



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

Αξιοποίηση Εφεδρικών Ηλεκτροπαραγωγών Ζευγών για Εξομάλυνση
της Καμπύλης Φορτίου των Εγκαταστάσεων του ΟΑΚΑ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Δημήτριος Φ. Βερδελής

Επιβλέπων: Σ. Α. Παθανασίου, Επ. Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Ιούνιος 2011



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

Αξιοποίηση Εφεδρικών Ηλεκτροπαραγωγών Ζευγών για Εξομάλυνση
της Καμπύλης Φορτίου των Εγκαταστάσεων του ΟΑΚΑ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Δημήτριος Φ. Βερδελής

Επιβλέπων: Σ. Α. Παθανασίου, Επ. Καθηγητής ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 14 η Ιουνίου 2011.

.....
Σ. Παπαθανασίου
Επ. Καθηγητής

.....
Γ. Κορρές
Αν. Καθηγητής

.....
Π. Γεωργιάκης
Λέκτορας

Αθήνα, Ιούνιος 2011

.....
Δημήτριος Φ. Βερδελής
Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Δημήτριος Βερδελής, 2010.

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

Σκοπος της διπλωματικής αυτής εργασίας είναι να μελετήσει τρόπους για τη βέλτιστη αξιοποίηση της υφιστάμενης υποδομής του ΟΑΚΑ, και κυριότερα των εφεδρικών ΗΖ. Η αξιοποίηση αυτή αφορά τόσο στην εξαγωγή κέρδους από αυτά όσο και στην βελτίωση της αξιοπιστίας του δικτύου.

Η σημερινή τους χρήση περιορίζεται στο να αναλαμβάνουν μόνο κάποια φορτία ανάγκης σε περίπτωση διακοπής της παροχής. Αθροιστικά η εγκατεστημένη ισχύς τους όμως υπερβαίνει την αιχμή του δικτύου. Συνεπώς προτείνεται να αλλαχθεί ο τρόπος χρήσης τους ώστε να μπορεί να δημιουργείται ένα ενιαίο μικροδίκτυο που να καλύπτει πλήρως τις ανάγκες της εγκατάστασης σε περίπτωση διακοπής της παροχής και γίνεται αναφορά στα προβλήματα προστασίας και ελέγχου που αυτό συνεπάγεται.

Οι κατανάωση του δικτύου είναι χρονικά εντοπισμένη γύρω από τα αθλητικά γεγονότα και τις εκδηλώσεις που πραγματοποιούνται στο συγκρότημα του ΟΑΚΑ. Για το λόγο αυτό η καμπύλη φορτίου παρουσιάζει μεγάλες αιχμές και σχετικά χαμηλό συντελεστή χρησιμοποίησης. Κατά συνέπεια δαπανάται μεγάλο ποσό από τους λογαριασμούς ηλεκτρικής ενέργειας στις χρεώσεις ισχύος. Προτείνεται λοιπόν να χρησιμοποιηθούν τα ΗΖ ώστε να παράγουν ένα μέρος της ισχύος κατά τις στιγμές που παρουσιάζεται αιχμή, ώστε να εξομαλυνθεί η καμπύλη φορτίου και να μειωθεί το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας.

Για το σκοπό αυτό κατασκευάστηκε ένα πρόγραμμα που υπολογίζει τον βέλτιστο τρόπο που πρέπει να παράγουν τα ΗΖ ώστε να μεγιστοποιείται το οικονομικό όφελος, η γλώσσα που χρησιμοποιήθηκε ήταν η PASCAL και τα δεδομένα προέκυψαν από τα καταγραφικά μηχανήματα της ΔΕΗ. Ακόμα παίρνοντας δεδομένα από το SCADA του ΟΑΚΑ, βρέθηκε μέσω ενός προγράμματος MATLAB η βέλτιστη συνδεσμολογία του δικτύου και στη συνέχεια έγινε ξανά υπολογισμός των αναμενόμενων κερδών από την εφαρμογή της εξομάλυνσης της καμπύλης με την χρήση των ΗΖ συνυπολογίζοντας τα τεχνικά τους χαρακτηριστικά όπως η κατανάωσή τους και ο περιορισμός τεχνικού ελαχίστου.

Λέξεις κλειδιά: Ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος, Καμπύλη φορτίου, Νησιδοποίηση, Peak-shaving, Διεσπαρμένη Παραγωγή

ABSTRACT

The purpose of this thesis is to study ways to optimally exploit the infrastructure of the Athens Olympic Stadium (AOS) and most importantly the backup generator sets installed, in order to gain profit and to improve the network reliability.

Today their use is limited to supply power to emergency loads. However, their cumulative installed capacity exceeds the total power peak of the network. Therefore, it is proposed to make all the needed changes to create a microgrid and there is reference to the problems of protection and control that this entails.

The highest consumption of the network happens during the sports events and the venues at the AOS. For this reason, the load curve has very sharp edges and relatively low utilization rate. Consequently, a large proportion of electricity cost is spent on power charges. It is therefore proposed to use the HZ to produce power during peak times and smoothen the load curve.

For this purpose a program was made to calculate the optimum way to operate the Gen-Sets in order to maximize the economic profit, the language used was PASCAL and the data was acquired from the power supplier. What is more, after acquiring further data from the SCADA of the network, a program in MATLAB was made to find the optimal topology of the network that minimizes power costs and the profit from the application of the peak-shaving scheme was recalculated taking into account the technical specifications of the gen-sets.

Keywords: Generating sets, load curve, islanding, Peak-Shaving, Distributed Generation

Περιεχόμενα

1	Εισαγωγή.....	10
1.1	Σκοπός.....	11
1.2	Δομή.....	11
2	Στοιχεία θεωρίας.....	13
2.1	Η έννοια του μικροδίκτυου – Διεσπαρμένη παραγωγή.....	13
2.2	Λόγοι εγκατάστασης μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής.....	14
2.3	Οικονομικός αντίκτυπος της εγκατάστασης ΔΠ στο δίκτυο.....	18
2.4	Τεχνολογίες των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής.....	18
3	Προστασία και έλεγχος.....	21
3.1	Προστασία.....	21
3.2	Η ρύθμιση τάσης και συχνότητας, ποιότητα ισχύος.....	23
3.2.1	Ισοζύγιο ενεργού ισχύος – Ρύθμιση συχνότητας.....	23
3.2.2	Ισοζύγιο αέργου ισχύος – Ρύθμιση τάσης.....	24
3.2.3	Ποιότητα Ισχύος.....	24
3.2.4	Ισοζύγιο ενέργειας.....	25
3.3	Έλεγχος και προστασία H/Z.....	25
3.3.1	Έλεγχος.....	25
3.4	Νησιδοποίηση [12].....	28
3.4.1	Παθητικές μέθοδοι [7].....	30
3.4.2	Ενεργές μέθοδοι.....	33
3.5	Εκκίνηση μονάδων ΔΠ κατά την απώλεια του κυρίως δικτύου.....	35
4	Το Δίκτυο μέσης τάσης του ΟΑΚΑ.....	37
4.1	Το σύστημα προστασίας και η διαχείριση του δικτύου [14].....	37
4.2	Το σύστημα SCADA.....	38
4.3	Στοιχεία κατανάλωσης.....	40
4.4	Ηλεκτροπαραγωγή ζεύγη [15].....	43
4.4.1	Αυτοματισμοί Ηλεκτροπαραγωγών Ζευγών.....	46
5	Εφαρμογή.....	49
5.1	Εύρεση βέλτιστης συνδεσμολογίας.....	49
5.2	Peak shaving.....	51
5.2.1	Πρόγραμμα υπολογισμού μέγιστου κέρδους.....	51
5.2.2	Υπολογισμός κανόνα ένταξης.....	56
5.3	Προστασία και έλεγχος.....	64
6	Συμπεράσματα και προοπτικές.....	69
6.1	Συμπεράσματα.....	69
6.2	Προοπτικές.....	70

1 Εισαγωγή

Η διεσπαρμένη παραγωγή (ΔΠ) παίζει όλο και σημαντικότερο ρόλο στα σημερινά δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας, αλλάζοντας τη δομή τους και τον τρόπο με τον οποίο παράγεται και διανέμεται η ενέργεια. Συχνότερα ο λόγος εγκατάστασης τέτοιων περιφερειακών μονάδων στο δίκτυο είναι η εκμετάλλευση κάποιων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όμως η διεσπαρμένη παραγωγή και η δημιουργία μικροδίκτυων μπορεί να προσφέρει λύσεις σε μια σειρά από προβλήματα αξιοπιστίας (συστήματα αναμονής), να αυξήσει την ενεργειακή απόδοση των καυσίμων (συμπαραγωγή ηλεκτρισμού-θερμότητας) ή και να μειώσει τη δαπάνη ηλεκτρικής ενέργειας σε μια εγκατάσταση, μέσω της εφαρμογής ενός συστήματος ψαλιδισμού αιχμής (peak-shaving) και εξομάλυνσης της καμπύλης φορτίου.

Όσο και αν η οικονομία κλίμακας φαίνεται εκ πρώτης όψης να μην ευνοεί τέτοιες επενδύσεις αφού πάντα θα είναι ευνοϊκότερη η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε μεγάλες κεντρικές μονάδες, κάποιοι πιστεύουν πως η διεσπαρμένη παραγωγή ήρθε για να αλλάξει ριζικά τα σύγχρονα ΣΗΕ [1]. Συχνά άλλωστε, όπως για παράδειγμα στην περίπτωση που εξετάζει αυτή η εργασία, με την διεσπαρμένη παραγωγή προστίθεται χρηστική αξία σε εξοπλισμό που ήδη υπάρχει επιτυγχάνοντας κέρδη ή βελτιώνοντας τους δείκτες ποιότητας ισχύος της εγκατάστασης. Η περίπτωση που εξετάζεται στην εργασία αυτή είναι η αξιοποίηση της ΔΠ με σκοπό την εξομάλυνση της καμπύλης φορτίου μιας εγκατάστασης και την εξαγωγή κέρδους.

Η διεσπαρμένη παραγωγή όμως ταυτόχρονα εισάγει προκλήσεις που αφορούν στην προστασία αλλά και στην ευστάθεια και τον έλεγχο των τιμών της τάσης και της συχνότητας του δικτύου. Την ίδια στιγμή, είναι σημαντικό να χρησιμοποιηθούν οι μονάδες με τέτοιο τρόπο ώστε να λειτουργούν με τον πλέον κερδοφόρο τρόπο.

1.1 Σκοπός

Σκοπός της εργασίας είναι η διερεύνηση τρόπων για τη βέλτιστη αξιοποίηση της υφιστάμενης υποδομής στο δίκτυο του ΟΑΚΑ τόσο για τη μείωση του κόστους ενέργειας, με αυτοπαραγωγή, όσο και για την αύξηση της αξιοπιστίας του δικτύου με την δημιουργία ενός αυτόνομου μικροδίκτυου.

1.2 Δομή

Η Διπλωματική αυτή εργασία διαρθρώνεται σε τέσσερα κεφάλαια και δύο κεφάλαια στο παράρτημα.

- **Κεφάλαιο 2:** δίνονται οι εισαγωγικές έννοιες της διεσπαρμένης παραγωγής και των μικροδίκτυων, οι λόγοι για την ανάπτυξη, τα πλεονεκτήματα καθώς και οι χρησιμοποιούμενες τεχνολογίες.
- **Κεφάλαιο 3:** αναπτύσσονται τα νέα προβλήματα στην προστασία του δικτύου αλλά και οι νέες ανάγκες για έλεγχο των μονάδων παραγωγής που υπεισέρχονται με την εγκατάσταση της διανεμημένης παραγωγής. Κυριότερα αναλύονται τα προβλήματα που προκαλεί η νησιδοποίηση και οι τρόποι ανίχνευσής της. Αυτή ανιχνεύεται με πολλούς διαφορετικούς τρόπους, ενεργητικούς και παθητικούς, που παρουσιάζονται και αναλύονται.
- **Κεφάλαιο 4:** παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά της εγκατάστασης και των καταναλώσεων του ΟΑΚΑ. Θεμελιώνεται έτσι το πρόβλημα καθώς και τα διαθέσιμα μέσα για την επίλυσή του. Το ΟΑΚΑ έχει μια σημαντική υποδομή στο δίκτυό του. Αυτή του παρέχει τη δυνατότητα να τροφοδοτείται από διαφορετικούς υποσταθμούς Υψηλής/Μέσης τάσης για μέγιστη αξιοπιστία και να διαμορφώνει την εσωτερική συνδεσμολογία του. Ακόμα, σε πολλούς κρίσιμους ΥΣ βρίσκονται εγκατεστημένα εφεδρικά ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη που μπορούν να τροφοδοτήσουν ορισμένα φορτία ανάγκης στις περιπτώσεις διακοπής. Τέλος γίνεται αναφορά στον τρόπο που χρεώνει η ΔΕΗ τους καταναλωτές ΜΤ, και παρουσιάζονται οι χρεώσεις μιας περιόδου 22 μηνών με προσπάθεια να περιγραφούν τα χαρακτηριστικά τους.
- **Κεφάλαιο 5:** γίνεται η επεξεργασία των δεδομένων και προτείνεται η εξομάλυνση της

καμπύλης φορτίου με χρήση των εφεδρικών HZ, προκειμένου να μειωθεί το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας. Για το σκοπό αυτό δημιουργήθηκε ένα πρόγραμμα που υπολογίζει τα μέγιστα αναμενόμενα κέρδη από την εφαρμογή του peak-shaving, λαμβάνοντας σαν είσοδο τις καμπύλες φορτίου του κάθε μήνα. Ακόμα προτείνεται ένας τρόπος λειτουργίας του συγκεκριμένου συστήματος και γίνεται εκ νέου υπολογισμός του αναμενόμενου κέρδους με βάση αυτόν, ώστε να ελεγχθεί η βιωσιμότητα της συγκεκριμένης δράσης. Τέλος προτείνονται αλλαγές στα εγκατεστημένα προστατευτικά μέσα.

- **Παράρτημα Α:** επισυνάπτεται το πρόγραμμα που αναπτύχθηκε για τον υπολογισμό του μέγιστου κέρδους και δίνονται ορισμένες οδηγίες για την χρήση του. Χρησιμοποιήθηκε γλώσσα προγραμματισμού GNUPascal, όμως με το διάγραμμα ροής του αλγορίθμου που υπάρχει στην εργασία είναι εύκολο να ξαναγραφτεί το πρόγραμμα σε οποιαδήποτε πλατφόρμα για μελλοντική χρήση.
- **Παράρτημα Β:** παρατίθενται τα αποτελέσματα της εφαρμογής του προγράμματος υπολογισμού μέγιστου κέρδους πάνω στις μηνιαίες καμπύλες φορτίου.
- **Παράρτημα Γ:** παρατίθενται τα αποτελέσματα της εξομάλυνσης καμπύλης φορτίου, με συνυπολογισμό του τεχνικού ελαχίστου, πάνω στο σύνολο του φορτίου του ΟΑΚΑ.
- **Παράρτημα Δ:** Επισυνάπτεται το πρόγραμμα του MATLAB που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό της οικονομικά βέλτιστης συνδεσμολογίας του δικτύου.

2 Στοιχεία θεωρίας

2.1 Η έννοια του μικροδίκτυου – Διεσπαρμένη παραγωγή

Η διεσπαρμένη παραγωγή (Distributed Generation), που συχνά αναφέρεται και ως ενσωματωμένη παραγωγή (Embedded Generation) ή και παραγωγή επί-τόπου (On-site Generation), είναι η παραγωγή ενέργειας στο σημείο που αυτή καταναλώνεται ανεξαρτήτως μεγέθους, χρησιμοποιούμενης τεχνολογίας ή καυσίμου [2]. Ο ορισμός αυτός επικεντρώνεται στην τοποθεσία της παραγωγής και έτσι μπορεί να μην συμπεριλαμβάνει τεχνολογίες όπως οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, που τοποθετούνται κυρίως εκεί όπου υπάρχει διαθεσιμότητα της πηγής (π.χ. Αιολικό δυναμικό, Υδατόπτωση, Γεωθερμικό πεδίο), παρόλο που η ανάπτυξη τέτοιων τεχνολογιών μοιράζεται πολλά κοινά χαρακτηριστικά με τα προβλήματα διεσπαρμένης παραγωγής [3]. Παρόλο που δεν υπάρχει κανένας ευρέως αποδεκτός ορισμός για την ΔΠ, ορισμένα χαρακτηριστικά της που την ξεχωρίζουν από την κεντρική συμβατική παραγωγή είναι πως δεν είναι -γενικά- σχεδιασμένη από την εταιρία ηλεκτρικής ενέργειας, δεν τοποθετείται κεντρικά στο δίκτυο, έχει περιορισμένο μέγεθος (της τάξης μεγέθους των MW) και συνήθως συνδέεται στο δίκτυο διανομής (στη μέση ή χαμηλή τάση) [4].

Η ιδέα της διεσπαρμένης παραγωγής αντιτίθεται στην παραδοσιακή επικεντρωμένη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, όπου η ενέργεια παράγεται μαζικά σε μεγάλους σταθμούς και διανέμεται στους τελικούς καταναλωτές μέσω εκτενών και σύνθετων δικτύων μεταφοράς και διανομής. Παρόλο που οι κεντρικοί σταθμοί παραγωγής παραμένουν νευραλγικής σημασίας για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας, παρουσιάζουν πολύ μεγάλη έλλειψη ευελιξίας και δεν προσαρμόζονται γρήγορα στις ταχύτερες αλλαγές που παρουσιάζουν οι ανάγκες για ενέργεια. Φυσικά η επικεντρωμένη παραγωγή έχει και αρκετά πλεονεκτήματα. Η ανάγκες για εφεδρεία ισχύος ελαχιστοποιούνται, ενώ είναι εφικτό ανά πάσα στιγμή να λειτουργεί η πιο οικονομική μονάδα παραγωγής και η παραγόμενη ενέργεια να μεταφέρεται μέσω του δικτύου μεταφοράς και διανομής στον καταναλωτή σε οποιοδήποτε σημείο του δικτύου.

Η εγκατάσταση διεσπαρμένης παραγωγής στο δίκτυο συνεπάγεται την εισαγωγή της έννοιας του

μικροδίκτυου (microgrid). Έτσι μικροδίκτυο είναι ένα ΣΗΕ όπου μικρές γεννήτριες συνδέονται απευθείας με τους τελικούς καταναλωτές (εργοστάσια, γραφεία, νοικοκυριά) σε δίκτυα χαμηλής και μέσης τάσης. Σε κανονικές συνθήκες λειτουργεί συνδεδεμένο με το κυρίως δίκτυο αλλά μπορεί να αποσυνδεθεί και να λειτουργήσει αυτόνομα όταν οι φυσικές ή οικονομικές συνθήκες ευνοούν αυτή την επιλογή. Η ισχύς που δεν απορροφάται από τους άμεσα συνδεδεμένους καταναλωτές εισάγεται στο δίκτυο διανομής για να καλύψει τις ανάγκες άλλων χρηστών ή αποθηκεύεται σε τοπικά μέσα αποθήκευσης ενέργειας. Ο τρόπος όμως με τον οποίο σχεδιάστηκαν τα δίκτυα μέσης και χαμηλής τάσης δεν προέβλεπε τη σύνδεση μονάδων παραγωγής σε αυτά [5]. Οι μεγάλες συμβατικές μονάδες παραγωγής αλλά και οι μεγάλης κλίμακας κεντρικές ανανεώσιμες πηγές παραμένουν συνδεδεμένες στο δίκτυο, παρέχουν την κεντρική εφεδρεία του συστήματος και εξασφαλίζουν την ποιότητα ισχύος και την αξιοπιστία του δικτύου, συχνά με την χρήση αποθηκευτικών μέσων μεγάλης κλίμακας (όπως για παράδειγμα οι αντλιοσταμειωτικοί σταθμοί). [6] Σκοπός είναι το μικροδίκτυο να παρουσιάζεται στο κεντρικό δίκτυο σαν ένα κανονικό φορτίο ή ένας παραγωγός και να έχει αρκετή ενέργεια ώστε να μπορεί να καλύψει τις ανάγκες του σε ηλεκτρική ενέργεια. Συνήθως το μικροδίκτυο συνδέεται μέσω σύγχρονης AC σύνδεσης με το υπόλοιπο δίκτυο, για λόγους απλότητας, και έτσι απαιτείται να γίνουν ενέργειες συγχρονισμού προτού επανασυνδεθεί στο δίκτυο αν έχει απομονωθεί. Αν εναλλακτικά χρησιμοποιηθεί ασύγχρονη σύνδεση (μέσω αντιστροφών) τότε το μικροδίκτυο και το κυρίως δίκτυο δεν ανταλλάσσουν παρά μόνο ενεργό ισχύ και η συχνότητα και η τάση του ενός είναι ανεξάρτητη από αυτή του άλλου. Τότε το μικροδίκτυο είναι αποκλειστικά υπεύθυνο για την τήρηση των ορίων τάσης και συχνότητας μέσα στο εύρος του. Παρόλα αυτά η χρήση αντιστροφών είναι διαδεδομένη, αφού πολλά από τα μέσα παραγωγής (φωτοβολταϊκά, ανεμογεννήτριες, μικρές μηχανές εσωτερικής καύσης) λειτουργούν με μεταβλητή συχνότητα εξόδου [5].

2.2 Λόγοι εγκατάστασης μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής

Η διεσπαρμένη παραγωγή έχει πολλές εφαρμογές και μπορεί να εξυπηρετήσει πολλούς διαφορετικούς σκοπούς που αναλύονται χωριστά παρακάτω [6]:

- Συνεχής παροχή: Σε αυτή την περίπτωση η διεσπαρμένη παραγωγή λειτουργεί τουλάχιστον 6000 ώρες ετησίως και επιτρέπει στον χρήστη να παράγει το σύνολο ή μέρος της καταναλισκόμενης ισχύος σε συνεχή βάση. Απαιτήσεις για την συγκεκριμένη εφαρμογή

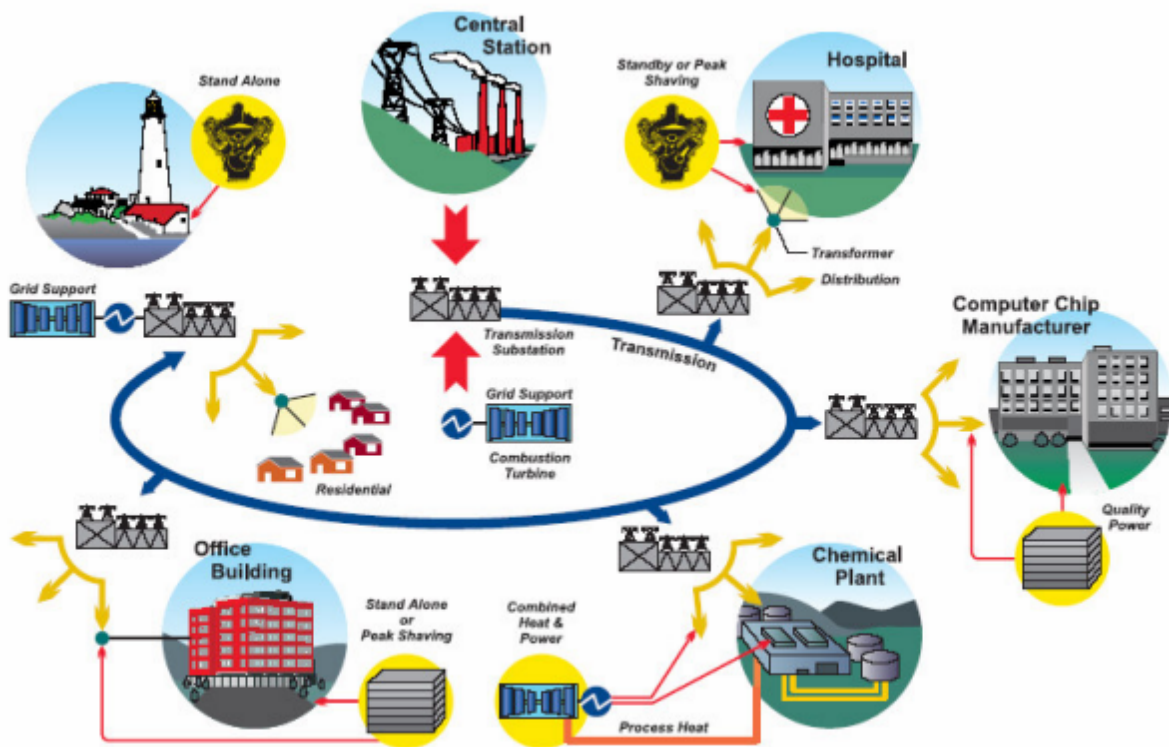
είναι οι παρακάτω

- Υψηλός συντελεστής απόδοσης
- Χαμηλό μεταβλητό κόστος συντήρησης
- Χαμηλές εκπομπές ρύπων
- Συμπαγωγή Ηλεκτρισμού Θερμότητας (ΣΗΘ): Η ΔΠ λειτουργεί τουλάχιστον 6000 ώρες ετησίως και μέρος των απωλειών θερμότητας χρησιμοποιείται για να εξυπηρετήσει θερμικά φορτία. Ορισμένες φορές η θερμική ενέργεια χρησιμοποιείται και στη λειτουργία ψυκτικών μηχανημάτων. Οι απαιτήσεις για τη συγκεκριμένη εφαρμογή είναι αυτές που αναφέρθηκαν και στη συνεχή παροχή παραπάνω αλλά για να είναι οικονομικά βιώσιμη χρειάζεται να υπάρχει μεγάλο ποσό χρησιμοποιήσιμης θερμικής ενέργειας.
- Μείωση ισχύος αιχμής (Peak Shaving): Η ΔΠ χρησιμοποιείται 200-3000 ώρες ετησίως και σκοπό έχει να μειώσει το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας. Οι μονάδες χρησιμοποιούνται για να μειώσουν την ισχύ αιχμής της εγκατάστασης, για να μειώσουν την κατανάλωση ηλεκτρικής ισχύος κατά τις ώρες αιχμής και για να βελτιώσουν την καμπύλη φορτίου της εγκατάστασης που βλέπει ο πάροχος ηλεκτρικής ενέργειας. Η εφαρμογή αυτή είναι ιδιαίτερα επικερδής σε εγκαταστάσεις με χαμηλό συντελεστή χρησιμοποίησης και προφίλ κατανάλωσης με πολλές διακυμάνσεις και αιχμές, όπως κατοικίες, εκπαιδευτικές και αθλητικές εγκαταστάσεις κ.α. Απαιτήσεις για την εφαρμογή αυτή είναι:
 - Χαμηλό κόστος εγκατάστασης
 - Γρήγοροι χρόνοι εκκίνησης
 - Χαμηλά πάγια κόστη συντήρησης
- Πράσινη ενέργεια: Η ΔΠ εδώ χρησιμοποιείται για να μειώσει τις εκπομπές ρύπων του χρήστη, ενώ απαιτήσεις για τη συγκεκριμένη εφαρμογή είναι:
 - Υψηλός συντελεστής απόδοσης
 - Χαμηλές εκπομπές ρύπων
 - Χαμηλά μεταβλητά κόστη συντήρησης.
- Παραγωγή ασφαλείας: Η ΔΠ χρησιμοποιείται για να παρέχει αξιοπιστία ή/και ποιότητα ισχύος μεγαλύτερη από αυτήν που παρέχει το δίκτυο κανονικά. Οι καταναλωτές εγκαθιστούν τέτοια Συστήματα Αδιάλειπτου Παροχής (Uninterruptible Power Supply –

UPS) για πολλούς διαφορετικούς λόγους και έτσι προκύπτουν οι παρακάτω επιμέρους κατηγορίες:

- Εφεδρικά συστήματα: Πρόκειται για αυτόνομα συστήματα που παρέχουν αυτόματα ισχύ στη θέση της συνήθους παροχής, όταν αυτή δεν είναι διαθέσιμη. Το σύστημα όμως παρέχει ισχύ μόνο σε ορισμένα κρίσιμα φορτία, η παύση της λειτουργίας των οποίων θα έθετε ανθρώπους ή εξοπλισμό σε κίνδυνο (π.χ. Φωτισμό ασφαλείας, συστήματα άντλησης υδάτων κλπ.) ενώ η πλήρης λειτουργία της εγκατάστασης που το σύστημα εξυπηρετεί δεν είναι δυνατή.
- Συστήματα αναμονής: Πρόκειται για συστήματα που παρέχουν ηλεκτρική ισχύ για να αντικαταστήσουν πλήρως την κανονική πηγή τροφοδότησης, όταν αυτή δεν είναι διαθέσιμη, επιτρέποντας στο σύνολο της εγκατάστασης να λειτουργεί ικανοποιητικά και είναι απαραίτητα σε εγκαταστάσεις όπως αεροδρόμια, συστήματα ύδρευσης και αποχέτευσης, δίκτυα διανομής φυσικού αερίου, πυροσβεστικά τμήματα κλπ.
- Συστήματα πραγματικής ασφάλειας: Αφορούν καταναλωτές που απαιτούν αδιάλειπτη ηλεκτρική ισχύ και ποιότητα ηλεκτρικής ισχύος ανώτερη αυτής που είναι διαθέσιμη από τον πάροχο, χωρίς flicker, βυθίσεις, εγκοπές, μεταβολές συχνότητας κλπ. Συχνά μάλιστα η ΔΠ χρησιμοποιείται σαν κύρια πηγή τροφοδοσίας και το κυρίως δίκτυο σαν εφεδρική πηγή.
- Αυτόνομα συστήματα: Αφορά περιπτώσεις στις οποίες η σύνδεση με το κυρίως δίκτυο κρίνεται ασύμφορη ή είναι αδύνατη και οι -συχνά χαμηλές- ενεργειακές ανάγκες καλύπτονται με ενσωματωμένη παραγωγή (π.χ. απομακρυσμένες κατοικίες, φάρoi, κτηνοτροφικές εγκαταστάσεις κλπ.). Πολλές φορές χρησιμοποιούνται ανανεώσιμες πηγές, ώστε η εγκατάσταση να είναι πλήρως αυτόνομη ακόμα και από την μεταφορά καυσίμων. Εδώ εξετάζεται κυρίως το κόστος εγκατάστασης καθώς και η αξιοπιστία της.
- Αναβολή βελτίωσης συστημάτων μεταφοράς και διανομής: Μερικές φορές, η τοποθέτηση ΔΠ σε στρατηγικά σημεία του δικτύου μπορεί να βοηθήσει στην καθυστέρηση της βελτίωσης των υποδομών μεταφοράς και διανομής. Χρειάζεται προσεκτική ανάλυση που να λαμβάνει υπόψιν της το κόστος σε όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής των διαφόρων εναλλακτικών επιλογών. Η σημαντικότερες παράμετροι σε αυτή την εφαρμογή είναι το χαμηλό κόστος εγκατάστασης και τα χαμηλά πάγια κόστη συντήρησης.

- Βοηθητικές υπηρεσίες: πολλές φορές οι εταιρίες ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιούν ΔΠ για να παρέχουν βοηθητικές υπηρεσίες σε επίπεδο μεταφοράς ή και διανομής. Ιδιαίτερα σε αγορές που η αγορά ηλεκτρικής ενέργειας είναι ελεύθερη και οι βοηθητικές υπηρεσίες αποδεδειγμένες, οι τεχνολογίες ΔΠ συχνά παρουσιάζουν πλεονεκτήματα απέναντι σε αυτές που χρησιμοποιούνται παραδοσιακά. Τέτοιες βοηθητικές υπηρεσίες είναι για παράδειγμα η στρεφόμενη αλλά και η μη στρεφόμενη εφεδρεία, η βελτίωση του προφίλ της τάσης με τοπική ρύθμιση της άεργου ισχύος και η βελτίωση της αξιοπιστίας και της ποιότητας ισχύος με εγκατάσταση ΔΠ σε διάφορα σημεία του συστήματος. Εδώ παρατηρείται μεγάλο εύρος εφαρμογών και οι απαιτήσεις που η ΔΠ καλείται να καλύψει εξαρτώνται από το πρόβλημα που καλείται να λύσει.



Σχήμα 2.1: Περίληψη εφαρμογών Διεσπαρμένης Παραγωγής

2.3 Οικονομικός αντίκτυπος της εγκατάστασης ΔΠ στο δίκτυο

Ο οικονομικός αντίκτυπος που μπορεί να έχει η σύνδεση μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής στο δίκτυο έχει αρχίσει να συζητιέται τον τελευταίο καιρό. Άλλωστε η διείσδυση των μονάδων ΔΠ έχει μόλις τον τελευταίο καιρό προχωρήσει σε τέτοιο επίπεδο που να μπορούν να επηρεάσουν σε μεγάλο βαθμό τα οικονομικά της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας εν γένει.

Η ΔΠ λοιπόν αλλάζει την ροή φορτίου στο δίκτυο και συνεπώς αλλάζει και τις απώλειες πάνω στις γραμμές μεταφοράς και διανομής. Αν μια μικρή μονάδα ΔΠ είναι εγκατεστημένη κοντά σε ένα μεγάλο φορτίο, τότε οι απώλειες θα είναι μειωμένες καθώς η μονάδα παρέχει μέρος της ενεργής και άεργης ισχύος χωρίς αυτή να ρέει στο υπόλοιπο δίκτυο. Αντίθετα όμως αν μια μεγάλη μονάδα ΔΠ είναι τοποθετημένη μακριά από τα φορτία του δικτύου εμφανίζεται αύξηση των απωλειών για τους αντίστοιχους λόγους. Συνήθως τις στιγμές που το φορτίο είναι υψηλό χρησιμοποιούνται μονάδες παραγωγής με μεγάλο κόστος καυσίμου. Αν λοιπόν οι μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής μπορούν να παράγουν τις στιγμές αυτές και να μειώσουν τις απώλειες του δικτύου επηρεάζουν σημαντικά το κόστος λειτουργίας.

Όσον αφορά στην κεντρική παραγωγή, η εγκατάσταση ΔΠ τείνει να μειώνει την συνολική ζήτηση ηλεκτρικής ισχύος από τις κεντρικές μονάδες αλλά να αυξάνει την διακύμανση της παραγωγής. Σε ένα μεγάλο ΣΗΕ η ζήτηση μπορεί να προβλεφθεί με αρκετή ακρίβεια από το διαχειριστή του δικτύου. Η ΔΠ όμως εισάγει επιπλέον αβεβαιότητα στις προβλέψεις αυτές και έτσι απαιτείται περισσότερη εφεδρεία. Για το λόγο αυτό στη Δανία όπου υπάρχει πολύ μεγάλη διείσδυση ΔΠ, για παράδειγμα, γίνονται μεγάλες προσπάθειες ώστε να μπορέσει να προβλεφθεί η παραγωγή από τα αιολικά πάρκα ή η παραγωγή από της μονάδες ΣΗΘ μέσω μετεωρολογικών δεδομένων. Επίσης όσο η μονάδες ΔΠ γίνονται καλύτερες στο να ελέγχουν την συχνότητα και την τάση του δικτύου τόσο θα μειώνεται το πραγματικό τους κόστος για το δίκτυο και τόσο πιο εφικτή θα είναι η επίτευξη μεγάλων διεισδύσεων. [4]

2.4 Τεχνολογίες των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής

Στα συστήματα ΔΠ, όπως και στην κεντρική παραγωγή υπάρχει ένα πολύ μεγάλο εύρος τεχνολογιών που εφαρμόζεται, από κλασσικές μηχανές εσωτερικής καύσης μέχρι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και νέες τεχνολογίες όπως οι κυψέλες καυσίμων. Παρακάτω παρουσιάζονται

επιγραμματικά οι διάφορες αυτές τεχνολογίες:

- Παλινδρομικοί κινητήρες: Αυτή η τεχνολογία παρόλο που αναπτύχθηκε πριν από περισσότερο από έναν αιώνα, έχει ακόμα εφαρμογή σε μεγάλο εύρος προβλημάτων. Οι μηχανές ποικίλουν σε μέγεθος, από μερικά kW έως και δεκάδες MW και χρησιμοποιούν πετρέλαιο ντίζελ, φυσικό αέριο ή βιοαέριο σαν καύσιμη ύλη. Σήμερα οι προσπάθειες εξέλιξης τους επικεντρώνονται στο να βελτιωθεί η απόδοσή τους και να μειωθούν οι εκπομπές ρύπων. Συνήθως χρησιμοποιούνται σαν εφεδρικές πηγές, για μείωση της ισχύος αιχμής και στην ΣΗΘ.
- Μικρο-αεριοστρόβιλοι: Πρόκειται για μια νέα και αναπτυσσόμενη τεχνολογία. Συνήθως έχουν ισχύ από 30 έως 200 kW. Παρουσιάζονται με τις χαμηλές εκπομπές ρύπων σαν βασικό τους προτέρημα, αλλά οι μονάδες αυτές παραμένουν ακόμα σχετικά ακριβές στην εγκατάσταση. Οι σημερινές προσπάθειες επικεντρώνονται στο να μειωθεί το κόστος τους αλλά και στο να πείσουν για την αξιοπιστία τους. Η τεχνολογία αυτή δεν είναι ακόμα ιδιαίτερα ώριμη και συνήθως εφαρμόζεται για σκοπούς δοκιμής.
- Βιομηχανικές μηχανές εσωτερικής καύσης: Αυτή η τεχνολογία είναι πλέον πολύ ώριμη και συνήθως γίνεται αναφορά σε εγκαταστάσεις της τάξης μεγέθους των μερικών MW. Έχουν χαμηλό κόστος κτήσης, χαμηλές εκπομπές ρύπων αλλά συνήθως χαμηλό συντελεστή απόδοσης, που είναι και το βασικό αντικείμενο της έρευνας που γίνεται σήμερα για αυτές. Συνήθως εφαρμόζονται για μείωση της ισχύος αιχμής (που η απόδοση δεν παίζει τόσο μεγάλο ρόλο) αλλά και σε εφαρμογές ΣΗΘ (για αύξηση του συνολικού βαθμού απόδοσης).
- Φωτοβολταϊκά: Έχουν εφαρμογή τόσο σε οικιακές όσο και σε εμπορικές χρήσεις. Η ισχύς τους ξεκινά από λίγα kW και μπορούν να συνδυαστούν ώστε να συνθέσουν μονάδες οποιουδήποτε μεγέθους. Δεν έχουν καθόλου εκπομπές ρύπων και απαιτούν ελάχιστη συντήρηση ενώ έχουν προφανώς και μηδενικό κόστος καυσίμου. Παρόλα αυτά η εγκατάστασή τους είναι συνήθως αρκετά ακριβή, και χρειάζεται να μειωθεί το κόστος κατασκευής τους ώστε να εξαλειφθούν οι οικονομικοί φραγμοί και να γίνει δυνατή η ευρεία χρήση τους. Παρουσιάζουν πολλά πλεονεκτήματα για την ανάπτυξη αυτόνομων απομακρυσμένων συστημάτων αλλά φυσικά και για την παραγωγή πράσινης ενέργειας.
- Κυψέλες καυσίμων (Fuel Cells): Οι κυψέλες καυσίμων έχουν πολύ μεγάλη απόδοση και πολύ χαμηλές εκπομπές ρύπων. Παρέχουν ενέργεια με την ένωση του υδρογόνου με το οξυγόνο, χωρίς ουσιαστικά να γίνεται καύση και το τελικό προϊόν είναι καθαρό νερό. Μια κυψέλη παρέχει λιγότερο από ένα volt τάση οπότε περισσότερες κυψέλες τοποθετούνται σε

σειρά και παράλληλα για να επιτευχθεί η απαιτούμενη τάση και ισχύς εξόδου. Η συχνότερη τεχνολογία κυψελών καυσίμου που χρησιμοποιείται σήμερα είναι αυτή της μεμβράνης ανταλλαγής πρωτονίων. Έχουν πολύ μεγάλο λόγο παραγωγής ενέργειας κατ' όγκο (μικρές γεωμετρικές διαστάσεις αναλογικά) ενώ το κόστος τους αναμένεται να πέσει γρήγορα.

