



---

**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών  
*«Παραγωγή και Διαχείριση Ενέργειας»*

---

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

***«ΒΕΛΤΙΣΤΟΣ ΗΜΕΡΗΣΙΟΣ  
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΕΞΥΠΝΟΥ  
ΔΙΚΤΥΟΥ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ  
ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ»***

**Του Μεταπτυχιακού Φοιτητή**

Δημήτριου Κ. Αλεξόπουλου

**Επιβλέπων**

Πάυλος Σ. Γεωργιλάκης, Επίκουρος Καθηγητής, Η.Μ.Μ.Υ.

---

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2016



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι ο βέλτιστος ημερήσιος προγραμματισμός έξυπνου Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΔΗΕ). Η μέθοδος, η οποία χρησιμοποιείται, είναι ο ακέραιος γενετικός αλγόριθμος που εφαρμόζεται για την επίλυση προβλημάτων βελτιστοποίησης.

Στην παρούσα εργασία, υλοποιήθηκε αλγόριθμος σε περιβάλλον MATLAB για την εύρεση του βέλτιστου ημερήσιου προγραμματισμού έξυπνου ΔΔΗΕ, χρησιμοποιώντας και κάποια στοιχεία από το λογισμικό πακέτο MATPOWER, το οποίο είναι λογισμικό σε MATLAB, για τον υπολογισμό ροών φορτίου. Επιπλέον, αναπτύχθηκε γραφικό περιβάλλον (GUI) για την καλύτερη και πιο εύχρηστη εφαρμογή του προγράμματος και την εξαγωγή αποτελεσμάτων. Ο γενετικός αλγόριθμος που χρησιμοποιήθηκε για την εύρεση της βέλτιστης λύσης, δημιουργεί έναν αρχικό πληθυσμό από χρωμοσώματα, των οποίων κάθε ομάδα 24 διαδοχικών γονιδίων (εφόσον εξετάζεται ο προγραμματισμός του έξυπνου ΔΔΗΕ για 24 ώρες) αντιπροσωπεύει και μια διαφορετική μεταβλητή ελέγχου π.χ. την τάση στον ζυγό αναφοράς, την ενεργό και άεργο ισχύ των Μονάδων Διανεμημένης Παραγωγής (ΜΔΠ) καυσίμου, την ενεργό και άεργο ισχύ των ανεμογεννητριών (Α/Γ). Καθένα από αυτά τα χρωμοσώματα αξιολογείται με βάση μια αντικειμενική συνάρτηση και ανάλογα το σενάριο που εξετάζεται. Οι αντικειμενικές συναρτήσεις που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία είναι: α) ελαχιστοποίηση της διακύμανσης των τάσεων στους ζυγούς του δικτύου, β) ελαχιστοποίηση των συνολικών απωλειών ενέργειας του δικτύου και γ) ελαχιστοποίηση του κόστους λειτουργίας του ΔΔΗΕ. Ο πληθυσμός ταξινομείται, τα καλύτερα από τα χρωμοσώματα επιβιώνουν και τα υπόλοιπα διαγράφονται. Έπειτα από εξέλιξη του πληθυσμού με διασταύρωση και μετάλλαξη δημιουργείται μια νέα γενιά. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται μέχρι να βρεθεί η βέλτιστη ή μια πολύ καλή λύση και τερματίζεται σύμφωνα με κάποια κριτήρια.

Το λογισμικό που αναπτύχθηκε εφαρμόζεται σε δίκτυα 33 ζυγών και 69 ζυγών για διάφορες περιπτώσεις και επίσης δίνεται ένα αναλυτικό αριθμητικό παράδειγμα για δίκτυο 4 ζυγών, ώστε να γίνει κατανοητή η λειτουργία του αλγόριθμου και η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε. Τέλος παρουσιάζονται τα αποτελέσματα και εξάγονται συμπεράσματα.

## ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

Διανεμημένη Παραγωγή, Μονάδες Διανεμημένης Παραγωγής, Γενετικός Αλγόριθμος, Ημερήσιος Προγραμματισμός, Έξυπνο Δίκτυο Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας



## **ABSTRACT**

The scope of this thesis is the optimal day-ahead dispatch scheduling of a smart power distribution network (DN). A genetic algorithm-based approach is applied in order to solve the optimization problem and especially an integer genetic algorithm is applied.

In the present diploma thesis, an algorithm, developed in MATLAB environment, was implemented for calculating the optimal day-ahead dispatch scheduling of a smart DN, by using some tools from MATPOWER software, which is a software developed in MATLAB in order to solve power flow and optimal power flow problems. In addition, a Graphical User Interface (GUI) was developed in order to make the program user friendly and to extract results. The genetic algorithm creates an initial population of chromosomes, from which each group of 24 consecutive genes represents a different control variable. The control variables that are used are: the voltage regulation of the slack bus by controlling the on-load-tap-charger (OLTC), the active and reactive power of fueled distributed generators (FDG), the active and reactive power of wind turbines (WT). Each chromosome is evaluated by using an objective function according to the selected scenario. The objective functions that are used are: a) the minimization of voltage fluctuation of the DN, b) the minimization of the energy losses of the DN and c) the minimization of the total operational cost of the DN. The population is ranked, the best chromosomes survive and the others are deleted. After the evolution of the population, with multi-crossover and mutation operators, a new generation is created. This procedure is repeated until an optimal or a very good solution is found, and finally, it terminates based on some stopping criteria.

The developed software is applied on a 33-bus network and a 69-bus network for several cases. Furthermore, a detailed numerical example of a 4 bus network is given for the explanation of the functionality of the proposed algorithm and the methodology. Detailed results are presented and conclusions are drawn.

## **KEY WORDS**

Distributed Generation, Integer Genetic Algorithm, Optimal Day-ahead Dispatch Scheduling, Smart Power Distribution Network



## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Η διπλωματική αυτή εργασία εκπονήθηκε κατά το ακαδημαϊκό έτος 2015-2016 υπό την επίβλεψη του κ. Παύλου Γεωργιάκη, επίκουρου καθηγητή του Ε.Μ.Π. της σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, τον οποίο θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα για την ανάθεσή της καθώς και για τις συμβουλές του, δίνοντάς μου την ευκαιρία να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα. Επίσης ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω και στον υποψήφιο διδάκτορα κ. Βασίλειο Ευαγγελόπουλο για την πολύτιμη καθοδήγησή του και την άψογη συνεργασία που είχαμε κατά τη συγγραφή της διπλωματικής εργασίας. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και τους φίλους μου για την υποστήριξή τους όλα αυτά τα χρόνια.





# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1	Εισαγωγή	1
1.2	Διανεμημένη παραγωγή στα Δίκτυα Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας	2
1.3	Βέλτιστος ημερήσιος προγραμματισμός λειτουργίας Δικτύων Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας	3
1.4	Αντικείμενο και δομή της εργασίας	4

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΓΕΝΕΤΙΚΟΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ

2.1	Εισαγωγή	5
2.2	Γενετικός Αλγόριθμος	6
2.3	Οι συνιστώσες του Γενετικού Αλγορίθμου	7
2.3.1	Δομή Χρωμοσώματος και Αντικειμενική Συνάρτηση	8
2.3.2	Αρχικός Πληθυσμός	9
2.3.3	Επιλογή Γονέων	10
2.3.4	Διασταύρωση	11
2.3.5	Μετάλλαξη	12
2.3.6	Επόμενες Γενιές – Σύγκλιση Γενετικού Αλγόριθμου	13
2.4	Ακέραιος Γενετικός Αλγόριθμος	13
2.4.1	Παράδειγμα Χρήσης Ακέραιου Γενετικού Αλγόριθμου	14
2.5	Βελτιωμένος Γενετικός Αλγόριθμος	15
2.5.1	Προηγμένοι Γενετικοί Τελεστές	15
2.5.2	Ειδικοί Γενετικοί Τελεστές	16

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

3.1	Εισαγωγή	19
3.2	Τύποι των Δικτύων Διανομής	20
3.2.1	Μορφολογία των Δικτύων Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας	20
3.2.2	Τοπολογία των Δικτύων Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας	20
3.2.2.1	Ακτινικά Δίκτυα Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας	21
3.2.2.2	Κυκλικά Δίκτυα Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας	21
3.2.2.3	Δικτυωτά Δίκτυα Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας	22
3.3	Εξοπλισμός των Δικτύων Διανομής	23
3.3.1	Γραμμές Διανομής	23
3.3.2	Μετασχηματιστές	23

3.3.3	Διακόπτες	24
3.3.4	Μέσα Προστασίας – Ασφάλειες	24
3.3.5	Μέσα Ρύθμισης Τάσης	25
3.4	Διανεμημένη παραγωγή σε Δίκτυα Διανομής	25
3.4.1	Πλεονεκτήματα	27
3.5	Τεχνικά προβλήματα και προκλήσεις	28
3.5.1	Ποιότητα Ισχύος	28
3.5.2	Προστασία Δικτύου	29
3.5.3	Κόστος Δικτύου	29
3.6	Έξυπνα Δίκτυα Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας	30
3.6.1	Κεντρικός Έλεγχος	30
3.6.2	Αποκεντρωμένος Έλεγχος	31
3.7	Βέλτιστος ημερήσιος προγραμματισμός λειτουργίας Δικτύων Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας	31
3.7.1	Ελαχιστοποίηση Διακύμανσης Τάσης	32
3.7.2	Ελαχιστοποίηση Κόστους Λειτουργίας	32
3.7.3	Ελαχιστοποίηση των Απωλειών Ενέργειας	33

#### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΜΕΘΟΔΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΗΜΕΡΗΣΙΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΕΞΥΠΝΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**

4.1	Εισαγωγή	35
4.2	Μαθηματική μοντελοποίηση προβλήματος βέλτιστου ημερήσιου προγραμματισμού της λειτουργίας έξυπνου δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας	36
4.2.1	Διατύπωση Προβλήματος Βέλτιστου Ημερήσιου Προγραμματισμού της Λειτουργίας Έξυπνου Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας	36
4.2.2	Αντικειμενική Συνάρτηση	37
4.2.2.1	Ελαχιστοποίηση του Αθροίσματος της Διακύμανσης των Τάσεων σε όλους τους Κόμβους του Έξυπνου ΔΔΗΕ	37
4.2.2.2	Ελαχιστοποίηση των Απωλειών Ενέργειας του Έξυπνου ΔΔΗΕ	37
4.2.2.3	Ελαχιστοποίηση του Συνολικού Κόστους Λειτουργίας του Έξυπνου ΔΔΗΕ	38
4.2.3	Περιορισμοί	40
4.2.3.1	Περιορισμοί Ισότητας	40
4.2.3.2	Ανισοτικοί Περιορισμοί	40
4.2.4	Μαθηματικό Μοντέλο Ακέραου Προγραμματισμού για τον Βέλτιστο Ημερήσιο Προγραμματισμό της Λειτουργίας Έξυπνου ΔΔΗΕ	41

4.3	Μεθοδολογία επίλυσης προβλήματος βέλτιστου ημερήσιου προγραμματισμού της λειτουργίας έξυπνου δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας	42
4.3.1	Γενετικός Αλγόριθμος	42
4.3.1.1	Δομή χρωμοσώματος – Κωδικοποίηση	42
4.3.1.2	Αρχικός Πληθυσμός	43
4.3.1.3	Αποκωδικοποίηση και Αξιολόγηση Χρωμοσώματος	43
4.3.1.4	Επόμενες Γενιές και Τερματισμός ΓΑ	44
4.3.2	Χειρισμός Περιορισμών και Συνάρτηση Καταλληλότητας Χρωμοσώματος	46

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΓΙΑ ΒΕΛΤΙΣΤΟ ΗΜΕΡΗΣΙΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΕΞΥΠΝΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**

5.1	Εισαγωγή	47
5.2	Περιβάλλον ανάπτυξης εφαρμογής	47
5.2.1	Το Περιβάλλον του MATLAB	48
5.2.2	Δημιουργία και Εκτέλεση m-files	49
5.2.3	Δημιουργία Γραφικού Περιβάλλοντος (GUI)	50
5.3	Λογισμικό βέλτιστου ημερήσιου προγραμματισμού της λειτουργίας έξυπνου δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας	55
5.3.1	Απαιτήσεις Συστήματος	55
5.3.2	Το γραφικό περιβάλλον της εφαρμογής	55
5.3.3	Εισαγωγή Δεδομένων	57
5.3.3.1	Εισαγωγή Δεδομένων Δικτύου	57
5.3.3.2	Εισαγωγή Δεδομένων για τα Κόστη του Προβλήματος	60
5.3.3.3	Εισαγωγή Δεδομένων για Καμπύλη Φορτίου και Καμπύλη Ανέμου	61
5.3.4	Ανάλυση και Επεξεργασία Δεδομένων	63
5.3.5	Αποθήκευση Αποτελεσμάτων και Έξοδος	69
5.3.6	Ανάλυση m-files και Δομής της Εφαρμογής	71

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΩΝ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ**

6.1	Εισαγωγή	77
6.2	Αριθμητικό Παράδειγμα	77
6.2.1	Διατύπωση Προβλήματος και Δεδομένα Συστήματος	77
6.2.2	Εξισώσεις Ροής Φορτίου του Συστήματος	78
6.2.3	Επίλυση με Γενετικό Αλγόριθμο	80
6.2.3.1	Δεδομένα Γενετικού Αλγόριθμου	80

6.2.3.2	Αρχικοποίηση Πληθυσμού	80
6.2.3.3	Αποκωδικοποίηση Γονιδίων Χρωμοσώματος	85
6.2.3.4	Επόμενη Γενιά	86
6.2.4	Τελική Λύση Αριθμητικού Παραδείγματος	88
6.3	Δίκτυο 33 ζυγών	93
6.3.1	Δεδομένα Δικτύου 33 ζυγών	93
6.3.2	Σενάριο 1 (Σενάριο αναφοράς) – Δίκτυο των 33 ζυγών	97
6.3.3	Επίδραση Σεναρίου 2 στο Δίκτυο των 33 ζυγών	98
6.3.4	Επίδραση Σεναρίου 3 στο Δίκτυο των 33 ζυγών	100
6.3.5	Επίδραση Σεναρίου 4 στο Δίκτυο των 33 ζυγών	104
6.3.5.1	Αντικειμενική Συνάρτηση: Ελαχιστοποίηση της Συνολικής Διακύμανσης των Τάσεων στους Κόμβους του Δικτύου των 33 ζυγών	104
6.3.5.2	Αντικειμενική Συνάρτηση: Ελαχιστοποίηση των Συνολικών Απωλειών του Δικτύου των 33 ζυγών	112
6.3.5.3	Αντικειμενική Συνάρτηση: Ελαχιστοποίηση του Κόστους Λειτουργίας του Δικτύου των 33 ζυγών	120
6.3.6	Επίδραση Σεναρίου 5 στο Δίκτυο των 33 ζυγών	128
6.3.6.1	Αντικειμενική Συνάρτηση: Ελαχιστοποίηση της Συνολικής Διακύμανσης των Τάσεων στους Κόμβους του Δικτύου των 33 ζυγών	128
6.3.6.2	Αντικειμενική Συνάρτηση: Ελαχιστοποίηση των Συνολικών Απωλειών του Δικτύου των 33 ζυγών	136
6.3.6.3	Αντικειμενική Συνάρτηση: Ελαχιστοποίηση του Κόστους Λειτουργίας του Δικτύου των 33 ζυγών	144
6.3.7	Ερμηνεία Αποτελεσμάτων Δικτύου 33 ζυγών	152
6.4	Δίκτυο 69 ζυγών	154
6.4.1	Δεδομένα Δικτύου 69 ζυγών	154
6.4.2	Σενάριο 1 (Σενάριο αναφοράς) – Δίκτυο των 69 ζυγών	158
6.4.3	Επίδραση Σεναρίου 4 στο Δίκτυο των 69 ζυγών	160
6.4.3.1	Αντικειμενική Συνάρτηση: Ελαχιστοποίηση των Συνολικών Απωλειών του Δικτύου των 69 ζυγών	160
6.4.3.2	Αντικειμενική Συνάρτηση: Ελαχιστοποίηση του Κόστους Λειτουργίας του Δικτύου των 69 ζυγών	168
6.4.4	Επίδραση Σεναρίου 5 στο Δίκτυο των 69 ζυγών	177
6.4.4.1	Αντικειμενική Συνάρτηση: Ελαχιστοποίηση των Συνολικών Απωλειών του Δικτύου των 69 ζυγών	177
6.4.4.2	Αντικειμενική Συνάρτηση: Ελαχιστοποίηση του Κόστους Λειτουργίας του Δικτύου των 69 ζυγών	186
6.4.5	Ερμηνεία Αποτελεσμάτων Δικτύου 69 ζυγών	195

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7:</b>	<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</b>	
7.1	Σύνοψη εργασίας και αποτελεσμάτων	199
7.2	Επεκτάσεις της εργασίας	200
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8:</b>	<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b>	201



## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας (ΣΗΕ) καλείται το σύνολο των εγκαταστάσεων και των μέσων που χρησιμοποιούνται για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας σε εξυπηρετούμενες περιοχές κατανάλωσης. Βασικές προϋποθέσεις καλής λειτουργίας ενός ΣΗΕ είναι να παρέχει ηλεκτρική ενέργεια οπουδήποτε υπάρχει ζήτηση με το ελάχιστο δυνατό κόστος και τις ελάχιστες οικολογικές επιπτώσεις, εξασφαλίζοντας σταθερή συχνότητα, σταθερή τάση και υψηλή αξιοπιστία τροφοδότησης.

Η τροφοδότηση των καταναλωτών με ηλεκτρική ενέργεια προϋποθέτει τρεις ξεχωριστές λειτουργίες του ΣΗΕ : την παραγωγή, τη μεταφορά και τη διανομή. Η ηλεκτρική ενέργεια από το σημείο που θα παραχθεί μέχρι το σημείο που θα καταναλωθεί βρίσκεται σε μια συνεχή ροή και επειδή η ηλεκτρική ενέργεια δεν μπορεί να αποθηκευτεί σε μεγάλες ποσότητες με οικονομικό τρόπο, πρέπει να παράγεται τη στιγμή ακριβώς που χρειάζεται η κατανάλωσή της.

Η παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται στους σταθμούς παραγωγής. Κύριοι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι οι θερμικοί και οι υδροηλεκτρικοί. Τελευταία παρατηρείται ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) κυρίως με την εκμετάλλευση του αέρα και του ήλιου.

Η μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας σε μεγάλες ποσότητες από τα εργοστάσια παραγωγής προς τις περιοχές κατανάλωσης γίνεται με τις γραμμές υψηλής και υπερυψηλής τάσης, οι οποίες μεταφέρουν την ηλεκτρική ενέργεια σε κεντρικά σημεία του δικτύου, τους υποσταθμούς, από όπου ξεκινούν τα δίκτυα διανομής μέσης τάσης που διανέμουν την ηλεκτρική ενέργεια στους καταναλωτές δια μέσου των υποσταθμών διανομής και των γραμμών χαμηλής τάσης.

Αξίζει να σημειωθεί, ότι οι εγκαταστάσεις παραγωγής και μεταφοράς είναι οικονομικά εξαρτημένες μεταξύ τους και για αυτό ακριβώς το λόγο ο τεχνικός και οικονομικός σχεδιασμός των σταθμών παραγωγής, των κύριων γραμμών μεταφοράς και των κεντρικών υποσταθμών είναι επιτακτικό να είναι ενιαίος, με στόχο πάντα την ικανοποίηση των ενεργειακών αναγκών με το ελάχιστο δυνατό κόστος και τη μεγαλύτερη εφικτή αξιοπιστία τροφοδότησης. Από την άλλη, το τμήμα της διανομής αποτελεί τις περισσότερες φορές μια διαφορετική λειτουργία, η οποία σχεδιάζεται και αναπτύσσεται ξεχωριστά, εξαρτώμενη σε μεγάλο βαθμό από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τόσο της περιοχής όσο και των καταναλωτών που εξυπηρετεί.

Γενικότερα, η δομή του συστήματος επηρεάζεται σε σημαντικό βαθμό από το μέγεθος της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, τη χρονική της μεταβολή κατά τη διάρκεια του 24ώρου και από τη χωροταξική της κατανομή.

Όμως, παρόλο που το μέγεθος των ΣΗΕ διαφέρει, παρατηρούνται και κοινά στοιχεία μεταξύ τους. Όπως για παράδειγμα, το ότι τα συστήματα που χρησιμοποιούνται είναι τριφασικά εναλλασσόμενου ρεύματος, συχνότητας 50 ή 60Hz. Υπάρχουν φυσικά και οι περιπτώσεις που χρησιμοποιούνται συστήματα συνεχούς ρεύματος για τη μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας. Σχετικά με την τάση λειτουργίας του συστήματος είναι αναγκαίο να παραμένει σταθερή στην ονομαστική της τιμή. Ακόμη, οι γραμμές μεταφοράς και οι γραμμές διανομής μέσης τάσης έχουν τρεις αγωγούς φάσεων, ενώ οι γραμμές διανομής χαμηλής τάσης διαθέτουν έναν επιπλέον αγωγό, τον ουδέτερο αγωγό.

Όσον αφορά τους πελάτες, οι οποίοι είναι συνδεδεμένοι στα δίκτυα υψηλής και μέσης τάσης χαρακτηρίζονται στην πλειονότητά τους ως βιομηχανικοί καταναλωτές, ενώ στα δίκτυα χαμηλής τάσης συνδέονται πελάτες οικιακής χρήσης και ένα μεγάλο μέρος των πελατών εμπορικής χρήσης.

Τέλος, είναι αναμενόμενο ότι η συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας καθορίζει την ποσότητα των καυσίμων που χρησιμοποιούνται για τη λειτουργία των συμβατικών σταθμών παραγωγής, ενώ η μορφή της καμπύλης ζήτησης περιγράφει χρονικά την απασχόληση των εγκαταστάσεων παραγωγής, μεταφοράς και διανομής από τους καταναλωτές [1].

## 1.2 ΔΙΑΝΕΜΗΜΕΝΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Για πολλές δεκαετίες το ηλεκτρικό σύστημα των χωρών βασιζόταν σε ένα κεντρικό σύστημα παραγωγής. Στην ουσία, η ροή της ενέργειας ήταν από τους παραγωγούς προς τους καταναλωτές και για αυτό ακριβώς το λόγο αναπτύχθηκαν μεγάλοι σταθμοί παραγωγής, όπως για παράδειγμα οι θερμικοί και οι πυρηνικοί. Στη λειτουργία αυτού του μοντέλου συμμετείχαν ενεργά και εκτεταμένα δίκτυα μεταφοράς.

Όμως, το σκηνικό πλέον αλλάζει. Εμφανίζεται σημαντικό ενδιαφέρον για τη σύνδεση μονάδων παραγωγής στα Δίκτυα Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΔΗΕ), κάτι που είναι γνωστό ως διανεμημένη παραγωγή. Αφενός η αυξημένη περιβαλλοντική συνείδηση, η οποία πλέον επιτάσσει περιορισμό των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και αφετέρου τεχνικοί και οικονομικοί παράγοντες έπαιξαν σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη της διανεμημένης παραγωγής [2].

Αναλυτικότερα, οι καταναλωτές με τη δυνατότητα να συμμετέχουν στην τοπική παραγωγή, θεωρούνται πλέον ενεργές οντότητες στο δίκτυο και όχι απλά παθητικά φορτία. Άλλωστε, λόγω της διεύθυνσης Μονάδων Διανεμημένης Παραγωγής (ΜΔΠ) στα δίκτυα διανομής, τα συστήματα διανομής παύουν πλέον να είναι παθητικά, να τροφοδοτούν μόνο φορτία, αλλά ενεργά.

Βέβαια, για να εξασφαλιστεί η καλύτερη δυνατή χρήση των υφιστάμενων υποδομών μέσω της βέλτιστης κατανομής των ΜΔΠ, πρέπει να συνυπολογιστούν οι τεχνικοί περιορισμοί του δικτύου και οικονομικοί παράγοντες. Αναλυτικότερα, το θερμικό όριο των γραμμών, η επαρκή υποστήριξη ως προς την τάση του δικτύου, καθώς και η ποιότητα της τροφοδοτούμενης ισχύος είναι θέματα που είναι απαραίτητα να διερευνηθούν. Όσον αφορά τους οικονομικούς παράγοντες, εμπεριέχουν στοιχεία όπως το κόστος εγκατάστασης, το λειτουργικό κόστος, τα προσδοκώμενα έσοδα κ.α. [3].



Τέλος, σε ένα δίκτυο διανομής για να επιτευχθεί η βέλτιστη λειτουργία του είναι καθοριστικής σημασίας να εντοπιστούν αφενός οι κατάλληλες θέσης σύνδεσης μονάδων διανεμημένης παραγωγής και αφετέρου το κατάλληλο μέγεθός τους, χωρίς ταυτόχρονα να παραβιάζονται οι τεχνικοί περιορισμοί του δικτύου. Ο εκάστοτε διαχειριστής του δικτύου καλείται να ελαχιστοποιήσει το κόστος απωλειών ενέργειας και των συνολικών δαπανών από την σύνδεση των ΜΔΠ στο δίκτυο, με την ικανοποίηση όλων των τεχνικών περιορισμών, προκειμένου να τροφοδοτείται επαρκώς η ηλεκτρική ενέργεια στους καταναλωτές.

### 1.3 ΒΕΛΤΙΣΤΟΣ ΗΜΕΡΗΣΙΟΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΔΙΚΤΥΩΝ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται διαρκώς αυξανόμενη εγκατάσταση ΜΔΠ στα ΔΔΗΕ. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής, πολλές κυβερνήσεις έχουν θέσει φιλόδοξους στόχους για αύξηση της χρήσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και για μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Για παράδειγμα, στην Ευρωπαϊκή Ένωση έχει τεθεί ως στόχος το 20% της ενέργειας που θα χρησιμοποιείται το 2020 να παράγεται από ΑΠΕ [4].

Λόγω της σημαντικής διείσδυσης των ΜΔΠ στα ΔΔΗΕ, η ροή ισχύος μπορεί να αντιστραφεί. Με αυτόν τον τρόπο τα ΔΔΗΕ δεν είναι πλέον παθητικά, αλλά γίνονται ενεργά συστήματα με τις ροές ισχύος και τις τάσεις να καθορίζονται τόσο από τη Διανεμημένη Παραγωγή (ΔΠ) όσο και από το φορτίο. Η μετάβαση από παθητικό σε ενεργό σύστημα, αποτελεί σημαντική πρόκληση για τη διαχείριση τέτοιων ΔΔΗΕ χωρίς να αλλάζει η ανάγκη για διατήρηση και βελτίωση της αξιοπιστίας.

Μερικά από τα προβλήματα που παρουσιάζονται στα ΔΔΗΕ λόγω της διείσδυσης των ΜΔΠ είναι:

- η αντίστροφη ροή ισχύος
- η ανύψωση τάσης σε κάποιους ζυγούς του ΔΔΗΕ
- η υπερφόρτιση των γραμμών και των μετασχηματιστών διανομής εξαιτίας των μεγάλων ποσοτήτων παραγωγής των ΜΔΠ σε περιόδους χαμηλής ζήτησης φορτίου
- το επίπεδο των διαταραχών της ποιότητας ισχύος
- το κόστος κεφαλαίου ανά kW εγκατεστημένης ισχύος ΜΔΠ καυσίμου, σε σχέση με τους μεγάλους σταθμούς παραγωγής

Παράλληλα όμως, ανάλογα το σχεδιασμό του ΔΔΗΕ με ΜΔΠ και ανάλογα τους χειρισμούς του διαχειριστή, η παρουσία των ΜΔΠ κοντά στα κέντρα κατανάλωσης φορτίου μπορεί να έχει θετική επίδραση στην ποιότητα ισχύος και στην αξιοπιστία παροχής. Με τις ΜΔΠ η ισχύς μεταφέρεται σε μικρότερη απόσταση, οπότε μειώνονται οι απώλειες. Επίσης, μειώνεται η ροή ισχύος από υψηλότερα επίπεδα τάσης προς το φορτίο. Αυτό μειώνει το ρίσκο υπερφόρτισης στα υψηλότερα επίπεδα τάσης. Έτσι, οι ΜΔΠ γενικά υπερέχουν από πλευράς υπερφόρτισης και απωλειών.

Ο ημερήσιος προγραμματισμός της λειτουργίας ενός ΔΔΗΕ μπορεί να χαρακτηριστεί βέλτιστος όταν το φορτίο ηλεκτρικής ενέργειας εξυπηρετείται κατά τέτοιο

τρόπο, ώστε το κόστος λειτουργίας του δικτύου να είναι το ελάχιστο δυνατό. Ταυτόχρονα πρέπει να ικανοποιούνται οι τεχνικοί περιορισμοί του ΔΔΗΕ και των ΜΔΠ, καθώς και όποιοι άλλοι περιορισμοί κρίνονται απαραίτητοι από το διαχειριστή του δικτύου.

Καλείται, λοιπόν, ο διαχειριστής σε καθημερινή βάση, να προγραμματίσει για την επόμενη ημέρα τους χειρισμούς που θα πρέπει να γίνουν στις ΜΔΠ και σε άλλα σημεία του ΔΔΗΕ, ώστε να ικανοποιούνται οι τεχνικοί περιορισμοί του δικτύου και των ΜΔΠ, με στόχο:

- την ελαχιστοποίηση του συνολικού ημερήσιου κόστους του ΔΔΗΕ
- την ελαχιστοποίηση των απωλειών ενέργειας του ΔΔΗΕ
- την ελαχιστοποίηση της διακύμανσης της τάσης στο ΔΔΗΕ
- την ελαχιστοποίηση της πιθανότητας εμφάνισης σφαλμάτων
- τη διασφάλιση της ποιότητας ισχύος που παρέχεται στους τελικούς καταναλωτές

#### 1.4 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΚΑΙ ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η επίλυση του προβλήματος του βέλτιστου ημερήσιου προγραμματισμού της λειτουργίας έξυπνου ΔΔΗΕ, χρησιμοποιώντας ακέραιο γενετικό αλγόριθμο. Μέσα από ένα σύνολο σεναρίων που εξετάζονται, με διαφορετικές μεταβλητές ελέγχου σε κάθε σενάριο, αναζητείται το βέλτιστο ημερήσιο πλάνο που μπορεί να ακολουθήσει ο διαχειριστής του ΔΔΗΕ, ώστε να επιτύχει ανάλογα: α) μείωση των απωλειών ενέργειας, β) μείωση της διακύμανσης των τάσεων στο ΔΔΗΕ ή γ) μείωση του συνολικού κόστους λειτουργίας του ΔΔΗΕ. Πιο αναλυτικά η δομή της εργασίας οργανώνεται ως εξής:

Στο **Κεφάλαιο 2** παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά των γενετικών αλγορίθμων και ο ακέραιος γενετικός αλγόριθμος που εφαρμόζεται στην παρούσα εργασία.

Στο **Κεφάλαιο 3** γίνεται αναφορά στους τύπους και τον εξοπλισμό των ΔΔΗΕ. Παρουσιάζεται η διανεμημένη παραγωγή στα ΔΔΗΕ, ο τρόπος λειτουργίας των έξυπνων ΔΔΗΕ και τα τεχνικά προβλήματα και οι προκλήσεις που αντιμετωπίζονται.

Στο **Κεφάλαιο 4** παρουσιάζεται η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε για το βέλτιστο ημερήσιο προγραμματισμό της λειτουργίας έξυπνου ΔΔΗΕ, με χρήση ακέραιου γενετικού αλγόριθμου.

Στο **Κεφάλαιο 5** περιγράφεται αναλυτικά το λογισμικό που αναπτύχθηκε για το βέλτιστο ημερήσιο προγραμματισμό της λειτουργίας έξυπνου ΔΔΗΕ, με χρήση ακέραιου γενετικού αλγόριθμου. Ο αλγόριθμος υλοποιήθηκε με λογισμικό που αναπτύχθηκε σε περιβάλλον MATLAB και επιπλέον δημιουργήθηκε γραφικό περιβάλλον (GUI) για την καλύτερη χρήση του λογισμικού και την παρουσίαση των αποτελεσμάτων.

Στο **Κεφάλαιο 6** παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη χρήση του λογισμικού του Κεφαλαίου 5 για διάφορες περιπτώσεις.

