τις ώρες αιχμής. Πλέον οι εταιρίες ηλεκτρικής ενέργειας και οι ρυθμιστικές αρχές ενέργειας μπορούν να λάβουν υπόψη έναν νέο παίκτη στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας. Με την επισύναψη κατάλληλων συμβολαίων μεταξύ ΦοΣΕ φορτίων και εταιρίας ηλεκτρικής ενέργειας, αλλά και μεταξύ ΦοΣΕ φορτίων και καταναλωτών, καθίσταται δυνατή η μείωση του λειτουργικού κόστους της εταιρίας ηλεκτρικής ενέργειας, η χρηματική ανταμοιβή των τελικών καταναλωτών και η κερδοφορία του ΦοΣΕ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Μαθηματική διατύπωση του προβλήματος

3.1 Ροή ισχύος

Ο όρος ανάλυση ροής ισχύος αναφέρεται στον υπολογισμό κατά μέτρο και γωνία των τάσεων, των ρευμάτων και των ροών ενεργού και άεργου ισχύος στα διάφορα σημεία ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. Η ανάλυση αυτή αφορά τη μόνιμη κατάσταση λειτουργίας και όχι τυχόν μεταβατικά φαινόμενα τα οποία εμφανίζονται κατά τη σύνδεση ή αποσύνδεση στοιχείων του δικτύου, είτε κατά τη διάρκεια τριφασικών βραχυκυκλωμάτων [25]. Η μελέτη αυτή είναι αναγκαία τόσο κατά την ομαλή λειτουργία ενός δικτύου, όσο και για τις μελέτες επέκτασης και ανάπτυξης του συστήματος. Η ανάλυση ροής ισχύος χρειάζεται επίσης για να προσδιοριστούν οι επιπτώσεις από τις διασυνδέσεις με άλλα συστήματα, την εισαγωγή νέων φορτίων, την εγκατάσταση νέων μονάδων παραγωγής, την εύρεση της κατάλληλης θέσης για την τοποθέτηση πυκνωτών αντιστάθμισης ή ρυθμιστών, την κατασκευή νέων γραμμών, κλπ. [25].

Οι αλγόριθμοι ανάλυσης ροής ισχύος είναι στην πλειονότητά τους επαναληπτικής φύσεως και προσεγγίζουν συνήθως τα πραγματικά αποτελέσματα σε ικανοποιητικά επίπεδα με αποκλίσεις μικρότερες από 0.001 p.u. Επίσης, η εκτέλεσή τους γίνεται συνήθως σε σύντομο χρονικό διάστημα και μπορεί να χρησιμοποιηθεί από ένα σύστημα ελέγχου ώστε να λάβει την κατάλληλη απόφαση σε πραγματικό χρόνο για επιβολή αλλαγών στο δίκτυο με σκοπό τη βέλτιστη λειτουργία του συστήματος από άποψη οικονομίας, αξιοπιστίας, και ασφάλειας. Επειδή το σύστημα διανομής είναι ακτινικό (ή λειτουργεί ως ακτινικό), δεν χρησιμοποιούνται οι αλγόριθμοι που εφαρμόζονται για την ανάλυση ροής ισχύος στα συστήματα μεταφοράς εξαιτίας προβλημάτων σύγκλισης. Αντί αυτών, χρησιμοποιούνται επαναληπτικές μέθοδοι ειδικά σχεδιασμένες για ακτινικά συστήματα. Ένας τέτοιος αλγόριθμος είναι ο Backward and Forward Sweep [25], ο οποίος λαμβάνει υπόψη τις ασυμμετρίες που εμφανίζει ένα δίκτυο διανομής σε αντίθεση με τις κλασσικές μεθόδους των δικτύων μεταφοράς που εφαρμόζονται στο ανά φάση ισοδύναμο κύκλωμα.

Έστω ότι έχουμε ένα δίκτυο K ζυγών, η τάση κάθε ζυγού είναι V_k , η γωνία δ_k , η ενεργός ισχύς P_k , η άεργος ισχύς Q_k , η αγωγιμότητα μεταξύ δύο ζυγών k, n Y_{kn} .

Η ισχύς ενός ζυγού k , περιγράφεται από την διαφορά μεταξύ της ισχύς που παράγει η γεννήτρια στον ζυγό k και την ισχύ του φορτίου του ζυγού k .

$$P_k = P_{gk} - P_{lk} \quad (3.1)$$

$$Q_k = Q_{gk} - Q_{lk} \quad (3.2)$$

Κάθε ζυγός k κατηγοριοποιείται σε έναν από τους ακόλουθους τρεις τύπους ζυγών:

A) Ζυγός ταλάντωσης ή slack bus: Πρόκειται ουσιαστικά για τον ζυγό ελέγχου του συστήματος, που χρησιμοποιείται ως αναφορά. Ως ζυγός ταλάντωσης ορίζεται ο ζυγός του οποίου είναι γνωστό το μέτρο και η γωνία της τάσης. Ο ζυγός ταλάντωσης χρησιμοποιείται για την εξισορρόπηση της ισχύος (P και Q) στις μελέτες ροών ισχύος, παράγοντας ή απορροφώντας ισχύ (P και/ή Q). Υπάρχει πάντα ένας και μοναδικός ζυγός ταλάντωσης.

B) Ζυγός παραγωγής ή PV bus: Πρόκειται ουσιαστικά για ζυγό γεννήτριας (αν και δύναται να καταναλώνει και φορτίο) και δουλειά του είναι να παράγει σταθερή ενεργό ισχύ υπό συγκεκριμένη τάση. Ως ζυγός παραγωγής ορίζεται ο ζυγός του οποίου είναι γνωστά το μέτρο της τάσης και η έγχυση ενεργού ισχύος. Δύναται να υπάρχουν άνω του ενός ζυγοί παραγωγής

Γ) Ζυγός φορτίου ή PQ bus: Πρόκειται ουσιαστικά για ζυγό κατανάλωσης ή διασυνδετικό (αν και δύναται να προμηθεύει ισχύ) και έχει ρόλο συνήθως παθητικό. Ως ζυγός φορτίου ορίζεται ο ζυγός του οποίου είναι γνωστή η έγχυση μιγαδικής ισχύος. Δύναται να υπάρχουν άνω του ενός ζυγοί φορτίου.

Y_{kn} = Η αγωγιμότητα μεταξύ δύο ζυγών k, n

Y_{kk} = Η αγωγιμότητα στον ζυγό k

Το ρεύμα που εγχέεται σε κάθε ζυγό ορίζεται ως $I = Y_{bus} * V$, όπου V είναι η τάση ζυγού. Για N ζυγούς,

$$I_k = \sum_{n=1}^N Y_{kn} V_n \quad (3.3)$$

Η φαινόμενη ισχύ στον κόμβο k , περιγράφεται από την σχέση

$$S_k = P_k + j Q_k = V_k I_k^* \quad (3.4) \quad , \quad \text{Όπου} \quad , \quad I_k^* = [\sum_{n=1}^N Y_{kn} V_n]^*$$

Συνεπώς οι εξισώσεις ροής ισχύος μεταξύ δύο ζυγών k, n :

$$P_k = V_k \sum_{n=1}^N Y_{kn} V_n \cos(\delta_k - \delta_n - \theta_{kn}) \quad k = 1, 2, \dots, N \quad (3.5)$$

$$Q_k = V_k \sum_{n=1}^N Y_{kn} V_n \sin(\delta_k - \delta_n - \theta_{kn}) \quad k = 1, 2, \dots, N \quad (3.6)$$

Αντικαθιστώντας την αγωγιμότητα σε phasor $Y_{kn} = Y_{kn} * e^{j\theta_{kn}} = G_{kn} * j B_{kn}$
 $k, n = 1, 2, \dots, N$ προκύπτουν

$$P_k = V_k \sum_{n=1}^N V_n [G_{kn} \cos(\delta_k - \delta_n) + B_{kn} \sin(\delta_k - \delta_n)] \quad k = 1, 2, \dots, N \quad (3.7)$$

$$Q_k = V_k \sum_{n=1}^N V_n [B_{kn} \sin(\delta_k - \delta_n) - G_{kn} \cos(\delta_k - \delta_n)] \quad k = 1, 2, \dots, N \quad (3.8)$$

Το ακτινικό δίκτυο διανομής μπορεί να περιγραφεί από το σύνολο αναδρομικών εξισώσεων (3.9) έως (3.11), που ονομάζονται εξισώσεις DistFlow [3.2]. Έστω k το σύνολο των κόμβων του δικτύου και l το σύνολο των κλάδων του. Οι P_{ij} και Q_{ij} δηλώνουν την ενεργό και άεργο ισχύ που ρέει από το ζυγό i στο ζυγό j

$$\sum_{k:(i,k) \in \Omega_l} P_{ik} = P_{ji} - r_{ij} \frac{(P_{ji}^2 + Q_{ji}^2)}{U_j^2} - P_i^L \quad 3.9$$

$$\sum_{k:(i,k) \in \Omega_l} Q_{ik} = Q_{ji} - x_{ij} \frac{(P_{ji}^2 + Q_{ji}^2)}{U_j^2} - Q_i^L \quad 3.10$$

$$U_i^2 = U_j^2 - 2(r_{ij} P_{ji} + x_{ij} Q_{ji}) + (r_{ij}^2 + x_{ij}^2) \frac{(P_{ji}^2 + Q_{ji}^2)}{U_j^2} \quad 3.11$$

όπου:

i, j, k με $j < i < k$
 $\in \Omega_n$

P_{ij}, Q_{ij} : η ενεργός και η άεργος ισχύς που ρέει από το ζυγό i στο ζυγό j .

P_i^L, Q_i^L : το ενεργό και άεργο φορτίο στον κόμβο i .

U_i : η τάση στον κόμβο i .

r_{ij} : η ωμική αντίσταση της γραμμής μεταξύ των κόμβων i, j .

x_{ij} : η επαγωγική αντίδραση της γραμμής μεταξύ των κόμβων i, j .

Από τις εξισώσεις (3.9) έως (3.11) μπορούν να αφαιρεθούν οι τετραγωνικοί όροι, οι οποίοι εκφράζουν τις απώλειες ισχύος και έχουν τιμή σημαντικά μικρότερη από τις άλλες μεταβλητές. Έτσι προκύπτουν οι ακόλουθες απλοποιημένες, γραμμικές εξισώσεις DistFlow (3.12) έως (3.14):

$$\sum_{k:(i,k) \in \Omega_l} P_{ik} = P_{ji} - P_i^L \quad 3.12$$

$$\sum_{k:(i,k) \in \Omega_l} Q_{ik} = Q_{ji} - Q_i^L \quad 3.13$$

$$U_i^2 = U_j^2 - 2(r_{ij} P_{ji} + x_{ij} Q_{ji}) \quad 3.14$$

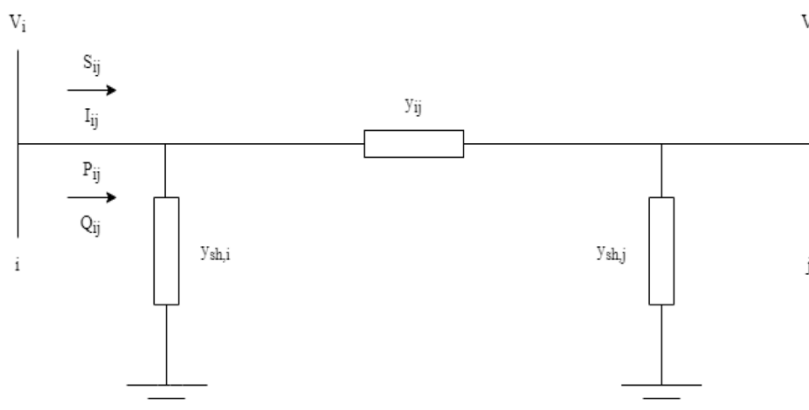
3.2 Βέλτιστη ροή ισχύος

Το πρόβλημα βέλτιστης ροής ισχύος έβρισκε συνήθως εφαρμογή στα συστήματα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, αλλά λόγω της αυξανόμενης διείσδυσης μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής από ΑΠΕ, έχει αποκτήσει ευρεία εφαρμογή και στα σύγχρονα δίκτυα διανομής. Η ανάπτυξη των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας, η ανάγκη για ενσωμάτωση όσο περισσότερων μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής καθώς και η περαιτέρω απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας καθιστούν τη λειτουργία των σύγχρονων συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας πιο περίπλοκη, οπότε κι η επίλυση του προβλήματος της βέλτιστης ροής ισχύος γίνεται πιο περίπλοκη.

Η βέλτιστη ροή ισχύος είναι ουσιαστικά το πρόβλημα βελτιστοποίησης που αφορά τη λειτουργία, το σχεδιασμό και την ανάπτυξη του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, με το οποίο προγραμματίζεται η ένταξη συγκεκριμένων μονάδων παραγωγής, ώστε η παραγωγή να ισούται με τη ζήτηση φορτίου, ελαχιστοποιώντας ή μεγιστοποιώντας την αντικειμενική συνάρτηση, υπό κάποιους περιορισμούς. Η αντικειμενική συνάρτηση μπορεί να αφορά την ελαχιστοποίηση του μέτρου τάσης των ζυγών, των ωμικών απωλειών του συστήματος, της ροής ρεύματος των γραμμών ή όπως είναι παραδοσιακά την ελαχιστοποίηση του ωριαίου κόστους παραγωγής των μονάδων που εντάσσονται. Οι περιορισμοί αυτοί συνήθως αφορούν την διατήρηση του μέτρου των τάσεων, της ροής ισχύος και της ροής ρεύματος γραμμής μέσα σε επιτρεπτά όρια και πολλές φορές εισάγουν στο πρόβλημα μη γραμμικότητα, η οποία κάνει την επίλυση πιο περίπλοκη, οπότε για αυτό και πολλές μέθοδοι χρησιμοποιούν απλοποιημένα ή γραμμικοποιημένα μοντέλα βασισμένα σε παραδοχές, ώστε να διευκολυνθεί η λύση του προβλήματος.

Βέλτιστη AC ροή ισχύος αποτελεί το μοντέλο υπολογισμού που χρησιμοποιεί τις εξισώσεις της AC ροής ισχύος, δηλαδή το πλήρες δίκτυο, λαμβάνοντας υπόψη τα μέτρα τάσεων, την άεργο ισχύ, το ρεύμα γραμμής και το ωμικό μέρος των γραμμών, οπότε και ωμικές απώλειες, παρέχοντας έτσι μεγάλη ακρίβεια, αλλά ταυτόχρονα και πολυπλοκότητα.

Σύμφωνα με την AC ροή ισχύος για τους ζυγούς i και j , θεωρώντας το π -μοντέλο γραμμής, που φαίνεται στο Σχήμα , η μιγαδική τάση στο ζυγό i ισούται με $V_i = V_i \angle \delta_i$, η σύνθετη αγωγιμότητα γραμμής αναπαρίσταται με $y_{ij} = 1/R_{ij} + jX_{ij}$, ενώ η εγκάρσια αγωγιμότητα στα δύο άκρα της γραμμής με $y_{sh,i} = y_{sh,j} = j b_{ij} / 2$)



Σχήμα 3.1: π -μοντέλο της γραμμής (i,j).

Επίσης, ισχύουν οι πιο κάτω σχέσεις:

$$I_{ij} = y_{sh,i}V_i + y_{ij}(V_i - V_j) \quad (3.15)$$

$$S_{ij} = V_i I_{ij}^* = V_i (y_{sh,i}^* V_i^* + y_{ij}^* (V_i^* - V_j^*)) \quad (3.16)$$

$$P_{ij} = g_{ij}V_i^2 - g_{ij}V_iV_j \cos \delta_{ij} - b_{ij}V_iV_j \sin \delta_{ij} \quad (3.17)$$

$$Q_{ij} = -b_{ij}V_i^2 + b_{ij}V_iV_j \cos \delta_{ij} - g_{ij}V_iV_j \sin \delta_{ij} \quad (3.18)$$

Η εξίσωση (3.15) αφορά το ρεύμα γραμμής μεταξύ του κόμβου i και j , η εξίσωση (3.16) αφορά τη ροή μιγαδικής ισχύος στη γραμμή (i,j) και οι εξισώσεις (3.17) και (3.18) αναφέρονται στη ροή ενεργού και αέργου ισχύος της γραμμής (i,j), αντίστοιχα.

Το πρόβλημα της βέλτιστης AC ροής ισχύος διατυπώνεται όπως φαίνεται πιο κάτω, θεωρώντας ως N το σύνολο των ζυγών του συστήματος μεταφοράς, ως N_G το σύνολο των γεννητριών του συστήματος μεταφοράς και ως L το σύνολο των γραμμών:

$$\min \sum_i C_i P_{gi} \quad \forall i \in N_g \quad (3.19)$$

$$P_{gi} - P_{di} = \sum_i P_{ij} \quad \forall i \in N \quad (3.20)$$

$$Q_{gi} - Q_{di} = \sum_i Q_{ij} \quad \forall i \in N \quad (3.21)$$

$$P_{gi}^{\min} \leq P_{gi} \leq P_{gi}^{\max} \quad \forall i \in Ng \quad (3.22)$$

$$Q_{gi}^{\min} \leq Q_{gi} \leq Q_{gi}^{\max} \quad \forall i \in Ng \quad (3.23)$$

$$P_{ij}^2 + Q_{ij}^2 \leq (S_{ij}^{\max})^2 \quad \forall (i,j) \in L \quad (3.24)$$

$$V_{\min} \leq V_i \leq V_{\max} \quad \forall i \in N \quad (3.25)$$

$$P_{gi}^{\min} \leq P_{gi} \leq P_{gi}^{\max} \quad \forall i \in Ng \quad (3.26)$$

Η σχέση (3.19) αποτελεί την αντικειμενική συνάρτηση του προβλήματος, οι (3.20) και (3.21) αφορούν τις εξισώσεις ρών ενεργού και αέργου ισχύος, αντίστοιχα, οι (3.22) και (3.23) εισάγουν στο πρόβλημα τα επιτρεπτά όρια παραγωγής ενεργού και αέργου ισχύος κάθε γεννήτριας και η (3.24) τα όρια φαινόμενης ισχύος της κάθε γραμμής. Επίσης, ο περιορισμός (3.25) αναφέρεται στα επιτρεπτά όρια του μέτρου της τάσης και ο (3.26) στα όρια της γωνίας της τάσης σε rad.

3.3 Σύνολα και παράμετροι

Για τη σαφέστερη διατύπωση του προβλήματος αρχικά παρατίθενται τα μαθηματικά σύνολα και αναλύονται οι παράμετροι των στοιχείων του δικτύου.

Ειδικότερα τα σύνολα του προβλήματος διατυπώνονται ως εξής:

Ω_k : το σύνολο των κόμβων

Ω_{km} : το σύνολο των κόμβων m που συνδέονται με τον κόμβο k

Ω_{DG} : το σύνολο των ΜΔΠ

Ω_{pv} : το σύνολο των φωτοβολταϊκών συστημάτων

Ω_{str} : το σύνολο των μπαταριών

Ω_{dsr} : το σύνολο των φορτιών ευέλικτης ζήτησης

Οι παράμετροι τις μπαταρίας διατυπώνονται ως εξής:

S_{n_mva} : Ονομαστική ισχύς της μπαταρίας

p_mw : Η στιγμιαία ενεργός ισχύς της μπαταρίας

q_mvar : Η στιγμιαία άεργος ισχύς της μπαταρίας

max_e_mwh : Η μέγιστη ενέργεια που μπορεί να περιέχει η μπαταρία

max_p_mw : Η μέγιστη ενεργός ισχύς της μπαταρίας

min_p_mw : Η ελάχιστη ενεργός ισχύς της μπαταρίας

max_q_mvar : : Η μέγιστη άεργος ισχύς της μπαταρίας

min_q_mvar : Η ελάχιστη άεργος ισχύς της μπαταρίας

$soc_percent$: Το ποσοστό φόρτισης της μπαταρίας

$Poly_cost$: κόστος χρέωσης σε ευρώ ανα mw

Οι παράμετροι του φωτοβολταϊκού διατυπώνονται ως εξής:

p_mw : Η στιγμιαία ενεργός ισχύς του pv

v_{m_pu} : Η τάση βάσης του pv

s_{n_mva} : Ονομαστική ισχύς του pv

max_p_mw : Η μέγιστη ενεργός ισχύς του pν
min_p_mw : Η ελάχιστη ενεργός ισχύς του pν
max_q_mvar: : Η μέγιστη άεργος ισχύς του pν
min_q_mvar : Η ελάχιστη άεργος ισχύς του pν
Controllable : Αν είναι ελεγχόμενη η τιμή του pν από το πρόγραμμα
Poly_cost : κόστος χρέωσης σε ευρώ ανα mw

Οι παράμετροι των ζυγών διατυπώνονται ως εξής:

p_mw : Η στιγμιαία ενεργός ισχύς του ζυγού
q_mvar: Η στιγμιαία άεργος ισχύς του ζυγού
max_p_mw : Η μέγιστη ενεργός ισχύς του ζυγού
min_p_mw : Η ελάχιστη ενεργός ισχύς του ζυγού
max_q_mvar: : Η μέγιστη άεργος ισχύς του ζυγού
min_q_mvar : Η ελάχιστη άεργος ισχύς του ζυγού
Controllable : Αν είναι ελεγχόμενο το φορτίο του ζυγού από το πρόγραμμα
Poly_cost : κόστος χρέωσης σε ευρώ ανα mw

Ο διαχειριστής καλείται να καλύψει τη ζήτηση των φορτίων επιλέγοντας τον οικονομικότερο για εκείνον συνδυασμό των διαθέσιμων πηγών, λαμβάνοντας υπόψη τους τεχνικούς περιορισμούς του δικτύου.

Η αντικειμενική συνάρτηση ελαχιστοποίησης κόστους για τον διαχειριστή του ΔΔΗΕ φαίνεται παρακάτω για χρονικό διάστημα Nt .

$$\min F = F1 + F2 + F3$$

$$F1 = \sum_{dm=1}^{Ndm} \sum_{t=1}^{Nt} Pt * M \quad (3.27)$$

$$F2 = \sum_{pv=1}^{Npv} \sum_{t=1}^{Nt} Pt * M \quad (3.28)$$

$$F3 = \sum_{fl=1}^{Nfl} \sum_{t=1}^{Nt} Pt * M \quad (3.30)$$

Ο πρώτος όρος αφορά το κόστος της συνολικής εισερχόμενης ενέργειας από τα συνολικά (Ndm) δίκτυα μεταφοράς. Όπου, Pt η ισχύς που χρειάζεται ο ΔΔΗΕ για κάθε ώρα και το κόστος M , όπου είναι το ποσό ανά MW όπου χρεώνεται ο ΔΔΗΕ.

Ο Δεύτερος όρος αφορά το κόστος της συνολικής εισερχόμενης ενέργειας από από τα συνολικά (Npv) φωτοβολταϊκά σύστημα.

Ο Τρίτος όρος αφορά το κόστος που χρεώνεται ο ΔΔΗΕ για κάθε MW που χρειάζεται ως ευελιξία από κάθε (Nfl) καταναλωτή. Η ευελιξία αυτή μπορεί να είναι προς τα πάνω η προς τα κάτω αναλόγως αν τους ζητάται να αυξήσουν η να μειώσουν την κατανάλωση τους

Οι περιορισμοί του ΔΔΗΕ φαίνονται παρακάτω,

$$\Delta V_{k,t} \leq 5\% \quad (3.31)$$

$$|P_{km,t}| \leq I_{km, \max} \quad (3.32)$$

$$P_{kt} - P_{mt} = \sum P_{km,t} \quad (3.33)$$

Ο περιορισμός (3.31) αφορά το όριο τάσης σε κάθε κόμβο (k) και ο περιορισμός (3.32) αφορά το όριο των γραμμών του δικτύου διανομής. Ο περιορισμός (3.33) είναι το ενεργειακό ισοζύγιο ενεργού ισχύος σε κάθε κόμβο (k, m) του δικτύου.

3.4 Μοντελοποίηση της ευέλικτης ζήτησης

Η ευελιξία ζήτησης χρησιμοποιεί την τεχνολογία επικοινωνίας και ελέγχου για να μετατοπίσει τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας σε ώρες της ημέρας, ενώ παρέχει υπηρεσίες τελικής χρήσης (π.χ. κλιματισμό, ζεστό νερό οικιακής χρήσης, φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων) με την ίδια ή καλύτερη ποιότητα αλλά χαμηλότερο κόστος.

Για το πρόγραμμα απόκρισης ζήτησης αρχικά, δίνεται η συνολική ζήτηση σε επίπεδο επόμενης ημέρας (day ahead), η οποία προκύπτει από την πρόβλεψη των εικοσιτετράωρων καμπυλών φορτίου για όλους τους κόμβους του δικτύου διανομής. Η προβλεπόμενη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας κάθε τελικού καταναλωτή χωρίζεται σε δύο βασικά μέρη: Το σταθερό (inflexible part) και το ευέλικτο μέρος (flexible part). Το πρώτο είναι αμετάβλητο στη λειτουργία πραγματικού χρόνου και ίσο με την πρόβλεψη που έχει πραγματοποιηθεί από την προηγούμενη ημέρα. Το σταθερό μέρος εκφράζει μία βάση φορτίου που καταναλώνεται για ορισμένες βασικές ανάγκες του καταναλωτή μέσα στην ημέρα και για αυτό τον λόγο δεν μπορεί να μεταβληθεί ή να μετατοπιστεί σε άλλη χρονική στιγμή. Όσον αφορά το ευέλικτο μέρος της κατανάλωσης, αυτό εκφράζει μία μερίδα αναγκών του καταναλωτή, οι οποίες μπορούν να αυξομειωθούν. Γενικά, η ευελιξία των ηλεκτρικών φορτίων αποτελεί τον βασικό πυλώνα, πάνω στον οποίο στηρίζεται η απόκριση ζήτησης. Αξίζει να σημειωθεί πως το ευέλικτο μέρος της κατανάλωσης έχει ένα άνω όριο, το οποίο συμβολίζει τη μέγιστη δυνατή αύξηση της ζήτησης ενός καταναλωτή σε μία δεδομένη χρονική στιγμή. Το συγκεκριμένο όριο εξαρτάται από παράγοντες, όπως η χρονική περίοδος μέσα στην ημέρα ή το είδος του κάθε πελάτη.

Τα ηλεκτρικά φορτία συνήθως παρουσιάζουν αυξημένο άνω όριο ευελιξίας κατά τη διάρκεια των περιόδων αιχμής, επειδή τότε οι καταναλωτές πραγματοποιούν πολλαπλές ανάγκες τους και είναι διαθέσιμοι για τυχόν μεταβολές σε κάποιες συνήθειες τους. Αντίθετα, τις ώρες χαμηλής ζήτησης οι καταναλωτές έχουν αρκετά περιορισμένη ευελιξία, αφού οι οικιακοί πελάτες μπορεί να κοιμούνται και οι βιομηχανίες να είναι εκτός ωραρίου λειτουργίας. Έτσι, δεν είναι διαθέσιμοι για να πραγματοποιήσουν περαιτέρω αλλαγές στις καταναλωτικές τους συνήθειες. Πιο συγκεκριμένα, τα οικιακά φορτία είναι αρκετά ευέλικτα τις ώρες του μεσημεριού και τις απογευματινές ώρες, ενώ τα βιομηχανικά φορτία τις εργάσιμες ώρες που υπάρχει

έντονη βιομηχανική δραστηριότητα. Συνεπώς, ένα πρόγραμμα απόκρισης ζήτησης μετατόπισης φορτίου βασίζεται στην ευελιξία του καταναλωτή, έτσι ώστε ο τελευταίος να μειώσει τη ζήτησή του στις ώρες αιχμής, με την προϋπόθεση ότι του έχουν δοθεί τα αντίστοιχα οικονομικά κίνητρα [26].

Η ευελιξία για κάθε κόμβο που λειτουργεί με ευέλικτη ζήτηση ορίζεται παρακάτω, όπου $P_{inflexc}$ είναι η ποσότητα της ισχύος ενός καταναλωτή c που διατηρείται σταθερή και P_{flexc} είναι η ποσότητα της ισχύος ενός καταναλωτή c που μεταβάλλεται. Η τιμή του P_{flexc} μπορεί να είναι θετική ή αρνητική, αναλόγως με το αν ζητείται μείωση ή αύξηση φορτίου. Επίσης P_{flex_maxk} το ανώτερο όριο ευέλικτης ισχύος του κόμβου και P_{flex_mink} το κατώτερο όριο ισχύος του κόμβου. Σε ένα δίκτυο με N_c καταναλωτές που λειτουργούν με ευελιξία συνδεδεμένοι σε ένα κόμβο, η ισχύς $P_{flexk,t}$ του κόμβου αυτού για κάθε ώρα της ημέρας προκύπτει από την παρακάτω εξίσωση.

$$P_{flex\ k,t} = \sum_{c=1}^{N_c} (P_{inflexc} + P_{flexc}) \quad (3.34)$$

$$P_{flex_max\ k} = \sum_{c=1}^{N_c} n * P_{demand\ c,k} \quad (3.35)$$

$$P_{flex_min\ k} = - \sum_{c=1}^{N_c} n * P_{demand\ c,k} \quad (3.36)$$

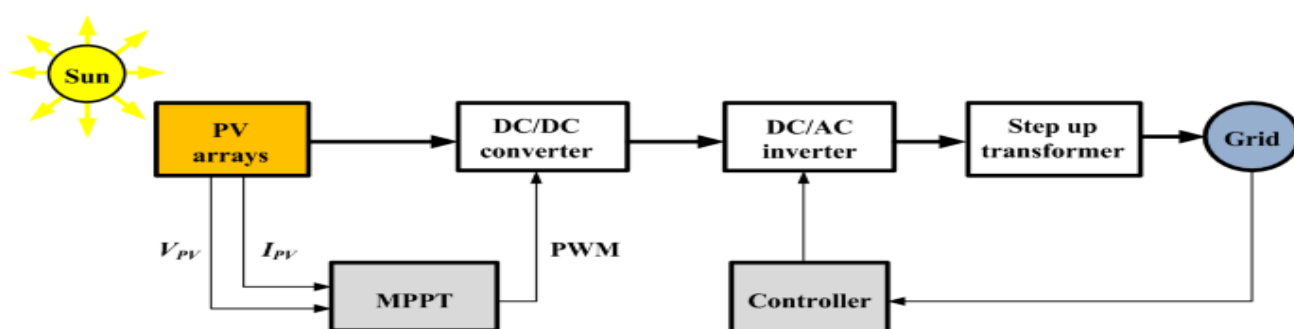
Όπου n το ποσοστό ευελιξίας, επίσης ισχύει ο περιορισμός

$$P_{flex_mink} \leq P_{flex\ k,t} \leq P_{flex_maxk}$$

3.5 Μοντελοποίηση του Φωτοβολταϊκού συστήματος

Το φωτοβολταϊκό πάνελ μετατρέπει την ηλιακή ενέργεια άμεσα σε ηλεκτρική ενέργεια, η οποία στη συνέχεια μπορεί να μετατραπεί ανάλογα με τη ζήτηση. Το ρεύμα που παράγεται εισάγεται στο δίκτυο σύμφωνα με τη διαθεσιμότητα του πρωτεύοντος πόρου, δηλαδή την ηλιακή ακτινοβολία. Τα τελευταία χρόνια, έχουμε παρατηρήσει μια πολύ έντονη ανάπτυξη στην εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων. Τα διασυνδεδεμένα συστήματα ή φωτοβολταϊκά πάρκα έχουν ως βασικό χαρακτηριστικό το γεγονός ότι υπάρχει φυσική ένωση με το δίκτυο μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Η σχέση μιας εγκατεστημένης μονάδας με το δημόσιο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας είναι αμφίδρομη. Αυτό σημαίνει ότι μπορεί να απορροφά ενέργεια αλλά και να διαχέει ενέργεια προς το δίκτυο .

Τα φωτοβολταϊκά πάνελ έχουν έξοδο συνεχούς ρεύματος που χαρακτηρίζεται από υψηλά επίπεδα ρεύματος και χαμηλές τάσεις. Στη συνέχεια, η σύνδεση στο δίκτυο απαιτεί μια συγκεκριμένη μετατροπή. Η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη μετατροπή γίνεται σε δύο στάδια: ένας μετατροπέας συνεχούς ρεύματος (DC/DC), ακολουθούμενος από μετατροπέα (DC/AC). Αυτές οι δύο δομές συνδέονται μέσω ενός διαύλου συνεχούς ρεύματος. Ανάλογα με την αποτελεσματικότητα, το απαιτούμενο κόστος και την αξιοπιστία, τη δυνατότητα διαχείρισης υποβαθμισμένων λειτουργιών ή τις εγκατεστημένες λειτουργίες, μπορούν να χρησιμοποιηθούν πολλά συστήματα σύνδεσης και συσχέτισης πάνελ.



Σχήμα 3.2: διάγραμμα φωτοβολταϊκού συστήματος συνδεδεμένου στο δίκτυο [39]

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα χρησιμοποιούνται είτε ως εξειδικευμένες εφαρμογές για την παροχή ενεργειακής αυτονομίας σε χώρους που βρίσκονται σε απομακρυσμένες περιοχές οι οποίες είναι αδύνατο να συνδεθούν στο εθνικό δίκτυο, είτε ως μονάδες που συνδέονται με το δίκτυο, ώστε να διοχετεύουν σε αυτό την ενέργεια που παράγουν . Η

σύνδεση των φωτοβολταϊκών συστημάτων στο δίκτυο μπορεί να έχει επιπτώσεις στη λειτουργία του δικτύου:

- διακυμάνσεις τάσης λόγω της έγχυσης ενεργού (και / ή αντιδραστικής) ισχύος στο δίκτυο, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια μιας περιόδου υψηλής ηλιακής ακτινοβολίας και χαμηλής κατανάλωσης
- ογκομετρήσεις τάσης μεταξύ των φάσεων
- επιπτώσεις της διαλείπουσας χρήσης του ηλιακού πόρου
- έγχυση αρμονικών, εάν οι μετατροπείς δεν διαθέτουν αποδοτικά φίλτρα
- έγχυση συνεχούς ρεύματος
- συμβολή στο ρεύμα βραχέως κυκλώματος
- ρεύμα διαρροής
- διαταραχές των σημάτων
- επιπτώσεις των φωτοβολταϊκών συστημάτων στις απώλειες

Η ισχύς εξόδου των φωτοβολταϊκών (ΦΒ) εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του ίδιου του ηλιακού πάνελ, καθώς και από την ακτινοβολία και θερμοκρασία, σύμφωνα με τις ακόλουθες εξισώσεις :

$$T_c = T_a + \frac{(T_n - 20)}{0.8} \times G \quad (3.37)$$

$$V = V_{oc} - K_v \times (T_c - 25) \quad (3.38)$$

$$I = G \times [I_{sc} + K_i(T_c - 25)] \quad (3.39)$$

$$FF = \frac{V_{max} I_{max}}{V_{oc} I_{sc}} \quad (3.40)$$

$$P_{s, out} = FF \times V \times I \quad (3.41)$$

Όπου T_a (celsius) είναι η θερμοκρασία τοποθέτησης του φωτοβολταϊκού, T_n (Celsius) είναι η ονομαστική θερμοκρασία λειτουργίας της φωτοβολταϊκής κυψέλης, T_c (Celsius) είναι η θερμοκρασία της φωτοβολταϊκής κυψέλης, K_v είναι ο συντελεστής θερμοκρασίας τάσης, K_i είναι ο συντελεστής τρέχουσας θερμοκρασίας, V_{oc} (volt)

είναι η τάση ανοικτού κυκλώματος, I_{sc} (ampere) είναι το ρεύμα βραχυκυκλώσεως, V_{max} είναι η τάση στο μέγιστο σημείο ισχύος, I_{max} είναι το ρεύμα στο μέγιστο σημείο ισχύος, FF είναι ο τελικός συντελεστής, V είναι η τάση, I είναι το ρεύμα, G (Hz) είναι η ηλιακή ακτινοβολία, $P_{s,out}$ (watt) είναι η ισχύς εξόδου των ηλιακών κυψελών και το $P_{s,r}$ είναι η ονομαστική ισχύς των ηλιακών κυψελών.

Οι παραπάνω εξισώσεις περιγράφουν την ηλεκτρική συμπεριφορά των φωτοβολταϊκών στοιχείων. Όσο περισσότερη ηλιακή ακτινοβολία φτάνει στο κύτταρο, τόσο περισσότερο ρεύμα ρέει μέσα από αυτό (εξ. (3.39)), με αποτέλεσμα μεγαλύτερη ισχύ εξόδου (εξ. (3.41)). Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο στις σύγχρονες τεχνολογίες τα φωτοβολταϊκά πάνελ έχουν κλίση για να βλέπουν τον ήλιο απευθείας, έτσι ώστε να συγκεντρώνουν τη μέγιστη ακτινοβολία. Οι περισσότερες παράμετροι δίνονται από τον κατασκευαστή των ηλιακών κυττάρων. Έτσι, ο λόγος $P_{s,out}/P_{s,r}$ (παράμετρος solarj,t) υπολογίζεται από τα δεδομένα ηλιακής ακτινοβολίας κάθε ώρας κάθε κατάστασης. Αυτή η παράμετρος αντιπροσωπεύει την ισχύ εξόδου όλων των φωτοβολταϊκών σε όλους τους ζυγούς, ως ποσοστό της ονομαστικής τους ισχύς. Έτσι, είναι μια παγκόσμια παράμετρος που εξαρτάται μόνο από το χρόνο και επηρεάζει εξίσου όλα τα φωτοβολταϊκά. Τα φωτοβολταϊκά είναι εξοπλισμένα με φωτοβολταϊκό μετατροπέα ικανό για άεργο ισχύ

3.6 Μοντελοποίηση Μπαταρίας

Το σύστημα αποθήκευσης μπαταριών (BSS) αποτελείται κυρίως από ένα συντηρητή ισχύος (PCS) και μια μονάδα αποθήκευσης. Το PCS επιτρέπει στο BSS να παράγει ενεργή και άεργο ισχύ και στα τέσσερα τετράγωνα [27]. Στην παρούσα διπλωματική εργασία θεωρούμε ότι το BSS παράγει μόνο ενεργό ισχύ. Οι μπαταρίες που χρησιμοποιούνται σε αυτή την διπλωματική ακολουθούν έναν καθημερινό κύκλο φόρτισης -εκφόρτισης. Στην ιδανική περίπτωση, η καθημερινή αποθηκευμένη ενέργεια θα πρέπει να απελευθερώνεται πλήρως. Ωστόσο, λόγω ενεργειακών απωλειών, η απόδοση της μπαταρίας πέφτει. Σε αυτό το μοντέλο, οι μπαταρίες φορτίζουν ισχύ κατά τη διάρκεια ορισμένων ωρών και εκφορτίζουν την ισχύ στο μικροδίκτυο άλλες ώρες. Έτσι, μπορούν να διαμορφωθούν είτε ως φορτίο είτε ως πηγή ενέργειας. Οι ακριβείς ώρες φόρτισης -εκφόρτισης μπορούν να ρυθμιστούν εύκολα, λαμβάνοντας υπόψη το ωριαίο φορτίο και τις κλιματικές συνθήκες.