- **Ανεμογεννήτριες:** Το μέγεθός τους συνήθως είναι από μερικά kW έως 3-5MW. Παρέχουν σχετικά φθηνή ενέργεια συγκριτικά με άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, αλλά καθώς στηρίζονται στον άνεμο που είναι σχετικά απρόβλεπτος και μεταβλητός δεν είναι κατάλληλες για να καλύψουν από μόνες τους της ανάγκες μιας αδιάλειπτης παροχής. Για τον λόγο αυτό συνδυάζονται συχνά (όπως και άλλες ανανεώσιμες πηγές) με συστήματα αποθήκευσης και ανάκτησης ενέργειας ή με συμβατικές θερμικές μηχανές. Τοποθετούνται σε αυτόνομα συστήματα αλλά και για την παραγωγή πράσινης ενέργειας.

3 Προστασία και έλεγχος

3.1 Προστασία

Σκοπός της προστασίας είναι να προστατεύει τους χρήστες και το προσωπικό που λειτουργεί ένα δίκτυο, να προφυλάσσει τον εξοπλισμό από τις θερμικές διηλεκτρικές και μηχανικές καταπονήσεις, αλλά και να βελτιώνει την αξιοπιστία, την ευστάθεια και την ποιότητα ισχύος του ΣΗΕ. Για να επιτευχθούν αυτοί οι στόχοι πρέπει το σύστημα προστασίας που θα σχεδιασθεί να είναι γρήγορο, αξιόπιστο και να εκτελεί τις σωστές ενέργειες ανάλογα με τα σφάλματα που ανιχνεύει, απομονώνοντας το μικρότερο δυνατό κομμάτι ώστε το σφάλμα να σταματήσει να τροφοδοτείται αλλά και να μπορεί το υπόλοιπο δίκτυο να συνεχίσει να λειτουργεί, όποτε αυτό είναι δυνατό. Από ηλεκτρολογική σκοπιά σφάλμα είναι μια κατάσταση που αναπτύσσονται μεγάλα ρεύματα (υπερεντάσεις) ή μεγάλες τάσεις (υπερτάσεις). Ουσιαστικά οι αρχές που πρέπει να εξυπηρετεί ένα σύστημα προστασίας είναι η επιλεκτικότητα και η εφεδρική προστασία.

Σε ένα πρόβλημα διεσπαρμένης παραγωγής, αντικείμενο της προστασίας είναι οι γραμμές διανομής, οι ζυγοί αλλά και τα ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη. Υπάρχουν ορισμένες βασικές διαφορές σε σχέση με την προστασία ενός ακτινωτού ΣΗΕ. Δεν είναι προκαθορισμένη η ροή ισχύος και ένα βραχυκύκλωμα μπορεί να τροφοδοτείται και από τις 2 πλευρές, έτσι χρειάζεται να ανοίξουν 2 τουλάχιστον διακόπτες για να εκκαθαριστεί το σφάλμα [4]. Ακόμα, όταν ένα σύστημα με ενσωματωμένη παραγωγή λειτουργεί αποσυνδεδεμένο από το κυρίως δίκτυο τότε τα ρεύματα βραχυκύκλωσης προέρχονται μόνο από την τοπική παραγωγή, και έτσι είναι πολύ πιο μικρά και πρέπει να βρεθούν τρόποι να ανιχνευτούν, ενώ άλλες φορές ο παραλληλισμός της σύνθετης αντίστασης βραχυκύκλωσης της διεσπαρμένης παραγωγής με αυτή του δικτύου μπορεί να προκαλέσει αύξηση των ρευμάτων βραχυκύκλωσης. Τέλος χρειάζονται και ορισμένες εξειδικευμένες προστασίες που δεν απαντώνται σε πιο απλά προβλήματα προστασίας, όπως η προστασία νησιδοποίησης και η προστασία των H/Z.

Στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής θα γίνει προσπάθεια το πρόβλημα της προστασίας να λυθεί με απλό τρόπο. Δεν θα γίνει παρέμβαση στα συστήματα προστασίας που υπάρχουν στο δίκτυο ΜΤ του ΟΑΚΑ, παρά μόνο στους ηλεκτρονόμους προστασίας των H/Z. Με τη λογική αυτή, όταν

ανιχνευθεί κάποιο σφάλμα, πρώτα θα το αντιληφθούν οι διατάξεις προστασίας που βρίσκονται πάνω στα H/Z και θα τα αποσυνδέσουν και στη συνέχεια το σφάλμα θα εκκαθαριστεί από τα μέσα προστασίας του δικτύου.

Οι βασικές διαφορές που επιφέρει η διεσπαρμένη παραγωγή και πρέπει να ληφθούν υπόψιν κατά το σχεδιασμό του συστήματος προστασίας είναι οι παρακάτω [7]:

1. Προστασία σε σφάλματα του μετασχηματιστή:

Συνδέοντας το microgrid στο δίκτυο διανομής δεν επηρεάζεται η ικανότητα της διαφορικής προστασίας του δικτύου να ανιχνεύσει και να απομονώσει ένα σφάλμα στο μετασχηματιστή. Καμία προσαρμογή δεν απαιτείται στην υπάρχουσα προστασία.

2. Σφάλμα γης:

Η μονάδα διεσπαρμένης παραγωγής που συνδέεται στην φάση στην οποία παρουσιάζεται το σφάλμα, συνεισφέρει στην τροφοδότηση του σφάλματος, μειώνοντας έτσι το ρεύμα βραχυκύκλωσης που βλέπει το κύριο δίκτυο, που πλέον παρέχει μόνο μέρος του ρεύματος βραχυκύκλωσης. Ωστόσο κατά την εκκίνηση του σφάλματος, όλες οι γεννήτριες διεσπαρμένης παραγωγής με χαμηλή ονομαστική ισχύ πρέπει να ανιχνεύσουν το σφάλμα και αποσυνδεθούν από το σύστημα. Για το λόγο αυτό είναι σημαντικό να είναι εφοδιασμένες με ηλεκτρονόμους που να εντοπίζουν και να εκκαθαρίζουν μονοφασικά σφάλματα [8]. Εφόσον αυτό συμβεί, το ρεύμα βραχυκύκλωσης τροφοδοτείται βασικά από το κύριο δίκτυο, ενεργοποιώντας έτσι την προστασία του (σαν μην είχαν ποτέ συνδεθεί οι γεννήτριες διεσπαρμένης παραγωγής). Μπορεί ο χρόνος ανίχνευσης του σφάλματος να επιμηκυνθεί εξαιτίας της παρουσίας της διεσπαρμένης παραγωγής, αλλά η λογική της προστασίας δεν αλλάζει. Όσον αφορά την επανασύνδεση των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής, μια καλή προσέγγιση θα μπορούσε να είναι η απαίτηση του δικτύου από κάθε μικρή γεννήτρια που έχει τριπάρει και έχει αποσυνδεθεί, να παραμένει αποσυνδεδεμένη για ένα εύλογο χρονικό διάστημα μέσα στο οποίο όλες οι διαταραχές δεν θα υφίστανται πλέον. Τα παραπάνω δεν έχουν σοβαρές επιδράσεις στο υπάρχον σύστημα προστασίας.

3. Σφάλμα φάση-φάση:

Για μια γεννήτρια διεσπαρμένης παραγωγής που συνδέεται πάνω σε μια φάση που παρουσιάζει σφάλμα, η τάση που βλέπει στα άκρα της, θα είναι στις πιο πολλές περιπτώσεις έξω από τα όρια λειτουργίας, και επομένως η προστασία της γεννήτριας διεσπαρμένης παραγωγής θα τριπάρει και θα αποσυνδεθεί από τη γραμμή. Το ίδιο θα συμβεί και με τις αντίστοιχες μονάδες που συνδέονται στην φάση που δεν παρουσιάζει σφάλμα. Υπάρχει

περίπτωση η τάση να είναι εντός ορίων είτε γιατί οι φάσεις είναι βραχυκυκλωμένες μέσω μιας σχετικά μεγάλης αντίστασης είτε γιατί το σφάλμα βρίσκεται μακριά από τη γεννήτρια. Στην περίπτωση αυτή, η ανίχνευση του σφάλματος από το κύριο δίκτυο δεν θα παρεμποδιστεί από την λειτουργία της διεσπαρμένης παραγωγής. Έτσι όλες οι φάσεις της γραμμής θα ανοίξουν ανταποκρινόμενες στην κανονική λειτουργία της προστασίας. Στο σημείο αυτό, όλες οι μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής που παραμένουν συνδεδεμένες, θα αντιληφθούν την μετάβαση της τάσης εκτός των επιτρεπόμενων ορίων και για αυτό άμεσα θα αποσυνδεθούν.

3.2 Η ρύθμιση τάσης και συχνότητας, ποιότητα ισχύος

Όσο το μικροδίκτυο παραμένει συνδεδεμένο με το κυρίως δίκτυο, βασίζεται σε αυτό για να τηρούνται τα όρια τάσης και συχνότητας. Όμως πολλές φορές, για παράδειγμα μετά από την εκκαθάριση κάποιου σφάλματος ή γενικότερα σε περίπτωση απώλειας του κυρίως δικτύου (loss of mains) για οποιοδήποτε λόγο, μπορεί ένα μικροδίκτυο να χρειαστεί να λειτουργήσει αυτόνομα, σε κατάσταση νησιδοποίησης (islanding mode) όπως λέγεται. Έτσι παρόλο το μικρό του μέγεθος, καλείται να δώσει λύσεις σε όλα τα προβλήματα που αντιμετωπίζουν και τα εθνικά ηλεκτρικά δίκτυα [5], σε μικρότερη βέβαια κλίμακα. Οι βασικές παράμετροι που εξετάζονται εδώ είναι η συχνότητα, η τάση και η ποιότητα ισχύος, που πρέπει να βρίσκονται πάντα μέσα σε αποδεκτά όρια, ώστε η λειτουργία του δικτύου να κρίνεται ικανοποιητική. Βασικό επίσης είναι να μπορεί η διεσπαρμένη να εξυπηρετήσει τα φορτία της σε κάποιο βάθος χρόνου, δηλαδή να μπορεί να αποδώσει την απαιτούμενη ενέργεια.

3.2.1 Ισοζύγιο ενεργού ισχύος – Ρύθμιση συχνότητας

Συνήθως σε ένα ΣΗΕ αυτού του μεγέθους, δεν υπάρχουν αρκετά μέσα αποθήκευσης, αυτό σημαίνει πως ανά πάσα στιγμή πρέπει να τηρείται ισοζύγιο παραγωγής και κατανάλωσης ισχύος. Για να μην ξεφύγει ποτέ το σύστημα από τα όρια συχνότητας, πρέπει το ισοζύγιο αυτό να ισχύει ακόμα και μέσα στο χρόνο ενός κύκλου των 50 Hz (20 ms). Τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την τήρηση αυτού του ισοζυγίου είναι η απόρριψη φορτίου (load shedding), η ρύθμιση της πρωτεύουσας παραγωγής, αλλά και η αποθήκευση ή ανάκτηση ενέργειας με τα αποθηκευτικά μέσα. Στην πραγματικότητα τα όρια συχνότητας είναι αυστηρά, γιατί απόκλιση από αυτά σημαίνει αστάθεια του δικτύου και κίνδυνο κατάρρευσης.

Το πρόβλημα είναι πως ιδιαίτερα σε περιπτώσεις που χρησιμοποιούνται πολλές γεννήτριες μικρού μεγέθους, αυτές δεν έχουν αρκετή αδράνεια ώστε να μπορούν να αποθηκεύσουν σημαντικά ποσά ενέργειας στα μηχανικά τους μέρη και συχνά δεν μπορούν να αντεπεξέλθουν γρήγορα σε απότομες μεταβολές του φορτίου (όπως για παράδειγμα τα μεταβατικά φαινόμενα). Για το λόγο αυτό ακόμα και μικρές μεταβολές του φορτίου μπορούν να προκαλέσουν μεγάλες μεταβολές στη συχνότητα και έτσι χρειάζονται γρήγορα μέσα αποθήκευσης και ανάκτησης. Αυτό μπορεί να συμβαίνει είτε με επικοινωνία μέσω Συχνά χρησιμοποιούμενες τεχνολογίες είναι οι στρεφόμενοι σφόνδυλοι (flywheels) [9], οι υπερπυκνωτές (supercapacitors) και οι μπαταρίες, που χαρακτηρίζονται από ταχύτατους χρόνους απόκρισης. Δυστυχώς η αποθήκευση συνοδεύεται από μεγάλο κόστος εγκατάστασης. Επίσης όταν το μικροδίκτυο νησιδοποιείται, χάνεται η αναφορά τάσης και συχνότητας, που μέχρι τότε την υπαγόρευε το κυρίως δίκτυο [10]. Για το λόγο αυτό πρέπει κάποια ή κάποιες από τις γεννήτριες να παίζουν το ρόλο του αφέντη (master) και να ορίζουν τα όρια της τάσης και της συχνότητας τα οποία οι υπόλοιπες να ακολουθούν. Τα πράγματα φυσικά γίνονται ακόμα δυσκολότερα αν σκεφτούμε ότι συχνά χρησιμοποιούνται ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στις οποίες ο διαχειριστής του μικροδικτύου δεν έχει έλεγχο της παραγόμενης ενεργού ή αέργου ισχύος.

3.2.2 Ισοζύγιο αέργου ισχύος – Ρύθμιση τάσης

Η τάση του δικτύου σε ένα μεγάλο δίκτυο με πολλές γεννήτριες ελέγχεται αρχικά από την τάση που παράγουν οι μηχανές αλλά και από το ισοζύγιο αέργου ισχύος. Μάλιστα όσο μικρότερο γίνεται το δίκτυο τόσο πιο κρίσιμο είναι το ισοζύγιο αέργου ισχύος. Περαιτέρω πρόβλημα προκύπτει από τις πτώσεις τάσεις στις γραμμές διανομής και πολλές φορές το μικροδίκτυο πρέπει είτε να είναι αρκετά μικρό από τη φύση του είτε να έχει γίνει κατάλληλος σχεδιασμός με επαρκείς διασυνδέσεις. Πάντως τα όρια τάσης όπως προκύπτουν από το υπάρχον θεσμικό πλαίσιο είναι αρκετά ευρεία και με σωστό σχεδιασμό η τήρηση τους είναι εφικτή.

3.2.3 Ποιότητα Ισχύος

Ο έλεγχος της ποιότητας ισχύος είναι ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα για ένα μικροδίκτυο. Βυθίσεις τάσης, flicker, διακοπές, αρμονικές, DC συνιστώσα κλπ. είναι πολύ δυσκολότερο να τεθούν εντός ορίων σε ένα μικρό σύστημα με πολλές γεννήτριες. Η αποθήκευση ενέργειας, και η χρήση αντιστροφών, λόγω της μεγάλης ευελιξίας τους, αποτελούν τη λύση για τα προβλήματα που προκύπτουν και ίσως τελικά οι μονάδες ΔΠ να

ευνοούν τη βελτίωση της ποιότητας ισχύος σε όλο το εύρος του δικτύου.

3.2.4 Ισοζύγιο ενέργειας

Παρόλο που σε ένα μεγάλο δίκτυο χρησιμοποιείται ένα σύνθετο μείγμα καυσίμου, και οι διαφορετικές πηγές εξασφαλίζουν την αδιάκοπη παροχή, στα πλαίσια ενός μικροδίκτυου αυτό μπορεί να μην είναι τόσο εύκολα εφαρμόσιμο. Πολλές φορές χρησιμοποιούνται οι μη ελεγχόμενες ανανεώσιμες πηγές ή η παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας εξαρτάται από άλλες δραστηριότητες (καύση αποβλήτων, ΣΗΘ κλπ.) και έτσι η διαθέσιμη ενέργεια σε δεδομένο χρόνο είναι πεπερασμένη. Ο έξυπνος σχεδιασμός αλλά και τα αποθηκευτικά μέσα δίνουν λύση σε αυτό το πρόβλημα. Για παράδειγμα ο συνδυασμός φωτοβολταϊκών, που αποδίδουν καλύτερα κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, με ΣΗΘ, που παράγει την ενέργεια κυρίως το χειμώνα, διασφαλίζει την διαθεσιμότητα της ενέργειας όλο το χρόνο.

3.3 Έλεγχος και προστασία H/Z

Τα H/Z πρέπει να παρέχουν κατάλληλη τάση και συχνότητα, τόσο όταν βρίσκονται συνδεδεμένα με το δίκτυο, όσο και όταν αναλαμβάνουν αυτόνομα τα φορτία της εγκατάστασης. Επίσης πρέπει να υπάρχει έλεγχος στην ενεργό ισχύ που παράγουν ώστε να μπορεί να εφαρμοσθεί το peak-shaving. Όλα αυτά υλοποιούνται μέσω του συστήματος ελέγχου του κάθε H/Z.

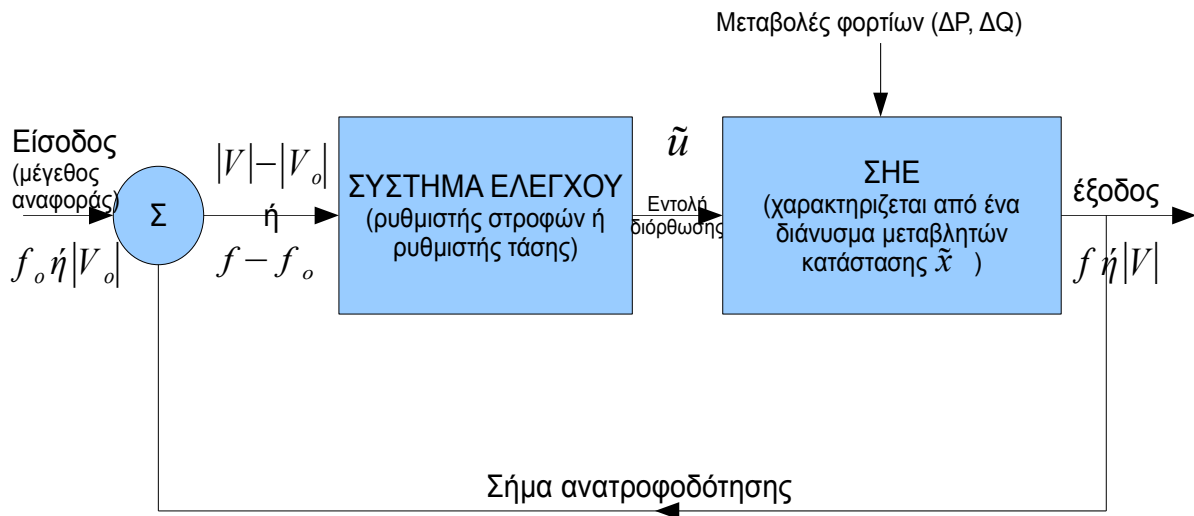
Ταυτόχρονα πρέπει τα H/Z να αποσυνδέονται όταν συμβαίνει κάποιο βραχυκύκλωμα, όταν υπάρχει απώλεια του κυρίως δικτύου και σε άλλες έκτακτες καταστάσεις. Οι ενέργειες αυτές διασφαλίζονται από τους ηλεκτρονόμους του συστήματος προστασίας του κάθε H/Z.

3.3.1 Έλεγχος

Το κάθε ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος είναι εφοδιασμένο με ρυθμιστές που ελέγχουν την παροχή καυσίμου, το ρεύμα διέγερσης της σύγχρονης γεννήτριας κλπ. ώστε να παράγει την σωστή τάση, συχνότητα, ενεργό και άεργο ισχύ.

Η ρύθμιση φορτίου-συχνότητας (ή στροφών ισχύος) όπως και η ρύθμιση τάσεως αέργου ισχύος, εξυπηρετούνται από δύο βασικά συστήματα ελέγχου κλειστού βρόχου. Ένα σύστημα ελέγχου αυτού του είδους ανιχνεύει τις μεταβολές των μεταβλητών κατάστασης $[\Delta x]$, που οφείλονται στις αποκλίσεις των μεταβλητών ζήτησης $[\Delta P]$ από την ονομαστική τους τιμή και θέτει σε

λειτουργία σε πραγματικό χρόνο αντίρροπες μεταβλητές ελέγχου $[\Delta u]$ οι οποίες εξουδετερώνουν όσο πιο γρήγορα γίνεται τις αποκλίσεις. Η σχηματική διάταξη του συστήματος αυτού φαίνεται παρακάτω [11].



Σχήμα 3.1: Σύστημα ελέγχου τάσης ή/και συχνότητας

Οι μεταβλητές κατάστασης του συστήματος (δηλαδή η συχνότητα και η τάση) ελέγχονται συνεχώς στην έξοδο με μετρήσεις και ανιχνεύονται οι αποκλίσεις τους από την ονομαστική τιμή, οι οποίες οφείλονται στις αλλαγές του συστήματος που είναι οι μεταβολές του φορτίου ΔP και ΔQ . Οι αποκλίσεις αυτές αποτελούν τα σήματα σφάλματος του συστήματος ελέγχου το οποίο αντιδρά αυτόματα δίνοντας εντολές διόρθωσης των τιμών των μεταβλητών.

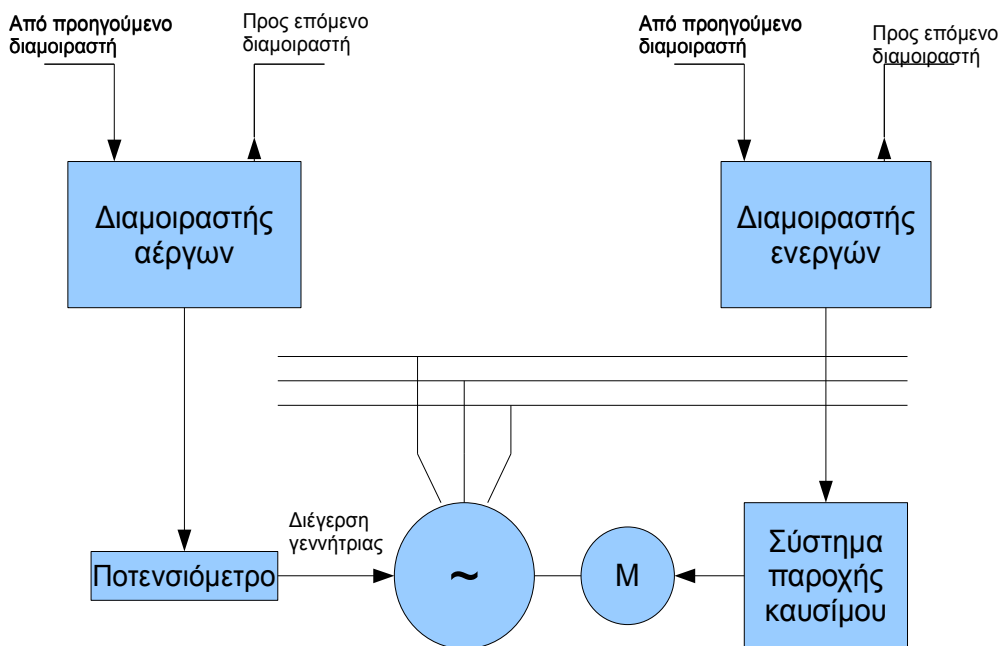
Σκοπός της ρύθμισης φορτίου-συχνότητας είναι ο έλεγχος της συχνότητας και ταυτόχρονα της ανταλλαγής της πραγματικής ισχύος με άλλα συστήματα. Μετρείται το σφάλμα συχνότητας Δf_i και οι διαφορές στη διακινούμενη ισχύ και τα σχήματα αυτά μετασχηματίζονται σε σήμα-εντολή πραγματικής ισχύος ΔP_i στην κινητήρια μηχανή, που αντιστοιχεί σε αύξηση της ροπής, μέσω της αύξησης της παροχής καυσίμου. Το αποτέλεσμα είναι μια μεταβολή ΔP_{Gi} της παραγόμενης πραγματικής ισχύος, η οποία θα διορθώσει την αρχική μεταβλητή κατάσταση f . Σκοπός της ρύθμισης τάσης-αέργου ισχύος, είναι ο έλεγχος του μέτρου της τάσης $|V_i|$. Μετρείται το σφάλμα της τάσης $\Delta |V_i|$ και το σήμα αυτό μετατρέπεται σε εντολή προς το σύστημα διέγερσης. Το αποτέλεσμα είναι η μεταβολή του ρεύματος διέγερσης και συνεπώς της παραγόμενης ΗΕΔ, η οποία τελικά προκαλεί μεταβολή ΔQ_{Gi} της παραγόμενης αέργου ισχύος.

Κατά τη μόνιμη κατάσταση λειτουργίας και για μικρές διαταραχές, η αλληλεπίδραση των συστημάτων ελέγχου $P-f$ και $Q-V$ είναι σχετικά μικρή. Κατά τη διάρκεια όμως

μεγαλύτερων διαταραχών γίνεται σημαντική ζεύξη των δύο συστημάτων για δύο λόγους: πρώτον η διακύμανση της τάσης σε ένα ζυγό επηρεάζει τη συμπεριφορά των φορτίων όσον αφορά την πραγματική ισχύ τους (λόγω $\partial P / \partial |V|$) και δεύτερον η διακύμανση της τάσης σε ένα ζυγό επηρεάζει την ισχύ των γραμμών που αναχωρούν από αυτόν. Συνεπώς μια διαταραχή στο σύστημα $Q-V$ θα επηρεάσει την πραγματική ισχύ στο σύστημα, ενώ μια μεταβολή στο σύστημα $P-f$ δεν θα επηρεάσει παρά μόνο λίγο την άεργο ισχύ και την τάση. Γενικά το σύστημα $Q-V$ είναι ταχύτερο από το σύστημα $P-f$ και επειδή τα μεταβατικά φαινόμενα στο σύστημα τελειώνουν πριν προλάβει να αντιδράσει το σύστημα $P-f$, μπορούμε να αγνοήσουμε την αλληλεπίδραση.

Έτσι στα άκρα της κάθε γεννήτριας πρέπει να υπάρχει ένας ελεγκτής που να μετρά συνεχώς τη συχνότητα εξόδου της γεννήτριας και να μεταβάλλει αναλόγως την παροχή καυσίμου στην κινητήρια μηχανή, που ισοδυναμεί με μεταβολή της κινητήριας ροπής. Συχνότητα χαμηλότερη της ονομαστικής σημαίνει μεγαλύτερη κατανάλωση ενεργού ισχύος από την παραγωγή και συνεπώς απαιτείται αύξηση της παροχής καυσίμου, ώστε να αυξηθεί και η ροπή της κινητήριας μηχανής. Αντίστροφα για συχνότητα μεγαλύτερη της ονομαστικής πρέπει να μειωθεί η ροπή. Ακόμα ένας άλλος ελεγκτής πρέπει να μετρά συνεχώς την τάση στα άκρα της γεννήτριας και αναλόγως να μεταβάλλει την παραγόμενη άεργο ισχύ. Για μια σύγχρονη γεννήτρια αυτό ισοδυναμεί με μεταβολή του ρεύματος διέγερσης. Φυσικά όταν τα ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη λειτουργούν παράλληλα με το δίκτυο, είναι επί της ουσίας συνδεδεμένα με ένα άπειρο ΣΗΕ συνεπώς η τάση και η συχνότητα δεν μπορούν να μεταβληθούν, και οι παραπάνω έλεγχοι αφορούν κυρίως τη λειτουργία σε κατάσταση νησιδοποίησης εξασφαλίζοντας την ευσταθή λειτουργία του μικροδίκτυου. Όταν όμως τα H/Z λειτουργούν για peak-shaving, μέσω των ελεγκτών ενεργού ισχύος επιλέγεται η ισχύς που θα παράγουν και ο τρόπος που θα την διαμοιράζονται μεταξύ τους. Επιπλέον ελεγκτές εξασφαλίζουν το σωστό διαμοιρασμό της ενεργού και της άεργου ισχύος ανάμεσα στα H/Z που είναι σε λειτουργία, συγχρονίζουν το κάθε H/Z με το υπόλοιπο δίκτυο (όσον αφορά την τάση και τη συχνότητά του) ώστε να μπορεί να συνδεθεί.

Παρακάτω φαίνεται ένα παράδειγμα διαμοιρασμού ενεργής και άεργης ισχύος:



Σχήμα 3.2: Σύστημα διαμοιρασμού ενεργής και αέργου ισχύος

3.4 Νησιδοποίηση [12]

Καθώς τα δίκτυα διανομής χρησιμοποιούν ακτινωτή συνδεσμολογία, όταν ανοίγει ένας διακόπτης σε κάποιο σημείο ανάντι της μονάδας ΔΠ, το υπόλοιπο κομμάτι συνεχίζει να τροφοδοτείται από την ΔΠ. Μπορεί το άνοιγμα του διακόπτη να προέρχεται από χειρισμό αλλά συνήθως είναι αποτέλεσμα εκκαθάρισης κάποιου σφάλματος. Ιδανικά το σφάλμα θα έπρεπε να ανιχνευθεί από την προστασία της μονάδας ΔΠ και αυτή να αποσυνδεθεί προτού να προλάβει να δημιουργηθεί ένα νησί. Ακόμα και αν δεν ανιχνευθεί αμέσως, θα έπρεπε να γίνει ανιχνεύσιμο μόλις ανοίξουν τα προστατευτικά μέσα του δικτύου, όμως αυτό μπορεί να μην συμβαίνει πάντα για διάφορους λόγους όπως για παράδειγμα:

- Το σφάλμα είναι φάσης-γης και η σύνδεση της μονάδας ΔΠ δεν παρέχει ένα κύριο ρεύμα γείωσης (primary ground current source)
- Η μονάδα ΔΠ είναι μονοφασική και συνδέεται πάνω σε μια φάση χωρίς σφάλμα.
- Το σφάλμα αυτοαναιρείται μόλις αποσυνδεθεί η κυρίως τροφοδότηση και τα ρεύματα βραχυκύκλωσης μειώνονται όταν τροφοδοτούνται μόνο από τη μονάδα ΔΠ.

Η νησιδοποίηση αποτελεί πρόβλημα και πρέπει να ανιχνεύεται για λόγους ασφάλειας, εμπορικούς

ποιότητας ισχύος και ακεραιότητας του δικτύου. Επιγραμματικά οι κύριοι λόγοι είναι:

- Η ασφάλεια των εργατών που μπορεί να δουλεύουν για την αποκατάσταση των γραμμών μεταφοράς απειλείται από τις μονάδες ΔΠ αφού αυτές μπορεί να τροφοδοτούν το δίκτυο μετά την εκκαθάριση κάποιου σφάλματος.
- Η δημόσια ασφάλεια απειλείται αφού ο διαχειριστής του δικτύου δεν είναι πια σε θέση να σταματάει την παροχή σε γραμμές που μπορεί να βρίσκονται στο έδαφος.
- Η τάση και η συχνότητα που παρέχεται στους καταναλωτές του νησιού δεν είναι υπό τον έλεγχο του διαχειριστή του δικτύου και μπορεί να βγαίνουν εκτός ορίων, όμως ο διαχειριστής παραμένει υπεύθυνος για τις παροχές των καταναλωτών αυτών.
- Τα προστατευτικά μέσα στο νησί είναι πολύ πιθανό να είναι ασυγχρόνιστα και με λάθος ρυθμίσεις λόγω της μεγάλης αλλαγής στα ρεύματα βραχυκύκλωσης.
- Οι διακόπτες επανασύνδεσης μπορεί να συνδέσουν και πάλι το νησί ενώ αυτό είναι ασυγχρόνιστο με το δίκτυο.

Σε εφαρμογές διεσπαρμένης παραγωγής πρέπει να ληφθούν μέτρα κατά της νησιδοποίησης όπως και να διασφαλιστεί πως το μικροδίκτυο θα αντιλαμβάνεται γρήγορα την απώλεια του κυρίως δικτύου. Η αντιμετώπιση της νησιδοποίησης εξαρτάται από τις συνθήκες τη στιγμή που προέκυψε, αν για παράδειγμα τα H/Z βρίσκονταν σε λειτουργία ή όχι, και από το λόγο που οδήγησε στην σελιδοποίηση. Άλλωστε στο σχεδιασμό ενός συστήματος αδιάλειπτης παροχής ο χρήστης προκαλεί τεχνητά μια νησιδοποίηση για να συνεχίσει να λειτουργεί το δίκτυό του, στην περίπτωση μια γενικότερης διακοπής.

Μια απλή λογική που αντιλαμβάνεται την νησιδοποίηση στηρίζεται στο ότι κατά την απώλεια του κυρίως δικτύου (loss-of-mains), θα διαταραχθεί το ισοζύγιο ενεργού και αέργου ισχύος και έτσι οι ηλεκτρονόμοι υπέρτασης/υπότασης καθώς και υπερσυχνότητας/υποσυχνότητας θα βγουν εκτός ορίων και θα απομονώσουν τα H/Z προστατεύοντας τα. Άλλωστε οι μονάδες ΔΠ συνήθως λειτουργούν παρέχοντας σταθερή ισχύ εξόδου και με σταθερό συντελεστή ισχύος. Επίσης υπάρχουν και ορισμένοι πιο εξεζητημένοι τρόποι ανίχνευσης της απώλειας του κυρίως δικτύου που βασίζονται στον ρυθμό μεταβολής της συχνότητας (Rate Of Change Of Frequency – ROCOF) και στην μετατόπιση του διανύσματος της τάσης (vector shift).

Οι μέθοδοι ανίχνευσης της νησιδοποίησης χωρίζονται σε ενεργές και παθητικές.