Στο **Κεφάλαιο 7** γίνεται μια σύνοψη της εργασίας, διατυπώνονται συμπεράσματα και προτείνονται επεκτάσεις της παρούσας εργασίας.

Στο **Κεφάλαιο 8** παρατίθεται η βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε για τη συγγραφή της εργασίας.

## ΓΕΝΕΤΙΚΟΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ

### 2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα τελευταία χρόνια, έχει παρατηρηθεί ένα συνεχώς αυξανόμενο ενδιαφέρον για ανάπτυξη μεθόδων επίλυσης προβλημάτων βασισμένων στις αρχές της Γενετικής Εξέλιξης και της Κληρονομικότητας. Αυτές οι μέθοδοι ανήκουν στην οικογένεια των ευριστικών μεθόδων επίλυσης προβλημάτων βελτιστοποίησης. Η βασική αιτία που οδήγησε τους επιστήμονες στην αναζήτηση νέων μεθόδων βελτιστοποίησης ήταν τα μειονεκτήματα των κλασικών μεθόδων αναζήτησης και βελτιστοποίησης, καθώς και η συνεχώς αυξανόμενη ανάγκη για παραγωγή λογισμικού που να μπορεί να εκμεταλλεύεται πιο αποδοτικά τις τεράστιες δυνατότητες του υλικού. Αυτού του είδους οι μέθοδοι λειτουργούν διατηρώντας έναν πληθυσμό κωδικοποιημένων πιθανών λύσεων του προβλήματος που πρόκειται να επιλυθεί, και εφαρμόζοντας πάνω σε αυτό διάφορες διαδικασίες εμπνευσμένες από τη βιολογική εξέλιξη. Έτσι, περνώντας από γενιά σε γενιά, τα συστήματα αυτά δημιουργούν συνεχώς νέους πληθυσμούς πιθανών λύσεων εξελίσσοντάς τους προηγούμενους πληθυσμούς.

Η βασική ιδέα που κρύβεται πίσω από τους Γενετικούς Αλγόριθμους (ΓΑ) είναι η μίμηση των μηχανισμών της βιολογικής εξέλιξης που απαντώνται στη φύση [5]. Σκοπός της βιολογικής εξέλιξης ή ισοδύναμα της θεωρίας της Εξέλιξης των Ειδών, που διατυπώθηκε από το Δαρβίνο, είναι να δώσει εξηγήσεις για το φαινόμενο της ζωής, την προέλευσή της και τις βασικές λειτουργίες της. Τα κυριότερα σημεία της είναι τα εξής:

- Οι οργανισμοί που δεν μπορούν να επιβιώσουν στο περιβάλλον τους πεθαίνουν, ενώ οι υπόλοιποι πολλαπλασιάζονται μέσω της αναπαραγωγής,
- Οι απόγονοι παρουσιάζουν μικρές διαφοροποιήσεις από τους προγόνους τους, ενώ συνήθως υπερισχύουν αυτοί που συγκεντρώνουν τα καλύτερα χαρακτηριστικά,
- Σποραδικά συμβαίνουν τυχαίες μεταλλάξεις, από τις οποίες οι περισσότερες οδηγούν τα μεταλλαγμένα άτομα στο θάνατο, αν και είναι πιθανό, πολύ σπάνια όμως, να οδηγήσουν στη δημιουργία νέων «καλύτερων» οργανισμών,
- Αν το περιβάλλον μεταβάλλεται με αργούς ρυθμούς, τα διάφορα είδη μπορούν να εξελίσσονται σταδιακά ώστε να προσαρμόζονται σε αυτό.

Η πρώτη εμφάνιση των ΓΑ χρονολογείται στα μέσα του 19ου αιώνα, όταν διάφοροι επιστήμονες από το χώρο της βιολογίας αποφάσισαν να χρησιμοποιήσουν υπολογιστές στην προσπάθειά τους να προσομοιώσουν πολύπλοκα βιολογικά συστήματα. Πρωτοπόρος των ΓΑ ήταν ο John Holland, ο οποίος φαντάστηκε ότι κάποιες ιδέες και λειτουργίες που εφαρμόζει η φύση στα συστήματά της θα μπορούσαν να έχουν αποτελέσματα, αν ενσωματώνονταν σε αλγόριθμους για υπολογιστές, ώστε να προκύψουν αποδοτικές τεχνικές επίλυσης δύσκολων προβλημάτων [6].

## 2.2 ΓΕΝΕΤΙΚΟΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ

Ο ΓΑ ανήκει στον κλάδο της επιστήμης υπολογιστών και αποτελεί μια μέθοδο αναζήτησης βέλτιστων λύσεων σε συστήματα που μπορούν να περιγραφούν με κάποιο μαθηματικό μοντέλο. Είναι μια τεχνική βελτιστοποίησης βασισμένη στις αρχές της θεωρίας εξέλιξης των ειδών και της φυσικής επιλογής, όπως αναφέρθηκε και στην Ενότητα 2.1. Χρησιμοποιείται ιδιαίτερα σε προβλήματα, που έχουν πολλές παραμέτρους/μεταβλητές απόφασης και για τα οποία δεν έχει βρεθεί κάποια αναλυτική μέθοδος, που να μπορεί να βρει το βέλτιστο συνδυασμό τιμών των μεταβλητών αυτών.

Μερικά από τα πλεονεκτήματα του ΓΑ παρουσιάζονται παρακάτω:

- Μπορεί να βελτιστοποιήσει συναρτήσεις τόσο με συνεχείς όσο και με διακριτές μεταβλητές,
- Μπορεί εύκολα να συνεργαστεί με τα υπάρχοντα μοντέλα και συστήματα,
- Δεν απαιτεί η αντικειμενική συνάρτηση να είναι παραγωγίσιμη,
- Είναι εύκολα επεκτάσιμος και εξελίξιμος,
- Δεν ενδιαφέρει η σημασία της υπό εξέτασης πληροφορίας,
- Έχει εκ φύσεως το στοιχείο του παραλληλισμού,
- Μπορεί να ανταποκριθεί καλά σε ένα μεγάλο πλήθος μεταβλητών σχεδίασης,
- Μπορεί να βελτιστοποιήσει μεταβλητές με εξαιρετικά περίπλοκη αντικειμενική συνάρτηση,
- Περιέχει μια λίστα από βέλτιστες λύσεις και όχι μόνο μια βέλτιστη λύση,
- Μπορεί να κωδικοποιεί τις μεταβλητές και έτσι η βελτιστοποίηση να γίνεται με τις κωδικοποιημένες μεταβλητές,
- Μπορεί εξίσου καλά να ανταποκριθεί με αριθμητικά δεδομένα, με πειραματικά δεδομένα και με αναλυτικές συναρτήσεις,
- Είναι η μόνη μέθοδος που κάνει ταυτόχρονα εξερεύνηση του χώρου αναζήτησης και εκμετάλλευση της ήδη επεξεργασμένης πληροφορίας.

Τα πλεονεκτήματα αυτά καθιστούν το ΓΑ κατάλληλο σε πολλά προβλήματα, όπου οι κλασικές μέθοδοι βελτιστοποίησης δεν μπορούν να ανταποκριθούν και αποτυγχάνουν. Πολλές φορές όμως, λόγω του ότι η βέλτιστη λύση αναζητείται μέσα από ένα πλήθος πιθανών λύσεων, υπάρχει αδυναμία στην εύρεσή της, με αποτέλεσμα να προσεγγίζεται βρίσκοντας εξίσου καλές λύσεις.

Οι δυο πιο διαδεδομένες εκδοχές του ΓΑ είναι ο δυαδικός ΓΑ (binary GA) και ο συνεχής ΓΑ (continuous GA). Η κύρια διαφορά τους είναι πως στο δυαδικό αλγόριθμο το χρωμόσωμα πρέπει να αποκωδικοποιηθεί από τη δυαδική του μορφή (γονίδιο) στο φαινότυπο του (αποκωδικοποιημένες τιμές), ενώ στο συνεχή ΓΑ το χρωμόσωμα δεν είναι κωδικοποιημένο.

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται ο συνεχής ΓΑ, ο τρόπος με τον οποίο μπορεί να μετατραπεί σε ακέραιο ΓΑ για τη βελτιστοποίηση προβλημάτων ακέραιου προγραμματισμού και κάποιοι ειδικοί γενετικοί τελεστές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ενδυνάμωση της ταχύτητας σύγκλισης του ΓΑ στη βέλτιστη λύση [7].

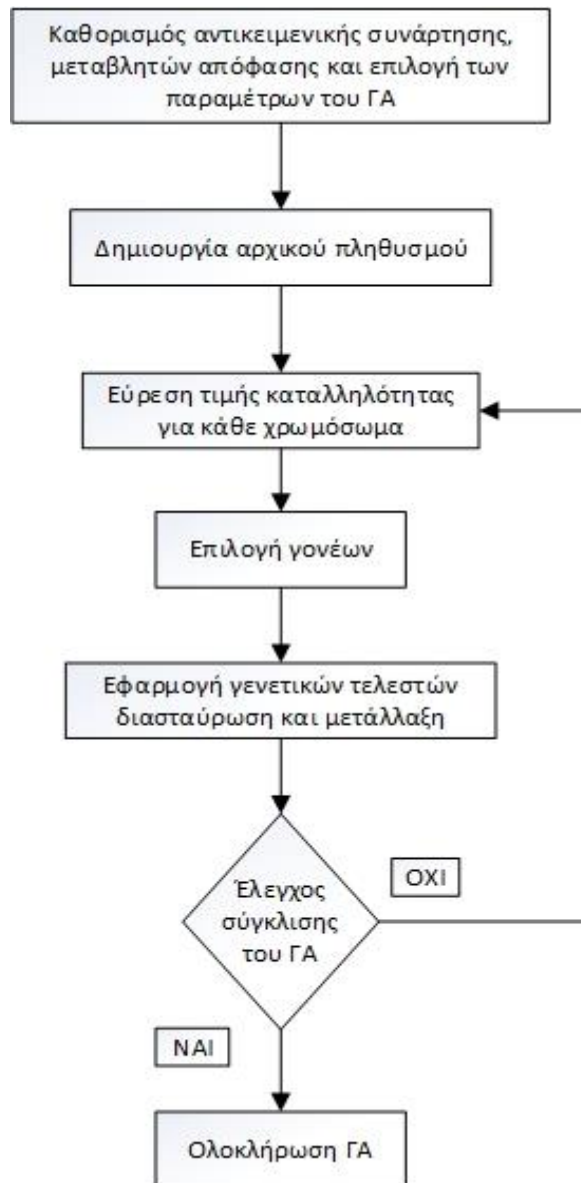
### 2.3 ΟΙ ΣΥΝΙΣΤΩΣΕΣ ΤΟΥ ΓΕΝΕΤΙΚΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ

Αρχικά, σε κάθε ΓΑ πρέπει να υπάρχουν στοιχεία που θα τον συνδέουν με το πρόβλημα που επιλύει. Πρώτα επομένως καθορίζονται:

- οι μεταβλητές απόφασης (decision variables),
- η αντικειμενική συνάρτηση (objective function),
- η συνάρτηση καταλληλότητας (fitness function), η οποία αποτελείται από την αντικειμενική συνάρτηση και τη συνάρτηση ποινής (penalty function),
- η δομή του χρωμοσώματος (παράλληλα με τον καθορισμό της αντικειμενικής συνάρτησης).

Στα ενδιαμέσα στάδια που ακολουθούν δημιουργείται ο αρχικός πληθυσμός και επιλέγονται οι γονείς από τους οποίους με βάση διάφορους γενετικούς τελεστές (διασταύρωση και μετάλλαξη) θα προκύψει ο καινούργιος πληθυσμός.

Τέλος, ο ΓΑ τερματίζεται ελέγχοντας αν συνέκλινε σε μία καλή ή τη βέλτιστη λύση, με βάση την τιμή καταλληλότητας του κάθε χρωμοσώματος. Στο Σχήμα 2.1 φαίνεται ένα διάγραμμα ροής με τις επιμέρους συνιστώσες του ΓΑ, κάθε μια από τις οποίες αναλύεται στις παρακάτω υποενότητες.



Σχήμα 2.1: Διάγραμμα ροής του ΓΑ συνεχών τιμών [7]

### 2.3.1 Δομή Χρωμοσώματος και Αντικειμενική Συνάρτηση

Σκοπός οποιουδήποτε προβλήματος βελτιστοποίησης είναι η εύρεση των τιμών των μεταβλητών απόφασης του προβλήματος (μεταβλητών σχεδίασης), οι οποίες βελτιστοποιούν (ελαχιστοποιούν ή μεγιστοποιούν) την αντικειμενική συνάρτηση με ταυτόχρονη ικανοποίηση όλων των περιορισμών του προβλήματος. Άρα προκύπτει το συμπέρασμα πως υπάρχει άμεση σύνδεση της επιλογής των μεταβλητών απόφασης, με την επιλογή της αντικειμενικής συνάρτησης. Στο ΓΑ, το κάθε χρωμόσωμα αποτελείται από ένα διάνυσμα μεταβλητών με διάσταση τον αριθμό των μεταβλητών απόφασης. Αν το χρωμόσωμα έχει  $N_{var}$  μεταβλητές απόφασης, οι οποίες είναι  $p_1, p_2, p_3, \dots, p_{N_{var}}$ , τότε ορίζεται το χρωμόσωμα ως ένα διάνυσμα  $N_{var}$  στοιχείων:

$$\text{χρωμόσωμα} = [p_1, p_2, p_3, \dots, p_{N_{var}}] \quad (2.1)$$

Κάθε χρωμόσωμα έχει μία τιμή καταλληλότητας (fitness value), που το αξιολογεί μέσα στη διαδικασία του ΓΑ. Η τιμή καταλληλότητας, συνήθως, είναι η τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης  $f$ , αλλά μπορεί σε αυτή να προστίθεται ενδεχομένως και κάποια ποινή αν παραβιάζεται κάποιος περιορισμός που έχει τεθεί:

$$\text{τιμή καταλληλότητας} = f(\text{χρωμόσωμα}) = f([p_1, p_2, p_3, \dots, p_{N_{var}}]) \quad (2.2)$$

Στα περισσότερα προβλήματα βελτιστοποίησης οι μεταβλητές απόφασης υπόκεινται σε συγκεκριμένους περιορισμούς. Παρακάτω παρουσιάζεται ένα απλό παράδειγμα με την εξής αντικειμενική συνάρτηση:

$$f(x, y) = x \sin(4x) + 1.1 \sin(2y) \quad (2.3)$$

και στόχος η εύρεση του τοπικού ελάχιστου στην περιοχή:

$$0 \leq x \leq 10 \text{ και } 0 \leq y \leq 10 \quad (2.4)$$

Τότε, προφανώς, το χρωμόσωμα θα είναι ένα διάνυσμα δυο στοιχείων ( $N_{var} = 2$ ):

$$\text{χρωμόσωμα} = [x, y] \quad (2.5)$$

Επειδή ο ΓΑ είναι μια τεχνική αναζήτησης, πρέπει να περιορίζεται στην αναζήτηση βέλτιστου σε μια καθορισμένη περιοχή των μεταβλητών απόφασης. Αυτό επιτυγχάνεται με την εισαγωγή περιορισμών όπως φάνηκε και στο προηγούμενο αριθμητικό παράδειγμα.

### 2.3.2 Αρχικός Πληθυσμός

Όπως αναφέρθηκε και στην Ενότητα 2.3 μετά τον καθορισμό της αντικειμενικής συνάρτησης και της επιλογής των μεταβλητών απόφασης, ακολουθεί η αρχικοποίηση του πληθυσμού των  $N_{pop}$  χρωμοσωμάτων. Ο πληθυσμός αναπαρίσταται με έναν πίνακα, όπου κάθε γραμμή του είναι ένα διάνυσμα  $1 \times N_{var}$  (χρωμόσωμα). Ο πίνακας  $N_{pop} \times N_{var}$  (αρχικός πληθυσμός) δημιουργείται από τυχαίες τιμές των μεταβλητών του χρωμοσώματος:

$$pop = rand(N_{pop}, N_{var}) \quad (2.6)$$

Σε συνέχεια του παραδείγματος της εξίσωσης (2.3), γίνεται η υπόθεση ότι όλες οι μεταβλητές είναι κανονικοποιημένες και παίρνουν τιμές μεταξύ 0 και 1. Οι κανονικοποιημένες τιμές  $p_{norm}$  παράγονται τυχαία από την ομοιόμορφη κατανομή  $u(0,1)$ . Οι τιμές των μεταβλητών για την περιοχή μεταξύ  $p_{lo}$  και  $p_{hi}$  δίνονται από τη σχέση:

$$p = (p_{hi} - p_{lo})p_{norm} + p_{lo} \quad (2.7)$$

όπου:

$p_{lo}$	η ελάχιστη τιμή του εύρους τιμών της μεταβλητής
$p_{hi}$	η μέγιστη τιμή του εύρους τιμών της μεταβλητής

$P_{norm}$ 

η κανονικοποιημένη τιμή της μεταβλητής

Το κάθε χρωμόσωμα επομένως δημιουργείται τυχαία και αξιολογείται με βάση την τιμή καταλληλότητας που προκύπτει από την αντικειμενική συνάρτηση. Στον Πίνακα 2.1 φαίνονται οι τιμές των μεταβλητών και η τιμή καταλληλότητας για πληθυσμό χρωμοσωμάτων  $N_{pop} = 8$  του παραδείγματος.

**Πίνακας 2.1:** Παράδειγμα αρχικού πληθυσμού 8 τυχαίων χρωμοσωμάτων με τα αντίστοιχα κόστη τους.

A/A χρωμοσώματος	$x$	$y$	Τιμή καταλληλότητας
1	6.9745	0.8342	3.4766
2	0.30359	9.6828	5.5408
3	2.402	9.3359	-2.2528
4	0.18758	8.9371	-8.0108
5	2.6974	6.2647	-2.8957
6	5.613	0.1289	-2.4601
7	7.7246	5.5655	-9.8884
8	6.8537	9.8784	13.752

### 2.3.3 Επιλογή Γονέων

Όσον αφορά την επιλογή γονέων υπάρχουν διάφορες μέθοδοι επιλογής. Οι πιο διαδεδομένες είναι η τυχαία επιλογή από ένα σύνολο γονέων (Tournament method) και η μέθοδος του «τροχού της τύχης» (Roulette wheel method). Αυτή που χρησιμοποιείται και που θα αναλυθεί στην παρούσα εργασία είναι η μέθοδος της τυχαίας επιλογής γονέων.

Αφού γίνει ταξινόμηση των χρωμοσωμάτων βάσει της τιμής καταλληλότητας από τη μικρότερη στη μεγαλύτερη, επιλέγονται τα καλύτερα χρωμοσώματα ως πιθανοί γονείς για διασταύρωση. Από το σύνολο των χρωμοσωμάτων κάθε γενιάς ( $N_{pop}$ ) επιβιώνουν μόνο τα καλύτερα  $N_{keep}$  χρωμοσώματα. Αν  $X_{rate}$  το ποσοστό του πληθυσμού που επιβιώνει σε κάθε γενιά, τότε ο αριθμός των χρωμοσωμάτων που επιβιώνει δίνεται από τη σχέση:

$$N_{keep} = \text{round}(X_{rate} \cdot N_{pop}) \quad (2.8)$$

Επομένως, με βάση τον Πίνακα 2.1 και ορίζοντας  $X_{rate} = 50\%$  υπολογίζεται  $N_{keep} = 4$  και προκύπτει ο Πίνακας 2.2.

**Πίνακας 2.2:** Χρωμοσώματα που επιβιώνουν.

Νέος A/A χρωμοσώματος	Πρώην A/A χρωμοσώματος	$x$	$y$	Τιμή καταλληλότητας
1	7	7.7246	5.5655	-9.8884
2	4	0.18758	8.9371	-8.0108
3	5	2.6974	6.2647	-2.8957
4	6	5.613	0.1289	-2.4601



Στη συνέχεια, απαιτείται να δημιουργηθούν 4 παιδιά από τη διαδικασία της διασταύρωσης. Για τη δημιουργία των 4 παιδιών χρειάζονται 4 γονείς. Άρα δημιουργούνται τυχαία δύο διανύσματα, το ένα περιέχει τις 2 μητέρες και το άλλο τους 2 πατέρες:

$$\begin{aligned} ma &= [2 \ 3] \\ pa &= [3 \ 1] \end{aligned} \quad (2.9)$$

δηλαδή το Παιδί 1 και το Παιδί 2 θα προκύψουν από τη διασταύρωση του χρωμοσώματος 2 με το χρωμόσωμα 3 και τα Παιδιά 3 και 4 θα προκύψουν από τη διασταύρωση του χρωμοσώματος 3 με το χρωμόσωμα 1.

### 2.3.4 Διασταύρωση

Η πιο διαδεδομένη μέθοδος διασταύρωσης είναι αυτή ενός σημείου (single-point crossover) ή περισσότερων σημείων (multi-point crossover). Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιείται διασταύρωση πολλαπλών σημείων, αφού για κάθε μεταβλητή ελέγχου έχουμε και ένα σημείο διασταύρωσης.

Στη συνέχεια εξηγείται η λειτουργία της διασταύρωσης πολλαπλών σημείων. Έστω τα δυο χρωμοσώματα-γονείς:

$$\begin{aligned} \text{Μητέρα} &= [p_{m1}, p_{m2}, p_{m3}, p_{m4}, p_{m5}, p_{m6}, \dots, p_{mN_{var}}] \\ \text{Πατέρας} &= [p_{d1}, p_{d2}, p_{d3}, p_{d4}, p_{d5}, p_{d6}, \dots, p_{dN_{var}}] \end{aligned} \quad (2.10)$$

Έστω δυο τυχαία σημεία διασταύρωσης το 3ο και το 5ο, τότε προκύπτουν:

$$\begin{aligned} \text{Παιδί1} &= [p_{m1}, p_{m2}, p_{d3}, p_{d4}, p_{m5}, p_{m6}, \dots, p_{mN_{var}}] \\ \text{Παιδί2} &= [p_{d1}, p_{d2}, p_{m3}, p_{m4}, p_{d5}, p_{d6}, \dots, p_{dN_{var}}] \end{aligned} \quad (2.11)$$

Υπάρχει και μια ακραία περίπτωση να επιλεγούν  $N_{var}$  σημεία διασταύρωσης. Τότε τυχαία επιλέγεται ποιος γονέας θα συμβάλει σε κάθε σημείο, δηλαδή τυχαία αν θα γίνει αντιμετάθεση ή όχι σε κάθε μεταβλητή. Η μέθοδος αυτή ονομάζεται ομοιόμορφη διασταύρωση.

$$\begin{aligned} \text{Παιδί1} &= [p_{m1}, p_{d2}, p_{d3}, p_{d4}, p_{d5}, p_{m6}, \dots, p_{dN_{var}}] \\ \text{Παιδί2} &= [p_{d1}, p_{m2}, p_{m3}, p_{m4}, p_{m5}, p_{d6}, \dots, p_{dN_{var}}] \end{aligned} \quad (2.12)$$

Το πρόβλημα αυτών των μεθόδων είναι πως δεν εμφανίζεται νέα πληροφορία στην επόμενη γενιά του ΓΑ. Για τον λόγο αυτό, η τιμή κάποιας μεταβλητής του πρώτου και του δεύτερου παιδιού,  $p_{new1}$  και  $p_{new2}$  αντίστοιχα, προκύπτει από το συνδυασμό των αντίστοιχων τιμών της αντίστοιχης μεταβλητής των δύο γονέων:

$$p_{new1} = \beta p_{m1} + (1 - \beta) p_{d1} \quad (2.13)$$

$$p_{new2} = (1 - \beta) p_{m2} + \beta p_{d2} \quad (2.14)$$

όπου:

$\beta$	τυχαίος αριθμός στο διάστημα [0,1]
$p_{mn}$	n-οστή μεταβλητή του χρωμοσώματος-μητέρα
$p_{dn}$	n-οστή μεταβλητή του χρωμοσώματος-πατέρα [7]

Στο παράδειγμα της Ενότητας 2.3.1, εφαρμόζοντας τις διασταυρώσεις της εξίσωσης (2.9), προκύπτει ο Πίνακας 2.3 που παρουσιάζεται παρακάτω:

**Πίνακας 2.3:** Εφαρμογή διασταύρωσης ενός σημείου.

A/A χρωμοσώματος	Εφαρμογή διασταύρωσης	x	y
1	$pa(2)$	7.7246	5.5655
2	$ma(1)$	0.18758	8.9371
3	$pa(1), ma(2)$	2.6974	6.2647
4	-	5.613	0.1289
5	Παιδί 1	0.18758	6.2647
6	Παιδί 2	2.6974	8.9371
7	Παιδί 3	2.6974	5.5655
8	Παιδί 4	7.7246	6.2647

### 2.3.5 Μετάλλαξη

Με την εφαρμογή του γενετικού τελεστή της μετάλλαξης στο κάθε χρωμόσωμα, εισάγεται πληροφορία και χαρακτηριστικά που δεν υπήρχαν πριν στον πληθυσμό. Η μετάλλαξη μιας μεταβλητής (γονίδιο) αλλάζει την τιμή της ομοιόμορφα μεταξύ μιας ελάχιστης και μιας μέγιστης τιμής, όπως προκύπτει από τη σχέση:

$$p = (p_{hi} - p_{lo})rand + p_{lo} \quad (2.15)$$

Στην παρούσα εργασία η μετάλλαξη ενός γονιδίου εφαρμόζεται με βάση την παρακάτω μεθοδολογία:

- Αρχικά ορίζεται ένα διάνυσμα με μήκος ίσο με τον αριθμό των μεταβλητών ελέγχου, το οποίο ορίζει με τυχαίο τρόπο τα γονίδια που θα υποστούν μετάλλαξη,
- Έπειτα, ορίζεται ένα νέο διάνυσμα με μήκος ίσο με τον αριθμό των μεταβλητών ελέγχου, το οποίο περιέχει την καινούργια τιμή του κάθε γονιδίου με βάση τη σχέση (2.15),
- Τέλος, εφαρμόζονται οι μεταλλάξεις των γονιδίων στο κάθε χρωμόσωμα, αλλά μόνο για τα χρωμοσώματα-παιδιά. Τα χρωμοσώματα-γονείς παραμένουν ως έχουν, χωρίς να υπόκεινται σε μετάλλαξη.

Μια άλλη διαδικασία μετάλλαξης, διαφορετική από αυτή που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία, είναι θεωρώντας ποσοστό μετάλλαξης  $mutrate$  για έναν πληθυσμό. Ο αριθμός των μεταλλάξεων  $N_{mut}$  δίνεται από τη σχέση:

$$N_{mut} = mutrate \cdot (N_{pop} - 1) \cdot N_{var} \quad (2.16)$$

Επίσης, η διαδικασία της μετάλλαξης σε αυτή τη μέθοδο εφαρμόζεται σε όλα τα χρωμοσώματα, εκτός από το πρώτο χρωμόσωμα που δεν μεταλλάσσεται λόγω ελιτισμού του ΓΑ, ώστε να μην χάνεται το καλύτερο χρωμόσωμα του πληθυσμού.

Στο παράδειγμα της Ενότητας 2.3.1, για ποσοστό μετάλλαξης  $mutrate = 20\%$ , από τη σχέση (2.16) προκύπτει ότι ο αριθμός των μεταλλάξεων είναι:

$$N_{mut} = 0.2 \cdot (8 - 1) \cdot 2 = 2.8 \approx 3 \quad (2.17)$$

Στη συνέχεια ορίζονται τα διανύσματα  $mrow$  και  $ncol$  με μήκος ίσο με  $N_{mut}$  που εμπεριέχουν τις θέσεις για κάθε γραμμή και για κάθε στήλη, των γονιδίων όπου θα εφαρμοστεί η μετάλλαξη.

$$\begin{aligned} mrow &= [4 \ 4 \ 7] \\ ncol &= [1 \ 2 \ 1] \end{aligned} \quad (2.18)$$

Οπότε προκύπτουν τα ζεύγη (4, 1), (4, 2) και (7, 1). Αυτό σημαίνει πως θα μεταλλαχθεί σύμφωνα με τη σχέση (2.15) το 1ο γονίδιο του 4ου χρωμοσώματος, το 2ο γονίδιο του 4ου χρωμοσώματος και το 1ο γονίδιο του 7ου χρωμοσώματος.

### 2.3.6 Επόμενες Γενιές – Σύγκλιση Γενετικού Αλγόριθμου

Εφόσον έχουν εφαρμοστεί οι γενετικοί τελεστές, υπολογίζεται η τιμή καταλληλότητας για κάθε χρωμόσωμα του πληθυσμού και ταξινομείται ξανά ο πληθυσμός. Έπειτα ακολουθεί η διαδικασία επιλογής γονέων για διασταύρωση, η διασταύρωση των γονέων για τη δημιουργία των νέων παιδιών και η μετάλλαξη της νέας γενιάς. Η παραπάνω διαδικασία επαναλαμβάνεται σε κάθε γενιά.

Ο ΓΑ τερματίζει όταν έχει εκπληρωθεί η αξιολόγηση των χρωμοσωμάτων κάθε γενιάς για τον αριθμό των γενεών που έχει οριστεί ή όταν για το καλύτερο χρωμόσωμα η συνάρτηση καταλληλότητας (fitness function), δηλαδή το άθροισμα της αντικειμενικής συνάρτησης και του κόστους παραβίασης των περιορισμών (penalty value), διατηρεί την ίδια τιμή για έναν συγκεκριμένο αριθμό γενεών.

## 2.4 ΑΚΕΡΑΙΟΣ ΓΕΝΕΤΙΚΟΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ

Κάθε μοντέλο βελτιστοποίησης στο οποίο οι μεταβλητές απόφασης λαμβάνουν ακέραιες (διακριτές) τιμές κατατάσσεται ως πρόβλημα Ακέραιου Προγραμματισμού (ΑΠ). Ένα πρόβλημα ΑΠ μπορεί να υπόκειται σε περιορισμούς ή όχι, ενώ οι αντικειμενικές συναρτήσεις και οι περιορισμοί μπορεί να είναι γραμμικοί ή μη γραμμικοί. Σε αυστηρή μαθηματική θεώρηση, ο ΑΠ είναι μη γραμμικός διότι οι συναρτήσεις ορίζονται μόνο για ακέραιες (διακριτές) τιμές των μεταβλητών [8].

Για να βελτιστοποιηθούν τέτοια προβλήματα με ΓΑ αρκεί το χρωμόσωμα του ΓΑ να παίρνει μόνο ακέραιες τιμές για τις μεταβλητές απόφασης. Ο αλγόριθμος σε αυτή την

περίπτωση έχει τα ίδια βήματα που αναλύθηκαν στις Ενότητες 2.3.1 έως 2.3.6 με την διαφορά ότι κάθε τιμή των στοιχείων του χρωμοσώματος πρέπει να στρογγυλοποιηθεί στην κοντινότερη ακέραια τιμή.

Το μοναδικό σημείο που διαφοροποιείται ο ακέραιος ΓΑ από τον δυαδικό ΓΑ είναι στην κωδικοποίηση των μεταβλητών ελέγχου. Στον ακέραιο ΓΑ οι τιμές των μεταβλητών ελέγχου ορίζονται σε ένα διάστημα, το οποίο περιέχει ακέραιες τιμές ανάλογα το ελάχιστο και το μέγιστο όριο των περιορισμών της συγκεκριμένης μεταβλητής ελέγχου.

Στην περίπτωση της κωδικοποίησης των γονιδίων των χρωμοσωμάτων με ακέραιο ΓΑ απαιτείται μια συνάρτηση αποκωδικοποίησης που θα μετατρέπει τα κωδικοποιημένα γονίδια σε τιμές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην αντικειμενική συνάρτηση για την εύρεση της τιμής καταλληλότητας που θα αξιολογήσει το κάθε χρωμόσωμα.

Ο ακέραιος ΓΑ χρησιμοποιήθηκε για την επίλυση του προβλήματος του βέλτιστου ημερήσιου προγραμματισμού της λειτουργίας έξυπνου Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΔΗΕ) και παρουσιάζεται αναλυτικά στην Ενότητα 4.3.

#### 2.4.1 Παράδειγμα Χρήσης Ακέραιου Γενετικού Αλγόριθμου

Ένα από τα βήματα που περιλαμβάνει η δημιουργία του αρχικού πληθυσμού, είναι ο καθορισμός της μέγιστης στάθμης του ακέραιου γενετικού αλγόριθμου  $N_{int}$ , όπως αναλύεται περαιτέρω και στην Ενότητα 4.3.1. Ορίζεται δηλαδή, η μέγιστη τιμή του διαστήματος από το οποίο μπορεί να πάρει ακέραιες τιμές το κάθε γονίδιο. Στην παρούσα εργασία ορίζεται  $N_{int} = 10$ .