Χρησιμοποιούνται οι ακόλουθες εξισώσεις :

$$Ech_{j,i} = \sum_{t=1}^N Pch_{j,t,i} \quad \forall j,i \quad (3.42)$$

$$Edis_{j,i} = \sum_{t=1}^N Pdis_{j,t,i} \quad \forall j,i \quad (3.43)$$

$$Pch_{j,t,i} \leq Pi \quad \forall j,t,i \quad (3.44)$$

$$Pdis_{j,t,i} \leq Pi \quad \forall j,t,i \quad (3.45)$$

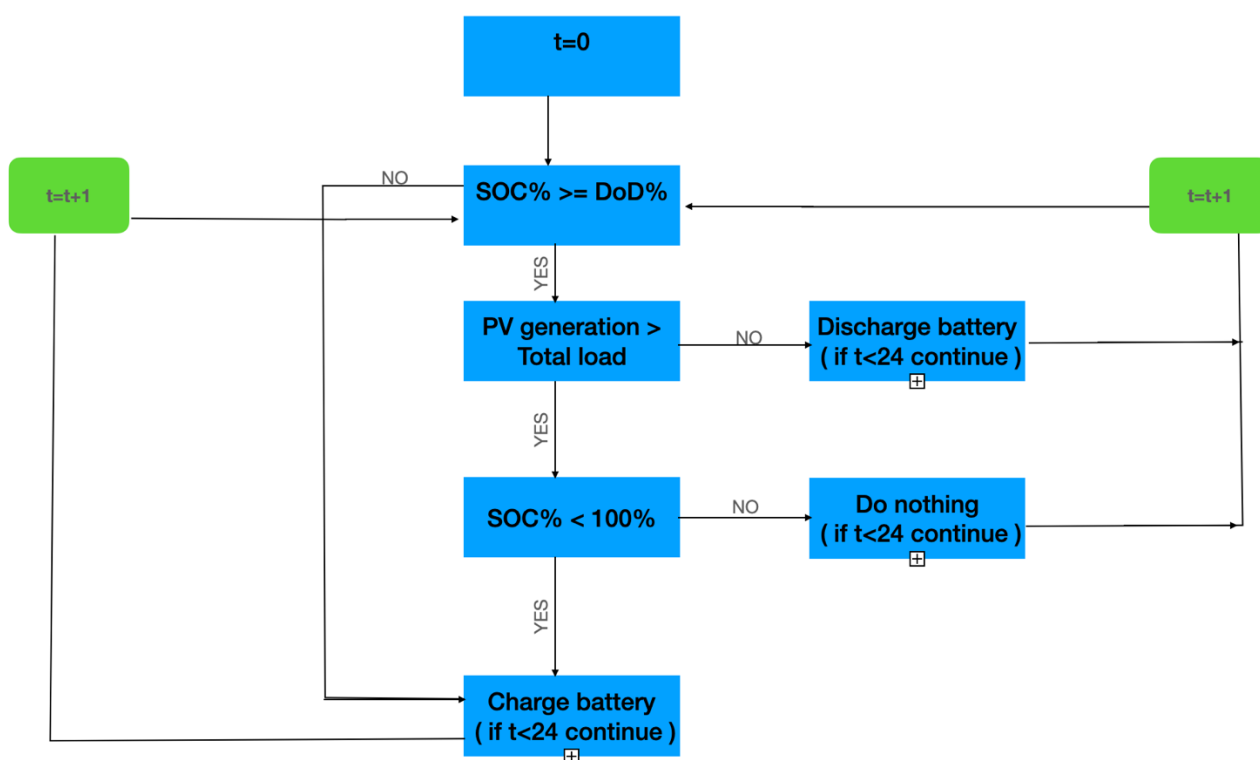
$$Ech_{j,i} \leq Ei \quad \forall j,i \quad (3.46)$$

Εξίσωση (3.42) , (3.43) δείχνει ότι η συνολική ενέργεια που φορτίζεται (αποφορτίζεται) στην μπαταρία κάθε ζυγού, κατά τη διάρκεια κάθε κατάστασης, είναι ίση με το ημερήσιο άθροισμα της ενέργειας που φορτίζεται (αποφορτίζεται) κάθε ώρα. Αυτή η ωριαία ενέργεια είναι αριθμητικά ίση με την ωριαία ισχύ που φορτίζει ή αποφορτίζει η μπαταρία, καθώς η τελευταία είναι σταθερή και το χρονικό τμήμα είναι 1 ώρα. Εξισώσεις (3.44) και (3.45) υποδεικνύουν ότι η χωρητικότητα ενεργού ισχύος είναι ίση ή μεγαλύτερη από τη μέγιστη ωριαία ισχύ που χρεώνεται ή αποφορτίζεται καθ 'όλη τη διάρκεια της ημέρας. Εξίσωση (3.46) δείχνει ότι η χωρητικότητα αποθήκευσης ενέργειας είναι ίση ή μεγαλύτερη από τη μέγιστη ημερήσια ενέργεια που χρεώνεται

όλη την ημέρα.

Ουσιαστικά κάθε ώρα ελέγχεται αν το ποσοστό φόρτισης της μπαταρίας (SOC) είναι μεγαλύτερο ή ίσο του depth of discharge (DoD) και αν είναι τότε ελέγχετε εάν το φωτοβολταϊκό σύστημα έχει περίσσεια ενέργεια και αν έχει και η μπαταρία μας δεν είναι γεμάτη, τότε φορτίζεται η μπαταρία. Αλλιώς αν το φωτοβολταϊκό σύστημα δεν έχει αρκετή ενέργεια για να καλύψει της ανάγκες του συστήματος τότε η μπαταρία εκφορτίζεται.

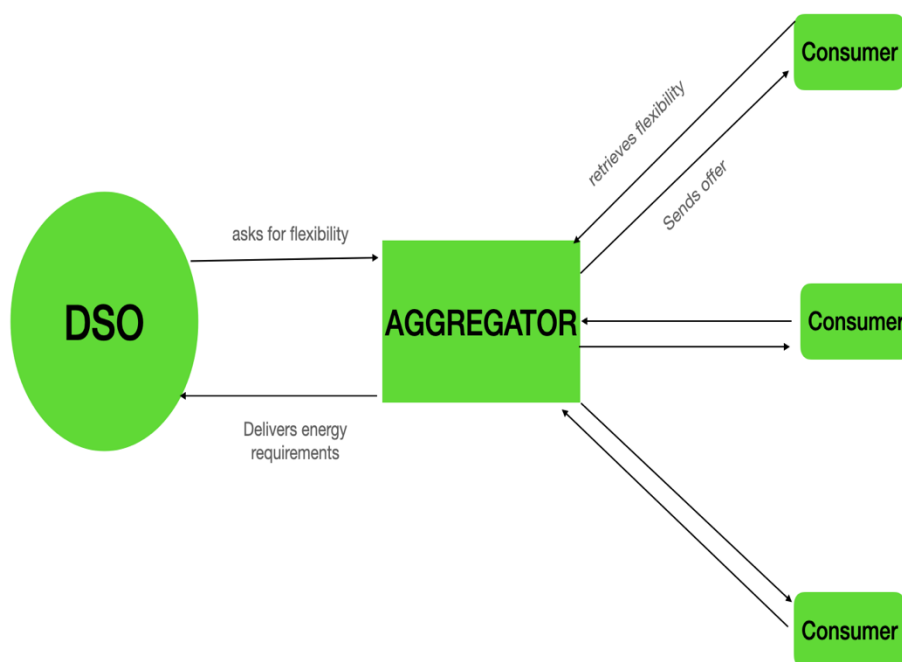
Το διάγραμμα ροής που ακολουθεί η μπαταρία του συστήματος είναι :



Σχήμα 3.3: Διάγραμμα ροής μπαταρίας.

3.7 Παρουσίαση του μοντέλου συνεργασίας του διαχειριστή του ΔΔΗΕ με τους διαχειριστές ελαστικής ζήτησης (Φο.Σ.Ε).

Το μοντέλο συνεργασίας του διαχειριστή του ΔΔΗΕ με τους διαχειριστές ελαστικής ζήτησης που στοχεύει στην ικανοποίηση των οικονομικών κριτηρίων περιλαμβάνει μεν όλους τους τεχνικούς περιορισμούς του δικτύου εστιάζει όμως στα οικονομικά οφέλη του κάθε διαχειριστή χωριστά και παρέχει λύση στηριζόμενη σε αυτά. Η συνεργασία μεταξύ αυτών των δύο , μπορεί να περιγραφεί από τα παρακάτω στάδια.



Σχήμα 3.4: Διάγραμμα συνεργασίας ΔΔΗΕ με Φο.Σ.Ε

Αρχικά , ο ΔΔΗΕ έπειτα από μια μελέτη που κάνει για τις ανάγκες του δικτύου για την επόμενη ημέρα επικοινωνεί με τον Φο.Σ.Ε και ζητάει την αντίστοιχη ευελιξία που θα χρειαστεί, προκειμένου να λειτουργεί σωστά το δίκτυο. Φυσικά, η ευελιξία που θα παρέχει ο Φο.Σ.Ε στον ΔΔΗΕ θα έχει ως αντάλλαγμα χρηματική αποζημίωση. Στην συνέχεια , ο Φο.Σ.Ε διαπραγματεύεται με τους τελικούς καταναλωτές , προσφέροντας τους είτε κάποια τιμολόγια κοστολόγησης της ενέργειας ανάλογα με την ώρα , είτε κάποια οικονομικά κίνητρα με την προϋπόθεση ότι θα παρέχουν ευελιξία . Τέλος , ο Φο.Σ.Ε έχοντας συλλέξει την απαιτούμενη ευελιξία από τους τελικούς καταναλωτές , επικοινωνεί με τον ΔΔΗΕ ώστε να ανταλλάξει την ευελιξία με το ανάλογο οικονομικό όφελος .

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Το λογισμικό και τα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν

4.1 Python

Το ολοκληρωμένο γραφικό περιβάλλον αναπτύχθηκε σε γλώσσα προγραμματισμού python και συγκεκριμένα έκδοση python 3.7 . Το μεγαλύτερο μέρος του κώδικα γράφτηκε στην πλατφόρμα Spider, που είναι ένα περιβάλλον ανάπτυξης ολοκληρωμένης πλατφόρμας ανοιχτού κώδικα .

Η Python είναι μια υψηλού επιπέδου γλώσσα προγραμματισμού η οποία δημιουργήθηκε από τον Ολλανδό Γκβίντο βαν Ρόσσουμ (Guido van Rossum) το 1990. Ο κύριος στόχος της είναι η αναγνωσιμότητα του κώδικά της και η ευκολία χρήσης της και το συντακτικό της επιτρέπει στους προγραμματιστές να εκφράσουν έννοιες σε λιγότερες γραμμές κώδικα απ' ότι θα ήταν δυνατόν σε άλλες γλώσσες όπως η C++ ή η Java. Διακρίνεται λόγω του ότι έχει πολλές βιβλιοθήκες που διευκολύνουν ιδιαίτερα αρκετές συνηθισμένες εργασίες και την ταχύτητα της εκμάθησής της.

Οι διερμηνευτές της Python είναι διαθέσιμοι για εγκατάσταση σε πολλά λειτουργικά συστήματα, επιτρέποντας στην Python την εκτέλεση κώδικα σε ευρεία γκάμα συστημάτων. Χρησιμοποιώντας εργαλεία τρίτων, όπως το Py2exe ή το Pyinstaller, ο κώδικας της Python μπορεί να πακεταριστεί σε αυτόνομα εκτελέσιμα προγράμματα για μερικά από τα πιο δημοφιλή λειτουργικά συστήματα, επιτρέποντας τη διανομή του βασισμένου σε Python λογισμικού για χρήση σε αυτά τα περιβάλλοντα χωρίς να απαιτείται εγκατάσταση του διερμηνευτή της Python.

4.2 Panda Power

Στην παρούσα διπλωματική εργασία , χρησιμοποιήθηκε η βιβλιοθήκη του panda power , όπου με την βοήθεια του εργαλείου αυτού ορίστηκε το σύστημα που χρησιμοποιήσαμε με της παραμέτρους του αλλά και τρέξαμε την ροή / βέλτιστη ροή ισχύος για ένα 24ώρο. Το pandapower συνδυάζει της βιβλιοθήκης ανάλυσης δεδομένων pandas και το εργαλείο ροής ισχύος PYPOWER για να δημιουργήσει ένα εύχρηστο πρόγραμμα υπολογισμού δικτύου με στόχο την αυτοματοποίηση της ανάλυσης και τη βελτιστοποίηση στα συστήματα ισχύος.

Για να οριστεί το δίκτυο , ακολουθήθηκαν τα παρακάτω βήματα

A) Αρχικά με την εντολή “ import ” εισάγουμε πάνω πάνω τις βιβλιοθήκες που θα χρησιμοποιήσουμε παρακάτω. Στην παρούσα εργασία εισάγουμε την βιβλιοθήκη “pandapower”, “pandapower.networks”, “pandas”, “ConstControl”, “DFData” , “OutputWriter”, “matplotlib” .

```
1 import pandapower as pp
2 import pandapower.networks as nw
3 import pandas as pd
4 from pandapower.control.controller.const_control import ConstControl
5 from pandapower.timeseries.data_sources.frame_data import DFData
6
7 from pandapower.timeseries import OutputWriter
8
9 import matplotlib.pyplot as plt
```

B) Στην συνέχεια , ορίζουμε το δίκτυο μας . Το δίκτυο που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία είναι της ieee case33 το οποίο υπάρχει ορισμένο ήδη στην βιβλιοθήκη “pandapower.networks” .

Οπότε ορίσαμε : “net = nw.case33bw() ” , παρακάτω φαίνεται τα στοιχεία που υπάρχουν στο nw.case33 .

This pandapower network includes the following parameter tables:

- bus (33 elements)
- load (32 elements)
- ext_grid (1 element)
- line (37 elements)
- poly_cost (1 element)
- bus_geodata (33 elements)

Όπου :

- Στο bus , ορίζεται το \max_vm_pu / \min_vm_pu που είναι η μέγιστη και η ελάχιστη τάση του κάθε ζυγού. Το vn_kv οπου είναι η τάση βάσης κάθε ζυγού .
- Στο load , ορίζεται το p_mw/q_mvar όπου είναι η ενεργός και άεργος ισχύς κάθε ζυγού . Το `controllable` όπου επιλέγεται εάν επιθυμούμε το φορτίο του ζυγού να λειτουργεί με ευελιξία , όπου στην παρούσα εργασία οι ζυγοί 16 και 26 λειτουργούν με ευελιξία
- Στο `ext_grid` , όπου ορίζεται σε ποιόν ζυγό είναι συνδεδεμένο. Το \max_p_mw/\min_p_mvar και \max_q_mvar/\min_q_mvar όπου ορίζεται η μέγιστη και η ελάχιστη ενεργός και άεργος ισχύς του εξωτερικού δικτύου .
- Στο line , όπου ορίζεται το `length_km` που είναι η απόσταση κάθε γραμμής από τον ένα ζυγό στον άλλο . Το \max_i_ka όπου είναι το μέγιστο επιτρεπτό ρεύμα που μπορεί να περάσει απο μια γραμμή του δικτύου. Το $r_ohm_per_km$ και το $x_ohm_per_km$ όπου είναι η αντίσταση της κάθε γραμμής . Τέλος το `from_bus/to_bus` που ορίζεται από ποιόν ζυγό ξεκινάει η γραμμή και σε ποιόν τελειώνει.
- Στο `poly_cost` , ορίζεται το κόστος που έχει κάθε στοιχείο του δικτύου όταν χρησιμοποιείται . Μετριέται σε ευρώ ανά μεγαβατώρα.
- Στο `bus_geodata` , ορίζονται οι γεωγραφικές συντεταγμένες του κάθε ζυγού .

Γ) Έπειτα εισάγουμε την γεννήτρια και την μπαταρία στο δίκτυο . Αυτό γίνεται με την εντολή “`pp.create_`” όπως φαίνεται παρακάτω .

```
pandapower.create_gen(net, bus, p_mw, vm_pu=1.0, sn_mva=nan, name=None, index=None, max_q_mvar=nan, min_q_mvar=nan, min_p_mw=nan, max_p_mw=nan, min_vm_pu=nan, max_vm_pu=nan, scaling=1.0, type=None, slack=False, controllable=nan, vn_kv=nan, xdss_pu=nan, rdss_ohm=nan, cos_phi=nan, pg_percent=nan, power_station_trafo=None, in_service=True, slack_weight=0.0)
```

```
pandapower.create_storage(net, bus, p_mw, max_e_mwh, q_mvar=0, sn_mva=nan, soc_percent=nan, min_e_mwh=0.0, name=None, index=None, scaling=1.0, type=None, in_service=True, max_p_mw=nan, min_p_mw=nan, max_q_mvar=nan, min_q_mvar=nan, controllable=nan)
```

Όπου

- bus είναι ο ζυγός που θα τοποθετηθεί η γεννήτρια/μπαταρία
- p_mw η ισχύς
- Vm_pu η τάση του ζύγου σε per-unit
- max_p_mw/min_p_mw και max_q_mvar/min_q_mvar είναι μέγιστη/ελάχιστη ενεργός και άεργος ισχύς
- Controllable , αν θέλουμε οι τιμές να επιλέγονται από το σύστημα

Δ) Έπειτα ορίζουμε DataFrames για κάθε στοιχείο του δικτύου μας . Ουσιαστικά εισάγουμε τα δεδομένα τα οποία τα έχουμε αποθήκευση σε excel μορφή και τα μετατρέπουμε σε DataFrames ώστε να μπορεί να τα αναγνωρίσει ο κώδικας .

Παράδειγμα όπου φτιάχνουμε DataFrames για της τιμές του φορτίου για κάθε ζυγό σε ένα 24ώρο φαίνεται στην παρακάτω φωτογραφία .

```
#for every load for 24 hours

df= pd.read_excel("Pload1.xlsx")
df=df.drop(['Unnamed: 0'], axis=1)
dq= pd.read_excel("Qload1.xlsx")
dq=dq.drop(['Unnamed: 0'], axis=1)

dload1 = DFData(df)
dload2 = DFData(dq)
```

Όπου με την εντολή read_excel εισάγουμε τα δεδομένα που θέλουμε στον κώδικα και έπειτα με την εντολή DFData() μετατρέπουμε αυτά τα δεδομένα σε γλώσσα μηχανής.

Ε) Στην συνέχεια ορίζονται Controllers για κάθε στοιχείο του δικτύου. Τα Controlllers, ουσιαστικά για κάθε μια ώρα του 24ώρου, ανανεώνουν την τιμή κάθε στοιχείου με την καινούργια που έχει το στοιχείο την συγκεκριμένη ώρα . Δηλαδή τα controllers παίρνουν τα δεδομένα από τα DataFrames για κάθε ώρα και τα αντικαθιστούν εκ νέου στο κάθε στοιχείο, ώστε ουσιαστικά να μπορούμε να τρέξουμε μια ροή ισχύος για παραπάνω από μια φόρα. Στην εργασία , έχουν φτιαχτεί controllers για κάθε ένα φορτίο, την γεννήτρια και την μπαταρία για κάθε ώρα .

Η εντολή για να ορίσουμε Controllers είναι :

```
class pandapower.control.controller.const_control.ConstControl(net, element, variable,
element_index, profile_name=None, data_source=None, scale_factor=1.0, in_service=True, recycle=True, order=-
1, level=- 1, drop_same_existing_ctrl=False, matching_params=None, initial_run=False, **kwargs)
```

Όπου

- Η εντολή “element” ορίζουμε το στοιχείο που θα αντιπροσωπεύει ο controller (“gen”, “storage” , “load”) .
- Το “element_index” όπου ορίζει μια τιμή του στοιχείου θα αντικαθιστάτε κάθε χρονική ώρα.
- Το “data_source” όπου ορίζει από που παίρνονται τα νέα δεδομένα για κάθε ώρα .
- Το “profile_name” το όνομα κάθε στοιχείου που βρίσκονται μέσα στο data_source

Παράδειγμα Controller ορίστηκε για τα φορτία του δικτύου κάθε ώρα :

```
#for the p_mw and q_mvar for every load
ConstControl(net, "load", "p_mw", element_index= net.load.index, profile_name=df.columns,data_source= dload1),
ConstControl(net, "load", "q_mvar", element_index= net.load.index, profile_name=dq.columns,data_source= dload2)
```

Όπου για κάθε ώρα του 24ώρου αντικαθίσταται η ενεργός και άεργος ισχύς για τα φορτία του δικτύου . Τα νέα δεδομένα ο Controller τα παίρνει από το dload1 και dload2 όπου έχουν οριστεί πιο πάνω στα DataFrames .

Ε) Ακόμη , όταν τρέξουμε το timeseries και προκύψουν τα αποτελέσματα από το 24ωρο , θα χρειαστούμε έναν τρόπο για να τα αποθηκεύσουμε . Για αυτόν τον σκοπό χρησιμοποιούμε το OutputWriter . Το οποίο ουσιαστικά αποθηκεύει τα αποτελέσματα για κάθε στοιχείο του

Η εντολή αυτή φαίνεται παρακάτω :

```

ow= OutputWriter (net,time_steps = range(0,24), output_path= "./results_15/", output_file_type= ".xlsx")
ow.log_variable('res_bus', 'vm_pu')
ow.log_variable('res_bus', 'va_degree')
ow.log_variable('res_load', 'p_mw')
ow.log_variable('res_line','loading_percent')
ow.log_variable('res_load','q_mvar')
ow.log_variable('res_line', 'i_ka')
ow.log_variable('res_gen', 'p_mw')
ow.log_variable("res_storage", "p_mw")
ow.log_variable("storage", "soc_percent")
ow.log_variable("res_ext_grid","p_mw")

```

Στην εντολή του OutputWriter , υπάρχει το “time_steps” που ορίζεται πόσες φορές θα τρέξει το σύστημα , άρα και πόσες σειρές θα εκτυπωθούν. Το “output_path”που ορίζει το όνομα του αρχείου στο οποίο θα αποθηκευτούν τα δεδομένα και τέλος το “output_file_type” που δηλώνει την μορφή του αρχείου που θα αποθηκευτούν τα δεδομένα.

Z) Αφού έχει οριστεί το σύστημα πλέον και έχουν φτιαχτεί τα Dataframes , τα Controllers και το OutputWriter , το μόνο που μένει είναι να τρέξουμε την ροή ισχύος και την βέλτιστη ροή ισχύος για το 24 το οποίο μας ενδιαφέρει .

Η εντολή την οποία τρέχουμε ροή ισχύος για μια χρονική στιγμή είναι :

```

pandapower.runpp(net, algorithm='nr', calculate_voltage_angles='auto', init='auto', max_iteration='auto',
tolerance_mva=1e-08, trafo_model='t', trafo_loading='current', enforce_q_lims=False, check_connectivity=True,
voltage_depend_loads=True, consider_line_temperature=False, run_control=False, distributed_slack=False,

```

Ενώ για την βέλτιστη ροή ισχύος :

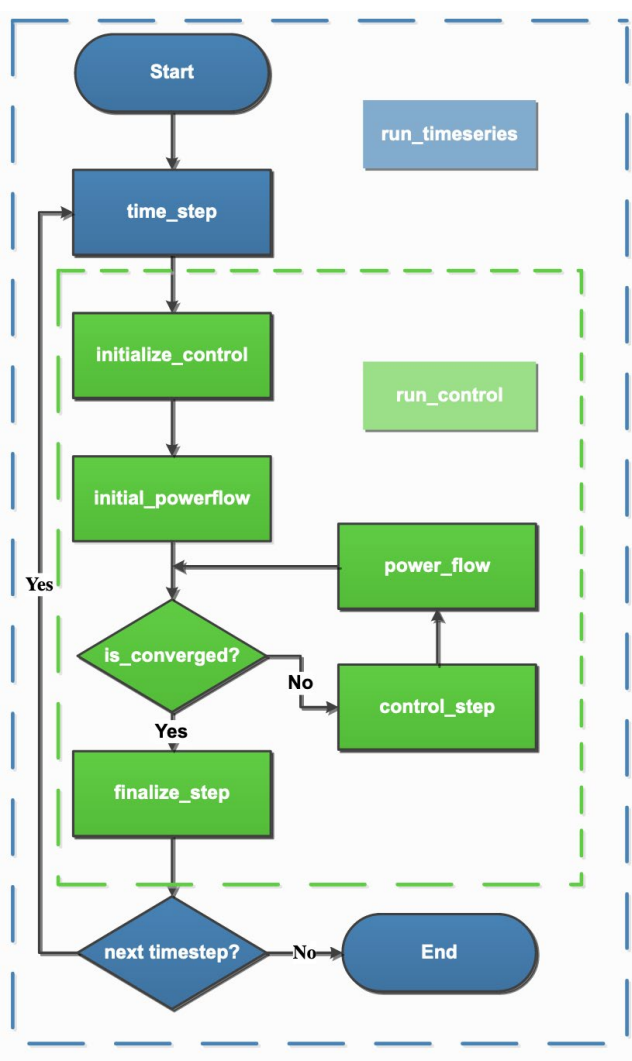
```

pandapower.runpp(net, verbose=False, calculate_voltage_angles=True, check_connectivity=True,
suppress_warnings=True, switch_rx_ratio=2, delta=1e-10, init='flat', numba=True, trafo3w_losses='hv',
consider_line_temperature=False, **kwargs)

```

4.3 Time series

Στόχος της εργασίας είναι να μπορέσουμε να βγάλουμε δεδομένα για πολλές χρονικές στιγμές . Συγκεκριμένα μελετήθηκε ένα 24ώρο του χειμώνα . Το εργαλείο το οποίο βοήθησε να πραγματοποιηθεί αυτή η λειτουργία είναι το “ Time series ”. Όταν καλείτε η συνάρτηση `run_timeseries`, ξεκινά ένας βρόχος που επαναλαμβάνεται κάθε φορά. Σε κάθε βήμα, ξεκινά ένας βρόχος ελέγχου για κάθε ελεγκτή από το `run_control` (ορίστηκε προηγουμένος). Μέσα στον βρόχο ελέγχου, οι μεταβλητές στοιχείων ενημερώνονται από τους πρόσθετους ελεγκτές. Αναλυτικά η διαδικασία που πραγματοποιείται όταν τρέχουμε `time series` φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Σχήμα 4.1: Διάγραμμα time series [28]

Η εντολή που χρησιμοποιείται για το “time series” είναι :

```
pandapower.timeseries.run_time_series.run_timeseries(net, time_steps=None,
continue_on_divergence=False, verbose=True, **kwargs)
```

Όπου αρχικά ορίζουμε το “net” το οποίο είναι το δίκτυο στο οποίο θα τρέξει η εντολή και μετά δηλώνουμε “time_steps” όπου είναι οι επαναλήψεις που επιθυμούμε να κάνουμε . Στην δικιά μας περίπτωση είναι 24 επαναλήψεις , όπου κάθε επανάληψη αντιπροσωπεύει μια ώρα.

Για να μπορέσουμε να τρέξουμε ροή ισχύος 24 φορές , τότε τρέχουμε την εντολή :

```
pp.timeseries.run_timeseries(net ,time_steps = range(0,24)) # POWER FLOW
```

Ενώ για την βέλτιστη ροή ισχύος σε ένα 24ώρο , τρέχουμε την εντολή :

```
pp.timeseries.run_timeseries(net, time_steps = range(0,24) , run=pp.runopp ) #OPTIMAL POWER FLOW
```

4.4 PV lib

Το pvnlib python είναι ένα υποστηριζόμενο από την κοινότητα εργαλείο που παρέχει ένα σύνολο λειτουργιών και κλάσεων για την προσομοίωση της απόδοσης των φωτοβολταϊκών συστημάτων ενέργειας. Το pvnlib python μεταφέρθηκε αρχικά από την εργαλειοθήκη PVLIB MATLAB που αναπτύχθηκε στα εθνικά εργαστήρια Sandia και εφαρμόζει πολλά από τα μοντέλα και τις μεθόδους που αναπτύχθηκαν στα εργαστήρια. Στην παρούσα διπλωματική εργασία χρειάστηκε να μοντελοποιηθεί ένα φωτοβολταϊκό σύστημα .Τα βήματα που ακολουθήθηκαν φαίνονται παρακάτω .

A) Αρχικά εισάγουμε την βιβλιοθήκη pvnlib και μέσα από αυτή εισάγουμε και το PVSystem , Location, ModelChain


```
import pvlib
from pvlib.pvsystem import PVSystem
from pvlib.location import Location
from pvlib.modelchain import ModelChain
```

Β) Στην συνέχεια από την βιβλιοθήκη “pvlib.pvsystem” επιλέγουμε μοντέλο αντιστροφέα τον οποίο θα χρησιμοποιήσουμε . Συγκεκριμένα επιλέχθηκαν τα παρακάτω .

```
# load some module and inverter specifications
sandia_modules = pvlib.pvsystem.retrieve_sam('SandiaMod')
cec_inverters = pvlib.pvsystem.retrieve_sam('cecinverter')
sandia_module = sandia_modules['Kyocera_Solar_KS16_2003_E_']
cec_inverter = cec_inverters['ABB_MICRO_0_25_I_OUTD_US_208_208V_']
```

Γ) Μετά ορίζουμε στο κώδικα την ακριβής τοποθεσία που έχει το φωτοβολταϊκό σύστημα . Συγκεκριμένα η τοποθεσία που δόθηκε αντιστοιχεί στις συντεταγμένες του εργαστηρίου του ΕΜΠ . Επίσης και τα χαρακτηριστικά του συστήματος που τοποθετήσαμε . Τα χαρακτηριστικά αυτά φαίνονται παρακάτω.

```
location = Location(latitude=37.976223648368645, longitude=23.779829453965057)
```

```
system = PVSystem(surface_tilt=35, surface_azimuth=0, module_parameters=sandia_module,
                  inverter_parameters=cec_inverter, emperature_model_parameters=temperature_model_parameters)
```

Δ) Στην συνέχεια ορίστηκαν οι καιρικές συνθήκες. Πιο συγκεκριμένα η ταχύτητα του ανέμου , η θερμοκρασία του ανέμου, Global Horizontal Irradiance (GHI), Direct Normal Irradiance (DNI), Diffuse Horizontal Irradiance (DHI) .

```
weather = pd.DataFrame({'ghi': [], 'dni': [], 'dhi': [], 'wind_speed': [], 'temp_air': []})
df = pd.read_excel("Weather_forecast_2021_05_08.xlsx", index_col=0)
weather.ghi=df["GHI [W/m^2]"]
weather.wind_speed=df["Wind Speed Base(m/s)NEWNEW"]
weather.temp_air = df["Temperature(Celcius)NEWNEW"]
weather.dni=df["DNI"]
weather.dhi=df["DHI"]
```


Ε)Τέλος , η εντολή “ModelChain(system,location).run_model(weather).ac” δίνει την Ενέργεια που διαθέτει το φωτοβολταϊκό σύστημα στο συγκεκριμένο 24ώρο του χειμώνα που θέλουμε.

4.5 Smart meters

Όπως έχει αναφερθεί προηγουμένως , στο δίκτυο της παρούσας εργασίας οι ζυγοί 16 και 26 λειτουργούν με ευελιξία . Δηλαδή τα φορτία των ζυγών αυτών όταν ορίστηκαν στον κώδικα δηλώθηκαν ως Controllable. Η εντολή αυτή επιτρέπει τον κώδικα όταν τρέχουμε την ροή/βέλτιστη ροή ισχύος να επιλέγει την τιμή του φορτίου του ζυγού ανάμεσα από μια μέγιστη και μια ελάχιστη τιμή . Τα δεδομένα αυτά πάρθηκαν από πραγματικά δεδομένα από έξυπνους μετρητές κατανάλωσης ενέργειας για ένα δείγμα 5.567 νοικοκυριών του Λονδίνου μεταξύ Νοεμβρίου 2011 και Φεβρουαρίου 2014

(32). Για την απόσπαση των δεδομένων αυτών ακολουθήθηκε μια αλληλουχία προγραμματισμού που θα εξηγηθεί αναλυτικά παρακάτω.

A) Αρχικά εισάγουμε τον φάκελο “halfhourly_dataset” όπου περιέχει 5.567 μετρητές , όπου κάθε μετρητής μετράει την κατανάλωση ενέργειας ενός σπιτιού ανά μισή ώρα για κάποια χρόνια .

```
import pandas as pd
import glob
files = glob.glob("/Users/yianniskardambikis/Downloads/halfhourly_dataset/*.csv")

df = pd.DataFrame()
for f in files:
    csv = pd.read_csv(f)
    df = df.append(csv)
```

B) Στην συνέχεια φιλτράρουμε τα δεδομένα ώστε να κρατήσουμε μετρήσεις για έναν χρόνο και παράλληλα να χωρίσουμε μετρητές για τον ζυγό 16 και 26 . Για τον ζυγό 16 κρατήσαμε μετρητές από τον “MAC000015” έως και τον “MAC000052” από 2012-01-01 έως 2012-12-31 . Ενώ για τον ζυγό 26 πήραμε μετρητές από “MAC000053” έως και τον “MAC000089 ” για το ίδιο χρονικό διάστημα όπως στον ζυγό 16.

In [2]: FirstHalf

Out [2]:

Unnamed: 0	LCLid	tstp	energy(kWh/hh)
0	1222 MAC000015	2012-01-01 00:00:00.0000000	0.115
1	1223 MAC000015	2012-01-01 00:30:00.0000000	0.105
2	1224 MAC000015	2012-01-01 01:00:00.0000000	0.17
3	1225 MAC000015	2012-01-01 01:30:00.0000000	0.133
4	1226 MAC000015	2012-01-01 02:00:00.0000000	0.106
...
667358	57706 MAC000052	2012-12-31 21:30:00.0000000	0.073
667359	57707 MAC000052	2012-12-31 22:00:00.0000000	0.105
667360	57708 MAC000052	2012-12-31 22:30:00.0000000	0.064
667361	57709 MAC000052	2012-12-31 23:00:00.0000000	0.054
667362	57710 MAC000052	2012-12-31 23:30:00.0000000	0.132

667363 rows x 4 columns

Γ) Στην συνέχεια φιλτράραμε τον πίνακα δεδομένων για κάθε ζυγό ώστε να κρατήσουμε της μετρήσεις που γίνανε την περίοδο του χειμώνα (2012 -01-01 έως 2012-03-30) . Χρησιμοποιήσαμε την εντολή :

“ FirstHalf_winter=FirstHalf[(FirstHalf.tstp<"2012-03-31 00:00:00.0000000")] ”

In [10]: FirstHalf_winter

Out [10]:

Unnamed: 0	LCLid	tstp	energy(kWh/hh)
0	1222 MAC000015	2012-01-01 00:00:00.0000000	0.115
1	1223 MAC000015	2012-01-01 00:30:00.0000000	0.105
2	1224 MAC000015	2012-01-01 01:00:00.0000000	0.17
3	1225 MAC000015	2012-01-01 01:30:00.0000000	0.133
4	1226 MAC000015	2012-01-01 02:00:00.0000000	0.106
...
654120	44468 MAC000052	2012-03-30 21:30:00.0000000	0.258
654121	44469 MAC000052	2012-03-30 22:00:00.0000000	0.083
654122	44470 MAC000052	2012-03-30 22:30:00.0000000	0.115
654123	44471 MAC000052	2012-03-30 23:00:00.0000000	0.084
654124	44472 MAC000052	2012-03-30 23:30:00.0000000	0.09

Δ) Το επόμενο βήμα είναι να μετατραπούν τα μισάωρα σε μονόωρα , καθώς στο δίκτυο μας τρέχουμε TimeSeries για κάθε μια ώρα . Η διαδικασία αυτή φαίνεται παρακάτω .

```

Table3 =pd.DataFrame({'LCLid':[], 'energy(kWh/hh)':[], 'tstp':[]})
for M in FirstHalf_winter.LCLid.unique() :
    Ex=FirstHalf_winter[(FirstHalf_winter.LCLid== M)]
    count = 0
    while(count<len(Ex.index)):
        count=count+2
        Head=Ex[(count-2):count]
        Sum=Head['energy(kWh/hh)'].astype(float).sum()
        Date=Head.tstp.head(1).item()
        ID=Head.LCLid.head(1).item()
        Value=pd.DataFrame({'LCLid': [ID], 'energy(kWh/hh)': [Sum], 'tstp': [Date]})
        Table3=Table3.append(Value, ignore_index=True)
Table3

```

	LCLid	energy(kWh/hh)	tstp
0	MAC000015	0.220	2012-01-01 00:00:00.0000000
1	MAC000015	0.303	2012-01-01 01:00:00.0000000
2	MAC000015	0.248	2012-01-01 02:00:00.0000000
3	MAC000015	0.273	2012-01-01 03:00:00.0000000
4	MAC000015	0.251	2012-01-01 04:00:00.0000000
...

Ε) Στην συνέχεια , θέλουμε να βγάλουμε το άθροισμα όλων των μετρητών ανά μια ώρα για κάθε μέρα . Για να γίνει αυτό πρώτα φιλτράρουμε τον πίνακα μας ώστε να πάνε οι μετρητές σύμφωνα με το “tstp” δηλαδή την ημερομηνία και την ώρα . Αφού γίνει αυτό , έπειτα προσθέτουμε τον πίνακα ανά 38 σειρές (επειδή έχουμε 38 μετρητές) . Η διαδικασία αυτή φαίνεται παρακάτω .

Φιλτράρισμα του πίνακα ως προς τον χρόνο .

```
Table33 = Table3
```

```
Exx = Table33.sort_values(by=['tstp'])
Exx
```

	LCLid	energy(kWh/hh)	tstp
0	MAC000015	0.220	2012-01-01 00:00:00.0000000
75590	MAC000050	0.387	2012-01-01 00:00:00.0000000
51837	MAC000039	0.203	2012-01-01 00:00:00.0000000
49677	MAC000038	0.599	2012-01-01 00:00:00.0000000
47518	MAC000037	0.000	2012-01-01 00:00:00.0000000
...

Άθροισμα όλων των μετρητών για κάθε ώρα της ημέρας .

```

count = 0
Table83 =pd.DataFrame({'LCLid': [], 'energy(kWh/hh)': [], 'tstp': []})
while(count<len(Exx.index)):
    count=count+38
    Head=Exx[(count-38):count]
    Sum=Head['energy(kWh/hh)'].astype(float).sum()
    Date=Head.tstp.head(1).item()
    ID=Head.LCLid.head(1).item()
    Value=pd.DataFrame({'LCLid': [ID], 'energy(kWh/hh)': [Sum], 'tstp': [Date]})
    Table83=Table83.append(Value, ignore_index=True)
Table83

```

	LCLid	energy(kWh/hh)	tstp
0	MAC000015	24.527	2012-01-01 00:00:00.0000000
1	MAC000031	27.649	2012-01-01 01:00:00.0000000
2	MAC000018	22.963	2012-01-01 02:00:00.0000000
3	MAC000017	15.984	2012-01-01 03:00:00.0000000
4	MAC000051	11.007	2012-01-01 04:00:00.0000000
...
2155	MAC000016	20.006	2012-03-30 19:00:00.0000000
2156	MAC000048	21.456	2012-03-30 20:00:00.0000000
2157	MAC000050	18.932	2012-03-30 21:00:00.0000000
2158	MAC000032	17.230	2012-03-30 22:00:00.0000000
2159	MAC000049	6.914	2012-03-30 23:00:00.0000000

2160 rows x 3 columns

Z) Τέλος φιλτράρουμε ξανά τον πίνακα μας ως προς την ώρα , ώστε να προκύψουν ουσιαστικά 90 μονώωρα 24ης φορές.

Προκύπτει λοιπόν ο μέσος όρος , η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή φορτίου για ένα 24ώρο του χειμώνα . Η διαδικασία φαίνεται παρακάτω.

Φιλτράρισμα του πίνακα ως προς την ώρα .

```
Almost = Table83
```

```

Almost
Almost=pd.to_datetime(Almost.tstp)
A=Almost.dt.time.sort_values()
B=Table83.reindex(A.index)
B

```

	LCLid	energy(kWh/hh)	tstp
0	MAC000015	24.527	2012-01-01 00:00:00.0000000
1392	MAC000049	22.635	2012-02-28 00:00:00.0000000
1368	MAC000040	16.889	2012-02-27 00:00:00.0000000
1344	MAC000020	22.677	2012-02-26 00:00:00.0000000
192	MAC000048	19.718	2012-01-09 00:00:00.0000000
...
1439	MAC000023	17.215	2012-02-29 23:00:00.0000000
1463	MAC000029	18.821	2012-03-01 23:00:00.0000000
1487	MAC000015	20.492	2012-03-02 23:00:00.0000000
1295	MAC000042	14.155	2012-02-23 23:00:00.0000000
2159	MAC000049	6.914	2012-03-30 23:00:00.0000000

2160 rows x 3 columns

Υπολογισμός μέσου όρου , μέγιστης και ελάχιστης τιμής .

```

count = 0
Winter_last_one =pd.DataFrame({'Sum': [], 'Max': [], 'Min': [], 'Date': []})
while(count<2160):
    count=count+90
    Head=B[(count-90):count]
    Sum=Head['energy(kWh/hh)'].astype(float).sum()/90
    Date=Head.tstp.head(1).item()
    Max=Head['energy(kWh/hh)'].astype(float).max()
    Min=Head['energy(kWh/hh)'].astype(float).min()
    Value=pd.DataFrame({'Sum': [Sum], 'Max': [Max], 'Min': [Min], 'Date': [Date]})
    Winter_last_one=Winter_last_one.append(Value, ignore_index=True)

```

Winter_last_one

	Sum	Max	Min	Date
0	27.666489	44.685001	11.951	2012-01-01 00:00:00.0000000
1	26.916133	46.199000	9.554	2012-03-20 01:00:00.0000000
2	22.857333	50.387000	7.953	2012-03-25 02:00:00.0000000
3	18.186811	34.667000	6.777	2012-02-07 03:00:00.0000000
4	14.998367	33.623000	6.261	2012-02-12 04:00:00.0000000
5	14.139678	26.143000	9.044	2012-01-07 05:00:00.0000000
6	15.335678	22.325000	10.120	2012-02-11 06:00:00.0000000
7	16.482700	27.852000	10.758	2012-01-15 07:00:00.0000000
8	18.513378	28.801000	11.499	2012-03-12 08:00:00.0000000
9	19.588133	31.060000	11.123	2012-03-20 09:00:00.0000000
10	20.449333	33.337000	10.599	2012-03-25 10:00:00.0000000
11	21.942511	40.167000	12.506	2012-02-28 11:00:00.0000000
12	23.167733	44.787000	12.911	2012-01-24 12:00:00.0000000
13	24.055233	50.213000	10.743	2012-02-23 13:00:00.0000000
14	24.665856	43.310000	14.353	2012-03-01 14:00:00.0000000
15	26.001711	52.011000	15.091	2012-01-13 15:00:00.0000000
16	26.385833	40.741000	11.878	2012-02-06 16:00:00.0000000
17	28.876700	46.736999	15.831	2012-02-04 17:00:00.0000000
18	31.487967	48.215000	16.683	2012-01-19 18:00:00.0000000
19	32.185133	51.492000	19.557	2012-03-14 19:00:00.0000000
20	29.679122	41.048000	15.767	2012-03-28 20:00:00.0000000
21	27.568867	39.407000	16.465	2012-01-16 21:00:00.0000000
22	23.244144	33.150000	13.287	2012-03-01 22:00:00.0000000
23	20.526622	40.749000	6.914	2012-03-27 23:00:00.0000000

4.6 Matplotlib

Το Matplotlib είναι μια βιβλιοθήκη σχεδίασης για τη γλώσσα προγραμματισμού Python . Στην παρούσα διπλωματική εργασία χρησιμοποιήθηκε σε μεγάλο βαθμό για να προκύψουν όλα τα διαγράμματα που χρειάστηκαν . Όπως για παράδειγμα στα δεδομένα που προέκυψαν προηγουμένως από τους έξυπνους μετρητές .