3.4.1 Παθητικές μέθοδοι [7]

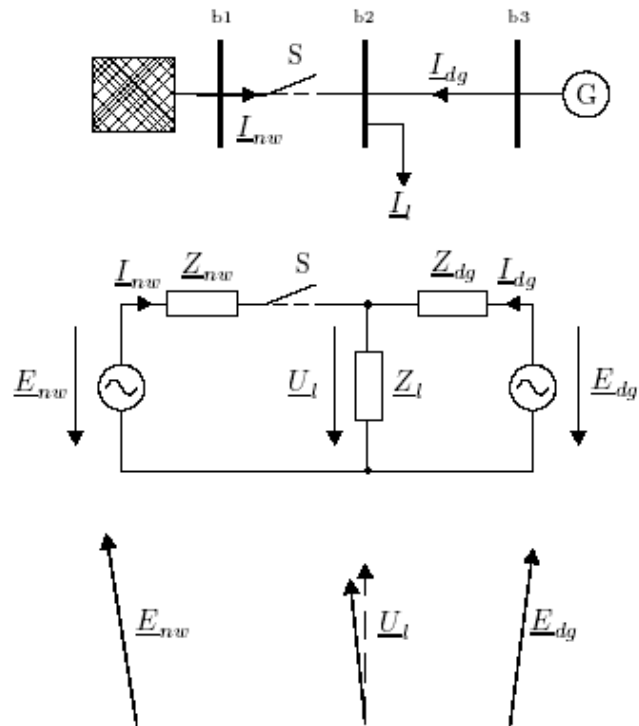
Οι μέθοδοι αυτές ανιχνεύουν την απώλεια του κυρίου δικτύου μετρώντας και ελέγχοντας την κατάσταση του, τις μεταβλητές δηλαδή της τάσης της συχνότητας και της φάσης:

1. Υπό/υπέρ –τάσης (Under-/Overvoltage):

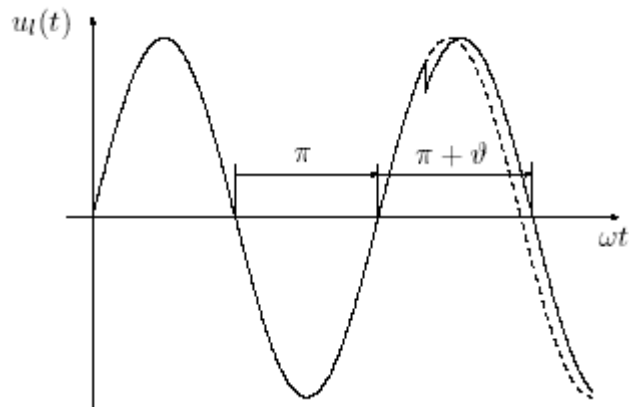
Μια καθαρή ένδειξη της απώλειας του κεντρικού δικτύου είναι η πολύ χαμηλή τάση τροφοδοσίας. Από την άλλη, αν σε ένα δίκτυο υπάρχουν μη ελεγχόμενες γεννήτριες τότε η τάση μπορεί και να αυξηθεί και να ξεπεράσει τα πάνω όρια. Αυτά τα φαινόμενα οφείλονται στην απώλεια ελέγχου της αέργου ισχύος, για την οποία ήταν υπεύθυνο το κυρίως δίκτυο, ή στο ότι οι μονάδες ΔΠ δεν είναι ικανές να παράγουν ή να απορροφούν αρκετή ποσότητα αέργου ισχύος. Για αυτό τα ρελέ υπότασης και υπέρτασης είναι η πιο απλή μέθοδος προστασίας για islanding.

2. Under-/Overfrequency:

Όπως έχει ήδη αναφερθεί στα πραγματικά συστήματα μετά την απομόνωση η συχνότητα μεταβάλλεται. Επομένως αν η συχνότητα βγει εκτός ορίων αυτό υποδεικνύει απομονωμένη λειτουργία (island operation). Φυσικά οι μεταβολές της συχνότητας δεν είναι στιγμιαίες οπότε και η μέθοδος αυτή είναι μάλλον αργή.



Σχήμα 3.3: Μετατόπιση του διανύσματος της τάσης μετά την απομόνωση. Ισοδύναμο κατά Thevenin κυκλώματα του δικτύου με E_{nw} , Z_{nw} και της γεννήτριας με E_{dg} , Z_{dg} αντίστοιχα.



Σχήμα 3.4: Μεγαλύτερη διάρκεια του μισού κύκλου λόγω μετατόπισης του διανύσματος της τάσης κατά $\theta=15^\circ$

3. Μετατόπιση του διανύσματος της τάσης (Voltage Vector Shift-VVS):

Στο σχήμα φαίνεται μια κατάσταση κατά την οποία ένα μέρος της αναγκαίας ισχύος που χρειάζεται το φορτίο παρέχεται από μια γεννήτρια διεσπαρμένης παραγωγής ενώ το υπόλοιπο καλύπτεται από το δίκτυο. Στο σχήμα αυτό παρουσιάζονται τα ισοδύναμα κυκλώματα τόσο του δικτύου όσο και της γεννήτριας και του φορτίου. Όταν ο διακόπτης S

ανοίξει και το δίκτυο αποσυνδεθεί το φορτίο θα πρέπει να τροφοδοτηθεί αποκλειστικά από την γεννήτρια G. Υποθέτοντας ότι το φορτίο είναι σταθερό, η γωνία μεταφοράς δηλ. η διαφορά φάσης μεταξύ της τάσης της γεννήτρια και της τάσης στα άκρα του φορτίου θα αυξηθεί ξαφνικά λόγω της ξαφνικής αύξησης της ροής ισχύος. Στο σχήμα 3.3 η διακεκομμένη γραμμή της τάσης αντιπροσωπεύει την παράλληλη λειτουργία ενώ η συμπαγής γραμμή την απομονωμένη. Στο σχήμα 3.4 φαίνονται τα παραπάνω συναρτήσεων του χρόνου. Λόγω του απότομου άλματος που κάνει το διάνυσμα το μήκος της περιόδου αυξάνεται. Τα ρελέ ελέγχου του διανύσματος της τάσης ελέγχουν την περίοδο κάθε μισό κύκλο και προκαλούν trip στην περίπτωση που υπερβεί κάποια όρια. Συνήθως αυτά είναι γωνία $\theta_{pickup} = 6...12^\circ$.

4. Ρυθμός μεταβολής της τάσης:

Συνήθως οι μεταβολές τις τάσεις στα μεγάλα διασυνδεδεμένα ηλεκτρικά συστήματα είναι αργές. Εάν ένα κομμάτι του δικτύου που διαθέτει και διεσπαρμένη παραγωγή, αποσυνδεθεί τότε ο ρυθμός μεταβολής της τάσης θα είναι πολύ μεγαλύτερος από αυτόν της κανονικής λειτουργίας. Έτσι χρησιμοποιούμε την μέθοδο αυτή για την ανίχνευση της απομονωμένης λειτουργίας. Ένα βασικό μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι το γεγονός ότι επηρεάζεται από διαταραχές διαφορετικές της απώλειας του κυρίου δικτύου.

5. Ρυθμός μεταβολής της συχνότητας:

Όπως ήδη έχει αναφερθεί παραπάνω η συχνότητα σε ένα απομονωμένο δίκτυο μεταβάλλεται γρήγορα λόγω της μη ύπαρξης ισορροπίας της ενεργού ισχύος (εξίσωση 4.7). Όποτε λοιπόν ο λόγος df/dt ξεπερνάει κάποια όρια το αντίστοιχο ρελέ τριπάρει. Τυπικές τιμές για το μέγεθος αυτό είναι από $0,1$ έως $1,0 \text{ Hz/s}$ και ο χρόνος λειτουργίας είναι από $0,2$ έως $0,5 \text{ s}$. Βασικό μειονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι ότι ανταποκρίνεται και σε άλλες διαταραχές του δικτύου.

6. Ρυθμός μεταβολής της ισχύος και του συντελεστή ισχύος:

Η στιγμιαία ισχύς που μετρείται από το ρεύμα και την τάση της γεννήτριας και μετά ο ρυθμός μεταβολής της χρησιμοποιείται σαν συνάρτηση που οριακά μπορεί να προβλέψει σφάλματα και προβλήματα στο σύστημα. Αποδεικνύεται ότι οι αντίστοιχοι αλγόριθμοι

απαιτούν τουλάχιστον 6 κύκλους (120ms) για να ανιχνεύσουν την απώλεια του κυρίου δικτύου.

3.4.2 Ενεργές μέθοδοι

Στις μεθόδους αυτές το σύστημα ανίχνευσης αλληλεπιδρά με το ηλεκτρικό σύστημα προκειμένου να ανιχνεύσει την απομονωμένη λειτουργία (island operation).

1. Σφάλμα στην εξαγωγή άεργου ισχύος (reactive error export):

Στην μέθοδο αυτή η γεννήτρια ελέγχεται ώστε να παράγει μια συγκεκριμένη τιμή άεργου ισχύος. Όταν όμως απομονωθεί υποτίθεται ότι δεν μπορεί να παραδώσει τη συγκεκριμένη ποσότητα άεργου ισχύος στο δίκτυο. Το σφάλμα αυτό το χρησιμοποιούμε για την ανίχνευση της απώλειας του κύριου δικτύου.

2. Έλεγχος της στάθμης βραχυκύκλωσης:

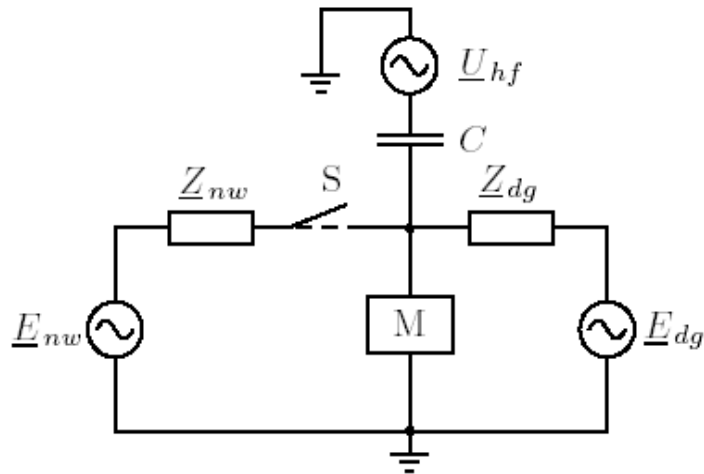
Η στάθμη βραχυκύκλωσης σε ένα συγκεκριμένο σημείο του δικτύου μπορεί να υπολογιστεί με την βοήθεια ενός thyristor. Το thyristor σκανδαλίζεται κοντά στο σημείο που η τάση μηδενίζεται και το ρεύμα που διέρχεται μέσα από ένα παράλληλο πηνίο μετριέται. Η σύνθετη αντίσταση του συστήματος και η στάθμη βραχυκύκλωσης μπορεί να υπολογιστεί ταχύτατα και να αποτελέσει την ένδειξη της απώλειας του κυρίου δικτύου.

3. Έλεγχος της σύνθετης αντίστασης του συστήματος:

Στο σχήμα φαίνεται η βασική ιδέα της μεθόδου αυτής. Μια πηγή υψηλών συχνοτήτων (μερικά volts σε συχνότητα μερικών kHz) συνδέεται στο σημείο διασύνδεσης μέσω ενός πυκνωτή. Πως είναι φανερό ο πυκνωτής είναι σε σειρά με την σύνθετη αντίσταση του συστήματος. Όταν το σύστημα λειτουργεί κανονικά συγχρονισμένο η σύνθετη αντίσταση

$Z_{dg} \parallel Z_{mv}$ είναι χαμηλή, και γι' αυτό η ταλάντωση στο σημείο διασύνδεσης αμελητέα.

Μετά την απομόνωση όμως η σύνθετη αντίσταση μεγαλώνει δραματικά σε Z_{dg} και το υψηλής συχνότητας σήμα είναι πλέον ανιχνεύσιμο.



Σχήμα 3.5: Ανίχνευση Νησιδοποίησης με έλεγχο της σύνθετης αντίστασης του δικτύου

4. Παλμική διαταραχή της τάσης:

Στην περίπτωση που η γεννήτρια διεσπαρμένης παραγωγής διασυνδέεται στο σύστημα μέσω αντιστροφέα, (inverter), μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την βασική ιδέα της παραπάνω μεθόδου ελέγχου της σύνθετης αντίστασης. Αυτό στην συγκεκριμένη περίπτωση γίνεται με την εισαγωγή μια παλμικής διαταραχής στην τάση εξόδου του αντιστροφέα. Αυτή η διαταραχή μπορεί να μετρηθεί στο σημείο διασύνδεσης αν η σύνθετη αντίσταση που φαίνεται είναι μεγάλη λόγω της απώλειας του κυρίου δικτύου.

5. Μετατόπιση συχνότητας (frequency shift):

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται σε γεννήτριες διεσπαρμένης παραγωγής που διασυνδέονται στο σύστημα μέσω ενός αντιστροφέα (inverter). Το ρεύμα εξόδου του inverter καθορίζεται σε μια τιμή λίγο διαφορετική από την ονομαστική συχνότητα του δικτύου. Κάτω από κανονικές συνθήκες λειτουργίας η συχνότητα καθορίζεται από αυτή του δικτύου. Όμως αν έχουμε απώλεια του δικτύου τότε η συχνότητα μετακινείται προς την τιμή της συχνότητας του αντιστροφέα επιτρέποντας έτσι την ανίχνευση της απώλειας.

3.5 Εκκίνηση μονάδων ΔΠ κατά την απώλεια του κυρίως δικτύου

Προκειμένου μια εγκατάσταση ΔΠ να μπορέσει να αυξήσει την αξιοπιστία ενός μικροδίκτυου, είναι απαραίτητο να μπορούν οι μονάδες παραγωγής να ξεκινάνε και μετά την απώλεια του κυρίως δικτύου (black start – BS) [13]. Μέχρι τώρα η δυνατότητα αυτή υπήρχε μόνο στους κεντρικούς

σταθμούς παραγωγής, αλλά παρακάτω υπάρχει η ακολουθία χειρισμών προκειμένου να επιτευχθεί η εκκίνηση των μονάδων ΔΠ και να αποκατασταθεί η λειτουργία ενός δικτύου

1. Αποσύνδεση όλων των φορτίων για να αποφευχθούν μεγάλες αποκλίσεις τάσης και συχνότητας κατά την επανατροφοδότηση του δικτύου ΧΤ. Το ΜΔ πρέπει να χωριστεί σε τομείς γύρω από κάθε μονάδα ΔΠ που έχει δυνατότητα να εκκινηθεί μόνη της από το μηδέν (black start capability) προκειμένου να της επιτραπεί να τροφοδοτήσει τα δικά της φορτία. Με τον τρόπο αυτό έχουν δημιουργηθεί πολλά μικρά νησιά μέσα στην έκταση του μικροδίκτυου που θα συγχρονιστούν μεταξύ τους αργότερα.
2. Δημιουργία του δικτύου. Οι αποθηκευτικές μονάδες παίρνουν εντολή από τη συσκευή διαχείρισης του δικτύου (π.χ. SCADA) να ενεργοποιήσουν τα καλώδια χαμηλής τάσης και τον μετασχηματιστή διανομής. Προκειμένου να ακολουθηθούν οι κανόνες ασφαλείας που αφορούν στη γείωση του δικτύου ΜΤ, είναι απαραίτητο να τεθεί σε λειτουργία ο μετασχηματιστής διανομής το συντομότερο δυνατό, αφού η γείωση πραγματοποιείται στον ουδέτερο του μετασχηματιστή και είναι σε λειτουργία αφού αυτός μπει και πάλι σε λειτουργία.
3. Συγχρονισμός των μικρών νησιών. Η μονάδες ΔΠ που είναι ήδη σε αυτόνομη λειτουργία πρέπει να συγχρονιστούν με το δίκτυο ΜΤ. Οι συνθήκες συγχρονισμού (αλληλουχία φάσεων, διαφορά τάσης και συχνότητας) πρέπει να επιβεβαιωθούν από τοπικά μέσα διαχείρισης δικτύου. Σε αντίθετη περίπτωση, τα μεταβατικά φαινόμενα που θα προκύψουν, θα προκαλέσουν πολύ μεγάλα ρεύματα.
4. Σύνδεση ελεγχόμενων φορτίων στο δίκτυο. Πραγματοποιείται μόνο αν οι μονάδες ΔΠ δεν λειτουργούν σε πλήρες φορτίο. Πρέπει να δοθεί εξαιρετική προσοχή, γιατί η σύνδεση φορτίων μπορεί να επηρεάσει πολύ τις τιμές της τάσης και της συχνότητας. Σημαντική είναι για αυτό το λόγο η συνεισφορά των αποθηκευτικών μέσων.
5. Σύνδεση μη ελεγχόμενων μονάδων ΔΠ και μονάδων ΔΠ χωρίς black start capability, όπως για παράδειγμα φωτοβολταϊκά και ανεμογεννήτριες. Σε αυτό το σημείο το σύστημα έχει αρκετές πηγές και φορτία ώστε να ομαλοποιήσουν τις μεταβολές τάσης και συχνότητας στις μη ελεγχόμενες μονάδες παραγωγής, και για αυτό το λόγο μπορούν πλέον να συνδεθούν. Επίσης οι μονάδες χωρίς ικανότητα αυτόνομης εκκίνησης μπορούν να πάρουν εντολή πλέον να ξεκινήσουν
6. Αύξηση του φορτίου. Πλέον μπορούν να συνδεθούν όσα φορτία μπορεί να υποστηρίξει η εγκατεστημένη ΔΠ.

7. Συγχρονισμός του μικροδίκτυου με το κυρίως δίκτυο ΜΤ, όταν αυτό είναι ξανά διαθέσιμο. Οι συνθήκες του συγχρονισμού που αναφέρθηκαν και παραπάνω, πρέπει και πάλι να επαληθευτούν. Πριν την απώλεια του κυρίως δικτύου υπάρχουν 2 πιθανές περιπτώσεις, είτε το μικροδίκτυο να εισάγει είτε να εξάγει ισχύ στο δίκτυο μέσης τάσης. Αν το μικροδίκτυο εισήγαγε ισχύ τότε δεν θα καταστεί δυνατό να εξυπηρετηθούν όλα τα φορτία του μετά την νησιδοποίηση του. Στην περίπτωση αυτή, μετά την επανασύνδεση με το δίκτυο ΜΤ, τα φορτία αυτά θα μπορέσουν να εξυπηρετηθούν.

4 Το Δίκτυο μέσης τάσης του ΟΑΚΑ

Το ΟΑΚΑ εξυπηρετείται από ένα σύνθετο δίκτυο ΜΤ που φαίνεται στο σχήμα (να μπει σχήμα!). Το σύνολο των ηλεκτρολογικών εγκαταστάσεων του ΟΑΚΑ επανασχεδιάστηκε πριν τους Ολυμπιακούς αγώνες της Αθήνας για να επαρκέσει για την κάλυψη των πολύ μεγάλων αναγκών που προέκυψαν. Το δίκτυο τροφοδοτείται από 3 διαφορετικούς υποσταθμούς ΥΤ της ΔΕΗ, που συνδέονται σε 3 κέντρα διανομής. Η κάθε μία από τις γραμμές διανομής συνδέεται σε 2 κέντρα διανομής, ένα σε κάθε άκρο της, έτσι όλες μαζί σχηματίζουν ένα νοητό τρίγωνο. Σε συνθήκες κανονικής λειτουργίας, ο κάθε βρόχος τροφοδοτείται από το ένα άκρο του, ώστε τηρείται συνδεσμολογία ανοιχτού βρόχου. Ανοιχτοί παραμένουν επίσης οι διακόπτες τομής των ζυγών των παροχών.

4.1 Το σύστημα προστασίας και η διαχείριση του δικτύου [14]

Τα μέσα προστασίας που υπάρχουν στους ΥΣ ΜΤ είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους με σύστημα οπτικών ινών, και αυτό συνδέεται με ένα κεντρικό σύστημα SCADA. Έτσι αφενός βελτιώνεται η συνολική εποπτεία του διαχειριστή και αφετέρου διευκολύνονται αυτοματοποιημένες διαδικασίες.

Κατά τον σχεδιασμό του συστήματος προστασίας έχει γίνει προσπάθεια να βελτιστοποιείται η αξιοπιστία του συστήματος. Απαιτήση λοιπόν είναι η αντιμετώπιση οποιουδήποτε απλού γεγονότος βλάβης χωρίς την διακοπή ηλεκτροδότησης έστω και μέρους του φορτίου. Με τα κριτήρια αυτά λοιπόν προκύπτει η παρακάτω πολιτική αντιμετώπισης όλων των δυνατών απλών σφαλμάτων του εσωτερικού αλλά και του τροφοδοτικού δικτύου.

- Σφάλματα κατά μήκος των εσωτερικών βρόχων: Απομόνωση του σφάλματος με άνοιγμα των διακοπών εκατέρωθεν αυτού και τροφοδότηση του βρόχου από τα δύο άκρα (κλείσιμο του ανοιχτού διακόπτη της μιας αναχώρησης).
- Σφάλματα εσωτερικών ζυγών παροχής ΜΤ: Άνοιγμα των διακοπών όλων των αναχωρήσεων και τροφοδότηση των φορτίων από το άλλο άκρο των βρόχων (κλείσιμο των αντίστοιχων διακοπών).

- Σφάλματα εξωτερικών ζυγών παροχής ΜΤ ή διασύνδεσης εξωτερικών-εσωτερικών ζυγών και σφάλματα τροφοδοτικού δικτύου: Κλείσιμο του διακόπτη τομής των εσωτερικών ζυγών και τροφοδότηση των ζυγών των δύο πλευρών εσωτερικών ζυγών από την ίδια πλευρά εξωτερικών ζυγών.
- Πλήρης απώλεια παροχής ΜΤ: Όπως για σφάλματα εσωτερικών ζυγών (ισοδυναμεί με ταυτόχρονο σφάλμα στις δύο πλευρές των εσωτερικών ζυγών).

Η διαχείριση του δικτύου του ΟΑΚΑ δηλαδή ο έλεγχος και η μεταβολή της τοπολογίας του ώστε να αντιμετωπιστούν τα διάφορα συμβάντα πραγματοποιείται σε τρία επίπεδα:

- Τοπικοί αυτοματισμοί: Περιλαμβάνουν το σύστημα προστασίας των εσωτερικών βρόχων ΜΤ και τους αυτοματισμούς που θα υλοποιηθούν στις παροχές ΜΤ, αλλά και στους πίνακες ΧΤ και τα συστήματα προστασίας των ΗΖ ώστε στις διάφορες περιπτώσεις σφαλμάτων να εκτελούνται οι ενέργειες που περιγράφηκαν παραπάνω.
- Σύστημα SCADA: Αποτελεί το κύριο μέσο ελέγχου του δικτύου το οποίο επιτηρεί συνεχώς την κατάσταση λειτουργίας του, ελέγχει την ορθή λειτουργία των αυτοματισμών χαμηλού επιπέδου και πραγματοποιεί πιο σύνθετες ακολουθίες χειρισμών, μέσω αλγορίθμων υψηλότερου επιπέδου.
- Εντολές χειριστών: Περιλαμβάνουν εντολές εξ αποστάσεως, μέσω του SCADA, αλλά και χειρισμούς επιτόπου των ΥΣ και παροχών.

Τυπικοί χρόνοι υλοποίησης των εντολών του κάθε επιπέδου είναι περί το 1 sec για το πρώτο επίπεδο, έως 10 sec για τις εντολές του SCADA και της τάξης μεγέθους των λεπτών ή δεκάδων λεπτών της ώρας για τους χειροκίνητους χειρισμούς. Η σειρά προτεραιότητας είναι η αντίθετη με τους χειρισμούς κάθε επόμενου επιπέδου να υπερισχύουν του προηγούμενου. Για τους λόγους αυτούς το τοπικό σύστημα προστασίας λειτουργεί ανεξάρτητα από το SCADA ώστε αφενός να είναι απλούστερο και πιο αξιόπιστο και αφετέρου να έχει ταχύτερο χρόνο απόκρισης.

4.2 Το σύστημα SCADA

Μέσω του συστήματος SCADA του ΟΑΚΑ επιτηρείται σε πραγματικό χρόνο η λειτουργική κατάσταση όλου του εσωτερικού δικτύου και υλοποιούνται οι απαραίτητες ενέργειες αναδιάρταξης, κατά προτίμηση χωρίς την παρέμβαση των χειριστών για επίτευξη καλύτερων χρόνων

αποκατάστασης. Ορισμένοι από τους αλγόριθμους που διαθέτει περιγράφονται παρακάτω, αν και οι δυνατότητες του SCADA δεν περιορίζονται σε αυτούς:

- Έλεγχος φόρτισης των εσωτερικών βρόχων

Εάν το φορτίο κάποιας εσωτερικής γραμμής υπερβεί το όριο φόρτισής της απαιτείται μεταφορά της λειτουργικής τομής από το άκρο σε ενδιάμεσο σημείο της. Το SCADA πρέπει να ελέγχει την κατάσταση του άλλου άκρου κάθε βρόχου (ύπαρξη τάσης, απουσία σφάλματος, φόρτιση εξωτερικών τροφοδοτικών γραμμών) και να προτείνει την απαιτούμενη ενέργεια μεταφοράς φορτίου. Επειδή οι θερμικές σταθερές χρόνου των καλωδίων είναι μεγάλες, υπάρχει επαρκής χρόνος ώστε η απόφαση να λαμβάνεται από τους χειριστές. Αντίστοιχοι έλεγχοι μπορούν να γίνονται και για τη φόρτιση των εξωτερικών τροφοδοτικών γραμμών της ΔΕΗ.

- Αντιμετώπιση γεγονότων σφαλμάτων/βλαβών

Απαιτούνται αλγόριθμοι εντοπισμού σφάλματος βρόχων (σε περίπτωση αστοχίας της προστασίας βρόχων ή μη πρόκρισης του συστήματος αυτού) και υλοποίησης των τηλεχειρισμών που απαιτούνται για την απομόνωση του σφάλματος και την επανατροφοδότηση του βρόχου. Ομοίως και για τα λοιπά ενδεχόμενα σφαλμάτων, ασχέτως των τοπικών αυτοματισμών, το SCADA διαθέτει αλγορίθμους ώστε να επιτυγχάνεται η σωστή εκκαθάρισή τους, με βάση την πολιτική διαχείρισης των σφαλμάτων στο δίκτυο. Τέλος το SCADA παρέχει την δυνατότητα αντιμετώπισης πολλαπλών γεγονότων βλάβης, διασφαλίζοντας την τροφοδότηση από της εναπομείνουσες εξωτερικές πηγές αλλά και τα τοπικά μέσα εφεδρικής και αδιάλειπτης παροχής (ηλεκτροπαραγωγή ζεύγη).

- Συντονισμός των εναλλακτικών μέσων τροφοδότησης

Η εξασφάλιση της συνέχειας της τροφοδότησης θα πραγματοποιείται κατ' αρχήν σε τοπικό επίπεδο, μέσω των προστασιών τάσης των διακοπών μεταγωγής και ενδεχομένως από αντίστοιχους αυτοματισμούς μεταγωγής στις παροχές ΜΤ. Λόγω του μεγέθους του δικτύου και του πλήθους των εναλλακτικών πηγών είναι επιθυμητή η κεντρική εποπτεία και ο συντονισμός των διαδικασιών αυτών. Για το σκοπό αυτό το SCADA περιλαμβάνει όλες εκείνες τις βασικές πληροφορίες και παρέχει τη δυνατότητα ελέγχου του δικτύου ΧΤ, όσων αφορά τους γενικούς διακόπτες στους πίνακες ΧΤ, τη λειτουργία των ΗΖ και τους διακόπτες μεταγωγής τους. Τέλος είναι αναγκαίο να ελέγχονται και ορισμένες κρίσιμες αναχωρήσεις από τους γενικούς πίνακες ΧΤ ώστε να μπορεί να πραγματοποιηθεί απόρριψη φορτίου σε έκτακτες καταστάσεις που αυτό κρίνεται αναγκαίο. Η απόφαση για τη λειτουργία των

τοπικών μέσων παραγωγής λαμβάνεται κυριότερα με γνώμονα την αύξηση της αξιοπιστίας του συστήματος αλλά μπορεί να λαμβάνονται υπόψιν και οικονομικές συνθήκες ή άλλου είδους κίνητρα.

4.3 Στοιχεία κατανάλωσης

Το ΟΑΚΑ είναι καταναλωτής ΜΤ και τιμολογείται βάσει του τιμολογίου Β1. Η χρέωση για το τιμολόγιο αυτό γίνεται βάσει της μέγιστης ισχύος (ΚΜΖ), της ισχύος αιχμής (ΜΑ) της καταναλωθείσας ενέργειας και του συντελεστή ισχύος όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα.

Τιμολόγιο Β1		
Ισχύς	Χρεωστέα Ζήτηση (ΧΖ)	12,0640 €/kW
Ενέργεια	οι πρώτες 400 kWh/kW (ΚΜΖ)	0,07185 €/kWh
	οι υπόλοιπες kWh	0,04760 €/kWh
Ελάχιστη χρέωση	ΧΖ ≤ 5 kW	276,38 €
	ΧΖ > 5 kW	2,7575*(ΧΖ-5)+276,38 €

Πίνακας 4.1: Χρεώσεις ΔΕΗ στο τιμολόγιο Β1

Η χρεωστέα ζήτηση προκύπτει βάσει των παρακάτω

$$XZ = KMZ * \{1 + [(0,87/\text{συνφ}) - 1] * 1,25\}, \text{ αν συνφ} < 0,95,$$

$$XZ = KMZ * (0,85/\text{συνφ}), \text{ αν συνφ} \geq 0,95$$

Δηλαδή επιβραβεύει τους καταναλωτές που παρουσιάζουν υψηλό συντελεστή ισχύος ενώ χρεώνει περισσότερη ισχύ στους υπόλοιπους. Επίσης η ΔΕΗ κάνει έκπτωση εάν η ισχύς αιχμής δεν συγχρονίζεται με τις ώρες αιχμής του δικτύου. Συγκεκριμένα, αν ο συντελεστής χρησιμοποίησης είναι μεγαλύτερος από 30%, γίνεται μείωση της χρέωσης ισχύος ίση με

$$[50 - 50 * (MA/KMZ)] \%$$

όπου ΚΜΖ η Καταγραφείσα Μέγιστη Ζήτηση ισχύος και ΜΑ η μέγιστη ζήτηση ισχύος κατά τις ώρες αιχμής .

Το κάθε κέντρο διανομής εξυπηρετεί συγκεκριμένα φορτία. Το D1 τροφοδοτεί τις εγκαταστάσεις του κεντρικού σταδίου, το D2 εξυπηρετεί το τένις και τον φωτισμό του περιβάλλοντα χώρου το ολυμπιακού συγκροτήματος, ενώ το D3 εξυπηρετεί το κλειστό γυμναστήριο και το κολυμβητήριο.

Οι καμπύλες φορτίου του κάθε κέντρου διανομής λόγω της χρήσης της παρουσιάζουν αιχμές ζήτησης και σχετικά χαμηλό συντελεστή χρησιμοποίησης, με αποτέλεσμα πολύ μεγάλο ποσοστό του κόστους ηλεκτρισμού να δαπανάται σε χρέωση ισχύος.

Στους πίνακες που προκύπτουν από τις μετρήσεις από τους λογαριασμούς της ΔΕΗ φαίνονται στοιχεία για την κατανάλωση και την αντίστοιχη χρέωση του κάθε υποσταθμού για την χρονική περίοδο Οκτώβριος 2008 – Οκτώβριος 2009. Για τις ανάγκες επίσης της εργασίας ανακτήθηκαν από τη ΔΕΗ οι αναλυτικές καμπύλες φορτίου.

	Ιανουαρ.	Φεβρ.	Μάρτιος	Απρίλιος	Μάιος	Ιούνιος	Ιούλιος	Αύγουστ.	Σεπτεμβ.	Οκτ. & Νοέμ.	Δεκέμβ.
Ενέργεια kWh	336000	192000	192000	240000	3360	144000	672000	576000	768000	1584000	1392000
Μέγ. Ζήτηση kW	1488	1104	1344	2736	96	3312	2208	1824	2208	3600	3744
Ζήτ. Αιχμής kWh	1152	672	816	1680	96	2208	2160	1392	2160	3120	3360
cosφ	0,99	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
ΣΧΡΣ	0,29	0,25	0,21	0,12	0,05	0,06	0,42	0,44	0,48	0,29	0,53
Αξία Ισχύος €	15223,21	10132,89	11910,33	26843,81	911,5	30482,5	22641,72	18768,86	22685,89	78898,29	37200,88
Έκπτ. Ισχύος €	0	0	0	0	0	0	246,11	2222,63	246,59	0	1907,74
Σύν. Ισχύος €	15223,21	10132,89	11910,33	26843,81	911,5	30482,5	22395,61	16546,23	22439,31	78898,29	35293,14
Ενέργειας €	22354,08	12773,76	12773,76	15967,2	223,54	9606,24	48283,2	41385,6	55180,8	109810,08	100015,2
Σύνολο €	37577,29	22906,65	24684,09	42811,01	1135,05	40088,74	70678,81	57931,83	77620,11	188708,37	135308,34
Ποσ. χρ. Ισχύος	0,41	0,44	0,48	0,63	0,8	0,76	0,32	0,29	0,29	0,42	0,26

Πίνακας 4.2: Κατανάλωση D1 2008

	Ιανουαρ.	Φεβρ.	Μάρτιος	Απρίλιος	Μάιος	Ιούνιος	Ιούλιος	Αύγουστ.	Σεπτεμβ.	Οκτώβ.
Ενέργεια kWh	1536000	1104000	1440000	1296000	480000	768000	432000	480000	528000	480000
Μέγ. Ζήτηση kW	3600	3984	3792	3360	3264	2160	1632	1680	2448	1872
Ζήτ. Αιχμής kWh	3216	3456	3360	3360	3264	2112	1296	864	1680	1488
cosφ	1	1	1	0,99	0,98	1	1	1	1	1
ΣΧΡΣ	0,56	0,43	0,53	0,5	0,23	0,49	0,37	0,4	0,3	0,36
Αξία Ισχύος €	39453,73	36906,92	39078,62	37152,89	30719,88	22192,72	16735,18	17227,39	25102,77	19196,24
Έκπτ. Ισχύος €	2104,2	2445,64	2226	0	0	246,59	1722,74	4183,8	0	1968,84
Σύν. Ισχύος €	37349,53	34461,29	36852,63	37152,89	30719,88	21946,14	15012,44	13043,6	25102,77	17227,39
Ενέργειας €	108033,6	79322,4	103464	93117,6	34488	55180,8	31039,2	34488	37936,8	34488
Σύνολο €	145383,13	113783,69	140316,63	130270,49	65207,88	77126,94	46051,64	47531,6	63039,57	51715,39
Ποσ. χρ. Ισχύος	0,26	0,3	0,26	0,29	0,47	0,28	0,33	0,27	0,4	0,33

Πίνακας 4.3: Κατανάλωση D1 2009

	Ιαν. & Φεβ.	Μαρ. & Απρ.	Μάιος	Ιούνιος	Ιούλιος	Αύγουστος	Σεπτέμβ.	Οκτώβρ.	Νοέμβ.	Δεκ & Ιαν 09
Ενέργεια kWh	720000	768000	2352000	1776000	768000	720000	864000	816000	1056000	2400000
Μέγ. Ζήτηση kW	2112	2112	3600	3024	2112	1992	2496	2304	2496	3264
Ζήτ. Αιχμής kWh	2112	2112	3264	2808	1776	1632	2064	2064	2256	3264
cosφ	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
ΣΧΡΣ	0,24	0,25	0,97	0,84	0,47	0,54	0,48	0,46	0,57	0,51
Αξία Ισχύος €	40106,2	40774,64	31909,31	27831,85	23146,19	19064,98	25594,98	25201,21	26448,15	66994,25
Έκπτ. Ισχύος €	0	0	1489,1	993,99	1841,17	1722,74	2214,95	1312,56	1271,55	0
Σύν. Ισχύος €	40106,2	40774,64	30420,2	26837,85	21305,01	17342,24	23380,03	23888,65	25176,6	66994,25
Ενέργειας €	47901,6	51095,04	135995,04	105721,63	55180,8	51732	62078,4	58629,6	74476,8	145900,8
Σύνολο €	88007,8	91869,68	166415,24	132559,48	76485,81	69074,24	85458,43	82518,25	99653,4	212895,05
Ποσ. χρ. Ισχύος	0,46	0,44	0,18	0,2	0,28	0,25	0,27	0,29	0,25	0,31

Πίνακας 4.4: Κατανάλωση D2 2008

	Φεβρ.	Μάρτιος	Απρίλιος	Μάιος	Ιούνιος	Ιούλιος	Αύγουστ.	Σεπτεμβ.	Οκτώβρ.
Ενέργεια kWh	1632000	1440000	1392000	1008000	240000	528000	528000	480000	384000
Μέγ. Ζήτηση kW	4032	4080	4128	5088	1440	1824	1728	1728	1776
Ζήτ. Αιχμής kWh	3504	3168	3744	4128	1200	1776	1344	1296	1488
cosφ	1	1	1	1	1	1,00	1	1	0,99
ΣΧΡΣ	0,60	0,49	0,44	0,31	0,23	0,40	0,42	0,39	0,30
Αξία Ισχύος €	38589,36	41837,95	45152,17	46956,95	14766,34	18781,16	17719,60	17719,60	18353,54
Έκπτ. Ισχύος €	2526,68	4676,01	2100,10	4429,90	0	247,12	1968,84	2214,95	1488,13
Σύν. Ισχύος €	36062,67	37161,95	43052,07	42527,05	14766,34	18534,04	15750,76	15504,65	16865,42
Ενέργειας €	116793,6	103464	100015,2	72424,8	17244	37936,8	37936,8	34488	27590,4
Σύνολο €	152856,27	140625,95	143067,27	114951,85	32010,34	56470,84	53687,56	49992,65	44455,82
Ποσ. χρ. Ισχύος	0,24	0,26	0,30	0,37	0,46	0,33	0,29	0,31	0,38

Πίνακας 4.5: Κατανάλωση D2 2009

	Ιανουαρ.	Φεβρ.	Μάρτιος	Απρίλιος	Μάιος	Ιούνιος	Ιούλιος	Αύγουστ.	Σεπτεμβ.	Οκτώβ.	Νοέμ. & Δεκ.
Ενέργεια kWh	816000	768000	768000	576000	672000	1008000	1392000	576000	576000	576000	1440000
Μέγ. Ζήτηση kW	1200	2496	1968	2208	3216	4368	4128	2208	2064	1728	1968
Ζήτ. Αιχμής kWh	1104	2208	1776	2112	2256	4224	3888	2160	2016	1056	1488
cosφ	0,88	0,89	0,92	0,92	0,92	0,85	0,85	0,86	0,89	0,89	0,89
ΣΧΡΣ	0,91	0,43	0,58	0,33	0,31	0,33	0,44	0,39	0,39	0,43	0,53
Αξία Ισχύος €	13581,18	26929,50	19225,65	25180,65	31288,15	48668,13	54711,35	25085,31	24050,06	21477,26	44334,13
Έκπτ. Ισχύος €	543,25	1553,63	937,84	547,41	4669,87	802,22	1590,45	272,67	279,65	4176,13	5406,60
Σύν. Ισχύος €	13037,93	25375,88	18287,81	24633,25	26618,28	47865,91	53120,90	24812,65	23770,40	17301,13	38927,53
Ενέργειας €	46741,92	51095,04	51095,04	38321,28	44708,16	67243,68	100015,2	41385,6	41385,6	41385,6	85329,22
Σύνολο €	59779,85	76470,92	69382,85	62954,53	71326,44	115109,59	153136,10	66198,25	65156,00	58686,73	124256,75
Ποσ. χρ. Ισχύος	0,22	0,33	0,26	0,39	0,37	0,42	0,35	0,37	0,36	0,29	0,31

Πίνακας 4.6: Κατανάλωση D3 2008

	Ιανουαρ.	Φεβρ.	Μάρτιος	Απρίλιος	Μάιος	Ιούνιος	Ιούλιος	Αύγουστ.	Σεπτεμβ.	Οκτώβ.
Ενέργεια kWh	816000	768000	864000	624000	624000	864000	1248000	1200000	720000	768000
Μέγ. Ζήτηση kW	2304	2256	2208	1872	2688	2640	2640	3120	2496	2544
Ζήτ. Αιχμής kWh	2304	2256	2112	1872	2488	2640	2496	2928	2496	1680
cosφ	0,88	0,87	0,87	0,91	0,91	0,89	0,88	0,89	0,89	0,94
ΣΧΡΣ	0,49	0,47	0,54	0,46	0,32	0,45	0,66	0,53	0,40	0,42
Αξία Ισχύος €	27253,41	27154,89	26478,96	21403,60	30733,37	30761,70	31375,50	36726,66	26989,93	27973,16
Έκπτ. Ισχύος €	0	0	575,63	0	1143,35	0	855,70	1130,05	0	4750,16
Σύν. Ισχύος €	27253,41	27154,89	25903,33	21403,60	29590,01	30761,70	30519,81	35596,61	26989,93	23223,00
Ενέργειας €	58629,6	55180,8	62078,4	44834,4	44834,4	62078,4	85012,8	86220	51732	55180,8
Σύνολο €	85883,01	82335,69	87981,73	66238,00	74424,41	92840,10	115532,61	121816,61	78721,93	78403,80
Ποσ. χρ. Ισχύος	0,32	0,33	0,29	0,32	0,40	0,33	0,26	0,29	0,34	0,30

Πίνακας 4.7: Κατανάλωση D3 2009

Πρέπει καταρχήν να γίνουν ορισμένες παρατηρήσεις που αφορούν στον τρόπο που η ΔΕΗ παίρνει τις μετρήσεις και υπολογίζει τις χρεώσεις. Πρώτον οι μετρήσεις για την ενεργό και άεργο κατανάλωση (που παραλείπεται από τους παραπάνω πίνακες για λόγους χώρου) γίνονται ανά 48000 kWh. Αυτό σημαίνει ότι αναμένεται απόκλιση ανάμεσα στη χρέωση που φαίνεται στο λογαριασμό και στη χρέωση που μπορεί κανείς να υπολογίσει χρησιμοποιώντας τις ακριβείς καμπύλες φορτίου. Ακόμα ορισμένες φορές η ΔΕΗ κάνει μετρήσεις και αποστέλλει λογαριασμό μετά από δύο μήνες αντί ενός και τότε οι χρεώσεις που μπορεί κανείς να υπολογίσει χρησιμοποιώντας τους τύπους που δίνει η ΔΕΗ είναι διαφορετικές από αυτές που φαίνονται πάνω στο λογαριασμό ενώ άλλες φορές εμφανίζοντα αποκλίσεις μεταξύ του φύλλου Excel και του λογαριασμού που είναι ανεξήγητες. Τέλος η ΔΕΗ δεν ήταν σε θέση να παρέχει σωστές καμπύλες φορτίου για όλο το διάστημα που

καλύπτουν οι παραπάνω πίνακες γιατί ο καταγραφικός εξοπλισμός λειτούργησε σωστά μετά την 1/10/2008.