Επομένως κάθε γονίδιο παίρνει τυχαίες ακέραιες τιμές στο διάστημα  $[1,10]$ , όπως φαίνεται στον Πίνακα 2.4. Στη συνέχεια, το παράδειγμα που ακολουθεί περιλαμβάνει γονίδια από τμήμα του χρωμοσώματος για τη μεταβλητή ελέγχου της ενεργού ισχύος της ΜΔΠ καυσίμου. Τα όρια παραγωγή ενεργού ισχύος της ΜΔΠ καυσίμου είναι  $0 - 0,5$  MW.

**Πίνακας 2.4:** Τμήμα κωδικοποιημένου χρωμοσώματος

7	1	4	9	3	10
---	---	---	---	---	----

Έπειτα, το κάθε χρωμόσωμα αποκωδικοποιείται με βάση μια συνάρτηση αποκωδικοποίησης που υλοποιήθηκε. Κατά την αποκωδικοποίηση, η ακέραια τιμή του κάθε γονιδίου μετατρέπεται σε πραγματική/φυσική τιμή, με βάση την παρακάτω εξίσωση:

$$realVal = minVal + codeVal \frac{maxVal - minVal}{N_{int}} \quad (2.19)$$

όπου:

$realVal$	η πραγματική τιμή της μεταβλητής ελέγχου
$minVal$	η ελάχιστη τιμή της μεταβλητής ελέγχου
$codeVal$	το κωδικοποιημένο γονίδιο
$maxVal$	η μέγιστη τιμή της μεταβλητής ελέγχου
$N_{int}$	η μέγιστη στάθμη του ακέραιου ΓΑ

Για το παράδειγμα που αναλύεται, οι μεταβλητές της εξίσωσης (2.19) έχουν τις ακόλουθες τιμές:

**Πίνακας 2.5:** Τιμές μεταβλητών εξίσωσης (2.19)

<i>minVal</i>	0 MW
<i>codeVal</i>	Πίνακας 2.4
<i>maxVal</i>	0,5 MW
$N_{int}$	10

Με χρήση επομένως της εξίσωσης (2.19) για το κάθε γονίδιο, προκύπτει η πραγματική/φυσική τιμή (*realVal*) της ενεργού ισχύος της ΜΔΠ καυσίμου που φαίνεται στον ακόλουθο πίνακα.

**Πίνακας 2.6:** Τμήμα αποκωδικοποιημένου χρωμοσώματος

0,35	0,05	0,2	0,45	0,15	0,5
------	------	-----	------	------	-----

## 2.5 ΒΕΛΤΙΩΜΕΝΟΣ ΓΕΝΕΤΙΚΟΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ

Ένα από τα πιο σημαντικά θέματα ενός ΓΑ είναι η αποτελεσματική αναδιοργάνωση των γονιδίων των χρωμοσωμάτων κατά την εξέλιξη του ΓΑ. Στην περίπτωση του απλού ΓΑ που αναλύθηκε στην Ενότητα 2.3 οι βασικοί γενετικοί τελεστές (επιλογή γονέων, διασταύρωση, μετάλλαξη) είναι υπεύθυνοι για την εξέλιξη του πληθυσμού και την εμφάνιση καινούριας πληροφορίας στις πιθανές λύσεις του προβλήματος.

Ο απλός ΓΑ είναι αρκετά ικανός να εντοπίσει τη βέλτιστη λύση ή λύση κοντά σε αυτή, αλλά απαιτεί μεγάλο αριθμό γενεών για να συγκλίνει. Το πρόβλημα γίνεται πιο έντονο για μεγάλης κλίμακας προβλήματα βελτιστοποίησης, όπου υπάρχει μεγάλο πλήθος μεταβλητών απόφασης και κατά συνέπεια μεγάλο μήκος χρωμοσωμάτων, και όπου υπάρχει η πιθανότητα, για τον ΓΑ, να εγκλωβιστεί σε κάποιο τοπικό ακρότατο (μέγιστο ή ελάχιστο) με αποτέλεσμα η ταχύτητα σύγκλισης να μειωθεί.

Για να αυξηθεί η ταχύτητα σύγκλισης του ΓΑ και για να βελτιωθεί η ποιότητα των αποτελεσμάτων του, έχουν προταθεί προηγμένοι και ειδικοί γενετικοί τελεστές. Ο συνδυασμός των βασικών, των προηγμένων και των ειδικών γενετικών τελεστών εισάγονται στον ΓΑ με σκοπό τη βελτίωσή του.

### 2.5.1 Προηγμένοι Γενετικοί Τελεστές

Οι προηγμένοι γενετικοί τελεστές χρησιμοποιούνται για την αποτελεσματικότερη εξερεύνηση στον χώρο αναζήτησης του προβλήματος. Αυτοί είναι [9]:

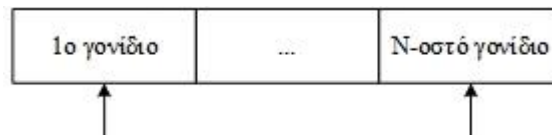
- **Ελιτισμός (Elitism):**  
Όταν ο ΓΑ παρουσιάζει ελιτισμό, η καλύτερη λύση που έχει βρεθεί δε χάνεται κατά την εξέλιξη του πληθυσμού από μια γενιά σε επόμενη, παρά μόνο αν βρεθεί καλύτερη λύση.

- **Κλιμάκωση της καταλληλότητας (Fitness scaling):**  
Η συνάρτηση καταλληλότητας προσαρμόζεται με κάποιον γραμμικό μετασχηματισμό, ώστε να αποφεύγονται χρωμοσώματα που εμφανίζονται σε αρκετές γενιές και να διατηρείται ένας ικανοποιητικός ανταγωνισμός μεταξύ των χρωμοσωμάτων του ΓΑ.
- **Ανάβαση λόφου (Hill climbing):**  
Επιλέγεται τυχαία ένα γονίδιο για κάθε χρωμόσωμα και τροποποιείται, δηλαδή μεταβάλλεται τυχαία η τιμή του. Αν η τιμή καταλληλότητας του καινούριου χρωμοσώματος που προκύπτει είναι καλύτερη από το παλιό, τότε το καινούριο χρωμόσωμα αντικαθιστά το παλιό, αλλιώς απορρίπτεται το καινούριο χρωμόσωμα.

### 2.5.2 Ειδικό Γενετικό Τελεστή

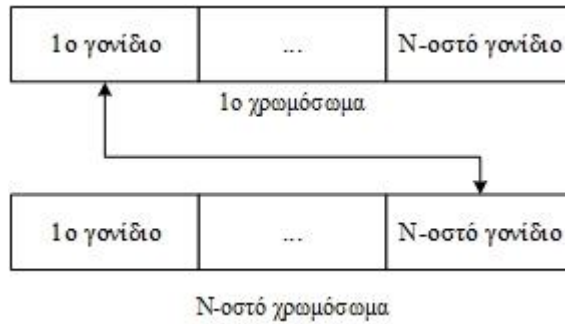
Ανάλογα το πρόβλημα βελτιστοποίησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν και αντίστοιχοι ειδικοί τελεστές, οι οποίοι τροποποιούν τυχαία τα χρωμοσώματα της νέας γενιάς. Αν ένα τροποποιημένο χρωμόσωμα έχει καλύτερη τιμή καταλληλότητας, αντικαθιστά το αντίστοιχο αυθεντικό του χρωμόσωμα, αλλιώς το αυθεντικό παραμένει στη νέα γενιά. Όλοι οι ειδικοί γενετικοί τελεστές εφαρμόζονται με μια πιθανότητα  $SO_{rate}$  (συνήθως  $SO_{rate} = 0.2$ ). Όσο μεγαλύτερη είναι η πιθανότητα αυτή, τόσο πιο αργός είναι ο ΓΑ, αλλά συγκλίνει πιο γρήγορα στη βέλτιστη λύση. Οι ειδικοί γενετικοί τελεστές αναλύονται ως εξής [10]:

- **Τελεστής αντιμετάθεσης γονιδίων στο ίδιο χρωμόσωμα:**  
Ο τελεστής αυτός επιλέγει τυχαία δυο γονίδια ενός χρωμοσώματος και αντιμεταθέτει τις τιμές τους, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.2



Σχήμα 2.2: Τελεστής αντιμετάθεσης γονιδίων.

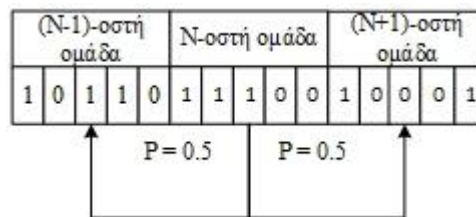
- **Τελεστής αντιμετάθεσης γονιδίων σε δυο χρωμοσώματα:**  
Ο τελεστής αυτός επιλέγει τυχαία δυο διαφορετικά χρωμοσώματα από τον πληθυσμό και δύο γονίδια για κάθε χρωμόσωμα και αντιμεταθέτει τις τιμές τους, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.3. Η διασταύρωση χρωμοσωμάτων της Ενότητας 2.3.4 επιτρέπει την ανταλλαγή πληροφορίας μεταξύ των χρωμοσωμάτων που έχουν καλύτερη τιμή καταλληλότητας. Ωστόσο ο συγκεκριμένος τελεστής αντιμετάθεσης γονιδίων σε δυο χρωμοσώματα συμβάλλει στην ανταλλαγή πληροφορίας μεταξύ όλων των χρωμοσωμάτων.



Σχήμα 2.3: Τελεστής σταυρωτής αντιμετάθεσης

- **Τελεστής αντιγραφής γονιδίου:**

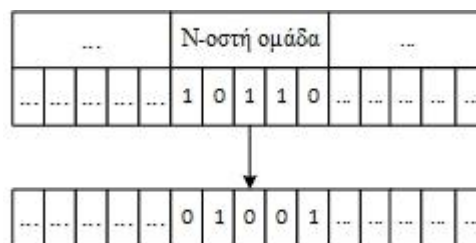
Ο τελεστής αυτός επιλέγει τυχαία ένα γονίδιο από μια ομάδα γονιδίων που κωδικοποιούν μια συγκεκριμένη λειτουργία στο χρωμόσωμα και με ίση πιθανότητα το αντιγράφει στο γονίδιο που βρίσκεται στην ίδια θέση και στην ομάδα που κωδικοποιεί την ίδια λειτουργία πριν και μετά από αυτό. Ο συγκεκριμένος τελεστή φαίνεται στο Σχήμα 2.4



Σχήμα 2.4: Τελεστής αντιγραφής γονιδίου

- **Τελεστής αντιστροφής γονιδίου:**

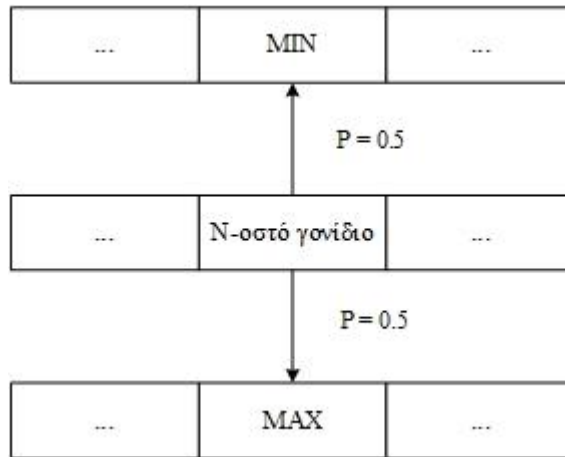
Ο τελεστής αυτός επιλέγει τυχαία ένα γονίδιο ενός χρωμοσώματος και αντιστρέφει την τιμή του από 0 σε 1 ή το αντίστροφο. Χρησιμοποιείται κυρίως σε δυαδικούς ΓΑ. Ο συγκεκριμένος τελεστής φαίνεται στο Σχήμα 2.5



Σχήμα 2.5: Τελεστής αντιστροφής γονιδίου

- **Τελεστής μέγιστου-ελάχιστου γονιδίου:**

Ο τελεστής αυτός επιλέγει τυχαία ένα γονίδιο για κάθε χρωμόσωμα και αλλάζει την τιμή του με ίση πιθανότητα 0.5 στη μέγιστη ή στην ελάχιστη τιμή που μπορεί να πάρει, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.6



Σχήμα 2.6: Τελεστής μεγίστου-ελαχίστου



## **ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**

### **3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Η διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας αναφέρεται στο σύνολο των διαδικασιών λειτουργίας και ελέγχου με τις οποίες η ηλεκτρική ενέργεια διανέμεται στους καταναλωτές μέσης και χαμηλής τάσης. Τα δίκτυα διανομής περιλαμβάνουν τις γραμμές ηλεκτρικής ενέργειας, μέσω των οποίων αυτή φτάνει στους καταναλωτές, και τους υποσταθμούς, οι οποίοι τις συνδέουν με το σύστημα μεταφοράς.

Τα δίκτυα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας (ΔΔΗΕ) φτάνουν μέχρι τον μετρητή της παρεχόμενης στον καταναλωτή ενέργειας. Μετά τον μετρητή αρχίζει η εσωτερική ηλεκτρική εγκατάσταση, που περιλαμβάνει το εσωτερικό δίκτυο διανομής και τις συσκευές κατανάλωσης.

Η διανομή ηλεκτρικής ενέργειας πραγματοποιείται σε δύο επίπεδα τάσης, στο επίπεδο μέσης τάσης (ΜΤ) και στο επίπεδο χαμηλής τάσης (ΧΤ). Ως αποτέλεσμα, τα ΔΔΗΕ παρουσιάζουν δύο διακριτές βαθμίδες:

- Το τμήμα του δικτύου, που βρίσκεται υπό ΜΤ, ονομάζεται *πρωτεύον δίκτυο* ή *δίκτυο διανομής μέσης τάσης* και εκτείνεται από τους υποσταθμούς υποβιβασμού ΥΤ/ΜΤ έως και τους μετασχηματιστές διανομής, όπου υπάρχει περαιτέρω υποβιβασμός της ΜΤ σε ΧΤ. Από το πρωτεύον δίκτυο τροφοδοτούνται άμεσα με τριφασική παροχή τα φορτία ΜΤ, που ανήκουν κυρίως σε μεγάλους βιομηχανικούς καταναλωτές. Συνήθως, τα δίκτυα ΜΤ έχουν ονομαστική τιμή τάσης από 1 kV έως και 35 kV [25].
- Το τμήμα του δικτύου που τροφοδοτείται από τους μετασχηματιστές διανομής βρίσκεται σε ΧΤ και ονομάζεται *δευτερεύον δίκτυο* ή *δίκτυο διανομής χαμηλής τάσης*. Μέσω αυτού η ενέργεια διανέμεται στους πελάτες ΧΤ, που είναι κυρίως οικιακοί αλλά και εμπορικοί καταναλωτές, άλλοι με τριφασικές και άλλοι με μονοφασικές παροχές. Η ονομαστική τιμή της τάσης των δικτύων ΧΤ είναι μικρότερη από 1 kV και συνήθως 0,4 kV [25].

Υπεύθυνοι για τη λειτουργία, τη συντήρηση και την ανάπτυξη των ΔΔΗΕ διαφόρων περιοχών ή/και χωρών είναι οι Διαχειριστές των Δικτύων Διανομής (*Distribution System Operators – DSOs*).

Στα σύγχρονα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας, η αξία των εγκαταστάσεων διανομής κυμαίνεται γύρω στο 30% του συνόλου των εγκαταστάσεων [11]. Ένα άλλο χαρακτηριστικό της διανομής είναι το πλήθος των στοιχείων που την αποτελούν. Μερικά από τα βασικά στοιχεία που διασυνδέονται στα ΔΔΗΕ και βοηθούν στην ομαλή λειτουργία τους είναι:

συστοιχίες πυκνωτών, διακόπτες ισχύος, ρυθμιστές τάσης. Στα ΔΔΗΕ διασυνδέονται επίσης μονάδες διανεμημένης παραγωγής (ΜΔΠ) είτε συμβατικής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από καύσιμα, είτε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ). Επιπλέον, οι απώλειες ενέργειας στο επίπεδο της διανομής είναι περίπου διπλάσιες από ότι στο επίπεδο της μεταφοράς.

Ανάλογα με την κατασκευή τους, τα δίκτυα διανομής διακρίνονται σε εναέρια και σε υπόγεια. Ένα βασικό πλεονέκτημα των εναέριων δικτύων είναι το μικρότερο κόστος επένδυσης και η ταχύτερη αποκατάσταση των βλαβών. Οι χρησιμοποιούμενοι αγωγοί είναι συνήθως από αλουμίνιο, απλό στα δίκτυα ΧΤ, ή ενισχυμένο με χάλυβα στα δίκτυα ΜΤ και ΥΤ. Τα τελευταία χρόνια, οι εναέρια γραμμές ΧΤ κατασκευάζονται κυρίως με μονωμένους αγωγούς, για ασφάλεια λειτουργίας και μειωμένη ενόχληση στο περιβάλλον. Στις πυκνοκατοικημένες περιοχές των πόλεων, τα ΔΔΗΕ κατασκευάζονται συνήθως υπόγεια, διότι δεν υπάρχει ο απαιτούμενος χώρος για τήρηση των αποστάσεων ασφαλείας από τα κτίρια και, επίσης, για λόγους αισθητικής. Τέλος, σε πολλές περιπτώσεις, ιδίως στα προάστια των πόλεων, τα δίκτυα διανομής κατασκευάζονται μεικτά, δηλαδή μερικώς εναέρια και μερικώς υπόγεια [11].

### 3.2 ΤΥΠΟΙ ΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Η μορφολογία των ΔΔΗΕ εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το είδος και την πυκνότητα φορτίων των καταναλωτών, που καθορίζονται τόσο από τη χωροταξική διαμόρφωση της κάθε χώρας όσο και από τα χαρακτηριστικά δόμησης των επιμέρους περιοχών. Για τον λόγο αυτό υπάρχουν διαφορές στα ΔΔΗΕ ακόμη και εντός της ίδια χώρας.

#### 3.2.1 Μορφολογία των Δικτύων Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας

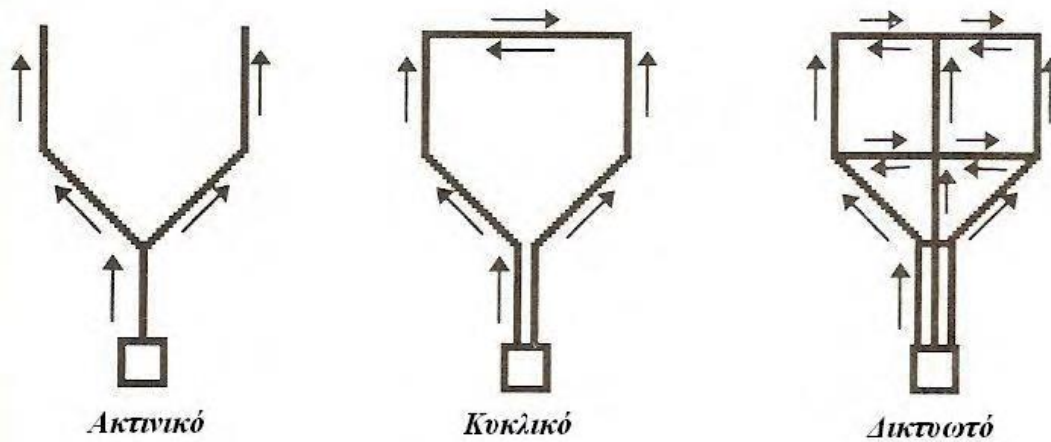
Η θέση των αγωγών των ΔΔΗΕ σε σχέση με το έδαφος είναι ένα βασικό χαρακτηριστικό με βάση το οποίο διακρίνονται σε δυο κατηγορίες, τα εναέρια και τα υπόγεια.

- Τα *εναέρια ΔΔΗΕ* φέρουν ως γραμμές αγωγούς που τοποθετούνται στην κορυφή στύλων. Παρουσιάζουν μειωμένο κόστος κατασκευής σε σχέση με τα υπόγεια, ενώ ευνοείται ο γρήγορος εντοπισμός και αποκατάσταση κάποιας πιθανής βλάβης. Για τους λόγους αυτούς καλύπτουν το μεγαλύτερο μέρος του δικτύου.
- Στα *υπόγεια ΔΔΗΕ* οι γραμμές περνούν κάτω από την επιφάνεια της γης. Προτιμώνται κυρίως σε περιοχές που είναι πυκνοκατοικημένες, όπως οι αστικές περιοχές, λόγω του περιορισμένου χώρου εγκατάστασης για την εξυπηρέτηση μεγάλης πυκνότητας φορτίων. Σε ορισμένες περιπτώσεις βέβαια συναντάται η χρήση συνδυασμού και των δυο ειδών δικτύων.

#### 3.2.2 Τοπολογία των Δικτύων Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας

Υπάρχουν τρεις κύριοι τρόποι σχεδιασμού ενός συστήματος διανομής που χρησιμοποιούν οι εταιρίες ηλεκτρισμού, καθένας από τους οποίους έχει διαφοροποιήσεις στη δημιουργία του [11]. Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.1, τα ακτινικά, τα κυκλικά και τα

δικτυωτά συστήματα διαφέρουν στο πως τα συστήματα τροφοδοσίας τακτοποιούνται και διασυνδέονται γύρω από έναν υποσταθμό. Τα βέλη δείχνουν τη ροή της ηλεκτρικής ενέργειας.



Σχήμα 3.1: Τύποι Δικτύων Διανομής

### 3.2.2.1 Ακτινικά Δίκτυα Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας

Αυτή η τοπολογία χρησιμοποιείται κυρίως σε εναέρια δίκτυα. Σε αυτή κάθε κύρια γραμμή διανομής συνδέεται μόνο από το ένα άκρο του δικτύου σε μετασχηματιστή (Μ/Σ) υποβιβασμού τάσης και διακλαδίζεται σε ολοένα μικρότερες γραμμές, δημιουργώντας έτσι δενδροειδές δίκτυο, με απολήξεις τους Μ/Σ ΜΤ/ΧΤ. Τόσο η προστασία όσο και η επέκταση των συστημάτων αυτών είναι σχετικά εύκολες λόγω του απλού σχεδιασμού τους.

Ωστόσο, βασικό μειονέκτημα είναι η σχετικά μεγάλη πτώση τάσης που σημειώνεται στα άκρα τους με αποτέλεσμα να δυσχεραίνεται η ρύθμιση του επιπέδου τάσης τους. Επίσης, η αξιοπιστία παροχής ηλεκτρικής ενέργειας σε αυτά είναι περιορισμένη. Για παράδειγμα, σε περίπτωση αποσύνδεσης μιας γραμμής για αντικατάσταση ή συντήρηση, τίθεται εκτός λειτουργίας ολόκληρο το τμήμα του δικτύου που την ακολουθεί. Η δυσκολία αυτή κατά τη συντήρηση αντιμετωπίζεται εν μέρει με την ύπαρξη γραμμών που διασυνδέουν μεταξύ τους διάφορα σημεία κατά μήκος των κύριων γραμμών διανομής των δικτύων με ακτινική τοπολογία. Συνεπώς, στην παραπάνω περίπτωση, αφού απομονωθεί με άνοιγμα των κατάλληλων αποζευκτών η γραμμή ενδιαφέροντος, το υπόλοιπο μέρος του δικτύου θα συνδεθεί, κλείνοντας τους κατάλληλους αποζευκτές, σε κάποια γειτονική γραμμή διανομής.

### 3.2.2.2 Κυκλικά Δίκτυα Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας

Στα ΔΔΗΕ με αυτή την τοπολογία παρέχεται ηλεκτρική ενέργεια στις κύριες γραμμές διανομής από τα δύο άκρα τους, τα οποία μπορεί να βρίσκονται στον ίδιο ή και σε διαφορετικούς Μ/Σ υποβιβασμού.

Κάθε κύρια γραμμή σχηματίζει βρόχο μέσω ενός αποζεύκτη, ο οποίος παραμένει ανοικτός σε κανονική λειτουργία διαχωρίζοντας τον βρόχο σε δυο ίσα τμήματα. Καθένα από αυτά τα δύο τμήματα σχεδιάζεται ώστε να μπορεί να εξυπηρετήσει τα συνδεδεμένα σε αυτό φορτία μαζί με τα φορτία του άλλου τμήματος. Με αυτό τον τρόπο είναι δυνατή η μεταφορά

των φορτίων του ενός τμήματος στο άλλο σε περίπτωση βλάβης τμήματος της κύριας γραμμής, κλείνοντας τον αποζεύκτη στο σημείο σύνδεσης.

Τα κυκλικά δίκτυα είναι κυρίως υπόγεια και εμφανίζουν μεγαλύτερη αξιοπιστία παροχής ενέργειας από τα ακτινικά.

### 3.2.2.3 Δικτυωτά Δίκτυα Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας

Τα δικτυωτά ΔΔΗΕ είναι τα πιο περίπλοκα, τα πιο αξιόπιστα και σε πολύ σπάνιες περιπτώσεις τα πιο οικονομικά ΔΔΗΕ. Ένα τέτοιο δίκτυο περιλαμβάνει πολλά μονοπάτια ανάμεσα σε όλα τα σημεία του. Η ροή ισχύος ανάμεσα σε οποιαδήποτε δυο σημεία συνήθως χωρίζεται σε διαφορετικά μονοπάτια και σε περίπτωση που εμφανιστεί βλάβη, το σύστημα άμεσα και αυτόματα αλλάζει την κατεύθυνση της ροής ισχύος.

Σπάνια ένα ΔΔΗΕ περιλαμβάνει σχεδιασμό βασικού επιπέδου τάσης, στο οποίο όλοι ή οι περισσότεροι διακόπτες ανάμεσα στους τροφοδότες είναι κλειστοί έτσι ώστε το σύστημα τροφοδοσίας να ενώνεται ανάμεσα στους υποσταθμούς. Αυτό συμβαίνει σπάνια επειδή έχει αποδειχθεί ιδιαίτερα δαπανηρό και χωρίς άριστα αποτελέσματα. Ένα ΔΔΗΕ σχεδόν πάντα περιλαμβάνει συμπλέγματα ακτινικών τροφοδοσιών και ένα δευτερεύον δικτυωτό σύστημα (ένα δικτυωτό πλέγμα από ηλεκτρικά ισχυρούς αγωγούς που συνδέουν όλους μαζί τους πελάτες σε βασική τάση χρησιμοποίησης).

Τα δικτυωτά συστήματα είναι πολύ πιο ακριβά από τα ακτινικά συστήματα διανομής. Σε πυκνοκατοικημένες περιοχές, όπου η πυκνότητα του φορτίου είναι πολύ υψηλή, η διανομή πρέπει να τοποθετηθεί υπόγεια με συνέπεια οι επισκευές και η συντήρηση να είναι επίπονες λόγω της κυκλοφοριακής συμφόρησης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τα δίκτυα αυτής της μορφής να κοστίζουν ακριβότερα από τα κυκλικά συστήματα. Τα δικτυωτά συστήματα απαιτούν μόλις μια μικρή ποσότητα χωρητικής αγωγιμότητας μεγαλύτερη από ένα κυκλικό σύστημα.

Το κύριο μειονέκτημα αυτών των συστημάτων είναι ότι είναι πολύ πιο περίπλοκα από όλες τις υπόλοιπες μορφές διανομής και έτσι είναι πολύ δύσκολα στην ανάλυση και τη σχεδίαση. Επειδή δεν υπάρχει μονομερής κατεύθυνση ανάμεσα στις μονάδες του εξοπλισμού όπως στα ακτινικά δίκτυα, το φορτίο δεν μπορεί να υπολογιστεί με την απλή πρόσθεση των καταναλωτών που βρίσκονται υπό φορτίο, ούτε μπορεί να βρεθεί η κατεύθυνση της ενεργού ισχύος. Τα φορτία, η ροή ισχύος, τα ρεύματα βραχυκύκλωσης και η προστασία πρέπει να καθορίζονται από τεχνικούς του δικτύου. Έτσι, γίνεται κατανοητό ότι απαιτούνται πολύπλοκοι υπολογισμοί, καθώς ένα τεράστιο ΔΔΗΕ μπορεί να αποτελείται από ένα πολύ μεγάλο αριθμό κόμβων.

## 3.3 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Ένα σύστημα διανομής ενέργειας είναι μια πολυσύνθετη κατασκευή, αποτελούμενη από ένα σύνολο στοιχείων που λειτουργούν όλα μαζί με κοινό στόχο τη διανομή της ενέργειας από τα σημεία παραγωγής στους καταναλωτές.

Ο σχεδιασμός ενός τέτοιου συστήματος είναι περίπλοκος γιατί κάθε στοιχείο επηρεάζει την ηλεκτρική συμπεριφορά των γειτονικών του στοιχείων και πρέπει να σχεδιάζεται ώστε να λειτουργεί ικανοποιητικά σε συνεργασία με το υπόλοιπο σύστημα κάτω από μια πληθώρα

διαφορετικών συνθηκών, ανεξάρτητα από ενδεχόμενες αλλαγές στην κανονική μορφή των φορτίων ή στην κατάσταση του γειτονικού εξοπλισμού.

Οι κύριοι τύποι εξοπλισμού από τους οποίους αποτελείται ένα ΔΔΗΕ είναι [11]:

- οι γραμμές ή τα καλώδια διανομής,
- οι Μ/Σ, οι οποίοι αλλάζουν το επίπεδο της τάσης της μεταφερόμενης ενέργειας,
- ο εξοπλισμός προστασίας που προσφέρει ασφάλεια και συνέχιση της λειτουργίας ακόμα και σε περίπτωση βλάβης,
- ο εξοπλισμός ρύθμισης τάσης, που χρησιμοποιείται για να διατηρεί την τάση εντός των επιτρεπτών ορίων καθώς το φορτίο αλλάζει. Τέτοια στοιχεία είναι οι συστοιχίες πυκνωτών και οι ρυθμιστές τάσης.

### 3.3.1 Γραμμές Διανομής

Οι γραμμές αυτές αποτελούν το πρωτεύον δίκτυο διανομής. Συνήθως οι μεγαλύτερες από αυτές συνθέτουν τον βασικό κορμό του δικτύου που διανέμει και το μεγαλύτερο φορτίο. Από διάφορα σημεία του κορμού ξεκινούν μικρότερες με στόχο την κάλυψη όλων των φορτίων της περιοχής. Το σύνολο των γραμμών του κορμού αποτελούν τις κύριες γραμμές διανομής (*primary feeders*), ενώ οι μικρότερες γραμμές αποτελούν τις *διακλαδώσεις (laterals)*.

Οι γραμμές διανομής φέρουν κατά μήκος τους πολλά διακοπτικά στοιχεία έτσι ώστε σε περίπτωση βλάβης να τεθεί εκτός λειτουργίας το μικρότερο δυνατό τμήμα του δικτύου διασφαλίζοντας έτσι μεγαλύτερη αξιοπιστία στην παροχή της ηλεκτρικής ενέργειας. Η ονομαστική τους τάση εξαρτάται από πλήθος παραγόντων, όπως από το είδος και την πυκνότητα φορτίου της περιοχής, το κατασκευαστικό κόστος του δικτύου, τον σχεδιασμό και την ονομαστική ισχύ των συνδεδεμένων υποσταθμών αλλά και τον ρυθμό αύξησης του φορτίου στην περιοχή [12].

### 3.3.2 Μετασηματιστές

Οι υποσταθμοί υποβιβασμού ΥΤ σε ΜΤ είναι συνήθως εξοπλισμένοι με συστήματα Μ/Σ που δίνουν τη δυνατότητα μεταβολής της τάσης εξόδου τους υπό φορτίο (*Σύστημα Αλλαγής Τάσης Υπό Φορτίο – ΣΑΤΥΦ*).

Με τη χρήση πολλαπλών λήψεων στο πρωτεύον τύλιγμα του Μ/Σ και κινητών επαφών στο δευτερεύον καθίσταται εφικτή η αλλαγή του λόγου μετασηματισμού των τυλιγμάτων τους χωρίς διακοπή της ροής ισχύος. Η μεταβολή του λόγου μετασηματισμού δεν είναι συνεχής αλλά με βήματα, κατά ένα ποσοστό του αρχικού λόγου ανά βήμα [4]. Συνήθως, η μέγιστη δυνατή ποσοστιαία αύξηση του λόγου μετασηματισμού είναι ίση με τη μέγιστη δυνατή ποσοστιαία μείωσή του.