Η διαδικασία που ακολουθείται είναι η εξής :

Α) Αρχικά εισάγουμε την βιβλιοθήκη με την εντολή “ import matplotlib.pyplot as plt ” , και τα δεδομένα που θέλουμε να αναπαραστήσουμε στο διάγραμμα σε excel μορφή.

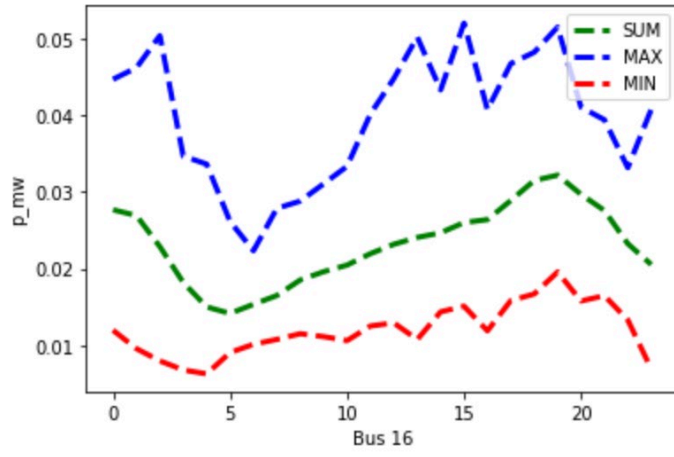
```
In [1]: import pandas as pd
        KD = pd.read_excel("Winter_last_one.xlsx")
        ND = pd.read_excel("Winter_last_two.xlsx")
```

Γ) Έπειτα ορίζουμε τις συντεταγμένες και το όνομα αυτών με τον εξής τρόπο που φαίνεται παρακάτω

```
plt.plot(INDEXKD, KD.Sum, label= "SUM",color='green', linestyle='dashed', linewidth = 3 )
plt.plot(INDEXKD, KD.Max, label= "MAX",color='blue', linestyle='dashed', linewidth = 3 )
plt.plot(INDEXKD, KD.Min , label= "MIN",color='red', linestyle='dashed', linewidth = 3 )

plt.xlabel('Bus 16')
plt.ylabel('p_mw')
```

Δ) Τέλος με την εντολή “plt.show()” , εκτυπώνεται το διάγραμμα . Όπως φαίνεται παρακάτω

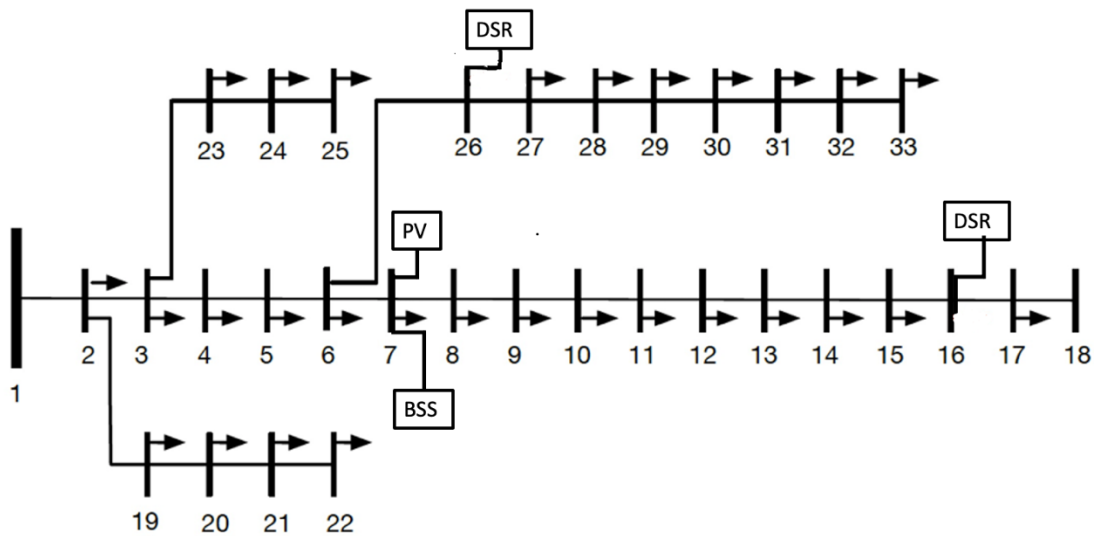


ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Εφαρμογές

5.1 Περιγραφή του δικτύου

Στην παρούσα ανάλυση, σαν σημείο αναφοράς χρησιμοποιήθηκε το δίκτυο της << IEEE 33-Bus System >> (29). Η σχηματική αναπαράσταση του δικτύου φαίνεται στην εικόνα (5.1). Το δίκτυο αποτελείται από 33 ζυγούς, εκ των οποίων ο ζυγός ένα είναι και ο slack bus. Η μέγιστη ενεργός ισχύ του δικτύου είναι 3 mw και 3mvar άεργος ισχύ. Όλοι οι ζυγοί είναι σε λειτουργία και έχουν ως τάση βάσης $V_n = 12,66 \text{ kv}$. Τα όρια της τάσης κάθε ζυγού κυμαίνονται στο 5% της αρχικής τους τιμής, δηλαδή $V_{\min} = 0.95 \text{ pu}$ και $V_{\max} = 1.05 \text{ pu}$. Επίσης όλοι οι ζυγοί ενώνονται μεταξύ τους με γραμμές. Συνολικά το δίκτυο έχει 32 γραμμές μεταφοράς ρεύματος, όπου έχουν μήκος ενός χιλιομέτρου και μέγιστο ρεύμα που μπορεί να διαπεράσει 0.12 ka. Το συνολικό φορτίο του δικτύου είναι περίπου 1,5 mw και .



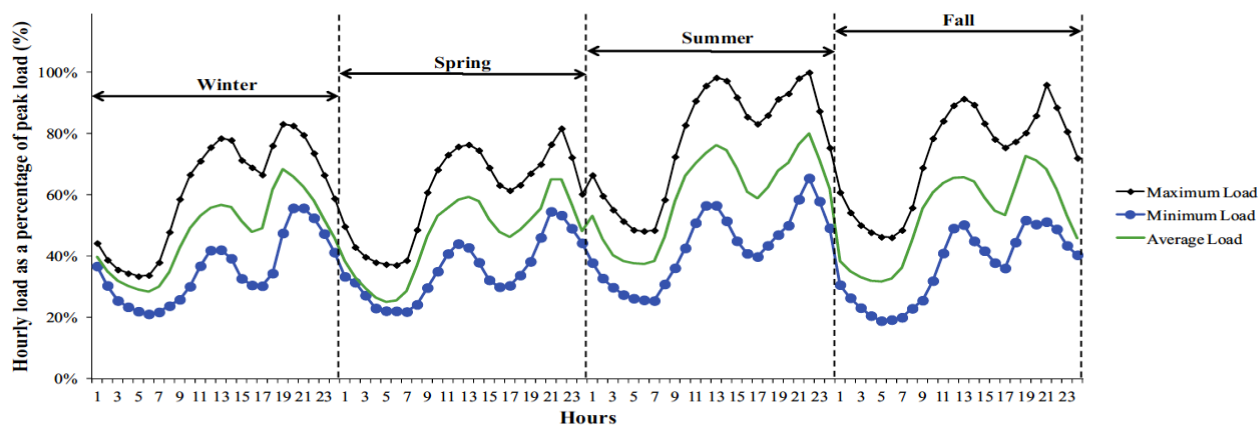
Εικόνα 5.1 Σχηματική αναπαράσταση του δικτύου

Για την παρούσα διπλωματική εργασία έχουν επίσης τοποθετηθεί μια μπαταρία (BBS), ένα φωτοβολταϊκό σύστημα (PV) και δύο ζυγοί όπου λειτουργούν με ευέλικτη ζήτηση (DSR). Συγκεκριμένα για την μείωση των απωλειών έχουν τοποθετηθεί η μπαταρία και το φωτοβολταϊκό σύστημα στον ζυγό 7 (30) και έχουν επιλεχτεί οι ζυγοί 16 και 26 να λειτουργούν με ευέλικτη ζήτηση. Η μπαταρία έχει ονομαστική χωρητικότητα ενέργειας

3MWh , έχει μέγιστη ισχύ φόρτισης και εκφόρτισης 1mw ανα ώρα και καθόλη την διάρκεια της ημέρας δεν μπορεί να πέσει η ενέργεια της κάτω από 0,5MWh (ελάχιστο επίπεδο φόρτισης).

Για το φωτοβολταϊκό σύστημα , έχει επιλεγεί ως μοντέλο το “Kyocera_Solar_KS16_2003_E_” με inverter “ABB_MICRO_0_25_I_OUTD_US_208_208V_” . Η εγκατεστημένη ισχύς του φωτοβολταϊκού συστήματος είναι 5MWh .

Επίσης , στα σενάρια που τρέχουμε χρησιμοποιούμε δεδομένα για ένα αντιπροσωπευτικό 24ώρο για μια συγκεκριμένη εποχή του χρόνου . Σε πραγματικές συνθήκες εφαρμογής ενός τέτοιου εργαλείου θα χρησιμοποιούσαμε προβλέψεις για τις επόμενες ώρες ή ημέρα (ζήτησης και παραγωγής), ενώ τώρα για πρακτικούς σκοπούς χρησιμοποιούμε δεδομένα που έχουμε στην διάθεση μας. Συγκεκριμένα τα φορτία κάθε ζυγού για κάθε ώρα της ημέρας έχουν παρθεί από την παρακάτω εικόνα . Όπου φαίνονται η μέγιστη , ελάχιστη και ο μέσος ώρος τιμές φορτίου για κάθε ώρα ανάλογα από την εποχή του χρόνου . Για να προκύψουν όμως οι τελικές τιμές των φορτίων για κάθε σενάριο , πολλαπλασιάστηκε η τιμή κάθε ζυγού από το δίκτυο ieee 33-bus system με το ποσοστό της παρακάτω εικόνας .



Εικόνα 5.1 : Ποσοστιαία τιμή ενεργού ισχύος σε σχέση με την μέγιστη τιμή, για ένα 24ωρο για κάθε εποχή του χρόνου(31)

Για τα φορτία των ζυγών 16 και 26 , τα δεδομένα για κάθε ώρα του 24ώρου έχουν προκύψει από πραγματικά δεδομένα έξυπνων μετρητών στο Λονδίνο της Αγγλίας(32). Οι ζυγοί αυτοί έχουν την δυνατότητα μείωσης του φορτίου τους για μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή της ημέρας σε περίπτωση που θεωρηθεί απαραίτητο από το σύστημα για την ομαλότερη και καλύτερη λειτουργία του συστήματος. Συγκεκριμένα από 75 μετρητές έχουμε φιλτράρει τα δεδομένα ανα εποχή , προσθέσαμε τους μετρητές ανα ώρα και έπειτα βγάλαμε τον μέσο όρο ώστε να προκύψει ένα 24ώρο , όπου σε κάθε ώρα έχουμε το maximum , minimum και average load .

Τα βήματα που ακολουθήθηκαν για να προκύψουν τα τελικά δεδομένα είναι :

A) Από τους 75 μετρητές , χωρίσαμε 37 στον ένα ζυγό και 38 στον άλλον

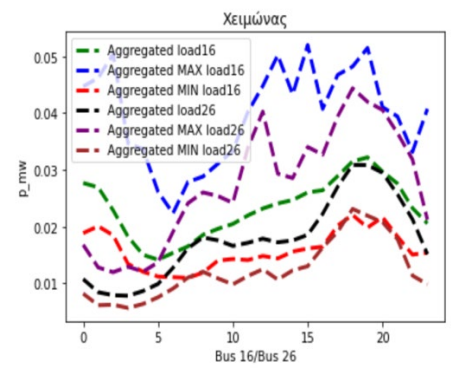
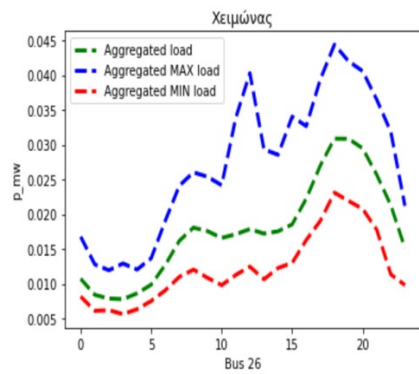
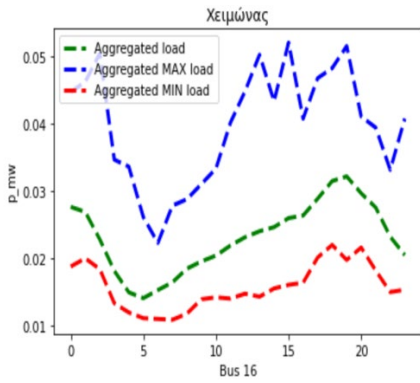
B) Στην συνέχεια κρατήσαμε τους μήνες του χειμώνα και του καλοκαιριού που μας ενδιαφέρουνε (Γενάρης - Φλεβάρης -Μάρτης / Ιούνιος – Ιούλιος - Αύγουστος)

Γ) Για κάθε μετρητή αθροίσαμε τις τιμές κάθε ώρας . Οπότε καταλήξαμε να έχουμε 90 μέρες όπου κάθε ώρα είχε το άθροισμα όλων των μετρητών.

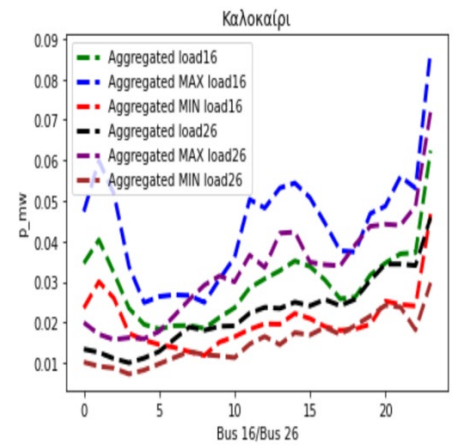
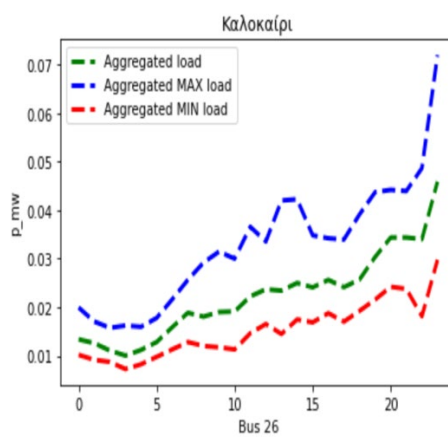
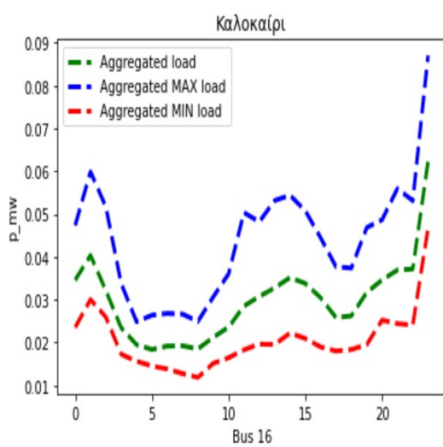
Δ) Τέλος βγάλαμε τον μέσο όρο , την μέγιστη και την ελάχιστη τιμή για ένα 24ώρο για το άθροισμα των 38 (αντίστοιχα 37) μετρητών για τον χειμώνα .

Συνεπώς στο σύστημα μας , της IEEE 33 bus system οι τιμές των ζυγών 16 και 26 στο 24ωρο του χειμώνα είχαν ως τιμή φορτίου τον μέσο όρο που προέκυψε , αλλά δινόταν η δυνατότητα στο σύστημα να επιλέγει τιμή φορτίου μεταξύ της μέγιστης και της ελάχιστης τιμής που είχαν οι μετρητές ανάλογα από την ανάγκη του δικτύου .

Τα αποτελέσματα των ζυγών 16 και 26 για το 24ωρο του **χειμώνα** , παρουσιάζονται στις παρακάτω εικόνες .



Τα αποτελέσματα των ζυγών 16 και 26 για το 24ωρο του **καλοκαιριού** , παρουσιάζονται στις παρακάτω εικόνες .



5.2 Περιγραφή σεναρίων

Στην παρούσα διπλωματική εργασία , έχουν μοντελοποιηθεί δύο διαφορετικά σεναρία ως προς την εποχή του χρόνου που επιλέχθηκαν να πάρουμε τα δεδομένα και αναλύονται δύο διαφορετικά προβλήματα που προκύπτουν στο δίκτυο μαζί με τις λύσεις τους. Συγκεκριμένα φαίνονται αναλυτικότερα οι επιλογές των σεναρίων στον παρακάτω πίνακα.

	(1) Χειμώνας	(2) Καλοκαίρι
Σενάριο A	Διαχείριση υπερφόρτωσης γραμμών	Διαχείριση υπερφόρτωσης γραμμών
Σενάριο B	Διαχείριση παραβίασης ορίων τάσης ζυγών	Διαχείριση παραβίασης ορίων τάσης ζυγών

5.3 Εισαγωγή σεναρίου χειμώνα

Αρχικά το πρώτο μέρος των σεναρίων απευθύνεται στην εποχή του χειμώνα . Τα δεδομένα όλου του δικτύου έχουν παρθεί από ρεαλιστικές τιμές χειμερινών δεδομένων . Αναλυτικότερα θα επεξηγηθούν παρακάτω τα δεδομένα κάθε στοιχείου του δικτύου για την χειμερινή περίοδο .

I) Τα φορτία των ζυγών .

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως , για να προκύψουν η ενεργός και άεργος ισχύς κάθε ζυγού (εκτός των ζυγών 16 και 26 που λειτουργούν ευελιξία) , χρησιμοποιήθηκε η παραπάνω εικόνα που αντικατοπτρίζει την ποσοστιαία μεταβολή των ζυγών ανα ώρα για την περίοδο του χειμώνα . Για να προκύψουν όμως οι τελικές τιμές των φορτίων , πολλαπλασιάστηκε η τιμή κάθε ζυγού από το δίκτυο IEEE 33-bus system με το αντίστοιχο ποσοστό . Παρακάτω φαίνονται αναλυτικά οι τιμές ενεργού και άεργου ισχύος για κάθε μια ώρα του 24ωρου.

Για την ενεργό κατανάλωση ισχύος (σε MW) για κάθε ζυγό ανα ώρα

	Bus0	Bus1	Bus2	Bus3	Bus4	Bus5	Bus6	Bus7	Bus8	Bus9	Bus10	Bus11	Bus12	Bus13	Bus14
0	0,04	0,036	0,048	0,024	0,024	0,08	0,08	0,024	0,024	0,018	0,024	0,024	0,048	0,024	0,024
1	0,036	0,0324	0,0432	0,0216	0,0216	0,072	0,072	0,0216	0,0216	0,0162	0,0216	0,0216	0,0432	0,0216	0,0216
2	0,032	0,0288	0,0384	0,0192	0,0192	0,064	0,064	0,0192	0,0192	0,0144	0,0192	0,0192	0,0384	0,0192	0,0192
3	0,031	0,0279	0,0372	0,0186	0,0186	0,062	0,062	0,0186	0,0186	0,01395	0,0186	0,0186	0,0372	0,0186	0,0186
4	0,03	0,027	0,036	0,018	0,018	0,06	0,06	0,018	0,018	0,0135	0,018	0,018	0,036	0,018	0,018
5	0,03	0,027	0,036	0,018	0,018	0,06	0,06	0,018	0,018	0,0135	0,018	0,018	0,036	0,018	0,018
6	0,032	0,0288	0,0384	0,0192	0,0192	0,064	0,064	0,0192	0,0192	0,0144	0,0192	0,0192	0,0384	0,0192	0,0192
7	0,036	0,0324	0,0432	0,0216	0,0216	0,072	0,072	0,0216	0,0216	0,0162	0,0216	0,0216	0,0432	0,0216	0,0216
8	0,044	0,0396	0,0528	0,0264	0,0264	0,088	0,088	0,0264	0,0264	0,0198	0,0264	0,0264	0,0528	0,0264	0,0264
9	0,048	0,0432	0,0576	0,0288	0,0288	0,096	0,096	0,0288	0,0288	0,0216	0,0288	0,0288	0,0576	0,0288	0,0288
10	0,052	0,0468	0,0624	0,0312	0,0312	0,104	0,104	0,0312	0,0312	0,0234	0,0312	0,0312	0,0624	0,0312	0,0312
11	0,05	0,045	0,06	0,03	0,03	0,1	0,1	0,03	0,03	0,0225	0,03	0,03	0,06	0,03	0,03
12	0,058	0,0522	0,0696	0,0348	0,0348	0,116	0,116	0,0348	0,0348	0,0261	0,0348	0,0348	0,0696	0,0348	0,0348
13	0,058	0,0522	0,0696	0,0348	0,0348	0,116	0,116	0,0348	0,0348	0,0261	0,0348	0,0348	0,0696	0,0348	0,0348
14	0,054	0,0486	0,0648	0,0324	0,0324	0,108	0,108	0,0324	0,0324	0,0243	0,0324	0,0324	0,0648	0,0324	0,0324
15	0,05	0,045	0,06	0,03	0,03	0,1	0,1	0,03	0,03	0,0225	0,03	0,03	0,06	0,03	0,03
16	0,052	0,0468	0,0624	0,0312	0,0312	0,104	0,104	0,0312	0,0312	0,0234	0,0312	0,0312	0,0624	0,0312	0,0312
17	0,066	0,0594	0,0792	0,0396	0,0396	0,132	0,132	0,0396	0,0396	0,0297	0,0396	0,0396	0,0792	0,0396	0,0396
18	0,072	0,0648	0,0864	0,0432	0,0432	0,144	0,144	0,0432	0,0432	0,0324	0,0432	0,0432	0,0864	0,0432	0,0432
19	0,066	0,0594	0,0792	0,0396	0,0396	0,132	0,132	0,0396	0,0396	0,0297	0,0396	0,0396	0,0792	0,0396	0,0396
20	0,06	0,054	0,072	0,036	0,036	0,12	0,12	0,036	0,036	0,027	0,036	0,036	0,072	0,036	0,036
21	0,056	0,0504	0,0672	0,0336	0,0336	0,112	0,112	0,0336	0,0336	0,0252	0,0336	0,0336	0,0672	0,0336	0,0336
22	0,05	0,045	0,06	0,03	0,03	0,1	0,1	0,03	0,03	0,0225	0,03	0,03	0,06	0,03	0,03
23	0,026	0,0234	0,0312	0,0156	0,0156	0,052	0,052	0,0156	0,0156	0,0117	0,0156	0,0156	0,0312	0,0156	0,0156

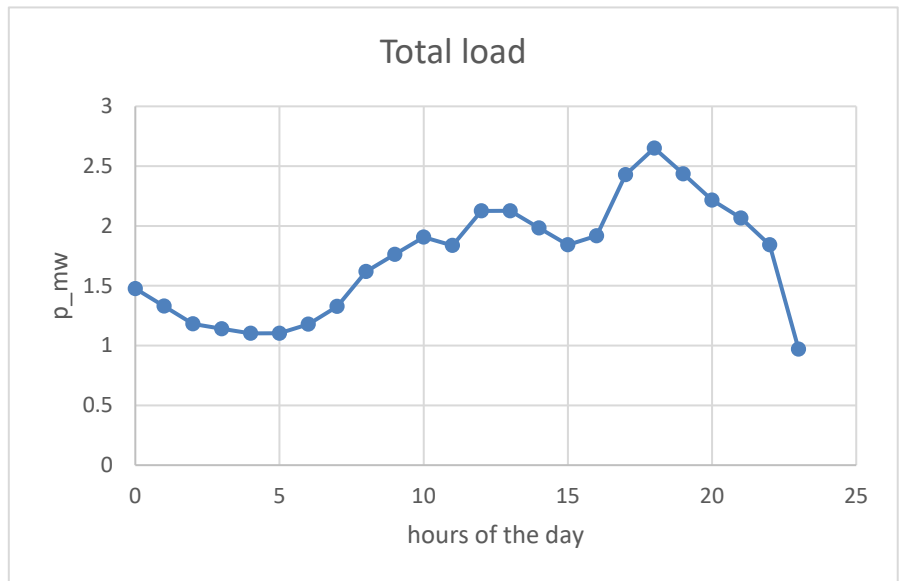
Bus15	Bus17	Bus18	Bus19	Bus20	Bus21	Bus22	Bus23	Bus24	Bus25	Bus27	Bus28	Bus29	Bus30	Bus31
0,024	0,036	0,036	0,036	0,036	0,036	0,168	0,168	0,024	0,024	0,048	0,08	0,06	0,084	0,024
0,0216	0,0324	0,0324	0,0324	0,0324	0,0324	0,1512	0,1512	0,0216	0,0216	0,0432	0,072	0,054	0,0756	0,0216
0,0192	0,0288	0,0288	0,0288	0,0288	0,0288	0,1344	0,1344	0,0192	0,0192	0,0384	0,064	0,048	0,0672	0,0192
0,0186	0,0279	0,0279	0,0279	0,0279	0,0279	0,1302	0,1302	0,0186	0,0186	0,0372	0,062	0,0465	0,0651	0,0186
0,018	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,126	0,126	0,018	0,018	0,036	0,06	0,045	0,063	0,018
0,018	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,126	0,126	0,018	0,018	0,036	0,06	0,045	0,063	0,018
0,0192	0,0288	0,0288	0,0288	0,0288	0,0288	0,1344	0,1344	0,0192	0,0192	0,0384	0,064	0,048	0,0672	0,0192
0,0216	0,0324	0,0324	0,0324	0,0324	0,0324	0,1512	0,1512	0,0216	0,0216	0,0432	0,072	0,054	0,0756	0,0216
0,0264	0,0396	0,0396	0,0396	0,0396	0,0396	0,1848	0,1848	0,0264	0,0264	0,0528	0,088	0,066	0,0924	0,0264
0,0288	0,0432	0,0432	0,0432	0,0432	0,0432	0,2016	0,2016	0,0288	0,0288	0,0576	0,096	0,072	0,1008	0,0288
0,0312	0,0468	0,0468	0,0468	0,0468	0,0468	0,2184	0,2184	0,0312	0,0312	0,0624	0,104	0,078	0,1092	0,0312
0,03	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,21	0,21	0,03	0,03	0,06	0,1	0,075	0,105	0,03
0,0348	0,0522	0,0522	0,0522	0,0522	0,0522	0,2436	0,2436	0,0348	0,0348	0,0696	0,116	0,087	0,1218	0,0348
0,0348	0,0522	0,0522	0,0522	0,0522	0,0522	0,2436	0,2436	0,0348	0,0348	0,0696	0,116	0,087	0,1218	0,0348
0,0324	0,0486	0,0486	0,0486	0,0486	0,0486	0,2268	0,2268	0,0324	0,0324	0,0648	0,108	0,081	0,1134	0,0324
0,03	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,21	0,21	0,03	0,03	0,06	0,1	0,075	0,105	0,03
0,0312	0,0468	0,0468	0,0468	0,0468	0,0468	0,2184	0,2184	0,0312	0,0312	0,0624	0,104	0,078	0,1092	0,0312
0,0396	0,0594	0,0594	0,0594	0,0594	0,0594	0,2772	0,2772	0,0396	0,0396	0,0792	0,132	0,099	0,1386	0,0396
0,0432	0,0648	0,0648	0,0648	0,0648	0,0648	0,3024	0,3024	0,0432	0,0432	0,0864	0,144	0,108	0,1512	0,0432
0,0396	0,0594	0,0594	0,0594	0,0594	0,0594	0,2772	0,2772	0,0396	0,0396	0,0792	0,132	0,099	0,1386	0,0396
0,036	0,054	0,054	0,054	0,054	0,054	0,252	0,252	0,036	0,036	0,072	0,12	0,09	0,126	0,036
0,0336	0,0504	0,0504	0,0504	0,0504	0,0504	0,2352	0,2352	0,0336	0,0336	0,0672	0,112	0,084	0,1176	0,0336
0,03	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,21	0,21	0,03	0,03	0,06	0,1	0,075	0,105	0,03
0,0156	0,0234	0,0234	0,0234	0,0234	0,0234	0,1092	0,1092	0,0156	0,0156	0,0312	0,052	0,039	0,0546	0,0156

Για την άεργο κατανάλωση ισχύος (σε MVAR) για κάθε ζυγό ανα ώρα.

	Bus 0	Bus1	Bus2	Bus3	Bus4	Bus5	Bus6	Bus7	Bus8	Bus9	Bus10	Bus11	Bus12	Bus13	Bus14
0	0,024	0,016	0,032	0,012	0,008	0,04	0,04	0,008	0,012	0,012	0,014	0,014	0,032	0,004	0,008
1	0,0216	0,0144	0,0288	0,0108	0,0072	0,036	0,036	0,0072	0,0072	0,0108	0,0126	0,0126	0,0288	0,0036	0,0072
2	0,0192	0,0128	0,0256	0,0096	0,0064	0,032	0,032	0,0064	0,0064	0,0096	0,0112	0,0112	0,0256	0,0032	0,0064
3	0,0186	0,0124	0,0248	0,0093	0,0062	0,031	0,031	0,0062	0,0062	0,0093	0,01085	0,01085	0,0248	0,0031	0,0062
4	0,018	0,012	0,024	0,009	0,006	0,03	0,03	0,006	0,006	0,009	0,0105	0,0105	0,024	0,003	0,006
5	0,018	0,012	0,024	0,009	0,006	0,03	0,03	0,006	0,006	0,009	0,0105	0,0105	0,024	0,003	0,006
6	0,0192	0,0128	0,0256	0,0096	0,0064	0,032	0,032	0,0064	0,0064	0,0096	0,0112	0,0112	0,0256	0,0032	0,0064
7	0,0216	0,0144	0,0288	0,0108	0,0072	0,036	0,036	0,0072	0,0072	0,0108	0,0126	0,0126	0,0288	0,0036	0,0072
8	0,0264	0,0176	0,0352	0,0132	0,0088	0,044	0,044	0,0088	0,0088	0,0132	0,0154	0,0154	0,0352	0,0044	0,0088
9	0,0288	0,0192	0,0384	0,0144	0,0096	0,048	0,048	0,0096	0,0096	0,0144	0,0168	0,0168	0,0384	0,0048	0,0096
10	0,0312	0,0208	0,0416	0,0156	0,0104	0,052	0,052	0,0104	0,0104	0,0156	0,0182	0,0182	0,0416	0,0052	0,0104
11	0,03	0,02	0,04	0,015	0,01	0,05	0,05	0,01	0,01	0,015	0,0175	0,0175	0,04	0,005	0,01
12	0,0348	0,0232	0,0464	0,0174	0,0116	0,058	0,058	0,0116	0,0116	0,0174	0,0203	0,0203	0,0464	0,0058	0,0116
13	0,0348	0,0232	0,0464	0,0174	0,0116	0,058	0,058	0,0116	0,0116	0,0174	0,0203	0,0203	0,0464	0,0058	0,0116
14	0,0324	0,0216	0,0432	0,0162	0,0108	0,054	0,054	0,0108	0,0108	0,0162	0,0189	0,0189	0,0432	0,0054	0,0108
15	0,03	0,02	0,04	0,015	0,01	0,05	0,05	0,01	0,01	0,015	0,0175	0,0175	0,04	0,005	0,01
16	0,0312	0,0208	0,0416	0,0156	0,0104	0,052	0,052	0,0104	0,0104	0,0156	0,0182	0,0182	0,0416	0,0052	0,0104
17	0,0396	0,0264	0,0528	0,0198	0,0132	0,066	0,066	0,0132	0,0132	0,0198	0,0231	0,0231	0,0528	0,0066	0,0132
18	0,0432	0,0288	0,0576	0,0216	0,0144	0,072	0,072	0,0144	0,0144	0,0216	0,0252	0,0252	0,0576	0,0072	0,0144
19	0,0396	0,0264	0,0528	0,0198	0,0132	0,066	0,066	0,0132	0,0132	0,0198	0,0231	0,0231	0,0528	0,0066	0,0132
20	0,036	0,024	0,048	0,018	0,012	0,06	0,06	0,012	0,012	0,018	0,021	0,021	0,048	0,006	0,012
21	0,0336	0,0224	0,0448	0,0168	0,0112	0,056	0,056	0,0112	0,0112	0,0168	0,0196	0,0196	0,0448	0,0056	0,0112
22	0,03	0,02	0,04	0,015	0,01	0,05	0,05	0,01	0,01	0,015	0,0175	0,0175	0,04	0,005	0,01
23	0,0156	0,0104	0,0208	0,0078	0,0052	0,026	0,026	0,0052	0,0052	0,0078	0,0091	0,0091	0,0208	0,0026	0,0052
Bus15	Bus17	Bus18	Bus19	Bus20	Bus21	Bus22	Bus23	Bus24	Bus25	Bus27	Bus28	Bus29	Bus30	Bus31	
0,008	0,016	0,016	0,016	0,016	0,02	0,08	0,08	0,01	0,01	0,028	0,24	0,028	0,04	0,016	
0,0072	0,0144	0,0144	0,0144	0,0144	0,018	0,072	0,072	0,009	0,009	0,0252	0,216	0,0252	0,036	0,0144	
0,0064	0,0128	0,0128	0,0128	0,0128	0,016	0,064	0,064	0,008	0,008	0,0224	0,192	0,0224	0,032	0,0128	
0,0062	0,0124	0,0124	0,0124	0,0124	0,0155	0,062	0,062	0,00775	0,00775	0,0217	0,186	0,0217	0,031	0,0124	
0,006	0,012	0,012	0,012	0,012	0,015	0,06	0,06	0,0075	0,0075	0,021	0,18	0,021	0,03	0,012	
0,006	0,012	0,012	0,012	0,012	0,015	0,06	0,06	0,0075	0,0075	0,021	0,18	0,021	0,03	0,012	
0,0064	0,0128	0,0128	0,0128	0,0128	0,016	0,064	0,064	0,008	0,008	0,0224	0,192	0,0224	0,032	0,0128	
0,0072	0,0144	0,0144	0,0144	0,0144	0,018	0,072	0,072	0,009	0,009	0,0252	0,216	0,0252	0,036	0,0144	
0,0088	0,0176	0,0176	0,0176	0,0176	0,022	0,088	0,088	0,011	0,011	0,0308	0,264	0,0308	0,044	0,0176	
0,0096	0,0192	0,0192	0,0192	0,0192	0,024	0,096	0,096	0,012	0,012	0,0336	0,288	0,0336	0,048	0,0192	
0,0104	0,0208	0,0208	0,0208	0,0208	0,026	0,104	0,104	0,013	0,013	0,0364	0,312	0,0364	0,052	0,0208	
0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,025	0,1	0,1	0,0125	0,0125	0,035	0,3	0,035	0,05	0,02	
0,0116	0,0232	0,0232	0,0232	0,0232	0,029	0,116	0,116	0,0145	0,0145	0,0406	0,348	0,0406	0,058	0,0232	
0,0116	0,0232	0,0232	0,0232	0,0232	0,029	0,116	0,116	0,0145	0,0145	0,0406	0,348	0,0406	0,058	0,0232	
0,0108	0,0216	0,0216	0,0216	0,0216	0,027	0,108	0,108	0,0135	0,0135	0,0378	0,324	0,0378	0,054	0,0216	
0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,025	0,1	0,1	0,0125	0,0125	0,035	0,3	0,035	0,05	0,02	
0,0104	0,0208	0,0208	0,0208	0,0208	0,026	0,104	0,104	0,013	0,013	0,0364	0,312	0,0364	0,052	0,0208	
0,0132	0,0264	0,0264	0,0264	0,0264	0,033	0,132	0,132	0,0165	0,0165	0,0462	0,396	0,0462	0,066	0,0264	
0,0144	0,0288	0,0288	0,0288	0,0288	0,036	0,144	0,144	0,018	0,018	0,0504	0,432	0,0504	0,072	0,0288	
0,0132	0,0264	0,0264	0,0264	0,0264	0,033	0,132	0,132	0,0165	0,0165	0,0462	0,396	0,0462	0,066	0,0264	
0,012	0,024	0,024	0,024	0,024	0,03	0,12	0,12	0,015	0,015	0,042	0,36	0,042	0,06	0,024	
0,0112	0,0224	0,0224	0,0224	0,0224	0,028	0,112	0,112	0,014	0,014	0,0392	0,336	0,0392	0,056	0,0224	
0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,025	0,1	0,1	0,0125	0,0125	0,035	0,3	0,035	0,05	0,02	
0,0052	0,0104	0,0104	0,0104	0,0104	0,013	0,052	0,052	0,0065	0,0065	0,0182	0,156	0,0182	0,026	0,0104	

Η συνολική κατανάλωση ισχύος των φορτίων ανα ώρα φαίνεται στον παρακάτω πίνακα .

	Total load
0	1,476377422
1	1,3295218
2	1,181127411
3	1,140413711
4	1,102113278
5	1,102504011
6	1,178439889
7	1,326852678
8	1,618378867
9	1,762744744
10	1,906429678
11	1,836555411
12	2,126121322
13	2,1263556
14	1,983501333
15	1,842034111
16	1,918013022
17	2,428574333
18	2,650747811
19	2,435718389
20	2,216145589
21	2,066441789
22	1,8420176
23	0,970335711

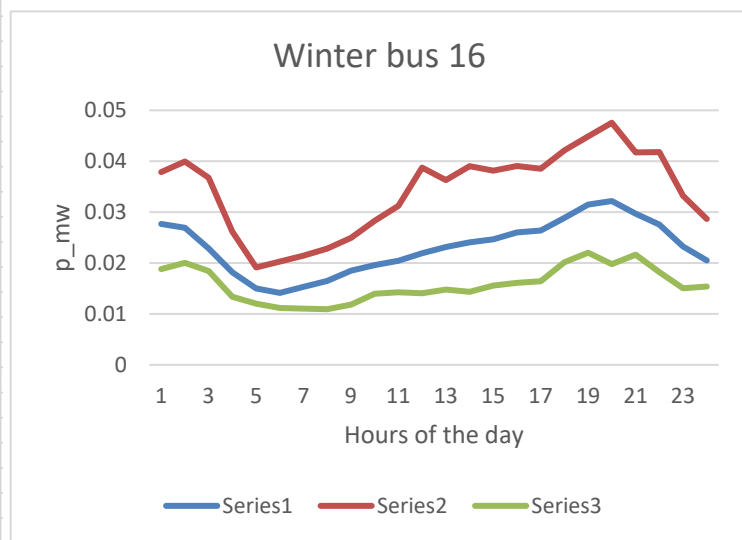


II) Τα φορτία των ζυγών 16 και 26 που λειτουργούν με ευελιξία .

Ο ζυγός 16 αποτελείται από μετρήσεις 38 μετρητών και ο ζυγός 26 από μετρήσεις 37 μετρητών. Ο πίνακας των τιμών για τα φορτία των ζυγών φαίνεται παρακάτω .

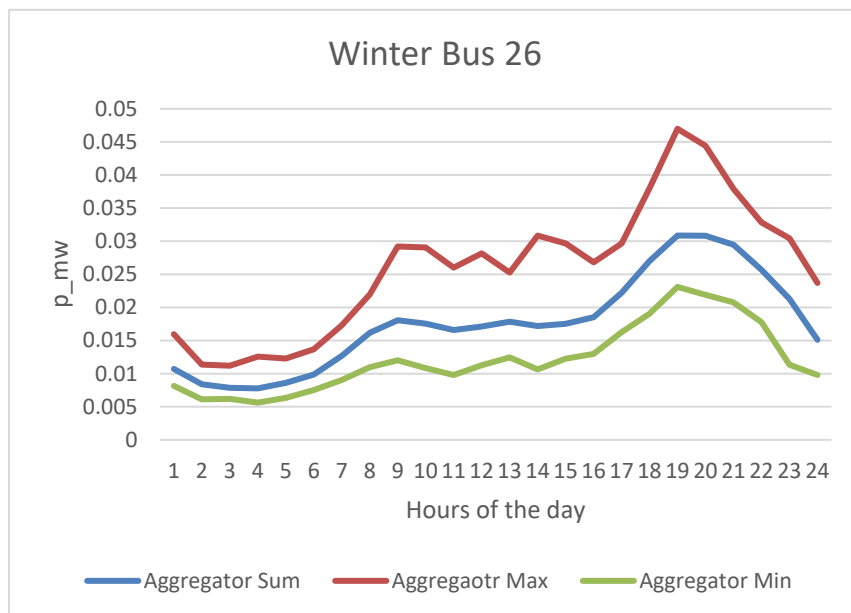
Η ενεργός κατανάλωση ισχύος για τον ζυγό 16 (σε MW)

Aggregator Average	Aggregator Max	Aggregator Min
0,027666489	0,037868363	0,01882997
0,026916133	0,039927491	0,02004084
0,022857333	0,036759489	0,01845137
0,018186811	0,026167758	0,01338657
0,014998367	0,019137542	0,01202208
0,014139678	0,020290081	0,01117057
0,015335678	0,021445084	0,01105937
0,0164827	0,022834184	0,01093515
0,018513378	0,024942108	0,01184699
0,019588133	0,028308761	0,01397792
0,020449333	0,03123989	0,01426886
0,021942511	0,03873658	0,01407489
0,023167733	0,036306133	0,01479816
0,024055233	0,039031729	0,0143606
0,024665856	0,038145819	0,01557358
0,026001711	0,039054129	0,01611638
0,026385833	0,038515424	0,01642892
0,0288767	0,042155009	0,02015903
0,031487967	0,04487543	0,02203324
0,032185133	0,047561161	0,0198008
0,029679122	0,041717995	0,02164228
0,027568867	0,041784945	0,01823366
0,023244144	0,033203518	0,01503986
0,020526622	0,028647202	0,0153899



Η ενεργός κατανάλωση ισχύος για τον ζυγό 26 (σε MW)

Aggregator Sum	Aggregaotr Max	Aggregator Min
0,010710933	0,015957803	0,008153995
0,008405667	0,011377873	0,006110669
0,007870078	0,01119987	0,006204559
0,0077769	0,012581486	0,005626844
0,008614911	0,012282787	0,006338493
0,009864333	0,013685934	0,00751575
0,012704211	0,017308099	0,009049625
0,016169978	0,021986832	0,010989356
0,018065489	0,029192588	0,01202648
0,017556611	0,029058882	0,01084219
0,016580344	0,026004845	0,009792434
0,0171129	0,028156441	0,011263246
0,017853589	0,025275148	0,012459158
0,017200367	0,03085119	0,010638058
0,017535478	0,029650261	0,012260934
0,0185324	0,026802201	0,012991367
0,022227189	0,02966043	0,016277276
0,026997633	0,03798892	0,019052059
0,030859844	0,046970131	0,023098465
0,030833256	0,04440682	0,021899709
0,029466467	0,03790215	0,020759649
0,025672922	0,032833861	0,017764604
0,021273456	0,030431297	0,011339111
0,015109089	0,023698163	0,009801444



Τα δεδομένα του κόστους παροχής ενέργειας , για κάθε πάροχο.