Από τους παραπάνω πίνακες μπορούν να εξαχθούν ορισμένα συμπεράσματα για τις καταναλώσεις και τις χρεώσεις του ΟΑΚΑ.

Μια πρώτη παρατήρηση είναι πως τα φορτία που εξυπηρετεί το δίκτυο έχουν πολύ καλό συντελεστή ισχύος. Για τους υποσταθμούς D1 και D2 είναι σχεδόν πάντα ίσος ή πολύ κοντά στη μονάδα ενώ για τον υποσταθμό D3 είναι από 0.85 έως 0.97. Βέβαια ο συντελεστής ισχύος παρουσιάζεται ίσος με τη μονάδα λόγω της κβάντωσης στη μέτρηση των καταναλισκόμενων αέργων. Με τον τρόπο αυτό πάντα δεν υπάρχει προσαύξηση στην χρεωστέα μέγιστη ζήτηση.

Ένα ακόμα σημαντικό χαρακτηριστικό είναι ο συντελεστής χρησιμοποίησης. Ο υποσταθμός D1 παρουσιάζει διαχρονικά τον χαμηλότερο συντελεστή χρησιμοποίησης, έχοντας μέση τιμή 0.35 για τους παραπάνω μήνες, ενώ οι υποσταθμοί D2 και D3 έχουν καλύτερο προφίλ φορτίου, παρουσιάζοντας συντελεστή χρησιμοποίησης 0.47 ενώ ο D2 έχει μεγαλύτερες αποκλίσεις γύρω από αυτή την τιμή (τυπική απόκλιση 0.19 έναντι 0.14). Αξίζει να σχολιαστεί πως δεν λείπουν οι ακραίες τιμές, από μόλις 0.05 έως 0.97, το οποίο αποδεικνύει ότι υπάρχουν πολύ μεγάλες μεταβολές στο προφίλ του φορτίου.

Η μέγιστη ζήτηση δεν παρουσιάζει κάποια ετήσια περιοδικότητα. Είναι όμως περίπου μοιρασμένη στα 3 κέντρα διανομής και είναι πάντα της τάξης των μερικών MW. Επίσης πολλές φορές είναι ταυτοχρονισμένη με τις ώρες αιχμής (11πμ έως 14μμ) με αποτέλεσμα το ΟΑΚΑ να μην επωφελείται των εκπτώσεων που παρέχει η ΔΕΗ για τους καταναλωτές που παρουσιάζουν την μέγιστη ζήτησή τους εκτός των ωρών αιχμής.

Αν και υπάρχει μεγάλη μεταβλητότητα των καταναλώσεων, όπως περιγράφηκε παραπάνω, αυτό που περιμένει αρκετά σταθερό είναι το ποσοστό της χρέωσης ισχύος. Για τους υποσταθμούς D1, D2 και D3 είναι αντίστοιχα 39%, 31% και 34%. Εάν λοιπόν γίνουν ενέργειες ώστε να βελτιωθεί ο συντελεστής χρησιμοποίησης με καλύτερη χρονική κατανομή των καταναλώσεων, να γίνει εκμετάλλευση της έκπτωσης ισχύος από τις ώρες αιχμής και να μειωθεί η μέγιστη ζήτηση είναι αναμενόμενο να υπάρχουν σημαντικά κέρδη.

4.4 Ηλεκτροπαραγωγή ζεύγη [15]

Στο σύνολο των εγκαταστάσεων, υπάρχουν 15 ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη συνολικής ισχύος 7640kVA. Τα ΗΖ κινούνται από εμβολοφόρους κινητήρες με καύσιμο πετρέλαιο ντίζελ. Η

σημερινή λειτουργία τους περιορίζεται, βάση του νομοθετικού πλαισίου αλλά και της συνήθους χρήσης τους, στην κάλυψη κάποιων φορτίων ανάγκης όταν έχουμε διακοπή της τροφοδοσίας από την ΔΕΗ. Δηλαδή η χρήση της ισχύος των συνήθως υπέρ-διαστασιολογημένων ΗΖ περιορίζεται χρονικά στην κάλυψη κάποιων μικρών σχετικά φορτίων ανάγκης έως ότου επανέλθει η κύρια τροφοδοσία ή εκκενωθεί η εγκατάσταση από προσωπικό και φιλάθλους. Αυτή η λειτουργία των ΗΖ δεν εξασφαλίζει την βέλτιστη αξιοποίηση της ισχύος που μπορούν αυτά να παρέχουν.

Η βέλτιστη αξιοποίησή τους μπορεί να αντιστοιχεί σε διαφορετικές στοχεύσεις, όπως για παράδειγμα:

- 1) την μείωση της μέγιστης ζήτησης ισχύος προκειμένου να μειωθεί ο κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας που πληρώνει το ΟΑΚΑ. Ακόμα την μείωση της ζήτησης τις ώρες αιχμής για περεταίρω μείωση του κόστους μέσω της σχετικής έκπτωσης
- 2) την πλήρη κάλυψη των φορτίων μιας εγκατάστασης και την συνέχιση της κανονικής λειτουργίας της ακόμη και αν έχουμε διακοπή της ηλεκτρικής τροφοδοσίας από την ΔΕΗ. Η σπουδαιότητα της εκδήλωσης που διεξάγεται εκείνη την στιγμή σε κάποια εγκατάσταση, πιθανώς και με την παρουσία σημαντικού αριθμού φιλάθλων, προσδιορίζει και την αξία της συγκεκριμένης στόχευσης. Η υλοποίηση αυτού του έργου θα σημαίνει αναβάθμιση των ΗΖ από ένα εφεδρικό σύστημα σε ένα πραγματικό σύστημα αναμονής και μεγάλη αύξηση της αξιοπιστίας για το δίκτυο.
- 3) την σημαντική μείωση της κατανάλωσης του ΟΑΚΑ ή ακόμη και την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και την απόδοσή της στο δίκτυο τις ημέρες εκείνες (του καλοκαιριού συνήθως) κατά τις οποίες το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας της χώρας μας φτάνει στα όριά του. Φυσικά η διερεύνηση της πιθανότητας αυτής απαιτεί και την παροχή κατάλληλων κινήτρων από τον διαχειριστή του συστήματος ώστε να κάνει οικονομικά συμφέρουσα μια τέτοια δυνατότητα.

Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται ο ΥΣ στον οποίο είναι εγκατεστημένα τα ΗΖ καθώς και η ονομαστική ισχύς τους και ο κατασκευαστής τους.

Υ/Σ	Κατασκευαστής	Έτος Κατ.	Ισχύς (kVA)
TP8	CATERPILLAR	2003	450
TP9	CATERPILLAR	2003	450
TP10	CATERPILLAR	2003	450
TP11	CATERPILLAR	2003	450
Στάδιο	MARELLI MOTORI	2003	630
Κασσιμάτης	MARELLI MOTORI	2003	350
Κλειστό Κολ.	MARELLI MOTORI	2003	910
Μπάσκετ	LEROY	1987	1000
Νέα Δεξαμενή	MARELLI MOTORI	2003	200
Ανοιχτό Κολ.	MARELLI MOTORI	2003	800
Τένις 1	LEROY	2003	500
Τένις 2	LEROY	2003	250
Doping	LEROY	2003	250
Ποδηλατ. 1	CATERPILLAR	2003	500
Ποδηλατ. 2	CATERPILLAR	2003	500

Πίνακας 4.8: Κατάλογος H/Z του ΟΑΚΑ

Επιπλέον σημαντικά στοιχεία για την περαιτέρω διερεύνηση της υπάρχουσας υποδομής των HZ είναι τα παρακάτω:

- Τα HZ εκκινούν αυτόματα αφού διαπιστωθεί πρόβλημα στην κύρια τροφοδοσία του κάθε ΥΣ στον οποίο είναι συνδεδεμένο κάθε HZ
- Ο έλεγχος του συστήματος MT γίνεται με σύστημα SCADA (συγκεκριμένα το microscada της ABB) το οποίο διαχειρίζεται και όλα τα σενάρια αυτόματης μεταγωγής ή εκδήλωσης σφάλματος.
- Η σύνδεσή τους γίνεται πάνω στον υποζυγό της χαμηλής τάσης που εξυπηρετεί τα φορτία ανάγκης (emergency loads) κάθε υποσταθμού. Στην υπάρχουσα κατάσταση τα HZ δεν μπορούν να συνδεθούν παράλληλα στο δίκτυο αλλά μόνο εφόσον εντοπιστεί τοπικά έλλειψη τάσης, στην τροφοδότηση του ζυγού χαμηλής από τον αντίστοιχο μετασχηματιστή του υποσταθμού. Αυτό σημαίνει πως όσοι υποσταθμοί δεν διαθέτουν HZ δεν τροφοδοτούνται σε περίπτωση απώλειας της κύριας τροφοδοσίας.
- Τα προστατευτικά μέσα με τα οποία είναι εφοδιασμένα τα HZ, είναι αυτά που προβλέπονται για γεννήτριες συνδεδεμένες σε απομονωμένο σύστημα χαμηλής τάσης. Πρόκειται για έναν τριφασικό ηλεκτρονόμο υπερέντασης ελεγχόμενο από τάση με χρονική καθυστέρηση (51V) καθώς και έναν ηλεκτρονόμο σφάλματος γης με χρονική καθυστέρηση (51N) για τις γεννήτριες που είναι συνδεδεμένες σε συνδεσμολογία γειωμένου αστέρα. Τα προστατευτικά μέσα φαίνονται και στα παρακάτω σχήματα.

4.4.1 Αυτοματισμοί Ηλεκτροπαραγωγών Ζευγών

Τα ΗΖ της συγκεκριμένης εταιρίας έχουν κάποια τεχνικά χαρακτηριστικά και φέρουν κάποιους ελεγκτές που τους δίνουν ορισμένες δυνατότητες αλλά ταυτόχρονα επιβάλλουν και ορισμένους περιορισμούς στη χρήση τους.

Κατά πρώτον πρέπει να αναφερθεί πως οι γεννήτριες πρέπει να εξυπηρετούν συμμετρικά τριφασικά φορτία, ενώ λειτουργούν με σταθερό συντελεστή ισχύος 0,8 επαγωγικό. Η συνδεσμολογία τους είναι αυτή του γειωμένου αστέρα. Παρόλα αυτά υπάρχουν ορισμένες περιπτώσεις που μπορούν να παρθούν ορισμένα μέτρα για την αποφυγή γειώσεων στην πλευρά του φορτίου. Ο σκοπός της ουδέτερης γείωσης είναι η αποφυγή της ζημιάς στο φορτίο. Εάν το ουδέτερο καλώδιο είναι γειωμένο και γειωθεί και ένα από τα καλώδια των φάσεων (από σφάλμα), το επιπλέον ρεύμα θα ανοίξει έναν διακόπτη κυκλώματος του φορτίου. Το επιπλέον ρεύμα θα προκαλέσει επίσης κατάπτωση της τάσης της γεννήτριας. Το αποτέλεσμα εξαρτάται από τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά της συγκεκριμένης γεννήτριας. Υπάρχουν όμως και ορισμένες περιπτώσεις κατά τις οποίες είναι ανεπιθύμητη η γείωση του ουδέτερου κόμβου. Η λειτουργία πολλών γεννητριών εν παραλλήλω οι οποίες όλες έχουν ουδέτερες γειώσεις, μπορεί να έχει αποτέλεσμα την κυκλοφορία του ρεύματος διαμέσου των γειωμένων ουδέτερων. Για να εξαλειφθεί η πιθανότητα αυτή πρέπει να γειώνεται ο ουδέτερος μόνο της μίας εκ των παράλληλων γεννητριών. Επίσης σε περίπτωση παράλληλης λειτουργίας με το δίκτυο, δηλαδή όταν μια γεννήτρια πρόκειται να λειτουργήσει εν παραλλήλω με έναν άπειρο ζυγό, και όταν ο μετασχηματιστής υποβίβασης είναι επίσης σε συνδεσμολογία αστέρα μπορεί να έχει αντίστοιχο αποτέλεσμα. Η γείωση και των δύο ουδέτερων μπορεί να έχει αποτέλεσμα τη δημιουργία κυκλοφορούντων ρευμάτων (διαμέσου των γειώσεων). Τα κυκλοφορούντα ρεύματα ρέουν μεταξύ των παραλληλισμένων γεννητριών ενώ δεν επιτελούν χρήσιμη εργασία. Μπορεί να έχουν μέγεθος έως και 25% των ονομαστικών ρευμάτων για ΗΖ που είναι κρύα. Τέτοια ρεύματα μπορούν να θεωρηθούν μη ζημιογόνα, με προσοχή να μην περάσει το συνολικό ρεύμα τα ονομαστικά αμπέρ. Καθώς η γεννήτρια ζεσταίνεται, τα ρεύματα αυτά μειώνονται.

Τα ΗΖ όπως αναφέρθηκε λειτουργούν σαν μονάδες εφεδρικής λειτουργίας. Για το λόγο αυτό είναι εγκατεστημένες με χειριστήρια αυτόματης εκκίνησης. Οι μονάδες εφεδρικής λειτουργίας ξεκινούν, αναλαμβάνουν το φορτίο, λειτουργούν και σταματούν χωρίς την προσοχή κάποιου χειριστή. Οι μονάδες εφεδρικής λειτουργίας δεν μπορούν να αλλάξουν αυτόματα τις ρυθμίσεις της στάθμης τάσης ή της ταχύτητας του αυτόματου ρυθμιστή. Για το λόγο αυτό οι ρυθμίσεις αυτές προ-ρυθμίζονται.

Για να μπορέσει να λειτουργήσει μια γεννήτρια παράλληλα είτε με το δίκτυο είτε με άλλες γεννήτριες πρέπει να γίνει μια κατάλληλη προετοιμασία. Πρέπει να διασφαλιστεί πως υπάρχει η ίδια περιστροφή φάσης, η συχνότητα του εναλλασσόμενου ρεύματος είναι ίδια και ίδια ρύθμιση τάσης. Προφανώς αν πρόκειται για αυτόνομη λειτουργία το ένα HZ θα ενταχθεί πρώτο και τα υπόλοιπα θα συγχρονιστούν με τις τιμές που αυτό θα έχει ορίσει. Συγκεκριμένα πρέπει να γίνουν τα παρακάτω βήματα:

1. Εκκίνηση της μονάδας που πρόκειται να παραλληλιστεί
2. Αναμμα των φώτων συγχρονισμού.
3. Αφού ο κινητήρας έχει λειτουργήσει για λίγα λεπτά, αύξηση της ταχύτητας στην ταχύτητα συγχρονισμού, η συχνότητα της αφικνούμενης μονάδας τότε θα είναι η ίδια με τη μονάδα (ή τις μονάδες) που είναι ήδη συνδεδεμένες, τα φώτα συγχρονισμού θα αρχίσουν να αναβοσβήνουν. Πρέπει πάντως πριν τη σύνδεση, η συχνότητα της αφικνούμενης μονάδας να είναι ελαφρώς μεγαλύτερη από τη σύγχρονη, ώστε να αναλάβει φορτίο κατά τη σύνδεσή της, αλλιώς θα λειτουργήσει σαν φορτίο στο σύστημα.
4. Με το χειριστήριο του αυτόματου ρυθμιστή γίνεται ρύθμιση της ταχύτητας ώσπου τα φώτα να αναβοσβήνουν πολύ αργά. Τα φώτα θα σβήσουν όταν οι τάσεις είναι σε φάση, και τότε πρέπει να κλείσει πολύ γρήγορα ο διακόπτης.
5. Με τα χειριστήρια του αυτόματου ρυθμιστή μπορεί πια να γίνει καταμερισμός του φορτίου ανάμεσα στα HZ. Αυξάνοντας την ταχύτητα του ρυθμιστή μιας μονάδας, αυξάνεται το φορτίο που εξυπηρετεί αυτή, πρέπει παράλληλα να μειωθεί ίσα σε κάποια άλλη μονάδα. Αν αυξηθεί ταυτόχρονα σε περισσότερες μονάδες τότε ο σύστημα αλλάζει συχνότητα. Ο αυτόματος ρυθμιστής ελέγχει την ισχύ που παρέχει στην γεννήτρια ο κινητήρας, και συνεπώς την ισχύ που αποδίδει στην έξοδο η γεννήτρια. Ο καταμερισμός της ισχύος δεν εξαρτάται από τη διέγερση της γεννήτριας που ελέγχει μόνο το επίπεδο της τάσης και της παραγόμενης αέργου ισχύος.

Για να λειτουργήσουν παράλληλα περισσότερα από ένα HZ, πρέπει το κάθε ένα από αυτά να έχει ρύθμιση για βύθιση ταχύτητας 3%. Εάν απαιτείται σταθερή συχνότητα από την κατάσταση χωρίς φορτίο έως την κατάσταση με πλήρες φορτίο, τότε ένας από τους αυτόματους ρυθμιστές πρέπει να ρυθμιστή για ισόχρονη λειτουργία. Η ισόχρονη μονάδα λέγεται “επικεφαλής μονάδα”. Για να αποδεκτούν όλες οι παραλληλισμένες μονάδες το πλήρες φορτίο που τους έχει μοιραστεί είναι απαραίτητες ορισμένες ρυθμίσεις των αυτόματων ρυθμιστών. Οι αυτόματοι ρυθμιστές έχουν την ίδια ταχύτητα σε κατάσταση πλήρους φορτίου ενώ οι ρυθμιστές οι οποίοι ρυθμίζονται για

λειτουργία με βύθιση ταχύτητας θα πρέπει να έχουν την ίδια ταχύτητα υψηλού ρελαντί. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να λειτουργήσει εν παραλλήλω οποιοσδήποτε αριθμός HZ.

Όσον αφορά στην διακοπή της λειτουργίας κάποιου HZ πρέπει να διασφαλιστεί ότι τα εναπομείναντα είναι μεγαλύτερης ονομαστικής ισχύος από το φορτίο και ότι ο ουδέτερος κόμβος μιας από της εναπομείναντες μονάδες είναι γειωμένος. Φυσικά δεν γίνεται να αφαιρεθεί η επικεφαλής μονάδα γιατί τότε η συχνότητα του δικτύου θα είναι εκτός ελέγχου.

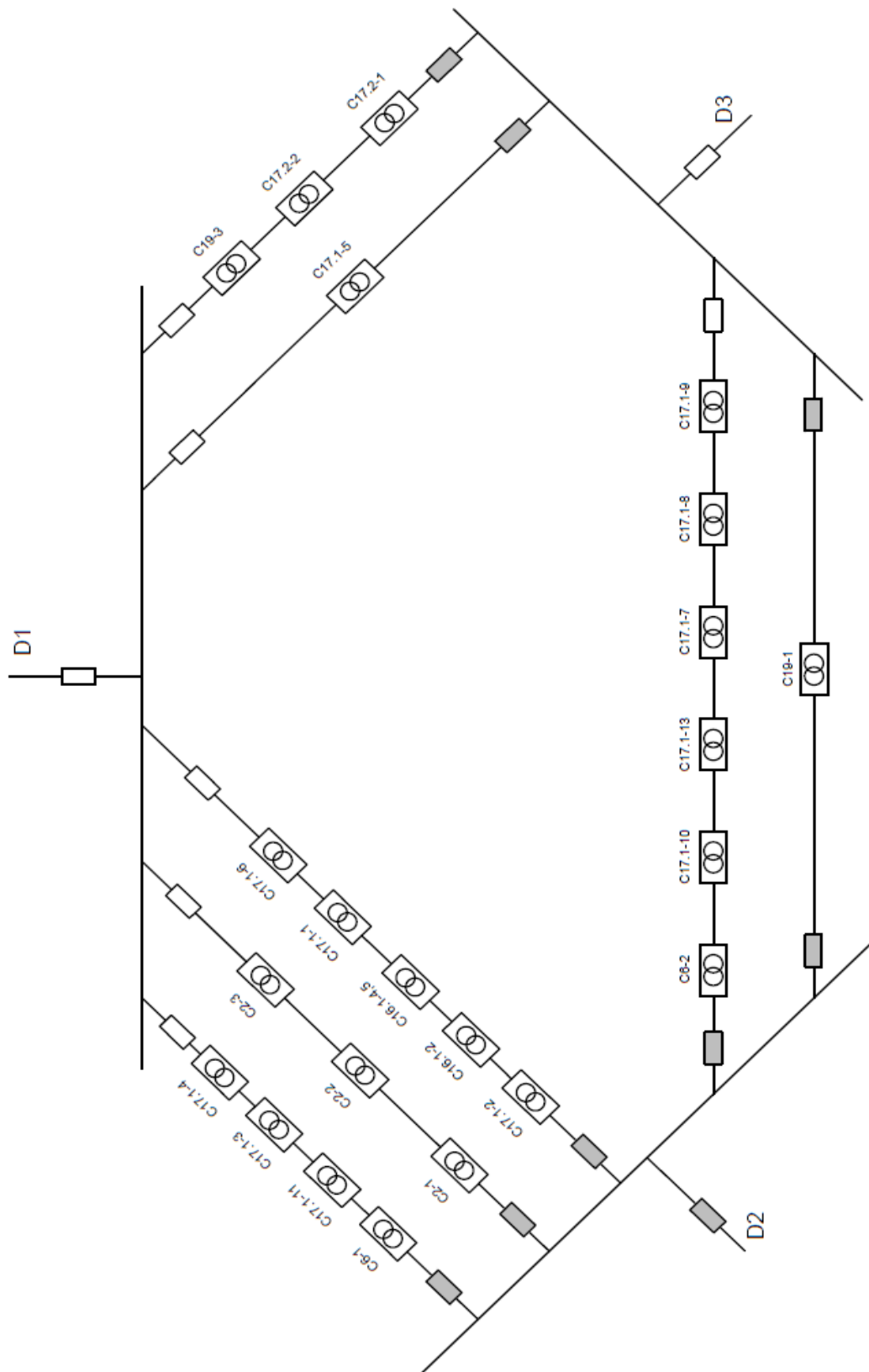
5 Εφαρμογή

Η υπάρχουσα υλικοτεχνική υποδομή του δικτύου μπορεί να χρησιμοποιηθεί με τέτοιο τρόπο ώστε αφενός να μειωθεί το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας και αφετέρου να βελτιωθούν χαρακτηριστικά του δικτύου, κυρίως η αξιοπιστία. Οι πολλές δυνατότητες που παρέχει ο τρόπος σχεδιασμού του δικτύου, αλλά και η ύπαρξη του SCADA, που μπορεί να λειτουργεί σαν ένα υψηλού βαθμού εποπτικό μέσο διευκολύνει τέτοιες εφαρμογές. Το σημαντικότερο όμως είναι πως τα ΗΖ μπορούν να χρησιμοποιηθούν για Peak Shaving, αλλά είναι αρκετά ακόμα και για να αναλάβουν πλήρως το φορτίο ολόκληρης της εγκατάστασης.

5.1 Εύρεση βέλτιστης συνδεσμολογίας

Το δίκτυο του ΟΑΚΑ όπως περιγράφηκε τροφοδοτείται από τρεις διαφορετικούς ΥΣ ΜΤ και συνεπώς μπορούν να προκύψουν πολλές διαφορετικές συνδεσμολογίες που να διαμοιράζουν με διάφορους τρόπους τα φορτία των εσωτερικών ΥΣ στις τρεις παροχές. Για να μελετηθεί ποια είναι η συνδεσμολογία που δίνει το ελάχιστο κόστος, δημιουργήθηκε ένα πρόγραμμα σε MATLAB, που ελέγχει το κόστος της ΔΕΗ διατρέχοντας όλες τις πιθανές συνδεσμολογίες. Το πρόγραμμα παρατίθεται στο παράρτημα. Το πρόγραμμα δέχεται σαν είσοδο τις καταναλώσεις κάθε ενός από τους εσωτερικούς ΥΣ του δικτύου, τις οποίες αθροίζει στις 3 παροχές της ΔΕΗ ανάλογα με την κατάσταση των διακοπών του δικτύου και έπειτα υπολογίζει το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας για τον κάθε μήνα.

Η συνδεσμολογίες που προέκυψαν να είναι οι πιο ωφέλιμες είναι αυτές που τοποθετούν όλα τα φορτία πάνω σε μία παροχή, αυτό είναι αναμενόμενο αφού με αυτό τον τρόπο αυξάνεται ο συντελεστής χρησιμοποίησης που βλέπει η ΔΕΗ. Παρακάτω παρατίθεται το ηλεκτρολογικό σχέδιο της βέλτιστης συνδεσμολογίας



Σχήμα 5.1: Απλοποιημένο ηλεκτρολογικό σχέδιο της εγκατάστασης με τους διακόπτες στην βέλτιστη συνδεσμολογία (λευκός ανοικτός)

5.2 Peak shaving

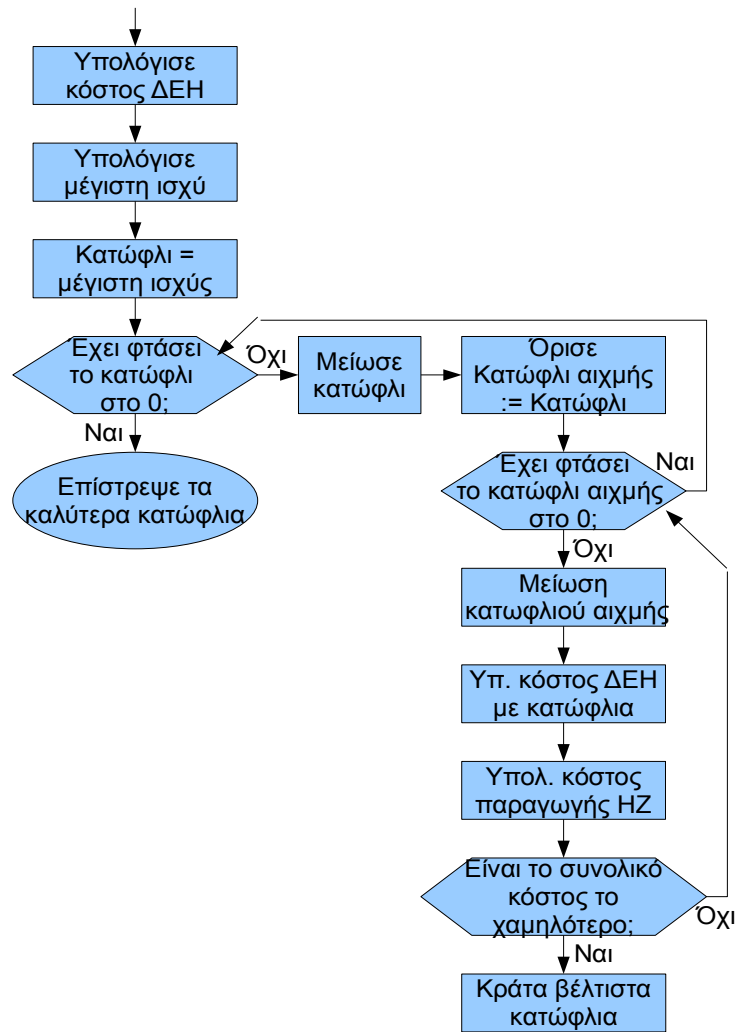
Η έννοια του Peak-shaving αναπτύχθηκε και στο εισαγωγικό κεφάλαιο που παρουσιάζονται οι εφαρμογές της διανεμημένης παραγωγής. Το προφίλ της κατανάλωσης του ΟΑΚΑ, που παρουσιάζει σχετικά χαμηλό συντελεστή χρησιμοποίησης, καθώς και η ήδη υπάρχουσα υποδομή των ΗΖ που δεν αξιοποιούνται πλήρως, οδηγεί στη σκέψη για μια τέτοια εφαρμογή.

Σκοπός είναι να γίνει εξοικονόμηση χρημάτων μέσω της μείωσης του κόστους ισχύος στους λογαριασμούς. Αυτό θα γίνει με την ένταξη των ΗΖ από κάποια τιμή ισχύος και πάνω. Αποτέλεσμα αυτού είναι η ΔΕΗ να βλέπει χαμηλότερη μέγιστη ζήτηση και μεγαλύτερο συντελεστή χρησιμοποίησης. Ταυτόχρονα όμως τα ΗΖ πρέπει να παράγουν ενέργεια καταναλώνοντας καύσιμο. Για το λόγο αυτό πρέπει να λαμβάνεται απόφαση για το ποια θα είναι η τιμή της ισχύος πάνω από την οποία συμφέρει να εντάσσονται τα ΗΖ.

Μια πρώτη σκέψη φυσικά θα αποτελούσε η μετάβαση από το τιμολόγιο Β1 της ΔΕΗ, που έχει χρέωση 12.064 €/kW και 0,07185 €/kWh στο τιμολόγιο Β2 που έχει χρέωση 4,3497 €/kW και 0,09412 €/kWh . Κατόπιν δοκιμής προέκυψε ότι αυτό είναι ακόμα πιο ακριβό και προορίζεται για χρήστες με συντελεστή χρησιμοποίησης χαμηλότερο από του ΟΑΚΑ

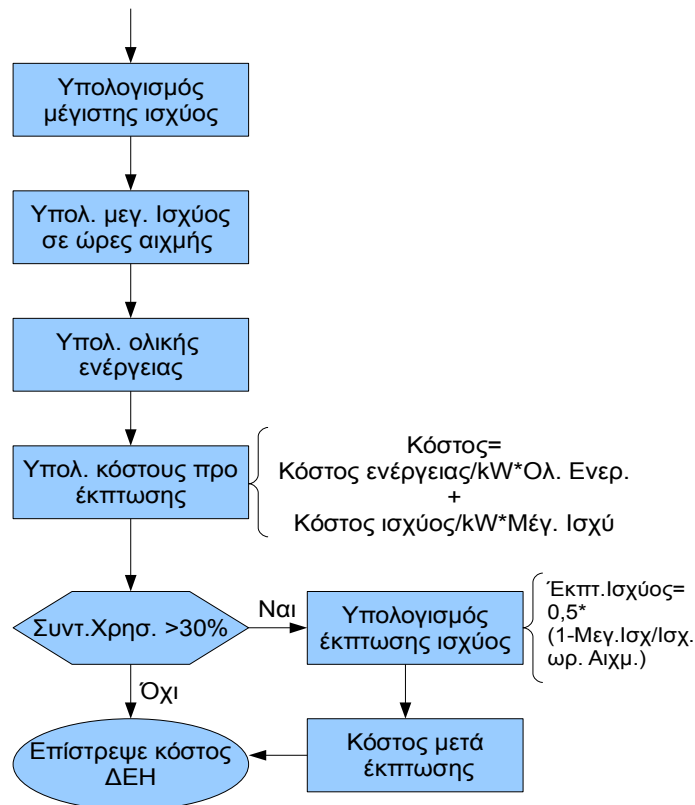
5.2.1 Πρόγραμμα υπολογισμού μέγιστου κέρδους

Για τις ανάγκες της εργασίας δημιουργήθηκε ένα πρόγραμμα σε γλώσσα GNUPascal που υπολογίζει τον βέλτιστο τρόπο ένταξης των ΗΖ και το κέρδος που προκύπτει, που είναι το μέγιστο. Παρακάτω φαίνεται σε λογικό διάγραμμα ο αλγόριθμος:



Σχήμα 5.2: Αλγόριθμος υπολογισμού μέγιστου κέρδους

Επίσης μέσα στον αλγόριθμο υπάρχει μια διαδικασία υπολογισμού του κόστους της ΔΕΗ, βάσει της χρονοσειράς της ισχύος, η οποία περιγράφεται διαγραμματικά παρακάτω:



Σχήμα 5.3: Αλγόριθμος υπολογισμού κόστους ΔΕΗ

Ο αλγόριθμος αυτός παίρνει σαν είσοδο την καμπύλη φορτίου ενός μήνα και δίνει σαν έξοδο 2 τιμές “κατωφλιών” καθώς και το κέρδος. Μια παράμετρος που πρέπει να υπολογιστεί είναι το κόστος της παραγόμενης από τα ΗΖ ενέργειας που είναι αρκετά μεγαλύτερο από το κόστος της kWh που πουλάει η ΔΕΗ. Αυτό είναι αναμενόμενο αφού πρόκειται για μηχανές πολύ μικρότερου μεγέθους από αυτές της ΔΕΗ που καταναλώνουν ακριβό καύσιμο και μάλιστα σε κινητήρα εσωτερικής καύσης που έχει πολύ μικρότερη απόδοση. Το κόστος ανά kWh που παράγουν τα ΗΖ μπορεί να υπολογιστεί βάσει της κατανάλωσης που δίνει ο κατασκευαστής. Στο πρόγραμμα η τιμή του κόστους kWh θεωρήθηκε σταθερή, αν και στην πραγματικότητα επηρεάζεται λίγο από το σημείο λειτουργίας του κάθε ΗΖ. Τα ΗΖ λειτουργούν αποδοτικότερα κοντά στις ονομαστικές τους τιμές και λιγότερο αποδοτικά σε συνθήκες χαμηλής φόρτισης. Η τιμή του κόστους που χρησιμοποίησε αυτός ο αλγόριθμος έγινε με βάση ένα ΗΖ 450kVA της CATERPILLAR σε συνθήκες φόρτισης 75% και με κόστος καυσίμου 1,3 ευρώ το λίτρο.