Με τη χρήση των Μ/Σ με ΣΑΤΥΦ δύναται να προκληθεί αύξηση ή μείωση του επιπέδου της τάσης στους ζυγούς του ΔΔΗΕ που βρίσκονται στους υποσταθμούς υποβιβασμού, μεταβάλλοντας αντίστοιχα τις τιμές τάσεων σε όλα τα υπόλοιπα σημεία του δικτύου. Επομένως, σε περιπτώσεις παραβίασης των περιορισμών τάσης σε τμήμα του πρωτεύοντος δικτύου, με μια ή περισσότερες αλλαγές λήψεων στον Μ/Σ της κατάλληλης

κύριας γραμμής τροφοδοσίας είναι δυνατή η αποκατάσταση της λειτουργίας του εντός των επιθυμητών ορίων, τηρώντας τα πρότυπα ποιότητας της παρεχόμενης ισχύος [25].

### 3.3.3 Διακόπτες

Η ανάγκη για χειρισμούς και για προστασία των χειριστών και της εγκατάστασης οδήγησε σε ορισμένα είδη διακοπών, που χρησιμοποιούνται στους πίνακες ΜΤ των εταιριών ηλεκτρισμού καθώς και σε εκείνους των καταναλωτών ΜΤ. Οι διακόπτες αυτοί είναι [11]:

- Οι *Αποζεύκτες* (Α/Ζ)  
Αποζεύκτες ονομάζονται οι συσκευές που απομονώνουν από την παροχή ένα κύκλωμα που έχει ήδη τεθεί εκτός τάσης λειτουργίας ή διαρρέεται από αμελητέο ρεύμα. Το ρεύμα αυτό οφείλεται κυρίως στα ρεύματα των μονωτήρων, των ζυγών και των Μ/Σ [11].
- Οι *Διακόπτες Φορτίου* (Δ/Φ)  
Διακόπτες Φορτίου ονομάζονται οι συσκευές που έχουν την ικανότητα να διακόπτουν ή να αποκαθιστούν εντάσεις υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας του κυκλώματος [11]. Δεν μπορούν όμως να διακόπτουν τα ρεύματα βραχυκύκλωσης. Στα ΔΔΗΕ υπάρχουν δυο είδη τέτοιων διακοπών:
  - οι *Διακόπτες Απομόνωσης* που συνδέουν δυο τμήματα γραμμών της ίδιας γραμμής τροφοδοσίας,
  - οι *Διακόπτες Διασύνδεσης* που σε κανονική λειτουργία είναι ανοιχτοί. Όταν κλείσουν μπορούν να συνδέσουν δυο διαφορετικές γραμμές τροφοδοσίας δημιουργώντας βρόχο.
- Οι *Διακόπτες Ισχύος* (Δ/Ι)  
Διακόπτες ισχύος ονομάζονται οι συσκευές που έχουν την ικανότητα να διακόπτουν ή να αποκαθιστούν τις εντάσεις υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας του κυκλώματος, όπως και οι Δ/Φ [11]. Επιπλέον προστατεύουν την εγκατάσταση σε περίπτωση βραχυκυκλώματος. Οι Δ/Ι έχουν μεγαλύτερη ισχύ από τους Δ/Φ.

### 3.3.4 Μέσα Προστασίας – Ασφάλειες

Όταν ο ηλεκτρικός εξοπλισμός υποστεί κάποιο σφάλμα, η φυσιολογική συνέχεια του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας διακόπτεται. Ο εξοπλισμός προστασίας είναι σχεδιασμένος να εντοπίζει τέτοιες καταστάσεις και να απομονώνει τον εξοπλισμό που τις έχει υποστεί, ακόμη και αν αυτό σημαίνει την αποκοπή μερικών καταναλωτών.

Οι προστασίες των ΔΔΗΕ αποβλέπουν σε τρεις κύριους στόχους:

- την πρόληψη ή τουλάχιστον τον περιορισμό της βλάβης των στοιχείων του δικτύου αν σε αυτό συμβεί κάποιο σφάλμα,
- περιορισμό στο ελάχιστο των επιπτώσεων στο υπόλοιπο σύστημα και ιδιαίτερα ελαχιστοποίηση της αποκοπής καταναλωτών,

- αποφυγή επικίνδυνων καταστάσεων για φυσικά πρόσωπα (ηλεκτροπληξία) και για αντικείμενα (πυρκαγιά εξοπλισμού).

Οι ασφάλειες MT χρησιμοποιούνται για να προστατεύσουν ένα κύκλωμα MT, όταν σε αυτό υπάρχει βραχυκύκλωμα αλλά και υπερφόρτιση η οποία διαρκεί αρκετή ώρα. Οι ασφάλειες MT χωρίζονται σε δυο βασικές κατηγορίες:

- Ασφάλειες Σκόνης
- Ασφάλειες Εκτόνωσης

### 3.3.5 Μέσα Ρύθμισης Τάσης

Η ρύθμιση της τάσης περιλαμβάνει ρυθμιστές στις γραμμές και αντισταθμιστές πτώσης τάσης, καθώς και Μ/Σ αλλαγής βήματος. Αυτές οι συσκευές αλλάζουν τον ρυθμό του βήματος (ρυθμός τάσης εισόδου προς τάση εξόδου) έτσι ώστε να αντιμετωπίζονται διαφοροποιήσεις από πιθανές πτώσεις τάσης. Η ορθή χρήση τους βοηθάει στη διατήρηση του επιπέδου τάσης εντός αποδεκτών ορίων, καθώς μπορούν να μειώσουν σημαντικά τη διακύμανσή της.

Τα μέσα που χρησιμοποιούνται για τη ρύθμιση της τάσης των ΔΔΗΕ είναι κυρίως τα ακόλουθα:

- ρυθμιστές τάσης υπό φορτίο (PT), οι οποίοι μεταβάλλουν την τάση εξόδου τους αυτόματα σε πολύ μικρά χρονικά διαστήματα (τάξεως δευτερολέπτων) και διακρίνονται σε:
  - ενσωματωμένους στους υποσταθμούς ΥΤ/ΜΤ (ΣΑΤΥΦ)
  - ανεξάρτητους, οι οποίοι εγκαθίστανται στην αρχή ή κατά μήκος των γραμμών ΜΤ
- πυκνωτές, οι οποίοι εγκαθίστανται είτε στους ζυγούς ΜΤ των υποσταθμών ΥΤ/ΜΤ, είτε στις γραμμές ΜΤ
- λήψεις των Μ/Σ ΜΤ/ΧΤ, οι οποίες μπορεί να μεταβάλλονται μόνο όταν ο Μ/Σ είναι αποσυνδεδεμένος από το δίκτυο. Οι μεταβολές των λήψεων γίνονται χειροκίνητα σε πολύ αραιά διαστήματα μέσω μεταγωγών τάσης.

Οι συστοιχίες παράλληλων πυκνωτές συνδέονται είτε μόνιμα, είτε μέσω διακοπών και διατάξεων αυτοματισμού (αποζεύξιμοι πυκνωτές). Η διάταξη αυτοματισμού συνίσταται από ένα ηλεκτρονόμο τάσης, ο οποίος προκαλεί τη ζεύξη των πυκνωτών, όταν η τάση μειωθεί κάτω από μια ορισμένη τιμή (οπότε προκαλείται ανύψωση τάσης) ή την απόζευξη, όταν η τάση υπερβεί μια ορισμένη τιμή. Οι πυκνωτές διορθώνουν τον συντελεστή ισχύος ( $\cos\phi$ ) και έτσι βελτιώνουν την τάση υπό μεγάλα φορτία (μεγάλη πτώση τάσης). Συμβάλλουν στη διόρθωση του συντελεστή ισχύος ώστε να φτάνει όσο γίνεται πιο κοντά στη μονάδα.

## 3.4 ΔΙΑΝΕΜΗΜΕΝΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΕ ΔΙΚΤΥΑ ΔΙΑΝΟΜΗΣ

Η διανεμημένη παραγωγή αποτελεί μια σχετικά νέα έννοια στη βιομηχανία του ηλεκτρισμού, αλλά στην πραγματικότητα ως ιδέα είναι κάθε άλλο παρά καινούργια. Το

ηλεκτρικό ρεύμα που χρησιμοποιήθηκε στα πρώτα ΣΗΕ ήταν συνεχές (ΣΡ) και χαμηλής τάσης. Οι πρώτοι κεντρικοί σταθμοί παραγωγής ενέργειας παρείχαν ηλεκτρισμό σε πελάτες-φορτία που βρίσκονταν σε μικρή απόσταση από αυτούς. Η εξισορρόπηση ζήτησης και παραγωγής υλοποιούνταν μερικώς με τη χρήση τοπικής αποθήκευσης ενέργειας, όπως για παράδειγμα με τη χρήση συσσωρευτών οι οποίοι είχαν τη δυνατότητα άμεσης ηλεκτρικής σύνδεσης με το DC δίκτυο ισχύος [13].

Τα τελευταία χρόνια έχει αρχίσει να δημιουργείται και πάλι ενδιαφέρον για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε διάφορα σημεία του δικτύου, στο σύστημα διανομής. Ως διανεμημένη παραγωγή (ΔΠ), ορίζεται συνήθως η μικρής κλίμακας παραγωγή ενέργειας κοντά στην κατανάλωση. Με τη μέχρι τώρα βιβλιογραφική έρευνα, τα συμπεράσματα που βγαίνουν γύρω από το θέμα της ΔΠ είναι ότι δεν υπάρχει ένας σαφής ορισμός, είτε στην βιβλιογραφία είτε στις νομοθεσίες των διαφόρων κρατών. Για έναν ενιαίο ορισμό υπάρχουν διάφορα αντικείμενα συζήτησης που πρέπει περαιτέρω να αναλυθούν, όπως ο σκοπός για τον οποίο γίνεται η παραγωγή, η τοποθεσία, η ισχύς λειτουργίας, η περιοχή διανομής, η τεχνολογία που χρησιμοποιείται, οι επιπτώσεις στο περιβάλλον, ο τρόπος λειτουργίας, το ιδιοκτησιακό καθεστώς και το ποσοστό διείσδυσης της ΔΠ [14].

Υπάρχει μεγάλο πλήθος διανεμημένων πηγών ενέργειας που χρησιμοποιούνται στις Μονάδες Διανεμημένης Παραγωγής (ΜΔΠ). Οι διανεμημένες πηγές ενέργειας μπορούν να διακριθούν στις εξής κατηγορίες [23]:

- a) *Διανεμημένη Παραγωγή*, η οποία χωρίζεται σε:
  - (i) *Ελεγχόμενη ΔΠ*: Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει ελεγχόμενης παραγωγής γεννήτριες όπως ΜΔΠ καυσίμου, Αεριοστρόβιλους, Μονάδες Συνδυασμένου Κύκλου, Υδροηλεκτρικά, Μονάδες Βιομάζας, Μηχανές Εσωτερικής Καύσης κ.α.. Αυτό το είδος ΔΠ μπορεί να ρυθμίζει την παραγωγή ενέργειας με βάση την ζήτηση.
  - (ii) *Μη Ελεγχόμενη ΔΠ*: Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει ΜΔΠ όπου η παραγωγή ενέργειας στην έξοδό τους δεν μπορεί να προβλεφθεί με ακρίβεια και δεν μπορούν να αποκοπούν σε προκαθορισμένη χρονική στιγμή από τον διαχειριστή του δικτύου. Τέτοιες ΜΔΠ είναι οι ανεμογεννήτριες και τα φωτοβολταϊκά, όπου χαρακτηρίζονται από στοχαστικά στοιχεία όπως ο άνεμος και ο ήλιος.
- b) *Σύστημα Αποθήκευσης Ενέργειας*: Φορτίζοντας ή εκφορτίζοντας ένα τέτοιο σύστημα μπορεί να θεωρηθεί αντίστοιχα πως λειτουργεί ως φορτίο ή γεννήτρια. Η πιο διαδεδομένη τεχνολογία τέτοιου τύπου, είναι οι συστοιχίες μπαταριών αποθήκευσης ενέργειας. Άλλες τεχνολογίες τέτοιου τύπου είναι το σύστημα αντλησιοταμίευσης, συμπιεσμένου αέρα κ.α.
- c) *Σύστημα ΔΠ ανάλογα με τη ζήτηση ή το φορτίο και Σύστημα ΔΠ ευέλικτης ζήτησης*: Το σύστημα ΔΠ ανάλογα με τη ζήτηση αναφέρεται σε εσκεμμένη τροποποίηση της χρήσης της ηλεκτρικής ενέργειας από τον τελικό καταναλωτή, κατά τη διάρκεια αστάθειας του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. Στους τελικούς χρήστες δίνεται αποζημίωση σε αντίθεση με το σύστημα ΔΠ ανάλογα το φορτίο, όπου η καμπύλη φορτίου ακολουθεί τη δυναμική τιμολόγηση. Σύμφωνα με το σύστημα ΔΠ ευέλικτης ζήτησης, η ενέργεια διανέμεται στους καταναλωτές, μετακινώντας το φορτίο από περιόδους με μέγιστη τιμή σε περιόδους με μικρότερη τιμή ηλεκτρικής ενέργειας. Έτσι η συνολική



κατανάλωση ενέργειας παραμένει η ίδια κατά τη διάρκεια ενός συγκεκριμένου χρονικού ορίζοντα.

Η διείδυση της ΔΠ αποτελεί μέρος μιας σειράς αλλαγών που λαμβάνουν χώρα τα τελευταία χρόνια στα ΣΗΕ. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ορυκτά καύσιμα αντικαθίσταται από την παραγωγή από ΑΠΕ, ενώ οι μεγάλες μονάδες παραγωγής συνδεδεμένες στο σύστημα μεταφοράς, αντικαθίστανται από μικρές μονάδες παραγωγής, συνδεδεμένες στο σύστημα διανομής [15].

Οι λόγοι ανάπτυξης των εφαρμογών ΔΠ είναι κυρίως οικονομικοί, λειτουργικοί αλλά και περιβαλλοντικοί. Η εισαγωγή της ΔΠ θα οδηγήσει σε αύξηση του ανταγωνισμού στην αγορά του ηλεκτρισμού, επομένως και σε καλύτερη ποιότητα προϊόντος (ηλεκτρικής ενέργειας) σε χαμηλότερη τιμή. Επιπλέον, η παραγωγή ρεύματος κοντά στην τοποθεσία κατανάλωσης έχει ως αποτέλεσμα την ελαχιστοποίηση των συνολικών απωλειών ενεργού ισχύος του συστήματος, μειώνοντας αντίστοιχα το κόστος διανομής της ενέργειας στα ΔΔΗΕ, αλλά επηρεάζει και μεταφορά ενέργειας στα δίκτυα μεταφοράς ΥΤ [16]. Η εγκατάσταση ΔΠ στα ΔΔΗΕ δημιουργεί διορθώνει (μειώνει) την πτώση τάσης και ως εκ τούτου σε απομακρυσμένες περιοχές μπορεί να συνεισφέρει στη βελτίωση της ποιότητας της παρεχόμενης ισχύος. Στις περισσότερες περιπτώσεις, όταν αναφέρεται ο όρος ΔΠ, αυτός συμπεριλαμβάνει και τη συμπαραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού, ανεβάζοντας έτσι τη συνολική απόδοση των μηχανών [17].

Ακόμα, η ΔΠ μπορεί να προσφέρει σημαντικά περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα συμπεριλαμβανομένης και της μείωσης της κατανάλωσης ορυκτών καυσίμων και της μείωσης των εκπομπών σε CO<sub>2</sub> και των υπόλοιπων αερίων του θερμοκηπίου (GHG) [18], [19]. Άλλωστε, οι στόχοι που έχουν θέσει οι διεθνείς φορείς και τα κράτη για μείωση των εκπομπών ρύπων κινούνται προς αυτή την κατεύθυνση, δίνοντας κίνητρα και προτρέποντας τη διαρκή αύξηση της διείδυσης των ΑΠΕ στα ΔΔΗΕ.

Η σωστή τοποθέτηση και η σωστή διαστασιολόγηση των ΜΔΠ σε ένα ΔΔΗΕ συνεισφέρει στην καλύτερη αξιοποίηση των πλεονεκτημάτων που προσφέρει η εγκατάσταση ΜΔΠ. Η βέλτιστη τοποθέτηση και διαστασιολόγηση των ΜΠΔ μπορεί να οδηγήσει σε καθυστέρηση της ανάγκης του δικτύου για αναβάθμιση, να συμβάλει στην ορθή και ομαλή λειτουργία του ΔΔΗΕ, να μειώσει την πιθανότητα εμφάνισης κάποιας συμφόρησης ή υψηλής πτώσης τάσης, καθώς επίσης μπορεί να αποφευχθεί η ανάγκη για δημιουργία νέων κεντρικών σταθμών [20], [24].

### 3.4.1 Πλεονεκτήματα

Η εγκατάσταση μονάδων ΔΠ στα δίκτυα διανομής δεν παρουσιάζει μόνο οικονομικά πλεονεκτήματα, αλλά βελτιώνει και ορισμένα λειτουργικά τους χαρακτηριστικά, αποτελώντας έτσι μια ελκυστική επιλογή για τους διαχειριστές των ΔΔΗΕ. Τα σημαντικότερα οφέλη για τα δίκτυα είναι τα ακόλουθα:

- Δίνεται η δυνατότητα εξυπηρέτησης μέρους των φορτίων των δικτύων από τοπικές μονάδες ΔΠ με αποτέλεσμα τη μείωση της εισερχόμενης ισχύος από το σύστημα μεταφοράς. Παράλληλα, επιτυγχάνεται αποσυμφόρηση στα συστήματα μεταφοράς αλλά και στα δίκτυα διανομής και ελαχιστοποιείται η πιθανότητα παραβίασης των λειτουργικών ορίων τους. Έτσι επιτυγχάνεται

ευκολότερος χειρισμός των δικτύων και καλύτερη συντήρηση του εξοπλισμού τους λόγω μειωμένης καταπόνησης.

- Εκτός από την παροχή ενεργού ισχύος, οι ΜΔΠ έχουν τη δυνατότητα να προσφέρουν έλεγχο της αέργου ισχύος, παρέχοντας παρόμοια οφέλη με τις συστοιχίες εγκάρσιων πυκνωτών, δηλαδή δυνατότητα ρύθμισης των επιπέδων τάσης και κάλυψη των άεργων καταναλώσεων των γραμμών του δικτύου.
- Η διασύνδεση των ΜΔΠ σε ένα ΔΔΗΕ επηρεάζει άμεσα το μέγεθος των απωλειών στις γραμμές του. Τα αποτελέσματα εξαρτώνται από το είδος και τα χαρακτηριστικά του δικτύου αλλά και το είδος και τη θέση σύνδεσης των ΜΔΠ. Έτσι, οι απώλειες ενεργού και αέργου ισχύος ενός δικτύου μπορεί μετά από ενσωμάτωση νέας μονάδας είτε να μειωθούν είτε να αυξηθούν, ανάλογα με τις συνθήκες. Βέβαια, το συγκεκριμένο θέμα έχει προσελκύσει μεγάλο ερευνητικό ενδιαφέρον με αποτέλεσμα να έχουν αναπτυχθεί αλγόριθμοι με τους οποίους υπολογίζονται οι βέλτιστες θέσεις τοποθέτησης ΜΔΠ ώστε όχι μόνο να επιτυγχάνεται μείωση των απωλειών ισχύος, αλλά αυτή να είναι και η μέγιστη δυνατή [21], [22]. Εξασφαλίζεται με τον τρόπο αυτό σημαντικό κέρδος, αφού ως γνωστόν το στάδιο διανομής εμφανίζει το μεγαλύτερο ποσοστό απωλειών ενεργού ισχύος σε σχέση με τα υπόλοιπα λόγω της συγκριτικά μεγαλύτερης τιμής των ωμικών αντιστάσεων των γραμμών του.
- Οι ΜΔΠ, με τη χρήση μέσων αποθήκευσης της παραγόμενης ισχύος (συστοιχίες μπαταριών, αντλησιοταμίευση, κ.ά.), μπορούν να λειτουργήσουν για παροχή εφεδρείας στο δίκτυο και κάλυψη τοπικών φορτίων σε περιπτώσεις απότομης διακοπής της ηλεκτροδότησης.

### 3.5 ΤΕΧΝΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ

Από τις σημαντικότερες συνέπειες της διασύνδεσης ΜΔΠ στα ΔΔΗΕ είναι η αντίστροφη ροή ισχύος στις γραμμές τους. Αυτή μπορεί να οδηγήσει όχι μόνο σε διαταραχές στην τάση λειτουργίας, αλλά και να προκαλέσει προβλήματα σχετικά με την προστασία του συστήματος, καθιστώντας πιο πολύπλοκη την ανίχνευση και αντιμετώπιση υπερφορτίσεων και βραχυκυκλωμάτων.

Η διαρκώς αυξανόμενη διείσδυση των ΜΔΠ, πέραν της μείωσης της πτώσης τάσης στα ΔΔΗΕ, μπορεί να οδηγήσει σε ανύψωση της τάσης σε ορισμένα σημεία του δικτύου και ιδίως σε αυτά που αυτές είναι διασυνδεδεμένες. Η ανύψωση αυτή δημιουργείται κυρίως στην αδυναμία πρόβλεψης υψηλής παραγωγής των ΑΠΕ σε συνδυασμό με χαμηλή ζήτηση φορτίου.

#### 3.5.1 Ποιότητα Ισχύος

Η ποιότητα τάσης αποτελεί σημαντικό στοιχείο αξιολόγησης ενός ΔΔΗΕ και σχετίζεται με τα χαρακτηριστικά της παρεχόμενης από αυτό τάσης. Όπως προβλέπεται από

τα Διεθνή και Ευρωπαϊκά πρότυπα, η διασφάλισή της απαιτεί την τήρηση ορισμένων προϋποθέσεων [25]:

- Διατήρηση συχνότητας και ενεργού τιμής της τάσης ( $V_{RMS}$ ) σταθερών και εντός συγκεκριμένων ορίων από τις ονομαστικές τιμές.
- Περιορισμός των αρμονικών συνιστωσών και του συντελεστή ολικής αρμονικής παραμόρφωσης (Total Harmonic Distortion – THD).
- Διατήρηση συμμετρίας μεταξύ των φάσεων.
- Αποφυγή απότομων διαταραχών τάσης (βυθίσεις/ανυψώσεις, flicker).
- Αποφυγή διακοπών παροχής τάσης.

Με την εγκατάσταση ΔΠ στα ΔΔΗΕ εμφανίζεται συνεχής διακύμανση της παραγωγής ισχύος η οποία, σε συνδυασμό με την ήδη υπάρχουσα διακύμανση φορτίου οδηγεί σε συνεχή μετάβαση του συστήματος από μια κατάσταση λειτουργίας σε άλλη. Επομένως, προκαλούνται ταχείες μεταβολές στην τάση που μπορεί να οδηγήσουν σε παραβίαση των άνω προϋποθέσεων και πρόκληση διαταραχών, τοπικών ή ευρύτερων, προξενώντας πιθανότατα βλάβες σε εξοπλισμό του δικτύου ή και των καταναλωτών.

### 3.5.2 Προστασία Δικτύου

Κατά τον σχεδιασμό πολλών σημερινών ΔΔΗΕ δεν είχε μελετηθεί το ενδεχόμενο άμεσης ενσωμάτωσης σε αυτά ΜΔΠ. Εύλογα λοιπόν, η ροή ισχύος γινόταν από τους υποσταθμούς με κατεύθυνση αποκλειστικά προς στους καταναλωτές. Με τη διεύδυση της ΔΠ δημιουργείται πλέον το ενδεχόμενο ροής ισχύος από τους καταναλωτές προς το δίκτυο ή ακόμα και από το δίκτυο διανομής προς το σύστημα μεταφοράς σε περιπτώσεις υψηλής παραγωγής και χαμηλής ζήτησης.

Τα συστήματα προστασίας και ελέγχου που είναι εγκατεστημένα όμως, έχουν αναπτυχθεί χωρίς να λαμβάνουν υπόψιν τους την αμφίδρομη ροή ισχύος. Ως αποτέλεσμα, πιθανά ρεύματα βραχυκύκλωσης (fault currents) έχουν επιπλέον διόδους ροής στο δίκτυο που δεν υπόκεινται σε έλεγχο. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε αδυναμία εντοπισμού υπάρχοντος σφάλματος σε περιπτώσεις υπερεντάσεως.

Μια λύση στο εν λόγω πρόβλημα είναι η εγκατάσταση μέσω προστασίας σχεδιασμένων για αμφίδρομη ανίχνευση σφαλμάτων. Στο πλαίσιο αυτό είναι απαραίτητη η συνδυασμένη δράση του εξοπλισμού προστασίας του δικτύου με αυτόν των μονάδων ΔΠ ώστε να αποφευχθούν περιπτώσεις δημιουργίας τμημάτων δικτύου που είναι αποσυνδεδεμένα από το κυρίως δίκτυο και τροφοδοτούνται μόνο από ΔΠ (νησιδοποίηση).

### 3.5.3 Κόστος Δικτύου

Άλλη μια πρόκληση που αντιμετωπίζουν τα ΔΔΗΕ που περιλαμβάνουν κυρίως ΜΔΠ καυσίμου είναι το υψηλό κόστος λειτουργίας. Συγκεκριμένα, σημαντικό είναι το κόστος κεφαλαίου ανά kW εγκατεστημένης ισχύος, συγκριτικά με τα μεγάλα συγκεντρωμένα εργοστάσια παραγωγής. Κυριαρχεί δηλαδή η άποψη ότι το κόστος για την πρωταρχική παροχή καυσίμου στις συμβατικές ΜΔΠ είναι αρκετά μεγαλύτερο από ότι για την κεντρική παραγωγή, ιδίως αν οι συμβατικές ΜΔΠ χρησιμοποιούνται περισσότερο σε σχέση με τις ΑΠΕ.

### 3.6 ΕΞΥΠΝΑ ΔΙΚΤΥΑ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Στις Ενότητες 3.3 και 3.5.2 δόθηκε μια περιγραφή των στοιχείων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να ελέγξουν τη λειτουργία ενός ΔΔΗΕ. Η μετατροπή των ΔΔΗΕ από παθητικά σε ενεργά σε συνδυασμό με τη δυνατότητα ελέγχου των στοιχείων ενός ΔΔΗΕ, καθώς και τον έλεγχο της παραγωγής και έγχυσης ισχύος από ΜΔΠ, μετατρέπουν το απλό ΔΔΗΕ σε έξυπνο ΔΔΗΕ με σκοπό τη βιώσιμη, ασφαλή και οικονομική παροχή ηλεκτρικής ενέργειας. Στη μετατροπή των παθητικών ΔΔΗΕ σε έξυπνα ΔΔΗΕ έχουν συμβάλει οι προηγμένες συσκευές μέτρησης και ελέγχου και οι Τεχνολογίες Πληροφορικής και Επικοινωνιών (ΤΠΕ).

Απώτερος σκοπός του ελέγχου του έξυπνου ΔΔΗΕ είναι η επίτευξη κάθε χρονική στιγμή των οικονομικών και λειτουργικών κριτηρίων που έχουν τεθεί από το διαχειριστή. Η δυνατότητα ευφυούς συνδυασμού χειρισμών των στοιχείων για αλλαγή της κατάστασης του δικτύου προσφέρει μεγαλύτερη ευελιξία και επιτρέπει τη μεγαλύτερη διείσδυση ΔΠ σε σχέση με τα παλιά παθητικά δίκτυα.

Εκτός από την αλλαγή κατάστασης μέσω ελέγχου των στοιχείων του δικτύου (διακόπτες για αλλαγή τοπολογίας, χωρητικές αντισταθμίσεις και Μ/Σ με ΣΑΤΥΦ για ρύθμιση της τάσης) είναι δυνατός και ο έλεγχος της παρεχόμενης ενεργού και αέργου ισχύος των ΜΔΠ. Οι δύο πιο χαρακτηριστικές πρακτικές είναι οι ακόλουθες:

- *Αποκοπή (curtailment)* της παρεχόμενης ενεργού ισχύος των ΜΔΠ λόγω παραβίασης των περιορισμών ασφαλείας του δικτύου. Σε ακραίες περιπτώσεις μπορεί να χρειαστεί έως και προσωρινή αποσύνδεση μιας ή περισσότερων μονάδων.
- *Έγχυση/Απορρόφηση* αέργου ισχύος από τις ΜΔΠ με σκοπό τη βελτίωση των τάσεων λειτουργίας του δικτύου ή/και μείωση των απωλειών αέργου ισχύος.

Η δυνατότητα τηλεδιαχείρισης και τηλεχειρισμού των στοιχείων των σύγχρονων ΔΔΗΕ έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη τεχνικών που ρυθμίζουν ολόκληρα τμήματα δικτύου με ταυτόχρονο χειρισμό όλων των στοιχείων ελέγχου που βρίσκονται σε αυτά, μέσω ευφών συστημάτων. Ανάλογα με την κλίμακα στην οποία επιδιώκουν τον έλεγχο του δικτύου, τα συστήματα αυτά διακρίνονται σε κεντρικού και αποκεντρωμένου ελέγχου [23].

#### 3.6.1 Κεντρικός Έλεγχος

Τα συστήματα κεντρικού ελέγχου έχουν τη δυνατότητα χειρισμού του συνόλου των στοιχείων ενός δικτύου από ένα κεντρικό σημείο. Συγκεντρώνοντας επαρκή δεδομένα μετρήσεων από διάφορους κόμβους σε επιλεγμένα σημεία του δικτύου (δεδομένου ότι αυτό είναι επαρκώς παρατηρήσιμο), το κεντρικό σύστημα υπολογίζει τις τιμές λειτουργίας των μεγεθών σε κάθε σημείο αυτού και έτσι μπορεί να επιβλέπει τη λειτουργία τους. Με την εμφάνιση κάποιας διαταραχής, το σύστημα καταστρώνει και επιλύει ένα ολικό πρόβλημα βελτιστοποίησης, από το οποίο προκύπτουν τα νέα σημεία λειτουργίας των στοιχείων ελέγχου. Μπορεί να κριθούν απαραίτητες αλλαγές καταστάσεων διακοπών (άνοιγμα/κλείσιμο), αλλαγή επιπέδων τάσης των Μ/Σ με ΣΑΤΥΦ, ζεύξη/απόζευξη χωρητικών αντισταθμίσεων, ή και περιορισμός παραγωγής γεννητριών διανεμημένης παραγωγής που μπορεί να είναι συνδεδεμένες στο δίκτυο [26], [27].

Ο κεντρικός έλεγχος παρουσιάζει το πλεονέκτημα ότι επιτυγχάνει το βέλτιστο σημείο ελέγχου για ολόκληρο του δίκτυο, με τις λύσεις που εξάγει να εξασφαλίζουν την καλύτερη δυνατή οικονομική διαχείριση του συνόλου των στοιχείων του δικτύου. Ο μεγάλος όγκος, ωστόσο, των δεδομένων που απαιτούν επεξεργασία έχει ως αποτέλεσμα να απαιτείται πολύς χρόνος για την εξαγωγή βέλτιστης λύσης, ιδιαίτερα σε δίκτυα με μεγάλο αριθμό κόμβων. Ένα χαρακτηριστικό πεδίο εφαρμογής του κεντρικού ελέγχου σε ΔΔΗΕ αποτελεί η επίλυση του προβλήματος βέλτιστης ροής ισχύος.

### 3.6.2 Αποκεντρωμένος Έλεγχος

Τα συστήματα αποκεντρωμένου ελέγχου λειτουργούν αντίστοιχα με αυτά του κεντρικού όσον αφορά τη μέθοδο συγκέντρωσης δεδομένων και την διατύπωση του προβλήματος βελτιστοποίησης. Η διαφορά βρίσκεται στο ότι υπάρχουν πολλά διανεμημένα σημεία ελέγχου σε όλο το δίκτυο, καθένα από τα οποία είναι υπεύθυνο για την τοπική επίβλεψη και ρύθμιση ενός συγκεκριμένου τμήματος. Το συνολικό πρόβλημα βελτιστοποίησης λοιπόν διατυπώνεται ως μικρότερα τοπικά υποπροβλήματα που καλούνται να επιλυθούν από κάθε σύστημα με χρήση των τοπικών σε αυτό στοιχείων.