Προκυμμένον να ελαχιστοποιηθεί η ενέργεια που παίρνει ο ΔΔΗΕ από το εξωτερικό δίκτυο , έχουν δηλωθεί κάποια κόστη ενέργειας. Τα κόστη των μονάδων και των ευέλικτων στοιχείων έχουν επιλεχθεί, ώστε να αντικατοπτρίζουν τις ανάγκες και τις προτεραιότητες σύγχρονων δικτύων διανομής και των γενικότερων στόχων για την ενσωμάτωση των ΑΠΕ. Για τον λόγο αυτό οι τιμές που θα επιλεχθούν είναι τέτοιες ώστε να χρησιμοποιούνται περισσότερο οι μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής και η ευέλικτη ζήτηση και λιγότερο το εξωτερικό δίκτυο. Επίσης, έχουν επιλεχθεί για πειραματικούς σκοπούς και τέτοιες αναλογίες ώστε να προκύψουν οι προτεραιότητες που μας ενδιαφέρουν και δεν αντιπροσωπεύουν πραγματικές τιμές αγοράς. Συγκεκριμένα για το εξωτερικό δίκτυο , η χρέωση MWh είναι 10ευρο , για το φωτοβολταϊκό σύστημα είναι 2ευρο/ MWh και τέλος για κάθε MWh που παρέχουν ευελιξία στο δίκτυο οι ζυγοί 16/26 κοστίζει 8ευρο/ MWh . Άρα , είναι προτιμότερο από τον διαχειριστή να χρησιμοποιήσει σε πρώτη φάση το φωτοβολταϊκό σύστημα στην συνέχεια να χρησιμοποιήσει αποθέματα τις μπαταρίας , έπειτα να δεχτεί ευελιξία από τους καταναλωτές και τέλος να χρησιμοποιήσει ενέργεια από το δίκτυο .

5.4 Σενάριο 1Α , Διαχείριση υπερφόρτωσης γραμμών

Τα δεδομένα για το φωτοβολταϊκό σύστημα

Ως συντεταγμένες για το φωτοβολταϊκό σύστημα , επιλέχθηκαν οι συντεταγμένες του εργαστηρίου της σχολής. Συγκεκριμένα , Γεωγραφικό πλάτος =37.976223648368645 και Γεωγραφικό μήκος=23.779829453965057. Τα χαρακτηριστικά του φωτοβολταϊκού συστήματος φαίνονται παρακάτω. Όπου το GHI,DNI,DHI έχουν προκύψει από μια ιστοσελίδα του European Commission (33) και το Temperature (Celcius) , Wind Speed Base (m/s) από ένα αρχείο όπου φαίνονται οι θερμοκρασίες για την χρονιά του 2016 . Έχει επιλεγθεί η πρώτη μέρα του Ιανουαρίου.

GHI [W/m ²]	DNI	DHI	Temperature(Celcius)	Wind Speed Base(m/s)
0	0	0	9,19	5,43
0	0	0	9,36	5,29
0	0	0	9,52	5,15
0	0	0	9,69	5,01
0	0	0	9,63	4,91
0	0	0	9,56	4,8
72,25	23,85	47,26	9,49	4,7
299,62	171,97	123,84	10,7	4,55
458,18	277,08	175,06	11,91	4,4
558,65	342,89	208,27	13,12	4,25
566,26	342,58	215,94	13,89	3,87
548,14	329,74	210,9	14,65	3,49
490,28	295,03	188,61	15,42	3,12
401,69	232,53	163,78	15,45	2,68
279,76	158,2	117,97	15,49	2,23
129,62	69,98	58,13	15,52	1,79
0,04	0	0,04	14,47	1,77
0	0	0	13,41	1,74
0	0	0	12,35	1,71
0	0	0	11,78	2,29
0	0	0	11,21	2,87
0	0	0	10,63	3,45
0	0	0	10,54	3,87
0	0	0	10,46	4,29

Όπου ,

GHI = Global Horizontal Irradiance , είναι συνολική ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σε οριζόντια επιφάνεια

DNI = Direct Normal Irradiance , είναι το ποσό της ηλιακής ακτινοβολίας που λαμβάνεται ανά μονάδα εμβαδού από μια επιφάνεια που διατηρείται πάντα κάθετα στις ακτίνες που έρχονται

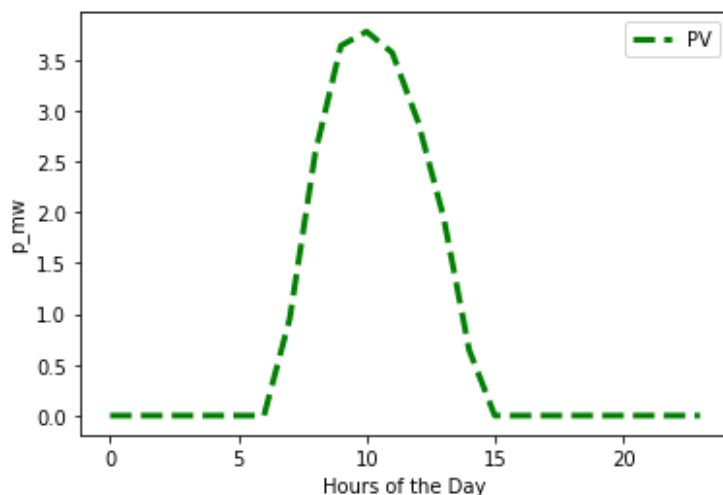
DHI = Diffuse Horizontal Irradiance , είναι η ποσότητα ακτινοβολίας που λαμβάνεται

ανά μονάδα επιφάνειας από μια επιφάνεια που δεν φτάνει σε άμεση πορεία από τον ήλιο, αλλά έχει διασκορπιστεί από μόρια και σωματίδια στην ατμόσφαιρα και προέρχεται εξίσου από όλες τις κατευθύνσεις

Temparture (Celcius) = Η θερμοκρασία σε βαθμούς κελσιου για κάθε μια ώρα του 24ώρου

Wind Speed Base (m/s) = Η ταχύτητα του ανέμου για κάθε μια ώρα του 24ώρου

Η μέγιστη ενέργεια που παρέχει το φωτοβολταϊκό σύστημα στο συγκεκριμένο 24ώρο , φαίνεται παρακάτω .



Τα δεδομένα της μπαταρίας

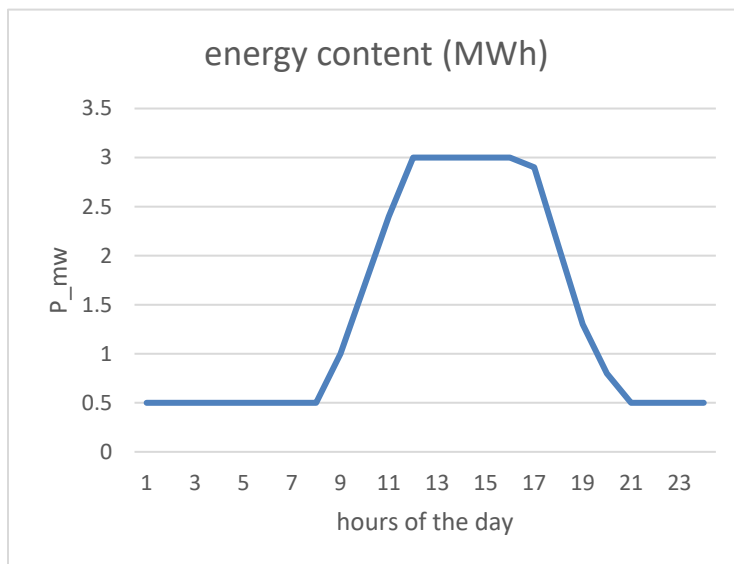
Όπως έχει αναφερθεί και προηγουμένως η μπαταρία ακολουθεί ένα συγκεκριμένο διάγραμμα ροής . Η μπαταρία του συστήματος , ακολουθεί κάποιες προδιαγραφές .

- Η ονομαστική χωρητικότητα της μπαταρίας είναι 3 MWh
- Το ελάχιστο επίπεδο φόρτισης της μπαταρίας δεν πέφτει κάτω από το 16,66% (δηλαδή 0,5 MWh)
- Η μέγιστη ισχύς φόρτισης/εκφόρτισης της μπαταρίας είναι 1MW

Έχοντας λάβει υπόψιν το συνολικό φορτίο του δικτύου ανα ώρα και την συνολική ενέργεια που μπορεί να προσφέρει το φωτοβολταϊκό σύστημα σε συνδυασμό με τις

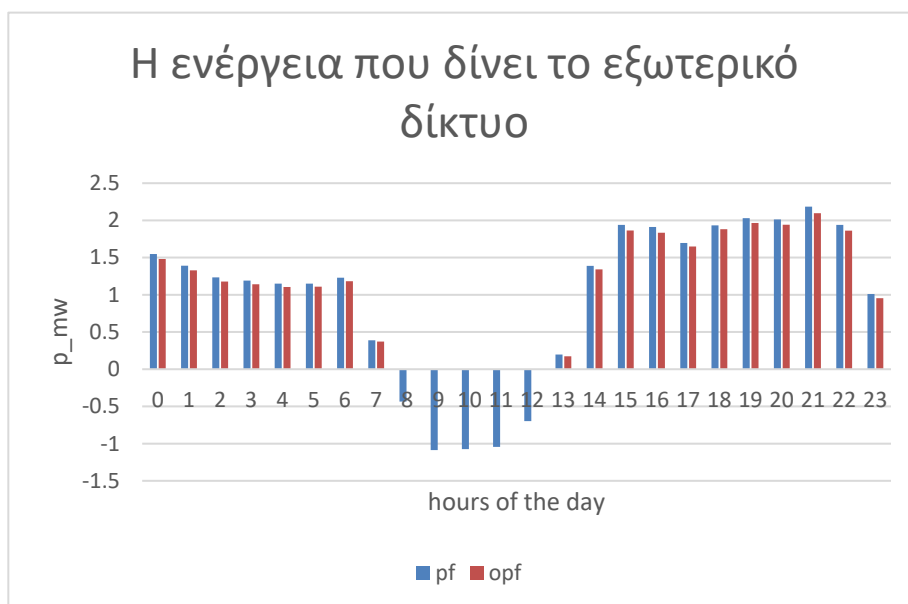
προϋποθέσεις του διαγράμματος ροής τις μπαταρίας , έχει προκύψει ο παρακάτω πίνακας που εμφανίζει την λειτουργία της μπαταρίας στο συγκεκριμένο 24ώρο.

	energy content (MWh)
0	0,5
1	0,5
2	0,5
3	0,5
4	0,5
5	0,5
6	0,5
7	0,5
8	1
9	1,7
10	2,4
11	3
12	3
13	3
14	3
15	3
16	2,9
17	2,1
18	1,3
19	0,8
20	0,5
21	0,5
22	0,5
23	0,5

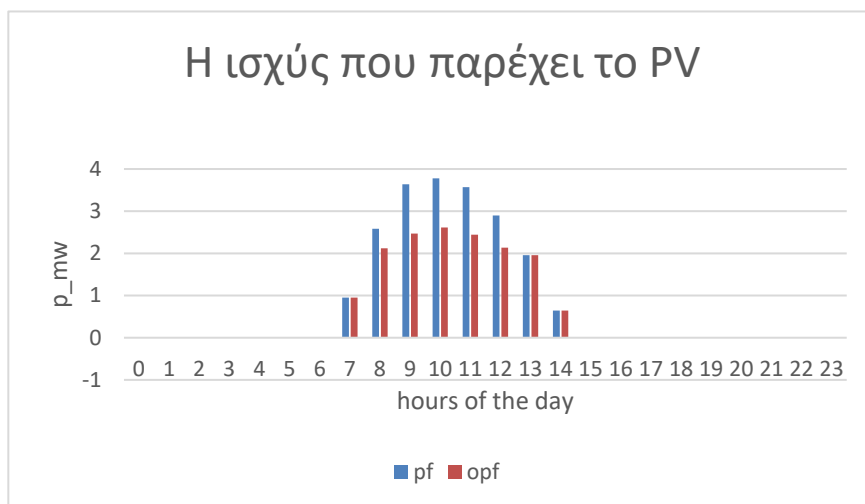


Συγκεκριμένα , φαίνεται ότι η μπαταρία είναι φορτισμένη στην αρχή της μέρας και τις ώρες 8 , 9 ,10,11 φορτίζεται η μπαταρία , ενώ τις ώρες 16,17,18,19 εκφορτίζεται .

Για το 24ωρο αυτό του χειμώνα , τρέχουμε την ροή ισχύος και την βέλτιστη ροή ισχύος .Παρακάτω φαίνονται οι τιμές του φωτοβολταϊκού συστήματος (PV) και η ενέργεια που προσφέρει ο πάροχος στο δίκτυο (ext_grid) στο 24ώρο .



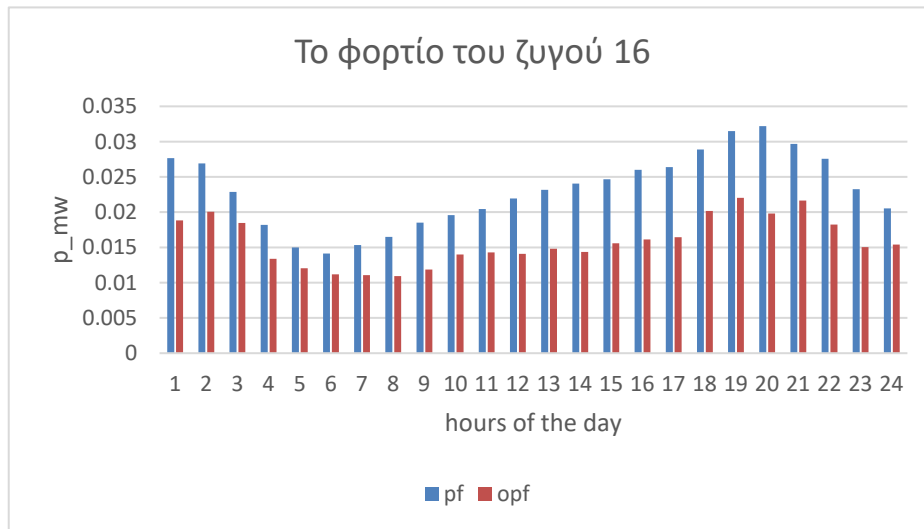
Παρατηρούμε ότι η ενέργεια που προσφέρει το εξωτερικό δίκτυο έχει ελαττωθεί στην βέλτιστη ροή ισχύος σε σχέση με την απλή ροή ισχύος. Στις αρνητικές τιμές σημαίνει ότι το εξωτερικό δίκτυο απορροφά περισευούμενη ισχύς από το δίκτυο διανομής και στις θετικές τιμές εγχέει ισχύ στο δίκτυο.



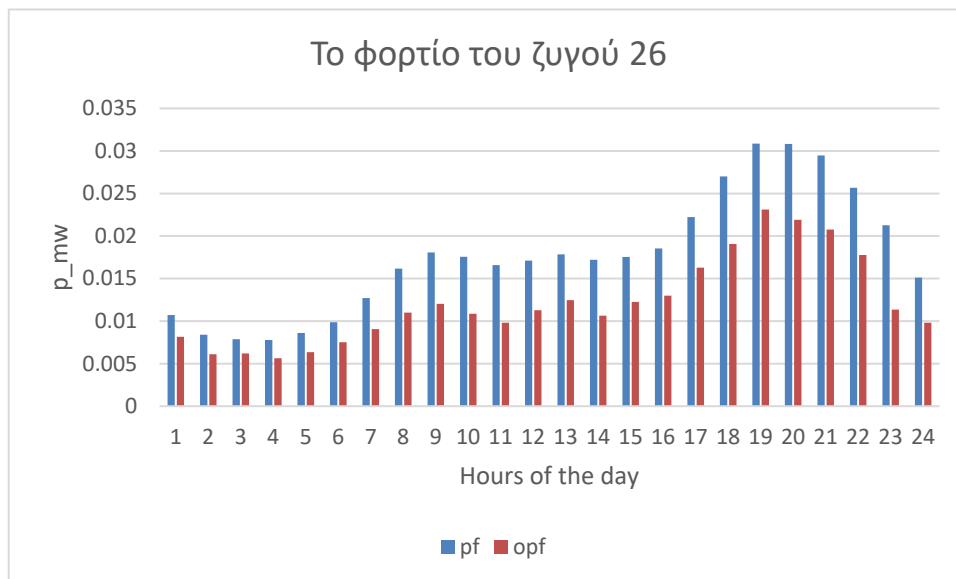
Παρατηρούμε ότι η ενέργεια που προσφέρει το φωτοβολταϊκό σύστημα έχει ελαττωθεί στην βέλτιστη ροή ισχύος σε σχέση με την απλή ροή ισχύος. Αναγκαστικά αποκόπτεται η παραγωγή του φωτοβολταϊκού συστήματος προκειμένου να μην προκύψουν υπερφορτώσεις, καθώς η παραγωγή του είναι τόσο μεγάλη που δεν μπορεί να απορροφηθεί όλη αυτές τις ώρες που η ζήτηση είναι πολύ υψηλή.

Όσον αφορά τα φορτία των ζυγών 16 και 26 που λειτουργούν με ευελιξία παρακάτω φαίνονται οι τιμές στους ζυγούς αυτούς στην ροή αλλά και στην βέλτιστη ροή ισχύος .

Για τον ζυγό 16



Για τον ζυγό 26



Παρατηρούμε ότι αρχικά παρουσιαζόντουσαν κάποιες υπερφορτώσεις στο δίκτυο την ώρα 10, 15, 20, 21, 22 άλλα με την βέλτιστη ροή ισχύς δεν υπάρχουν πλέον. Αυτό φαίνεται στους παρακάτω πίνακες ροής/βέλτιστης ροής ισχύος. Όπου οι τιμές που είναι με σκούρο κόκκινο πλησιάζουν και κάποιες ξεπερνούν το αποδεκτό ποσοστό ρεύματος στις γραμμές μεταφοράς. Οι τιμές που είναι άνω του 100 σημαίνει ότι στην συγκεκριμένη γραμμή την συγκεκριμένη ώρα ρέει ρεύμα ποσού μεγαλύτερου του 0,12KA που είναι το μέγιστο επιτρεπτό

Για την ροή ισχύς ,

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0	81,71413	79,34739	76,84077	77,11286	77,13942	86,97684	14,78133	11,41156	10,46146	9,51043	8,699919	7,652248	6,603954	4,466591	3,553756	2,591577
1	75,65795	73,7203	71,83437	72,117	72,15755	81,20142	13,36326	10,33128	9,476221	8,620429	7,891867	6,950026	6,007939	4,088609	3,266975	2,401695
2	69,60535	68,08305	66,78772	67,07768	67,1309	75,35913	11,83196	9,137227	8,377649	7,617625	6,970241	6,133466	5,296611	3,591131	2,862088	2,093984
3	67,88827	66,4683	65,32323	65,61602	65,67294	73,71133	11,32253	8,711683	7,976558	7,241203	6,613368	5,802174	4,990752	3,334467	2,630481	1,887426
4	66,32506	65,00559	64,00234	64,2965	64,35642	72,18567	10,86511	8,338352	7,627468	6,916514	6,308527	5,523194	4,737558	3,132103	2,452599	1,734567
5	66,34461	65,0248	64,0202	64,31414	64,37396	72,19311	10,83542	8,308582	7,597855	6,887099	6,278946	5,493472	4,707653	3,1012	2,422268	1,704584
6	69,42237	67,89982	66,60917	66,90023	66,954	75,16257	11,57081	8,8753	8,116996	7,358568	6,709708	5,871613	5,03307	3,318947	2,594202	1,828145
7	18,7764	16,8822	22,06049	23,56951	24,2198	41,96177	13,00009	9,967039	9,113758	8,260191	7,529597	6,585948	5,64155	3,710317	2,894653	2,032226
8	37,39003	38,44667	46,70017	47,91263	48,61995	60,89386	15,8557	12,1472	11,1038	10,05968	9,165256	8,01002	6,853285	4,486229	3,488397	2,432801
9	80,06289	81,49026	88,27099	89,11292	89,671	97,05525	17,28867	13,24228	12,1037	10,96412	9,987636	8,726396	7,463213	4,877659	3,788433	2,635936
10	83,00178	84,3002	91,32217	92,21185	92,8081	100,729	18,71627	14,33185	13,09806	11,86297	10,80428	9,436852	8,066987	5,262256	4,081622	2,832148
11	79,30627	80,65035	87,60466	88,48497	89,06882	96,92904	18,06942	13,85414	12,66759	11,47979	10,46255	9,148518	7,83238	5,139459	4,0031	2,801102
12	66,05855	66,64246	74,40918	75,54257	76,27675	87,73882	20,91157	16,01997	14,64294	13,26399	12,08203	10,55525	9,025247	5,892512	4,573288	3,17712
13	20,5238	14,50905	25,55144	28,02024	29,3103	54,52787	20,94271	16,05116	14,67395	13,29477	12,11296	10,58631	9,056464	5,924716	4,604802	3,208128
14	64,27203	59,79921	56,12471	56,75732	56,93905	74,34734	19,56342	15,01017	13,728	12,44415	11,34498	9,924953	8,502373	5,592126	4,362855	3,062776
15	97,12679	93,64445	89,48029	89,7137	89,70009	101,4592	18,21145	13,99647	12,80915	11,62037	10,60388	9,290461	7,975118	5,286765	4,147594	2,943808
16	94,31337	90,55861	86,1761	86,44144	86,4399	99,08582	18,92407	14,54004	13,3051	12,06855	11,01093	9,644377	8,275642	5,477573	4,292636	3,040251
17	74,73041	68,40418	62,23481	62,87025	63,03518	84,09215	23,91997	18,35181	16,7831	15,21138	13,86505	12,12553	10,38166	6,812273	5,305961	3,712272
18	84,58539	77,48551	69,90403	70,45692	70,57027	92,5498	26,12354	20,04754	18,33521	16,61902	15,14882	13,2491	11,34399	7,444043	5,798165	4,056664
19	92,80462	86,98771	80,39444	80,77754	80,81108	98,81305	24,0368	18,46884	16,89948	15,32693	13,98118	12,24212	10,49884	6,933083	5,424367	3,829068
20	95,17462	90,32544	84,70503	85,01766	85,02513	100,3909	21,84158	16,7812	15,35528	13,92692	12,70481	11,12563	9,543168	6,30708	4,937436	3,489438
21	106,8925	102,7225	97,50226	97,70358	97,66198	110,5026	20,36544	15,64326	14,31296	12,98067	11,84077	10,36791	8,892328	5,87496	4,598084	3,248196
22	97,11534	93,63233	89,46698	89,70028	89,68662	101,4242	18,11493	13,89974	12,71293	11,52481	10,50782	9,193976	7,878088	5,186633	4,049336	2,846709
23	61,46203	60,52054	59,99779	60,28391	60,34941	67,20721	9,670193	7,481588	6,864509	6,247201	5,722136	5,043379	4,364889	2,983594	2,391323	1,768075

	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
1,500681	6,000266	4,502108	3,001813	1,501097	15,8077	14,23978	7,124547	19,9184	19,02299	18,46849	17,63806	15,65133	7,211692	4,671544	1,107712	
1,349065	5,399058	4,050839	2,700889	1,350599	14,2154	12,80499	6,406259	17,86681	17,06221	16,59475	15,84824	14,0628	6,479123	4,196948	0,995168	
1,197601	4,798114	3,599805	2,400131	1,200187	12,62568	11,37263	5,68928	15,86744	15,15248	14,72718	14,06439	12,47964	5,74917	3,724061	0,883031	
1,159584	4,647915	3,487081	2,324965	1,162597	12,22858	11,01486	5,510207	15,36944	14,67685	14,26105	13,61917	12,08452	5,567012	3,606055	0,855048	
1,12169	4,497735	3,374373	2,249811	1,125013	11,8317	10,65728	5,331242	14,89615	14,22536	13,79548	13,17449	11,68988	5,385088	3,488201	0,827102	
1,121642	4,497736	3,374374	2,249812	1,125013	11,83171	10,65729	5,331247	14,92868	14,25715	13,79557	13,17458	11,68995	5,385122	3,488223	0,827107	
1,197148	4,798111	3,599803	2,400129	1,200187	12,62563	11,37259	5,689257	15,99325	15,27543	14,7273	14,06451	12,47974	5,749219	3,724093	0,883039	
1,348356	5,39772	4,049834	2,700219	1,350264	14,19324	12,78503	6,396257	18,00873	17,20224	16,53929	15,79526	14,01577	6,457418	4,182886	0,991833	
1,651817	6,598345	4,951066	3,301204	1,650832	17,34593	15,62591	7,818548	21,94978	20,96745	20,20229	19,29424	17,12129	7,889651	5,110767	1,211869	
1,804088	7,198504	5,401624	3,60167	1,801109	18,9165	17,04128	8,527292	23,86111	22,79287	22,01431	21,02522	18,65772	8,598422	5,569965	1,320765	
1,956699	7,799817	5,853087	3,902748	1,951696	20,50498	18,47289	9,244267	25,81335	24,65731	23,87535	22,80311	20,23587	9,326592	6,041747	1,432647	
1,880533	7,499188	5,627372	3,752219	1,876407	19,71148	17,75774	8,886093	24,84086	23,72856	22,94711	21,91633	19,44871	8,963374	5,806416	1,376839	
2,18645	8,702849	6,531152	4,354961	2,177882	22,90247	20,6338	10,32667	28,85563	27,56471	26,70738	25,50875	22,63768	10,43509	6,75997	1,602977	
2,18655	8,704552	6,532432	4,355815	2,178309	22,93169	20,66014	10,33988	28,92577	27,63144	26,78814	25,58593	22,70621	10,46677	6,780498	1,607846	
2,033533	8,105105	6,082313	4,055621	2,028159	21,37706	19,25891	9,637991	27,05223	25,84165	25,01482	23,89176	21,20229	9,772679	6,330781	1,501194	
1,880923	7,504451	5,631325	3,754855	1,877726	19,80003	17,83758	8,92611	25,12994	24,00578	23,18028	22,13914	19,64654	9,05476	5,865635	1,390884	
1,957292	7,805268	5,857182	3,905479	1,953063	20,59687	18,55574	9,285795	26,22374	25,05293	24,11869	23,03564	20,44234	9,421983	6,103561	1,447308	
2,494382	9,912349	7,439476	4,960766	2,480905	26,18484	23,59265	11,80916	33,34802	31,86305	30,70844	29,33162	26,03161	12,00217	7,775376	1,843793	
2,726148	10,81705	8,118996	5,413994	2,707619	28,60066	25,77059	12,90064	36,50382	34,88142	33,58425	32,07953	28,47136	13,12902	8,505566	2,016972	
2,494809	9,913204	7,440118	4,961195	2,481119	26,19903	23,60544	11,81558	33,48779	31,99896	30,74434	29,36593	26,06207	12,01626	7,784509	1,84596	
2,263876	9,009541	6,761463	4,508563	2,254712	23,79641	21,43962	10,7304	30,43226	29,07832	27,90114	26,64936	23,65032	10,90269	7,062955	1,674834	
2,110346	8,40778	6,309585	4,207193	2,103971	22,20369	20,00399	10,01122	28,34237	27,07918	26,02726	24,85904	22,06098	10,16903	6,587592	1,562098	
1,880658	7,504451	5,631325	3,754855	1,877726	19,80003	17,83758	8,926113	25,20203	24,07628	23,18052	22,13937	19,64674	9,054856	5,865697	1,390899	
0,971333	3,897207	2,92371	1,949312	0,974736	10,2462	9,228858	4,616378	13,0912	12,50578	11,93808	11,40047	10,11554	4,659412	3,018103	0,715629	

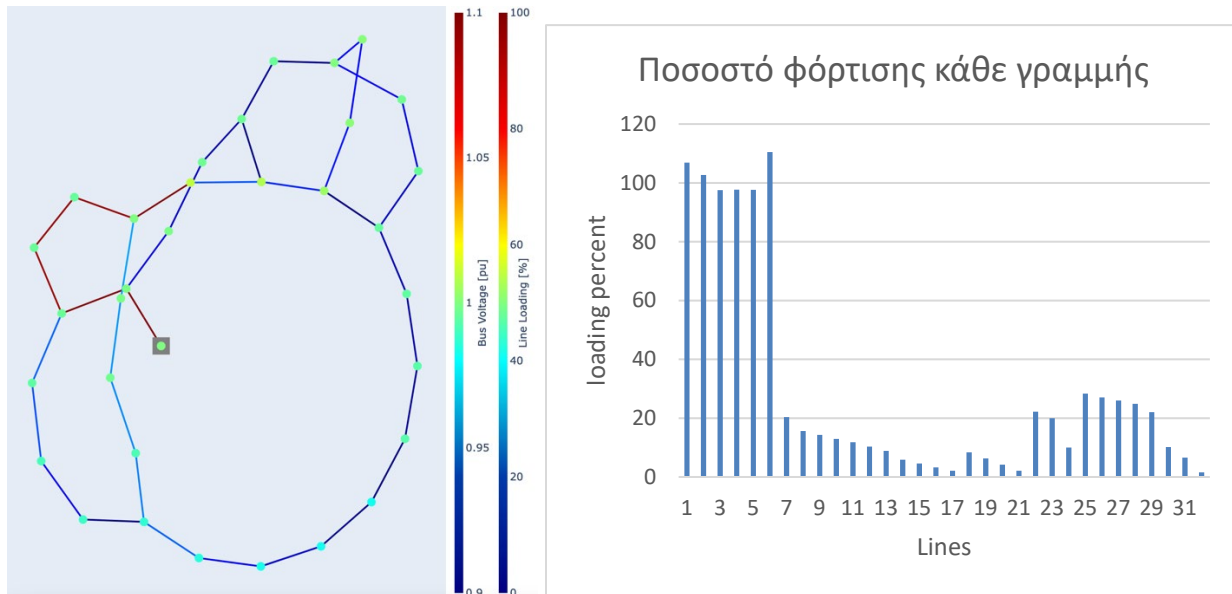
Για την βέλτιστη ροή ισχύος ,

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0	62,62884	54,86062	37,48513	35,29377	34,26283	16,71004	13,36262	10,08705	9,13725	8,193796	7,499379	6,61588	5,799771	4,607767	3,994315	3,666031
1	55,90719	48,91727	33,29619	31,33164	30,40544	14,87683	11,89125	8,985489	8,142696	7,308169	6,70722	5,947041	5,25675	4,311825	3,810712	3,573908
2	49,2633	43,0525	29,18635	27,44854	26,62725	13,10648	10,47942	7,938412	7,201549	6,474591	5,963587	5,321319	4,748845	4,0186	3,614321	3,446743
3	47,60226	41,58631	28,15873	26,4773	25,68223	12,64146	10,10202	7,649324	6,93824	6,237358	5,747478	5,132976	4,588179	3,908897	3,529196	3,380687
4	45,98058	40,15972	27,17157	25,54728	24,77855	12,19787	9,74841	7,387721	6,703459	6,029906	5,563002	4,978681	4,464068	3,839141	3,483692	3,352112
5	46,13046	40,30979	27,32221	25,69847	24,92983	12,30692	9,857828	7,496497	6,811719	6,137339	5,668749	5,081028	4,560656	3,910849	3,541048	3,389057
6	49,48554	43,27458	29,40742	27,6688	26,84739	13,21096	10,57722	8,024319	7,283778	6,552143	6,033264	5,378987	4,790556	4,010553	3,584104	3,388826
7	16,91901	10,04486	6,215739	7,991747	8,879725	24,52997	10,06649	9,031339	8,173267	7,315606	6,645285	5,781968	4,950862	3,529347	2,838894	2,345185
8	7,130813	8,43629	25,2795	27,51519	28,60226	48,74518	15,36136	11,66343	10,61872	9,572717	8,68518	7,537504	6,390433	4,070226	3,058851	2,003888
9	9,898684	10,25342	27,26747	29,62936	30,79328	52,2976	16,74196	12,70784	11,56897	10,42864	9,458888	8,205158	6,951329	4,408745	3,307242	2,154154
10	11,84424	11,78671	29,44462	31,95692	33,20372	56,18073	18,08168	13,71345	12,4802	11,24517	10,19447	8,836104	7,477319	4,721244	3,527865	2,278259
11	10,62948	10,86656	28,37414	30,82159	32,03008	54,30696	17,46019	13,25972	12,07332	10,8852	9,875695	8,570388	7,265048	4,620398	3,471844	2,271054
12	11,08116	11,90849	33,08345	35,97066	37,38584	63,45086	20,09359	15,23321	13,85804	12,4801	11,31307	9,803449	8,294361	5,250415	3,914555	2,527616
13	16,43921	10,77705	26,16022	28,89962	30,27527	54,92125	19,16113	14,3653	12,98484	11,6022	10,50211	9,081942	7,700666	5,252626	4,083142	3,20067
14	53,67347	43,29387	20,51485	17,94724	16,70886	16,81567	18,20267	13,68397	12,37987	11,07511	10,05335	8,736917	7,467742	5,293235	4,240174	3,48984
15	79,60866	69,8967	48,13177	45,37463	44,08206	21,25778	17,00472	12,80761	11,59275	10,38038	9,455369	8,268913	7,144287	5,337196	4,44285	3,875947
16	79,43244	69,34327	46,74806	43,87102	42,5301	18,29574	17,56605	13,18974	11,9238	10,6597	9,689833	8,445139	7,262267	5,349448	4,412332	3,823527
17	80,23491	67,79814	40,78639	37,33839	35,83475	9,770468	22,55384	16,94734	15,32983	13,70995	12,43329	10,78663	9,192826	6,424958	5,091451	4,119368
18	90,49993	76,87403	47,06978	43,24983	41,5671	10,1647	24,78628	18,6282	16,85334	15,07439	13,66102	11,83584	10,06031	6,915798	5,408477	4,262674
19	90,09026	77,41583	49,24599	45,61869	43,97262	11,67543	22,80935	17,17766	15,55253	13,92498	12,64289	10,98884	9,387244	6,596658	5,247712	4,245997
20	86,46469	74,87014	48,96357	45,6395	44,10947	14,95871	20,54247	15,4453	13,97298	12,49999	11,35054	9,870213	8,446228	6,030312	4,857719	4,039827
21	89,92923	79,05141	54,64649	51,5498	50,10002	24,01402	19,21538	14,4645	13,09102	11,71804	10,6551	9,287884	7,979055	5,96873	4,729845	4,005804
22	79,571	69,85912	48,0945	45,33728	44,04474	21,18802	16,93423	12,73625	11,52126	10,30879	9,383564	8,197146	7,073188	5,273961	4,386018	3,832719
23	39,45499	34,41444	23,182	21,78384	21,12022	10,5657	8,465067	6,452824	5,869802	5,297891	4,909985	4,426754	4,007035	3,522242	3,23085	3,128608

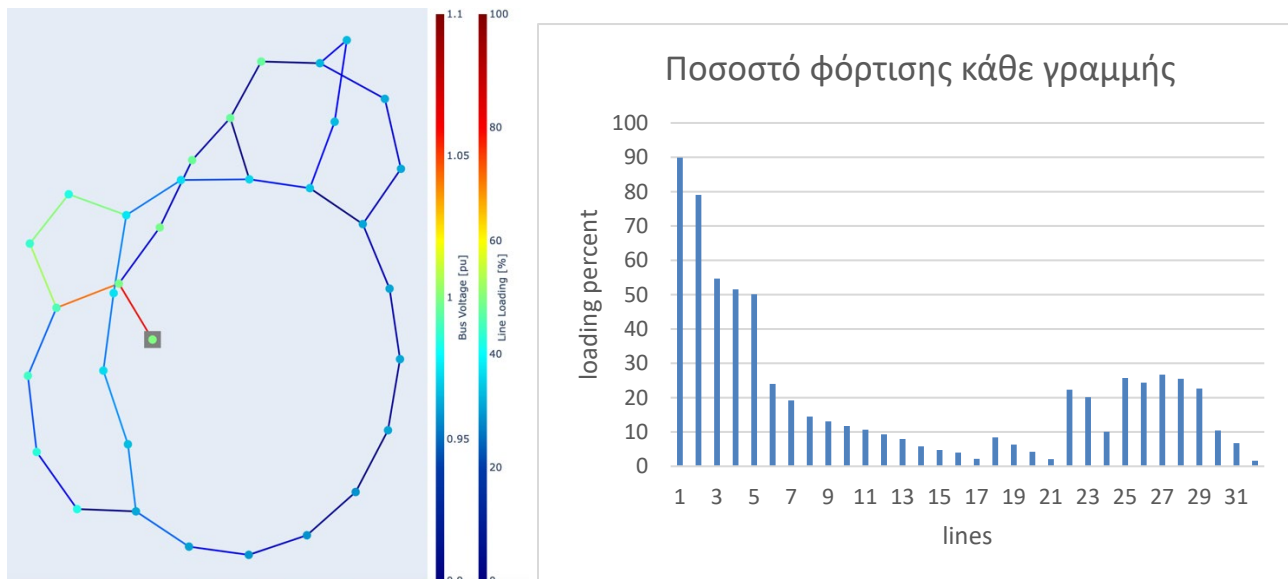
16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
1,536006	6,003957	4,50488	3,003662	1,502022	15,8705	14,29639	7,152906	17,33646	16,36745	18,82529	17,97895	15,95396	7,351403	4,762069	1,129181
1,377815	5,402136	4,053149	2,70243	1,35137	14,26765	12,85209	6,429848	15,33005	14,45482	16,89015	16,13046	14,31332	6,594744	4,271862	1,012934
1,220874	4,800639	3,601701	2,401395	1,20082	12,66845	11,41118	5,708585	13,33314	12,55198	14,96757	14,29404	12,68348	5,843221	3,784996	0,897482
1,181783	4,650314	3,488882	2,326166	1,163198	12,2692	11,05146	5,52854	12,84911	12,09146	14,48881	13,83675	12,27765	5,656113	3,663782	0,868738
1,14277	4,500011	3,376082	2,250951	1,125583	11,87022	10,69199	5,348623	12,38654	11,65204	14,011	13,38037	11,87262	5,469386	3,542816	0,840053
1,143018	4,500023	3,37609	2,250956	1,125585	11,87041	10,69216	5,348709	12,42907	11,69419	14,0119	13,38123	11,87338	5,46974	3,543046	0,840108
1,22129	4,800657	3,601715	2,401404	1,200824	12,66876	11,41146	5,708725	13,43255	12,65113	14,96919	14,29559	12,68486	5,843855	3,785407	0,897579
1,353945	5,398539	4,050449	2,700629	1,350469	14,207	12,79743	6,402469	15,29395	14,43412	16,61265	15,86534	14,07798	6,48613	4,201488	0,996245
1,646964	6,598651	4,951295	3,301357	1,650909	17,3512	15,63066	7,820927	20,85045	19,85394	20,19978	19,29184	17,11916	7,88867	5,110131	1,211719
1,79794	7,199753	5,402563	3,602296	1,801423	18,93811	17,06076	8,537054	22,76344	21,67741	22,05324	21,06242	18,69075	8,613677	5,579851	1,32311
1,948423	7,801012	5,853985	3,903347	1,951996	20,52579	18,49165	9,253671	24,64518	23,47083	23,90498	22,83142	20,26101	9,338207	6,049273	1,434433
1,873141	7,500344	5,62824	3,752798	1,876697	19,73153	17,77582	8,895155	23,67868	22,54866	22,97752	21,94539	19,47451	8,975291	5,814139	1,378671
2,171596	8,703023	6,531283	4,355048	2,177926	22,90593	20,63691	10,32823	27,38883	26,08041	26,6641	25,46739	22,60095	10,41811	6,748967	1,600367
2,174184	8,704167	6,532143	4,355621	2,178212	22,9252	20,65429	10,33695	25,79769	24,45027	26,74963	25,54913	22,67353	10,45166	6,770708	1,605524
2,061139	8,108246	6,084673	4,057195	2,028946	21,43054	19,30714	9,662169	24,29937	23,02002	25,31584	24,17942	21,45773	9,890718	6,407276	1,519337
1,936044	7,509922	5,635435	3,757597	1,879098	19,89363	17,92197	8,968413	22,53242	21,32616	23,71871	22,65366	20,10339	9,265827	6,00241	1,423324
2,013166	7,810874	5,861394	3,908289	1,954468	20,69277	18,64222	9,329145	23,60183	22,34884	24,66988	23,56236	20,91004	9,638094	6,243608	1,480524
2,55681	9,918852	7,444363	4,964027	2,482536	26,29599	23,6929	11,85945	30,6195	29,04768	31,33954	29,93483	26,56736	12,24997	7,935986	1,88189
2,803455	10,8249	8,124903	5,417934	2,70959	28,73539	25,89213	12,96162	33,87311	32,15649	34,35577	32,81704	29,12647	13,43217	8,702062	2,063583
2,569964	9,920692	7,445746	4,964949	2,482998	26,32748	23,7213	11,8737	30,91289	29,33171	31,48341	30,07236	26,68951	12,30648	7,97261	1,890577
2,331599	9,01629	6,766534	4,511946	2,256405	23,91209	21,54394	10,78272	27,87485	26,43239	28,56731	27,28605	24,21575	11,16411	7,232379	1,71502
2,179425	8,41448	6,314619	4,210551	2,105651	22,3187	20,1077	10,06322	25,73699	24,38664	26,69436	25,49657	22,62711	10,43071	6,757174	1,60232
1,93582	7,509917	5,635431	3,757594	1,879096	19,89355	17,9219	8,968375	22,55609	21,3495	23,7184	22,65336	20,10313	9,265705	6,002331	1,423305
0,987662	3,898995	2,925052	1,950207	0,975184	10,2764	9,256074	4,630003	10,35688	9,717467	12,10659	11,56143	10,2584	4,725297	3,060787	0,725751

Συγκεκριμένα για την ώρα 21 :

Στην ροή ισχύς φαίνονται οι υπερφορτώσεις στις γραμμές 1,2,6 .