Μέγιστη παραγωγή HZ με ανεμιστήρα: 360 *kWe*

Παραγωγή στο 75%: 270 *kWe*

Κατανάλωση καυσίμου: 70,1 *l/h*

Κόστος kWh: 0,34 *ευρώ/kWh*

Το ένα κατώφλι που δίνει σαν έξοδο ο αλγόριθμος αφορά όλες τις ώρες, είναι δηλαδή η τιμή της ζήτησης από την οποία και πάνω εντάσσονται τα HZ και παράγουν. Το δεύτερο κατώφλι αφορά στις ώρες αιχμής, ελέγχει δηλαδή ο αλγόριθμος αν συμφέρει κατά τις ώρες αιχμής να ζητάει το δίκτυο ακόμα λιγότερη ισχύ από τη ΔΕΗ για να εκμεταλλευτεί την έκπτωση ισχύος. Σε περίπτωση που αυτό δεν συμβαίνει τότε το κατώφλι ωρών αιχμής θα είναι ίσο με το γενικό κατώφλι.

Υπάρχουν αρκετοί λόγοι για τους οποίους το κέρδος που προκύπτει δεν είναι δυνατό να επιτευχθεί σε πραγματικές συνθήκες. Ο αλγόριθμος χρησιμοποιεί καμπύλες φορτίου που έχουν ήδη μετρηθεί και είναι σε θέση να πάρει την καλύτερη δυνατή απόφαση για την ένταξη των HZ. Όμως σε πραγματικό χρόνο δεν είναι δυνατόν να υπάρχει διαθέσιμη τόσο τέλεια πρόβλεψη φορτίου οπότε θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν κάποιοι άλλοι κανόνες απόφασης, που πάντως δεν είναι δυνατό να έχουν το βέλτιστο αποτέλεσμα. Ακόμα, εκτός από το κόστος καυσίμου που λαμβάνει υπόψιν το πρόγραμμα, υπάρχουν και άλλα κόστη που συνοδεύουν τη λειτουργία των HZ. Η αύξηση των ωρών λειτουργίας αναμένεται να αυξήσει το ρυθμό βλαβών, και άρα το κόστος. Ακόμα ίσως χρειαστεί κάποιο προσωπικό που να ασχολείται με την επιτήρηση της εφαρμογής αυτής, την συντήρηση του εξοπλισμού, και την προμήθεια καυσίμου. Για το πρόγραμμα χρησιμοποιήθηκαν οι ημερολογιακοί μήνες και όχι με βάση τις ημέρες που κάνει μετρήσεις η ΔΕΗ οπότε προκύπτουν ορισμένες αποκλίσεις από τα στοιχεία των λογαριασμών καθώς και μεγαλύτερες αποκλίσεις για τους μήνες που η ΔΕΗ δεν έκανε μέτρηση και χρέωσε ανά δύο μήνες. Τέλος, όπως είναι προφανές και από τα γραφήματα που παρατίθενται στο Παράρτημα Β, οι καταγραφές της ΔΕΗ για ορισμένους μήνες δεν είναι σωστές (μηδενικές τιμές επί σειρά ημερών) λόγω αστοχίας των καταγραφικών τους μηχανημάτων. Επίσης επειδή τα HZ κινούνται από κινητήρες ντίζελ έχουν έναν συντελεστή τεχνικού ελάχιστου, ο οποίος ενδεικτικά για τα HZ της Caterpillar είναι 40%. Αυτό σημαίνει πως δεν είναι σε θέση να παράγουν ακριβώς την ζητούμενη ισχύ ανά πάσα χρονική στιγμή και μπορεί λόγω του χαρακτηριστικού αυτού να παράγουν περισσότερη.

Παρακάτω φαίνονται σε πίνακες τα αποτελέσματα του προγράμματος για την χρονική περίοδο Οκτώβριο 2008 έως Οκτώβριο 2009:

Μήνας	10/08	11/08	12/08	01/09	02/09	03/09	04/09	05/09	06/09	07/09	08/09	09/09	10/09	Σύνολα
Αρχικό κόστος	55041	118064	153605	139466	138114	141731	132233	84950	74397	50617	48321	64203	52035	1252777
Pmax	1589,23	3558,57	3742,86	3552,87	3991,14	3831,33	3363,64	3285,9	2148,65	1616,33	1685,07	2422,95	1638,1	
Κατώφλι γεν.	1033	2491	3144	3091	3153	3180	2960	2563	1590	792	1129	1478	1032	
Κατώφλι Peak	1033	2491	3144	3091	3153	3180	2960	2563	1590	792	809	1478	1032	
ΣΧΡΣ	43,13	42,28	55,34	51,4	48,32	48,02	52,75	25,83	43,87	37,97	36,45	31,25	38,01	
Κέρδος	3934	6417	3677,78	3255	5046	2943	3338	5924	4729	5939	1830	4876	4295	56203
Κέρδος %	7,15	5,44	2,39	2,33	3,65	2,08	2,52	6,97	6,36	11,74	3,79	7,6	8,26	4,49%
Κατώφλι/Pmax	0,65	0,7	0,84	0,87	0,79	0,83	0,88	0,78	0,74	0,49	0,67	0,61	0,63	

Πίνακας 5.1: Υπολογισμός μέγιστου κέρδους για τον ΥΣ D1

Μήνας	10/08	11/08	12/08	01/09	02/09	03/09	04/09	05/09	06/09	07/09	08/09	09/09	10/09	Σύνολα
Αρχικό κόστος	82503	99996	136498	139204	140111	146215	142787	143907	35869	61856	54605	52267	49193	1285011
Pmax	2311,11	2800	4085,53	3645,98	4065,38	4103,7	4131,43	5141,18	1462,86	1837,5	1730,3	1671,64	1784,48	
Κατώφλι γεν.	1664	2128	3105	3172	3171	3324	2892	3496	1024	1323	1142	1120	1035	
Κατώφλι Peak	1664	2128	2985	2852	3171	3124	2892	3496	1024	1323	1142	1120	1035	
ΣΧΡΣ	45,52	47,33	42,66	50,98	48,24	46,81	44,44	29,85	24,04	40,56	38,51	39,35	30,53	
Κέρδος	4427	2401	5206	2314	4983	3180	8680	16250	3883	4152	2960	2760	4514	65710
Κέρδος %	5,37	2,4	3,81	1,66	3,56	2,18	6,08	11,29	10,83	6,71	5,42	5,28	9,18	5,11%
Κατώφλι/Pmax	0,72	0,76	0,76	0,87	0,78	0,81	0,7	0,68	0,7	0,72	0,66	0,67	0,58	

Πίνακας 5.2: Υπολογισμός μέγιστου κέρδους για τον ΥΣ D2

Μήνας	10/08	11/08	12/08	01/09	02/09	03/09	04/09	05/09	06/09	07/09	08/09	09/09	10/09	Σύνολα
Αρχικό κόστος	62198	67802	73341	85482	83700	87797	67493	73800	93186	120181	123741	80890	80702	1100313
Pmax	1713,43	1867,57	1969,01	2295,65	2250	2221,05	1855,22	2625,58	2726,87	2646,59	3094,12	2483,02	2534,85	
Κατώφλι γεν.	1148	1382	1398	1584	1665	1688	1243	1129	1827	2329	2630	1316	1673	
Κατώφλι Peak	988	1262	1398	1584	1665	1688	1243	1129	1827	2329	2630	1316	1273	
ΣΧΡΣ	49,83	50,42	50,14	46,84	51,53	52,41	47,46	30,52	43,63	63,18	52,41	39,81	40,37	
Κέρδος	3016	2335	2274	6326	4952	3695	5024	12002	6948	1129	3286	7561	5430	63978
Κέρδος %	4,85	3,44	3,1	7,4	5,92	2,21	7,44	16,26	7,46	0,94	2,66	9,35	6,73	5,81%
Κατώφλι/Pmax	0,67	0,74	0,71	0,69	0,74	0,76	0,67	0,43	0,67	0,88	0,85	0,53	0,66	

Πίνακας 5.3: Υπολογισμός μέγιστου κέρδους για τον ΥΣ D3

Παρατηρώντας τους παραπάνω πίνακες καταρχάς είναι προφανές ότι τα κέρδη από την εφαρμογή του peak shaving είναι σημαντικά. Επίσης τα κέρδη είναι συγκρίσιμα για τους τρεις ΥΣ τόσο σαν ποσά όσο και σαν ποσοστά μείωσης του κόστους, με τον ΥΣ D1 να είναι ο λιγότερο ελκυστικός για την επένδυση αυτή, τον ΥΣ D2 να υπερτερεί σε απόλυτες τιμές, και τον D3 να έχει το μεγαλύτερο ποσοστό μείωσης του κόστους.

Επίσης υπάρχει πολύ μεγάλη συσχέτιση ανάμεσα στο συντελεστή χρησιμοποίησης κάθε μήνα και το ποσοστό μείωσης του κόστους, το οποίο είναι και θεωρητικά αναμενόμενο αφού είναι αυτό ακριβώς το πρόβλημα που καλείται να αντιμετωπίσει το peak shaving. Αυτό μπορεί να υπολογιστεί

και υπολογίζοντας το στατιστικό μέγεθος της αλληλοσυσχέτιση. Η αλληλοσυσχέτιση είναι ένα μέγεθος που δείχνει πόσο γραμμικά εξαρτημένες είναι δυο τυχαίες μεταβλητές μεταξύ τους. Παίρνει τιμές απο 0 (για τις ανεξάρτητες μεταβλητές) έως ± 1 . Η αλληλοσυσχέτιση του συντελεστή χρησιμοποίησης με το ποσοστό κέρδους για τους 3 υποσταθμούς D1, D2 και D3 είναι αντίστοιχα -0,67, -0,93 και -0,91. Τα αρνητικά πρόσημα δείχνουν πως τα μεγέθη είναι αντιστρόφως ανάλογα. Όσον αφορά στη μέγιστη ισχύ που καλούνται να παράξουν τα HZ αυτή είναι 1,067 MW για τον ΥΣ D1, 1,645 MW για τον D2 και 1,496 MW για τον D3, ισχύ που σε κάθε περίπτωση είναι σε θέση να δώσουν τα HZ.

Αν συνδυαστεί η γνώση της βέλτιστης συνδεσμολογίας με την λογική του Peak-shaving, τότε τα αποτελέσματα αποκτούν ακόμα μεγαλύτερο ενδιαφέρον και το κέρδος αυξάνεται περισσότερο. Επίσης μπορούν οι ανάγκες ισχύος να καλυφθούν από λιγότερα HZ, και έτσι να επενδυθούν λιγότερα λεφτά για την αναβάθμισή τους. Η μέγιστη ισχύς HZ που χρειάζεται στην εφαρμογή αυτή είναι 1780 kW και μπορεί να καλυφθεί για παράδειγμα από 4 HZ των 450 kW, ενώ αν διαμοιραστούν τα φορτία εξίσου τους 3 ζυγούς θα χρειαζόντουσαν τουλάχιστον 6 HZ για τον Peak-shaving. Παρακάτω φαίνονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή του Peak-shaving όταν όλοι οι ΥΣ συνδεθούν σε μια κατανάλωση καθώς και φαίνεται η διαφορά που προκύπτει αν συνυπολογιστεί το τεχνικό ελάχιστο των HZ. Τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν αφορούν όλο το 2010 και συλλέχθηκαν από το σύστημα SCADA του ΟΑΚΑ. Θεωρήθηκε πως τα HZ εντάσσονται με μια σειρά προτεραιότητας, και επιλέχθησαν τα 4 HZ των 450 kW της Caterpillar, επειδή είναι γνωστή η κατανάλωσή τους. Τα κέρδη στον παρακάτω πίνακα είναι τα μέγιστα κέρδη.

	01/10	02/10	03/10	04/10	05/10	06/10	07/10	08/10	09/10	10/10	11/10	12/10
P HZ max	682	1373	1394	1520	966	1250	586	783	1780	1384	1376	1452
ΣΧΡΣ αρχ	60,8%	50,4%	52,6%	49,3%	57,3%	50,7%	65,1%	59,4%	46,9%	51,3%	48,8%	50,2%
ΣΧΡΣ τελ	70,4%	65,7%	69,6%	73,1%	75,9%	67,9%	74,6%	70,5%	68,2%	72,5%	67,0%	69,0%
Κοστος αρχ	217069	223225	224029	177030	164891	188326	211496	214591	206468	182152	187476	201716
Κερδος	5746	11418	12556	14944	9073	10236	4928	7249	16045	11332	10830	11969
Κερδος %	2,6%	5,1%	5,6%	8,4%	5,5%	5,4%	2,3%	3,4%	7,8%	6,2%	5,8%	5,9%
Κερδος ΤΕ	5140	10854	11943	14164	8498	9481	3852	6317	15335	10814	10317	11365
Κερδος ΤΕ %	2,4%	4,9%	5,3%	8,0%	5,2%	5,0%	1,8%	2,9%	7,4%	5,9%	5,5%	5,6%

Πίνακας 5.4: Εφαρμογή Peak-shaving με υπολογισμό τεχνικού ελαχίστου

5.2.2 Υπολογισμός κανόνα ένταξης

Σημαντικό είναι να μπορεί το ΟΑΚΑ να παίρνει απόφαση για το ποιο κατώφλι να χρησιμοποιήσει

για τον κάθε μήνα. Από τους πίνακες φαίνεται πως οι τιμές για το κατώφλι κάθε μήνα έχουν πολύ μεγάλη διακύμανση, όπως και οι κατανάλωση της εγκατάστασης. Για το λόγο αυτό είναι δύσκολο να ισχύσει ένα ενιαίο κατώφλι για όλο το έτος γιατί ορισμένους μήνες η μέγιστη ζήτηση δεν θα φτάσει καν την τιμή αυτή, ενώ άλλοτε η τιμή αυτή θα είναι πολύ χαμηλή με κίνδυνο το peak shaving να οδηγήσει ακόμα και σε ζημιές. Είναι λοιπόν επιβεβλημένο να παρθούν αποφάσεις για κάθε μήνα χωριστά. Προτιμότερο είναι να ακολουθηθεί μια συντηρητική στρατηγική, θέτοντας το κατώφλι ένταξης σχετικά ψηλά για να αποφευχθούν οι ζημιές. Αν η ισχύς ένταξης των HZ τεθεί χαμηλά, τότε υπάρχει ο κίνδυνος το κόστος καυσίμου τους να ξεπεράσει το κέρδος από τη μείωση του λογαριασμού και να είναι ζημιογόνα. Μια χρήσιμη παρατήρηση είναι πως πολύ σπάνια ο αλγόριθμος έδωσε διαφορετικό κατώφλι για τις ώρες αιχμής από ότι το γενικό κατώφλι. Με βάση αυτό το αποτέλεσμα, και στην πρακτική εφαρμογή η επιλογή ενός γενικού κατωφλιού που θα ισχύει το ίδιο και τις ώρες αιχμής είναι αρκετή, εκτός αν ο διαχειριστής του δικτύου δώσει επιπλέον κίνητρα για μείωση της κατανάλωσης τις στιγμές με πολύ υψηλή φόρτιση του εθνικού δικτύου.

Με δεδομένη μονάχα την μέγιστη ισχύ για κάθε μήνα, και χωρίς να χρησιμοποιηθεί η πλήρης πληροφορία που περιέχεται στις καμπύλες αιχμής, μπορεί να τεθεί κάποιος κανόνας ένταξης των HZ και θα υπολογιστεί το αντίστοιχο κέρδος. Η ιδέα είναι να αφαιρείται για όλους τους μήνες ίδια ποσότητα από τη μέγιστη ισχύ του κάθε μήνα. Η μέγιστη ισχύς είναι κάτι που μπορεί να προβλεφθεί σχετικά εύκολα με καταγραφή των συνθηκών κάτω από τις οποίες παρατηρήθηκαν οι αιχμές ζήτησης για το προηγούμενο διάστημα (ματς, συναυλίες κλπ).

Όπως είναι αναμενόμενο, τα μεμονωμένα γεγονότα όπως η διεξαγωγή αγώνων μπάσκετ και ποδοσφαίρου είναι αυτά που προκαλούν τις αιχμές της ζήτησης. Αυτό αποτελεί και έναν τρόπο με τον οποίο μπορούν αυτές να προβλεφθούν, αλλά και να εξαχθεί ένας τρόπος λειτουργίας του συστήματος peak-shaving. Παρακάτω φαίνονται σε πίνακες μεμονωμένα γεγονότα καθώς και οι αιχμές ζήτησης που τα συνοδεύουν. Ο πρώτος πίνακας αφορά στα ποδοσφαιρικά παιχνίδια, και άρα στις καταναλώσεις του ΥΣ D1 ενώ ο δεύτερος στα παιχνίδια μπάσκετ, άρα στον υποσταθμό D3.

Αθλ. Γεγονός	Ημερομηνία	Μέγ. Ζήτηση	Ώρα
ΠΑΟ-Λεβαδειακός	05/10/08	1440	19:45
ΑΕΚ-ΑΕΛ	19/10/08	1344	18:45
ΠΑΟ-Βέρντερ	22/10/08	1440	21:00
ΠΑΟ-Εργοτέλης	29/10/08	1360	18:45
ΠΑΟ-Ανόρθωση	09/12/08	3744	20:00
ΠΑΟ-Κέρκυρα	22/01/09	3571	17:30
ΑΕΚ-Θρασύβ.	14/02/09	3571	18:30
ΠΑΟ-Πανιώνιος	21/02/09	3648	19:00
ΑΕΚ-Ξάνθη	25/02/09	3993	19:30
ΑΕΚ-Ξάνθη κυπ.	28/02/09	3571	19:30
ΠΑΟ-Πανσερ.	04/03/09	3724	20:30
ΠΑΟ-Βιγιαρεάλ	10/03/09	3820	19:30
ΑΕΚ-ΟΦΗ	14/03/09	3686	19:45
ΑΕΚ-Πανσερ.	18/03/09	3705	20:15
ΑΕΚ-Βασλούι	27/08/09	1689	21:45
ΠΑΟ-Γκαλατ.	17/09/09	1747	19:45
ΠΑΟ-Άρης	20/09/09	2438	19:15
ΑΕΚ-ΟΣΦΠ	23/09/09	2400	20:45
ΑΕΚ-ΠΑΟ	27/09/09	2400	20:45
ΑΕΚ-Μπενφίκα	01/10/09	1536	19:15
ΑΕΚ-ΑΕΛ	05/10/09	1209	22:15
ΑΕΚ-Πανθρ.	18/10/09	1574	20:15
ΠΑΟ-Στουρμ	22/10/09	1324	20:45

Πίνακας 5.5: Αθλ. γεγονότα του σταδίου με τις αντίστοιχες καταναλώσεις του ΥΣ D1

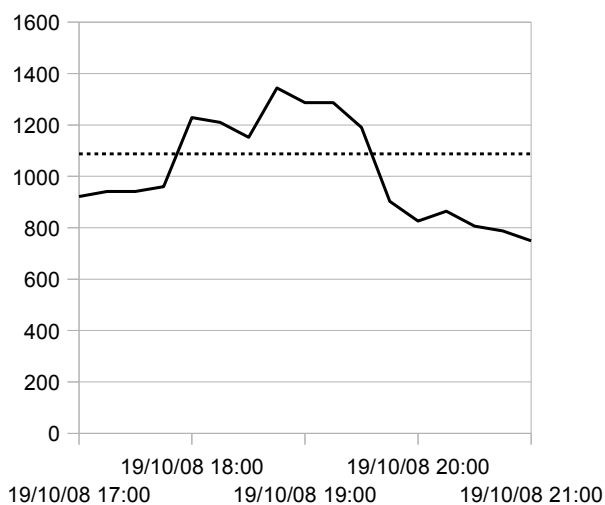
Αθλ. Γεγονός	Ημερομηνία	Μέγ. Ζήτηση	Ώρα
ΠΑΟ-Εφές	02/10/08	1708	20:45
ΠΑΟ-Σιέννα	13/11/08	1689	20:15
ΠΑΟ-Πανελλ.	19/11/08	1747	20:30
ΠΑΟ-ΟΣΦΠ	23/11/08	1785	22:30
ΠΑΟ-Μαρούσι	02/12/08	1785	19:00
ΠΑΟ-Δυναμό	24/02/09	1747	20:15
ΠΑΟ-ΟΣΦΠ	25/05/09	2649	22:00
ΠΑΟ-ΟΣΦΠ	01/06/09	2707	21:30
Ελλάδα-Ρουμανία	12/08/09	3110	19:15
ΠΑΟ-Τσεσεκα	11/10/09	2496	19:15
ΠΑΟ-Περιστερί	17/10/09	1305	16:30
ΠΑΟ-Τσεσεκα	22/10/09	1286	20:00

Πίνακας 5.6: Αθλ. γεγονότα του κλειστού γυμναστηρίου με τις αντίστοιχες καταναλώσεις του ΥΣ D3

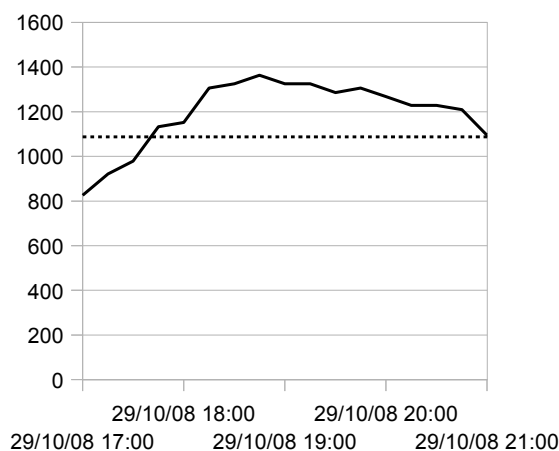
Ο λόγος που καταγράφηκαν ακριβώς οι αθλητικές εκδηλώσεις είναι για να διαπιστωθεί εάν υπάρχει μεταβολή της κατανάλωσης ανάλογα με το αν πρόκειται για εθνικές ή ευρωπαϊκές διοργανώσεις, ή αν την επηρεάζει η ομάδα υποδοχής. Κάτι τέτοιο δεν επιβεβαιώνεται. Υπάρχει όμως σχεδόν ταυτόσημη κατανάλωση στα διάφορα αθλητικά γεγονότα, ειδικά όταν τελούνται την ίδια εποχή και ώρα. Η εποχική διαφορά εξηγείται με τη χρήση κλιματισμού ή θέρμανσης καθώς και από το φωτισμό του σταδίου. Όσον αφορά στις συναυλίες, δεν παρατηρήθηκαν αξιοσημείωτες αιχμές, κατά τη διάρκεια τέλεσης τους, γιατί αποτελεί πάγια τακτική των διοργανωτών να χρησιμοποιούν φορητά ΗΖ (άλλα από αυτά που βρίσκονται ήδη εγκατεστημένα στο δίκτυο), για να έχουν υψηλή αξιοπιστία.

Όσον αφορά στον ΥΣ D1 (στάδιο) οι καταναλώσεις ανάλογα με το αθλητικό γεγονός μπορούν να χωριστούν σε αυτές που είναι της τάξης των 1700 kW που είναι οι φθινοπωρινές και σε αυτές που είναι της τάξης των 3000 kW που είναι οι χειμερινές. Στον ΥΣ D3 (κλειστό γυμναστήριο) οι καταναλώσεις μπορούν να χωριστούν σε αυτές που είναι της τάξης των 1700 kW, που είναι οι χειμερινές, και σε αυτές που είναι από 2500 έως 3110 kW, που είναι οι θερινές. Παρακάτω φαίνονται αναλυτικά ορισμένα διαγράμματα των καταναλώσεων για τις μέρες και ώρες που τελούνται αθλητικές εκδηλώσεις, μαζί με τον κανόνα της ιδανικής ένταξης των ΗΖ που έχει υπολογιστεί παραπάνω για τους αντίστοιχους μήνες.

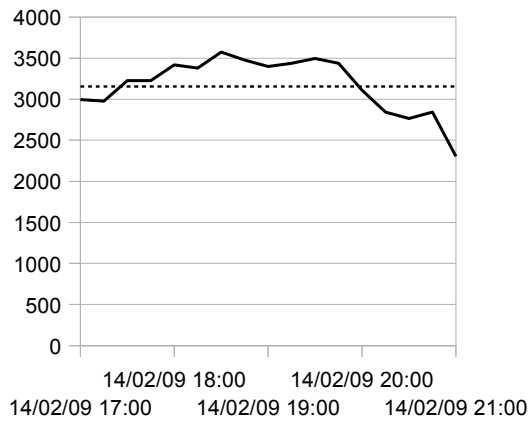
Καταναλώσεις σταθμού D1:



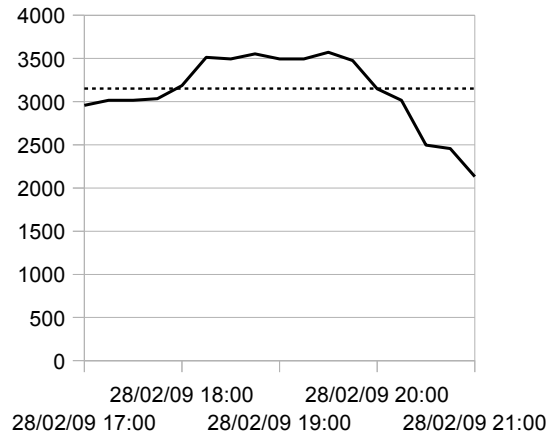
Γράφημα 5.2: Καταναλώση D1 19/10/08



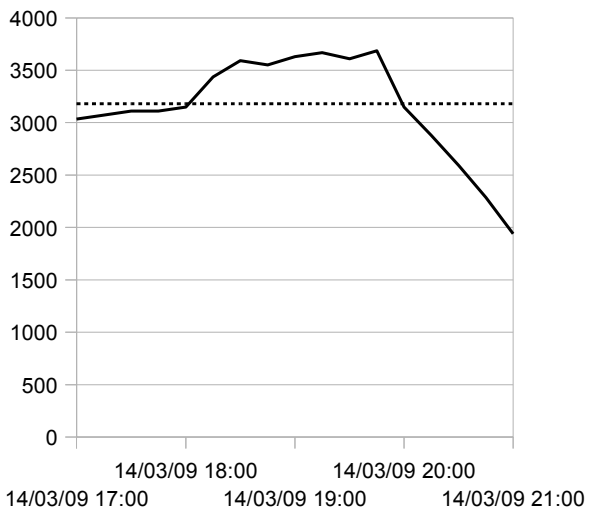
Γράφημα 5.1: Καταναλώση D1 29/10/08



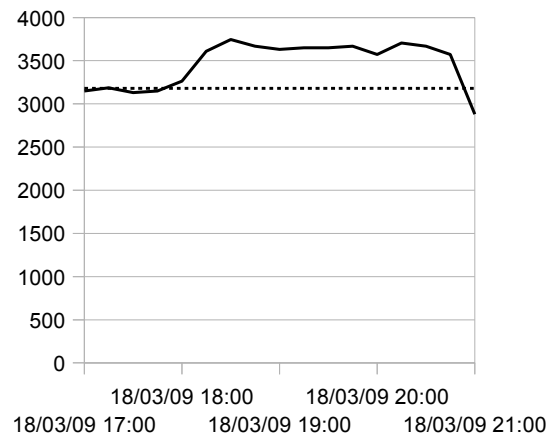
Γράφημα 5.4: Κατανάλωση DI 14/02/09



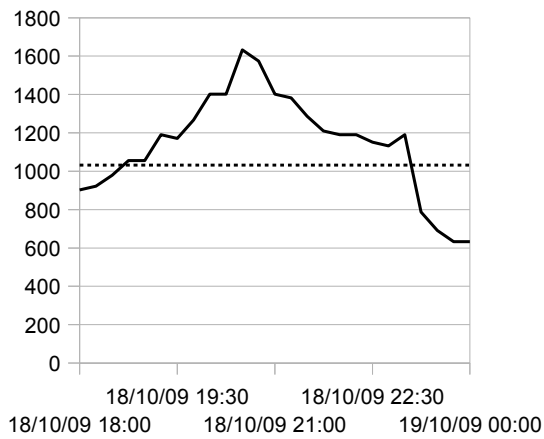
Γράφημα 5.3: Κατανάλωση DI 28/02/09



Γράφημα 5.6: Κατανάλωση DI 14/3/09

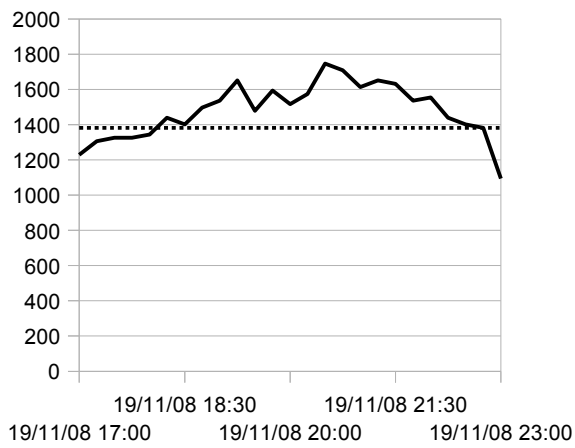


Γράφημα 5.5: Κατανάλωση DI 18/3/09

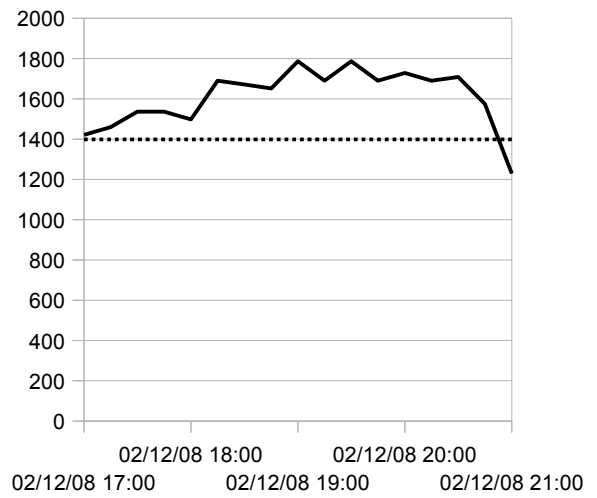


Γράφημα 5.7: Κατανάλωση D1 18/10/09

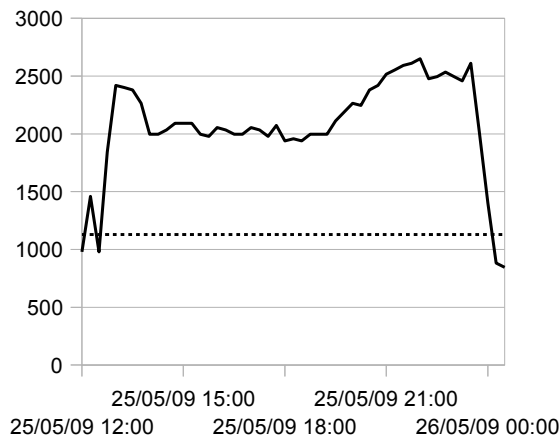
Καταναλώσεις υποσταθμού D3:



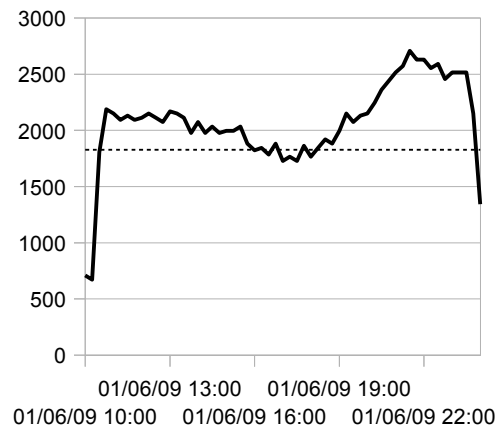
Γράφημα 5.8: Κατανάλωση D3 19/11/08



Γράφημα 5.9: Κατανάλωση D3 02/12/08



Γράφημα 5.10: Κατανάλωση D3 26/05/09



Γράφημα 5.11: Κατανάλωση D3 01/06/09

Από τα διαγράμματα φαίνεται πως από μόνη της η πρόβλεψη της ισχύος αιχμής δεν αρκεί για να παρθεί βέλτιστη απόφαση για τη σωστή ένταξη των ΗΖ, για παράδειγμα στα 2 πρώτα διαγράμματα που αφορούν στον υποσταθμό D3 (25/5/09 και 01/06/09), ενώ οι καταναλώσεις για τις ώρες του αγώνα είναι σχεδόν ταυτόσημες, η ιδανική ένταξη είναι διαφορετική, το οποίο εξαρτάται από την καμπύλη του φορτίου κατά τη διάρκεια ολόκληρου του μήνα.

Ένα άλλο πρόβλημα είναι πως πρέπει να βρεθεί ένας τρόπος να μπορούν να συνεχίσουν να λαμβάνονται οι σωστές αποφάσεις για τη ένταξη των ΗΖ ακόμα και αν η συνδεσμολογία του δικτύου αλλάξει και οι υποσταθμοί εξυπηρετούν διαφορετικά φορτία. Αυτό είναι εφικτό, αφού το σύστημα SCADA του ΟΑΚΑ παρέχει ακριβείς μετρήσεις για τις καταναλώσεις ανά τέταρτο, για κάθε υποσταθμό οι οποίες κρατούνται για 2 χρόνια. Επίσης παρέχει και μετρήσεις σε μεγαλύτερες σταθερές χρόνου, με μέσες ισχύεις και συνολικά δαπανώμενες ενέργειες ανά ώρα, μέρα, μήνα έτος.

Λαμβάνοντας υπόψιν όλα τα παραπάνω, υπολογίζονται για κάθε μήνα η διαφορά του κατωφλιού από τη μέγιστη ισχύ καθώς και οι μέσοι όροι αυτών των διαφορών. Αυτές οι διαφορές προκύπτουν, 676 MW για τον ΥΣ D1, 782 MW για τον ΥΣ D2 και 713 MW για τον ΥΣ D3. Μια πρώτη σκέψη είναι να αφαιρεθούν κατευθείαν οι μέσοι όροι από τις ισχύεις αιχμής και έτσι να προσδιοριστεί ο τρόπος λειτουργίας. Ο μέσος όρος όμως έχει λάβει υπόψιν του κάποιους μήνες που παρουσιάζεται πολύ μικρός συντελεστής χρησιμοποίησης και έτσι υπάρχει πολύ μεγάλη απόκλιση ανάμεσα στην ισχύ αιχμής και το κατώφλι, έτσι υπάρχει ο κίνδυνος να υπάρχει πολύ μεγάλη παραγωγή για ορισμένους μήνες και να παρουσιαστούν ζημιές. Όμως, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, σκοπός είναι μια συντηρητική στρατηγική που να προστατεύει από αυτό το ενδεχόμενο. Έτσι με δοκιμή βρέθηκε

πως πρέπει να μειωθεί η ισχύς αιχμής κατά λιγότερο από το μέσο όρο και να τεθεί ως κατώφλι η μέγιστη ισχύς μειωμένη κατά 600 MW για τον ΥΣ D1, 700 MW για τον ΥΣ D2 και 650 MW για τον ΥΣ D3.

Μήνας	10/08	11/08	12/08	01/09	02/09	03/09	04/09	05/09	06/09	07/09	08/09	09/09	10/09
Αρχικό κόστος	55041	118064	153605	139466	138114	141731	132233	84950	74397	50617	48321	64203	52035
Pmax	1589,23	3558,57	3742,86	3552,87	3991,14	3831,33	3363,64	3285,9	2148,65	1616,33	1685,07	2422,95	1638,1
Κατώφλι ιδαν.	1033	2491	3144	3091	3153	3180	2960	2563	1590	792	1129	1478	1032
Κατώφλι λειπ.	989,23	2958,57	3142,86	2952,87	3391,14	3231,33	2763,64	2685,9	1548,65	1016,33	1085,07	1822,95	1038,1
Κέρδος μεγ.	3934	6417	3677,78	3255	5046	2943	3338	5924	4729	5939	1830	4876	4295
Κέρδος αναμ.	3911	3585	3677	2851	3715,8	2931	1349,9	5740,57	4703	4463,72	319,26	1923,92	4290

Πίνακας 5.7: Υπολογισμός αναμενόμενου κέρδους D1

Μήνας	10/08	11/08	12/08	01/09	02/09	03/09	04/09	05/09	06/09	07/09	08/09	09/09	10/09
Αρχικό κόστος	82503	99996	136498	139204	140111	146215	142787	143907	35869	61856	54605	52267	49193
Pmax	2311,11	2800	4085,53	3645,98	4065,38	4103,7	4131,43	5141,18	1462,86	1837,5	1730,3	1671,64	1784,48
Κατώφλι ιδαν.	1664	2128	3105	3172	3171	3324	2892	3496	1024	1323	1142	1120	1035
Κατώφλι λειπ.	1711,11	2200	3485,53	3045,98	3465,38	3503,7	3531,43	4541,18	862,86	1237,5	1130,3	1071,64	1184,48
Κέρδος μεγ.	4427	2401	5206	2314	4983	3180	8680	16250	3883	4152	2960	2760	4514
Κέρδος αναμ.	4379	2337	4805	1160,91	4217,81	1829,68	5743,56	8323,68	1377,41	3419,32	2583,72	2125,17	4476

Πίνακας 5.8: Υπολογισμός αναμενόμενου κέρδους D2

Μήνας	10/08	11/08	12/08	01/09	02/09	03/09	04/09	05/09	06/09	07/09	08/09	09/09	10/09
Αρχικό κόστος	62198	67802	73341	85482	83700	87797	67493	73800	93186	120181	123741	80890	80702
Pmax	1713,43	1867,57	1969,01	2295,65	2250	2221,05	1855,22	2625,58	2726,87	2646,59	3094,12	2483,02	2534,85
Κατώφλι ιδαν.	1148	1382	1398	1584	1665	1688	1243	1129	1827	2329	2630	1316	1673
Κατώφλι λειπ.	1063,43	1217,57	1319,01	1645,65	1600	1571,05	1205,22	1975,58	2076,87	1996,59	2444,12	1833,02	1884,85
Κέρδος μεγ.	3016	2335	2274	6326	4952	3695	5024	12002	6948	1129	3286	7561	5430
Κέρδος αναμ.	2371,56	1799,09	2112,42	6263,42	4901	3232,7	5003	5766,49	6180,09	-9241,62	1784,91	5736,67	1844,67

Πίνακας 5.9: Υπολογισμός αναμενόμενου κέρδους D3

Ο κανόνας λειτουργίας που θεσπίστηκε φαίνεται να δίνει σημαντικό κέρδος, αφού μόνο στην περίπτωση ενός μήνα σε έναν υποσταθμό παρουσιάστηκαν ζημιές (07/09 για τον ΥΣ D3) ενώ στο εύρος των 13 μηνών το σύστημα αποδίδει κέρδος και στους 3 ΥΣ. Συγκεκριμένα, το αθροιστικό κέρδος είναι €43461 για τον D1, €46778 για τον D2 και €37754 για τον D3 δηλαδή €127993 συνολικά για όλους τους ΥΣ. Τα αντίστοιχα ποσοστά μείωσης του κόστους της ΔΕΗ είναι 3,47%, 3,64% και 3,43% ή 3,52% για το σύνολο της εγκατάστασης.