Αν και στις περισσότερες περιπτώσεις εξασφαλίζεται σημαντική εξοικονόμηση χρόνου με αυτή την τεχνική, η λύση στην οποία καταλήγει το σύστημα είναι η βέλτιστη εν γένει μόνο τοπικά και όχι για όλο το δίκτυο. Επίσης θα παρατηρηθεί δυσκολία εύρεσης λύσεων σε ακραίες περιπτώσεις που κάποια διαταραχή του δικτύου για την εξάλειψή της απαιτεί τη συμμετοχή πολλών και απομακρυσμένων σημείων ελέγχου.

## 3.7 ΒΕΛΤΙΣΤΟΣ ΗΜΕΡΗΣΙΟΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΔΙΚΤΥΩΝ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Ο ημερήσιος προγραμματισμός ενός ΔΔΗΕ μπορεί να χαρακτηριστεί ως βέλτιστος όταν τροφοδοτεί το φορτίο του κατά τρόπο τέτοιο ώστε οι απώλειες να είναι οι ελάχιστες δυνατές, η ποιότητα εξυπηρέτησης των καταναλωτών βέλτιστη και τα κόστη λειτουργίας τα μικρότερα δυνατά. Δεδομένου ότι η ποιότητα εξυπηρέτησης εκφράζεται κυρίως από τη συνέχεια της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας (αξιοπιστία) και τη σταθερότητα της τάσης τροφοδότησης των καταναλωτών, η βέλτιστη λειτουργία καθορίζεται από τους ακόλουθους τρεις παράγοντες: απώλειες, συνέχεια (αξιοπιστία) τροφοδότησης και σταθερότητα της τάσης.

Η λήψη των αποφάσεων υποστηρίζεται από αλγορίθμους και πακέτα λογισμικού που έχουν αναπτυχθεί για τον σκοπό αυτό. Κατά τον προγραμματισμό λειτουργίας των ΔΔΗΕ πρέπει επίσης να λαμβάνεται υπόψη και το συνολικό κόστος λειτουργίας του ΔΔΗΕ, που προκύπτει από το άθροισμα του κόστους εκκίνησης και σβέσης των ΜΔΠ καυσίμου, του κόστους καυσίμου των συμβατικών ΜΔΠ και του κόστους αγοράς ενεργού και άεργου ισχύος από το ανάντι δίκτυο. Ο διαχειριστής οφείλει να εξετάσει τις εναλλακτικές λύσεις που έχει στη διάθεσή του, πριν τη λήψη της απόφασης.

### 3.7.1 Ελαχιστοποίηση Διακύμανσης Τάσης

Καθώς αυξάνει η διείσδυση της ΔΠ, αυξάνει και η ανάγκη για περισσότερο αναλυτικές μελέτες. Η παραγωγή από φωτοβολταϊκά (Φ/Β) είναι μία ιδιαίτερα σημαντική κατηγορία ΔΠ που μπορεί να επηρεάσει τη συνολική παραγωγή ισχύος σε ένα ΔΔΗΕ, καθώς τα τελευταία χρόνια έχει αυξηθεί σημαντικά η εγκατάσταση Φ/Β. Τα Φ/Β εν γένει εξαρτώνται από τη στοχαστική φύση της ηλιακής ακτινοβολίας που μπορεί να επηρεάσει την καμπύλη της τάσης και τη λειτουργία του εξοπλισμού.

Εξαιτίας της σκίασης (λόγω συννεφιάς), η παραγωγή των Φ/Β υπόκειται σε απότομες μεταβολές. Όταν ένα σύννεφο κρύβει τον ήλιο, η ηλιακή παραγωγή μειώνεται απότομα, προκαλώντας πτώση της τάσης. Οι μεταβολές αυτές της παραγωγής μπορούν να επηρεάσουν τη λειτουργία των ρυθμιστών τάσης. Αρχικά, με κάποια χρονική καθυστέρηση, θα αυξηθεί η λήψη των ρυθμιστών τάσης για να διορθωθεί η πτώση της τάσης. Όταν περάσει το σύννεφο, η παραγωγή αυξάνεται απότομα, προκαλώντας μία υπερφόρτιση μέχρι να δράσουν οι ρυθμιστές τάσης και να μειωθεί η λήψη τους.

Αντίστοιχο πρόβλημα στη διακύμανση της τάσης παρουσιάζεται και στις ανεμογεννήτριες (Α/Γ). Η στοχαστική φύση του ανέμου, δημιουργεί αυξομείωση στην έντασή του, με αποτέλεσμα αυτή να μεταφέρεται και στην παραγωγή ισχύος των Α/Γ.

Για την αντιμετώπιση αυτής της τυχαιότητας χρησιμοποιούνται τα μετεωρολογικά δεδομένα που προβλέπουν την ηλιοφάνεια, τον άνεμο κτλ., τα οποία να μην περιέχουν στατιστικό σφάλμα, αλλά βοηθούν στην πρόβλεψη παραγωγής ισχύος από ΑΠΕ, με στόχο τον σωστό έλεγχο της τάσης του ΔΔΗΕ.

Τέλος, στη ρύθμιση του επιπέδου της τάσης, για να μην παραβιαστούν τα όρια στη γραμμή διανομής ή σε κάποιο ζυγό του δικτύου, από την ένταξη/αποκοπή μιας ΜΔΠ ΑΠΕ στο ΔΔΗΕ, σημαντικό ρόλο κατέχει το ΣΑΤΥΦ των Μ/Σ ΥΤ/ΜΤ.

### 3.7.2 Ελαχιστοποίηση Κόστους Λειτουργίας

Για τον βέλτιστο προγραμματισμό λειτουργίας της επόμενης μέρας σε ένα έξυπνο ΔΔΗΕ που περιλαμβάνει ΜΔΠ καυσίμου, ο διαχειριστής οφείλει να λάβει υπόψη του το συνολικό κόστος λειτουργίας. Σημαντικός παράγοντας αυτού του κόστους είναι η τιμή του καυσίμου. Συγκεκριμένα, σημαντικό είναι το κόστος κεφαλαίου ανά kW εγκατεστημένης ισχύος, συγκριτικά με τα μεγάλα συγκεντρωμένα εργοστάσια παραγωγής. Το κόστος δηλαδή για την πρωταρχική παροχή καυσίμου στις συμβατικές ΜΔΠ είναι αρκετά μεγαλύτερο από ότι για την κεντρική παραγωγή, ιδίως αν οι συμβατικές ΜΔΠ χρησιμοποιούνται περισσότερο σε σχέση με τις ΑΠΕ.

Για να ελαχιστοποιηθεί το συνολικό κόστος λειτουργίας του ΔΔΗΕ, ο διαχειριστής πρέπει να προβεί σε εκείνους τους χειρισμούς που υποδεικνύει το λογισμικό πρόβλεψης του ημερήσιου προγραμματισμού, ώστε να απορροφήσει την παραγόμενη ισχύ πρώτα από ΜΔΠ ΑΠΕ και έπειτα από συμβατικές ΜΔΠ. Επίσης οφείλει να εξετάσει το ενδεχόμενο αν η αγορά ενέργειας από το ανάντι δίκτυο μειώνει το συνολικό κόστος, αντί να απορροφήσει το ίδιο ποσό ενέργειας από ΜΔΠ καυσίμου. Σε όλα τα πιθανά σενάρια πρέπει να λάβει βέβαια υπόψη του, την τήρηση όλων των περιορισμών του δικτύου.

### 3.7.3 Ελαχιστοποίηση των Απωλειών Ενέργειας

Παρά το γεγονός ότι η διείσδυση της ΔΠ στα ΔΔΗΕ μπορεί να μειώσει τις απώλειες ενέργειας, μπορεί να υπάρχουν επιπλέον περιθώρια μείωσης των απωλειών ενέργειας. Η παραγωγή της ενέργειας μακριά από την τοποθεσία από την οποία χρησιμοποιείται, αυξάνει τις απώλειες ενέργειας και την πτώση τάσης. Για παράδειγμα, σε ένα ΔΔΗΕ 100 ζυγών, αν υπάρχουν μόνο μη ελεγχόμενες ΜΔΠ στους αρχικούς κόμβους, τότε οι απώλειες ενέργειας θα είναι μεγαλύτερες σε σχέση με το αν υπήρχαν οι ίδιες ΜΔΠ, αλλά ελεγχόμενες και μοιρασμένες σε όλο το μήκος του ίδιου δικτύου.





## **ΜΕΘΟΔΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΗΜΕΡΗΣΙΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΕΞΥΠΝΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**

### **4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Ο βέλτιστος ημερήσιος προγραμματισμός της λειτουργίας ενός έξυπνου Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΔΗΕ) έχει ως στόχο την ελαχιστοποίηση της συνολικής δαπάνης για την εξυπηρέτηση του φορτίου ηλεκτρικής ενέργειας.

Σκοπός οποιουδήποτε προβλήματος βελτιστοποίησης είναι η βελτιστοποίηση (ελαχιστοποίηση ή μεγιστοποίηση) μίας αντικειμενικής συνάρτησης και η εύρεση των τιμών των μεταβλητών απόφασης (μεταβλητών σχεδίασης) που βελτιστοποιεί (ελαχιστοποιεί ή μεγιστοποιεί) την αντικειμενική συνάρτηση με ταυτόχρονη ικανοποίηση όλων των περιορισμών του προβλήματος.

Στην περίπτωση του βέλτιστου ημερήσιου προγραμματισμού της λειτουργίας του έξυπνου ΔΔΗΕ, ως αντικειμενική συνάρτηση μπορεί να ληφθεί κάποια από τις ακόλουθες:

- η ελαχιστοποίηση του συνολικού ημερήσιου κόστους του ΔΔΗΕ
- η ελαχιστοποίηση των απωλειών ενέργειας του ΔΔΗΕ
- η ελαχιστοποίηση του αθροίσματος της διακύμανσης των τάσεων κάθε κόμβου του ΔΔΗΕ
- η ελαχιστοποίηση των πιθανοτήτων εμφάνισης σφαλμάτων
- η μεγιστοποίηση της ποιότητας ισχύος.

και ως μεταβλητές απόφασης του προβλήματος βελτιστοποίησης μπορούν να ληφθούν οι ακόλουθες:

- η ενεργός και η άεργος ισχύς των συμβατικών Μονάδων Διανεμημένης Παραγωγής (ΜΔΠ), π.χ. γεννήτριες καύσης ντίζελ
- η ενεργός και η άεργος ισχύς ΜΔΠ από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ), π.χ. ανεμογεννήτριες (Α/Γ)
- η τάση στον κόμβο αναφοράς, δηλαδή η τάση στον Υποσταθμό Υψηλής/Μέσης Τάσης (Υ/Σ ΥΤ/ΜΤ). Ο έλεγχος γίνεται με το Σύστημα Αλλαγής Τάσης Υπό Φορτίο (ΣΑΤΥΦ).

Ταυτόχρονα πρέπει να ικανοποιούνται οι περιορισμοί του προβλήματος βελτιστοποίησης, δηλαδή οι τεχνικοί περιορισμοί του ΔΔΗΕ και των ΜΔΠ, καθώς και όποιοι άλλοι περιορισμοί κρίνονται απαραίτητοι από τον διαχειριστή του δικτύου.

Στη συνέχεια του κεφαλαίου αυτού θα διατυπωθεί το μαθηματικό μοντέλο βελτιστοποίησης του Ημερήσιου Προγραμματισμού της Λειτουργίας Έξυπνου ΔΔΗΕ και θα παρουσιαστεί η μεθοδολογία επίλυσης του προβλήματος. Το λογισμικό που αναπτύχθηκε για την εφαρμογή της μεθοδολογίας παρουσιάζεται στο Κεφάλαιο 5, ενώ τα αποτελέσματα της εφαρμογής της μεθοδολογίας παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 6 στη μελέτη περιπτώσεων.

Ως μέθοδος επίλυσης της βελτιστοποίησης του Ημερήσιου Προγραμματισμού της Λειτουργίας Έξυπνου ΔΔΗΕ χρησιμοποιείται ο γενετικός αλγόριθμος (ΓΑ), ο οποίος αναζητά τις βέλτιστες τιμές των μεταβλητών απόφασης που θα βελτιστοποιήσουν την αντικειμενική συνάρτηση, η οποία ορίζεται από τις ανάγκες του διαχειριστή του δικτύου.

## **4.2 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΗΜΕΡΗΣΙΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΕΞΥΠΝΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**

### **4.2.1 Διατύπωση Προβλήματος Βέλτιστου Ημερήσιου Προγραμματισμού της Λειτουργίας Έξυπνου ΔΔΗΕ**

Στα σύγχρονα ΔΔΗΕ με μεγάλη διείσδυση ΜΔΠ οι διαχειριστές τους καλούνται να λύσουν τα ακόλουθα τεχνικά θέματα:

- την αντίστροφη ροή ισχύος
- την ανύψωση τάσης σε κάποιους κόμβους του ΔΔΗΕ
- τη μείωση των απωλειών ενέργειας του έξυπνου ΔΔΗΕ
- τη μείωση του κόστους λειτουργίας του ΔΔΗΕ.

χωρίς να παραβιάζονται οι περιορισμοί του δικτύου και των ΜΔΠ.

Τα ΔΔΗΕ, κατά βάση, έχουν σχεδιαστεί ώστε να χρησιμοποιούν την ισχύ που προέρχεται από το δίκτυο μεταφοράς και να την διανέμουν στους καταναλωτές (πελάτες) του ΔΔΗΕ. Στα παραδοσιακά παθητικά ΔΔΗΕ, η ροή τόσο της ενεργού ισχύος όσο και της αέργου ισχύος έχει κατεύθυνση από τον Υ/Σ ΥΤ/ΜΤ (σημείο σύνδεσης με το σύστημα μεταφοράς) προς τους τελικούς καταναλωτές. Ωστόσο, λόγω της σημαντικής διείσδυσης των ΜΔΠ διαφόρων τύπων, και κυρίως των ΑΠΕ, η ροή ισχύος μπορεί να αντιστραφεί. Με αυτόν τον τρόπο τα ΔΔΗΕ δεν είναι πλέον παθητικά, αλλά γίνονται ενεργά συστήματα με τις ροές ισχύος και τις τάσεις να καθορίζονται τόσο από τη Διανεμημένη Παραγωγή (ΔΠ) όσο και από το φορτίο. Οι κόμβοι του ΔΔΗΕ όπου συνδέονται οι ΜΔΠ είναι επιρρεπείς στην αύξηση τάσης, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις μεγάλης παραγωγής ισχύος από τις ΜΔΠ και ταυτόχρονης περιορισμένης ζήτησης ισχύος. Στην παρούσα εργασία η ανύψωση τάσης δημιουργείται από τις ανεμογεννήτριες λόγω της στοχαστικής φύσης της ταχύτητας του ανέμου, σε συνδυασμό με την απουσία ελέγχου των συμβατικών ΜΔΠ και αδυναμία ελέγχου της ζήτησης των καταναλωτών.

Παρά το γεγονός ότι η διείσδυση της ΔΠ στα ΔΔΗΕ μπορεί να μειώσει τις απώλειες ενέργειας, μπορεί να υπάρχουν επιπλέον περιθώρια μείωσης των απωλειών ενέργειας. Η παραγωγή της ενέργειας μακριά από την τοποθεσία από την οποία χρησιμοποιείται, αυξάνει τις απώλειες ενέργειας και την πτώση τάσης. Για παράδειγμα, σε ένα ΔΔΗΕ 100 κόμβων, αν υπάρχουν μόνο μη ελεγχόμενες ΜΔΠ στους αρχικούς κόμβους, τότε οι απώλειες ενέργειας θα είναι μεγαλύτερες σε σχέση με το αν υπήρχαν οι ίδιες ΜΔΠ, αλλά ελεγχόμενες και μοιρασμένες σε όλο το μήκος του ίδιου δικτύου.

Ένα από τα βασικότερα ζητήματα είναι το υψηλό κόστος λειτουργίας ενός έξυπνου ΔΔΗΕ. Συγκεκριμένα, σημαντικό είναι το κόστος κεφαλαίου ανά kW εγκατεστημένης ισχύος, συγκριτικά με τα μεγάλα συγκεντρωμένα εργοστάσια παραγωγής. Επίσης, υπάρχει η άποψη ότι το κόστος για την πρωταρχική παροχή καυσίμου στις συμβατικές ΜΔΠ θα είναι αρκετά μεγαλύτερο από ότι για την κεντρική παραγωγή, ιδίως αν οι συμβατικές ΜΔΠ χρησιμοποιούνται περισσότερο από τις ανεμογεννήτριες.

Επίσης στην παρούσα εργασία, εκτός της παραδοχής ότι οι ΜΔΠ του έξυπνου ΔΔΗΕ αποτελούνται από συμβατικές ΜΔΠ καυσίμου (γεννήτριες Ντήζελ) και ανεμογεννήτριες, γίνεται η υπόθεση ότι τα δεδομένα πρόβλεψης του φορτίου και της ταχύτητας του ανέμου είναι ακριβή, ή, ισοδύναμα, γίνεται η υπόθεση ότι στα δεδομένα αυτά έχει ήδη συνυπολογιστεί το σφάλμα πρόβλεψης.

#### 4.2.2 Αντικειμενική Συνάρτηση

Στην παρούσα εργασία μελετώνται τρεις από τις αντικειμενικές συναρτήσεις της Ενότητας 4.1:

1. η ελαχιστοποίηση του αθροίσματος της διακύμανσης των τάσεων σε όλους τους κόμβους του έξυπνου ΔΔΗΕ
2. η ελαχιστοποίηση των απωλειών ενέργειας του ΔΔΗΕ
3. η ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους λειτουργίας του ΔΔΗΕ.

##### 4.2.2.1 Ελαχιστοποίηση του Αθροίσματος της Διακύμανσης των Τάσεων σε όλους τους Κόμβους του Έξυπνου ΔΔΗΕ

Η αντικειμενική συνάρτηση της διακύμανσης των τάσεων μοντελοποιείται ως εξής:

$$\min F(\mathbf{V}) = \sum_{t \in T} \sum_{i \in N} (V_{t,i} - V_n)^2 \quad (4.1)$$

όπου:

$t$	χρονική στιγμή
$T$	υπό εξέταση χρονική περίοδος (24 ώρες)
$i$	δείκτης κόμβου ΔΔΗΕ
$N$	σύνολο κόμβων ΔΔΗΕ
$V_{t,i}$	τάση ανά μονάδα (α.μ.) για τη χρονική στιγμή $t$ , στον κόμβο $i$
$V_n$	ονομαστική τάση του δικτύου ανά μονάδα (1 α.μ.)

##### 4.2.2.2 Ελαχιστοποίηση των Απωλειών Ενέργειας του Έξυπνου ΔΔΗΕ

Η αντικειμενική συνάρτηση των απωλειών ενέργειας μοντελοποιείται ως εξής:

$$\min E_{losses} = \sum_{t=1}^{24} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N (P_{ijt} + P_{jit}) \quad (4.2)$$

όπου:

$t$	χρονική στιγμή
$T$	υπό εξέταση χρονική περίοδος (24 ώρες)
$i, j$	δείκτης κόμβου ΔΔΗΕ
$N$	σύνολο κόμβων ΔΔΗΕ
$P_{ijt}$	ροή ενεργού ισχύος από τον κόμβο $i$ προς τον κόμβο $j$ (MW) τη χρονική στιγμή $t$
$P_{jit}$	ροή ενεργού ισχύος από τον κόμβο $j$ προς τον κόμβο $i$ (MW) τη χρονική στιγμή $t$

#### 4.2.2.3 Ελαχιστοποίηση του Συνολικού Κόστους Λειτουργίας του Έξυπνου ΔΔΗΕ

Η αντικειμενική συνάρτηση του κόστους λειτουργίας του έξυπνου ΔΔΗΕ είναι [28]:

$$\min F(x, u) = C_{Pss} + C_{St} + C_{FDG} + C_{sd} + C_{Qss} \quad (4.3)$$

και οι επιμέρους συνιστώσες της (επιμέρους κόσθη) από τα οποία αποτελείται αναλύονται ως εξής:

$$C_{Pss} \quad \text{Κόστος αγοράς ενεργού ισχύος από τον Υ/Σ} \quad \sum_{s \in S} \rho_t^{DA} \cdot P_{t,s}^{DA} \quad (4.4)$$

$$C_{St} \quad \text{Κόστος εκκίνησης ΜΔΠ καυσίμου} \quad \sum_{g \in G} X_{g,t} \cdot SU_g \quad (4.5)$$

$$C_{FDG} \quad \text{Κόστος παραγωγής ΜΔΠ καυσίμου} \quad \sum_{g \in G} C_{g,P,t}^{FDG} \quad (4.6)$$

$$C_{sd} \quad \text{Κόστος σβέσης ΜΔΠ καυσίμου} \quad \sum_{g \in G} Z_{g,t} \cdot SD_g \quad (4.7)$$

$$C_{Qss} \quad \text{Κόστος αγοράς αέργου ισχύος από τον Υ/Σ} \quad \sum_{g \in G} k_q^{DA} \cdot \rho_t^{DA} \cdot Q_{t,s}^{DA} \quad (4.8)$$

Επομένως, η αντικειμενική συνάρτηση μοντελοποιείται ως εξής:

$$\begin{aligned} \min F(x, u) = & \sum_{t \in T} \left( \sum_{s \in S} \rho_t^{DA} * P_{t,s}^{DA} + \sum_{g \in G} X_{g,t} * SU_g \right. \\ & + \sum_{g \in G} C_{g,P,t}^{FDG} + \sum_{g \in G} Z_{g,t} * SD_g \\ & \left. + \sum_{g \in G} k_q^{DA} * \rho_t^{DA} * Q_{t,s}^{DA} \right) \end{aligned} \quad (4.9)$$

Το κόστος καυσίμου κάθε ΜΔΠ υπολογίζεται ως εξής:

$$C_{g,P,t}^{FDG} = W_{g,t} * (a_g + b_g * P_{g,t}^{FDG} + c_g * (P_{g,t}^{FDG})^2) \quad (4.10)$$

όπου:

$t$	χρονική στιγμή
$T$	υπό εξέταση χρονική περίοδος (24 ώρες)
$s$	δείκτης υποσταθμού
$S$	το σύνολο υποσταθμών
$DA$	χρονοπρογραμματισμός επόμενης ημέρας (Day-ahead)
$FDG$	συμβατικές ΜΔΠ καυσίμου (Fueled Distributed Generation)
$g$	δείκτης για τις ΜΔΠ καυσίμου (δείκτης για τις FDG)
$G$	το σύνολο των ΜΔΠ καυσίμου (το σύνολο των FDG)
$\rho_t^{DA}$	τιμή αγοράς ενεργού ισχύος από Υ/Σ (€/MW)
$P_{t,s}^{DA}$	η εισερχόμενη ενεργός ισχύς (MW) στον Υ/Σ $s$ , τη χρονική στιγμή $t$
$P_{g,t}^{FDG}$	η ενεργός ισχύς (MW) που παράγει η ΜΔΠ καυσίμου $g$ , τη χρονική στιγμή $t$
$X, Z, W$	δυναμικό διάνυσμα που δείχνει τη λειτουργία ή όχι της κάθε γεννήτριας
$SU$	κόστος εκκίνησης ΜΔΠ καυσίμου (σε €)
$a, b, c$	συντελεστές της συνάρτησης κόστους παραγωγής των ΜΔΠ καυσίμου
$SD$	κόστος σβέσης ΜΔΠ καυσίμου (σε €)
$k_q^{DA}$	συντελεστής τιμολόγησης αέργου ισχύος (ίσως με 5%)
$Q_{t,s}^{DA}$	η εισερχόμενη άεργος ισχύς (σε MVar) στον Υ/Σ $s$ , τη χρονική στιγμή $t$

Στο σημείο αυτό, θα πρέπει να τονιστεί μια παραδοχή που έχει ληφθεί υπόψη για τον υπολογισμό του κόστους λειτουργίας του ΔΔΗΕ. Οι ΜΔΠ καυσίμου είναι ιδιοκτησία ιδιωτών επενδυτών, οι οποίοι είναι υπεύθυνοι για τη ρύθμιση της παραγωγής ενέργειας. Οι τελευταίοι έχουν συνάψει συμβόλαιο με τον διαχειριστή του ΔΔΗΕ για την πώληση της ενέργειας που παράγουν. Στην πρόβλεψη του ημερήσιου σχεδιασμού παραγωγής ενέργειας, ο διαχειριστής του ΔΔΗΕ λαμβάνει υπόψη του την προσφορά ενέργειας από τέτοιου είδους ΜΔΠ καυσίμου. Αν παραστεί ανάγκη, π.χ. προκειμένου να μην παραβιαστεί κάποιος τεχνικός περιορισμός, ο διαχειριστής του ΔΔΗΕ έχει τη δυνατότητα να αποκόψει για κάποιο χρονικό διάστημα κάποια ή κάποιες ιδιωτικές ΜΔΠ καυσίμου, με τη διαφορά ότι θα πρέπει να πληρώσει τον ιδιοκτήτη των ΜΔΠ καυσίμου σαν να είχε χρησιμοποιήσει την παραγωγή του, σύμφωνα με το διμερές συμβόλαιό τους [28].

### 4.2.3 Περιορισμοί

#### 4.2.3.1 Περιορισμοί Ισότητας

Οι περιορισμοί ισότητας περιλαμβάνουν τις εξισώσεις ροής ενεργού και αέργου ισχύος:

$$P_{DG_i}(t) + P_{Li}(t) - V_i^2(t)G_{kk} - V_i(t) \sum_{k \in A(i)} V_k(t)(G_{ik} \cos \delta_{ik}(t) + B_{ik} \sin \delta_{ik}(t)) = 0 \quad (4.11)$$

$$Q_{DG_i}(t) + Q_{Li}(t) - V_i^2(t)B_{kk} - V_i(t) \sum_{k \in A(i)} V_k(t)(G_{ik} \sin \delta_{ik}(t) - B_{ik} \cos \delta_{ik}(t)) = 0 \quad (4.12)$$

όπου:

$P_{DG_i}(t)$	η συνολική παραγόμενη ενεργός ισχύς στον κόμβο $i$ , τη χρονική στιγμή $t$
$Q_{DG_i}(t)$	η συνολική παραγόμενη άεργος ισχύς στον κόμβο $i$ , τη χρονική στιγμή $t$
$P_{Li}(t)$	η συνολική καταναλισκόμενη ενεργός ισχύς από το φορτίο στον κόμβο $i$ , τη χρονική στιγμή $t$
$Q_{Li}(t)$	η συνολική καταναλισκόμενη άεργος ισχύς από το φορτίο στον κόμβο $i$ , τη χρονική στιγμή $t$
$V_i(t)$	η τάση στον κόμβο $i$ , τη χρονική στιγμή $t$
$V_k(t)$	η τάση στον κόμβο $k$ , τη χρονική στιγμή $t$
$\delta_{ik}(t)$	η γωνία της τάσης μεταξύ των κόμβων $i$ και $k$ , τη χρονική στιγμή $t$

#### 4.2.3.2 Ανισοτικοί Περιορισμοί

Οι ανισοτικοί περιορισμοί έχουν άμεση σχέση με τα τεχνικά χαρακτηριστικά του δικτύου και των ΜΔΠ. Συνήθως διαμορφώνονται από τους σχεδιαστές-μηχανικούς του δικτύου για την τήρηση των επιθυμητών ορίων και την όσο το δυνατόν καλύτερη ποιότητα τάσης του δικτύου. Παρακάτω ακολουθούν οι περιορισμοί που χρησιμοποιούνται στην εργασία και σε καμία περίπτωση δεν πρέπει να παραβιάζονται.

Η ενεργός και άεργος ισχύς που παράγεται την κάθε χρονική στιγμή  $t$ , από τις ΜΔΠ πρέπει να είναι εντός των τεχνικών ορίων παραγωγής της ΜΔΠ:

$$P_{g,\min}^{DG} \leq P_{t,g}^{DG} \leq P_{g,\max}^{DG} \quad (4.13)$$

$$Q_{g,\min}^{DG} \leq Q_{t,g}^{DG} \leq Q_{g,\max}^{DG} \quad (4.14)$$

Η παραγωγή ενεργού και αέργου ισχύος, κάθε χρονική στιγμή  $t$ , περιορίζεται εντός ορίων από το τεχνικό μέγιστο της φαινόμενης ισχύος της κάθε ΜΔΠ:

$$\left[ (P_{t,g}^{DG})^2 + (Q_{t,g}^{DG})^2 \right]^{1/2} \leq S_{g,\max}^{DG} \quad (4.15)$$

Ο συντελεστής ισχύος των ΜΔΠ πρέπει, για κάθε χρονική στιγμή  $t$ , να βρίσκεται εντός ενός ελάχιστου και ενός μέγιστου ορίου:

$$PF_{g,\min}^{DG} \leq PF_{t,g}^{DG} \leq PF_{g,\max}^{DG} \quad (4.16)$$

Τέλος, ακολουθούν οι ανισοτικοί περιορισμοί για τα όρια της τάσης. Σε κάθε κόμβο  $i$ , η τάση πρέπει να βρίσκεται εντός ενός μέγιστου  $V_{\max}$  και ενός ελάχιστου ορίου  $V_{\min}$  κάθε χρονική στιγμή  $t$ . Η τάση στον Υ/Σ σε κάθε χρονική στιγμή  $t$ ,  $V_{t,s}$ , θεωρείται σταθερή και ίση με την ονομαστική (1 α.μ.):

$$V_{\min} \leq |V_{t,i}| \leq V_{\max} \quad (4.17)$$

$$|V_{t,s}| = 1 \text{ α.μ.} \quad (4.18)$$

#### 4.2.4 Μαθηματικό Μοντέλο Ακέραιου Προγραμματισμού για τον Βέλτιστο Ημερήσιο Προγραμματισμό της Λειτουργίας Έξυπνου ΔΔΗΕ

Κάθε μοντέλο βελτιστοποίησης στο οποίο οι μεταβλητές απόφασης λαμβάνουν ακέραιες (διακριτές) τιμές κατατάσσεται ως πρόβλημα Ακέραιου Προγραμματισμού (ΑΠ). Ένα πρόβλημα ΑΠ μπορεί να υπόκειται σε περιορισμούς ή όχι, ενώ οι αντικειμενικές συναρτήσεις και οι περιορισμοί μπορεί να είναι γραμμικοί ή μη γραμμικοί. Σε αυστηρή μαθηματική θεώρηση, ο ΑΠ είναι μη γραμμικός διότι οι συναρτήσεις ορίζονται μόνο για ακέραιες (διακριτές) τιμές των μεταβλητών [29].

Το μαθηματικό μοντέλο του ΑΠ με εφαρμογή στο πρόβλημα του βέλτιστου ημερήσιου προγραμματισμού της λειτουργίας έξυπνου ΔΔΗΕ παρουσιάζεται παρακάτω:

$$\left\{ \begin{array}{l} \min_x f(X, \xi) \\ \text{με τους περιορισμούς :} \\ G = 0 \\ H_{\min} \leq H \leq H_{\max} \end{array} \right\} \quad (4.19)$$

όπου:

$X$	το διάνυσμα μεταβλητών απόφασης (μεταβλητές ελέγχου)
$\xi$	το σύνολο των μεταβλητών κατάσταση (τάσεις κόμβων, ροή ισχύος γραμμών)
$f(X, \xi)$	η αντικειμενική συνάρτηση
$G=0$	το σύνολο των ισοτικών περιορισμών
$H_{\min} \leq H \leq H_{\max}$	το σύνολο των ανισοτικών περιορισμών

### 4.3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΗΜΕΡΗΣΙΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΕΞΥΠΝΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

#### 4.3.1 Γενετικός Αλγόριθμος

Για την επίλυση του προβλήματος βέλτιστου ημερήσιου προγραμματισμού της λειτουργίας έξυπνου ΔΔΗΕ, το οποίο μοντελοποιείται ως πρόβλημα ακέραιου προγραμματισμού, χρησιμοποιείται ακέραιος ΓΑ. Ο ΓΑ, ως μια μηχανή αναζήτησης, μιμείται τη βιολογική διαδικασία επιλογής του καλύτερου χρωμοσώματος, σύμφωνα με την οποία οι πιο ικανοί γονείς είναι περισσότερο πιθανό να επιβιώσουν και να αντιγράψουν τους εαυτούς τους στην επόμενη γενιά. Αυτή η εξελικτική διαδικασία εκτελείται με βάση δύο εξειδικευμένες τεχνικές, τον συνδυασμό των γονιδίων των γονέων και παράλληλα τη μετάλλαξη τυχαίων γονιδίων [30]. Το διάγραμμα ροής της προτεινόμενης μεθόδου φαίνεται στο Σχήμα 4.1.