Στην βέλτιστη ροή ισχύς , φαίνεται η αντίστοιχη εξομάλυνσή των γραμμών.



Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται με ακρίβεια η βελτίωση της ποσότητας ρεύματος που διαπερνάει την ώρα 21 από της γραμμές 1-6 του δικτύου

Γραμμές δικτύου	Ρεύμα γραμμής στην ροή φορτίου	Ρεύμα γραμμής στην βέλτιστη ροή φορτίου
Γραμμή 1	0,12828 KA	0,108 KA
Γραμμή 2	0,1233 KA	0,094 KA
Γραμμή 3	0,117 KA	0,055 KA
Γραμμή 4	0,117 KA	0,062 KA
Γραμμή 5	0,1172 KA	0,06012 KA
Γραμμή 6	0,1326 KA	0,03 KA

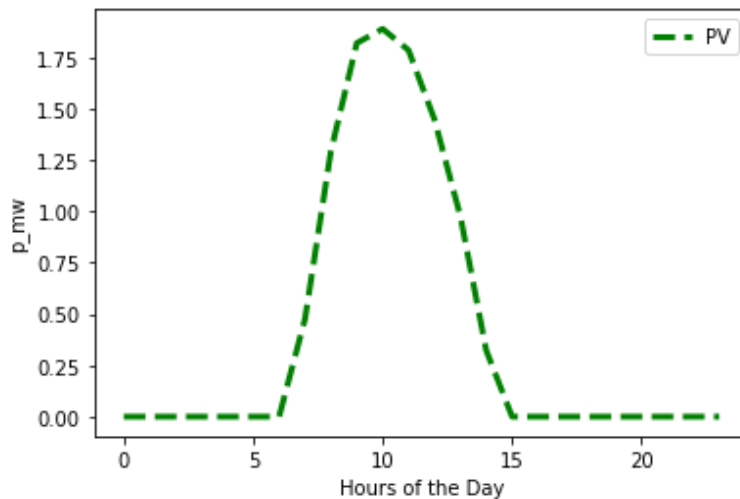
Η εξομάλυνση αυτή, οφείλεται εξολοκλήρου στην μείωση των φορτίων στους ζυγούς 16,26 την ώρα 21 της ημέρας. Καθώς την ώρα αυτή, δεν επεμβαίνει στο δίκτυο η μπαταρία ούτε το φωτοβολταϊκό σύστημα

5.5 Σενάριο 1B ,Διαχείριση παραβίασης ορίων τάσης ζυγών

Τα δεδομένα για το φωτοβολταϊκό σύστημα

Για το σενάριο αυτό έχουν χρησιμοποιηθεί το ίδιο φωτοβολταϊκό σύστημα και μπαταρία , άλλα έχουν μειωθεί οι τιμές τους στην μέση, όπως φαίνεται παρακάτω. Επίσης έχουν τοποθετηθεί σε διαφορετικούς ζυγούς. Συγκεκριμένα , το φωτοβολταϊκό σύστημα έχει τοποθετηθεί στον ζυγό 22 και η μπαταρία στον ζυγό 30 .

Η μέγιστη ενέργεια που παρέχει το φωτοβολταϊκό σύστημα στο συγκεκριμένο 24ώρο, φαίνεται παρακάτω .



Τα δεδομένα της μπαταρίας

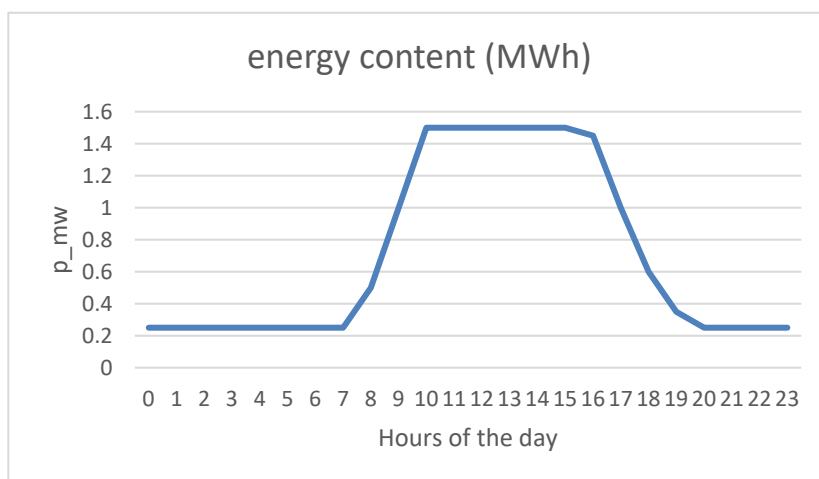
Ο παρακάτω πίνακας εμφανίζει την λειτουργία της μπαταρίας στο συγκεκριμένο 24ώρο.

Η μπαταρία του συστήματος , ακολουθεί κάποιες προδιαγραφές .

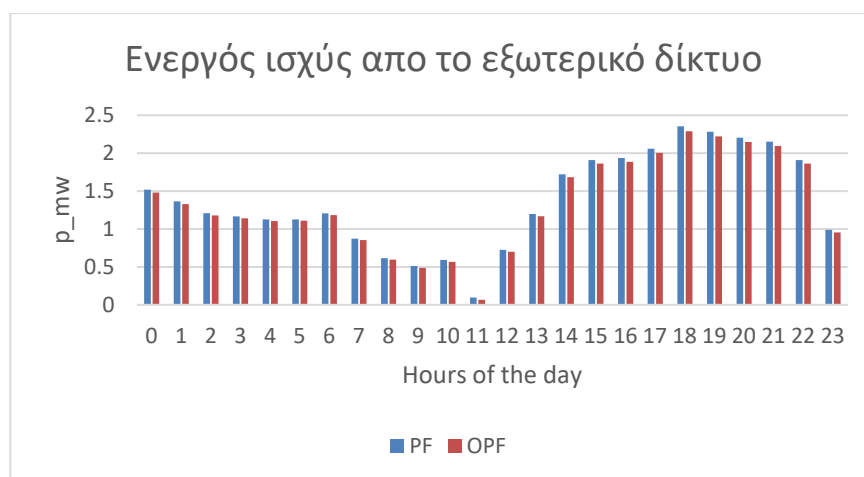
- Η ονομαστική χωρητικότητα της μπαταρίας είναι 1,5 MWh
- Το ελάχιστο επίπεδο φόρτισης της μπαταρίας δεν πέφτει κάτω από το 16,66% (δηλαδή 0,25 MWh)
- Η μέγιστη ισχύς τιμή φόρτισης/εκφόρτισης της μπαταρίας είναι 0,5mW

Φαίνεται αρχικά ότι όπως και προηγουμένως η μπαταρία είναι φορτισμένη στο ξεκίνημα της ημέρας και την ώρα 8 , 9 και 10 φορτίζει ενώ την ώρα 16,17,18,19 εκφορτίζει .

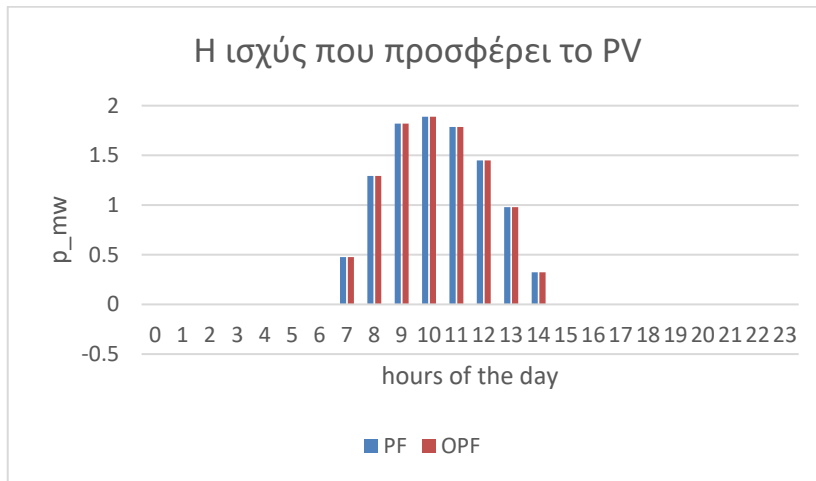
	energy content (MWh)
0	0,25
1	0,25
2	0,25
3	0,25
4	0,25
5	0,25
6	0,25
7	0,25
8	0,5
9	1
10	1,5
11	1,5
12	1,5
13	1,5
14	1,5
15	1,5
16	1,45
17	1
18	0,6
19	0,35
20	0,25
21	0,25
22	0,25
23	0,25



Για το 24ωρο αυτό του χειμώνα , τρέχουμε την ροή ισχύος και την βέλτιστη ροή ισχύος. Παρακάτω φαίνονται οι τιμές των μεγεθών του φωτοβολταϊκού συστήματος (PV) και η ενέργεια που προσφέρει ο πάροχος στο δίκτυο (ext_grid) στο 24ώρο .



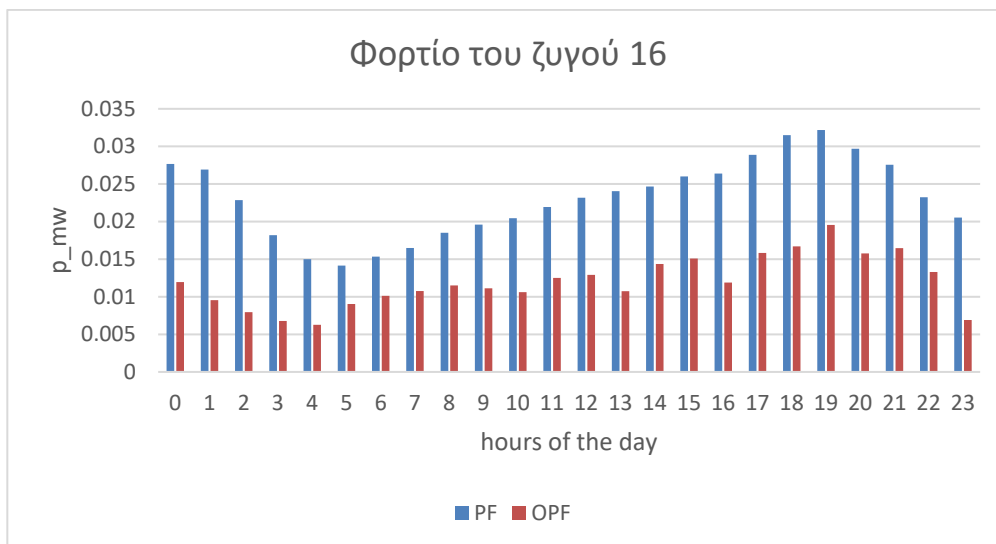
Παρατηρούμε ότι η ενέργεια που προσφέρει το εξωτερικό δίκτυο έχει ελαττωθεί στην βέλτιστη ροή ισχύς σε σχέση με την απλή ροή ισχύς πολύ λίγο καθώς πρέπει να εξυπηρετήσει τα ίδια τα φορτία.



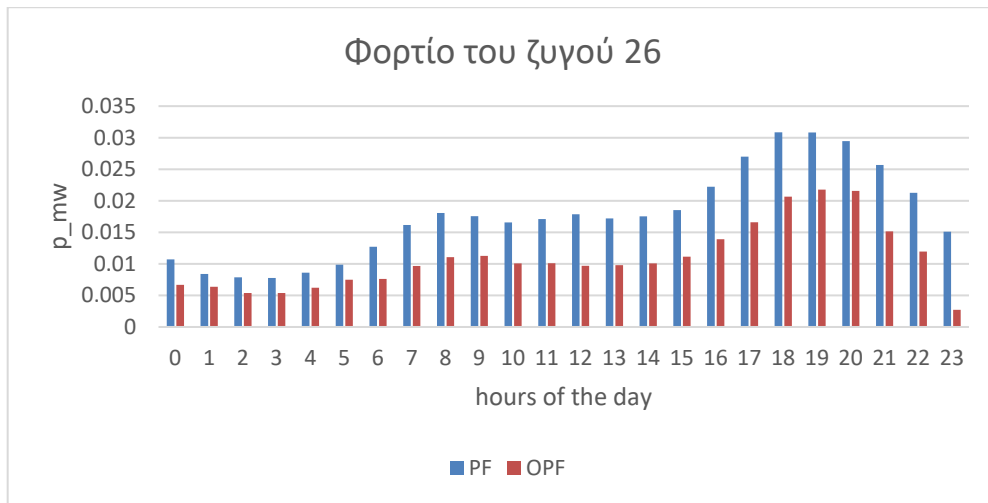
Παρατηρούμε ότι η ενέργεια που προσφέρει το φωτοβολταϊκό σύστημα είναι περίπου το ίδιο για βέλτιστη και απλή ροή ισχύς. Που δηλώνει ότι το δίκτυο απορροφά όλη την ενέργεια που παράγει το φωτοβολταϊκό σύστημα στην διάρκεια της ημέρας.

Όσον αφορά τα φορτία των ζυγών 16 και 26 που λειτουργούν με ευελιξία παρακάτω φαίνονται οι τιμές στους ζυγούς αυτούς στην ροή αλλά και στην βέλτιστη ροή ισχύς .

Για τον ζυγό 16



Για τον ζυγό 26



Είναι εμφανές πως στην βέλτιστη ροή ισχύος, τα φορτία στους ζυγούς 16,26 ελαττώνονται.

Παρατηρούμαι ότι την ώρα 10,11 οι ζυγοί 30-32 έχουν τάση χαμηλότερη τις επιτρεπτής αλλά με την βέλτιστη ροή ισχύος δεν υπάρχουν πλέον. Αυτό φαίνεται στους παρακάτω πίνακες ροής/βέλτιστης ροής ισχύος. Όπου οι τιμές που είναι με σκούρο κόκκινο έχουν παραβεί τα επιτρεπτά όρια. Οι τιμές που είναι κάτω του 0,95 σημαίνει ότι στον συγκεκριμένο ζυγό την συγκεκριμένη ώρα υπάρχει υπόταση.

Για την ροή ισχύος

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0	1	0,999468	0,997351	0,994527	0,991174	0,984808	0,983482	0,981626	0,979231	0,97701	0,97668	0,976105	0,973766	0,9729	0,972354	0,971822
1	1	0,999523	0,997622	0,995085	0,992581	0,986354	0,98516	0,983485	0,981322	0,979315	0,979016	0,978496	0,976377	0,975593	0,975095	0,974608
2	1	0,999577	0,997894	0,995646	0,993428	0,98791	0,986853	0,985373	0,983463	0,981691	0,981428	0,980969	0,979101	0,97841	0,977973	0,977546
3	1	0,999592	0,997969	0,995801	0,993663	0,988342	0,987324	0,985909	0,984086	0,982397	0,982148	0,981713	0,979943	0,979287	0,97888	0,978485
4	1	0,999606	0,998039	0,995946	0,993882	0,988744	0,987762	0,986406	0,984661	0,983045	0,982807	0,982393	0,980706	0,980081	0,979696	0,979327
5	1	0,999606	0,998039	0,995945	0,99388	0,988739	0,987759	0,986407	0,984667	0,983057	0,98282	0,982408	0,980729	0,980107	0,979726	0,979361
6	1	0,999578	0,9979	0,995658	0,993447	0,987944	0,986897	0,985451	0,983591	0,98187	0,981616	0,981175	0,97938	0,978714	0,978306	0,977915
7	1	0,999564	0,997871	0,995341	0,992845	0,986635	0,985455	0,983829	0,981736	0,9798	0,979515	0,97902	0,977002	0,976254	0,975796	0,975359
8	1	0,999442	0,997238	0,993531	0,98984	0,980856	0,979404	0,977408	0,974841	0,972466	0,972117	0,97151	0,969037	0,968121	0,967563	0,967032
9	1	0,999346	0,996705	0,992083	0,987456	0,97634	0,974748	0,972562	0,969748	0,967146	0,966764	0,9661	0,963392	0,962388	0,961779	0,961199
10	1	0,999298	0,996471	0,99156	0,986647	0,974817	0,973089	0,970717	0,967667	0,964845	0,964431	0,963711	0,960776	0,959689	0,959029	0,958403
11	1	0,999473	0,997555	0,994029	0,99055	0,981887	0,980236	0,977963	0,975037	0,97233	0,971932	0,97124	0,968419	0,967374	0,966736	0,966127
12	1	0,999347	0,996877	0,992777	0,988731	0,978651	0,976728	0,974089	0,970692	0,967549	0,967087	0,966285	0,963016	0,961804	0,961068	0,960369
13	1	0,999311	0,996651	0,992549	0,988501	0,978417	0,976493	0,973849	0,970445	0,967295	0,966832	0,966028	0,962749	0,961533	0,960794	0,96009
14	1	0,999308	0,996579	0,992759	0,988989	0,979601	0,97781	0,975343	0,972166	0,969225	0,968792	0,968039	0,964972	0,963835	0,96314	0,962476
15	1	0,999331	0,996669	0,993126	0,98963	0,980929	0,97927	0,976976	0,97402	0,971283	0,970879	0,970176	0,967313	0,966252	0,965598	0,964969
16	1	0,999319	0,996626	0,993053	0,989533	0,980734	0,979009	0,976625	0,973553	0,970707	0,970288	0,969558	0,966585	0,965483	0,964804	0,964153
17	1	0,999253	0,996459	0,992832	0,989311	0,980179	0,977988	0,974971	0,971086	0,967489	0,96696	0,966041	0,962292	0,960902	0,960054	0,959245
18	1	0,999153	0,995937	0,991748	0,987665	0,977174	0,974772	0,971466	0,967207	0,963264	0,962684	0,961675	0,957564	0,95604	0,95511	0,954223
19	1	0,999187	0,996047	0,991925	0,987888	0,977641	0,975439	0,972399	0,968479	0,96485	0,964316	0,963385	0,959594	0,958188	0,957325	0,956498
20	1	0,999222	0,996162	0,992116	0,988134	0,978146	0,976147	0,973387	0,96983	0,966535	0,96605	0,965205	0,961763	0,960487	0,959703	0,958951
21	1	0,999246	0,996244	0,992254	0,988315	0,978513	0,976651	0,974078	0,970764	0,967695	0,967243	0,966456	0,96325	0,962062	0,961332	0,960632
22	1	0,999331	0,996669	0,993127	0,989631	0,98093	0,979275	0,976994	0,974057	0,971338	0,970938	0,970242	0,967406	0,966355	0,965711	0,965096
23	1	0,999655	0,998277	0,996431	0,99461	0,990087	0,989229	0,988022	0,986464	0,985016	0,984801	0,984425	0,982896	0,98233	0,981969	0,981614

16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
0,971029	0,9708	0,999258	0,997835	0,997555	0,997301	1	0,997401	0,996107	0,984095	0,983315	0,978825	0,975719	0,974376	0,972806	0,972461	0,972354
0,97388	0,973675	0,999334	0,998053	0,997801	0,997573	1	0,997662	0,996497	0,985715	0,984869	0,980987	0,9782	0,976994	0,975585	0,975276	0,97518
0,97691	0,976728	0,999409	0,998271	0,998047	0,997845	1	0,997922	0,996888	0,987344	0,986593	0,983152	0,980681	0,979612	0,978363	0,978076	0,978004
0,977902	0,977726	0,999429	0,998327	0,99811	0,997914	1	0,997987	0,996985	0,987793	0,987066	0,983735	0,981343	0,980308	0,9791	0,978834	0,978752
0,978785	0,978615	0,999449	0,998382	0,998172	0,997982	1	0,998052	0,997083	0,988212	0,987507	0,984286	0,981972	0,980972	0,979803	0,979546	0,979466
0,978825	0,978655	0,999448	0,998382	0,998172	0,997982	1	0,998052	0,997083	0,988206	0,987499	0,984277	0,981964	0,980963	0,979795	0,979538	0,979466
0,977341	0,977159	0,99941	0,998272	0,998048	0,997846	1	0,997922	0,996888	0,987372	0,986612	0,983171	0,9807	0,979631	0,978383	0,978108	0,978023
0,974718	0,974513	0,999375	0,998095	0,997843	0,997614	1	0,997662	0,996497	0,985987	0,985127	0,981246	0,97846	0,977254	0,975846	0,975536	0,97544
0,966255	0,966003	0,999211	0,997645	0,997337	0,997058	1	0,99714	0,995716	0,979726	0,978203	0,971673	0,966912	0,964594	0,961263	0,960879	0,960720
0,96035	0,960073	0,999094	0,997385	0,997049	0,996744	1	0,996879	0,995325	0,974792	0,972689	0,963882	0,957416	0,954094	0,948953	0,948528	0,948397
0,957488	0,957186	0,999025	0,997173	0,996809	0,996479	1	0,996618	0,994933	0,973194	0,970992	0,961716	0,954912	0,951443	0,946125	0,945663	0,94552
0,965235	0,964948	0,99921	0,997431	0,99708	0,996763	1	0,996748	0,995129	0,980986	0,97979	0,974352	0,970446	0,968756	0,966282	0,966348	0,966213
0,959347	0,959012	0,999041	0,996976	0,996569	0,996201	1	0,996226	0,994346	0,977602	0,976211	0,969866	0,965309	0,963337	0,961034	0,960527	0,96037
0,959061	0,958725	0,999006	0,99694	0,996533	0,996165	1	0,996226	0,994346	0,977369	0,975979	0,969632	0,965074	0,963102	0,960798	0,960291	0,960134
0,961501	0,961189	0,999024	0,997101	0,996722	0,99638	1	0,996487	0,994737	0,978626	0,977331	0,971437	0,967204	0,965372	0,963232	0,962761	0,962615
0,964042	0,963755	0,999068	0,997288	0,996938	0,996621	1	0,996748	0,995129	0,980025	0,978825	0,973381	0,969472	0,96778	0,965804	0,96537	0,965235
0,963193	0,962894	0,999045	0,997194	0,996829	0,9965	1	0,996618	0,994933	0,979855	0,978694	0,973375	0,96957	0,967975	0,966235	0,965784	0,965644
0,95806	0,957678	0,998906	0,996554	0,996201	0,995967	1	0,995702	0,993561	0,979568	0,978799	0,974677	0,971851	0,971093	0,967134	0,970743	0,970566
0,952923	0,952504	0,998773	0,996207	0,995701	0,995244	1	0,995309	0,992972	0,976383	0,975372	0,970234	0,966664	0,965534	0,965205	0,964579	0,964385
0,955281	0,954898	0,998839	0,996487	0,996024	0,995605	1	0,995702	0,993561	0,976761	0,975618	0,970116	0,966238	0,96482	0,963783	0,963207	0,963029
0,957844	0,957497	0,998906	0,996769	0,996348	0,995967	1	0,996095	0,99415	0,977178	0,975904	0,970031	0,965842	0,964133	0,962386	0,961862	0,9617
0,959602	0,959278	0,998952	0,996957	0,996564	0,996209	1	0,996356	0,994542	0,97749	0,976132	0,970008	0,96561	0,963708	0,961484	0,960995	0,960844
0,964192	0,963904	0,999068	0,997288	0,996938	0,996621	1	0,996748	0,995129	0,980023	0,978818	0,973374	0,969465	0,967773	0,965797	0,965362	0,965228
0,981083	0,980936	0,999518	0,998594	0,998412	0,998248	1	0,998313	0,997472	0,989618	0,988995	0,98621	0,98421	0,983345	0,982335	0,982113	0,982044

Για την βέλτιστη ροή ισχύς

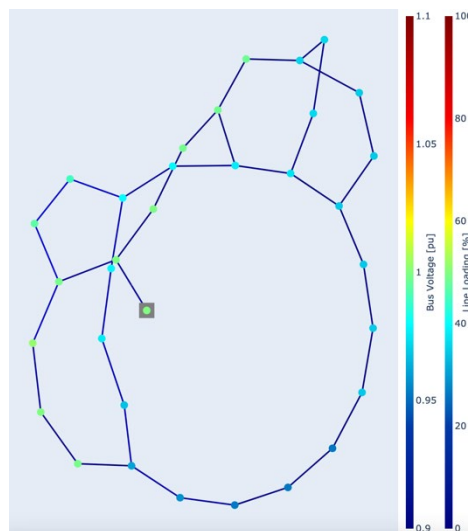
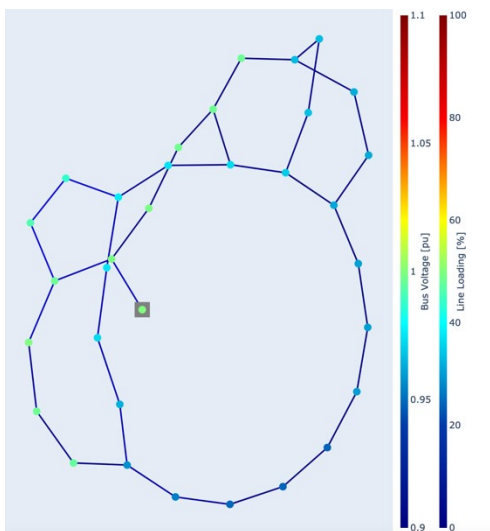
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
0	1	0,998937	0,993958	0,991433	0,988958	0,983093	0,982203	0,980579	0,978791	0,977179	0,976913	0,976461	0,975058	0,974732	0,974605	0,97452
1	0,999051	0,994612	0,992369	0,990173	0,984996	0,984233	0,982793	0,981237	0,979838	0,979605	0,979209	0,978025	0,977776	0,977695	0,977654	
2	0,999164	0,995259	0,993294	0,991372	0,986872	0,986228	0,984666	0,983628	0,98243	0,982227	0,981884	0,980809	0,980716	0,980673	0,980667	
3	0,999192	0,995422	0,993528	0,991676	0,987346	0,986732	0,985118	0,984239	0,983095	0,982901	0,982572	0,981642	0,981479	0,981448	0,981454	
4	0,99922	0,99558	0,993753	0,991967	0,987801	0,987217	0,986047	0,984823	0,983731	0,983544	0,983229	0,98235	0,982204	0,982183	0,982199	
5	0,999218	0,995565	0,99373	0,991935	0,98775	0,987165	0,985933	0,984743	0,983634	0,983444	0,983122	0,982221	0,982067	0,982038	0,982042	
6	0,999161	0,995238	0,993261	0,991326	0,986794	0,986142	0,984867	0,983508	0,982289	0,982083	0,981733	0,980717	0,98052	0,980465	0,980444	
7	0,999431	0,997023	0,994763	0,992548	0,987314	0,986525	0,985073	0,983481	0,982046	0,981809	0,981405	0,980162	0,979879	0,979771	0,979701	
8	0,999568	0,998035	0,99463	0,991253	0,98335	0,982336	0,980542	0,97854	0,976732	0,976438	0,975936	0,974333	0,973942	0,973777	0,973658	
9	0,999621	0,998441	0,99413	0,989826	0,979814	0,978663	0,976687	0,974453	0,97231	0,972106	0,971551	0,969735	0,969258	0,969047	0,968881	
10	0,999671	0,99883	0,99424	0,989661	0,978962	0,977683	0,975534	0,973081	0,970858	0,970504	0,969899	0,967881	0,967331	0,96708	0,966885	
11	0,999859	0,999988	0,996771	0,993614	0,98604	0,984821	0,982761	0,98041	0,978278	0,977937	0,977355	0,975415	0,974887	0,974642	0,974449	
12	0,999473	0,997676	0,993898	0,990188	0,981245	0,979776	0,977361	0,974569	0,972033	0,971633	0,970947	0,968608	0,967943	0,967622	0,967432	
13	0,999202	0,995957	0,992178	0,988466	0,979517	0,978049	0,975639	0,972857	0,970331	0,969933	0,969252	0,96693	0,966271	0,965958	0,965708	
14	0,998816	0,99344	0,989922	0,986467	0,978164	0,976816	0,974561	0,971972	0,969621	0,969248	0,968607	0,966452	0,965854	0,965569	0,965338	
15	0,998648	0,992304	0,989062	0,98588	0,978261	0,97705	0,974969	0,972606	0,970464	0,97012	0,969531	0,96759	0,967073	0,966833	0,966644	
16	0,998622	0,992174	0,988914	0,985721	0,978034	0,976761	0,974608	0,972156	0,969934	0,969579	0,968972	0,966959	0,966416	0,966168	0,965975	
17	0,99846	0,99139	0,988086	0,984901	0,976909	0,975175	0,972386	0,969121	0,966148	0,965683	0,964884	0,9621	0,961276	0,960862	0,960515	
18	0,998253	0,990189	0,986326	0,982584	0,973248	0,971312	0,968242	0,964621	0,961328	0,960807	0,959926	0,958007	0,955865	0,955382	0,954972	
19	0,998333	0,990587	0,986781	0,983075	0,973956	0,972215	0,9694	0,966102	0,963097	0,962626	0,961816	0,958992	0,958155	0,957727	0,957363	
20	0,998416	0,991008	0,987274	0,983619	0,974749	0,973208	0,970678	0,967744	0,965076	0,964655	0,963933	0,961459	0,96075	0,960401	0,960112	
21	0,998473	0,991295	0,987613	0,983997	0,9753	0,973887	0,97153	0,968814	0,966346	0,965954	0,965283	0,963008	0,962369	0,962059	0,961804	
22	0,998648	0,992302	0,98906	0,985876	0,978251	0,977034	0,974959	0,9726	0,970462	0,970119	0,969533	0,967596	0,967077	0,966838	0,966652	
23	0,999331	0,996213	0,994657	0,993136	0,989618	0,989131	0,98812	0,987076	0,986145	0,985985	0,985712	0,984976	0,984867	0,98486	0,984884	

16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
0,975032	0,974805	0,998726	0,997302	0,997022	0,996768	0,99255	0,989931	0,988627	0,982456	0,981617	0,977286	0,974175	0,972829	0,971257	0,970911	0,970804
0,978217	0,978013	0,998862	0,99758	0,997328	0,9971	0,993346	0,990991	0,989819	0,984431	0,983687	0,9798	0,977009	0,975802	0,974392	0,974082	0,973986
0,981258	0,981078	0,998996	0,997857	0,997633	0,99743	0,994135	0,992044	0,991004	0,986379	0,98573	0,982286	0,979812	0,978743	0,977493	0,977218	0,977133
0,982057	0,981882	0,99903	0,997927	0,99771	0,997513	0,994333	0,992309	0,991301	0,98687	0,986245	0,982911	0,980517	0,979481	0,978272	0,978006	0,977923
0,98281	0,982641	0,999062	0,997995	0,997785	0,997595	0,994526	0,992568	0,991593	0,987342	0,986738	0,983514	0,981199	0,980197	0,979028	0,978771	0,978691
0,982636	0,982467	0,99906	0,997993	0,997783	0,997593	0,994512	0,992554	0,991579	0,987289	0,986683	0,983459	0,981144	0,980142	0,978973	0,978716	0,978636
0,981002	0,980821	0,998993	0,997854	0,99763	0,997427	0,994114	0,992024	0,990983	0,986297	0,985644	0,982199	0,979726	0,978656	0,977406	0,977132	0,977047
0,980179	0															

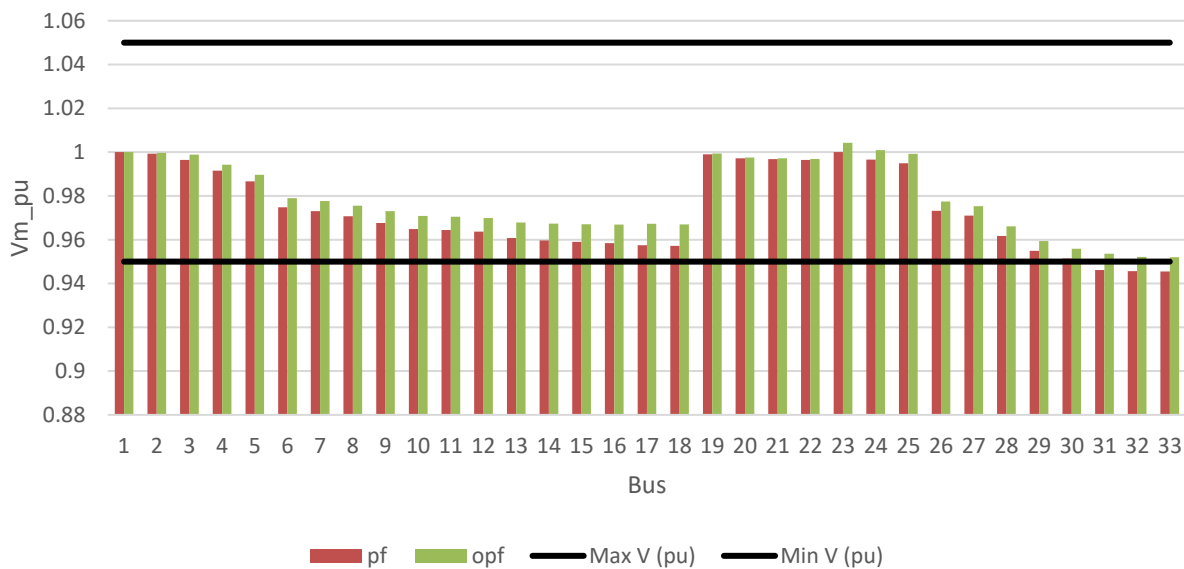
Συγκεκριμένα για την ώρα 10 στις παρακάτω δυο εικόνες φαίνονται οι ζυγοί 31-33 που η τάση τους είναι κάτω του ορίου (σκούρο μπλέ) .

Για την ροή ισχύς

Για την βέλτιστη ροή ισχύς



Η τάση κάθε ζύγου σε ανά μονάδα



Παρατηρούμε ότι η τάση των ζυγών 31-33 είναι χαμηλότερα του επιτρεπτού ορίου, ενώ στην βέλτιστη ροή ισχύος είναι εντός του επιτρεπτού ορίου. Η εξομάλυνση αυτή, οφείλεται στην μείωση των φορτίων στους ζυγούς 16,26.

5.6 Εισαγωγή σεναρίου καλοκαιριού

Αντίστοιχα στο σενάριο αυτό απευθυνόμαστε στην εποχή του καλοκαιριού. Τα δεδομένα όλου του δικτύου έχουν παρθεί από ρεαλιστικές τιμές καλοκαιρινών δεδομένων. Αναλυτικότερα παρακάτω τα δεδομένα κάθε στοιχείου του δικτύου για την εαρινή περίοδο .

I) Τα φορτία των ζυγών .

Για την ενεργό κατανάλωση ισχύος (σε MW) για κάθε ζυγό ανα ώρα.

	Bus0	Bus1	Bus2	Bus3	Bus4	Bus5	Bus6	Bus7	Bus8	Bus9	Bus10	Bus11	Bus12	Bus13	Bus14
0	0,05	0,045	0,06	0,03	0,03	0,1	0,1	0,03	0,03	0,0225	0,03	0,03	0,06	0,03	0,03
1	0,054	0,0486	0,0648	0,0324	0,0324	0,108	0,108	0,0324	0,0324	0,0243	0,0324	0,0324	0,0648	0,0324	0,0324
2	0,045	0,0405	0,054	0,027	0,027	0,09	0,09	0,027	0,027	0,02025	0,027	0,027	0,054	0,027	0,027
3	0,04	0,036	0,048	0,024	0,024	0,08	0,08	0,024	0,024	0,018	0,024	0,024	0,048	0,024	0,024
4	0,039	0,0351	0,0468	0,0234	0,0234	0,078	0,078	0,0234	0,0234	0,01755	0,0234	0,0234	0,0468	0,0234	0,0234
5	0,039	0,0351	0,0468	0,0234	0,0234	0,078	0,078	0,0234	0,0234	0,01755	0,0234	0,0234	0,0468	0,0234	0,0234
6	0,04	0,036	0,048	0,024	0,024	0,08	0,08	0,024	0,024	0,018	0,024	0,024	0,048	0,024	0,024
7	0,042	0,0378	0,0504	0,0252	0,0252	0,084	0,084	0,0252	0,0252	0,0189	0,0252	0,0252	0,0504	0,0252	0,0252
8	0,044	0,0396	0,0528	0,0264	0,0264	0,088	0,088	0,0264	0,0264	0,0198	0,0264	0,0264	0,0528	0,0264	0,0264
9	0,052	0,0468	0,0624	0,0312	0,0312	0,104	0,104	0,0312	0,0312	0,0234	0,0312	0,0312	0,0624	0,0312	0,0312
10	0,06	0,054	0,072	0,036	0,036	0,12	0,12	0,036	0,036	0,027	0,036	0,036	0,072	0,036	0,036
11	0,065	0,0585	0,078	0,039	0,039	0,13	0,13	0,039	0,039	0,02925	0,039	0,039	0,078	0,039	0,039
12	0,077	0,0693	0,0924	0,0462	0,0462	0,154	0,154	0,0462	0,0462	0,03465	0,0462	0,0462	0,0924	0,0462	0,0462
13	0,079	0,0711	0,0948	0,0474	0,0474	0,158	0,158	0,0474	0,0474	0,03555	0,0474	0,0474	0,0948	0,0474	0,0474
14	0,077	0,0693	0,0924	0,0462	0,0462	0,154	0,154	0,0462	0,0462	0,03465	0,0462	0,0462	0,0924	0,0462	0,0462
15	0,065	0,0585	0,078	0,039	0,039	0,13	0,13	0,039	0,039	0,02925	0,039	0,039	0,078	0,039	0,039
16	0,06	0,054	0,072	0,036	0,036	0,12	0,12	0,036	0,036	0,027	0,036	0,036	0,072	0,036	0,036
17	0,059	0,0531	0,0708	0,0354	0,0354	0,118	0,118	0,0354	0,0354	0,02655	0,0354	0,0354	0,0708	0,0354	0,0354
18	0,06	0,054	0,072	0,036	0,036	0,12	0,12	0,036	0,036	0,027	0,036	0,036	0,072	0,036	0,036
19	0,065	0,0585	0,078	0,039	0,039	0,13	0,13	0,039	0,039	0,02925	0,039	0,039	0,078	0,039	0,039
20	0,07	0,063	0,084	0,042	0,042	0,14	0,14	0,042	0,042	0,0315	0,042	0,042	0,084	0,042	0,042
21	0,075	0,0675	0,09	0,045	0,045	0,15	0,15	0,045	0,045	0,03375	0,045	0,045	0,09	0,045	0,045
22	0,08	0,072	0,096	0,048	0,048	0,16	0,16	0,048	0,048	0,036	0,048	0,048	0,096	0,048	0,048
23	0,079	0,0711	0,0948	0,0474	0,0474	0,158	0,158	0,0474	0,0474	0,03555	0,0474	0,0474	0,0948	0,0474	0,0474

Bus15	Bus17	Bus18	Bus19	Bus20	Bus21	Bus22	Bus23	Bus24	Bus25	Bus27	Bus28	Bus29	Bus30	Bus31
0,03	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,21	0,21	0,03	0,03	0,06	0,1	0,075	0,105	0,03
0,0324	0,0486	0,0486	0,0486	0,0486	0,0486	0,2268	0,2268	0,0324	0,0324	0,0648	0,108	0,081	0,1134	0,0324
0,027	0,0405	0,0405	0,0405	0,0405	0,0405	0,189	0,189	0,027	0,027	0,054	0,09	0,0675	0,0945	0,027
0,024	0,036	0,036	0,036	0,036	0,036	0,168	0,168	0,024	0,024	0,048	0,08	0,06	0,084	0,024
0,0234	0,0351	0,0351	0,0351	0,0351	0,0351	0,1638	0,1638	0,0234	0,0234	0,0468	0,078	0,0585	0,0819	0,0234
0,0234	0,0351	0,0351	0,0351	0,0351	0,0351	0,1638	0,1638	0,0234	0,0234	0,0468	0,078	0,0585	0,0819	0,0234
0,024	0,036	0,036	0,036	0,036	0,036	0,168	0,168	0,024	0,024	0,048	0,08	0,06	0,084	0,024
0,0252	0,0378	0,0378	0,0378	0,0378	0,0378	0,1764	0,1764	0,0252	0,0252	0,0504	0,084	0,063	0,0882	0,0252
0,0264	0,0396	0,0396	0,0396	0,0396	0,0396	0,1848	0,1848	0,0264	0,0264	0,0528	0,088	0,066	0,0924	0,0264
0,0312	0,0468	0,0468	0,0468	0,0468	0,0468	0,2184	0,2184	0,0312	0,0312	0,0624	0,104	0,078	0,1092	0,0312
0,036	0,054	0,054	0,054	0,054	0,054	0,252	0,252	0,036	0,036	0,072	0,12	0,09	0,126	0,036
0,039	0,0585	0,0585	0,0585	0,0585	0,0585	0,273	0,273	0,039	0,039	0,078	0,13	0,0975	0,1365	0,039
0,0462	0,0693	0,0693	0,0693	0,0693	0,0693	0,3234	0,3234	0,0462	0,0462	0,0924	0,154	0,1155	0,1617	0,0462
0,0474	0,0711	0,0711	0,0711	0,0711	0,0711	0,3318	0,3318	0,0474	0,0474	0,0948	0,158	0,1185	0,1659	0,0474
0,0462	0,0693	0,0693	0,0693	0,0693	0,0693	0,3234	0,3234	0,0462	0,0462	0,0924	0,154	0,1155	0,1617	0,0462
0,039	0,0585	0,0585	0,0585	0,0585	0,0585	0,273	0,273	0,039	0,039	0,078	0,13	0,0975	0,1365	0,039
0,036	0,054	0,054	0,054	0,054	0,054	0,252	0,252	0,036	0,036	0,072	0,12	0,09	0,126	0,036
0,0354	0,0531	0,0531	0,0531	0,0531	0,0531	0,2478	0,2478	0,0354	0,0354	0,0708	0,118	0,0885	0,1239	0,0354
0,036	0,054	0,054	0,054	0,054	0,054	0,252	0,252	0,036	0,036	0,072	0,12	0,09	0,126	0,036
0,039	0,0585	0,0585	0,0585	0,0585	0,0585	0,273	0,273	0,039	0,039	0,078	0,13	0,0975	0,1365	0,039
0,042	0,063	0,063	0,063	0,063	0,063	0,294	0,294	0,042	0,042	0,084	0,14	0,105	0,147	0,042
0,045	0,0675	0,0675	0,0675	0,0675	0,0675	0,315	0,315	0,045	0,045	0,09	0,15	0,1125	0,1575	0,045
0,048	0,072	0,072	0,072	0,072	0,072	0,336	0,336	0,048	0,048	0,096	0,16	0,12	0,168	0,048
0,0474	0,0711	0,0711	0,0711	0,0711	0,0711	0,3318	0,3318	0,0474	0,0474	0,0948	0,158	0,1185	0,1659	0,0474

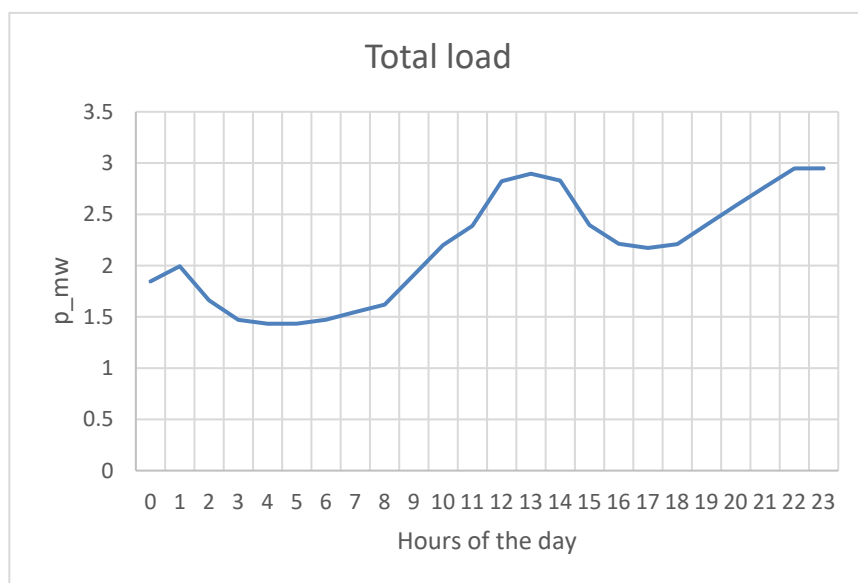
Για την άεργο κατανάλωση ισχύος (σε MVAR) για κάθε ζυγό ανα ώρα.