Από τα παραπάνω φαίνεται πως αυτός ο τρόπος λειτουργίας είναι κερδοφόρος, και πως τα κέρδη που αποδίδει μάλιστα προσεγγίζουν τα μέγιστα αναμενόμενα. Ακόμα, αποδεικνύεται, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, πως είναι εξίσου σκόπιμη η εφαρμογή του συστήματος peak-shaving

και στους 3 διαφορετικούς ΥΣ.

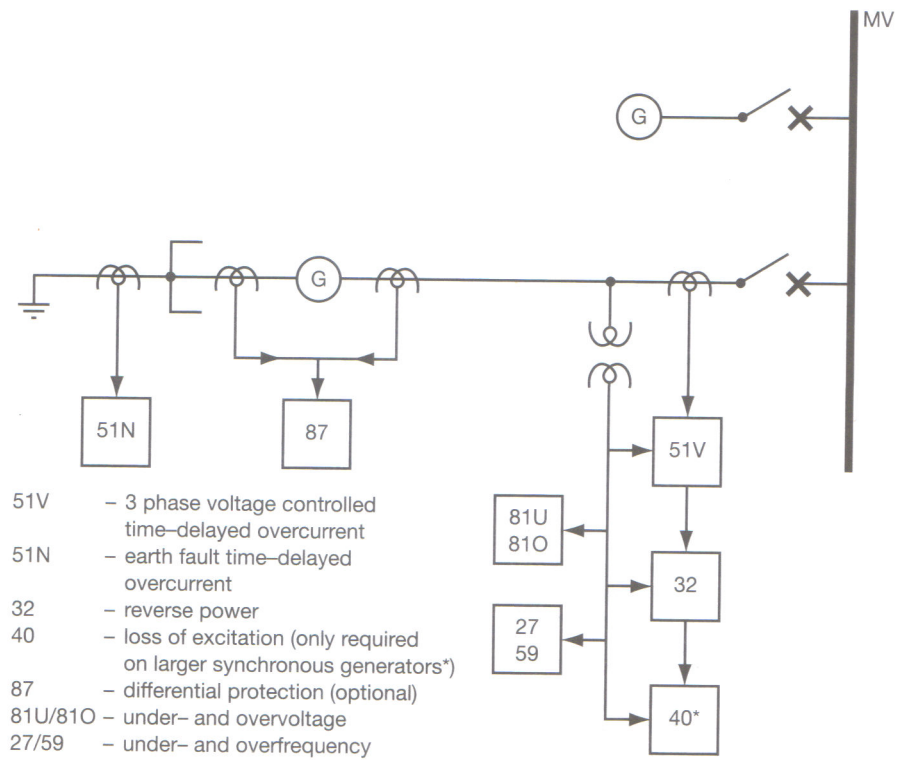
5.3 Προστασία και έλεγχος

Οι απαιτήσεις για προστασία και έλεγχο των ΗΖ διαφέρουν ανάλογα με την εφαρμογή. Είναι διαφορετικές όταν τα ΗΖ λειτουργούν για peak-shaving και διαφορετικές όταν καλούνται να αναλάβουν από μόνα τους το φορτίο και να συμβάλλουν στη δημιουργία ενός αυτόνομου μικροδικτύου.

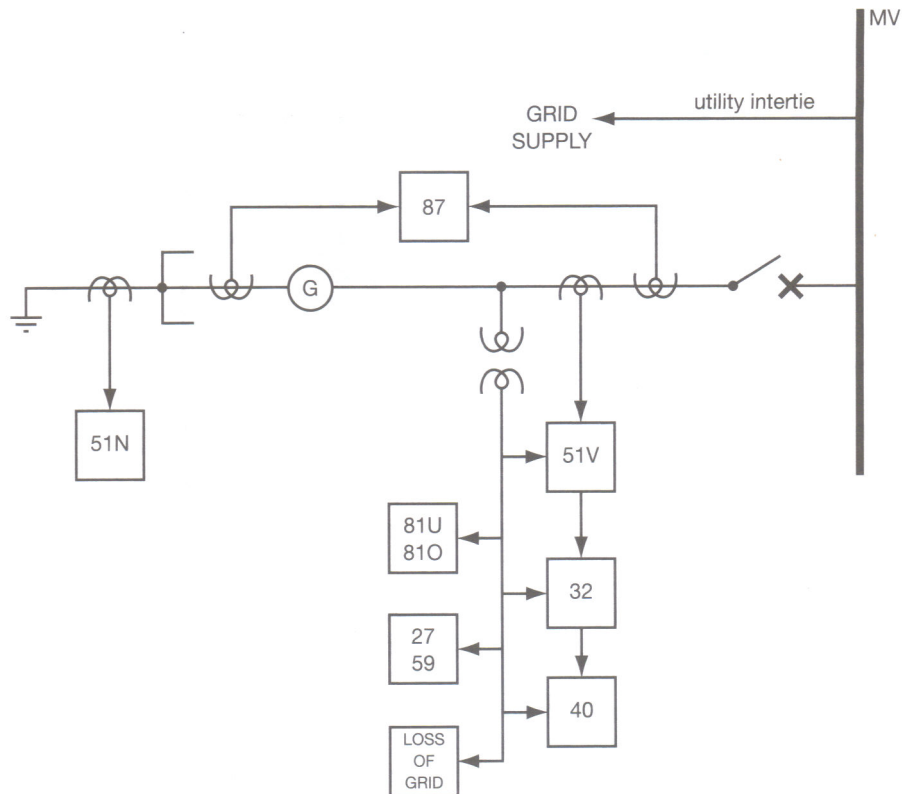
Για να λειτουργήσει η εφαρμογή του peak-shaving πρέπει απλώς τα ΗΖ να παρέχουν ενεργό ισχύ στο δίκτυο. Δεν απαιτείται έλεγχος της τάσης εξόδου αφού αυτή προσδιορίζεται από το κυρίως δίκτυο. Είναι όμως απαραίτητος έλεγχος ο $P-f$ για να μπορεί να προσδιορίζεται η ποσότητα της ισχύος που παράγει το κάθε ΗΖ.

Για να μπορέσει να σταθεί ένα αυτόνομο σύστημα πρέπει και η τάση και η συχνότητα να είναι εντός ορίων. Αφού δεν υπάρχει πια το κυρίως δίκτυο, τα ΗΖ ορίζουν μόνα τους τις σωστές τιμές V , f . Η λύση είναι το πρώτο ΗΖ σε σειρά ένταξης να λειτουργεί σαν αφέντης (master) με βάση κάποιες τιμές τάσης και συχνότητας που θα του προσδιορίζονται από ηλεκτρονικούς controllers. Τα υπόλοιπα ΗΖ που θα συνδέονται στο μικροδίκτυο θα ακολουθούν αυτές τις τιμές σαν σκλάβοι (slaves) έτσι ώστε να δημιουργείται ένα συγχρονισμένο δίκτυο. Αυτή η διαδικασία είναι αντίστοιχη με το black start που αναφέρθηκε στο πρώτο κεφάλαιο. Ταυτόχρονα ισχύει και η τήρηση στρεφόμενης εφεδρείας και σεβασμός του τεχνικού ελαχίστου των ΗΖ όπως αναφέρθηκε παραπάνω, όπως επίσης και η εναλλαγή του αφέντη για να μην υπάρχει ΗΖ με πολλές φθορές. Τα ΗΖ μπορούν να ακολουθούν την τάση και τη συχνότητα του αφέντη είτε διαβάζοντας τα από το δίκτυο είτε επικοινωνώντας μαζί του μέσω του δικτύου οπτικών ινών και του SCADA.

Οι ανάγκες προστασίας των ΗΖ είτε αφορούν στην παράλληλη λειτουργία τους με το δίκτυο, είτε στην αυτόνομη λειτουργία του μικροδικτύου σε κατάσταση νησιδοποίησης είναι αντίστοιχες, παρακάτω φαίνονται τα σχήματα της προστασίας:



Σχήμα 5.4: Ηλεκτρονόμοι προστασίας για ΗΖ συνδεδεμένο παράλληλα με άλλα ΗΖ σε απομονωμένο δίκτυο



- 51V – 3 phase voltage-controlled time-delayed overcurrent
- 51N – earth fault time-delayed overcurrent
- 32 – reverse power
- 40 – loss of excitation
- 87 – differential
- 81U/81O – under- and overfrequency
- 27/59 – under- and overvoltage
- LOSS OF GRID – requirement in UK

Σχήμα 5.5: Ηλεκτρονόμοι προστασίας για ΗΖ συνδεδεμένο παράλληλα με δίκτυο μέσης τάσης

Μια γεννήτρια που βρίσκεται συνδεδεμένη παράλληλα με ένα δίκτυο μέσης τάσης πρέπει να έχει τα ακόλουθα προστατευτικά μέσα. Πρώτον ένα τριφασικό ηλεκτρονόμο υπερέντασης με χρονική καθυστέρηση (three-phase time-delayed voltage controlled overcurrent – 51V) και έναν υπερέντασης σφάλματος γης με χρονική καθυστέρηση (earth fault time-delayed overcurrent – 51N). Ακόμα έναν φασικής διαφορικής προστασίας (phase differential protection – 87), αντίστροφης ροής ισχύος (reverse power – 32), υπερ/υποσυχνότητας (under-over frequency – 81U/O), υπέρ/υπότασης (under-over voltage – 27/59), απώλειας διέγερσης (loss of excitation – 40) και σε ορισμένα δίκτυα και εφαρμογές υπάρχει η ανάγκη για προστασία από απώλεια του κυρίως δικτύου (loss of mains).

Αντίστοιχα είναι και τα προστατευτικά μέσα που απαιτούνται στην περίπτωση που αντί του κυρίως δικτύου, παράλληλα με την γεννήτρια λειτουργούν άλλες γεννήτριες, όπως φαίνεται και στα σχήματα.

Η κάθε μία από αυτές τις προστασίες εφαρμόζεται για διαφορετικούς λόγους ενώ υπάρχουν και διάφοροι τρόποι υλοποίησης των προστασιών αυτών:

- Προστασία υπέρεντασης

Το κύριο έργο που επιτελεί αυτή η προστασία είναι να αποσυνδέει την γεννήτρια σε περίπτωση που κάποιο σφάλμα στο δίκτυο δεν εκκαθαριστεί μέσα σε κάποιο αποδεκτό χρονικό διάστημα. Με τον τρόπο αυτό προστατεύει το δίκτυο από ζημιές και την γεννήτρια από το να ξεπεράσει τα θερμικά όρια λειτουργίας της. Αν πρόκειται για στοιχείο που δρα ακαριαία πρέπει να αντιδρά μόνο σε σφάλματα που βρίσκονται πολύ κοντά στη γεννήτρια. Αν πρόκειται για στοιχείο με χρονική καθυστέρηση πρέπει να συνεργάζεται σωστά με τα υπόλοιπα αντίστοιχα στοιχεία του δικτύου. Αν οι σταθερές ρεύματος και χρόνου στις οποίες αντιδρά το στοιχείο είναι πολύ χαμηλές τότε θα ανοίγει περιττά σε καταστάσεις υπερφόρτισης ή μεταβατικών του φορτίου, ενώ αν είναι ρυθμισμένες σε μεγάλες τιμές τότε το στοιχείο κινδυνεύει να μην ανοίξει σε κάποιο σφάλμα το οποίο βρίσκεται εντός της περιοχής ευθύνης του.

Η ελεγχόμενη από τάση προστασία με χρονική καθυστέρηση (51V) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ανιχνεύσει σφάλματα φάσεων και γης. Τα χαρακτηριστικά λειτουργίας εξαρτώνται από το μέτρο της τάσης. Όσο μειώνεται η τάση τόσο αυξάνονται τα όρια έντασης αλλά και τα χρονικά περιθώρια που ανοίγει ο διακόπτης.

- Προστασία σφαλμάτων γης

Για μια γεννήτρια που συνδέεται στο δίκτυο MT μέσω ενός μετασχηματιστή ανύψωσης με γειωμένο αστέρα από την πλευρά του δικτύου, ένας ηλεκτρονόμος υπέρεντασης σφάλματος γης με χρονική καθυστέρηση χρησιμοποιείται για την εκκαθάριση τέτοιων σφαλμάτων.

- Προστασία υπερ/υπότασης

Ένας ηλεκτρονόμος υπότασης μπορεί να ανιχνεύσει ένα κοντινό σφάλμα στο κυρίως δίκτυο, ανοίγοντας τον διακόπτη διασύνδεσης έτσι ώστε το μικροδίκτυο να συνεχίσει να λειτουργεί αυτόνομα. Η υπέρταση προκαλεί προβλήματα στις μηχανές όταν έχει διάρκεια, αν και μπορεί να μην είναι ανιχνεύσιμη σε σύγχρονες μηχανές αφού θα απορροφηθεί από το σύστημα ελέγχου της τάσης εξόδου με ανάλογη ρύθμιση της διέγερσης.

- Προστασία υπερ/υποσυχνότητας

Οι ηλεκτρονόμοι υποσυχνότητας βοηθούν στην ανίχνευση καταστάσεων υπερβολικής φόρτισης των γεννητριών. Στην περίπτωση που η συχνότητα πέσει κάτω από μια ελάχιστη τιμή (συνήθως τα 47 Hz) τότε η γεννήτρια αποσυνδέεται από όλα τα φορτία της. Ο χρόνος που συμβαίνει αυτό όμως είναι σχετικά μεγάλος (0,5-1s) αφού πρώτα γίνονται απόπειρες να διορθωθεί η συχνότητα μέσω απόρριψης φορτίου (load shedding).

Οι ηλεκτρονόμοι υπερσυχνότητας χρησιμεύουν στην προστασία των γεννητριών από ανάπτυξη υπερβολικής ταχύτητας κατά την απώλεια φορτίου. Σε κανονικές συνθήκες ο ελεγκτής της γεννήτριας παρέχει έλεγχο συχνότητας και ο ηλεκτρονόμος αποτελεί το εφεδρικό μέσο προστασίας. Ο ηλεκτρονόμος ανοίγει αν ανιχνεύσει συχνότητα μεγαλύτερη των 50,5-52,5 Hz για περισσότερο από 0,5 έως 1 sec.

- Αντίστροφη ροή ισχύος

Ο ηλεκτρονόμος αυτός παρέχει εφεδρική προστασία για την κινητήρια μηχανή. Ανιχνεύει την αντίστροφη ροή ισχύος και ανοίγει όταν η κινητήρια μηχανή βγει εκτός λειτουργίας και η γεννήτρια λειτουργήσει σαν κινητήρας τραβώντας ισχύ από το δίκτυο. Ένας κινητήρας ντίζελ θα μπορούσε να πάρει φωτιά ή και να εκραγεί από το άκαυτο μείγμα καυσίμου. Στην περίπτωση λοιπόν ενός HZ ντίζελ, αυτό θα έπρεπε να βγει εκτός λειτουργίας όταν παρέχει λιγότερο από το 25% της ονομαστικής του ισχύος, ενώ οι σταθερές χρόνου λειτουργίας για την προστασία αυτή είναι αρκετά μεγάλες, συνήθως από 15 έως 30 sec.

- Απώλεια διέγερσης

Ουσιαστικά πρόκειται για συμπληρωματική προστασία σε αυτήν των ορίων τάσης. Στην περίπτωση λοιπόν που η απώλεια του ρεύματος διέγερσης δεν βγάλει την τάση εκτός των ορίων της, ο ηλεκτρονόμος αυτός είναι σε θέση να ενημερώσει τον ελεγκτή για την απώλεια της διέγερσης και να γίνει η κατάλληλη ενέργεια. Η γεννήτρια πρέπει να αποσυνδεθεί μόνο αν υπάρχει κίνδυνος αστάθειας στο δίκτυο. Αυτό υπό κανονικές συνθήκες συμβαίνει μόνο αν η τάση εκείνη τη στιγμή βρίσκεται πολύ κοντά στα κατώτατα όριά της. Γενικά όσο μεγαλύτερη είναι μια γεννήτρια, τόσο πιο πολύ χρόνο χρειάζεται για να αποσυγχρονιστεί σε περίπτωση απώλειας διέγερσης.

6 Συμπεράσματα και προοπτικές

6.1 Συμπεράσματα

Η διπλωματική αυτή εργασία ανέδειξε τη σημασία της λειτουργίας μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής. Στην εφαρμογή που παρουσιάστηκε αυτές είναι σε θέση να αυξήσουν την αξιοπιστία ενός συστήματος αλλά και να μειώσουν σημαντικά το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας μέσω της εξομάλυνσης της καμπύλης φορτίου και της αύξησης του συντελεστή χρησιμοποίησης. Στην παρούσα οικονομική συγκυρία μάλιστα, είναι πολύ σημαντική η εκμετάλλευση όλων των δυνατοτήτων του εξοπλισμού, και η εφαρμογή peak-shaving με χρήση εφεδρικών μέσων συνεισφέρει σημαντικά προς αυτή την κατεύθυνση.

Η σύγχρονη βιβλιογραφία [4] αλλά και τα τεχνικά εγχειρίδια [15] των ηλεκτρονόμων και των ηλεκτροπαραγωγών ζευγών παρέχουν λύσεις στα προβλήματα της προστασίας και ελέγχου που ανακύπτουν. Επίσης παρουσιάζονται όλοι οι εναλλακτικοί τρόποι αντιμετώπισης της νησιδοποίησης καθώς και οι απαραίτητες ενέργειες που απαιτούνται για τη δημιουργία αυτόνομων δικτύων με χρήση περισσότερων ΗΖ.

Ο αλγόριθμος υπολογισμού του μέγιστου κέρδους από την εξομάλυνση της καμπύλης φορτίου με αυτοπαραγωγή δίνει μια επί της αρχής εκτίμηση για την σκοπιμότητα μιας τέτοιας επένδυσης. Εδώ, λόγω των αρχείων που καταγράφει τις μετρήσεις η ΔΕΗ, χρησιμοποιήθηκε μια απλή γλώσσα προγραμματισμού (GNUPascal) που διευκόλυνε την ανάγνωση των αρχείων, θα μπορούσε όμως εξίσου να χρησιμοποιηθεί ένα άλλο υπολογιστικό πακέτο. Ακόμα με βάση αυτά τα αποτελέσματα θεσπίστηκε ένας κανόνας λειτουργίας, και έγινε εξομοίωσή του (Excel) ώστε να δοθεί και μια εκτίμηση των αναμενόμενων κερδών σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας. Η ιδιαιτερότητα της συγκεκριμένης εφαρμογής έγκειται στο ότι οι καταναλώσεις του ΟΑΚΑ, σε αντίθεση με κάποιον βιομηχανικό καταναλωτή, παρουσιάζουν μεγάλη τυχαιότητα γιατί προκαλούνται από τις επιμέρους εκδηλώσεις, και ο τρόπος λειτουργίας πρέπει να είναι αποτελεσματικός σε ένα τέτοιο περιβάλλον αβεβαιότητας.

Τέλος παρουσιάστηκαν συγκεκριμένες διατάξεις ηλεκτρονόμων προστασίας, με βάση την θεωρητική εισαγωγή και ανάλογα με τις ιδιαιτερότητες της συγκεκριμένης εφαρμογής.

6.2 Προοπτικές

Η σωστή λειτουργία ενός συστήματος peak-shaving, απαιτεί ιδανικά την εκ των προτέρων γνώση της καμπύλης φορτίου, για το λόγο αυτό θα ήταν γόνιμο να συνδυαζόταν η ιδέα του peak-shaving με ένα μαθηματικό μοντέλο πρόγνωσης φορτίου που θα έδινε επιπλέον πληροφορία για την σωστή λειτουργία του συστήματος και τη μεγιστοποίηση του κέρδους.

Τέλος, η τεχνοοικονομική μελέτη θα ήταν πλήρης αν είχαν κοστολογηθεί όλες οι αλλαγές σε προστατευτικά μέσα και ελεγκτές που απαιτούνται για την λειτουργία του συγκεκριμένου συστήματος, και είχε βρεθεί ο χρόνος απόσβεσης της επένδυσης.

Παράρτημα Α

Παρακάτω φαίνεται το πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό του βέλτιστου κατώφλιού ένταξης, και του μέγιστου κέρδους λειτουργίας από την εφαρμογή του συστήματος Peak-shaving στο ηλεκτρικό σύστημα του ΟΑΚΑ. Κάθε φορά που τρέχει το πρόγραμμα πρέπει να αλλάζει το μέγεθος του πίνακα εισόδου (ArraySize) ανάλογα με το πόσες μέρες έχει ο μήνας. Επίσης πρέπει να αλλάζει κάθε φορά το όνομα του αρχείου εισόδου, που περιέχει όλες τις μετρήσεις για τον μήνα (filename). Το πρόγραμμα δίνει στην έξοδο τις ιδανικές τιμές για το γενικό κατώφλι καθώς και το κατώφλι ωρών αιχμής, το μέγιστο αναμενόμενο κέρδος καθώς και ορισμένα άλλα στοιχεία που βελτιώνουν την εποπτεία πάνω στα αποτελέσματα, όπως η μεταβολή του συντελεστή χρησιμοποίησης και η ποσοστιαία μεταβολή του κόστους ενέργειας.

```
Program Threshold (input,output);
const
  ArraySize = (31*96) ;
type
  asdf = array [1 .. ArraySize] of integer;
function UsageFactor (PowerArray : asdf) : real;
var
  MaxPower,TotalEnergy,i:integer;
  AVGPowerr : real;
begin
  MaxPower := 0 ;
  TotalEnergy:=0 ;
  for i := 1 to ArraySize do
    begin
      TotalEnergy := TotalEnergy + PowerArray[i];
      if PowerArray[i] >= MaxPower then
        MaxPower := PowerArray[i];
      end;
      AVGPowerr := TotalEnergy/ArraySize;
      UsageFactor := AVGPowerr/MaxPower;
    end;
end;
function DEICost (PowerArray : asdf) : real;
var
  MaxPower, MaxPowerPeakTime, i : integer;
  TotalEnergy, EnergyCost, PowerCost, TotalCost, PerUnitPowerCost,
  PerUnitEnergyCost, UsFactor, PowerDiscount : real;
begin
  PerUnitPowerCost := 12.064;
  PerUnitEnergyCost := 0.07185;
  MaxPower := 0;
  MaxPowerPeakTime := 0;
  TotalEnergy := 0;
  for i := 1 to ArraySize do
    begin
      if MaxPower < PowerArray[i] then
```

```

        MaxPower := PowerArray[i] ;
        if (i mod 96 >= 44) and (i mod 96 <= 56) then {An oi metriseis einai
gia wres aixmis}
        begin
            if MaxPowerPeakTime < PowerArray[i] then
            MaxPowerPeakTime := PowerArray[i]; {Orismos tis megistis
isxyos tis wres aixmis}
            end;
            TotalEnergy := TotalEnergy + PowerArray[i];
        end;

        PowerCost := PerUnitPowerCost * MaxPower * 4 / 1000;
        EnergyCost := PerUnitEnergyCost * TotalEnergy/1000;
        TotalCost := PowerCost + EnergyCost;
        UsFactor := UsageFactor(PowerArray);

        if UsFactor > 0.3 then
        begin
            PowerDiscount := 0.5 - (0.5 * (MaxPowerPeakTime / MaxPower));
            PowerCost := PowerCost * (1 - PowerDiscount);
        end;

        DEICost := EnergyCost + PowerCost;
    end;

function HZcost (PowerArray : asdf) : real;

var
    HZEnergy, HZCostperkwh: real;
    i : integer;

begin
    HZcostperkwh := 0.34; //assumed own cost per kwh
    HZCost :=0 ;

    for i:=1 to ArraySize do
        HZEnergy := HZEnergy + PowerArray[i];
    end;
    HZCost := HZCostperkwh * HZEnergy / 1000;

var
    PowerArray, PowerArrayDEI, PowerArrayHZ : asdf;
    i,j,k, MaxPower, OptimalThreshold, Threshold, ThresholdPeak,
OptimalPeakThreshold : integer;
    InitialCost, MinimumCost, CostDEI, CostHZ : real;
    filename : string (64);
    aaa: text;

begin
    filename := "/home/lotv/kampyles ana mina/d1 10-08.csv";
    assign (aaa, filename);
    reset (aaa);
    MaxPower :=0;

    for i := 1 to ArraySize do
    begin
        read (aaa, PowerArray[i]);
        if MaxPower < PowerArray[i] then
            MaxPower := PowerArray[i] ;
        end;

        InitialCost := DEICost(PowerArray);
        MinimumCost := InitialCost;
        Threshold := MaxPower + 10000;

        while Threshold >= 10000 do {diadoxikes meiwseis tou genikou katwfliou}
        begin
            Threshold := Threshold - 10000;
            ThresholdPeak:= Threshold + 10000; {peak always <= threshold}
        end;
    end;
end;

```



```

while ThresholdPeak >= 10000 do {meiwseis tou peakttime katwfliou}
begin
    ThresholdPeak := ThresholdPeak - 10000;

    for j := 1 to ArraySize do
    begin
        if (((j mod 96) >= 48) and ((j mod 96) <= 60)) then //if
peak time
            begin
                if PowerArray[j] > ThresholdPeak then
                begin
                    PowerArrayDEI [j] := ThresholdPeak;
                    PowerArrayHZ [j] := PowerArray[j] -
ThresholdPeak;

                end
                else
                begin
                    PowerArrayDEI [j] := PowerArray[j];
                    PowerArrayHZ [j] := 0;

                end;
            end

        else {not peak time}
        begin
            if PowerArray[j] > Threshold then
            begin
                PowerArrayDEI [j] := Threshold;
                PowerArrayHZ [j] := PowerArray[j] -
Threshold;

            end
            else
            begin
                PowerArrayDEI [j] := PowerArray[j];
                PowerArrayHZ [j] := 0;

            end;
        end; //else not peak time

    end; //reading j values
    CostDEI := DEIcost (PowerArrayDEI);
    CostHZ := HZcost (PowerArrayHZ);
    if (costDEI + costHZ) < MinimumCost then //κράτα τα
κατώφλια και το κόστος αν αυτό είναι ελάχιστο
    begin
        MinimumCost := (costDEI + costHZ);
        OptimalThreshold := Threshold;
        OptimalPeakThreshold := ThresholdPeak;
        //writeln("found new thresholds. general was ",
optimalthreshold , " and peak ", optimalpeakthreshold);
    end;
    end; // ThresholdPeak
end; //Threshold

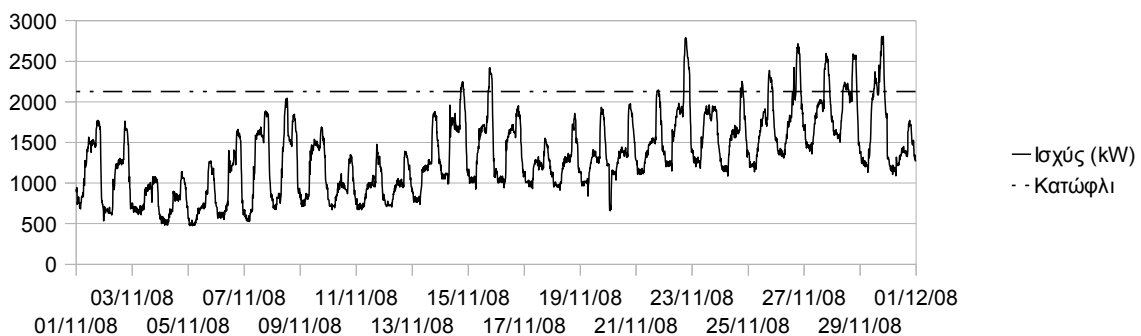
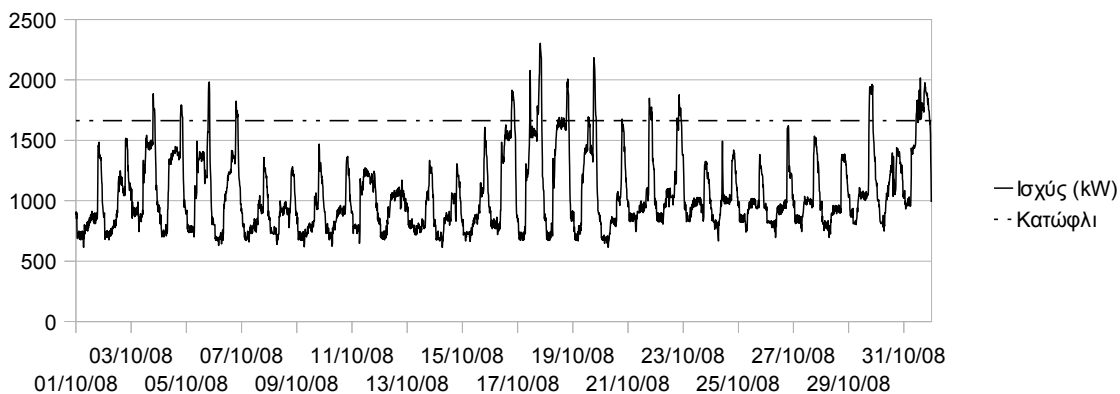
    writeln ;
    writeln ("Ο αρχικός συντελεστής χρησιμοποίησης του δικτύου ήταν ",
UsageFactor(PowerArray)*100:2:2);
    writeln ("Το αρχικό κόστος ΔΕΗ ήταν ", InitialCost:2:2);
    writeln ("Το βέλτιστο κατώφλι ορίστηκε σε " , OptimalThreshold * 4/
1000:2:2);
    writeln ("Το βέλτιστο κατώφλι Peak ορίστηκε σε " , OptimalPeakThreshold *
4 / 1000:2:2);
    writeln ("Το τελικό κόστος ΔΕΗ προέκυψε " , MinimumCost:2:2);
    writeln ("Το κέρδος είναι " , (InitialCost - MinimumCost):2:2);
    writeln ("Η ποσοστιαία μεταβολή του κόστους είναι " , ((InitialCost -
MinimumCost)/InitialCost)*100:2:2, "%");
    writeln ("Λόγος κατώφλι προς μέγιστη ισχύ " ,
OptimalThreshold/MaxPower:2:2);
    writeln (filename);
    writeln ;
end.

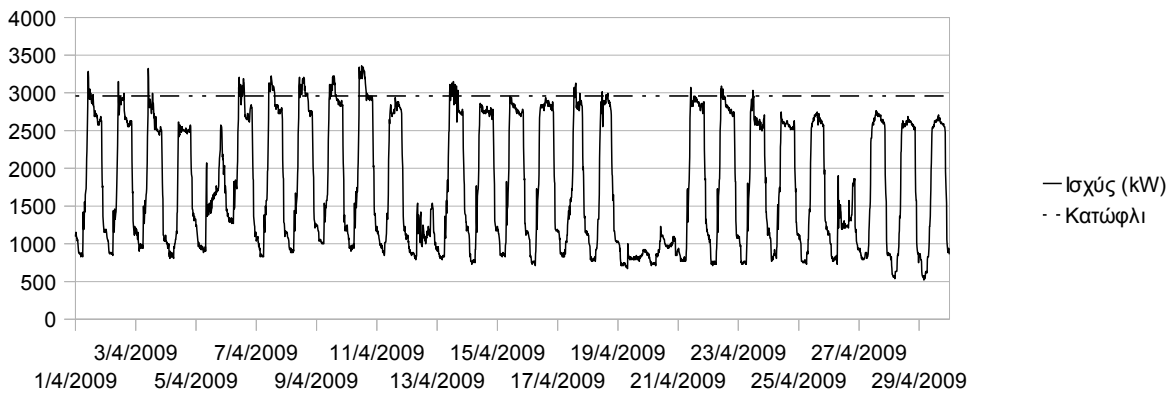
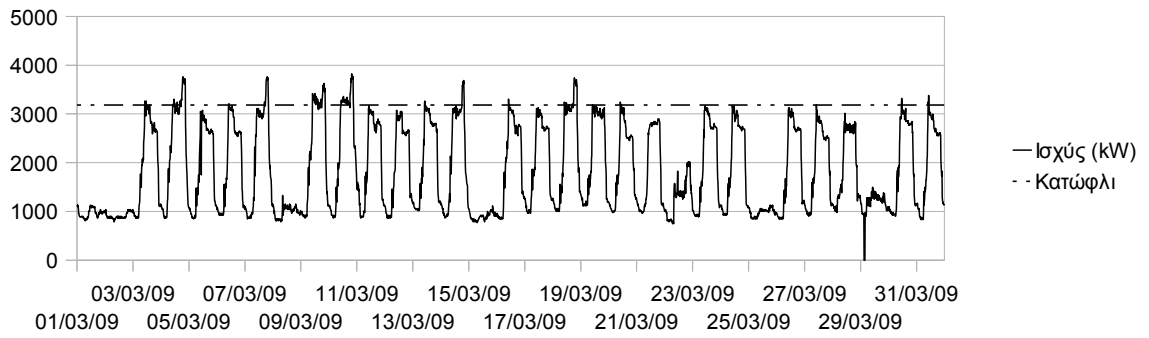
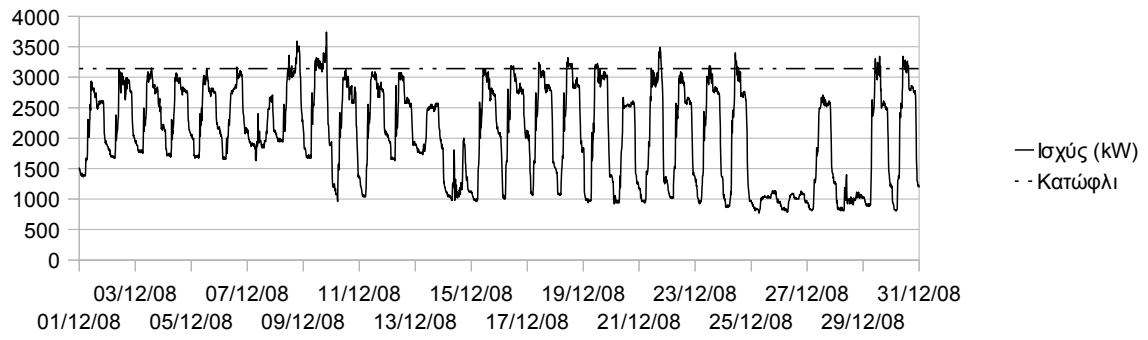
```