##### 4.3.1.1 Δομή χρωμοσώματος – Κωδικοποίηση

Η κατάλληλη δομή του χρωμοσώματος αποτελεί έναν σπουδαίο παράγοντα για τη σωστή εφαρμογή του ΓΑ. Η διαδικασία της κωδικοποίησης αναφέρεται στην απόδοση τιμών στα γονίδια, ώστε να θεσπιστεί μια υποψήφια λύση στη μορφή ενός χρωμοσώματος. Κάθε χρωμόσωμα μπορεί να παρασταθεί με ένα διάνυσμα που αποτελείται από τόσα μέρη, όσες και οι μεταβλητές ελέγχου. Το μέγεθος του διανύσματος διαφέρει ανάλογα με το σενάριο που εξετάζεται κάθε φορά, καθώς αλλάζει και το πλήθος των μεταβλητών ελέγχου του προβλήματος. Η γενική μορφή του διανύσματος (χρωμοσώματος) είναι:

$$chr = (V^{slackbus}, P^{FDG}, \cos \phi^{FDG}, P^{WDG}, \cos \phi^{WDG}) \quad (4.20)$$

όπου:

$V^{slackbus}$	διάνυσμα μήκους $L_V$ το οποίο αναπαριστά το μέτρο της τάσης ανά μονάδα, στον κόμβο 1 που βρίσκεται ο Υ/Σ ΥΤ/ΜΤ και αποτελεί τον κόμβο αναφοράς, όπου $L_V = 24$ γονίδια, όση είναι η χρονική διάρκεια του προβλήματος (24 ώρες)
$P^{FDG}$	διάνυσμα μήκους $L_{FDG}$ που αναπαριστά την ενεργό ισχύ που παράγει η κάθε γεννήτρια Diesel, για κάθε μία από τις 24 ώρες που εξετάζονται, $L_{FDG} = 24$ επί πλήθος ΜΔΠ καυσίμου
$\cos \phi^{FDG}$	διάνυσμα μήκους $L_{FDG}$ που αναπαριστά τον συντελεστή ισχύος της κάθε γεννήτριας Diesel, για κάθε μία από τις 24 ώρες που εξετάζονται, $L_{FDG} = 24$ επί πλήθος ΜΔΠ καυσίμου
$P^{WDG}$	διάνυσμα μήκους $L_{WDG}$ που αναπαριστά την ενεργό ισχύ που παράγει η κάθε ανεμογεννήτρια, για κάθε μία από τις 24 ώρες που εξετάζονται, $L_{WDG} = 24$ επί πλήθος ανεμογεννητριών
$\cos \phi^{WDG}$	διάνυσμα μήκους $L_{WDG}$ που αναπαριστά τον συντελεστή ισχύος της κάθε ανεμογεννήτριας, για κάθε μία από τις 24 ώρες που εξετάζονται, $L_{WDG} = 24$ επί πλήθος ανεμογεννητριών

Επομένως, το συνολικό μήκος  $L_{chr}$  του κάθε χρωμοσώματος είναι  $L_{chr} = L_V + L_{FDG} + L_{WDG}$ .



### 4.3.1.2 Αρχικός Πληθυσμός

#### Βήμα 1

Ο Γενετικός Αλγόριθμος ξεκινάει με την τυχαία δημιουργία του αρχικού πληθυσμού χρωμοσωμάτων (τον αρχικό πληθυσμό των πιθανών λύσεων του προβλήματος), δημιουργώντας έναν πίνακα  $N_{pop} \times N_{par}$  με μηδενικά στοιχεία, όπου  $N_{pop}$  το πλήθος των χρωμοσωμάτων και  $N_{par}$  ο αριθμός των γονιδίων του χρωμοσώματος ο οποίος είναι ίσος με το συνολικό μήκος  $L_{chr}$  του χρωμοσώματος που ορίστηκε στην Ενότητα 4.3.1.1.

#### Βήμα 2

Έπειτα, ορίζεται η μέγιστη στάθμη του ακέραιου γενετικού αλγόριθμου  $N_{int}$ . Ορίζεται δηλαδή, η μέγιστη τιμή του διαστήματος από το οποίο μπορεί να πάρει ακέραιες τιμές το κάθε γονίδιο. Στην παρούσα εργασία ορίζεται  $N_{int} = 10$ .

#### Βήμα 3

Τέλος, σε μία επαναληπτική διαδικασία, το κάθε γονίδιο παίρνει τυχαίες ακέραιες τιμές μεταξύ του διαστήματος  $[1 \dots N_{int}]$ . Με αυτόν τον τρόπο δηλαδή, ο πίνακας του βήματος 1 παίρνει τυχαίες ακέραιες τιμές στο διάστημα  $[1 \dots 10]$ .

### 4.3.1.3 Αποκωδικοποίηση και Αξιολόγηση Χρωμοσώματος

Εφόσον έχει δημιουργηθεί ο αρχικός πληθυσμός, ο οποίος είναι κωδικοποιημένος, στη συνέχεια, κάθε χρωμόσωμα αποκωδικοποιείται με βάση μια συνάρτηση αποκωδικοποίησης που υλοποιήθηκε. Η συνάρτηση παίρνει ως όρισμα τον πίνακα των κωδικοποιημένων χρωμοσωμάτων, τη μέγιστη στάθμη του ακέραιου ΓΑ ( $N_{int}$ ), τη χρονική διάρκεια  $T$  της περιόδου που εξετάζεται στο πρόβλημα (24 ώρες), τη μέγιστη και ελάχιστη τιμή του μέτρου της τάσης στον κόμβο αναφοράς, τη μέγιστη και ελάχιστη τιμή της ενεργού ισχύος των ΜΔΠ καυσίμου, τη μέγιστη και ελάχιστη τιμή της γωνίας του συντελεστή ισχύος των ΜΔΠ καυσίμου, τη μέγιστη και ελάχιστη τιμή της ενεργού ισχύος των ανεμογεννητριών, τη μέγιστη και ελάχιστη τιμή της γωνίας του συντελεστή ισχύος των ανεμογεννητριών και επιστρέφει έναν πίνακα με τα αποκωδικοποιημένα χρωμοσώματα. Η πραγματική τιμή του κάθε γονιδίου, ανάλογα με το μέγεθος που εκπροσωπεί, προκύπτει από την παρακάτω εξίσωση:

$$realVal = minVal + codeVal \frac{maxVal - minVal}{N_{int}} \quad (4.21)$$

όπου:

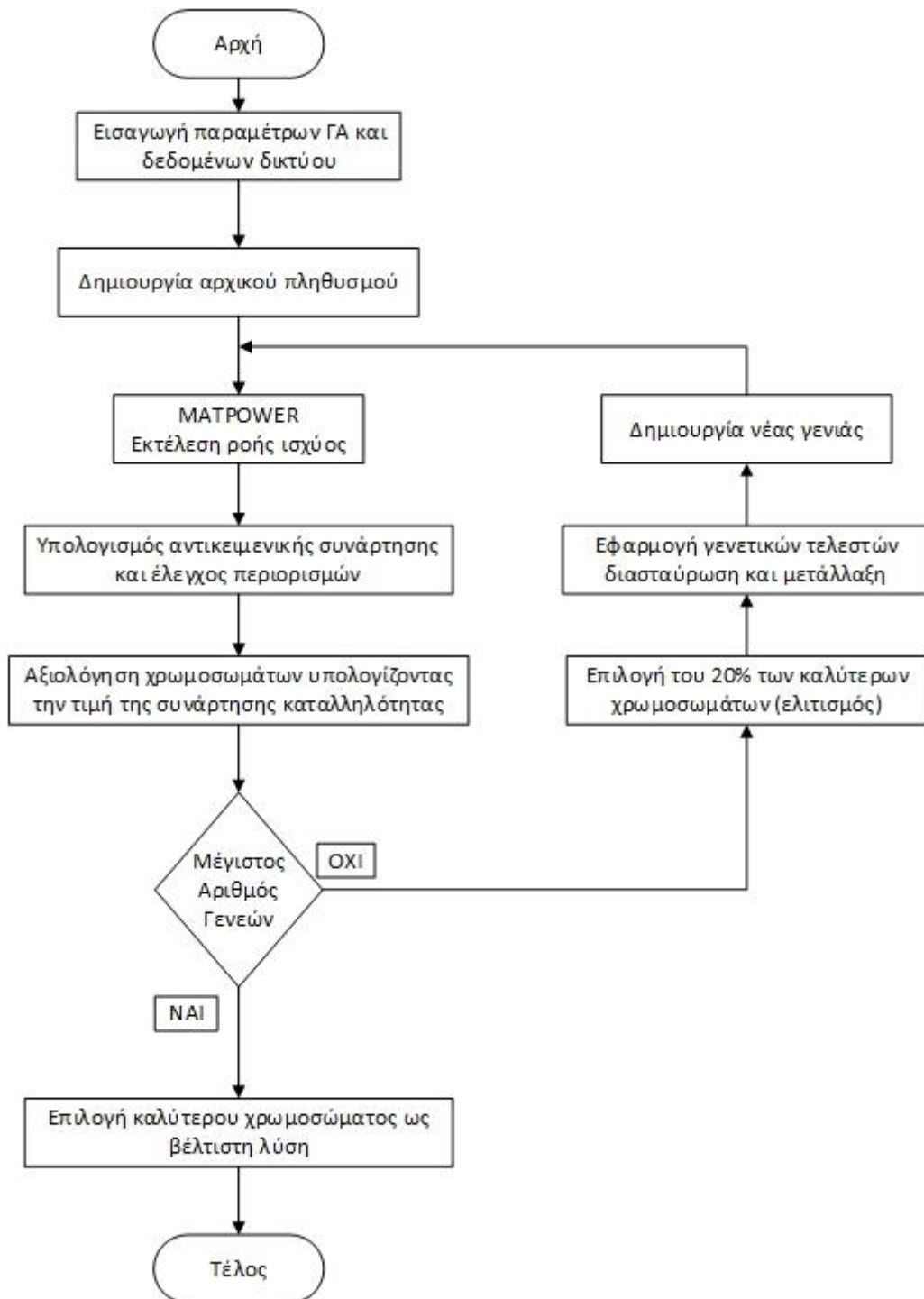
$realVal$	η πραγματική τιμή της μεταβλητής ελέγχου
$minVal$	η ελάχιστη τιμή της μεταβλητής ελέγχου
$codeVal$	το κωδικοποιημένο γονίδιο
$maxVal$	η μέγιστη τιμή της μεταβλητής ελέγχου
$N_{int}$	η μέγιστη στάθμη του ακέραιου ΓΑ

Μετά την αποκωδικοποίηση του πίνακα των χρωμοσωμάτων, ακολουθεί η επίλυση του προβλήματος των ροών ισχύος χρησιμοποιώντας το λογισμικό MATPOWER του MATLAB και λαμβάνεται η πληροφορία που είναι απαραίτητη για την αξιολόγηση του χρωμοσώματος, δηλαδή για τον υπολογισμό της αντικειμενικής συνάρτησης και τον έλεγχο των περιορισμών. Όταν παραβιάζεται ένας περιορισμός, δίνεται μια ποινή στην τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης, η οποία υπολογίζεται με βάση μια συνάρτηση που υλοποιήθηκε (penalty function). Η λειτουργία της συνάρτησης υπολογισμού παραβίασης των περιορισμών περιγράφεται στην Ενότητα 4.3.2.

#### **4.3.1.4 Επόμενες Γενιές και Τερματισμός ΓΑ**

Στη συνέχεια, αφού γίνει αξιολόγηση του αρχικού πληθυσμού, ορίζεται το ποσοστό των καλύτερων χρωμοσωμάτων (ελιτισμός), το οποίο στην παρούσα εργασία ορίζεται ίσο με 20%, από τα οποία θα προκύψει ο καινούργιος πληθυσμός. Επιλέγονται λοιπόν, από τα καλύτερα χρωμοσώματα, τα τυχαία ζευγάρια που πρόκειται να διασταυρωθούν μεταξύ τους και εφαρμόζονται οι γενετικοί τελεστές (διασταύρωση και μετάλλαξη), για τη δημιουργία του νέου πληθυσμού.

Ο ΓΑ τερματίζει όταν έχει εκπληρωθεί η αξιολόγηση των χρωμοσωμάτων κάθε γενιάς για τον αριθμό των γενεών που έχει οριστεί ή όταν για το καλύτερο χρωμόσωμα η συνάρτηση καταλληλότητας (fitness function), δηλαδή το άθροισμα της αντικειμενικής συνάρτησης και του κόστους παραβίασης των περιορισμών, διατηρεί την ίδια τιμή για έναν συγκεκριμένο αριθμό γενεών.



Σχήμα 4.1 Διάγραμμα Ροής Γενετικού Αλγορίθμου

### 4.3.2 Χειρισμός Περιορισμών και Συνάρτηση Καταλληλότητας Χρωμοσώματος

Στον Γενετικό Αλγόριθμο, όταν παραβιάζεται ένας περιορισμός, δίνεται μια ποινή στην αντικειμενική συνάρτηση. Για να συνυπολογιστεί η παραβίαση των περιορισμών στην αναζήτηση της καλύτερης λύσης χρησιμοποιείται μια συνάρτηση που υλοποιήθηκε για τον καθορισμό της ποινής παραβίασης περιορισμών (penalty function). Με αυτή τη συνάρτηση υπολογίζεται ο βαθμός στον οποίο θα επιβαρυνθεί η αντικειμενική συνάρτηση, δηλαδή η τιμή της ποινής που θα δοθεί. Οι τιμές των ποινών ενσωματώνονται στη συνάρτηση καταλληλότητας που είναι και η συνάρτηση αξιολόγησης του χρωμοσώματος [31]:

$$F_{\text{fitness}} = f + \sum_{N_{\text{constr}}} \text{penalty}_i \quad (4.22)$$

όπου:

$f$	η τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης
$N_{\text{constr}}$	ο αριθμός των περιορισμών
$\text{penalty}_i$	η ποινή λόγω παραβίασης του περιορισμού $i$

Η ποινή που θα δοθεί για την παραβίαση κάθε περιορισμού εξαρτάται από τον βαθμό παραβίασης του περιορισμού αυτού. Όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση από τα όρια που έχουν τεθεί (τα μέγιστα και τα ελάχιστα), τόσο μεγαλύτερη υπολογίζεται η ποινή. Υπάρχουν διάφορες τεχνικές για τον προσδιορισμό των ποινών (στατική, δυναμική, προσαρμοστική συνάρτηση ποινών) [32]. Η ποινή που χρησιμοποιείται στην παρούσα εργασία, προσδιορίζεται ως δυναμική ποινή, και έχει την εξής μορφή:

$$\text{penalty}_i = c_i d_i^n \quad (4.23)$$

όπου:

$c_i$	ο συντελεστής της ποινής, με τιμές $W_1$ κοντά στα όρια και $W_2$ μακριά από τα όρια, με $W_1 \ll W_2$
$d_i$	η απόσταση από το μέγιστο ή ελάχιστο όριο ενός περιορισμού
$n$	η τιμή του εκθέτη ορίζεται ίση με 2 σε αυτή την εργασία

## **ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΗΜΕΡΗΣΙΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΕΞΥΠΝΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**

### **5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται περιγραφή του λογισμικού που αναπτύχθηκε για το βέλτιστο ημερήσιο προγραμματισμό της λειτουργίας έξυπνου ΔΔΗΕ, χρησιμοποιώντας ακέραιο γενετικό αλγόριθμο (ΓΑ). Αρχικά γίνεται μια σύντομη περιγραφή του περιβάλλοντος ανάπτυξης που χρησιμοποιήθηκε (MATLAB) και των χρήσιμων εργαλείων, που προσφέρονται από αυτό για τη δημιουργία γραφικού περιβάλλοντος (GUIDE - Graphical User Interface Design Environment). Στη συνέχεια, αναφέρονται οι απαιτήσεις του συστήματος για το συγκεκριμένο πρόγραμμα, παρουσιάζεται η διαδικασία που ακολουθήθηκε για τη δημιουργία του γραφικού περιβάλλοντος της εφαρμογής, ο τρόπος εισαγωγής δεδομένων, η επεξεργασία τους και τα αποτελέσματα που εξάγονται. Τέλος, παρουσιάζεται η λειτουργία των αρχείων (m-files) και η δομή του λογισμικού.

### **5.2 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ**

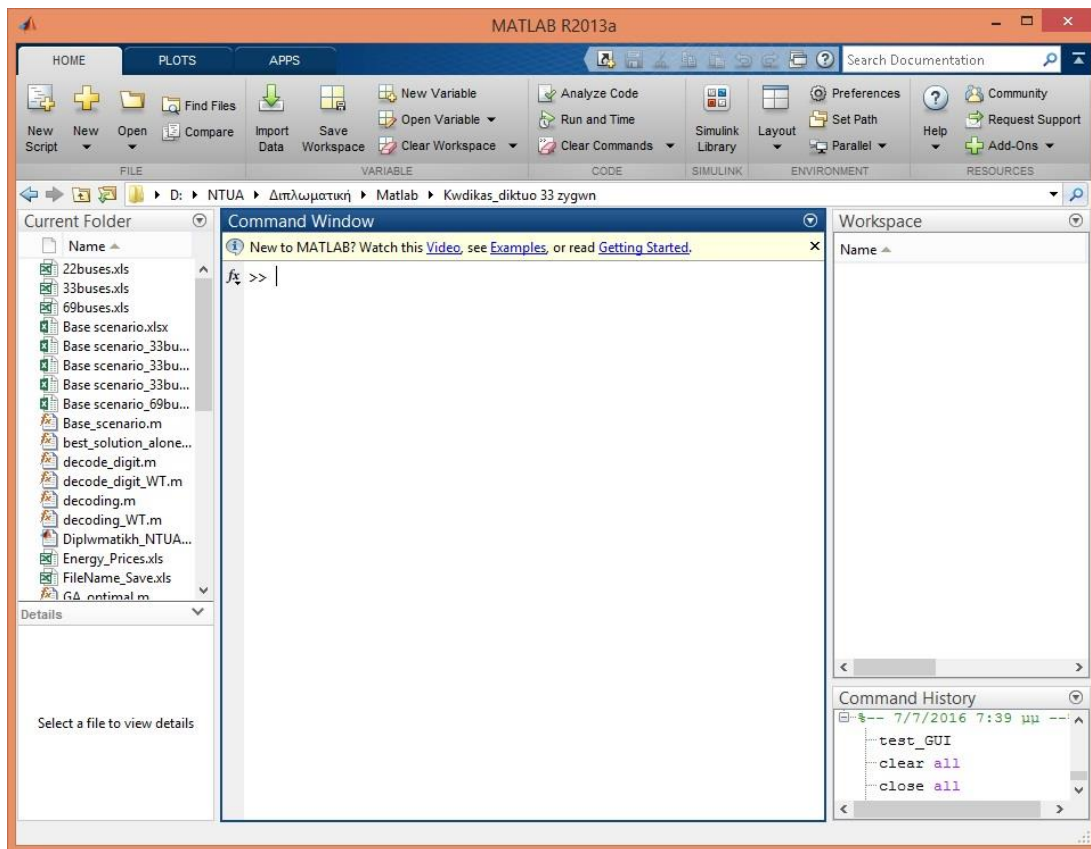
Το περιβάλλον που χρησιμοποιήθηκε για την ανάπτυξη της εφαρμογής βέλτιστου ημερήσιου προγραμματισμού της λειτουργίας έξυπνου ΔΔΗΕ είναι το MATLAB σε έκδοση 8.1.0.604 (R2013a). Το MATLAB είναι μια γλώσσα τέταρτης γενιάς, έχει διαδραστικό περιβάλλον και επιτρέπει στο χρήστη να κάνει τεχνικούς υπολογισμούς. Χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο για την επίλυση μαθηματικών προβλημάτων, ωστόσο μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για προγραμματισμό, καθώς περιέχει αρκετές εντολές όπως while, for και if. Οι βασικές εντολές της χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τις εντολές ελέγχου ροής (if) και τις εντολές επαναληπτικών διαδικασιών (for, while).

Συνοπτικά η γλώσσα MATLAB έχει τις ακόλουθες δυνατότητες:

- Μαθηματικούς/αριθμητικούς υπολογισμούς
- Ανάπτυξη αλγορίθμων
- Μοντελοποίηση και αναπαράσταση
- Ανάλυση και γραφική παρουσίαση δεδομένων

### 5.2.1 Το Περιβάλλον του MATLAB

Τα βασικότερα μέρη του περιβάλλοντος του MATLAB φαίνονται παρακάτω στο Σχήμα 5.1:



Σχήμα 5.1: Το περιβάλλον του MATLAB

- **Command window (παράθυρο εντολών):** Μέσα στο παράθυρο αυτό γράφονται οι εντολές, δίνεται η εντολή εκτέλεσής τους και εμφανίζονται τα αποτελέσματα των πράξεων, δηλαδή γίνονται όλες οι αλληλεπιδράσεις του χρήστη με το πρόγραμμα.
- **Workspace (χώρος εργασίας):** Ο χώρος διεκπεραίωσης των πράξεων είναι ο βασικός χώρος λειτουργίας του προγράμματος. Ο χώρος αυτός βρίσκεται στη μνήμη του υπολογιστή και μέσα σε αυτόν εκτελούνται οι πράξεις και ταυτόχρονα διατηρούνται όλα τα αποτελέσματά τους, με σκοπό να μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε επόμενες πράξεις.
- **Command history (ιστορικό εντολών):** Σε αυτό το παράθυρο φαίνονται οι εντολές που εκτέλεσε ο χρήστης και αν θέλει μπορεί να τις αντιγράψει ή να τις σύρει (drag and drop) στο παράθυρο εντολών.

- **Current Folder** (τρέχων φάκελος): Είναι το σημείο αναφοράς των αρχείων του προγράμματος. Αν είναι επιθυμητό να κληθεί μια συνάρτηση ή ένα m-file πρέπει να βρίσκεται στον τρέχοντα φάκελος [33].

## 5.2.2 Δημιουργία και Εκτέλεση m-files

Η ευκολία με την οποία μπορεί να προγραμματίσει ο χρήστης στο MATLAB αυτόματα το κάνει να υπερτερεί έναντι των άλλων γλωσσών προγραμματισμού.

Στη γενική περίπτωση, για απλούς υπολογισμούς, το παράθυρο εντολών είναι αρκετά εύχρηστο. Όσο αυξάνεται όμως το πλήθος των εντολών ή πρέπει να αλλάζουν οι τιμές κάποιων μεταβλητών, η διαδικασία να γράφει ο χρήστης στο παράθυρο εντολών είναι χρονοβόρα. Το κυριότερο είναι ότι όταν κλείσει το πρόγραμμα τότε ότι γράφτηκε στο παράθυρο εντολών θα σβηστεί.

Για να λυθούν τα παραπάνω προβλήματα, θα πρέπει να γίνεται αποθήκευση των εντολών αυτών σε ένα αρχείο, το οποίο θα καλείται από το παράθυρο εντολών και θα εκτελούνται οι ανάλογες εντολές. Η MATLAB δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να δημιουργήσει τα λεγόμενα m-files, τα οποία χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τα script files και τις functions (συναρτήσεις).

- **Script files:** Για να δημιουργηθεί ένα script file, ακολουθείται η διαδικασία: FILE → New → Script και ανοίγει ο editor. Μέσα στο παράθυρο αυτό συντάσσονται οι εντολές, όπως ακριβώς θα συντάσσονταν και μέσα στο παράθυρο εντολών του MATLAB. Τα αρχεία αυτά αποθηκεύονται μέσα στην ενεργό διεύθυνση αποθήκευσης του MATLAB, ώστε να υπάρχει η δυνατότητα άμεσης εκτέλεσής τους με την κλήση του ονόματός τους από το παράθυρο εντολών. Αυτό δίνει το πλεονέκτημα να αποθηκεύεται πλήθος εντολών, έτσι ώστε να χρησιμοποιείται όποτε απαιτείται. Τα script files λειτουργούν με καθολικές μεταβλητές, δηλαδή είναι “ορατές” και μπορούν να χρησιμοποιηθούν και έξω από το συγκεκριμένο αρχείο.
- **Functions:** Αποτελούν τη δεύτερη κατηγορία των m-files και η διαδικασία δημιουργίας τους είναι: FILE → New → Function. Η μεγάλη διαφορά τους με τα script files είναι ότι οι μεταβλητές είναι τοπικές, δηλαδή μία μεταβλητή που περιέχεται σε μια function δεν μπορεί να επηρεαστεί από διαδικασίες εκτός function. Ακόμα μπορεί να δεχθεί δεδομένα σαν ορίσματα και να επιστρέψει αποτελέσματα. Μια function πρέπει πάντα να αρχίζει με την ακόλουθη γραμμή:

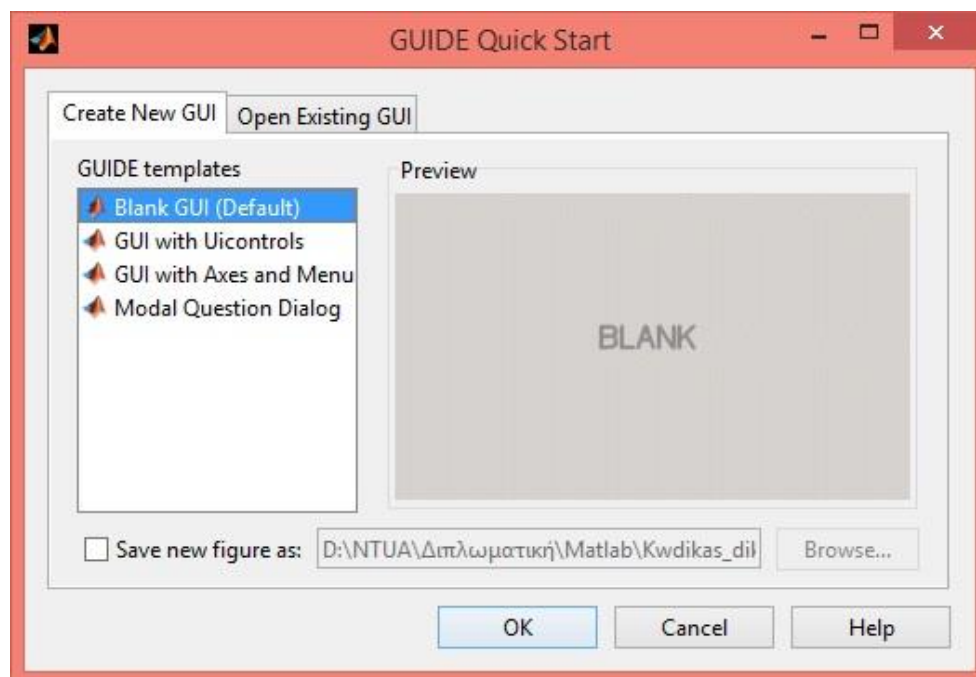
```
function [ out 1,..., out n ] = function_name ( input 1,..., input m)
```

Όπου out 1, ..., out n είναι τα αποτελέσματα που επιστρέφονται, function\_name είναι το όνομα της και input 1,..., input m τα ορίσματά της. Μια function δεν είναι απαραίτητο να έχει ορίσματα ή να επιστρέφει αποτελέσματα. Σαν ορίσματα, (αντίστοιχα αποτελέσματα), μπορούν να μπου μεταβλητές των οποίων οι τιμές μπορούν να είναι πολλών ειδών. Όπως για

παράδειγμα αριθμοί, συμβολοσειρές, πίνακες και πολλές άλλες δομές που μπορεί να επεξεργαστεί MATLAB [34].

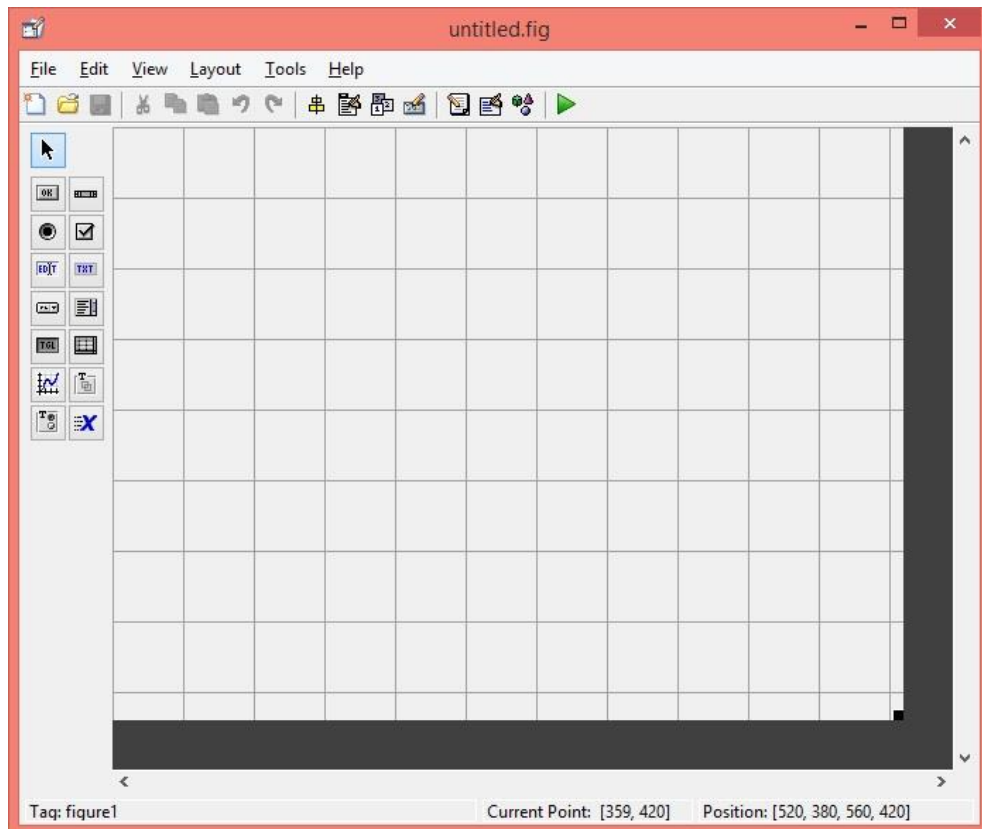
### 5.2.3 Δημιουργία Γραφικού Περιβάλλοντος (GUI)

Το MATLAB προσφέρει στο χρήστη μια πολύ χρήσιμη δυνατότητα για δημιουργία γραφικού περιβάλλοντος, για τις εφαρμογές του. Η εκκίνηση του GUIDE γίνεται είτε επιλέγοντας από τη γραμμή του μενού FILE → New → GUI, είτε εκτελώντας την εντολή guide από το παράθυρο εντολών. Στη συνέχεια, ο οδηγός ρωτάει το χρήστη αν θέλει να δημιουργήσει ένα κενό παράθυρο (Blank GUI), ένα παράθυρο βασισμένο σε κάποια πρότυπα ή να ανοίξει ένα έτοιμο παράθυρο (Σχήμα 5.2). Στη συνέχεια, αν ο χρήστης αφήσει την προεπιλεγμένη επιλογή “Blank GUI” θα ανοίξει ένα άδειο παράθυρο, στο οποίο μπορεί να δημιουργήσει το δικό του GUI (Σχήμα 5.3).