	Bus0	Bus1	Bus2	Bus3	Bus4	Bus5	Bus6	Bus7	Bus8	Bus9	Bus10	Bus11	Bus12	Bus13	Bus14
0	0,03	0,02	0,04	0,015	0,01	0,005	0,05	0,01	0,01	0,015	0,0175	0,0175	0,04	0,005	0,01
1	0,0324	0,0216	0,0432	0,0162	0,0108	0,0054	0,054	0,0108	0,0108	0,0162	0,0189	0,0189	0,0432	0,0054	0,0108
2	0,027	0,018	0,036	0,0135	0,009	0,0045	0,045	0,009	0,009	0,0135	0,01575	0,01575	0,036	0,0045	0,009
3	0,024	0,016	0,032	0,012	0,008	0,004	0,04	0,008	0,008	0,012	0,014	0,014	0,032	0,004	0,008
4	0,024	0,016	0,032	0,012	0,008	0,004	0,04	0,008	0,008	0,012	0,014	0,014	0,032	0,004	0,008
5	0,024	0,016	0,032	0,012	0,008	0,004	0,04	0,008	0,008	0,012	0,014	0,014	0,032	0,004	0,008
6	0,024	0,016	0,032	0,012	0,008	0,004	0,04	0,008	0,008	0,012	0,014	0,014	0,032	0,004	0,008
7	0,0252	0,0168	0,0336	0,0126	0,0084	0,0042	0,042	0,0084	0,0084	0,0126	0,0147	0,0147	0,0336	0,0042	0,0084
8	0,0264	0,0176	0,0352	0,0132	0,0088	0,0044	0,044	0,0088	0,0088	0,0132	0,0154	0,0154	0,0352	0,0044	0,0088
9	0,0312	0,0208	0,0416	0,0156	0,0104	0,0052	0,052	0,0104	0,0104	0,0156	0,0182	0,0182	0,0416	0,0052	0,0104
10	0,036	0,024	0,048	0,018	0,012	0,006	0,06	0,012	0,012	0,018	0,021	0,021	0,048	0,006	0,012
11	0,039	0,026	0,052	0,0195	0,013	0,0065	0,065	0,013	0,013	0,0195	0,02275	0,02275	0,052	0,0065	0,013
12	0,0462	0,0308	0,0616	0,0231	0,0154	0,0077	0,077	0,0154	0,0154	0,0231	0,02695	0,02695	0,0616	0,0077	0,0154
13	0,0474	0,0316	0,0632	0,0237	0,0158	0,0079	0,079	0,0158	0,0158	0,0237	0,02765	0,02765	0,0632	0,0079	0,0158
14	0,0462	0,0308	0,0616	0,0231	0,0154	0,0077	0,077	0,0154	0,0154	0,0231	0,02695	0,02695	0,0616	0,0077	0,0154
15	0,039	0,026	0,052	0,0195	0,013	0,0065	0,065	0,013	0,013	0,0195	0,02275	0,02275	0,052	0,0065	0,013
16	0,036	0,024	0,048	0,018	0,012	0,006	0,06	0,012	0,012	0,018	0,021	0,021	0,048	0,006	0,012
17	0,0354	0,0236	0,0472	0,0177	0,0118	0,0059	0,059	0,0118	0,0118	0,0177	0,02065	0,02065	0,0472	0,0059	0,0118
18	0,036	0,024	0,048	0,018	0,012	0,006	0,06	0,012	0,012	0,018	0,021	0,021	0,048	0,006	0,012
19	0,039	0,026	0,052	0,0195	0,013	0,0065	0,065	0,013	0,013	0,0195	0,02275	0,02275	0,052	0,0065	0,013
20	0,042	0,028	0,056	0,021	0,014	0,007	0,07	0,014	0,014	0,021	0,0245	0,0245	0,056	0,007	0,014
21	0,045	0,03	0,06	0,0225	0,015	0,0075	0,075	0,015	0,015	0,0225	0,02625	0,02625	0,06	0,0075	0,015
22	0,048	0,032	0,064	0,024	0,016	0,008	0,08	0,016	0,016	0,024	0,028	0,028	0,064	0,008	0,016
23	0,0474	0,0316	0,0632	0,0237	0,0158	0,0079	0,079	0,0158	0,0158	0,0237	0,02765	0,02765	0,0632	0,0079	0,0158

Bus15	Bus17	Bus18	Bus19	Bus20	Bus21	Bus22	Bus23	Bus24	Bus25	Bus27	Bus28	Bus29	Bus30	Bus31
0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,025	0,1	0,1	0,0125	0,0125	0,035	0,3	0,035	0,05	0,02
0,0108	0,0216	0,0216	0,0216	0,0216	0,027	0,108	0,108	0,0135	0,0135	0,0378	0,324	0,0378	0,054	0,0216
0,009	0,018	0,018	0,018	0,018	0,0225	0,09	0,09	0,01125	0,01125	0,0315	0,27	0,0315	0,045	0,018
0,008	0,016	0,016	0,016	0,016	0,02	0,08	0,08	0,01	0,01	0,028	0,24	0,028	0,04	0,016
0,008	0,016	0,016	0,016	0,016	0,02	0,08	0,08	0,01	0,01	0,028	0,24	0,028	0,04	0,016
0,008	0,016	0,016	0,016	0,016	0,02	0,08	0,08	0,01	0,01	0,028	0,24	0,028	0,04	0,016
0,008	0,016	0,016	0,016	0,016	0,02	0,08	0,08	0,01	0,01	0,028	0,24	0,028	0,04	0,016
0,0084	0,0168	0,0168	0,0168	0,0168	0,021	0,084	0,084	0,0105	0,0105	0,0294	0,252	0,0294	0,042	0,0168
0,0088	0,0176	0,0176	0,0176	0,0176	0,022	0,088	0,088	0,011	0,011	0,0308	0,264	0,0308	0,044	0,0176
0,0104	0,0208	0,0208	0,0208	0,0208	0,026	0,104	0,104	0,013	0,013	0,0364	0,312	0,0364	0,052	0,0208
0,012	0,024	0,024	0,024	0,024	0,03	0,12	0,12	0,015	0,015	0,042	0,36	0,042	0,06	0,024
0,013	0,026	0,026	0,026	0,026	0,0325	0,13	0,13	0,01625	0,01625	0,0455	0,39	0,0455	0,065	0,026
0,0154	0,0308	0,0308	0,0308	0,0308	0,0385	0,154	0,154	0,01925	0,01925	0,0539	0,462	0,0539	0,077	0,0308
0,0158	0,0316	0,0316	0,0316	0,0316	0,0395	0,158	0,158	0,01975	0,01975	0,0553	0,474	0,0553	0,079	0,0316
0,0154	0,0308	0,0308	0,0308	0,0308	0,0385	0,154	0,154	0,01925	0,01925	0,0539	0,462	0,0539	0,077	0,0308
0,013	0,026	0,026	0,026	0,026	0,0325	0,13	0,13	0,01625	0,01625	0,0455	0,39	0,0455	0,065	0,026
0,012	0,024	0,024	0,024	0,024	0,03	0,12	0,12	0,015	0,015	0,042	0,36	0,042	0,06	0,024
0,0118	0,0236	0,0236	0,0236	0,0236	0,0295	0,118	0,118	0,01475	0,01475	0,0413	0,354	0,0413	0,059	0,0236
0,012	0,024	0,024	0,024	0,024	0,03	0,12	0,12	0,015	0,015	0,042	0,36	0,042	0,06	0,024
0,013	0,026	0,026	0,026	0,026	0,0325	0,13	0,13	0,01625	0,01625	0,0455	0,39	0,0455	0,065	0,026
0,014	0,028	0,028	0,028	0,028	0,035	0,14	0,14	0,0175	0,0175	0,049	0,42	0,049	0,07	0,028
0,015	0,03	0,03	0,03	0,03	0,0375	0,15	0,15	0,01875	0,01875	0,0525	0,45	0,0525	0,075	0,03
0,016	0,032	0,032	0,032	0,032	0,04	0,16	0,16	0,02	0,02	0,056	0,48	0,056	0,08	0,032
0,0158	0,0316	0,0316	0,0316	0,0316	0,0395	0,158	0,158	0,01975	0,01975	0,0553	0,474	0,0553	0,079	0,0316

Η συνολική ισχύς των φορτίων ανα ώρα φαίνεται στον παρακάτω πίνακα .

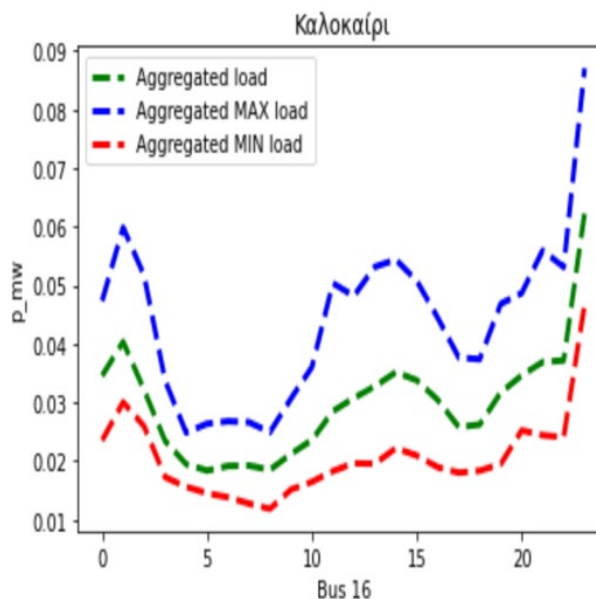
	Total load
0	1,84547
1	1,9942827
2	1,66096042
3	1,47150156
4	1,43274726
5	1,43325521
6	1,47304986
7	1,54799479
8	1,61837887
9	1,90964014
10	2,19972655
11	2,38752203
12	2,82260934
13	2,89624297
14	2,82832598
15	2,39464434
16	2,21309195
17	2,17099827
18	2,20895651
19	2,39881356
20	2,58550319
21	2,76755597
22	2,94722816
23	2,94832774



II) Τα φορτία των ζυγών 16 και 26 που λειτουργούν με ευελιξία .

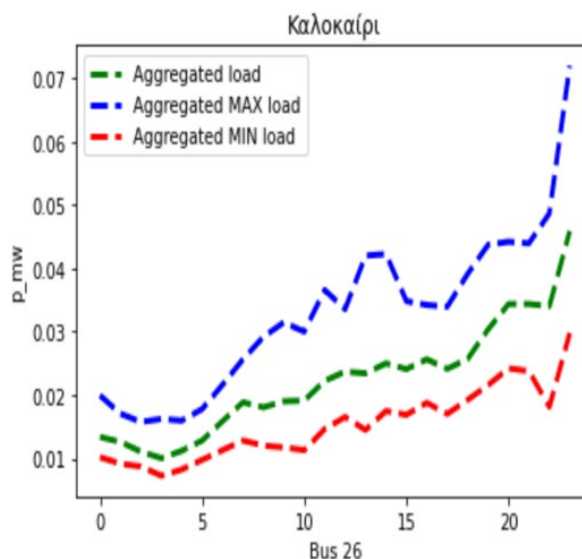
Η ενεργός ισχύς για τον ζυγό 16 (σε MW)

	Aggregator Average	Aggregator Max	Aggregator Min
0	0,034583111	0,047335453	0,023537457
1	0,0403742	0,059891237	0,030061256
2	0,032143125	0,051693031	0,025947234
3	0,023466853	0,033764849	0,01727299
4	0,019497877	0,024878805	0,015628698
5	0,018381581	0,026377106	0,014521745
6	0,019169597	0,026806355	0,013824211
7	0,019229817	0,026639881	0,01275768
8	0,018513378	0,024942108	0,01184699
9	0,021220478	0,030667824	0,015142742
10	0,023595385	0,036046027	0,016464069
11	0,028525264	0,050357554	0,01829736
12	0,030757163	0,048199522	0,019645839
13	0,032764887	0,053163906	0,019560132
14	0,035171683	0,054393113	0,022206772
15	0,033802224	0,050770367	0,020951299
16	0,030445192	0,044440874	0,018956449
17	0,02581402	0,037684023	0,018020955
18	0,026239972	0,037396192	0,018361036
19	0,03169748	0,046840537	0,019500786
20	0,034625643	0,048670994	0,02524933
21	0,036922589	0,05596198	0,024420081
22	0,037190631	0,053125629	0,024063784
23	0,062369352	0,087043421	0,046761623



Η ενεργός ισχύς για τον ζυγό 26 (σε MW)

	Aggregator Average	Aggregator Max	Aggregator Min
0	0,013388667	0,019947254	0,010192494
1	0,0126085	0,01706681	0,009166004
2	0,011067297	0,015749817	0,008725161
3	0,01003471	0,016234176	0,007260443
4	0,011199384	0,015967622	0,008240041
5	0,012823633	0,017791715	0,009770474
6	0,015880264	0,021635123	0,011312031
7	0,018864974	0,025651304	0,012820915
8	0,018065489	0,029192588	0,01202648
9	0,019019662	0,031480456	0,011745705
10	0,019131167	0,03000559	0,011298962
11	0,02224677	0,036603374	0,01464222
12	0,023702178	0,033554938	0,016540607
13	0,023428086	0,042021449	0,014489769
14	0,025004292	0,042279076	0,017483183
15	0,02409212	0,034842862	0,016888777
16	0,025646756	0,034223573	0,018781472
17	0,024134248	0,033959793	0,017031386
18	0,025716537	0,039141776	0,01924872
19	0,030366085	0,043733989	0,021567895
20	0,034377544	0,044219175	0,02421959
21	0,034383378	0,043973922	0,023791881
22	0,034037529	0,048690075	0,018142578
23	0,045908385	0,072005957	0,029781312



Τα δεδομένα του κόστους παροχής ενέργειας , για κάθε πάροχο.

Προκυμμένου να ελαχιστοποιηθεί η ενέργεια που παίρνει ο ΔΔΗΕ από το εξωτερικό δίκτυο , έχουν δηλωθεί κάποια κόστη ενέργειας. Τα κόστη των μονάδων και των ευέλικτων στοιχείων έχουν επιλεγθεί, ώστε να αντικατοπτρίζουν τις ανάγκες και τις προτεραιότητες σύγχρονων δικτύων διανομής και των γενικότερων στόχων για την ενσωμάτωση των ΑΠΕ. Για τον λόγο αυτό οι τιμές που θα επιλεγθούν είναι τέτοιες ώστε να χρησιμοποιούνται περισσότερο οι μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής και η ευέλικτη ζήτηση και λιγότερο το εξωτερικό δίκτυο. Επίσης, έχουν επιλεγθεί για πειραματικούς σκοπούς και τέτοιες αναλογίες ώστε να προκύψουν οι προτεραιότητες που μας ενδιαφέρουν και δεν αντιπροσωπεύουν πραγματικές τιμές αγοράς. Συγκεκριμένα για το εξωτερικό δίκτυο , η χρέωση MWh είναι 10ευρο , για το φωτοβολταϊκό σύστημα είναι 2ευρο/ MWh , για την μπαταρία 5ευρο/ MWh και τέλος για κάθε MWh που παρέχουν ευελιξία στο δίκτυο οι ζυγοί 16/26 κοστίζει 8ευρο/ MWh . Άρα , είναι προτιμότερο από τον διαχειριστή να χρησιμοποιήσει σε πρώτη φάση το φωτοβολταϊκό σύστημα στην συνέχεια να χρησιμοποιήσει αποθέματα τις μπαταρίας , έπειτα να δεχτεί ευελιξία από τους καταναλωτές και τέλος να χρησιμοποιήσει ενέργεια από το δίκτυο .

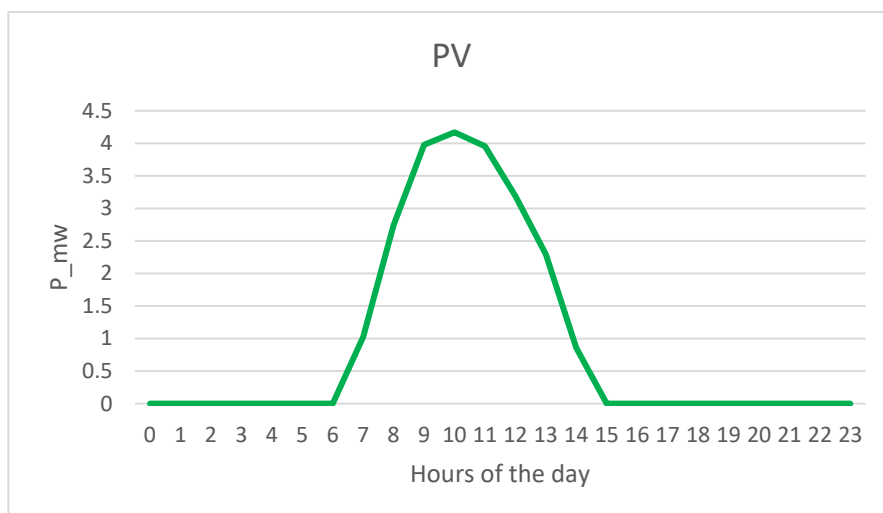
5.7 Σενάριο 2 Α , Διαχείριση υπερφόρτωσης γραμμών

Τα δεδομένα για το φωτοβολταϊκό σύστημα

Το φωτοβολταϊκό σύστημα , είναι ίδιο με αυτό του χειμώνα αλλά έχουν διαφοροποιηθεί τα δεδομένα τις θερμοκρασίας και τις ταχύτητας του ανέμου . Όπου έχουν επιλεγθεί από την χρονιά του 2016 για την πρώτη μέρα του Ιουλίου. Συγκεκριμένα τα χαρακτηριστικά αυτά φαίνονται παρακάτω .

GHI [W/m ²]	DNI	DHI	Temperature(Celcius)	Wind Speed Base(m/s)
0	0	0	24,92	0,65
0	0	0	24,37	1,07
0	0	0	23,82	1,49
0	0	0	23,27	1,9
0	0	0	24,22	2,16
0	0	0	25,16	2,42
72,25	23,85	47,26	26,1	2,68
299,62	171,97	123,84	26,86	2,83
458,18	277,08	175,06	27,63	2,99
558,65	342,89	208,27	28,39	3,14
566,26	342,58	215,94	28,72	3,38
548,14	329,74	210,9	29,05	3,61
490,28	295,03	188,61	29,38	3,85
401,69	232,53	163,78	29,14	3,85
279,76	158,2	117,97	28,9	3,86
129,62	69,98	58,13	28,65	3,86
0,04	0	0,04	27,99	3,54
0	0	0	27,32	3,23
0	0	0	26,66	2,91
0	0	0	26,43	3,12
0	0	0	26,21	3,33
0	0	0	25,99	3,54
0	0	0	25,54	3,89
0	0	0	25,09	4,23

Η μέγιστη ενέργεια που παρέχει το φωτοβολταϊκό σύστημα στο συγκεκριμένο 24ώρο , φαίνεται παρακάτω



Τα δεδομένα της μπαταρίας

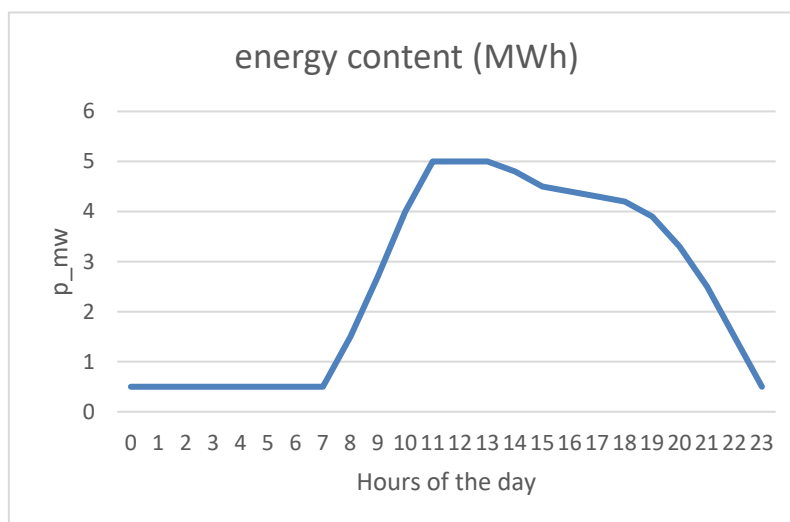
Όπως έχει αναφερθεί και προηγουμένως η μπαταρία ακολουθεί ένα συγκεκριμένο διάγραμμα ροής .

Η μπαταρία του συστήματος , ακολουθεί κάποιες προδιαγραφές .

- Η ονομαστική χωρητικότητα της μπαταρίας είναι 5 MWh
- Το ελάχιστο επίπεδο φόρτισης της μπαταρίας δεν πέφτει κάτω από 0,5 MWh
- Η μέγιστη ισχύς φόρτισης/εκφόρτισης της μπαταρίας είναι 1,5MW

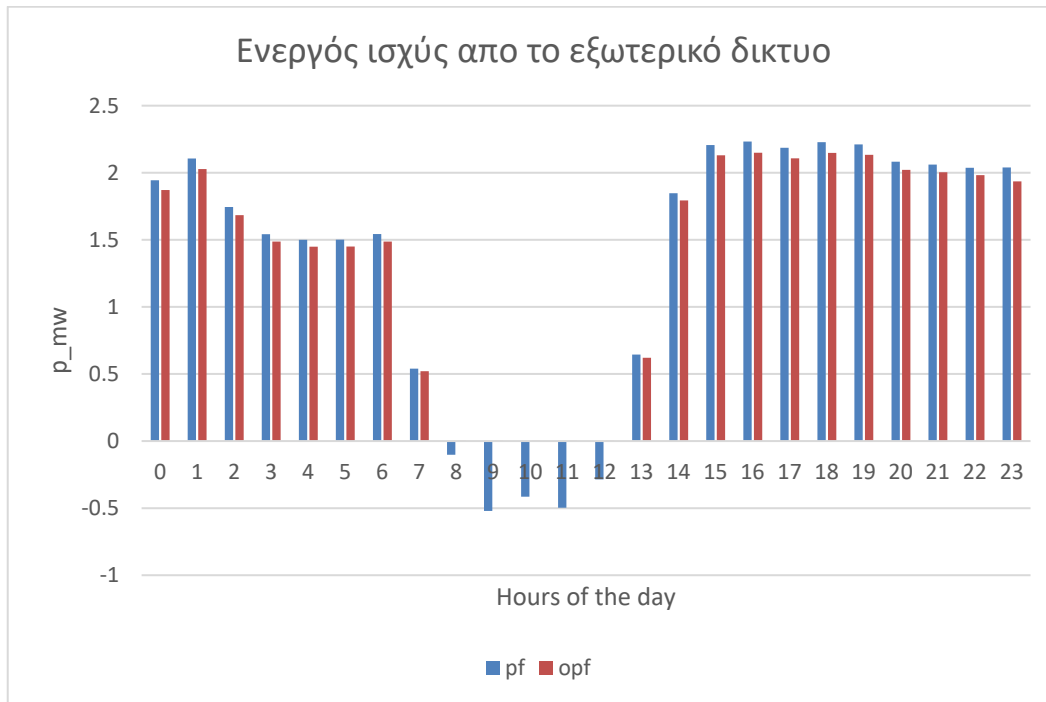
Έχοντας λάβει υπόψιν το συνολικό φορτίο του δικτύου ανα ώρα και την συνολική ενέργεια που μπορεί να προσφέρει το φωτοβολταϊκό σύστημα σε συνδυασμό με τις προϋποθέσεις του διαγράμματος ροής τις μπαταρίας , έχει προκύψει ο παρακάτω πίνακας που εμφανίζει την λειτουργία τις μπαταρίας στο συγκεκριμένο 24ώρο.

	energy content (MWh)
0	0,5
1	0,5
2	0,5
3	0,5
4	0,5
5	0,5
6	0,5
7	0,5
8	1,5
9	2,7
10	4
11	5
12	5
13	5
14	4,8
15	4,5
16	4,4
17	4,3
18	4,2
19	3,9
20	3,3
21	2,5
22	1,5
23	0,5

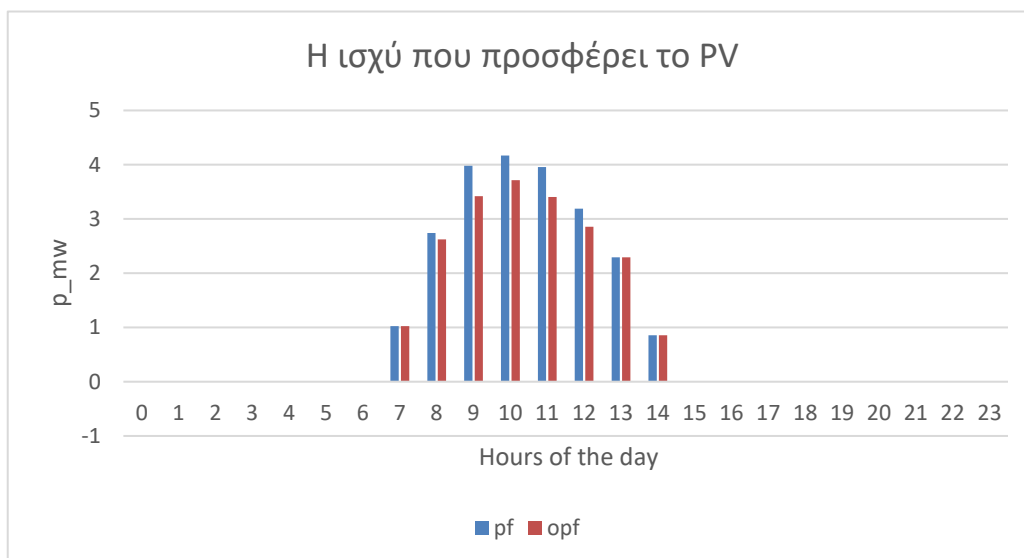


Συγκεκριμένα , φαίνεται ότι η μπαταρία είναι φορτισμένη στην αρχή της μέρας και τις ώρες 8 ,9, 10,11 ´ φορτίζεται η μπαταρία , ενώ τις ώρες 14-23 εκφορτίζεται.

Για το 24ωρο αυτό του καλοκαιριού, τρέχουμε την ροή ισχύος και την βέλτιστη ροή ισχύος. Παρακάτω φαίνονται οι τιμές των μεγεθών του φωτοβολταϊκού συστήματος (PV) και η ενέργεια που προσφέρει ο πάροχος στο δίκτυο (ext_grid) στο 24ώρο.



Παρατηρούμε ότι η ενέργεια που προσφέρει το εξωτερικό δίκτυο έχει ελαττωθεί στην βέλτιστη ροή ισχύος σε σχέση με την απλή ροή ισχύος. Στις αρνητικές τιμές σημαίνει ότι το εξωτερικό δίκτυο απορροφά περισευούμενη ισχύς από το δίκτυο διανομής και στις θετικές τιμές εγχέει ισχύ στο δίκτυο.

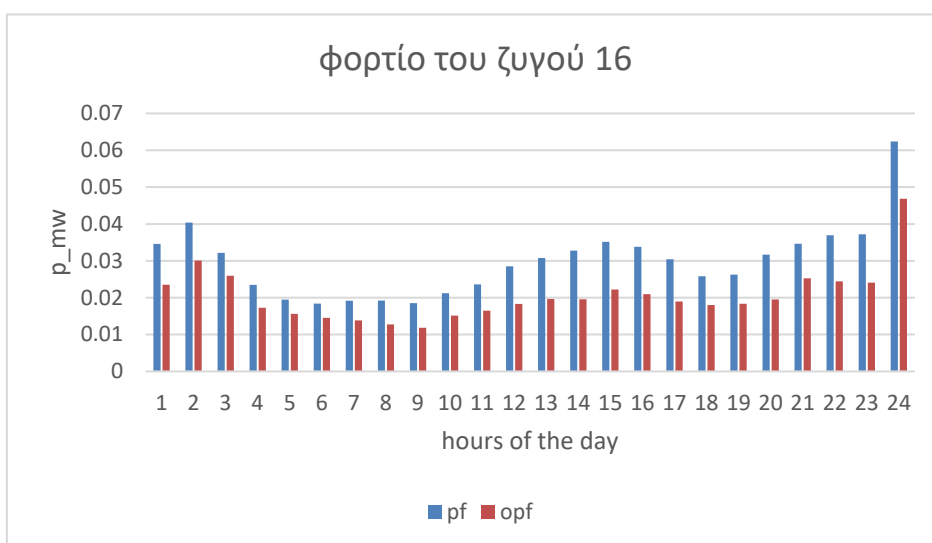


Παρατηρούμε ότι η ενέργεια που προσφέρει το φωτοβολταϊκό σύστημα έχει ελαττωθεί στην βέλτιστη ροή ισχύος σε σχέση με την απλή ροή ισχύος. Αναγκαστικά αποκόπτεται η παραγωγή του φωτοβολταϊκού συστήματος προκειμένου να μην προκύψουν

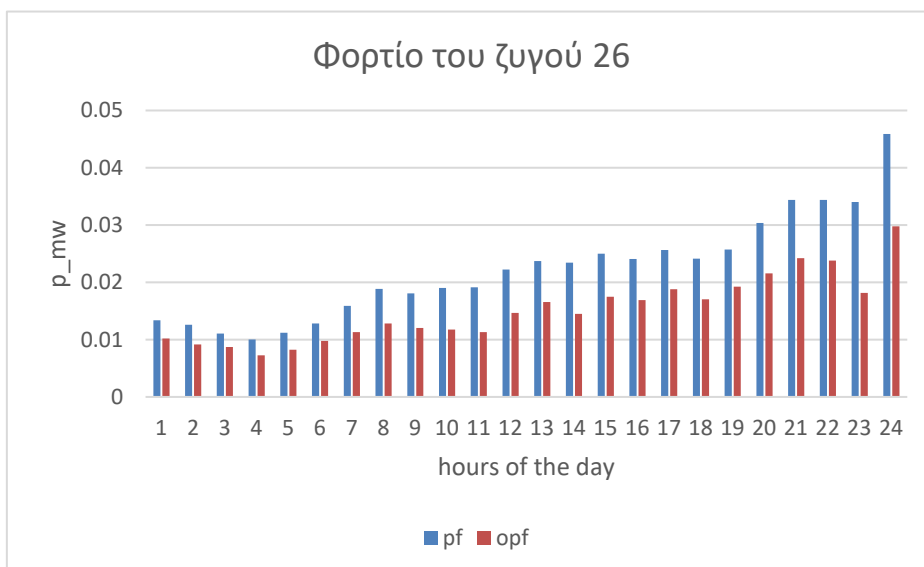
υπερφορτώσεις, καθώς η παραγωγή του είναι τόσο μεγάλη που δεν μπορεί να απορροφηθεί όλη αυτές τις ώρες που η ζήτηση είναι πολύ υψηλή.

Όσον αφορά τα φορτία των ζυγών 16 και 26 που λειτουργούν με ευελιξία παρακάτω φαίνονται οι τιμές στους ζυγούς αυτούς στην ροή αλλά και στην βέλτιστη ροή ισχύς .

Για τον ζυγό 16



Για τον ζυγό 26



Παρατηρούμε κάποιες υπερφορτώσεις στο δίκτυο την ώρα 1,2,16, 17,18,19,20 άλλα με την βέλτιστη ροή ισχύος δεν υπάρχουν πλέον. Αυτό φαίνεται στους παρακάτω πίνακες ροής/βέλτιστης ροής ισχύος. Όπου οι τιμές που είναι με σκούρο κόκκινο πλησιάζουν και κάποιες ξεπερνούν το αποδεκτό ποσοστό ρεύματος στις γραμμές μεταφοράς. Οι τιμές που είναι άνω του 100 σημαίνει ότι στην συγκεκριμένη γραμμή την συγκεκριμένη ώρα ρέει ρεύμα ποσού μεγαλύτερου του 0,12KA που είναι το μέγιστο επιτρεπτό.