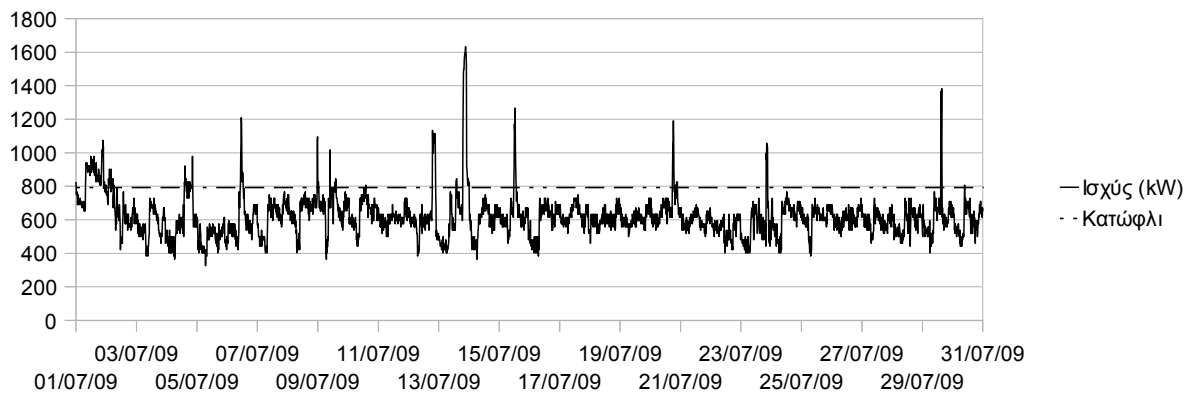
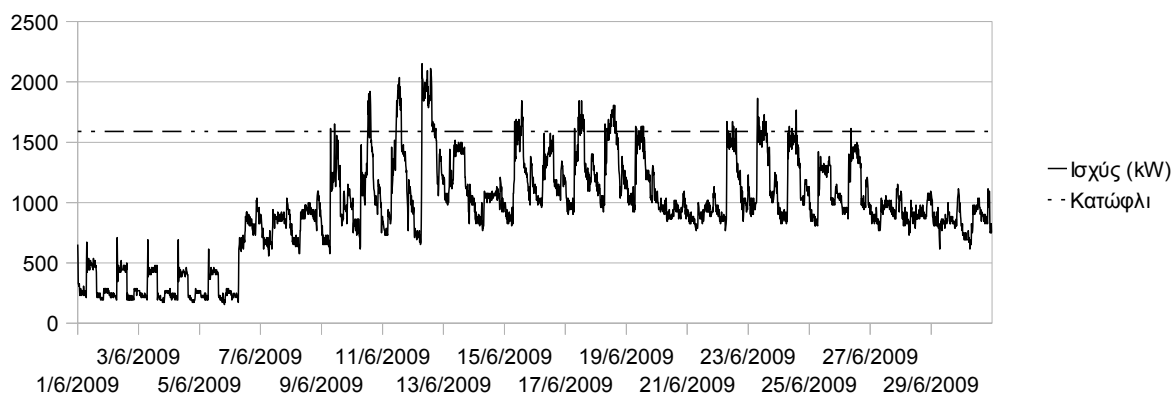
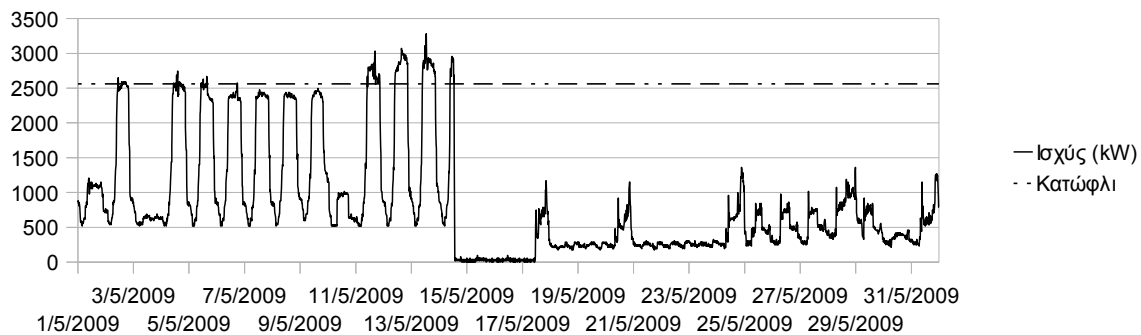
Παράρτημα Β

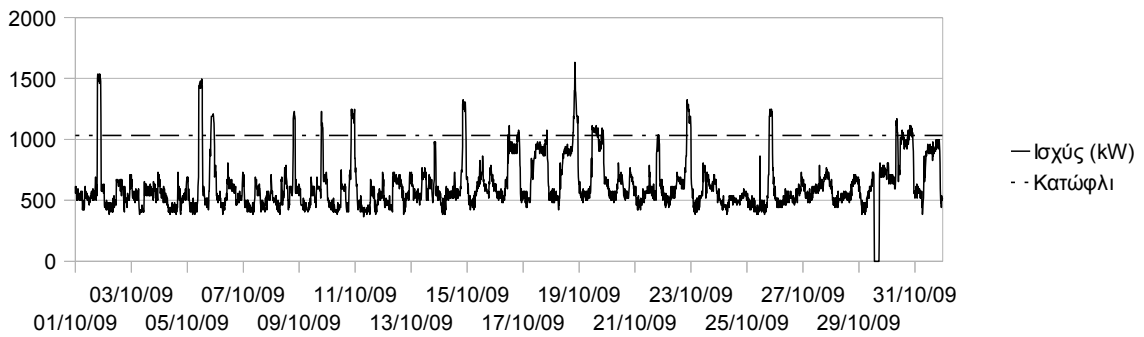
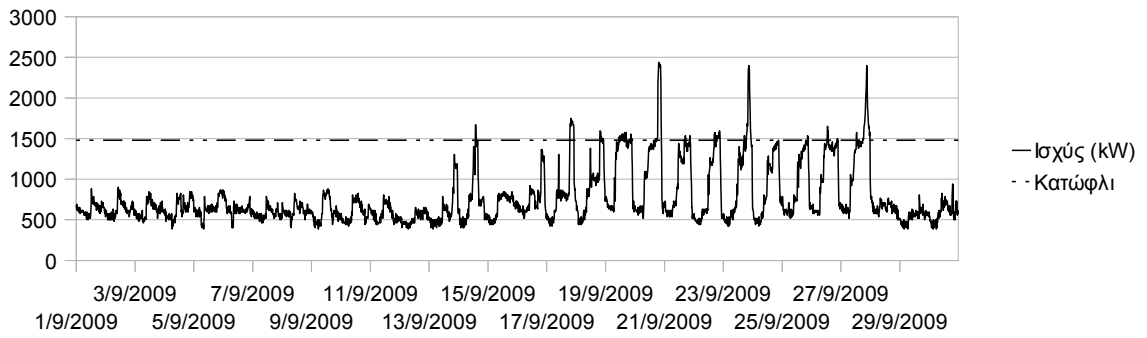
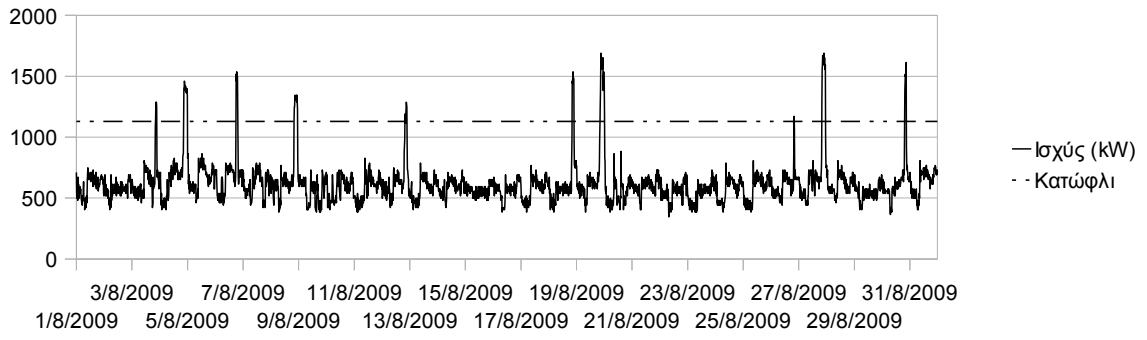
Παρακάτω φαίνονται τα αποτελέσματα της εφαρμογής του αλγορίθμου υπολογισμού του ιδανικού τρόπου λειτουργίας του peak-shaving πάνω στις μηνιαίες καμπύλες φορτίου των τριών υποσταθμών, με διακεκομμένη γραμμή φαίνεται η τιμή πάνω από την οποία η κατανάλωση καλύπτεται από τα ΗΖ. Παρόλο που σε ορισμένους μήνες οι καταγεγραμμένες καμπύλες φορτίου εμφανίζουν προφανή σφάλματα (επαναλαμβανόμενες μηδενικές τιμές, όπως στην περίπτωση του Ιουνίου 2009 του ΥΣ D2), χρησιμοποιήθηκαν όμως αυτές οι μετρήσεις, ως πραγματικά δεδομένα.

Καταναλώσεις ΥΣ D1 ανά μήνα:

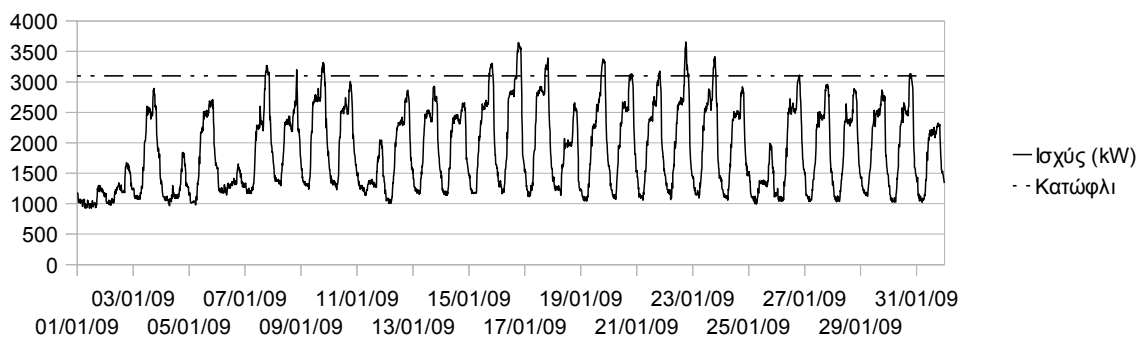
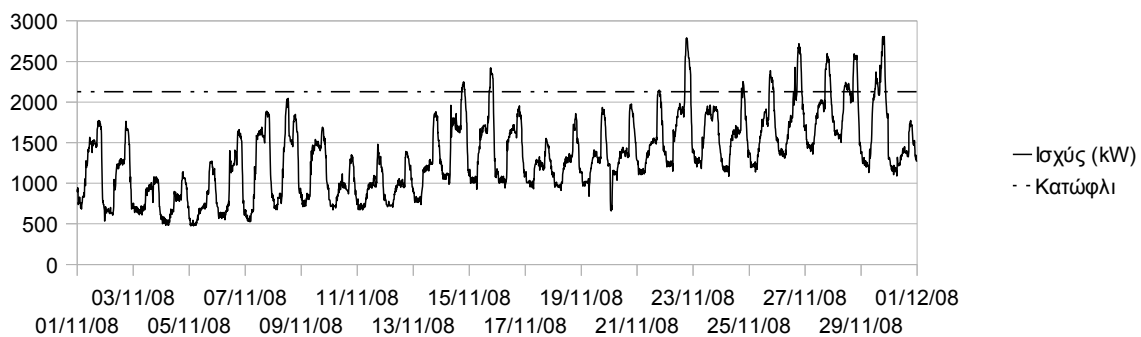
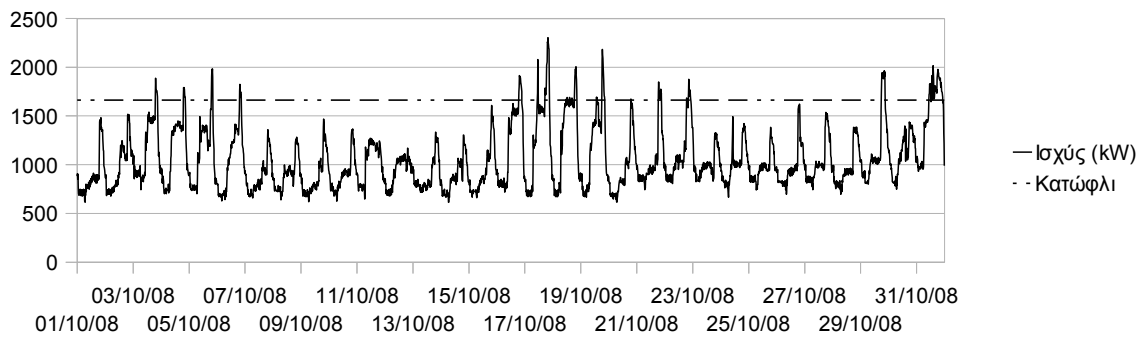


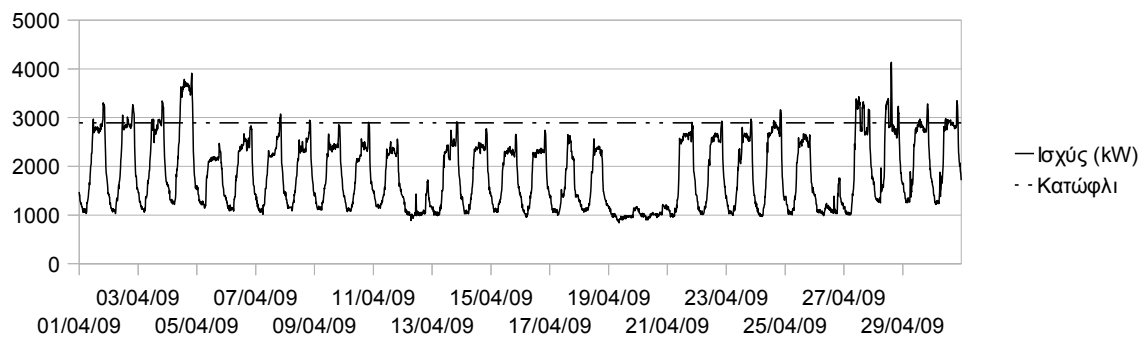
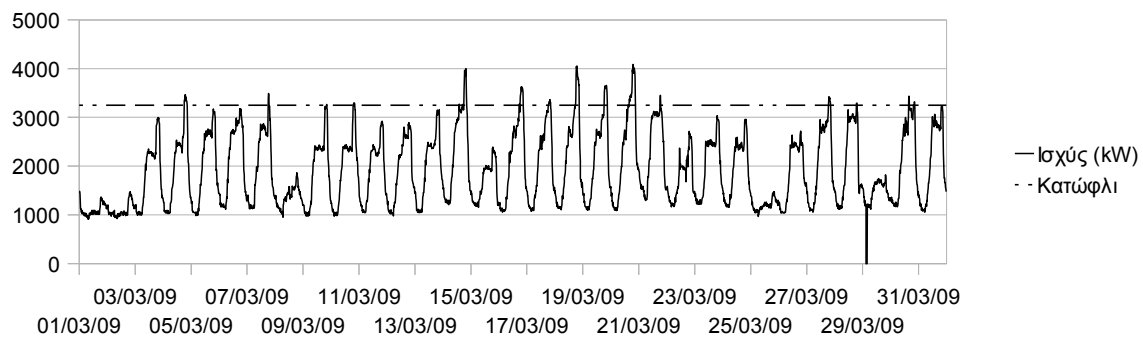
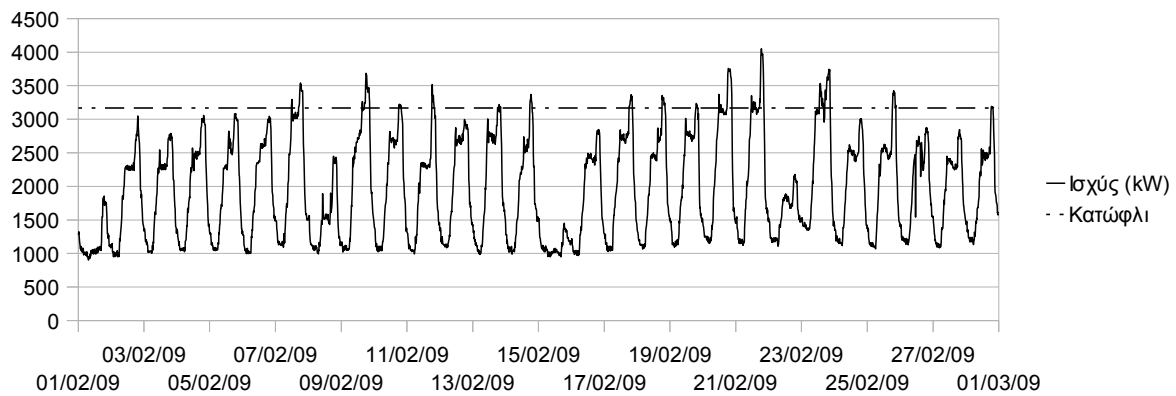


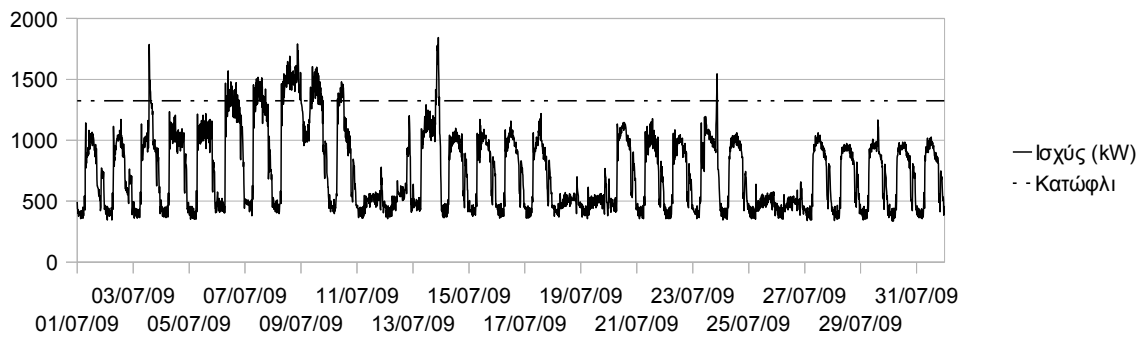
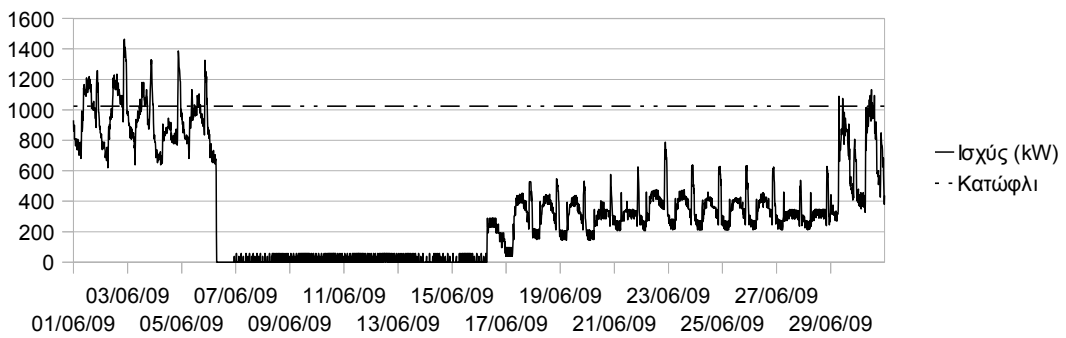
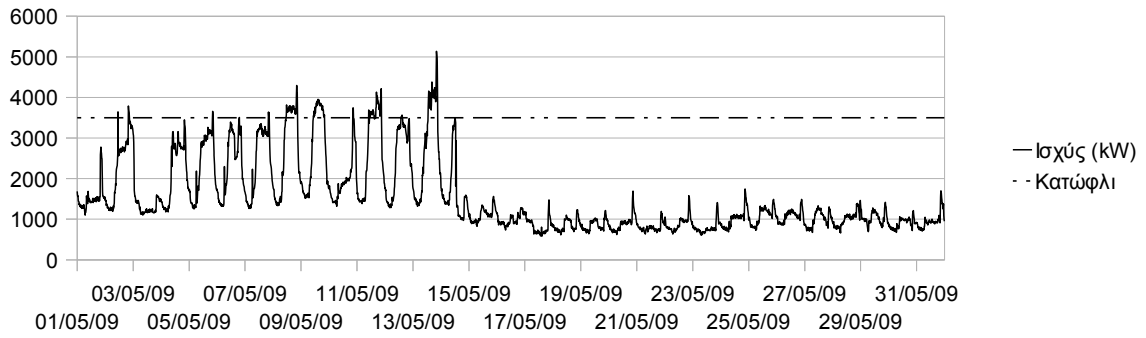


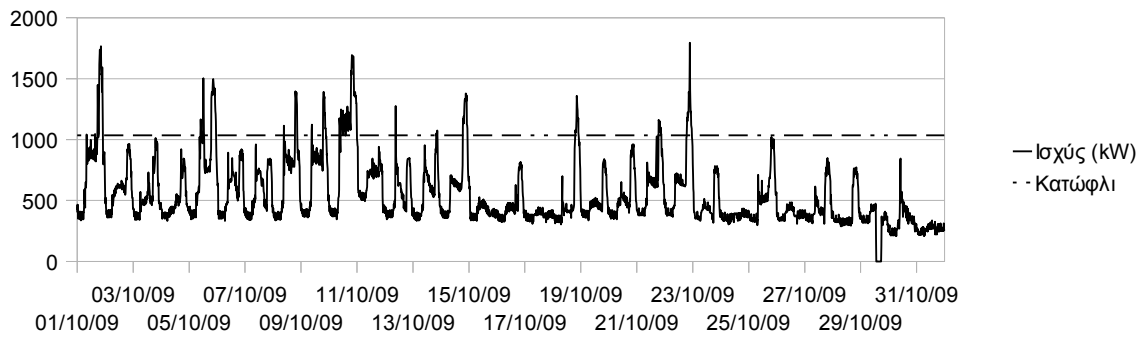
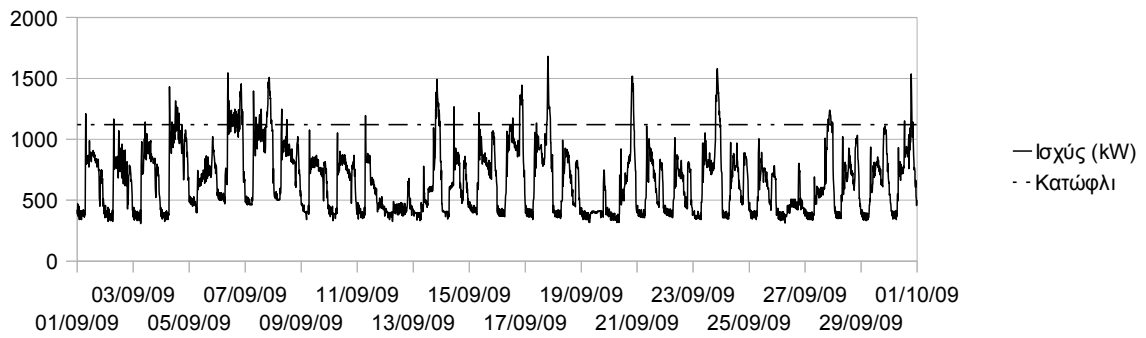
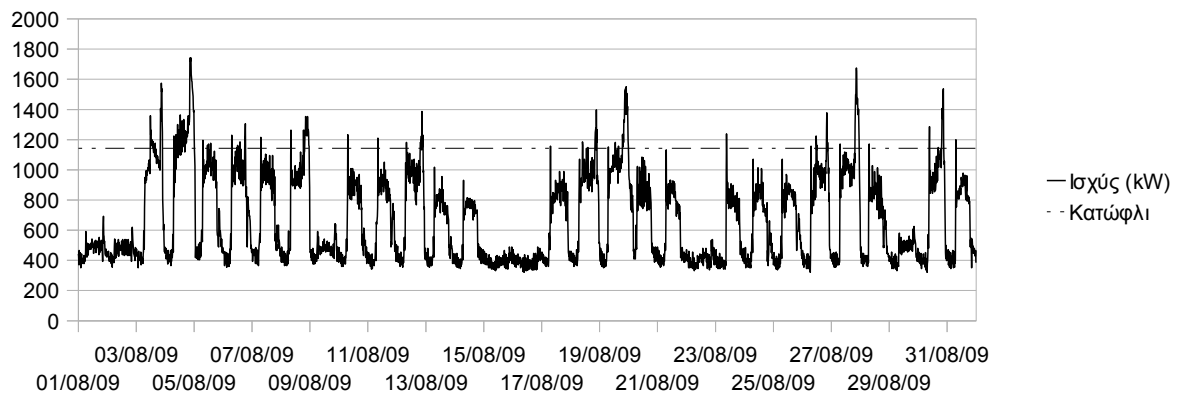


Καταναλώσεις ΥΣ D2 ανά μήνα:

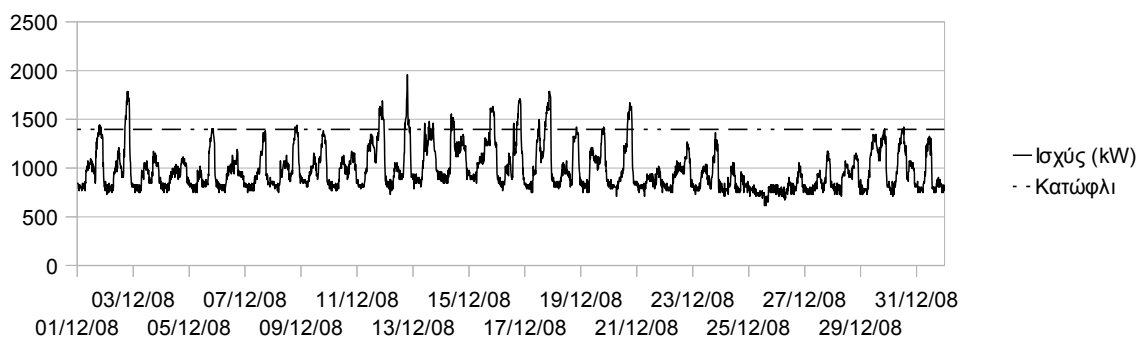
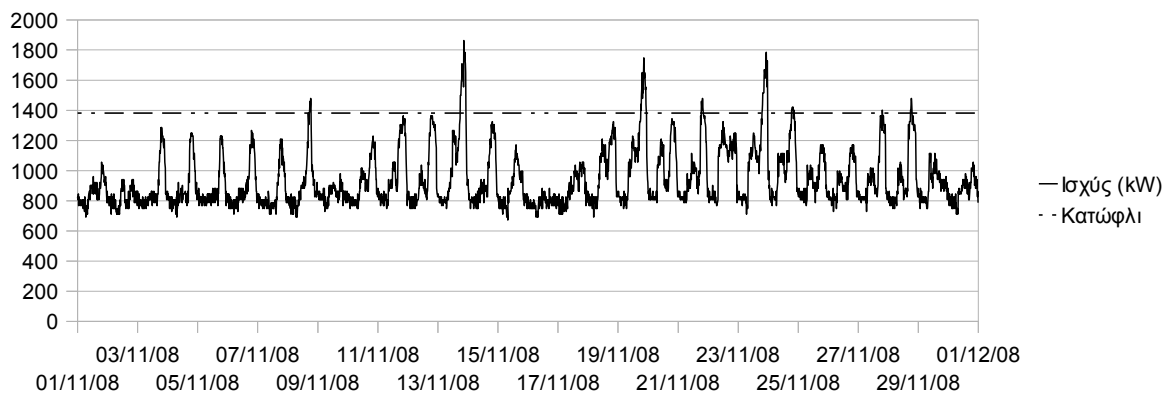
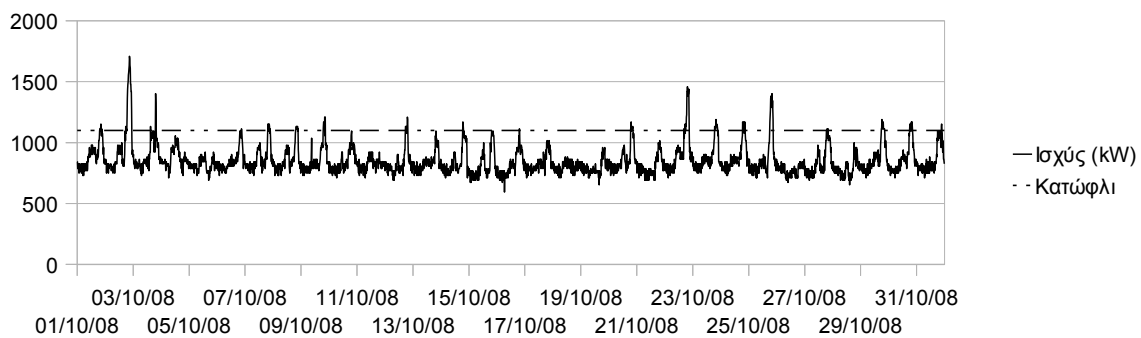


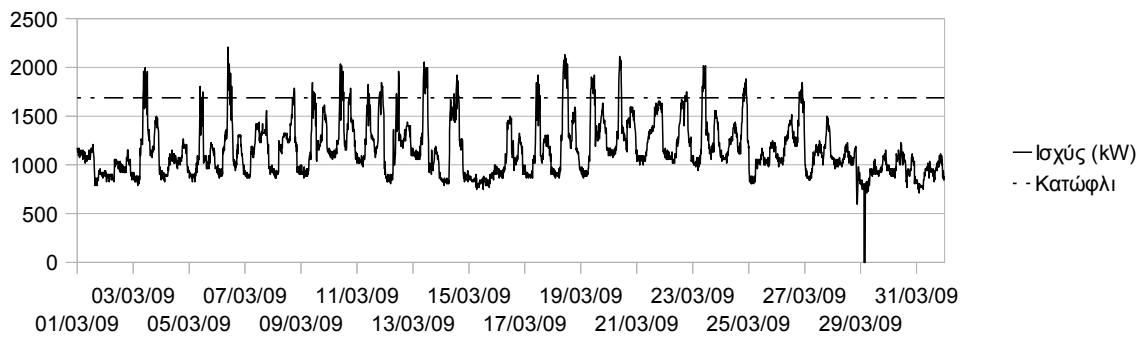
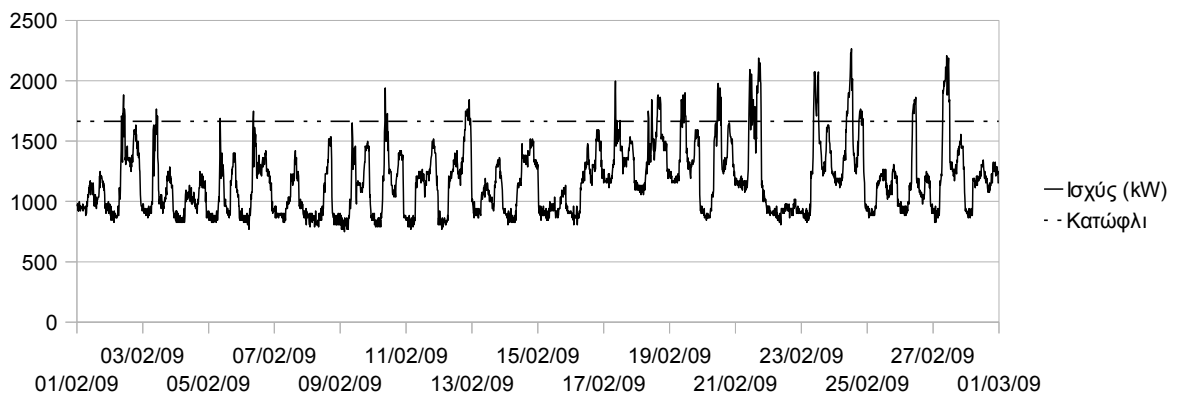
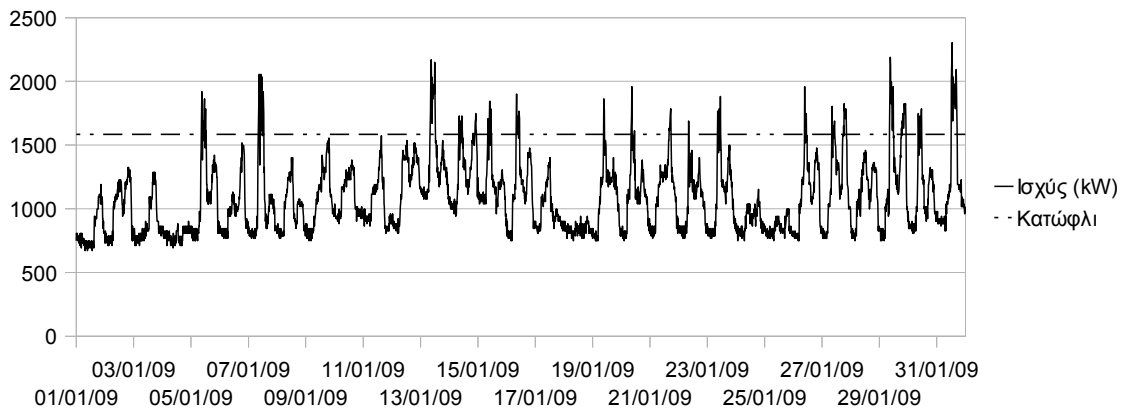


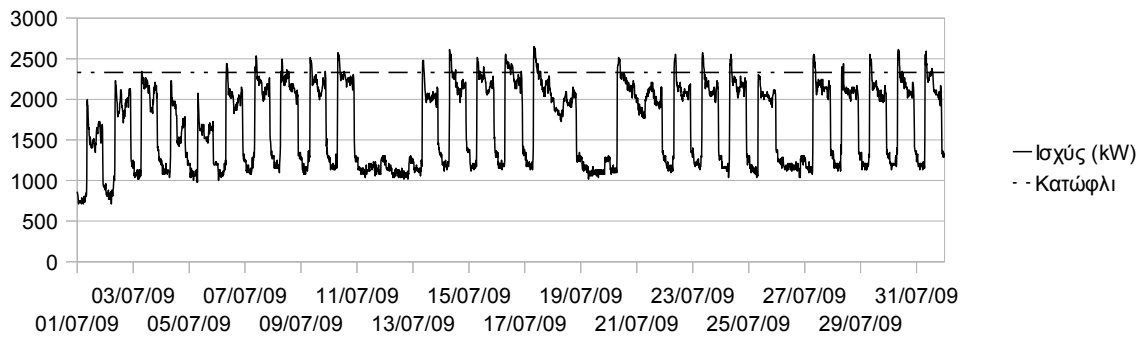
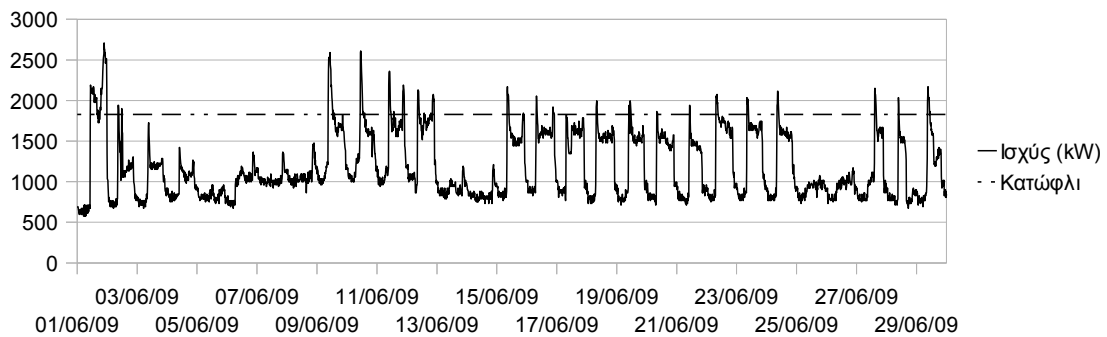
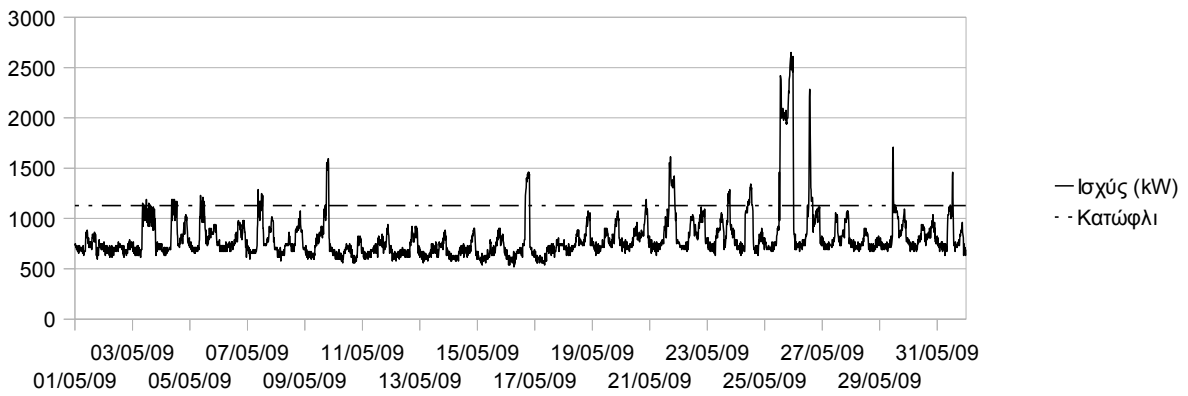
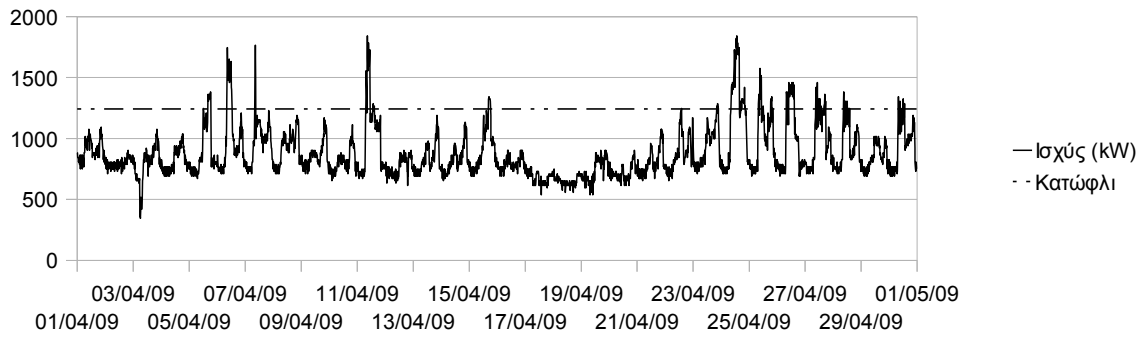