Σχήμα 5.2: Επιλογές για δημιουργία νέου γραφικού περιβάλλοντος

















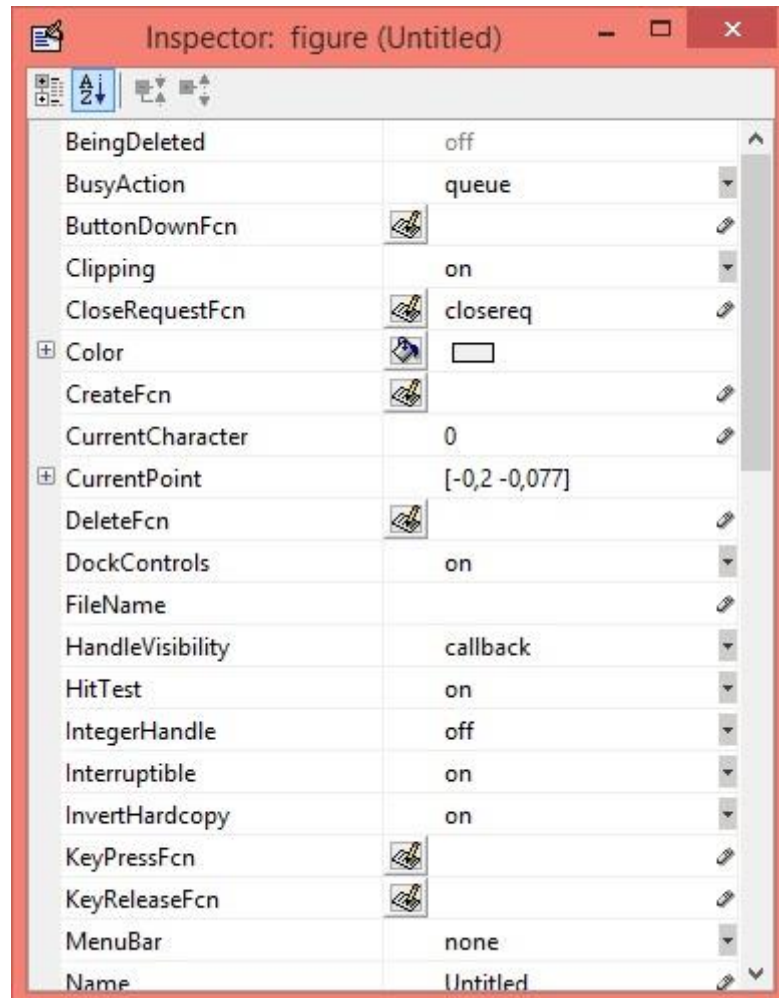
**Σχήμα 5.3:** Περιβάλλον και εργαλεία για τη δημιουργία GUI

Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 5.3 το περιβάλλον δημιουργίας του παραθύρου αποτελείται από μία κεντρική γραμμή επιλογών, μια γραμμή εργαλείων και μία κάθετη εργαλειοθήκη στα αριστερά. Η γκριζα περιοχή με το πλέγμα είναι το φόντο του παραθύρου. Η κάθετη εργαλειοθήκη περιέχει τα παρακάτω 14 αντικείμενα (objects) με τα οποία μπορεί να εμπλουτίσει το γραφικό του περιβάλλον:

1. Push button  : ορθογώνιο κουμπί, αφού πατηθεί εκτελεί μια επιθυμητή λειτουργία.
2. Slider  : δίνει τη δυνατότητα να μεταβάλει ο χρήστης κάποια μεταβλητή με τη βοήθεια μιας μπάρας μεταξύ μιας ελάχιστης και μιας μέγιστης τιμής. Συνοδεύει κάποιο κείμενο ή γράφημα. Η μπάρα μπορεί να είναι είτε οριζόντια είτε κάθετη.
3. Radio Button  : στρογγυλό κουμπί με το οποίο ο χρήστης μπορεί να επιλέξει μόνο μια επιλογή από ένα πλήθος επιλογών. Διαλέγοντας μια, αναιρείται κάποια άλλη.
4. Check Box  : δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να διαλέξει μια ή περισσότερες επιλογές.
5. Edit Text  : είναι ένα πεδίο στο οποίο ο χρήστης μπορεί να εισάγει ή να μορφοποιήσει αλφαριθμητικά δεδομένα. Μπορεί να γίνει εισαγωγή κειμένου μονής ή πολλαπλής γραμμής.

6. Static Text  : προβάλλει στην οθόνη μια γραμμή κειμένου. Το κείμενο αυτό δε μπορεί να το επεξεργαστεί ο χρήστης του λογισμικού.
7. Pop-up Menu  : παρέχει στο χρήστη μια λίστα επιλογών που ανοίγει όταν πατηθεί με το ποντίκι.
8. List Box  : παρέχει στο χρήστη μια λίστα ενός ή περισσότερων επιλογών που παραμένει ανοιχτή. Όταν υπάρχουν πολλές επιλογές εμφανίζεται αυτόματα μια μπάρα.
9. Toggle Button  : δίνει τη δυνατότητα επιλογής ή όχι μιας λειτουργίας.
10. Table  : παρέχει στο χρήστη επιλογές σε μορφή πίνακα.
11. Axes  : δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να εισάγει μια γραφική παράσταση στο παράθυρο.
12. Panel  : χρησιμοποιείται για την ομαδοποίηση πολλών στοιχείων ελέγχου.
13. Button Group  : λειτουργεί σαν το panel αλλά επιδρά αυτόματα στην ομαδοποίηση των radio buttons και toggle buttons.
14. ActiveX control  : αντικείμενο ελέγχου ActiveX

Η εισαγωγή των παραπάνω αντικειμένων στο παράθυρο είναι απλή και γίνεται με απλό σύρσιμο (drag and drop). Ειδικά τα αντικείμενα push button, radio button, slider, edit text, static text, list box, pop-up menu, check box και toggle button ανήκουν στην κατηγορία των στοιχείων ελέγχου (uicontrols). Ο χρήστης μπορεί να εισάγει όσες φορές θέλει το κάθε αντικείμενο στο παράθυρο. Μέσω του object browser  βλέπει πόσα και ποια αντικείμενα υπάρχουν στο συγκεκριμένο παράθυρο της εφαρμογής του και επιλέγοντάς τα βλέπει τη θέση τους. Επίσης, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να στοιχίσει κάθετα ή οριζόντια όποια στοιχεία ελέγχου επιθυμεί μέσω του εικονιδίου align objects . Χρησιμοποιώντας τον property inspector (Σχήμα 5.4) μέσω του εικονιδίου  ή με διπλό κλικ ή δεξί κλικ πάνω στο αντικείμενο, μπορεί να καθορίσει ιδιότητες των κουμπιών, όπως το χρώμα του φόντου, τη γραμματοσειρά, το είδος των γραμμάτων, αν είναι ορατό, ενεργό ή όχι ένα στοιχείο, τη θέση του, την ετικέτα του (tag) ή το κείμενο (string) που θα είναι πάνω του κ.α. Αυτές είναι κάποιες από τις κοινές ιδιότητες σε όλα τα στοιχεία ελέγχου που χρησιμοποιούνται.



Σχήμα 5.4: Property Inspector

Σε κάθε αντικείμενο αντιστοιχεί ένας δείκτης (handles). Κάποιοι χρήσιμοι αυτόματοι δείκτες είναι οι παρακάτω:


- gcf : δείκτης στο τρέχον figure.
- gco : δείκτης στο τρέχον object. Τρέχον αντικείμενο είναι αυτό το οποίο έχει επιλέξει ο χρήστης με το ποντίκι.
- gca : δείκτης στο τρέχον axes.
- gcbo: δείκτης στο object του οποίου εκτελείται η συνάρτηση callback.

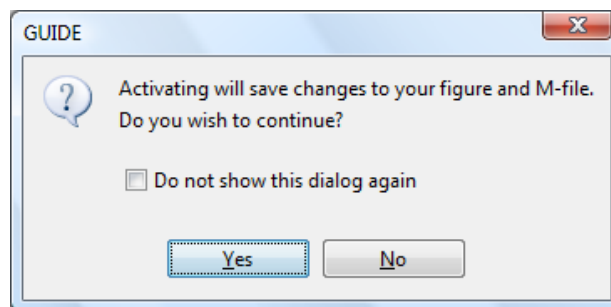
Τα περισσότερα στοιχεία ελέγχου συνοδεύονται από μία συνάρτηση callback, στην οποία ο χρήστης προσθέτει τις εντολές που θέλει να εκτελεί η ενεργοποίηση του κάθε στοιχείου ελέγχου. Οποιας μεταβλητές χρησιμοποιήσει μέσα στη συνάρτηση είναι τοπικές και δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν από άλλες συναρτήσεις. Αρχικά, δημιουργούνται δύο callbacks: η opening function και η output function. Η πρώτη εκτελείται πριν η εικόνα του GUI (figure) γίνει ορατή στο χρήστη, αλλά αφού δημιουργήσει όλα τα αντικείμενα που θέλει και η δεύτερη επιστρέφει δεδομένα στο παράθυρο εντολών. Και στις δύο περιπτώσεις μπορεί ο χρήστης να προσθέσει δικό του κώδικα, όπως για παράδειγμα στην opening function μπορεί

να αρχικοποιήσει δεδομένα. Κάθε φορά που εισάγει ένα γραφικό αντικείμενο με το GUIDE, παράγεται και στο m-file το αντίστοιχο callback.

Το GUI δημιουργεί για κάθε παράθυρο δύο αρχεία: το m-αρχείο και το fig-αρχείο. Το fig-αρχείο είναι το αρχείο στο οποίο το MATLAB αποθηκεύει όλα τα αντικείμενα που έχει εισάγει ο χρήστης, την ακριβή τους θέση καθώς και όλες τις τιμές των ιδιοτήτων τους που μπορεί να υπάρχουν. Εδώ ο χρήστης σχεδιάζει την εμφάνιση του παραθύρου. Το m-αρχείο είναι το αρχείο στο οποίο ο χρήστης θα γράψει τον κώδικα που θα ενσωματωθεί στα στοιχεία ελέγχου, ώστε αυτά να εκτελέσουν τις επιθυμητές λειτουργίες. Αυτό το αρχείο αναφέρεται και σαν GUI m-file. Κάθε αρχείο \*.fig πρέπει να συνοδεύεται από το αντίστοιχο αρχείο \*.m με το ίδιο όνομα. Κάθε φορά που ο χρήστης δημιουργεί ένα νέο παράθυρο (figure), το GUI δημιουργεί αυτόματα και τους δύο τύπους αρχείων.

Δύο χρήσιμες ιδιότητες στον προγραμματισμό του m-file είναι οι: string, value. Με την ιδιότητα string μπορεί να εισάγει κείμενο πάνω σε κάποιο αντικείμενο με την εντολή set ή να πάρει κείμενο με την εντολή get. Η ιδιότητα value δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να ορίσει ή να πάρει κάποια τιμή από ένα αντικείμενο. Επίσης, το MATLAB προσφέρει τη δυνατότητα δημιουργίας dialogs. Τα dialogs είναι ειδικού τύπου παράθυρα τα οποία χρησιμοποιούνται για να δώσουν πληροφορίες στο χρήστη ή να ζητήσουν εισαγωγή πληροφορίας.

Τέλος, εφόσον ο χρήστης κατασκευάσει το παράθυρο της εφαρμογής με τα κουμπιά που επιθυμεί, μπορεί να τρέξει την εφαρμογή πατώντας το κουμπί “Run” . Το GUI θα ζητήσει να επιβεβαιώσει ο χρήστης τις αλλαγές που έκανε (Σχήμα 5.5). Επιλέγοντας “Yes”, το GUI θα ζητήσει από το χρήστη να δώσει ένα όνομα στην εφαρμογή του και θα την αποθηκεύσει σε δύο αρχεία .fig και .m [35].



Σχήμα 5.5: Παράθυρο διαλόγου για αποθήκευση αλλαγών στο GUI

### 5.3 ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΗΜΕΡΗΣΙΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΕΞΥΠΝΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Η μεθοδολογία για το βέλτιστο ημερήσιο προγραμματισμό της λειτουργίας έξυπνου δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας διατυπώθηκε στο Κεφάλαιο 4. Η μέθοδος βελτιστοποίησης που χρησιμοποιήθηκε είναι ο ακέραιος γενετικός αλγόριθμος. Παρακάτω παρουσιάζεται το λογισμικό το οποίο χρησιμοποιεί τον ακέραιο γενετικό αλγόριθμο για την επίλυση του προβλήματος.

#### 5.3.1 Απαιτήσεις Συστήματος


Η εφαρμογή αναπτύχθηκε στο περιβάλλον του MATLAB σε έκδοση 8.1.0.604 (R2013a). Ο υπολογιστής στον οποίο αναπτύχθηκε το λογισμικό έχει λειτουργικό σύστημα Windows 8.1 Pro 64-bit, επεξεργαστή AMD Phenom™ II X4 965 3,40 GHz και μνήμη RAM 6,00 GB.

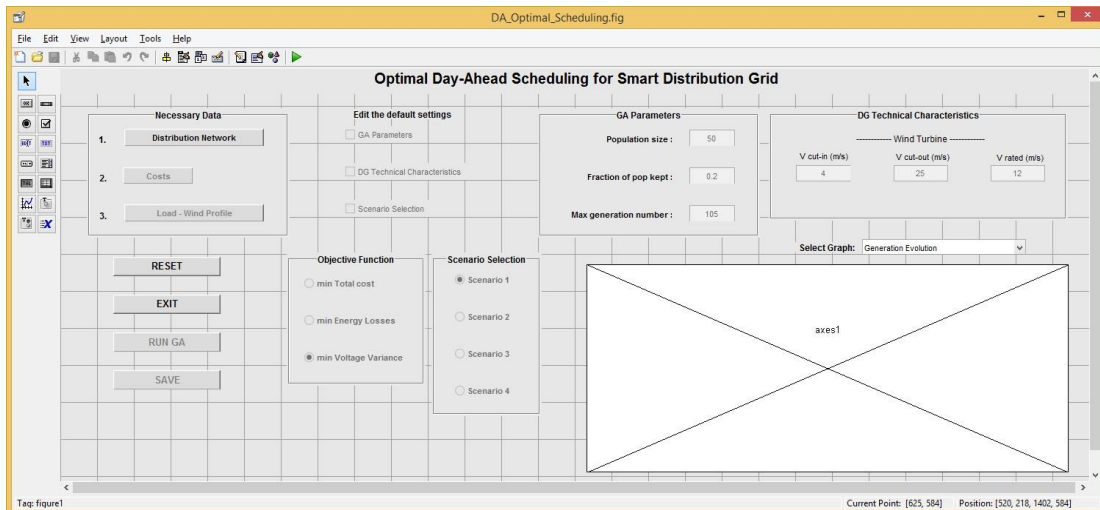
Οι τυπικές απαιτήσεις, ώστε το σύστημα να μπορεί να υποστηρίξει το λογισμικό MATLAB είναι στην περίπτωση λειτουργικού συστήματος Windows να είναι νεότερο από Windows XP Service Pack 3, επεξεργαστή οποιοδήποτε Intel ή AMDx86 που να υποστηρίζει το σύνολο εντολών SSE2, 3-4 GB χώρο στο σκληρό δίσκο για την εγκατάσταση του λογισμικού MATLAB και 1024 MB RAM.

#### 5.3.2 Το γραφικό περιβάλλον της εφαρμογής

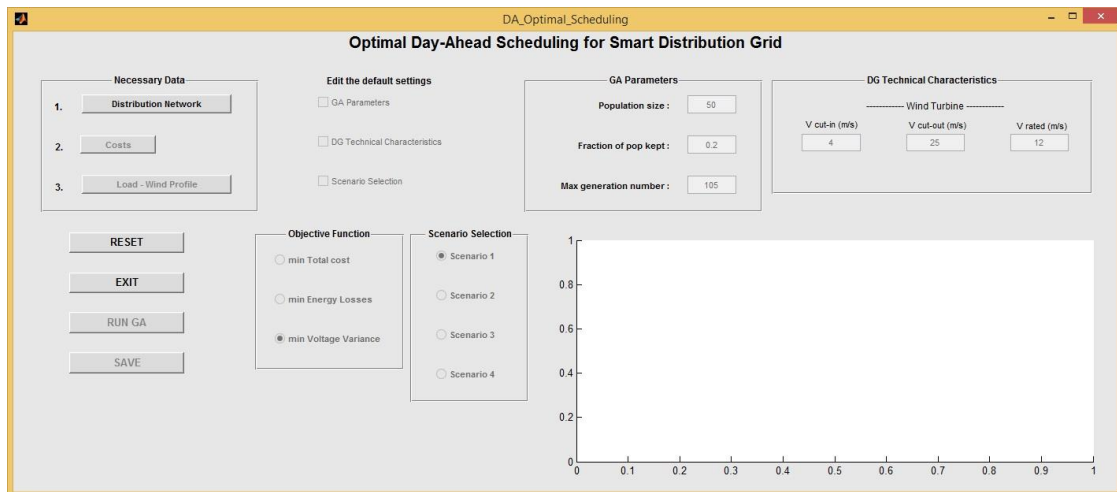
Το γραφικό περιβάλλον που δημιουργήθηκε για την εφαρμογή ονομάστηκε DA\_Optimal\_Scheduling και τα αντικείμενα που χρησιμοποιήθηκαν είναι:

- 7 push buttons, 3 για την εισαγωγή δεδομένων, 1 για την εκτέλεση των υπολογισμών, 1 για τον καθαρισμό της εφαρμογής, 1 για αποθήκευση δεδομένων και 1 για έξοδο από την εφαρμογή.
- 3 check boxes για την επεξεργασία και αλλαγή των προκαθορισμένων τιμών που δίνονται στις παραμέτρους του προβλήματος.
- 6 edit texts για την ανάθεση τιμών σε διάφορες μεταβλητές και παραμέτρους από τον χρήστη.
- 10 static texts για εμφάνιση τίτλων και αποτελεσμάτων.
- 3 Panels για τον ομαδοποιημένη εμφάνιση των επιλογών του χρήστη.
- 2 Button group για την δυνατότητα επιλογής ενός εκ των τεσσάρων σεναρίων και μιας εκ των τριών αντικειμενικών συναρτήσεων.
- 7 radio buttons, τα οποία είναι τοποθετημένα στα button groups για την επιλογή του σεναρίου και της αντικειμενικής συνάρτησης. Επιλέγοντας κάποιο σενάριο απενεργοποιούνται αυτόματα τα υπόλοιπα και όμοια για την αντικειμενική συνάρτηση.
- 1 pop-up menu για την επιλογή του διαγράμματος που θα εμφανιστεί στο παράθυρο διαγραμμάτων.
- 1 axes για την γραφική απεικόνιση ορισμένων αποτελεσμάτων.

Ο χρήστης μπορεί να τρέξει την εφαρμογή με δυο τρόπους. Είτε επιλέγοντας να ανοίξει το γραφικό περιβάλλον DA\_Optimal\_Scheduling με την εκκίνηση του GUIDE (Σχήμα 5.6) και πατώντας το κουμπί “Run” . Είτε πληκτρολογώντας στο παράθυρο εντολών (command window) DA\_Optimal\_Scheduling. Τότε ανοίγει το γραφικό περιβάλλον της εφαρμογής σε καινούριο παράθυρο, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.7.



Σχήμα 5.6: Εισαγωγή όλων των αντικειμένων του GUI για την υλοποίηση της εφαρμογής



Σχήμα 5.7: Γραφικό περιβάλλον της εφαρμογής

Από το Σχήμα 5.7 φαίνεται πως μόνο τρεις επιλογές είναι ενεργοποιημένες. Η εφαρμογή έχει υλοποιηθεί με τέτοιο τρόπο, ώστε να καθοδηγεί το χρήστη στην επόμενη κίνηση που πρέπει να κάνει. Για παράδειγμα, δεν μπορεί να τρέξει την εφαρμογή αν πρώτα δεν έχει εισάγει τα απαραίτητα δεδομένα, δεν μπορεί να αποθηκεύσει αποτελέσματα που δεν υπάρχουν και πρέπει να ενεργοποιήσει τις επιλογές που θέλει να αλλάξει, ώστε να τρέξει την εφαρμογή με τιμές διαφορετικές από τις προκαθορισμένες (default). Έτσι, κατά την εκκίνηση της εφαρμογής, οι μοναδικές ενεργοποιημένες επιλογές στο γραφικό περιβάλλον είναι η

εισαγωγή δεδομένων του δικτύου διανομής (“Distribution Network”) στο panel “Necessary Data”, η επανεκκίνηση της εφαρμογής (“RESET”) ή η εγκατάλειψη της εφαρμογής (“EXIT”). Αφού ο χρήστης εισάγει τα πρώτα απαραίτητα δεδομένα, ακολούθως ενεργοποιούνται και άλλα κουμπιά, όπως περιγράφεται στην Ενότητα 5.3.3. Στον Πίνακα 5.1 παρουσιάζονται συνοπτικά οι λειτουργίες του κάθε κουμπιού.

**Πίνακας 5.1:** Συνοπτική παρουσίαση λειτουργιών των κουμπιών του γραφικού περιβάλλοντος της εφαρμογής

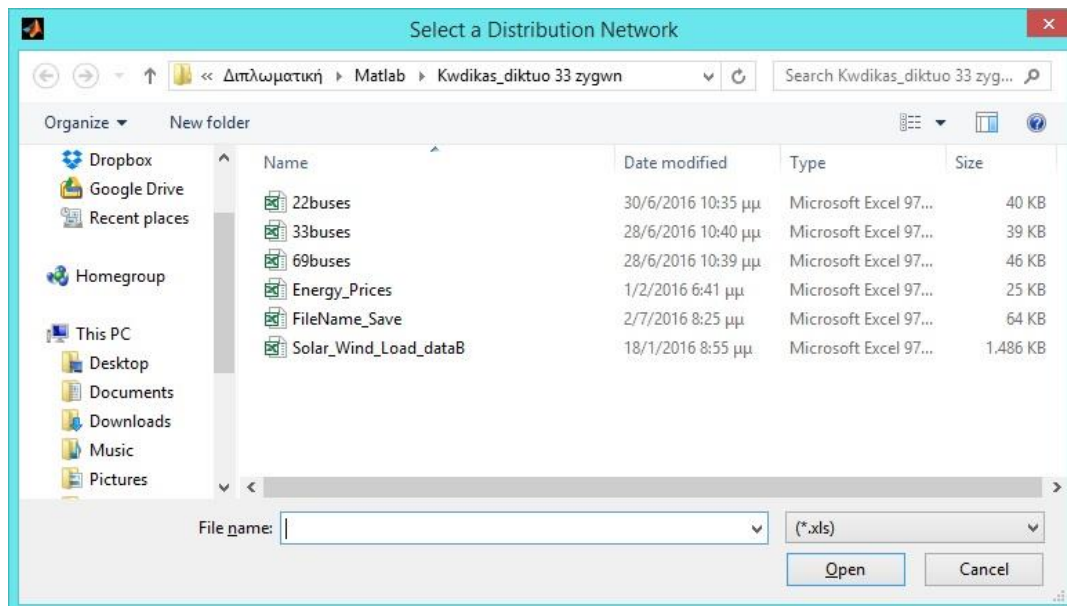
Κουμπί	Συνοπτική λειτουργία
Distribution Network	Ανοίγει παράθυρο διαλόγου για την επιλογή αρχείου Excel για την εισαγωγή των δεδομένων δικτύου διανομής (δεδομένα ζυγών, γραμμών, βάση ισχύος, δεδομένα υποσταθμού ΥΤ/ΜΤ, ο οποίος μοντελοποιείται σαν γεννήτρια, αριθμός ΜΔΠ καυσίμου, εγκατεστημένη ισχύς, και σε ποιους κόμβου βρίσκονται, αριθμός ανεμογεννητριών, εγκατεστημένη ισχύς, και σε ποιους κόμβου βρίσκονται)
Costs	Ανοίγει παράθυρο διαλόγου για την επιλογή αρχείου Excel για την εισαγωγή των δεδομένων για το κόστος αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο μεταφοράς.
Load – Wind Profile	Ανοίγει παράθυρο διαλόγου για την επιλογή αρχείου Excel για την εισαγωγή των δεδομένων για την ημερήσια καμπύλη φορτίου και την ημερήσια καμπύλη ανέμου.
RESET	Γίνεται επανεκκίνηση της εφαρμογής.
EXIT	Μέσω ενός αναδυόμενου παραθύρου μπορεί να γίνει ο τερματισμός της εφαρμογής.
RUN GA	Εκτελεί τον γενετικό αλγόριθμο.
SAVE	Αποθηκεύει σε αρχείο Excel τα αποτελέσματα από την εκτέλεση της εφαρμογής.

### 5.3.3 Εισαγωγή Δεδομένων

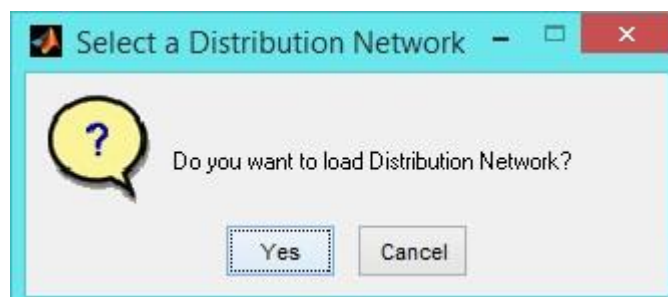
#### 5.3.3.1 Εισαγωγή Δεδομένων Δικτύου

Αρχικά επιλέγεται το κουμπί “Distribution Network”, που είναι και το μοναδικό ενεργοποιημένο κουμπί του panel “Necessary Data”, και ανοίγει ένα παράθυρο διαλόγου (Σχήμα 5.8), μέσα από το οποίο ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να επιλέξει τα δεδομένα εισόδου που αφορούν το δίκτυο από ένα αρχείο Excel (\*.xls) που ήδη υπάρχει. Τα αρχεία Excel που αφορούν τα δεδομένα του δικτύου έχουν τη μορφή nbuses. Για παράδειγμα, 33buses, ο αριθμός 33 αναφέρεται σε δίκτυο 33 ζυγών.

Αν ο χρήστης επιλέξει “Cancel” εμφανίζεται ένα αναδυόμενο παράθυρο (pop up window) που τον ρωτάει αν θέλει να επιλέξει κάποιο αρχείο Excel. Αν επιλέξει πάλι “Cancel” (Σχήμα 5.9), τότε δε γίνεται τίποτα και επιστρέφει στο αρχικό παράθυρο (Σχήμα 5.7). Αν ο χρήστης επιλέξει κάποιο αρχείο με τα δεδομένα του δικτύου και πατήσει “Open”, τότε διαβάζεται το συγκεκριμένο αρχείο και στη συνέχεια ανοίγει ένα αναδυόμενο παράθυρο, με το οποίο ενημερώνεται ο χρήστης να περιμένει έως ότου φορτωθούν τα δεδομένα (Σχήμα 5.10). Αφού ολοκληρωθεί η διαδικασία εισαγωγής των δεδομένων εμφανίζεται πάλι ένα αναδυόμενο παράθυρο που ενημερώνει τον χρήστη για την ολοκλήρωση της διαδικασίας και τον οδηγεί να προχωρήσει στην εισαγωγή των επόμενων απαραίτητων δεδομένων (Σχήμα 5.11) που αφορούν τα κόστη του δικτύου.

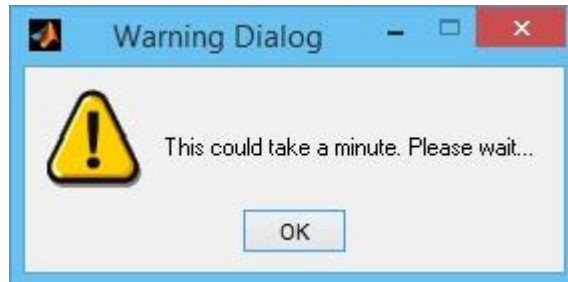


Σχήμα 5.8: Εισαγωγή δεδομένων δικτύου από αρχείο Excel



Σχήμα 5.9: Αναδυόμενο παράθυρο σε περίπτωση που δεν γίνει αρχικά εισαγωγή δικτύου





**Σχήμα 5.10:** Αναδυόμενο παράθυρο που ενημερώνει το χρήστη να περιμένει



**Σχήμα 5.11:** Αναδυόμενο παράθυρο που ενημερώνει τον χρήστη να εισάγει τα δεδομένα για τα κόστη

Τα δεδομένα που εισάγονται αφορούν τη βασική ισχύ, τα δεδομένα των γεννητριών που προϋπήρχαν στο δίκτυο, τα δεδομένα των ζυγών και τα δεδομένα των γραμμών. Τονίζεται ότι για την εφαρμογή ο χρήστης θα πρέπει να δίνει τα δεδομένα με τον παρακάτω συγκεκριμένο τρόπο (format).

Στο πρώτο φύλλο του αρχείου Excel πρέπει να δίνεται η βάση ισχύος του δικτύου σε MVA.

Στο δεύτερο φύλλο δίνονται τα δεδομένα των ζυγών. Πιο συγκεκριμένα, στη στήλη A δηλώνεται ο αριθμός του ζυγού, στη στήλη B ένας αριθμός από 1 έως 3 ο οποίος υποδηλώνει τον τύπο του ζυγού (1: PQ, 2: PV, 3: ζυγός ταλάντωσης), στη στήλη C η ενεργός ισχύς του φορτίου του ζυγού σε MW και στη στήλη D η άεργος ισχύς του φορτίου του ζυγού σε MVA<sub>r</sub>. Στη στήλη E δηλώνεται η ενεργός ισχύς GS σε MW για τυχόν εγκάρσιο στοιχείο και στη στήλη F δηλώνεται η άεργος ισχύς BS σε MVA<sub>r</sub> για τυχόν εγκάρσιο στοιχείο. Στη στήλη G δηλώνεται η περιοχή που βρίσκεται ο ζυγός και είναι ένας θετικός ακέραιος αριθμός, ενώ στη στήλη H και στη στήλη I αρχικοποιούνται το μέτρο και η γωνία της τάσης αντίστοιχα σε α.μ. τιμές. Στη στήλη J δηλώνεται η βασική τάση του κάθε ζυγού, στη στήλη K η ζώνη απωλειών, η οποία είναι ένας θετικός ακέραιος αριθμός και στη στήλη L και στη στήλη M δηλώνονται το μέγιστο και ελάχιστο επιτρεπτό όριο αντίστοιχα για το μέτρο της τάσης.

Στο τρίτο φύλλο του αρχείου Excel δηλώνονται τα χαρακτηριστικά των γεννητριών, και πιο συγκεκριμένα στη στήλη A δηλώνεται ο ζυγός της γεννήτριας, στη στήλη B η ονομαστική ενεργός ισχύς (MW) της γεννήτριας, στη στήλη C η ονομαστική άεργος ισχύς (MVA<sub>r</sub>) της γεννήτριας. Στη στήλη D και στη στήλη E δηλώνονται το μέγιστο και το ελάχιστο όριο αντίστοιχα της αέργου ισχύος που μπορεί να παράγει η γεννήτρια ενώ στη στήλη F αρχικοποιείται το μέτρο της τάσης της γεννήτριας. Στη στήλη G δηλώνεται η

κατάσταση της γεννήτριας, δηλαδή αν η κατάσταση είναι μεγαλύτερη του μηδενός η γεννήτρια είναι ενεργοποιημένη, ενώ αν είναι μικρότερη ή ίση του μηδενός, η γεννήτρια είναι απενεργοποιημένη. Στη στήλη H και στη στήλη I δηλώνονται η μέγιστη και η ελάχιστη ενεργός ισχύς (MW) αντίστοιχα που μπορεί να παράγει η γεννήτρια.

Στο τέταρτο φύλλο του αρχείου Excel δηλώνονται τα στοιχεία των γραμμών. Πιο συγκεκριμένα, στη στήλη A δηλώνεται ο ζυγός αναχώρησης της γραμμής και στη στήλη B δηλώνεται ο ζυγός άφιξης της γραμμής. Στη στήλη C, τη στήλη D και τη στήλη E δηλώνονται αντίστοιχα σε α.μ. τιμές η αντίσταση, η αντίδραση και η χωρητικότητα της γραμμής. Στις στήλες F, G, H δηλώνονται τα ανώτερα επιτρεπτά όρια φαινόμενης ισχύος (MVA) που επιτρέπεται να ρέουν στη γραμμή για κανονική λειτουργία του δικτύου, μεταβατική λειτουργία του δικτύου και για περίπτωση εκτάκτου ανάγκης αντίστοιχα. Στις στήλες I και J δηλώνεται ο λόγος μετασχηματισμού του μέτρου και της γωνίας της τάσης αντίστοιχα, σε περίπτωση που η γραμμή αντιπροσωπεύει μετασχηματιστή ΣΑΤΥΦ. Στη στήλη K δηλώνεται η κατάσταση της γραμμής ( 1= λειτουργεί, 2 = δεν λειτουργεί) και στην στήλη L δηλώνεται η ελάχιστη και η μέγιστη διαφορά των γωνιών της τάσης που μπορεί να έχουν ο ζυγός αναχώρησης και άφιξης.