Για την ροή ισχύος

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0	97,36224	93,88241	89,71581	89,94799	89,93375	101,716	18,51274	14,29857	13,10976	11,91911	10,90424	9,592234	8,278694	5,599922	4,455763	3,249573
1	103,8295	99,89386	95,03088	95,24274	95,21032	107,7653	20,11623	15,56442	14,27949	12,99217	11,89594	10,47844	9,059095	6,16626	4,927697	3,622975
2	89,48315	86,56616	83,24604	83,50019	83,50721	94,33206	16,68092	12,88917	11,81961	10,74866	9,836256	8,656721	7,476194	5,069624	4,040774	2,956587
3	81,41343	79,04653	76,54933	76,82362	76,85127	86,71833	14,63466	11,26444	10,31504	9,364885	8,553556	7,505152	6,455925	4,313811	3,40326	2,442053
4	79,49417	77,27509	75,06809	75,37221	75,41382	85,43937	14,21613	10,91301	9,985866	9,058222	8,26052	7,231303	6,201198	4,093846	3,208442	2,270274
5	79,51979	77,30039	75,09178	75,39562	75,43709	85,44827	14,1775	10,87428	9,947353	9,019979	8,222059	7,192656	6,162311	4,053626	3,169005	2,231319
6	81,48825	79,12019	76,61782	76,89121	76,91842	86,7346	14,48497	11,11438	10,16576	9,216572	8,404427	7,355318	6,305184	4,158169	3,250333	2,290644
7	23,83788	20,47269	23,8174	25,40332	26,08131	46,2854	15,18361	11,6441	10,64802	9,651289	8,798088	7,69599	6,592653	4,336112	3,383005	2,375175
8	18,75204	18,68828	29,44123	31,15699	32,07057	49,37543	15,8557	12,1472	11,1038	10,05968	9,165256	8,01002	6,853285	4,486229	3,488397	2,432801
9	49,96899	50,59389	58,61833	59,82425	60,56551	73,0096	18,74322	14,35885	13,12491	11,88962	10,83106	9,463745	8,094022	5,290157	4,108923	2,859006
10	51,76167	51,48808	59,75	61,11386	61,96291	76,74349	21,62764	16,5669	15,14218	13,71534	12,49216	10,91211	9,328549	6,085721	4,72058	3,275688
11	61,43964	61,05947	69,14884	70,47722	71,33237	85,89691	23,55616	18,07262	16,52781	14,98012	13,65442	11,94158	10,22455	6,71025	5,227092	3,657944
12	62,15447	59,92699	67,89766	69,47642	70,50303	89,28336	27,86055	21,36101	19,52945	17,69343	16,11932	14,08547	12,04516	7,865817	6,105569	4,242176
13	31,90846	17,44015	20,28246	24,11444	26,03394	64,33894	28,63792	21,969	20,08925	18,20464	16,58931	14,50202	12,40791	8,11909	6,311185	4,397593
14	77,77451	69,36918	60,83189	61,58787	61,80255	87,7441	28,01732	21,51798	19,68552	17,84835	16,27498	14,2417	12,20211	8,027518	6,263846	4,397988
15	102,964	97,49757	90,90873	91,18807	91,16965	107,5325	23,74248	18,25927	16,71344	15,16445	13,83968	12,12759	10,41153	6,903014	5,416116	3,844544
16	107,1714	102,4748	96,63632	96,85542	96,81518	110,9635	21,86857	16,80824	15,38218	13,95362	12,73165	11,15258	9,570273	6,335032	4,964865	3,516545
17	105,2282	100,6468	94,99898	95,22654	95,19246	109,1924	21,35496	16,37893	14,97757	13,57405	12,37192	10,81884	9,262504	6,077437	4,733393	3,31152
18	106,911	102,2115	96,37737	96,59826	96,55894	110,7308	21,72057	16,65997	15,23472	13,8072	12,58448	11,0048	9,421705	6,181808	4,814629	3,368258
19	103,1994	97,73518	91,13842	91,41527	91,39558	107,694	23,66811	18,18476	16,63933	15,09085	13,76571	12,05331	10,33686	6,26038	5,340581	3,769898
20	93,53708	87,07207	79,72928	80,13912	80,1803	99,72468	25,53035	19,62389	17,95866	16,28965	14,86146	13,01573	11,16513	7,379847	5,777624	4,083502
21	89,88299	82,4119	74,1339	74,64211	74,72783	97,10717	27,37385	21,04405	19,25902	17,46945	15,93793	13,95853	11,97333	7,912165	6,193298	4,376559
22	86,36094	77,76278	68,43762	69,06674	69,21052	94,73003	29,14865	22,39521	20,49065	18,58085	16,94546	14,83189	12,71142	8,371472	6,537116	4,596579
23	86,90868	78,53502	69,4183	70,02223	70,15383	95,06471	29,69611	23,02946	21,1443	19,25278	17,64262	15,55961	13,47091	9,213464	7,387139	5,463668

	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
1,881747	7,504458	5,63133	3,754859	1,877728	19,80014	17,83768	8,926162	24,99561	23,87447	23,18013	22,13899	19,64641	9,054702	5,865597	1,390875	
2,03517	8,106608	6,083442	4,056374	2,028535	21,40187	19,28129	9,649206	26,98979	25,77925	25,07586	23,95008	21,25408	9,79661	6,34629	1,504872	
1,690999	6,752152	5,066532	3,378205	1,689344	17,80183	16,03677	8,024298	22,42632	21,41874	20,8193	19,88369	17,64452	8,131075	5,267186	1,248964	
1,500362	6,000258	4,502102	3,001809	1,501095	15,80757	14,23966	7,124484	19,90044	19,00545	18,4681	17,63769	15,651	7,21154	4,671446	1,107689	
1,468511	5,875016	4,408097	2,939125	1,469746	15,48561	13,94781	6,978381	19,70242	18,8271	18,26112	17,45182	15,50341	7,065754	4,578398	1,088293	
1,468429	5,875017	4,408098	2,939125	1,469746	15,48563	13,94783	6,978389	19,74426	18,86797	18,26127	17,45196	15,50354	7,065812	4,578436	1,088302	
1,500036	6,000261	4,502104	3,001811	1,501096	15,80762	14,23971	7,124509	20,05322	19,15477	18,46862	17,63818	15,65145	7,211745	4,671578	1,107721	
1,575916	6,299262	4,72655	3,151483	1,575952	16,57657	14,93261	7,471418	21,05257	20,11101	19,33694	18,46762	16,38761	7,551259	4,891535	1,159881	
1,651817	6,598833	4,951433	3,301449	1,650955	17,35424	15,6334	7,8223	21,97423	20,99083	20,22483	19,31577	17,14041	7,89848	5,116488	1,213226	
1,956776	7,800721	5,853766	3,903201	1,951923	20,52063	18,487	9,25134	25,92477	24,7652	23,92003	22,8458	20,27377	9,344103	6,053094	1,435339	
2,263168	9,004304	6,757528	4,505938	2,253399	23,70835	21,3602	10,69058	29,91151	28,57436	27,66981	26,42828	23,45399	10,81192	7,004135	1,660883	
2,455849	9,75671	7,322581	4,882801	2,441906	25,69958	23,15516	11,5899	32,47629	31,02696	30,00851	28,66278	25,43773	11,7278	7,59758	1,801625	
2,919509	11,56479	8,680687	5,788645	2,895033	30,506	27,48841	13,76162	38,54976	36,8325	35,69178	34,09333	30,25935	13,95485	9,0407	2,14389	
2,997366	11,86871	8,909007	5,940939	2,971218	31,34968	28,24915	14,14299	39,67471	37,90782	36,75636	35,1107	31,16275	14,37235	9,311261	2,208062	
2,920181	11,57057	8,685039	5,791548	2,896485	30,60434	27,57713	13,80614	38,86751	37,13728	35,95518	34,34513	30,48302	14,05838	9,107808	2,159809	
2,456519	9,763017	7,327321	4,885964	2,443488	25,80587	23,25102	11,63799	32,82616	31,36269	30,28777	28,92969	25,67478	11,83742	7,668628	1,818477	
2,263965	9,010061	6,761853	4,508824	2,254843	23,80498	21,44735	10,73428	30,35413	29,00138	27,9218	26,66911	23,66785	10,91079	7,068208	1,676708	
2,225076	8,859388	6,648706	4,433362	2,217097	23,40313	21,08512	10,55281	29,80711	28,47778	27,4443	26,21289	23,26284	10,72382	6,947058	1,647348	
2,263475	9,01005	6,761845	4,508818	2,25484	23,80479	21,44718	10,7342	30,35548	29,0027	27,92135	26,66867	23,66747	10,91061	7,068094	1,676053	
2,456252	9,763031	7,327331	4,88597	2,443491	25,80609	23,25122	11,63809	32,99242	31,52531	30,28901	28,93087	25,67583	11,83791	7,668943	1,818552	
2,649347	10,51603	7,892896	5,263187	2,632181	27,80502	25,05327	12,54113	35,6053	34,0248	32,65035	31,18715	27,67905	12,76305	8,268419	1,960728	
2,842969	11,26964	8,458976	5,640761	2,821056	29,81122	26,86203	13,44769	38,13064	36,43847	35,0288	33,4599	29,69701	13,69524	8,872485	2,103996	
3,036879	12,02358	9,025364	6,018554	3,010045	31,8201	28,67336	14,3557	40,65303	38,84939	37,41345	35,73869	31,72046	14,6302	9,478368	2,247698	
3,00202	11,87277	8,912059	5,942976	2,972237	31,41805	28,31084	14,17396	40,4615	38,67353	36,93747	35,28384	31,31656	14,44356	9,357415	2,219011	

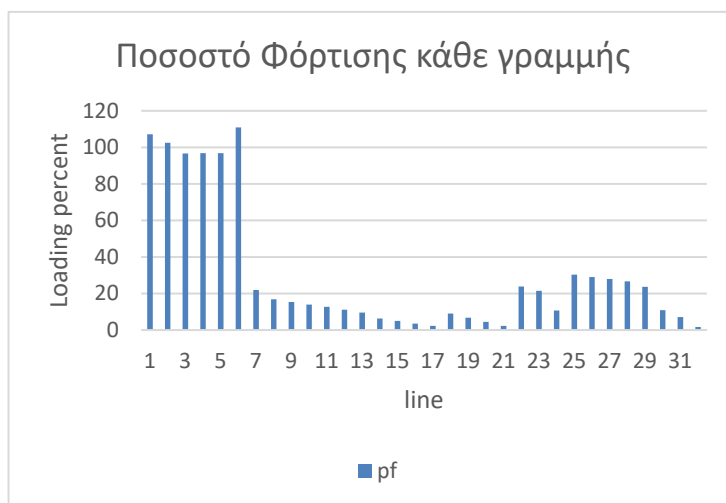
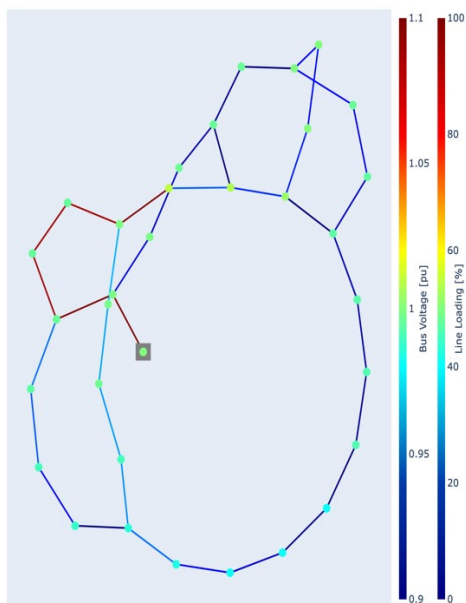
Για την βέλτιστη ροή ισχύς ,

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0	79,0849	69,36903	47,59219	44,84696	43,55441	21,17087	17,32638	13,13522	11,92149	10,71019	9,786364	8,600022	7,472548	5,630429	4,708576	4,082501
1	85,91663	75,42158	51,87859	48,90747	47,50954	23,15545	19,00119	14,44842	13,13039	11,81374	10,80198	9,500063	8,255032	6,16796	5,126325	4,375157
2	70,7925	62,05059	42,47792	40,01746	38,85653	19,10023	15,63545	11,91221	10,83233	9,757006	8,951673	7,920284	6,950152	5,416927	4,630415	4,114718
3	62,25391	54,48631	37,11513	34,93609	33,9066	16,64897	13,57085	10,29519	9,345035	8,40083	7,704154	6,816039	5,991578	4,756529	4,116854	3,744579
4	60,94226	53,33274	36,3173	34,17732	33,16867	16,1854	13,18597	9,985395	9,058743	8,138409	7,460461	6,598752	5,803192	4,639346	4,033147	3,697586
5	60,95769	53,34818	36,33275	34,19281	33,18417	16,14268	13,14344	9,942156	9,015391	8,09496	7,416937	6,555406	5,76057	4,602618	4,000672	3,672725
6	62,27759	54,50999	37,13876	34,95972	33,93022	16,51586	13,4384	10,16044	9,209908	8,265356	7,56833	6,680553	5,857982	4,639846	4,012843	3,663832
7	22,60824	14,47888	3,971969	6,11307	7,170503	26,08361	14,03431	10,56106	9,558835	8,556921	7,774507	6,7668	5,796922	4,141051	3,336005	2,761836
8	5,931077	8,021344	25,53207	27,80454	28,90115	49,35602	15,37534	11,67873	10,63453	9,589073	8,701691	7,554252	6,407325	4,086236	3,075662	2,020742
9	9,320547	10,36819	29,73887	32,35005	33,62568	57,30938	18,22593	13,86199	12,62905	11,39414	10,34532	9,989061	7,632675	4,884994	3,690925	2,442842
10	13,00653	13,19137	34,05053	36,97681	38,42305	65,15337	20,97356	15,94391	14,52198	13,09717	11,88768	10,3234	8,758592	5,591093	4,211561	2,771385
11	15,40762	15,12441	36,80275	39,9166	41,46598	70,18956	22,72071	17,2759	15,73571	14,19193	12,88243	11,18855	9,493947	6,066696	4,570533	3,010745
12	20,9899	19,82788	43,56588	47,12713	48,92157	82,22107	26,78616	20,34761	18,52419	16,9533	15,14605	13,14144	11,13554	7,086615	5,310509	3,464951
13	31,25835	16,95837	21,19827	25,01437	26,92817	62,55915	26,62433	20,04369	18,15249	16,25513	14,72434	12,74406	10,8003	7,223576	5,525228	4,10843
14	72,76406	57,86748	24,8154	20,98937	19,1571	25,51934	26,48675	19,96304	18,08544	16,20207	14,69222	12,73999	10,8295	7,357637	5,699304	4,348786
15	93,78578	81,19568	52,99357	49,38593	47,71675	16,37259	22,55161	16,99978	15,39728	13,79261	12,5306	10,90265	9,32745	6,588287	5,261056	4,274737
16	92,37073	80,71596	54,55958	51,23897	49,6859	21,53362	20,71919	15,61088	14,1351	12,65861	11,50673	10,02288	8,594693	6,161763	4,976911	4,133783
17	90,59415	79,13403	53,41987	50,15565	48,62891	21,05599	20,31842	15,30216	13,85275	12,40293	11,27386	9,819922	8,422349	6,054316	4,900389	4,089878
18	92,36537	80,71061	54,55429	51,23367	49,68061	21,51037	20,69594	15,58732	14,11151	12,63497	11,48297	9,999034	8,570878	6,139635	4,956348	4,117323
19	93,89547	81,30455	53,09877	49,49104	47,82149	16,31918	22,49619	16,94335	15,34067	13,73583	12,47343	10,84511	9,269772	6,533803	5,209801	4,232604
20	92,46206	79,01206	49,11455	45,26842	43,52433	9,081339	24,44528	18,46073	16,73453	15,00479	13,63559	11,86732	10,14866	7,104383	5,633258	4,489293
21	94,31612	80,01965	48,51507	44,4697	42,66713	7,987161	26,1755	19,74925	17,89725	16,04034	14,56147	12,65026	10,7864	7,444656	5,838808	4,563684
22	96,2173	81,1204	48,26083	44,07508	42,25036	10,65391	27,92773	21,06132	19,08401	17,10043	15,51227	13,45866	11,45003	7,809227	6,067632	4,655477
23	94,27183	79,38268	47,04138	42,92778	41,14008	11,21981	26,80209	20,01936	18,06787	16,11038	14,53991	12,51073	10,52835	6,974893	5,29486	4,028222

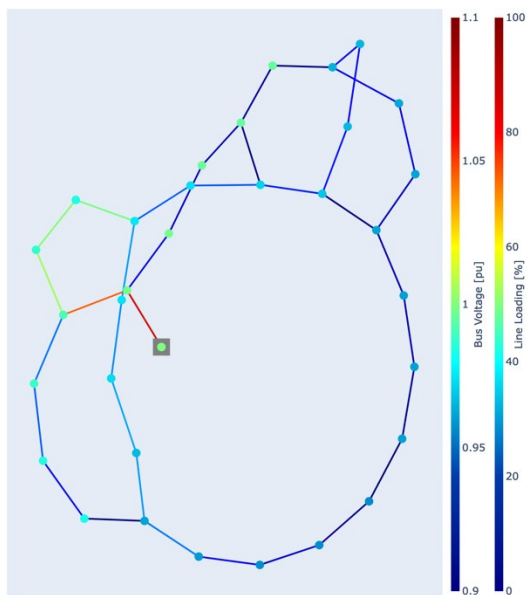
16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
1,936004	7,509853	5,635383	3,757562	1,87908	19,89246	17,92092	8,967884	22,49544	21,28993	23,71129	22,64656	20,09709	9,262915	6,000523	1,422876
2,098399	8,1128	6,088094	4,059477	2,030088	21,50806	19,37704	9,697214	24,49832	23,19821	25,69008	24,53706	21,77531	10,03749	6,502392	1,541897
1,735527	6,756649	5,069909	3,380457	1,690471	17,87855	16,10594	8,058957	19,89215	18,8047	21,25729	20,30218	18,01608	8,30267	5,378376	1,275334
1,535934	6,003915	4,504848	3,003641	1,502011	15,86979	14,29575	7,152584	17,35334	16,38441	18,82088	17,97474	15,95023	7,349679	4,760952	1,128916
1,502912	5,878556	4,410756	2,940897	1,470633	15,54585	14,0021	7,005578	17,10729	16,15961	18,60525	17,78083	15,79581	7,19927	4,664935	1,108866
1,502835	5,878557	4,410757	2,940898	1,470633	15,54587	14,00212	7,00559	17,15455	16,20629	18,60546	17,78103	15,79599	7,199352	4,664988	1,108879
1,535677	6,003917	4,50485	3,003642	1,502012	15,86983	14,29578	7,152603	17,48022	16,5098	18,82132	17,97517	15,9506	7,349852	4,761064	1,128943
1,58284	6,300322	4,727346	3,152014	1,576217	16,59442	14,9487	7,479479	18,24678	17,24812	19,43277	18,55918	16,4689	7,588787	4,915851	1,165648
1,646356	6,598589	4,951249	3,301326	1,650894	17,35017	15,62973	7,820463	20,94191	19,94659	20,19437	19,28667	17,11457	7,88655	5,108758	1,211393
1,947218	7,800859	5,85387	3,90327	1,951958	20,52323	18,48935	9,252515	24,77133	23,59864	23,89141	22,81845	20,24949	9,332885	6,045824	1,433615
2,248362	9,003933	6,757248	4,505752	2,253306	23,70241	21,35484	10,68789	28,50976	27,15806	27,59804	26,35968	23,39307	10,78376	6,985886	1,656554
2,436936	9,756261	7,322244	4,882576	2,441793	25,6925	23,14877	11,5867	30,96018	29,49497	29,91995	28,57814	25,36256	11,69304	7,575052	1,796281
2,889518	11,5631	8,679419	5,787798	2,894609	30,47798	27,46314	13,74893	36,67245	34,9383	35,50445	33,91426	30,10028	13,88123	8,99298	2,13257
2,982555	11,86855	8,908887	5,940859	2,971178	31,34697	28,24671	14,14176	36,29514	34,47116	36,73668	35,09188	31,14604	14,36462	9,306245	2,206872
2,963828	11,57552	8,688753	5,794026	2,897726	30,68916	27,65366	13,84456	36,04233	34,23058	36,4399	34,80852	30,89466	14,24893	9,231322	2,189108
2,535142	9,770715	7,333106	4,889823	2,445419	25,93817	23,37035	11,69785	30,32154	28,76292	31,05465	29,66268	26,32579	12,13853	7,863785	1,864768
2,337868	9,017238	6,767247	4,512422	2,256643	23,92831	21,55857	10,79006	27,86389	26,41925	28,63802	27,35363	24,27577	11,19186	7,250366	1,719286
2,296808	8,86635	6,653937	4,436851	2,218843	23,52269	21,19294	10,60688	27,29157	25,87158	28,13706	26,87498	23,85082	10,99565	7,123226	1,689133
2,337784	9,017238	6,767246	4,512421	2,256642	23,9283	21,55856	10,79005	27,87775	26,43291	28,638	27,35361	24,27575	11,19185	7,25036	1,719285
2,535054	9,770733	7,333121	4,889832	2,445423	25,9385	23,37064	11,69799	30,46149	28,90063	31,05661	29,66456	26,32746	12,1393	7,864284	1,864886
2,729274	10,52395	7,898846	5,267157	2,634167	27,94097	25,17591	12,60267	33,0164	31,34173	33,43336	31,93562	28,34386	13,07065	8,467796	2,008021
2,926633	11,27803	8,465277	5,644965	2,823159	29,9552	26,99193	13,51289	35,52783	33,73885	35,85687	34,25151	30,40021	14,02073	9,083463	2,154043
3,12425	12,03239	9,031988	6,022973	3,012257	31,97148	28,80995	14,42427	37,8938	35,99333	38,28247	36,56951	32,45855	14,97197	9,699912	2,300254
3,078854	11,88114	8,918354	5,947176	2,974339	31,56191	28,44063	14,23911	37,69702	35,81505	37,77017	36,07992	32,02378	14,77101	9,569673	2,269363

Συγκεκριμένα για την ώρα 16 :

Στην ροή ισχύς φαίνονται οι υπερφορτώσεις στις γραμμές 1,2 και 6 .



Στην βέλτιστη ροή ισχύς, φαίνεται η αντίστοιχη εξομάλυνσή



Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται με ακρίβεια η βελτίωση της ποσότητας ρεύματος που διαπερνάει την ώρα 16 από της γραμμές 1-6 του δικτύου

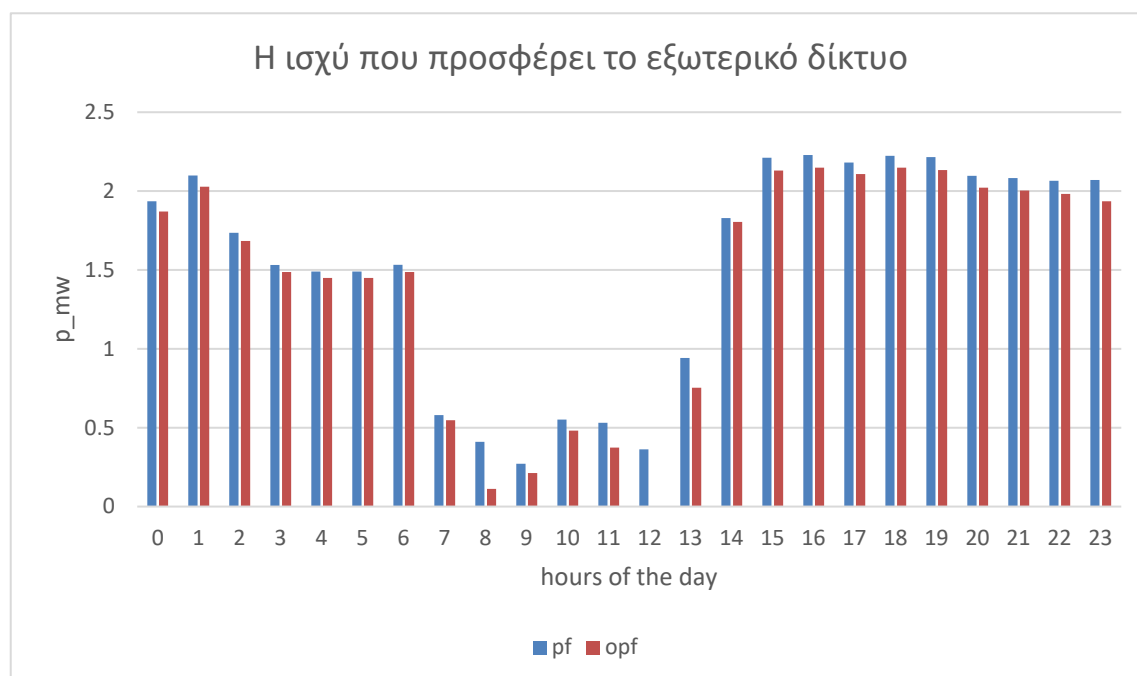
Γραμμές δικτύου	Ρεύμα γραμμής στην ροή φορτίου	Ρεύμα γραμμής στην βέλτιστη ροή φορτίου
Γραμμή 1	0,128 KA	0,1108 KA
Γραμμή 2	0,229 KA	0,097 KA
Γραμμή 3	0,1163 KA	0,066 KA
Γραμμή 4	0,1164 KA	0,061 KA
Γραμμή 5	0,1164 KA	0,06 KA
Γραμμή 6	0,133 KA	0,04 KA

Η εξομάλυνση αυτή, οφείλεται στην μείωση των φορτίων στους ζυγούς 16,26.

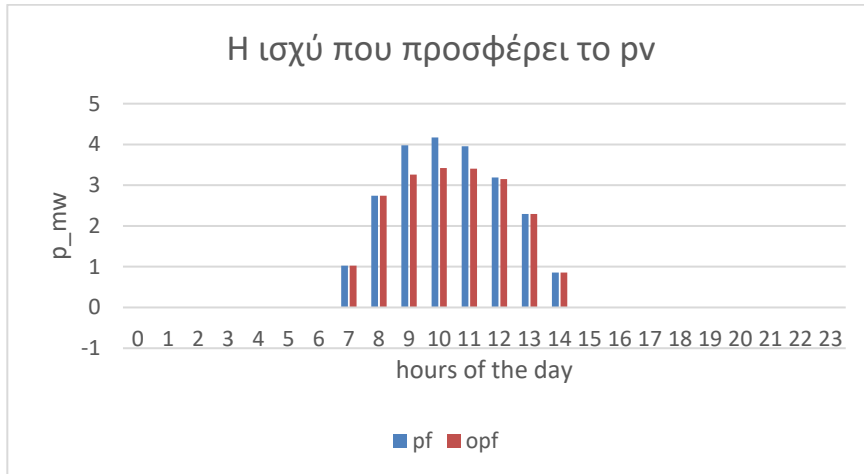
5.8 Σενάριο 2B , Διαχείριση παραβίασης ορίων τάσης ζυγών

Για το σενάριο αυτό έχουν χρησιμοποιηθεί το ίδιο φωτοβολταϊκό σύστημα και μπαταρία , άλλα έχουν τοποθετηθεί σε διαφορετικούς ζυγούς. Συγκεκριμένα , το φωτοβολταϊκό σύστημα έχει τοποθετηθεί στον ζυγό 15 και η μπαταρία στον ζυγό 28 .

Για το 24ωρο αυτό του καλοκαιριού, τρέχουμε την ροή ισχύος και την βέλτιστη ροή ισχύος. Παρακάτω φαίνονται οι τιμές των μεγεθών του φωτοβολταϊκού συστήματος (PV) και η ενέργεια που προσφέρει ο πάροχος στο δίκτυο (ext_grid) στο 24ώρο .

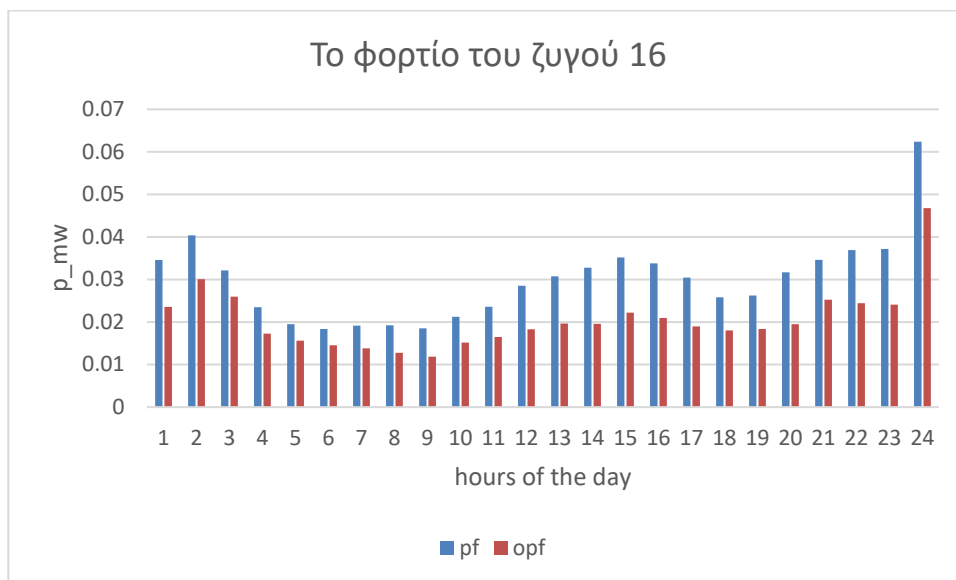


Παρατηρούμε ότι η ισχύ που προσφέρει το εξωτερικό δίκτυο έχει ελαττωθεί στην βέλτιστη ροή ισχύς σε σχέση με την απλή ροή ισχύς. Την ώρα 12 παρατηρούμε οι ανάγκες του δικτύου καλύπτονται εξολοκλήρου από το φωτοβολταϊκό σύστημα.

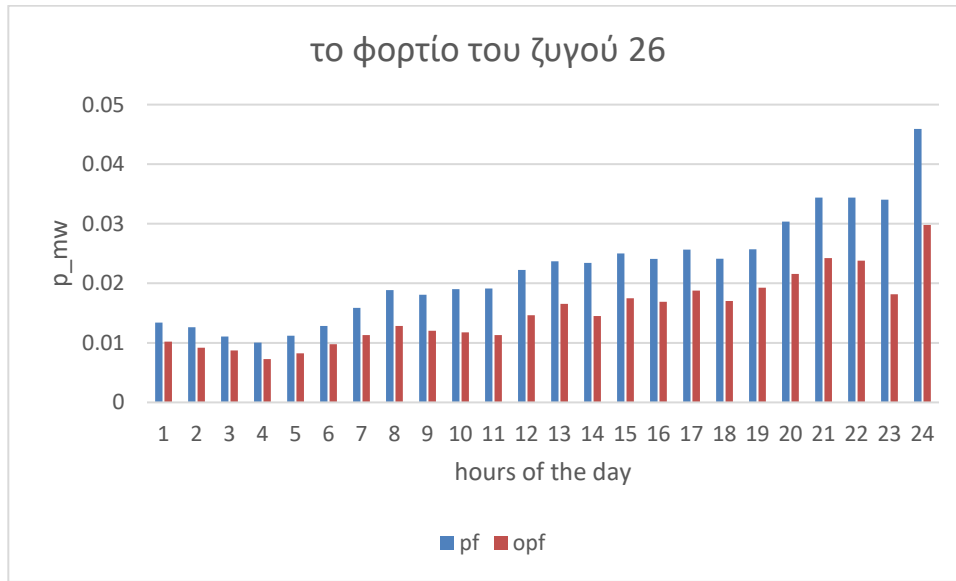


Παρατηρούμε ότι η ισχύ που προσφέρει το φωτοβολταϊκό σύστημα είναι περίπου το ίδιο για βέλτιστη και απλή ροή ισχύς. Που δηλώνει ότι το δίκτυο απορροφά όλη την ενέργεια που παράγει το φωτοβολταϊκό σύστημα στην διάρκεια της ημέρας. Τα φορτία των ζυγών 16 και 26 που λειτουργούν με ευελιξία φαίνονται παρακάτω

Για τον ζυγό 16 .



Για τον ζυγό 26 .



Είναι εμφανές πως στην βέλτιστη ροή ισχύος , τα φορτία στους ζυγούς 16,26 ελαττώνονται .

Παρατηρούμαι ότι την ώρα 9,10,11,12 οι ζυγοί 28-32 έχουν τάση χαμηλότερη τις επιτρεπτής άλλα με την βέλτιστη ροή ισχύς δεν υπάρχουν πλέον. Αυτό φαίνεται στους παρακάτω πίνακες ροής/βέλτιστης ροής ισχύος. Όπου οι τιμές που είναι με σκούρο κόκκινο έχουν παραβεί τα επιτρεπτά όρια . Οι τιμές που είναι κάτω του 0,95 σημαίνει ότι στον συγκεκριμένο ζυγό την συγκεκριμένη ώρα υπάρχει υπόταση.

Για την ροή ισχύς.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0	1	0,9989	0,993908	0,991674	0,989546	0,986054	0,989126	0,98836	0,990652	0,993225	0,99327	0,993426	0,999039	1,003297	1,006558	1,01
1	1	0,998803	0,993363	0,990917	0,988584	0,984718	0,987982	0,987106	0,989488	0,99218	0,992218	0,992365	0,998312	1,002853	1,00633	1,01
2	1	0,999021	0,994585	0,992615	0,990741	0,987728	0,990576	0,989929	0,992099	0,994518	0,994568	0,994726	0,999925	1,003843	1,00684	1,01
3	1	0,999142	0,995263	0,993558	0,99194	0,989392	0,991996	0,991484	0,993537	0,995807	0,995866	0,996035	1,000821	1,004388	1,007119	1,01
4	1	0,999161	0,995368	0,993702	0,992123	0,989621	0,992172	0,991695	0,993736	0,995989	0,996053	0,996229	1,000958	1,004466	1,007158	1,01
5	1	0,99916	0,995365	0,993697	0,992115	0,989606	0,992156	0,991682	0,993726	0,995982	0,996047	0,996225	1,000957	1,004464	1,007157	1,01
6	1	0,99914	0,995251	0,993539	0,991913	0,989341	0,991935	0,991438	0,993502	0,995782	0,995846	0,996022	1,000818	1,004381	1,007114	1,01
7	1	0,999289	0,996233	0,995197	0,994287	0,990808	0,989418	0,991479	0,993936	0,996703	0,997476	0,999003	1,003562	1,004685	1,006849	1,01
8	1	0,998842	0,993475	0,990833	0,9883	0,978246	0,971748	0,977508	0,981507	0,986496	0,988489	0,992374	1,000254	1,000272	1,003797	1,01
9	1	0,998497	0,991497	0,987949	0,984568	0,970518	0,960108	0,967591	0,97177	0,977761	0,980518	0,98591	0,996278	0,996007	1,000986	1,01
10	1	0,998261	0,990144	0,986014	0,982062	0,966504	0,955819	0,963566	0,968116	0,974608	0,977502	0,983169	0,994553	0,994671	1,00021	1,01
11	1	0,998318	0,990589	0,986887	0,983395	0,969141	0,959059	0,966311	0,970619	0,976718	0,979443	0,984784	0,995487	0,995555	1,000774	1,01
12	1	0,998581	0,99245	0,990265	0,988376	0,978682	0,970622	0,976114	0,979451	0,984114	0,986243	0,99044	0,998725	0,998625	1,002727	1,01
13	1	0,998559	0,992291	0,990008	0,987974	0,97969	0,974962	0,979037	0,982612	0,987018	0,988607	0,991751	0,999348	1,000315	1,004036	1,01
14	1	0,998568	0,992275	0,989871	0,987666	0,982029	0,982473	0,983457	0,986536	0,990021	0,990644	0,991931	0,998631	1,001873	1,005478	1,01
15	1	0,998696	0,992875	0,99047	0,988222	0,984466	0,987779	0,986563	0,988783	0,991375	0,991373	0,991462	0,997583	1,00237	1,006072	1,01
16	1	0,998709	0,992871	0,990307	0,987876	0,983788	0,987148	0,986131	0,988532	0,991279	0,991308	0,99145	0,997661	1,00243	1,006105	1,01
17	1	0,998735	0,99302	0,990518	0,988145	0,984158	0,987454	0,986475	0,988853	0,991569	0,991603	0,99175	0,997869	1,002552	1,006167	1,01
18	1	0,99871	0,992879	0,99032	0,987894	0,983805	0,987147	0,986144	0,988547	0,991297	0,991329	0,991476	0,997683	1,002438	1,006108	1,01
19	1	0,998693	0,992858	0,990442	0,988184	0,984402	0,987715	0,986508	0,988738	0,99134	0,991341	0,991435	0,997568	1,002359	1,006066	1,01
20	1	0,998729	0,993171	0,991107	0,989232	0,986148	0,989288	0,987852	0,989767	0,992075	0,992035	0,992056	0,997867	1,002526	1,006149	1,01
21	1	0,998713	0,993156	0,991241	0,989539	0,986763	0,98986	0,98823	0,989973	0,992135	0,992065	0,992037	0,99777	1,002455	1,006109	1,01
22	1	0,998696	0,993141	0,991374	0,989845	0,987371	0,990419	0,988602	0,990175	0,992194	0,992096	0,992022	0,997678	1,002383	1,006069	1,01
23	1	0,998706	0,993188	0,991418	0,989882	0,987458	0,990585	0,988716	0,990266	0,99226	0,992145	0,992038	0,99767	1,002413	1,006094	1,01

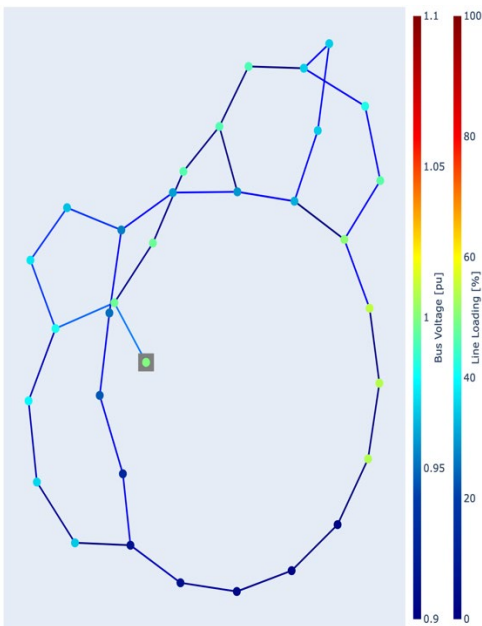
16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
1,009046	1,008771	0,998637	0,996856	0,996506	0,996188	0,992145	0,988868	0,987235	0,985162	0,983978	0,978564	0,974675	0,972992	0,971027	0,970595	0,970461
1,008946	1,008649	0,998519	0,996595	0,996216	0,995873	0,991458	0,987914	0,986149	0,983754	0,982475	0,976613	0,972402	0,97058	0,968452	0,967984	0,967839
1,009133	1,008886	0,998784	0,997182	0,996867	0,996581	0,993001	0,990055	0,988588	0,986928	0,985868	0,98101	0,977522	0,976012	0,974249	0,973862	0,973741
1,009271	1,009051	0,998932	0,997508	0,997228	0,996974	0,993857	0,991241	0,989939	0,988683	0,987743	0,983439	0,980348	0,97901	0,977449	0,977105	0,976999
1,009309	1,009094	0,998954	0,997556	0,997278	0,997031	0,993988	0,991421	0,990143	0,988922	0,987995	0,983746	0,980694	0,979377	0,977842	0,977504	0,977399
1,009318	1,009103	0,998954	0,997555	0,99728	0,99703	0,993985	0,991418	0,990139	0,988905	0,987975	0,983726	0,980674	0,979357	0,977822	0,977484	0,977379
1,009305	1,009085	0,99893	0,997506	0,997226	0,996972	0,993845	0,99123	0,989927	0,988625	0,987675	0,98337	0,980278	0,978941	0,977379	0,977035	0,976929
1,009277	1,009047	0,999068	0,997573	0,997279	0,997012	0,994757	0,992013	0,990646	0,990053	0,989053	0,984537	0,981294	0,979891	0,978252	0,977892	0,97778
1,009256	1,009014	0,99861	0,997043	0,996735	0,996456	0,991924	0,989041	0,987605	0,976102	0,973159	0,961312	0,952535	0,95102	0,949251	0,948862	0,948741
1,009126	1,00884	0,998224	0,996371	0,996006	0,995676	0,989659	0,986241	0,984539	0,982926	0,981368	0,950029	0,939409	0,937593	0,935471	0,935005	0,93486
1,008998	1,008668	0,997945	0,995806	0,995384	0,995003	0,988019	0,984066	0,982097	0,980608	0,979634	0,943547	0,931645	0,92953	0,92706	0,926516	0,926348
1,008891	1,008533	0,997976	0,995658	0,995201	0,994788	0,988286	0,984003	0,981869	0,966578	0,963078	0,948681	0,938066	0,935791	0,933132	0,932547	0,932365
1,00871	1,008286	0,998176	0,995428	0,994887	0,994398	0,989724	0,984652	0,982125	0,977282	0,975424	0,966953	0,960869	0,958236	0,955158	0,954481	0,954271
1,008667	1,008232	0,998143	0,995324	0,994769	0,994266	0,989493	0,984287	0,981693	0,978256	0,976352	0,967666	0,961426	0,958726	0,955569	0,954875	0,95466
1,008675	1,008251	0,998162	0,995415	0,994874	0,994385	0,989548	0,984475	0,981948	0,980897	0,979413	0,97236	0,967353	0,964737	0,961681	0,961008	0,9608
1,008849	1,008491	0,998353	0,996036	0,99558	0,995167	0,990577	0,986304	0,984175	0,983682	0,982672	0,977649	0,97413	0,97194	0,96938	0,968817	0,968643
1,008943	1,008614	0,998393	0,996254	0,995833	0,995452	0,990752	0,98681	0,984846	0,98283	0,981568	0,975725	0,971557	0,96953	0,967162	0,966641	0,966479
1,008994	1,00867	0,998425	0,996322	0,995908	0,995533	0,990937	0,987061	0,985131	0,983221	0,981986	0,976255	0,972168	0,970176	0,967849	0,967337	0,967179
1,008977	1,008647	0,998394	0,996256	0,995835	0,995454	0,99076	0,986818	0,984854	0,982847	0,981586	0,975742	0,971574	0,969547	0,967179	0,966658	0,966497
1,008865	1,008508	0,998351	0,996033	0,995577	0,995164	0,99056	0,986287	0,984158	0,983611	0,982589	0,977566	0,974047	0,971856	0,969296	0,968733	0,968558
1,008774	1,008389	0,99836	0,995864	0,995372	0,994928	0,990696	0,986093	0,983799	0,985651	0,985048	0,981517	0,979161	0,976813	0,97407	0,973466	0,97328
1,008688	1,008275	0,998317	0,995642	0,995115	0,994639	0,990503	0,985568	0,983109	0,986433	0,986073	0,98334	0,98162	0,97911	0,976177	0,975532	0,975332
1,008618	1,008178	0,998275	0,99542	0,994858	0,99435	0,99031	0,985042	0,982417	0,987209	0,987088	0,985145	0,984057	0,981386	0,978264	0,977577	0,977364
1,00843	1,007995	0,99829	0,995472	0,994917	0,994414	0,990392	0,985191	0,982599	0,987298	0,987179	0,985345	0,984335	0,981698	0,978616	0,977938	0,977728

Για την βέλτιστη ροή ισχύς.