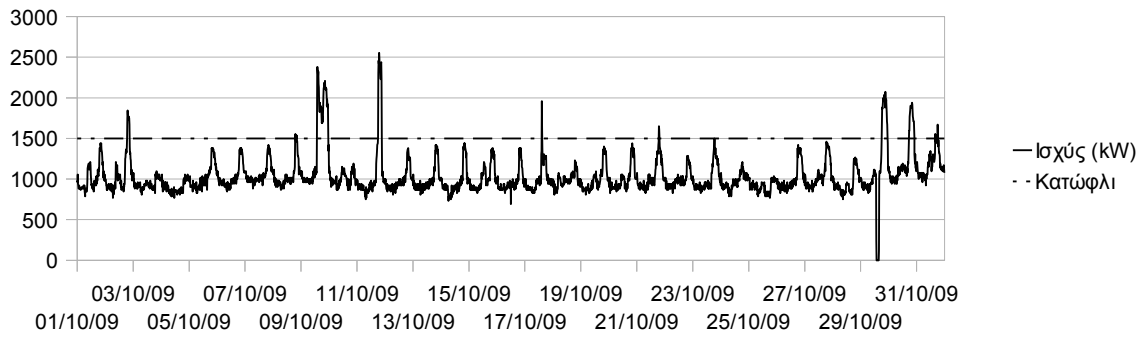
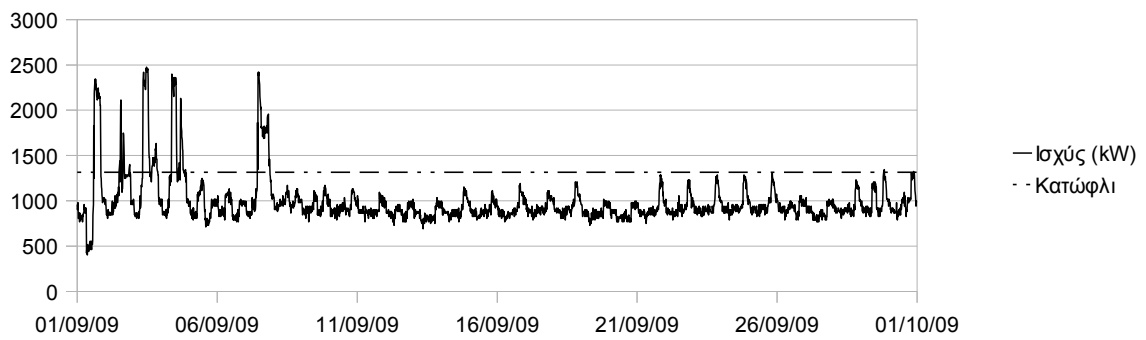
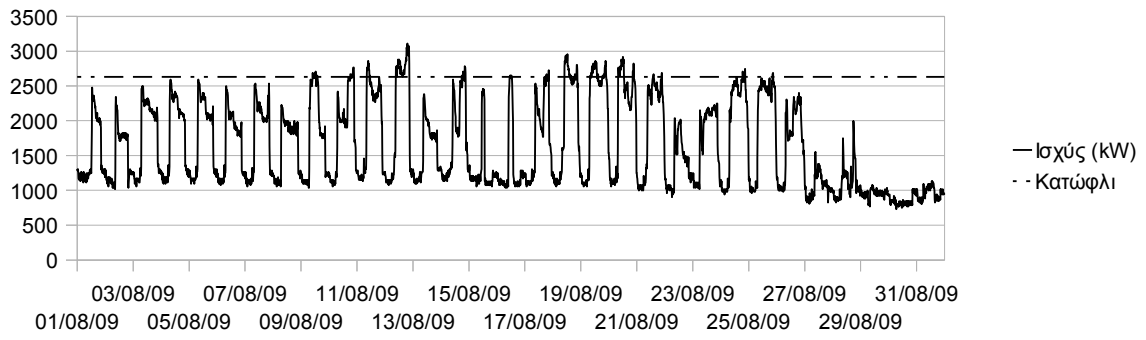


Καταναλώσεις ΥΣ D3 ανά μήνα:



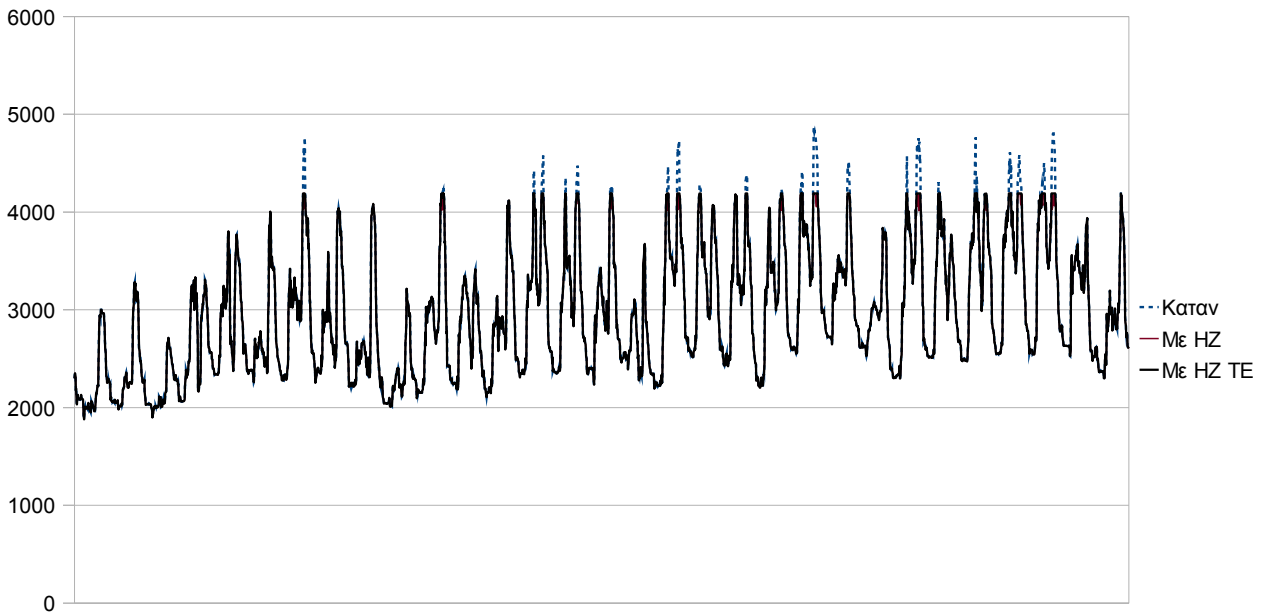




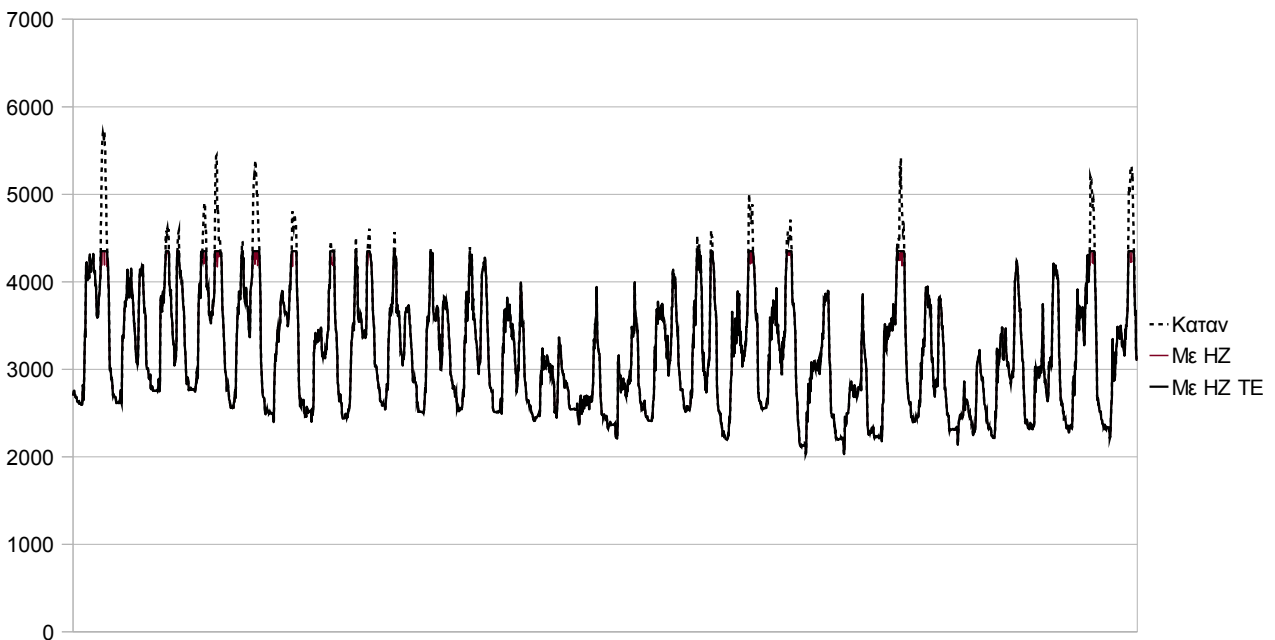


Παράρτημα Γ

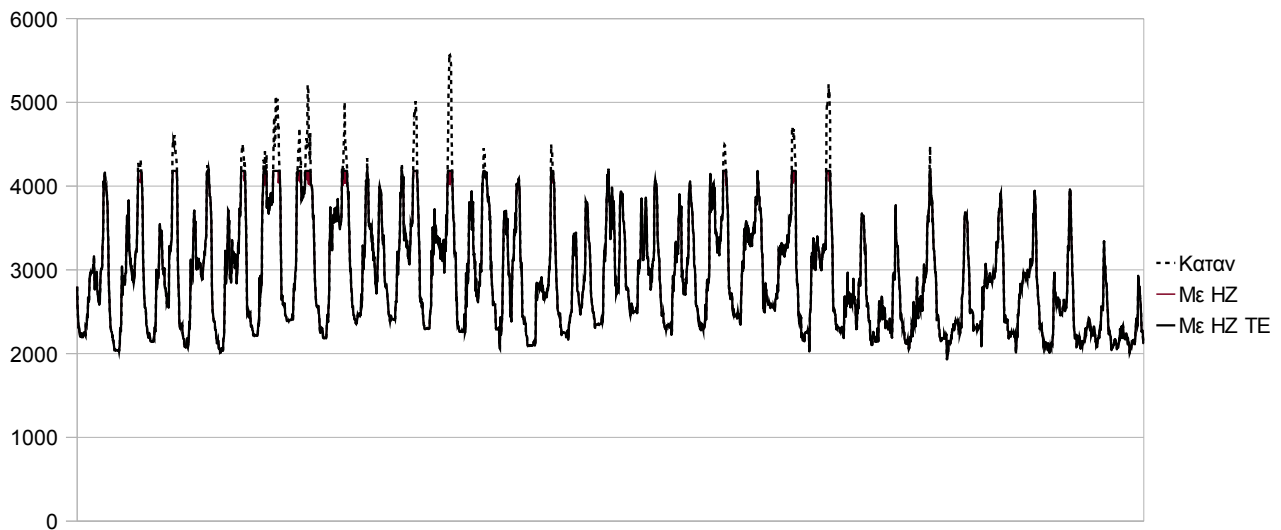
Παρακάτω φαίνονται τα αποτελέσματα της εφαρμογής Peak-shaving, για τους 12 μήνες του 2010, όταν όλα τα φορτία της εγκατάστασης είναι πάνω σε μία παροχή. Η διαφορά που προκύπτει από το τεχνικό ελάχιστο είναι μικρή και δεν μπορεί να φανεί στην κλίμακα των διαγραμμάτων.



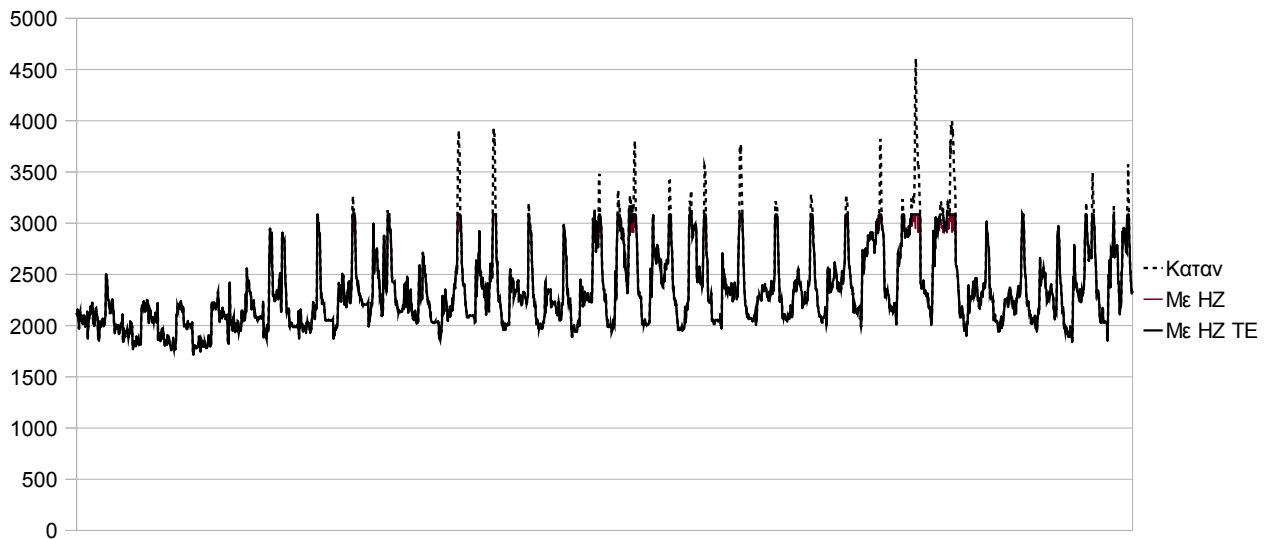
Γράφημα 6.1: Ιανουάριος 2010



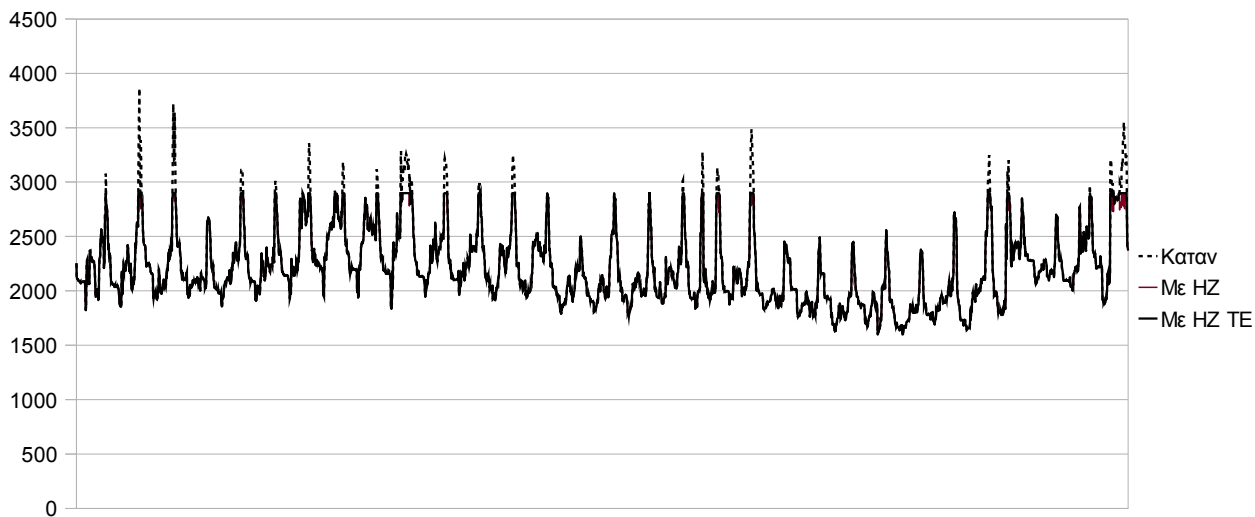
Γράφημα 6.2: Φεβρουάριος 2010



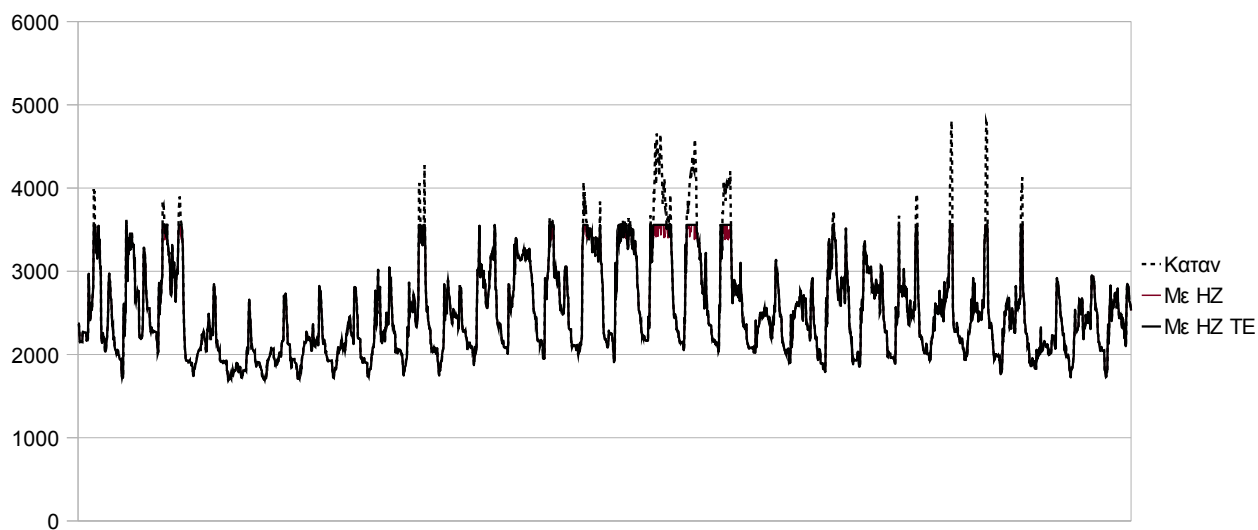
Γράφημα 6.3: Μάρτιος 2010



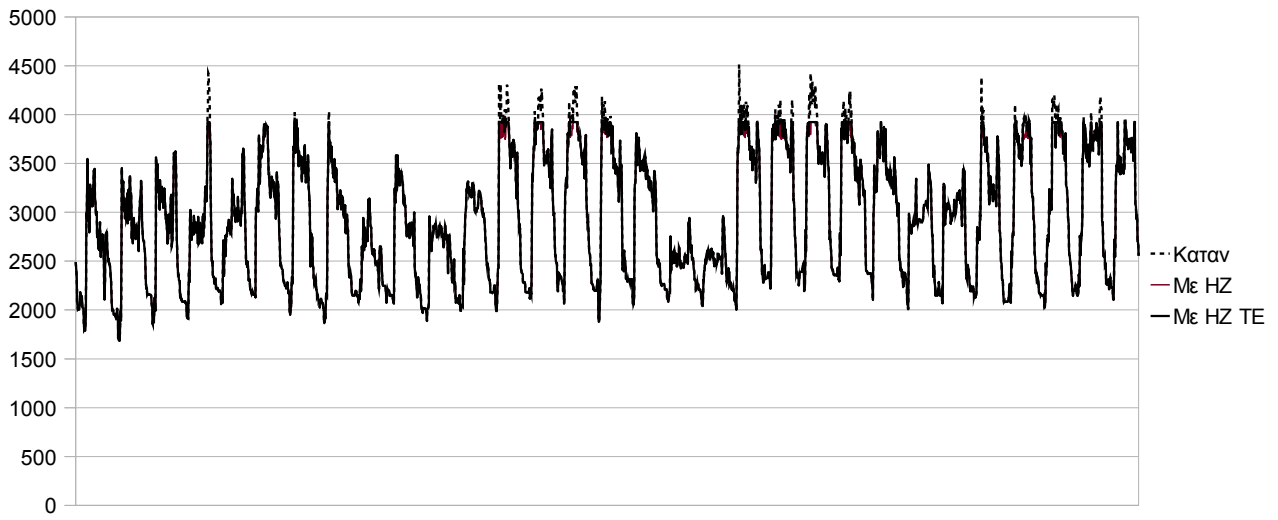
Γράφημα 6.4: Απρίλιος 2010



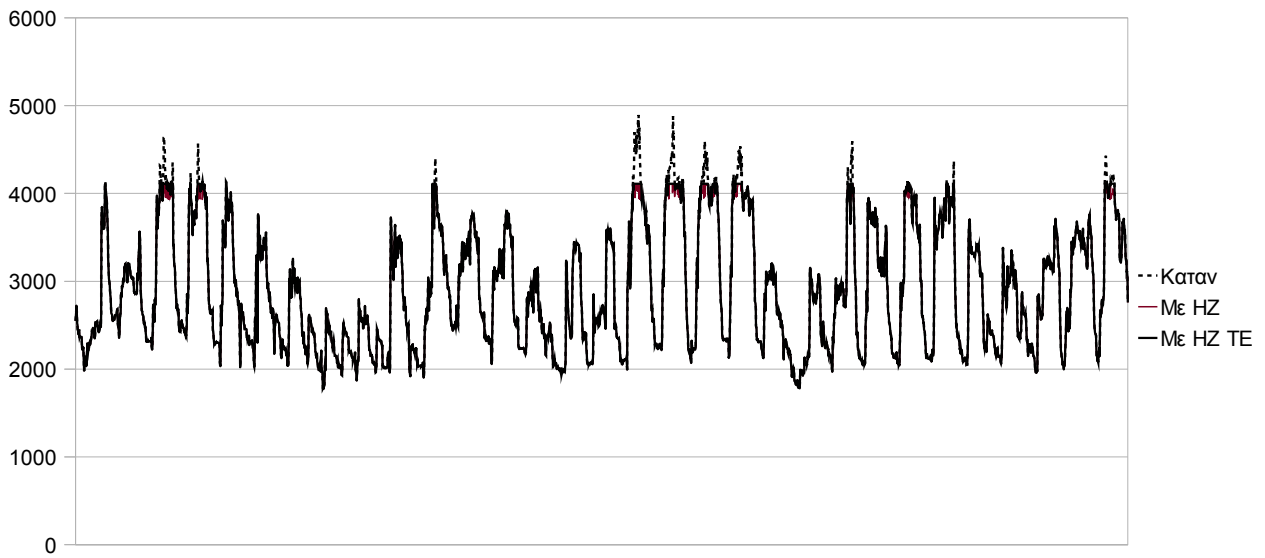
Γράφημα 6.5: Μάιος 2010



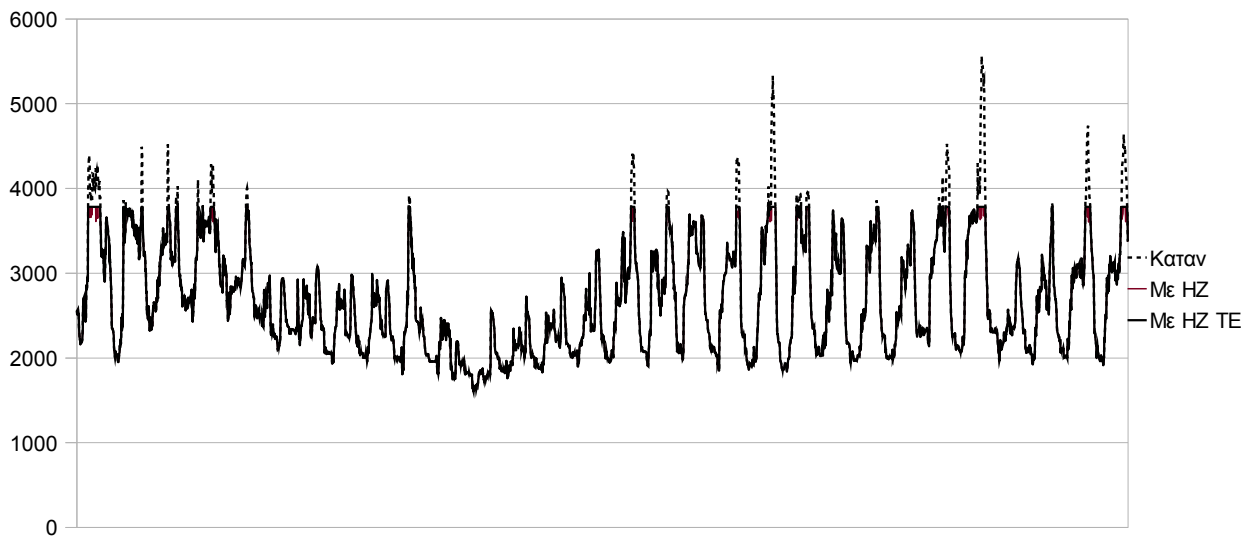
Γράφημα 6.6: Ιούνιος 2010



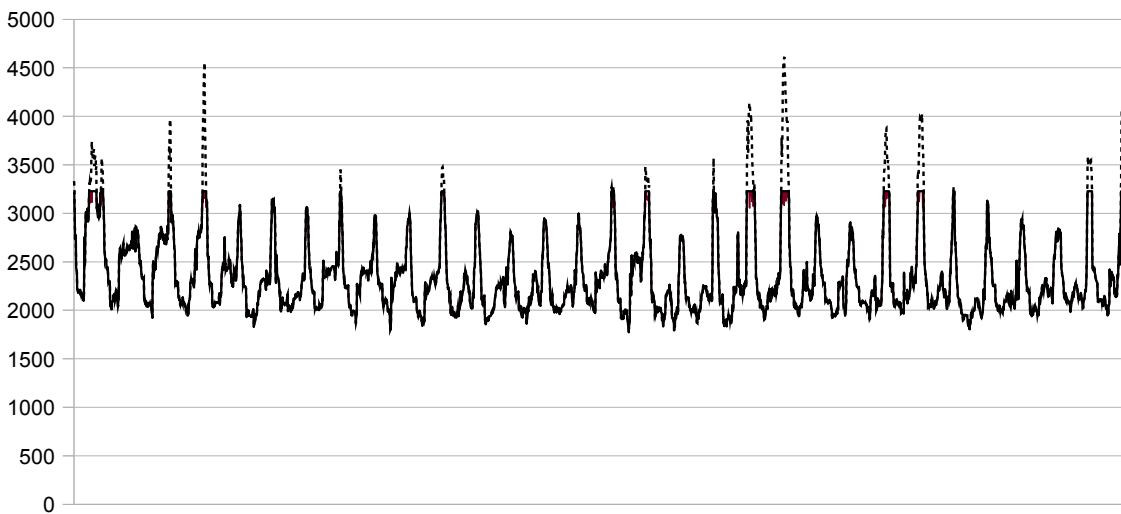
Γράφημα 6.7: Ιούλιος 2010



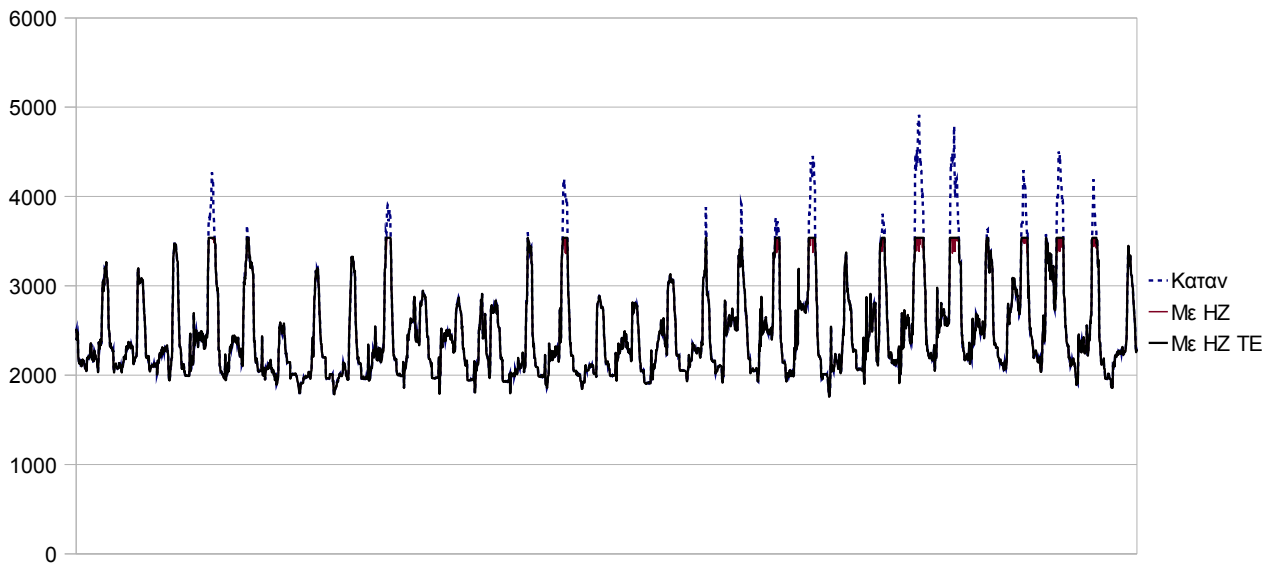
Γράφημα 6.8: Αύγουστος



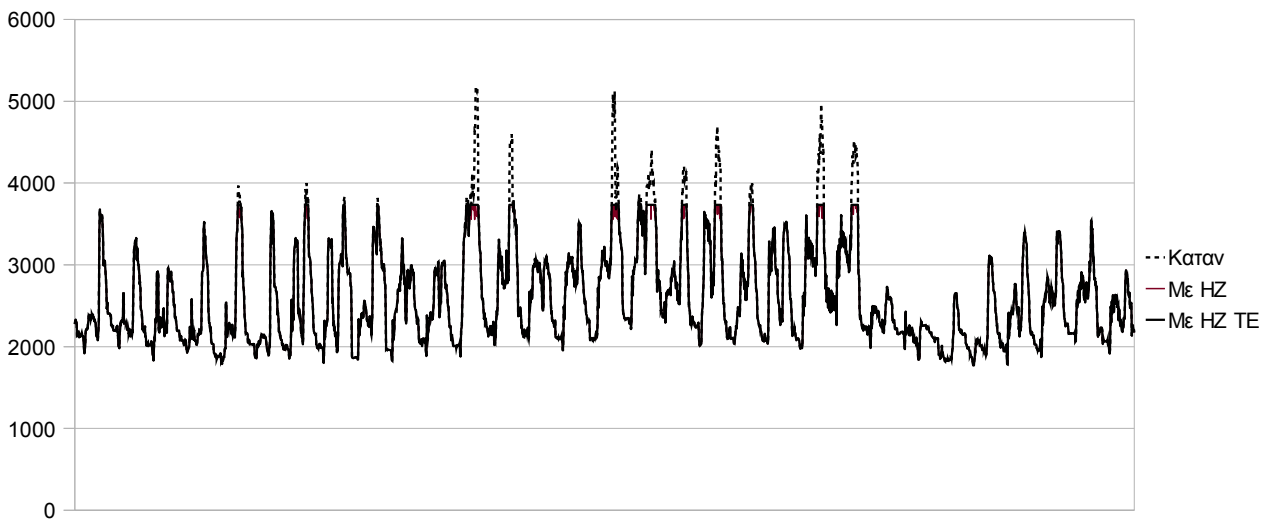
Γράφημα 6.9: Σεπτέμβριος 2010



Γράφημα 6.10: Οκτώβριος 2010



Γράφημα 6.11: Νοέμβριος 2010



Γράφημα 6.12: Δεκέμβριος 2010

Παράρτημα Δ

Παρακάτω παρατίθενται όλες οι συναρτήσεις του Matlab που χρησιμοποιήθηκαν για την εύρεση της πιο οικονομικά συμφέρουσας συνδεσμολογίας.

```
function [ costmatrix ] =
mincost( c1,c2,c3,c4,c5,c6,c7,c8,c9,c10,c11,c12,c13,c14,c15,c16,c17,c18,c19,c20
,c21,c22,c23)
%UNTITLED Summary of this function goes here
% Detailed explanation goes here
costmatrix=ones(43008,9);
c = zeros(length(c1),1);
c14=c;
c4=c;
c10=c;
c22=c;
%c13=0;
%c15=0;
i=1;
for d1=0:3
    for d2=0:1
        for d3=0:5
            for d4=0:3
                for d5=0:3
                    for d6=0:1
                        for d7=0:6
                            D1=c;
                            D2=c;
                            D3=c;
                            [D1,D3] = line(d1, c1,c2,c3,c,c,c, D1,D3);
                            [D1,D3] = line(d2, c4,c,c,c,c,c, D1,D3);
                            [D1,D2] = line(d3, c5,c6,c7,c8,c9,c, D1,D2);
                            [D1,D2] = line(d4, c10,c11,c12,c23,c,c, D1,D2);
                            [D1,D2] = line(d5, c13,c14,c15,c,c,c, D1,D2);
                            [D2,D3] = line(d6, c16,c,c,c,c,c, D2,D3);
                            [D2,D3] = line(d7, c17,c18,c19,c20,c21,c22, D2,D3);
```

```

        totalcost = DEIcost (D1) + DEIcost (D2) +DEIcost
(D3);
        [costmatrix,i] = addtomatrix(costmatrix, i,
totalcost,d1,d2,d3,d4,d5,d6,d7,0);
        for closedline=1:3
            if (closedline == 1)
                totalcost = DEIcost(D2+D1)+DEIcost(D3);
                [costmatrix,i] = addtomatrix(costmatrix,
i, totalcost,d1,d2,d3,d4,d5,d6,d7,closedline);
            elseif (closedline == 2)
                totalcost = DEIcost(D1)+DEIcost(D3+D2);
                [costmatrix,i] = addtomatrix(costmatrix,
i, totalcost,d1,d2,d3,d4,d5,d6,d7,closedline);
            elseif (closedline == 3)
                totalcost = DEIcost(D2)+DEIcost(D1+D3);
                [costmatrix,i] = addtomatrix( costmatrix,
i, totalcost,d1,d2,d3,d4,d5,d6,d7,closedline );
            end % if (closedline==1)
        end % for closedline=1:3
    end % for d7
end % for d6
end % for d5
end % for d4
end % for d3
end % for d2
end % for d1
end % function

```

```

function [ cost ] = DEIcost( D1 )
%UNTITLED2 Summary of this function goes here
% Detailed explanation goes here

maxpower = max (D1);
totalenergy = sum (D1)/4;
cost = maxpower*12.064 + totalenergy*0.07185;

```

```
end
```

```
function [ matrix,i ] = addtomatrix( matrix, i, a1,a2,a3,a4,a5,a6,a7,a8,a9 )
```

```
%UNTITLED2 Summary of this function goes here
```

```
% Detailed explanation goes here
```

```
matrix(i,1) = a1;
```

```
matrix(i,2) = a2;
```

```
matrix(i,3) = a3;
```

```
matrix(i,4) = a4;
```

```
matrix(i,5) = a5;
```

```
matrix(i,6) = a6;
```

```
matrix(i,7) = a7;
```

```
matrix(i,8) = a8;
```

```
matrix(i,9) = a9;
```

```
i=i+1;
```

```
end
```

```
function [ D1, D2 ] = line( d1, c1,c2,c3,c4,c5,c6, D1,D2)
```

```
%UNTITLED2 Summary of this function goes here
```

```
% Detailed explanation goes here
```

```
switch d1
```

```
    case 0
```

```
        D2=D2+c1+c2+c3+c4+c5+c6;
```

```
    case 1
```

```
        D1=D1+c1;
```

```
        D2=D2+c2+c3+c4+c5+c6;
```

```
    case 2
```

```
        D1=D1+c1+c2;
```

```
        D2=D2+c3+c4+c5+c6;
```

```
    case 3
```

$D1=D1+c1+c2+c3;$

$D2=D2+c4+c5+c6;$

case 4

$D1=D1+c1+c2+c3+c4;$

$D2=D2+c5+c6;$

case 5

$D1=D1+c1+c2+c3+c4+c5;$

$D2=D2+c6;$

case 6

$D1=D1+c1+c2+c3+c4+c5+c6;$

end

end

Βιβλιογραφία

- 1: H. L. Willis, W. G. Scott, Distributed power generation : planning and evaluation, 2000
- 2: World Alliance for Decentralised Energy, 5-POINT BLUEPRINT TO CHANGE THE WAY THE WORLD MAKES ELECTRICITY, 2002
- 3: A-M Borbely, J.F. Kreider , Distributed Generation: The Power Paradigm for the New Millennium, 2001
- 4: N. Jenkins et al., Embedded generation, 2000
- 5: T.S Basso, R.D. DeBlasio, Can microgrids make a major contribution to UK energy supply?, 2003
- 6: K. Angelopoulos, Integration of Distributed Generation in Low Voltage Networks: Power Quality and Economics,
- 7: Δ. Γεωργάκης, Πρόταση για Ηλεκτροπαραγωγή Ζεύγη, 2007
- 8: T.S Basso, R.D. DeBlasio, IEEE P1547-series of standards for interconnection, 2004
- 9: Johnson, D. ; Malengret, M. ; Pillay, P. ;, High-speed, low-cost flywheels for energy storage in sustainable power systems with distributed generation, 2001
- 10: N. Hatziaargyriou, J. A. Peças Lopes, C. L. Moreira et al., Control Strategies for MicroGrids Emergency Operation, 2006
- 11: Β.Κ. Παπαδιάς, Ανάλυση ΣΗΕ: Μόνιμη κατάσταση λειτουργίας, 1985
- 12: R.A. Walling, N.W. Miller, Distributed generation islanding-implications on power system dynamic performance, 2002
- 13: J. A. Peças Lopes, C. L. Moreira, F. O. Resende, Control Strategies for Microgrids Blackstart and Emergency Operation, 2005
- 14: Σ. Α. Παπαθανασίου, Δίκτυο Μέσης Τάσης ΟΑΚΑ: Ανάλυση λειτουργικών καταστάσεων και αρχές προστασίας και διαχείρισης, 2002
- 15: Caterpillar, Βιβλίου Λειτουργίας και Συντήρησης: Γεννήτριες SR4 και SR4B και πίνακες ελέγχου,