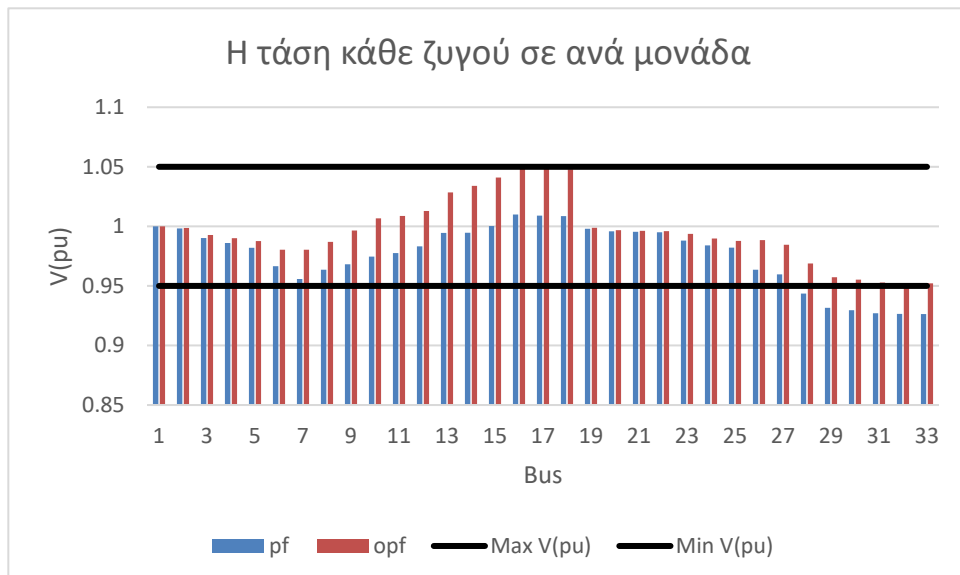
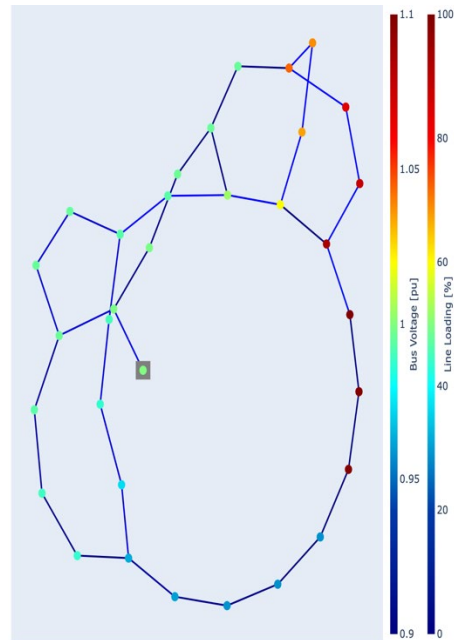
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0	1	0,998657	0,992361	0,989155	0,98601	0,978554	0,977508	0,975389	0,972968	0,970768	0,970413	0,969803	0,96778	0,967232	0,96696	0,966729
1	1	0,99854	0,991689	0,98819	0,984756	0,976589	0,975417	0,973088	0,970394	0,967939	0,967545	0,966866	0,964568	0,963919	0,963578	0,963277
2	1	0,998798	0,993164	0,990301	0,987494	0,980874	0,979969	0,97806	0,975904	0,973945	0,973624	0,973074	0,971287	0,970824	0,970594	0,970398
3	1	0,998944	0,994006	0,991511	0,989067	0,983336	0,982585	0,980938	0,979118	0,977473	0,977202	0,976737	0,975289	0,974948	0,974804	0,974696
4	1	0,998966	0,99413	0,991688	0,989296	0,983674	0,982937	0,981335	0,979569	0,977973	0,97771	0,977261	0,975867	0,975544	0,975413	0,975321
5	1	0,998966	0,994129	0,991685	0,989292	0,983668	0,982933	0,981336	0,979577	0,977989	0,977728	0,977278	0,975897	0,975578	0,975452	0,975365
6	1	0,998944	0,994004	0,991507	0,989063	0,983329	0,982582	0,98095	0,979154	0,977532	0,977265	0,976809	0,975394	0,975065	0,974933	0,974842
7	1	0,999509	0,997626	0,997454	0,997437	0,997104	0,997942	1,000877	1,005995	1,011387	1,012387	1,014345	1,022901	1,026476	1,030417	1,035378
8	1	0,999161	0,99546	0,994003	0,99266	0,988328	0,988515	0,99451	1,003132	1,012186	1,014061	1,01769	1,031341	1,036224	1,042189	1,05
9	1	0,998904	0,993969	0,991834	0,989817	0,983829	0,983919	0,990272	0,999449	1,009122	1,011137	1,015042	1,029745	1,03502	1,041501	1,05
10	1	0,998691	0,992759	0,990123	0,987615	0,980373	0,980345	0,986947	0,996525	1,006659	1,008783	1,012908	1,02844	1,034024	1,04029	1,05
11	1	0,998724	0,993058	0,990769	0,988643	0,982137	0,981976	0,988326	0,997587	1,007423	1,009499	1,01354	1,028743	1,034207	1,041024	1,05
12	1	0,998927	0,994569	0,993611	0,992924	0,989334	0,988809	0,994253	1,002323	1,010996	1,012872	1,016544	1,030316	1,035254	1,041592	1,05
13	1	0,998887	0,994345	0,993312	0,992555	0,988768	0,988209	0,993684	1,001812	1,010556	1,01245	1,01616	1,030074	1,035266	1,041484	1,05
14	1	0,998614	0,992566	0,990343	0,988327	0,983294	0,983712	0,984738	0,987848	0,991366	0,992	0,993307	1,000044	1,003281	1,006896	1,011437
15	1	0,998412	0,99107	0,987534	0,984104	0,975713	0,974238	0,971467	0,968223	0,965267	0,964802	0,964004	0,961225	0,960404	0,959984	0,959623
16	1	0,998432	0,991109	0,987439	0,983849	0,975219	0,973888	0,971345	0,96839	0,965701	0,965276	0,964547	0,962042	0,961321	0,960959	0,960655
17	1	0,998462	0,991282	0,987688	0,984173	0,975727	0,974426	0,971931	0,969039	0,966408	0,965992	0,965278	0,962833	0,962133	0,961784	0,961493
18	1	0,998432	0,991111	0,98744	0,983851	0,975222	0,973892	0,971352	0,968401	0,965717	0,965293	0,964565	0,962067	0,961348	0,960989	0,960687
19	1	0,99841	0,991058	0,987514	0,984076	0,975669	0,974196	0,971432	0,968197	0,965251	0,964788	0,963994	0,961229	0,960413	0,959998	0,959645
20	1	0,998444	0,99136	0,988164	0,985107	0,977416	0,975795	0,972789	0,969241	0,966004	0,965497	0,964625	0,961549	0,960621	0,960131	0,959703
21	1	0,998421	0,991307	0,988237	0,985332	0,97786	0,976096	0,972874	0,969054	0,965565	0,965022	0,964088	0,96076	0,959739	0,959199	0,958727
22	1	0,998401	0,991266	0,98833	0,985584	0,978348	0,976441	0,973002	0,968905	0,965163	0,964583	0,963584	0,96	0,958887	0,958295	0,957777
23	1	0,998434	0,991462	0,988617	0,985962	0,978944	0,977094	0,973793	0,96989	0,966338	0,965791	0,964855	0,961517	0,960493	0,959989	0,959576
16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
0,967042	0,966755	0,998394	0,996613	0,996262	0,995945	0,990596	0,987313	0,985678	0,977733	0,97665	0,971193	0,967275	0,965579	0,963599	0,963163	0,963028
0,963485	0,963175	0,998256	0,996331	0,995953	0,99561	0,98978	0,986231	0,984463	0,975696	0,974519	0,968607	0,964361	0,962524	0,960378	0,959905	0,959759
0,970748	0,970491	0,998561	0,996958	0,996643	0,996357	0,991578	0,988627	0,987158	0,980145	0,979184	0,974292	0,970779	0,96926	0,967844	0,967094	0,966973
0,975171	0,974944	0,998734	0,99731	0,99703	0,996776	0,992598	0,989979	0,988675	0,982699	0,98186	0,977529	0,974419	0,973073	0,971502	0,971156	0,971049
0,975818	0,975595	0,998759	0,997361	0,997085	0,996836	0,992749	0,990178	0,988898	0,983047	0,98222	0,977946	0,974876	0,973551	0,972007	0,971667	0,971561
0,97587	0,975647	0,998759	0,997361	0,997085	0,996835	0,992747	0,990177	0,988897	0,983039	0,98221	0,977936	0,974865	0,973541	0,971996	0,971656	0,97155
0,975345	0,975118	0,998734	0,99731	0,997029	0,996776	0,992595	0,98									

Συγκεκριμένα για την ώρα 11 στις παρακάτω δυο φωτογραφίες φαίνονται οι ζυγοί 27-32 που η τάση τους είναι κάτω του ορίου (σκούρο μπλέ) .

Για την ροή ισχύος



Για την βέλτιστη ροή ισχύος



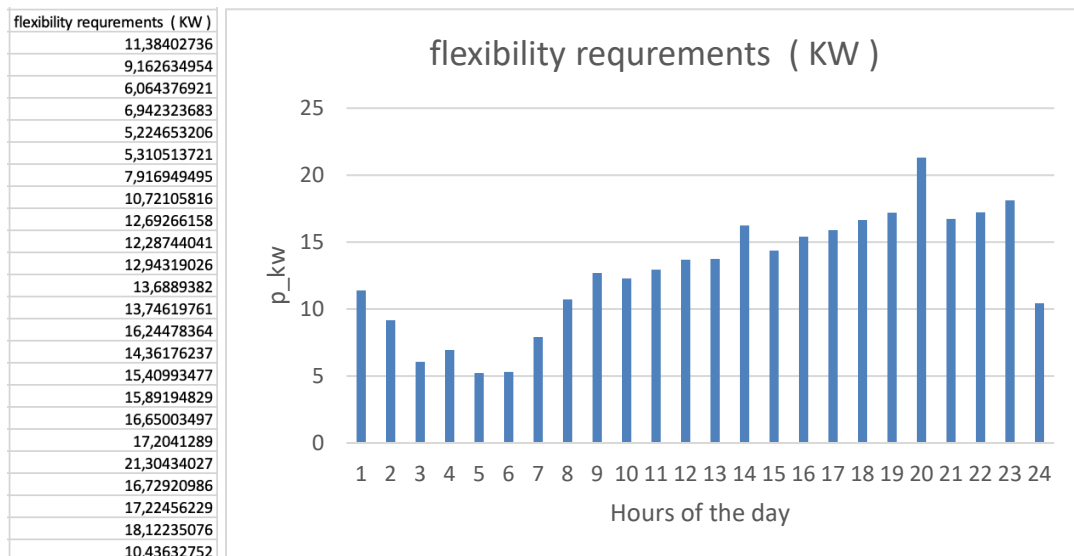
Παρατηρούμε ότι το φορτίο των ζυγών 27-32 είναι χαμηλότερα του επιτρεπτού ορίου, ενώ στην βέλτιστη ροή ισχύος είναι εντός του επιτρεπτού ορίου. Η εξομάλυνση αυτή, οφείλεται στην μείωση των φορτίων στους ζυγούς 16,26 .

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

6.1 Συμπεράσματα

Στην παρούσα διπλωματική εργασία προτάθηκε ένα μοντέλο για την ελαχιστοποίηση των τεχνικών προβλημάτων του δικτύου με υπηρεσίες ευέλικτης ζήτησης . Σε πρώτο στάδιο μοντελοποιήθηκε το δίκτυο που χρησιμοποιήθηκε μαζί με την μπαταρία , το φωτοβολταϊκό σύστημα και τους ζυγούς που λειτουργούν με ευέλικτη ζήτηση. Με χρήση των εργαλείων pyhton και της βιβλιοθήκης panda power, απεικονίστηκε ψηφιακά το δίκτυο και δοκιμάστηκαν κάποια σενάρια . Τα σενάρια που εξετάστηκαν , ήταν για την εποχή του χειμώνα και του καλοκαιριού. Μελετήθηκε το σενάριο υπερφόρτωσης γραμμών του δικτύου και το σενάριο παραβίασης των ορίων τάσης στους ζυγούς . Από τα σενάρια αυτά , προέκυψε το ανάλογο ποσό ευελιξίας που θα πρέπει να αγοράσει το ΔΔΗΕ από τον Φο.Σ.Ε σε μια αντίστοιχη τυπική μέρα.

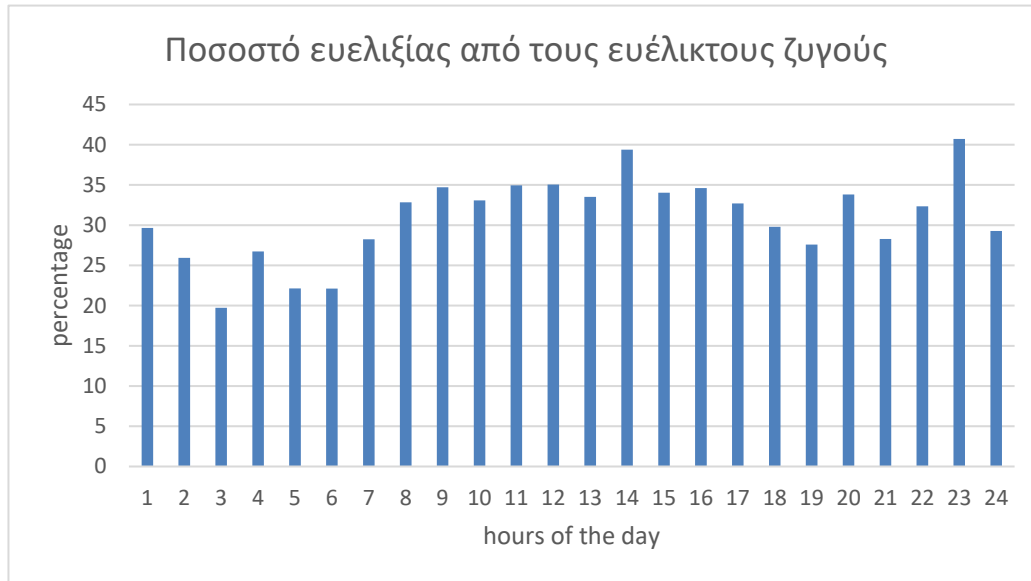
Η ευελιξία που πρέπει να αγοράσει ο ΔΔΗΕ από τον Φο.Σ.Ε για την τυπική μέρα του χειμώνα σε περίπτωση υπερφόρτωσης των γραμμών ,φαίνεται στον παρακάτω πίνακα.



Πίνακας 6.1 ευελιξία που πρέπει να αγοράσει ο ΔΔΗΕ από τον Φο.Σ.Ε

Οπότε προκύπτει αγορά ευελιξίας σε μορφή μείωσης ζήτησης.

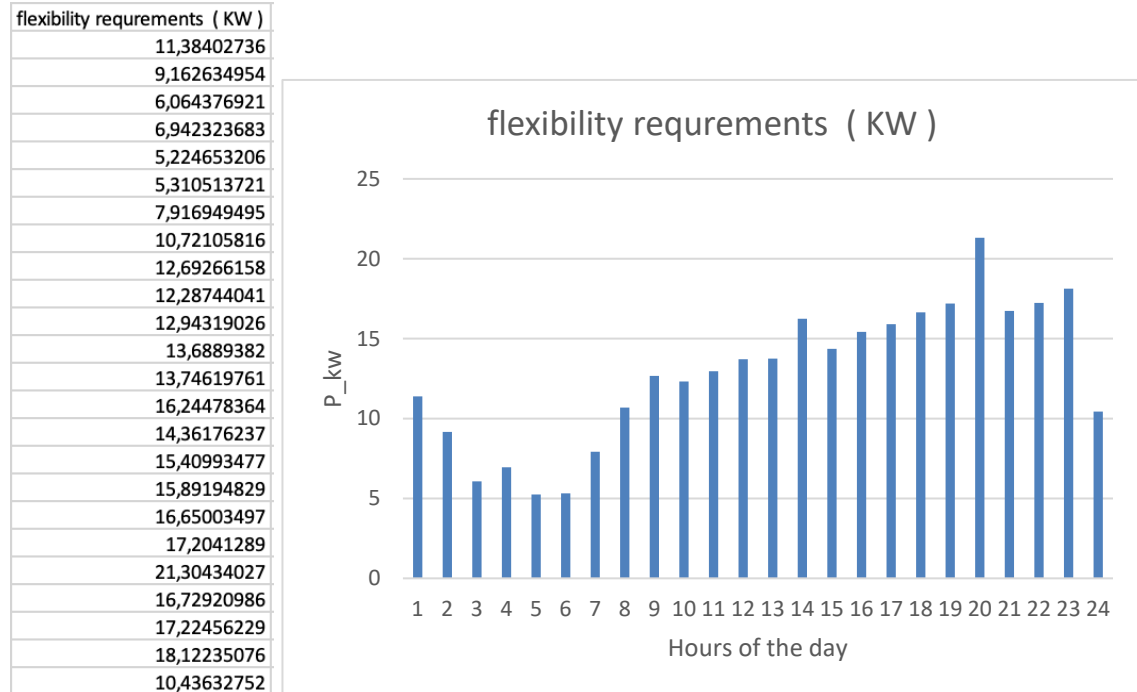
Η ποσοστιαία τιμή της ευελιξίας σε σχέση με το φορτίο των ευέλικτων ζυγών ανά ώρα παρουσιάζεται παρακάτω .



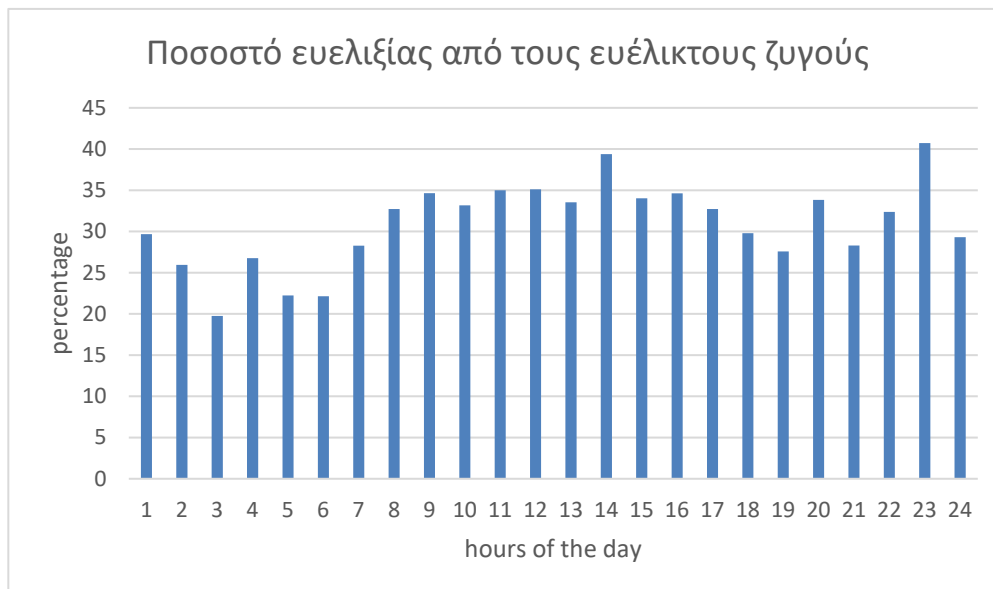
Πίνακας 6.2 ποσοστιαία τιμή της ευελιξίας σε σχέση με το φορτίο των ευέλικτων ζυγών

Οπότε, ο ΔΔΗΕ θα πρέπει στην τυπική μέρα αυτή του χειμώνα να κάνει ένα συμβόλαιο με τον Φο.Σ.Ε , όπου θα αγοράζει την αντίστοιχη ποσότητα ευελιξίας που φαίνεται στον πίνακα 6.1 για κάθε ώρα της ημέρας .

Αντίστοιχα, η ευελιξία που πρέπει να αγοράσει ο ΔΔΗΕ από τον Φο.Σ.Ε για την τυπική μέρα του χειμώνα σε περίπτωση υπότασης τάσης ζυγών, φαίνεται στον παρακάτω πίνακα.

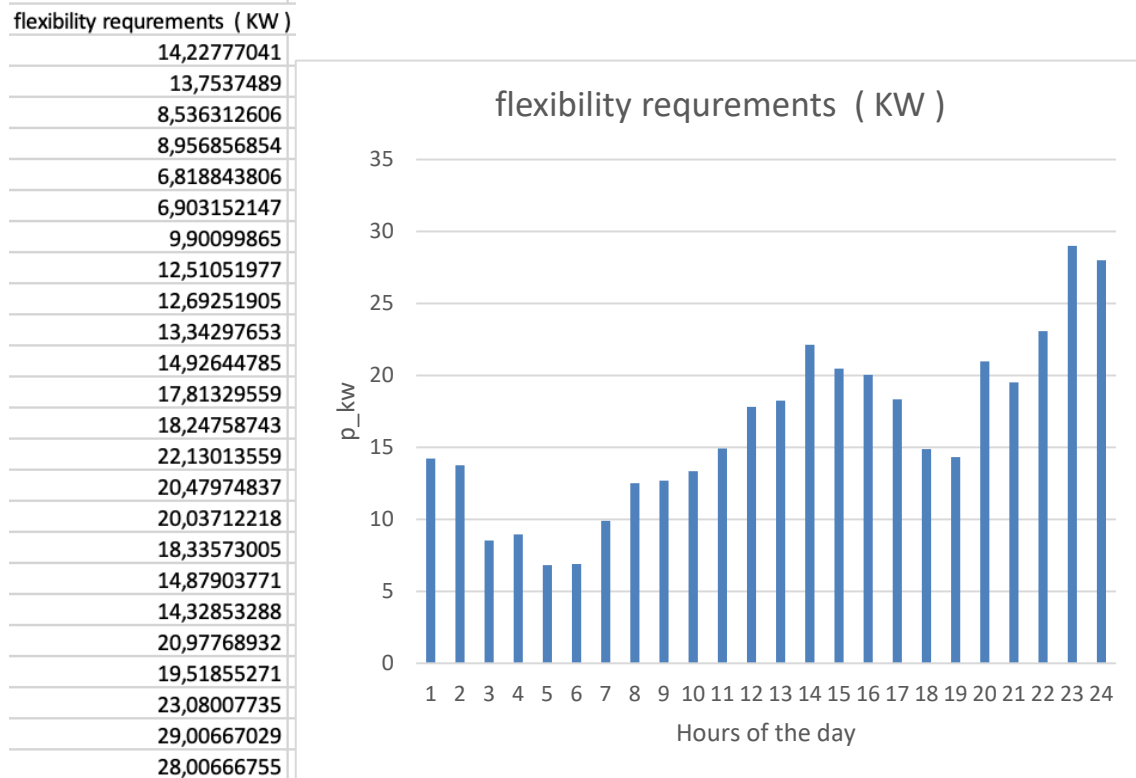


Πίνακας 6.3 ευελιξία που πρέπει να αγοράσει ο ΔΔΗΕ από τον Φο.Σ.Ε

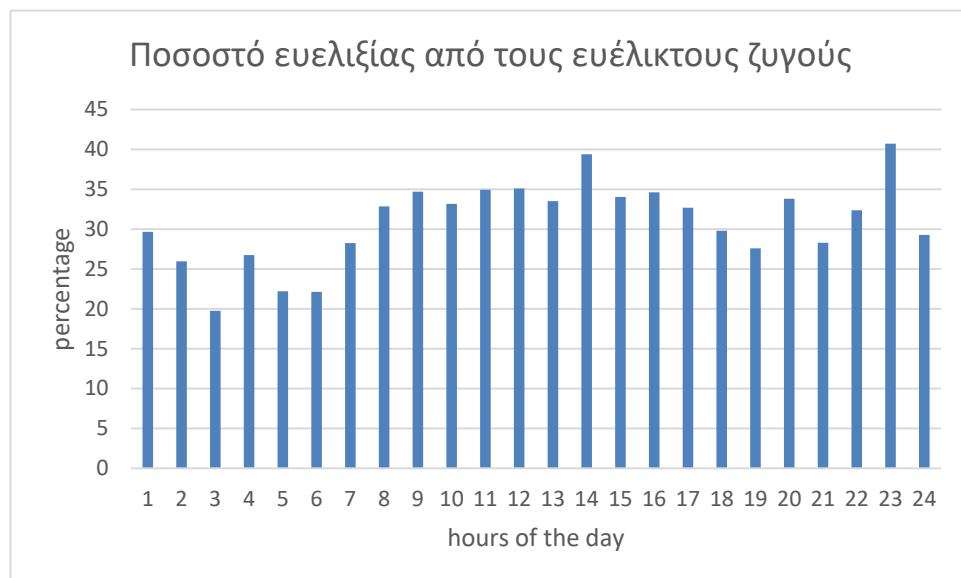


Πίνακας 6.4 ποσοστιαία τιμή της ευελιξίας σε σχέση με το φορτίο των ευέλικτων ζυγών

Για την περίοδο του καλοκαιρίου , η ευελιξία που πρέπει να αγοράσει ο ΔΔΗΕ από τον Φο.Σ.Ε για την τυπική μέρα του καλοκαιρίου σε περίπτωση υπερφόρτωσης των γραμμών, φαίνεται στον παρακάτω πίνακα.

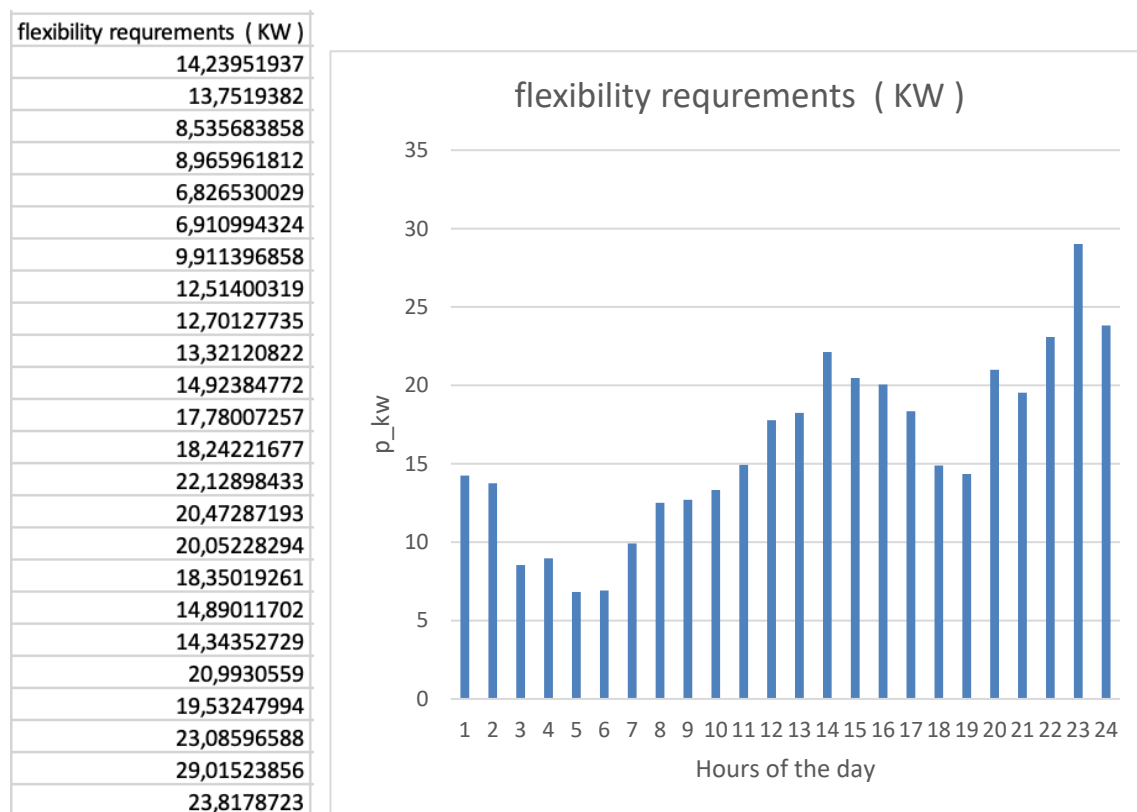


Πίνακας 6.5 ευελιξία που πρέπει να αγοράσει ο ΔΔΗΕ από τον Φο.Σ.Ε

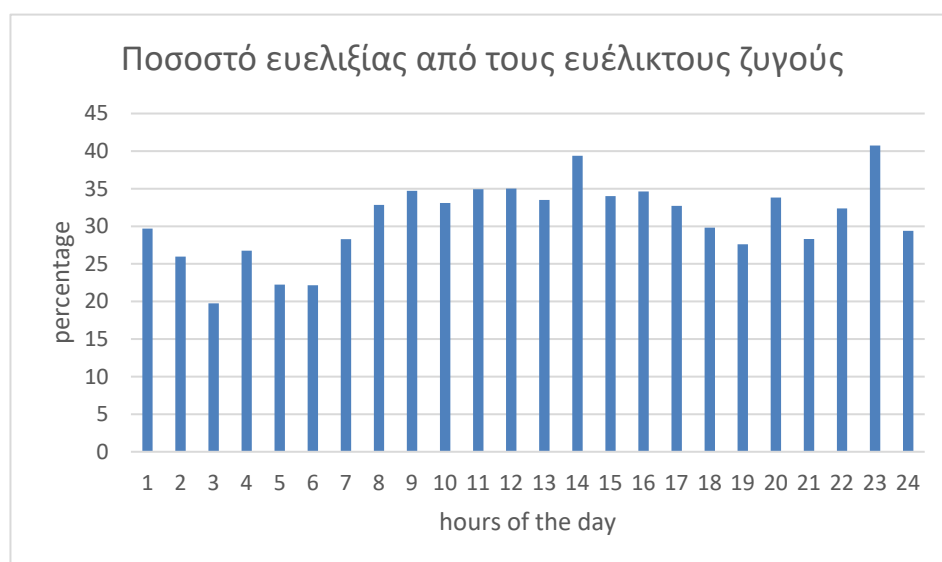


Πίνακας 6.6 ποσοστιαία τιμή της ευελιξίας σε σχέση με το φορτίο των ευέλικτων ζυγών

Αντίστοιχα, η ευελιξία που πρέπει να αγοράσει ο ΔΔΗΕ από τον Φο.Σ.Ε για την τυπική μέρα του καλοκαιριού σε περίπτωση υπότασης τάσης ζυγών, φαίνεται στον παρακάτω πίνακα.

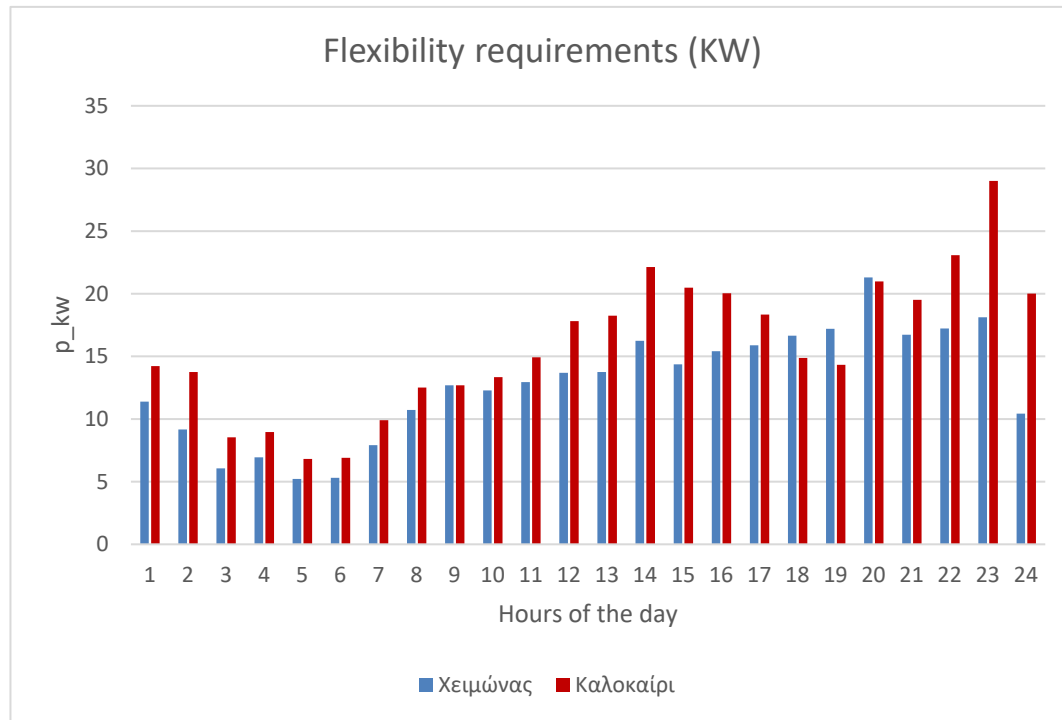


Πίνακας 6.7 ευελιξία που πρέπει να αγοράσει ο ΔΔΗΕ από τον Φο.Σ.Ε

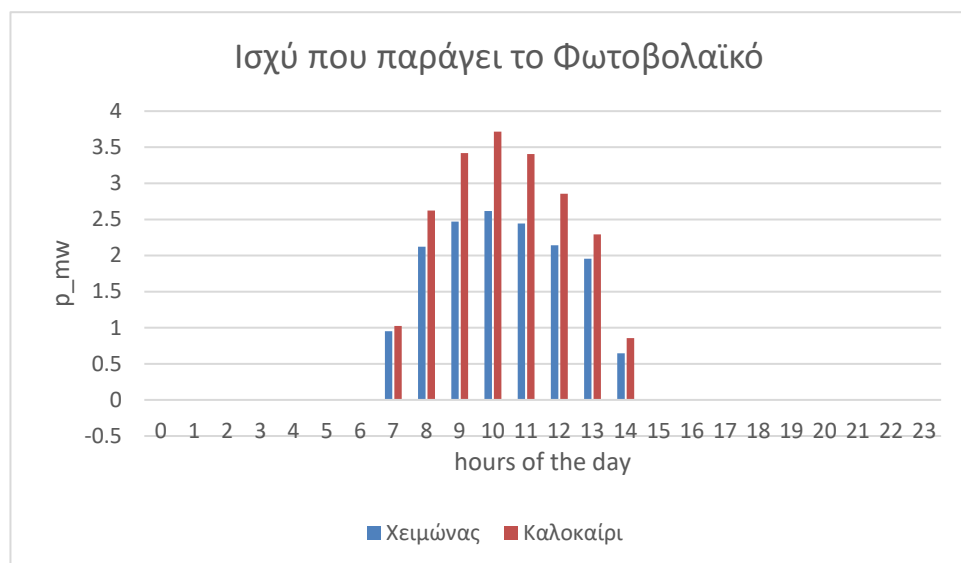


Πίνακας 6.8 ποσοστιαία τιμή της ευελιξίας σε σχέση με το φορτίο των ευέλικτων ζυγών

Παρατηρούμε , ότι μεταξύ των δύο εποχών του χειμώνα και του καλοκαιριού η ευελιξία που χρειάζεται να αγοράσει ο ΔΔΗΕ από τον Φο.Σ.Ε προκειμένου να μην υπάρξει συμφόρηση στις γραμμές του δικτύου, είναι μεγαλύτερη στην περίοδο αυτή του χειμώνα. Αυτό οφείλεται στην μεγαλύτερη κατανάλωση φορτίου την περίοδο του καλοκαιριού αλλά και στην μεγαλύτερη παραγωγή ισχύς του Φωτοβολταϊκού συστήματος την περίοδο του καλοκαιριού .



Πίνακας 6.9 Σύγκριση μεταξύ χειμώνα και καλοκαίρι



Πίνακας 6.10 Ισχύ που παρέχει το φωτοβολταϊκό σύστημα τον χειμώνα και το καλοκαίρι



Πίνακας 6.11 Η κατανάλωση φορτίου για το καλοκαίρι και τον χειμώνα

6.2 Μελλοντικές Προεκτάσεις

Σε μελλοντικές εργασίες θα μπορούσε να εξεταστεί η εισαγωγή στο δίκτυο περισσότερων τεχνολογιών ΔΠ, όπως ανεμογεννήτριες, οι μονάδες υδροηλεκτρικής παραγωγής σε συνδυασμό με περισσότερους καταναλωτές που χρησιμοποιούν ευέλικτο φορτίο. Οι εναλλακτικές αυτές τεχνολογίες μπορούν να συμβάλουν σημαντικά στην αποσυμφόρηση του δικτύου και να διαδραματίσουν καθοριστικό ρόλο στη βέλτιστη εκμετάλλευση του ισοζυγίου παραγωγής ΔΠ – ζήτησης.

Η παρούσα ανάλυση θα μπορούσε ακόμη να επεκταθεί με την εισαγωγή περισσότερων κριτηρίων. Ένα από αυτά να είναι η επιστροφή τις ευελιξίας στον καταναλωτή σε ώρες χαμηλής συμφόρησης του δικτύου, ώστε να μην πρέπει να ελαττώσει ο καταναλωτής της ανάγκες που έχει. Τέλος, θα μπορούσε να εξεταστεί το σενάριο κάποιας εφαρμογής που θα δίνεται ο έλεγχος στον ΔΔΗΕ από απόσταση να ελέγχει τα οικιακά φορτία, όπως για παράδειγμα το πλυντήριο ρούχων και πιάτων ώστε να ελέγχει εκείνος καλύτερα την ώρα που θα λειτουργήσουν ανάλογα με της ανάγκες που έχει.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

Βιβλιογραφία

- [1] Coordination of dynamic tariff and scheduled reprofiling product for day-ahead congestion management of distribution networks
- [2] Robust dynamic tariff method for day-ahead congestion management of distribution networks
- [3] Μ. Π. Παπαδόπουλος, Δίκτυα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. ΕΜΠ, Αθήνα, 1994.
- [4] Νικόλαος Χ. Κουτσούκης, “Βελτιστοποίηση Λειτουργίας και Προγραμματισμού Ανάπτυξης Ενεργών Δικτύων Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας,” Διδακτορική Διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ), Ιούνιος 2019.
- [5] H. Lee Willis, Power Distribution Planning Reference Book, New York 1997
- [6] John D. McDonald, Bartosz Wojszczyk, Byron Flynn, Ilia Voloh, Distribution Systems, Substations, and Integration of Distributed Generation, Springer Science+Business Media New York, 2013. Διαθέσιμο: <http://docplayer.net/5623609-Distribution-substation-and-integration-of-distributed-generation.html>
- [7] Γεωργιάκης, Π., 2015. Σύγχρονα συστήματα μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας.
- [8] What is the Smart Grid , Διαθέσιμο :https://www.smartgrid.gov/the_smart_grid/smart_grid.html
- [9]. N.Chatziargyriou, Smart Networks-Smart Islands, Διαθέσιμο:
<https://www.deddie.gr/Documents2/OMILIES%20PROEDROU%202018/%CE%A0%CE%B1%CF%81%CE%BF%CF%85%CF%83%CE%AF%CE%B1%CF%83%CE%B7%20%CF%84%CE%BF%CF%85%20%CE%A0%CF%81%CE%BF%CE%AD%CE%B4%CF%81%CE%BF%CF%85%20%CE%BA%CE%B1%CE%B9%20%CE%94%CE%9D%CE%A3%20%CE%BA.%20%CE%9D.%2>
- [10]. I.Konstantelos,S.Giannelos,G.Strbac, Strategic Valuation of Smart Grid Technology Options in Distribution Networks, IEEE Transactions on Power Systems, 11 July 2016.
- [11]. Θ. Σ. Λύτρας, Η ΑΠΕΛΕΥΘΕΡΩΣΗ ΤΗΣ ΑΓΟΡΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ Η ΣΥΜΒΑΣΗ ΠΡΟΜΗΘΕΙΑΣ, Διαθέσιμο:
http://www.law.uoa.gr/fileadmin/law.uoa.gr/uploads/PDFs/pdf_new/agora_energeias.pdf
- [12]. European Commission – Smart Grids and Meters. Διαθέσιμο:
<https://ec.europa.eu/energy/en/topics/markets-and-consumers/smart-grids-and-meters>
- [13]. Κ.Ανδρεάδης, Ευφυή Συστήματα Μέτρησης και διαχείρισης Ηλεκτρικής Ενέργειας,

Presentations & Public Speaking, 6 Απριλίου 2014. Διαθέσιμο :
<https://www.slideshare.net/GiannisAlifragis/ss-33183262>

[14]. R. Kopmeiners, Communication Diversity Architecture for Smart Meter Networks. Presentation at the ETSI M2M Workshop, 19 October 2010, Sophia Antipolis, France.
Διαθέσιμο:
https://docbox.etsi.org/workshop/2010/201010_m2mworkshop/03_smartenergy/kopmeiners_alliander_communication_diversity_architecture.pdf

[15]. Trilliant – Wireless WAN for the Smart Grid , Trilliant Holdings, 2013. Διαθέσιμο:
<https://trilliantinc.com/wp-content/uploads/2013/06/Wireless-WAN-for-the-Smart-Gridnew.pdf>

[16]. Field Area Networks - Network Protocols Lab - University of Kentucky, 2015.
Διαθέσιμο: http://voip.netlab.uky.edu/~fei/teaching/cs687_smartgrid/slides/6.FAN.pdf

[17]. P.Stluka, S. Noyé, M.AAnton, D.Tsagkrasoulis, M.J. Kongsman, G.Martínez, K. Hrvoje - Analysis of EUwide interoperability standards and data models and harmonization requirements, Published in the framework of HOLISDER, 31 March 2018. Διαθέσιμο:
http://holisder.eu/reports/HOLISDER_D4.1_Analysis_of_EUwide_interoperability_standards_and_data_models_and_harmonization_requirements.pdf

[18]. Sixth Northwest Conservation and Electric Power Plan, Appendix H: Demand Response, Northwest Power and Conservation Council, 1 February 2010. Διαθέσιμο:
https://www.nwcouncil.org/sites/default/files/SixthPowerPlan_Appendix_H_1.pdf

[19]. J.A Schachter, P. Mancarella, J.Moriarty, R.Shaw, Flexible investment under uncertainty in smart distribution networks with demand side response: Assessment framework and practical implementation, Elsevier, 8 August 2016.

[20]. US Department of Energy, Benefits of Demand Response in Electricity Markets and Recommendations for Achieving them, Report to the United States Congress, February 2006.
Διαθέσιμο: <https://emp.lbl.gov/sites/all/files/report-lbnl-1252d.pdf>

[21]. G.Strbac, Demand side management: Benefits and challenges, Department of Electrical and Electronic Engineering, Imperial College London, 2008.

[22]] Δ.Κουπριτζιώτη and Δ. Μουσενίκας , “Μοντελοποίηση ομάδων καταναλωτών στην πλατφόρμα Cassandra,”Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης , 2015.

[23] S.Burger, J. P. Chaves-Avila,C.Battle, and I. J. Perez-Arriaga, “The Value of Aggregators in Electricity Systems , ” Massachusetts Institute of Technology , p . 29 , Jan. 2016.

[24] M. Babar , T .A Taj , T. P. I. Ahamed , E. A. Al-Ammar,”The conception of the aggregator I demand side management for domestic consumers,” Int. J. Smart Grid Clean Energy , pp. 371-375, 2013

[25] Σπυρίδων Χ. Παπαδόπουλος, Ανάλυση Ροής Φορτίου σε Ασύμμετρα Ακτινικά Δίκτυα Διανομής, διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Οκτώβριος 2011

[26] S. A. Gabriel, A. J. Conejo, J. D. Fuller, B. F. Hobbs, and C. Ruiz, Complementarity Modeling in Energy Markets, vol. 180. New York, NY: Springer New York, 2013.

- [27] Gabash A, Li P. Active–reactive optimal power flow in distribution networks with embedded generation and battery storage. IEEE Trans Power Syst 2012;27:2026–35.
- [28] https://pandapower.readthedocs.io/en/develop/timeseries/timeseries_loop.html
- [29] <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9258930>
- (30) << Location and Size of Distributed Generation to Reduce Power Losses using a Bat-inspire Algorithm >> by John E. Candelo, Member, IEEE and Helman Hernández Riaño.
- (31) Simultaneous capacity optimization of distributed generation and storage in medium voltage microgrids by E.E. Sfikas, Y.A. Katsigiannis, P.S. Georgilakis
- (32) https://www.kaggle.com/jeanmidev/smart-meters-in-london?select=informations_households.csv
- (33) https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html
- (35) <https://www.e-mc2.gr/el/vivliothiki/eidikes-tehnologies-kai-efarmoges-special-technologies-and-innovative-applications-3>
- (36) Νικόλαος Χ. Κουτσούκης, “Βελτιστοποίηση Λειτουργίας και Προγραμματισμού Ανάπτυξης Ενεργών Δικτύων Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας,” Διδακτορική Διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ), Ιούνιος 2019.
- (37) Distributed Generation and Renewable Energy Integration into the Grid: Prerequisites, Push Factors, Practical Options, Issues and Merits : <https://sun-connect-news.org/fileadmin/DATEIEN/Dateien/New/energies-14-05375.pdf>
- (38) <https://www.choice.com.au/home-improvement/energy-saving/power-meters/articles/smart-meters-how-do-they-work>
- (39) <https://link.springer.com/article/10.1007/s42452-019-1743-2>