Στο πέμπτο φύλλο δίνονται τα δεδομένα για τις ΜΔΠ καυσίμου. Συγκεκριμένα στο κελί B1 ορίζεται ο αριθμός των ΜΔΠ καυσίμου που υπάρχουν στο δίκτυο, στη γραμμή 4 ορίζεται σε ποιον ζυγό υπάρχει ΜΔΠ καυσίμου, στη γραμμή 5 ορίζεται η εγκατεστημένη ισχύς της κάθε ΜΔΠ καυσίμου, στις γραμμές 7,8,9 ορίζονται οι συντελεστές της εξίσωσης για τον υπολογισμό του κόστους του καυσίμου για κάθε ΜΔΠ καυσίμου και τέλος στη γραμμή 11 ορίζεται η μέγιστη φαινόμενη ισχύς κάθε ΜΔΠ καυσίμου.

Στο έκτο φύλλο του αρχείου Excel δίνονται τα δεδομένα για τις ανεμογεννήτριες. Συγκεκριμένα στο κελί B1 ορίζεται ο αριθμός των ανεμογεννητριών που υπάρχουν στο δίκτυο, στη γραμμή 4 ορίζεται σε ποιον ζυγό υπάρχει ανεμογεννήτρια και στη γραμμή 5 ορίζεται η εγκατεστημένη ισχύς της κάθε ανεμογεννήτρια του δικτύου.

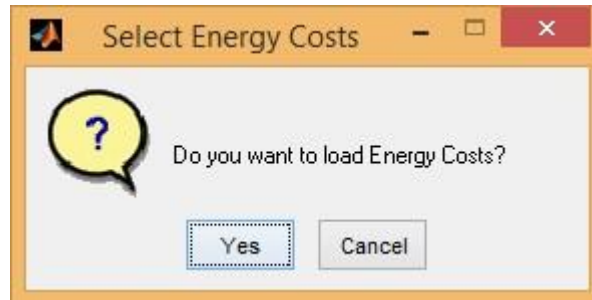
Ο τρόπος με τον οποίο εισάγονται τα δεδομένα συμφωνεί με τον τρόπο με τον οποίο εισάγονται τα δεδομένα στο λογισμικό MATPOWER [36], καθώς αυτό το λογισμικό χρησιμοποιείται για την επίλυση ροής φορτίου, με την εκτέλεση της εντολής `runpf()`.

### 5.3.3.2 Εισαγωγή Δεδομένων για τα Κόστη του Προβλήματος

Πατώντας το κουμπί “Costs” ανοίγει ένα παράθυρο διαλόγου (Σχήμα 5.8), μέσα από το οποίο ο χρήστης έχει τη δυνατότητα εισαγωγής των δεδομένων για τα κόστη του προβλήματος από ένα αρχείο Excel (\*.xls) που ήδη υπάρχει. Το αρχείο Excel που αφορά τα κόστη έχει το όνομα Energy\_Prices.

Όπως και στην εισαγωγή των δεδομένων του δικτύου, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να πατήσει “Cancel” ή να επιλέξει κάποιο αρχείο Excel και μετά “Open”. Αν ο χρήστης επιλέξει “Cancel” εμφανίζεται ένα αναδυόμενο παράθυρο (pop up window) που τον ρωτάει αν θέλει να επιλέξει κάποιο αρχείο Excel. Αν επιλέξει πάλι “Cancel” (Σχήμα 5.12), τότε δε γίνεται τίποτα και επιστρέφει στο αρχικό παράθυρο (Σχήμα 5.7). Αν ο χρήστης επιλέξει κάποιο αρχείο με τα δεδομένα του δικτύου και πατήσει “Open”, τότε διαβάζεται το συγκεκριμένο αρχείο και στη συνέχεια ανοίγει ένα αναδυόμενο παράθυρο, με το οποίο ενημερώνεται ο χρήστης να περιμένει έως ότου φορτωθούν τα δεδομένα (Σχήμα 5.10). Αφού ολοκληρωθεί η διαδικασία εισαγωγής των δεδομένων εμφανίζεται πάλι ένα αναδυόμενο παράθυρο που ενημερώνει τον χρήστη για την ολοκλήρωση της διαδικασίας και τον οδηγεί

να προχωρήσει στην εισαγωγή των επόμενων απαραίτητων δεδομένων (Σχήμα 5.13) που αφορούν την καμπύλη φορτίου και την καμπύλη ανέμου.



Σχήμα 5.12: Αναδυόμενο παράθυρο σε περίπτωση που δεν γίνει εισαγωγή για κόστη



Σχήμα 5.13: Αναδυόμενο παράθυρο που ενημερώνει τον χρήστη να εισάγει τα δεδομένα για καμπύλη φορτίου και καμπύλη ανέμου

Τα δεδομένα που εισάγονται αφορούν το κόστος αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο μεταφοράς, για κάθε μια από τις 24 ώρες που εξετάζονται. Και σε αυτή την περίπτωση εισαγωγής δεδομένων τονίζεται ότι για την εφαρμογή ο χρήστης θα πρέπει να δίνει τα δεδομένα με τον παρακάτω συγκεκριμένο τρόπο (format).

Στη στήλη A, του πρώτου φύλλου του αρχείου Excel, περιέχονται οι ώρες που πρόκειται να εξεταστούν. Η στήλη B περιέχει το κόστος αγοράς της ηλεκτρικής ενέργειας από το ανάντη δίκτυο την αντίστοιχη ώρα σε €/MWh.

### 5.3.3.3 Εισαγωγή Δεδομένων για Καμπύλη Φορτίου και Καμπύλη Ανέμου

Πατώντας το κουμπί “Load - Wind Profile” ανοίγει ένα παράθυρο διαλόγου (Σχήμα 5.8), μέσα από το οποίο ο χρήστης έχει τη δυνατότητα εισαγωγής των δεδομένων σχετικά με την πρόβλεψη ζήτησης φορτίου και την πρόβλεψη της ταχύτητας ανέμου (καμπύλη φορτίου και καμπύλη ανέμου) από ένα αρχείο Excel (\*.xls) που ήδη υπάρχει.

Όπως και στην εισαγωγή των δεδομένων του δικτύου, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να πατήσει “Cancel” ή να επιλέξει κάποιο αρχείο Excel και μετά “Open”. Αν ο χρήστης επιλέξει “Cancel” εμφανίζεται ένα αναδυόμενο παράθυρο (pop up window) που τον ρωτάει αν θέλει να επιλέξει κάποιο αρχείο Excel. Αν επιλέξει πάλι “Cancel” (Σχήμα 5.14), τότε δε γίνεται τίποτα και επιστρέφει στο αρχικό παράθυρο (Σχήμα 5.7). Αν ο χρήστης επιλέξει κάποιο αρχείο με τα δεδομένα του δικτύου και πατήσει “Open”, τότε διαβάζεται το συγκεκριμένο αρχείο και στη συνέχεια ανοίγει ένα αναδυόμενο παράθυρο, με το οποίο

ενημερώνεται ο χρήστης να περιμένει έως ότου φορτωθούν τα δεδομένα (Σχήμα 5.10). Αφού ολοκληρωθεί η διαδικασία εισαγωγής των δεδομένων εμφανίζεται πάλι αναδυόμενο παράθυρο που ενημερώνει το χρήστη για την ολοκλήρωση της διαδικασίας καθώς επίσης τον ενημερώνει να επιλέξει το αντίστοιχο check box για να ενεργοποιήσει το αντίστοιχο panel, αν θέλει να αλλάξει κάποια από τις προκαθορισμένες (default) τιμές για τις παραμέτρους του ΓΑ, τα τεχνικά χαρακτηριστικά των ΜΔΠ και να επιλέξει κάποιο άλλο από το ήδη επιλεγμένο σενάριο του προβλήματος βελτιστοποίησης (Σχήμα 5.15).



**Σχήμα 5.14:** Αναδυόμενο παράθυρο σε περίπτωση που δεν γίνει εισαγωγή για καμπύλη φορτίου και καμπύλη ανέμου



**Σχήμα 5.15:** Αναδυόμενο παράθυρο που ενημερώνει τον χρήστη για το επόμενο βήμα μετά την εισαγωγή των απαραίτητων δεδομένων

Τα δεδομένα που εισάγονται αφορούν την πρόβλεψη ημερήσιας καμπύλης που ακολουθούν τα φορτία του δικτύου καθώς επίσης και την πρόβλεψη ημερήσιας καμπύλης ταχύτητας ανέμου, από την οποία προκύπτει και η πρόβλεψη αιολικής παραγωγής. Και σε αυτή την περίπτωση εισαγωγής δεδομένων τονίζεται ότι για την εφαρμογή ο χρήστης θα πρέπει να δίνει τα δεδομένα με τον παρακάτω συγκεκριμένο τρόπο (format).

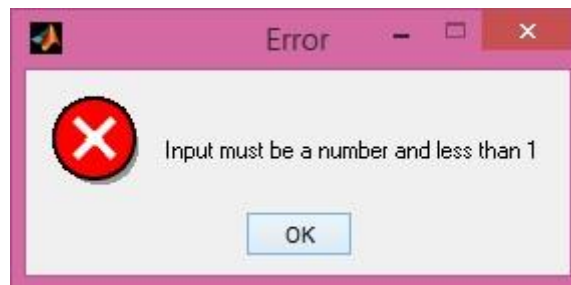
Στο φύλλο του αρχείου Excel, με την ονομασία “Load” περιέχονται προβλεπόμενες (ημερήσιες) καμπύλες φορτίου για κάθε μέρα του έτους. Πιο συγκεκριμένα, στη Στήλη Α αναγράφεται η ημέρα και ο μήνας της εκάστοτε ημερήσιας καμπύλης φορτίου, στη Στήλη Β αναγράφεται η ώρα της αντίστοιχης ημέρας και στη Στήλη C αναγράφεται το ποσοστό επί του μέγιστου φορτίου του δικτύου για κάθε ώρα.

Στο φύλλο του αρχείου Excel, με την ονομασία “Wind” περιέχονται οι προβλεπόμενες (ημερήσιες) καμπύλες ανέμου για κάθε μέρα του έτους. Πιο συγκεκριμένα, στην Στήλη Α αναγράφεται η ημέρα και ο μήνας της εκάστοτε ημερήσιας καμπύλης ανέμου,

στη Στήλη B αναγράφεται η ώρα της αντίστοιχης ημέρας και στη Στήλη C αναγράφεται η ταχύτητα του ανέμου σε m/sec για κάθε ώρα.

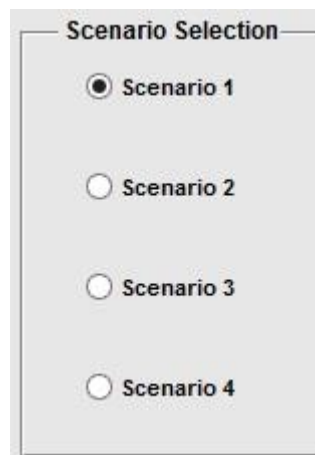
### 5.3.4 Ανάλυση και Επεξεργασία Δεδομένων

Εφόσον έχουν φορτωθεί όλα τα απαραίτητα δεδομένα, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα αλλαγής των προκαθορισμένων μεταβλητών και παραμέτρων που φαίνονται στο γραφικό περιβάλλον της εφαρμογής, δηλαδή αυτές που αναφέρονται στα panels “GA Parameters”, “DG Technical Characteristics” και “Scenario Selection”. Για να ενεργοποιηθούν τα αντίστοιχα edit texts ο χρήστης πρέπει να επιλέξει το αντίστοιχο check box, ένα από αυτά που φαίνονται κάτω από το static text “Edit the default settings”. Σε κάθε edit text επιτρέπεται η εισαγωγή συγκεκριμένων τιμών και σε περίπτωση εσφαλμένης πληκτρολόγησης εμφανίζεται αναδυόμενο παράθυρο σφάλματος με το αντίστοιχο σχετικό μήνυμα (Σχήμα 5.16). Αν δεν αλλάξει τις τιμές αυτές, τότε η εφαρμογή θα εκτελεστεί με τις προκαθορισμένες τιμές.



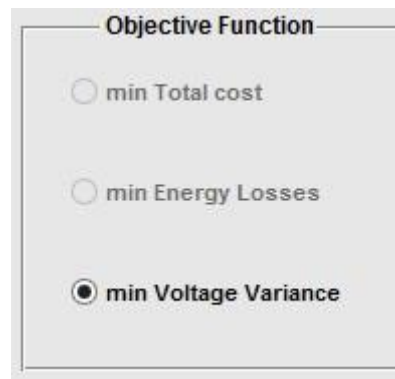
Σχήμα 5.16: Αναδυόμενο παράθυρο ενημέρωσης του χρήστη για πληκτρολόγηση εσφαλμένης τιμής

Όταν ο χρήστης επιλέξει το check box “Scenario Selection” ενεργοποιείται το button group “Scenario Selection” (Σχήμα 5.17) και ταυτόχρονα το button group “Objective Function”. Μόλις ενεργοποιηθεί το button group “Scenario Selection”, ο χρήστης μπορεί να επιλέξει ένα από τα δυνατά σενάρια και μπορεί να πληροφορηθεί για το τι περιλαμβάνει το κάθε σενάριο περνώντας τον κέρσορα από το ποντίκι πάνω από το αντίστοιχο όνομα του σεναρίου.

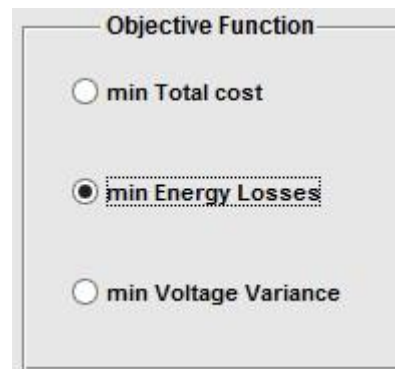


Σχήμα 5.17: Επιλογή σεναρίου

Ανάλογα το σενάριο που θα επιλέξει ο χρήστης, ενεργοποιούνται και αντίστοιχες αντικειμενικές συναρτήσεις. Για τα σενάρια 1 και 2 η μόνη διαθέσιμη αντικειμενική συνάρτηση είναι η ελαχιστοποίηση της διακύμανσης των τάσεων (Σχήμα 5.18), ενώ για τα σενάρια 3 και 4 είναι διαθέσιμες όλες οι αντικειμενικές συναρτήσεις (Σχήμα 5.19), δηλαδή ελαχιστοποίηση ως προς τη διακύμανση των τάσεων (min Voltage Variance), ελαχιστοποίηση ως προς τις απώλειες ενέργειας του δικτύου (min Energy Losses) και ελαχιστοποίηση ως προς το λειτουργικό κόστος του δικτύου (min Total cost). Τέλος, για όλα τα σενάρια είναι προεπιλεγμένη ως αντικειμενική συνάρτηση, αυτή της ελαχιστοποίησης της διασποράς των τάσεων και από τα υποψήφια σενάρια είναι προεπιλεγμένο το σενάριο 1.



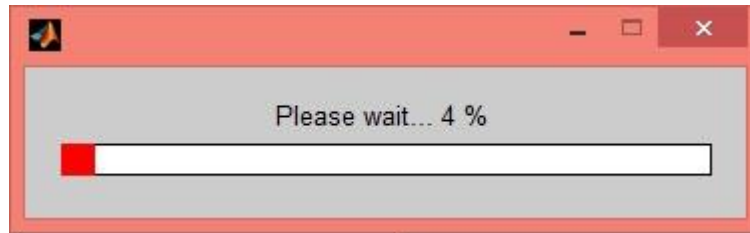
Σχήμα 5.18: Επιλογή αντικειμενικής συνάρτησης σεναρίων 1 και 2



Σχήμα 5.19: Επιλογή αντικειμενικής συνάρτησης σεναρίων 3 και 4

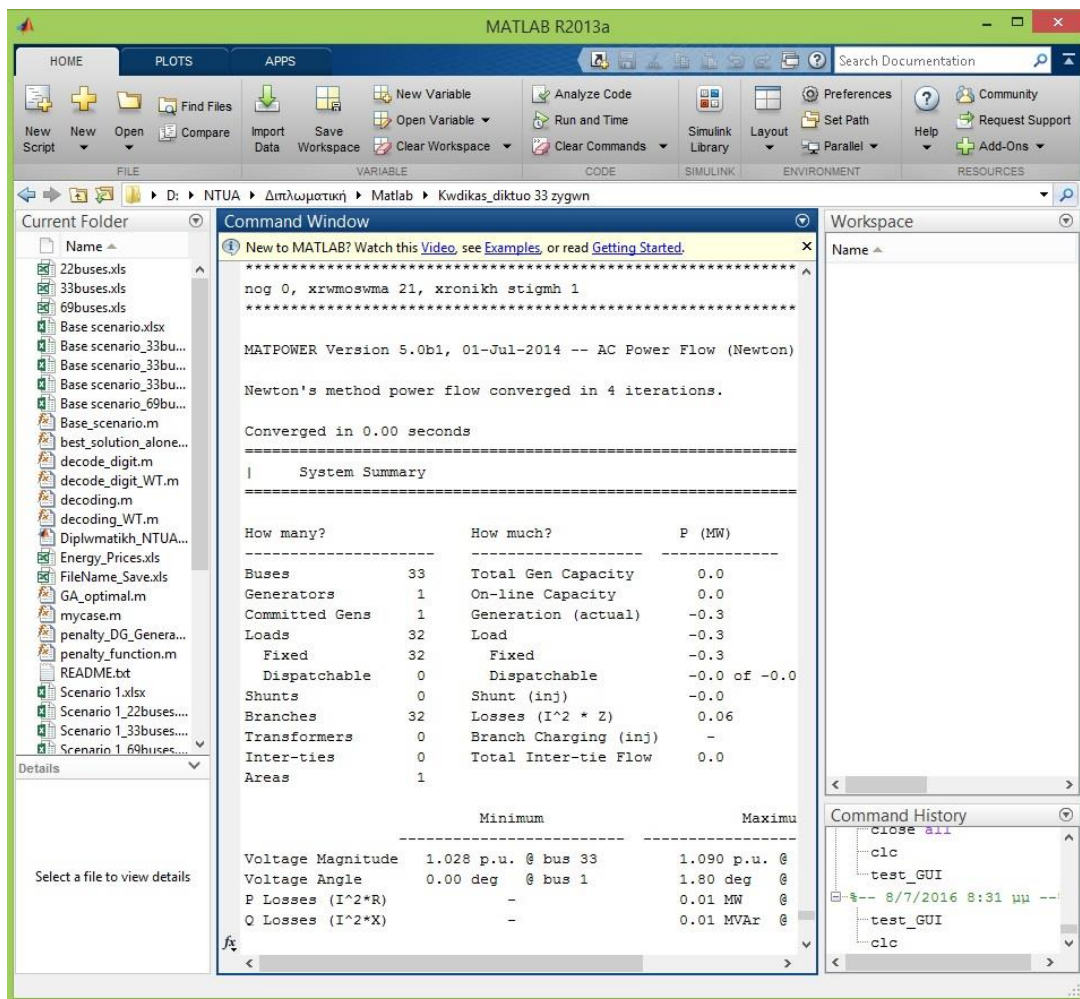
Μετά την εισαγωγή των δεδομένων, είτε ο χρήστης αλλάξει τις προκαθορισμένες τιμές είτε όχι, ενεργοποιείται το κουμπί “RUN GA” για την εκτέλεση της εφαρμογής. Πατώντας το κουμπί “Run GA” ξεκινάει η εκτέλεση της εφαρμογής. Όσο ο γενετικός αλγόριθμος εκτελείται, εμφανίζεται αναδυόμενο παράθυρο που ενημερώνει το χρήστη για την εξέλιξη του γενετικού αλγορίθμου, το οποίο είναι μια μπάρα με το ποσοστό του προγράμματος που έχει εκτελεστεί και τον εκτιμώμενο υπολειπόμενο χρόνο για τον τερματισμό του γενετικού αλγορίθμου (Σχήμα 5.20).





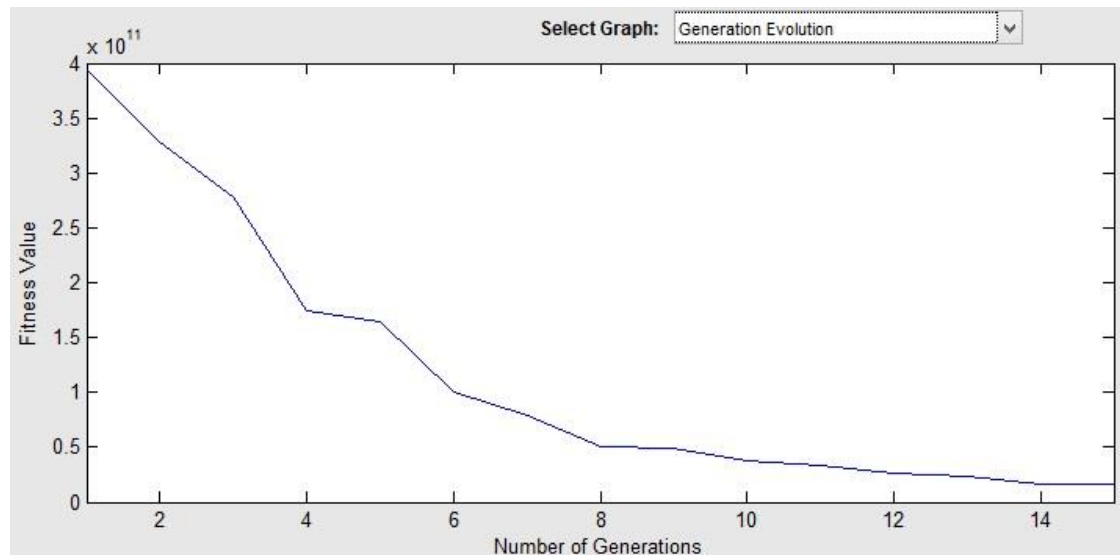
Σχήμα 5.20: Μπάρα ενημέρωσης του χρήστη για την εξέλιξη της επίλυσης του προβλήματος

Επιπλέον κατά την εκτέλεση της εφαρμογής εμφανίζεται αναλυτικά η πορεία της εφαρμογής στο command window του γραφικού περιβάλλοντος του MATLAB (Σχήμα 5.21)



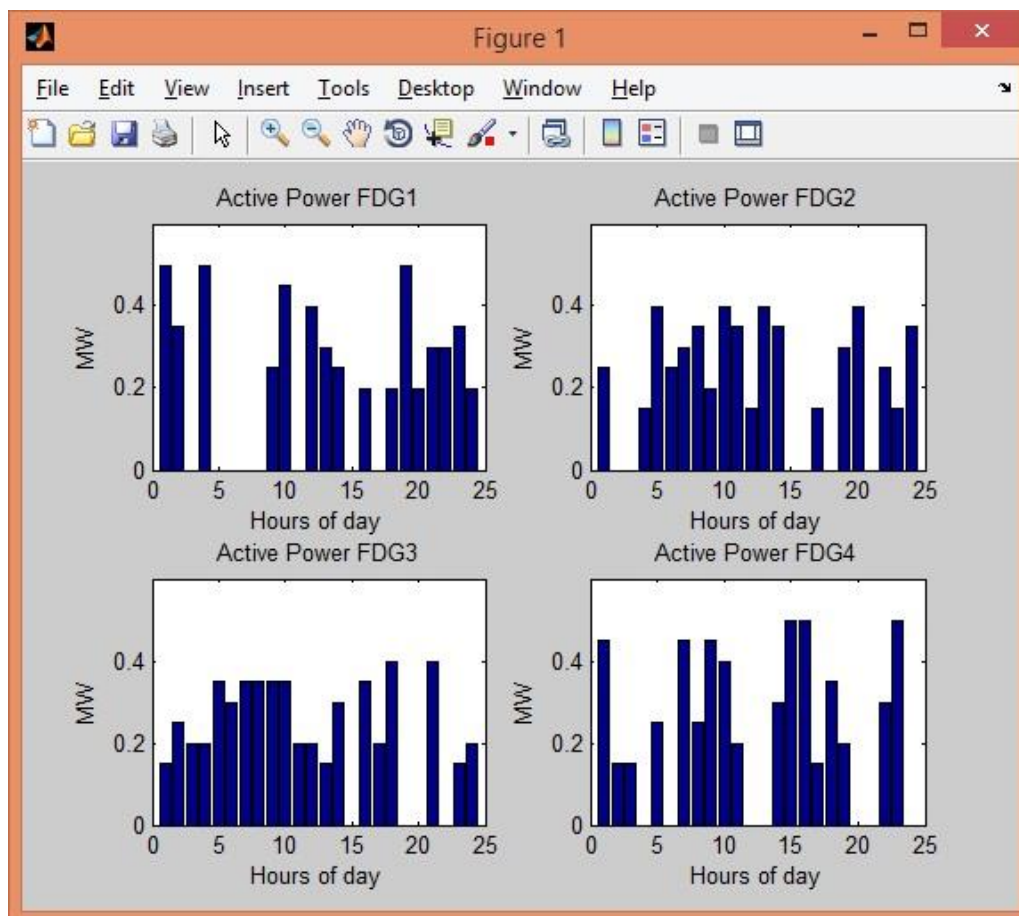
Σχήμα 5.21: Εξέλιξη εφαρμογής στο παράθυρο εντολών του MATLAB

Μετά την ολοκλήρωση της εκτέλεσης του ΓΑ, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα επιλογής μεταξύ 4 γραφικών παραστάσεων. Επιλέγοντας “Generation Evolution” σχεδιάζεται η εξέλιξη της καλύτερης λύσης κάθε γενιάς κατά την εκτέλεση του ΓΑ (Σχήμα 5.22).



Σχήμα 5.22: Τιμή συνάρτησης καταλληλότητας καλύτερης λύσης κάθε γενιάς

Επιλέγοντας “Optimal Active Power of Fuel DG” αν η ενεργός ισχύς των ΜΔΠ καυσίμου αποτελεί μεταβλητή ελέγχου τότε σχεδιάζεται για την καλύτερη λύση σε ένα ξεχωριστό σχήμα για κάθε ΜΔΠ καυσίμου του δικτύου (Σχήμα 5.23), διαφορετικά εμφανίζεται αναδυόμενο παράθυρο που ενημερώνει κατάλληλα τον χρήστη (Σχήμα 5.24).



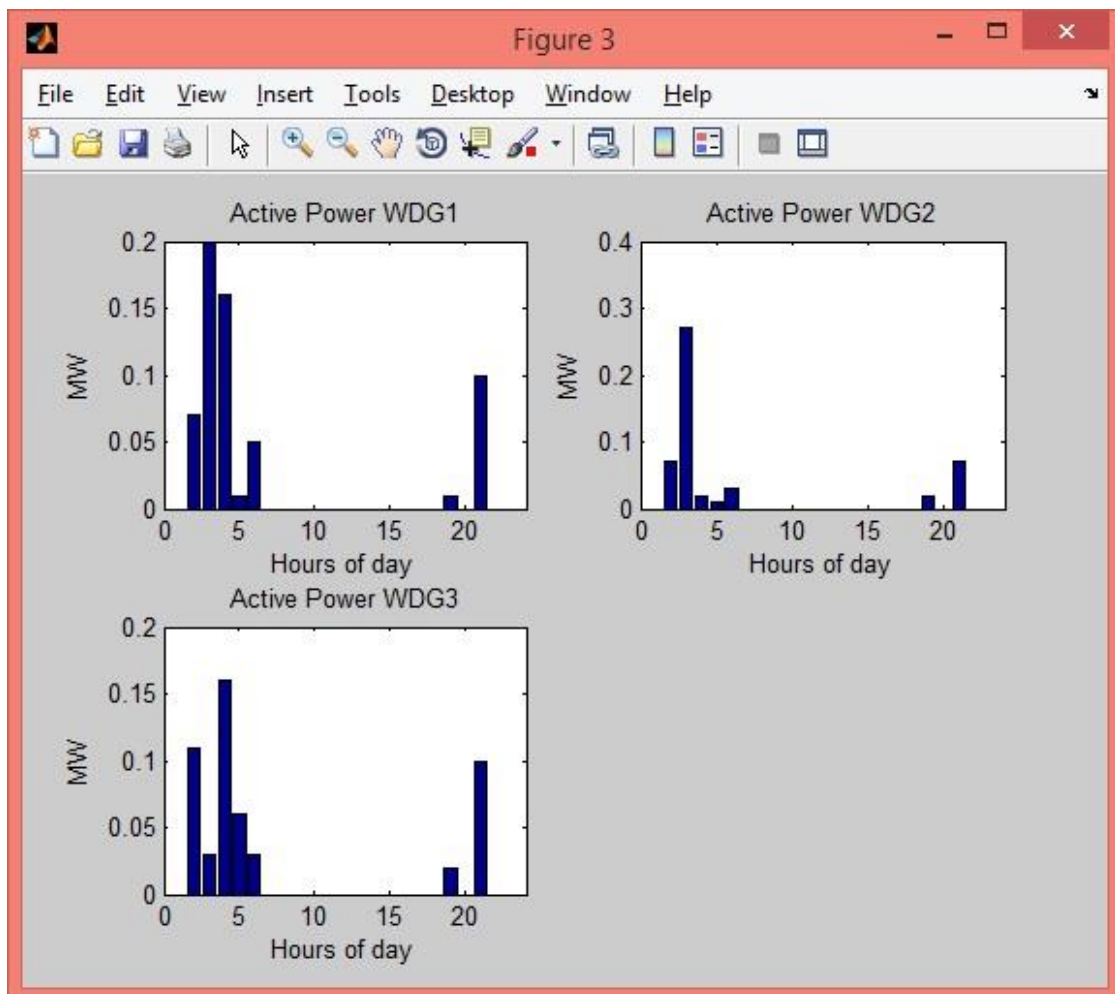
Σχήμα 5.23: Ενεργός ισχύς κάθε ΜΔΠ καυσίμου για την βέλτιστη λύση



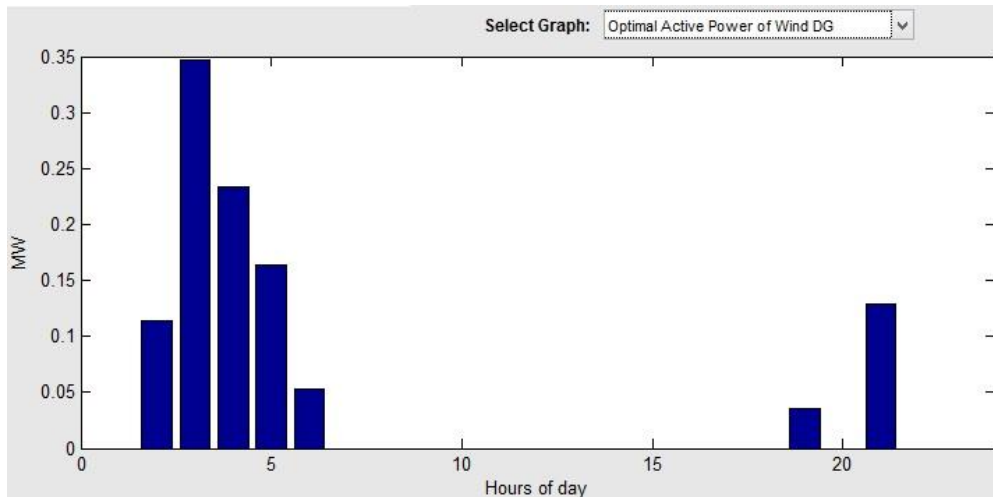


**Σχήμα 5.24:** Αναδυόμενο παράθυρο που ενημερώνει τον χρήστη κατάλληλα για την ενεργό ισχύ των ΜΔΠ καυσίμου, σε περίπτωση που δεν αποτελεί μεταβλητή ελέγχου

Επιλέγοντας “Optimal Active Power of Wind DG” αν η ενεργός ισχύς των ανεμογεννητριών αποτελεί μεταβλητή ελέγχου τότε σχεδιάζεται σε ένα ξεχωριστό σχήμα για κάθε ανεμογεννήτρια για τη βέλτιστη λύση (Σχήμα 5.25). Όμοια σχεδιάζεται και αν δεν αποτελεί μεταβλητή ελέγχου (Σχήμα 5.26) με τη διαφορά ότι εμφανίζεται αναδυόμενο παράθυρο που ενημερώνει τον χρήστη κατάλληλα (Σχήμα 5.27).



**Σχήμα 5.25:** Ενεργός ισχύς κάθε ανεμογεννήτριας για τη βέλτιστη λύση

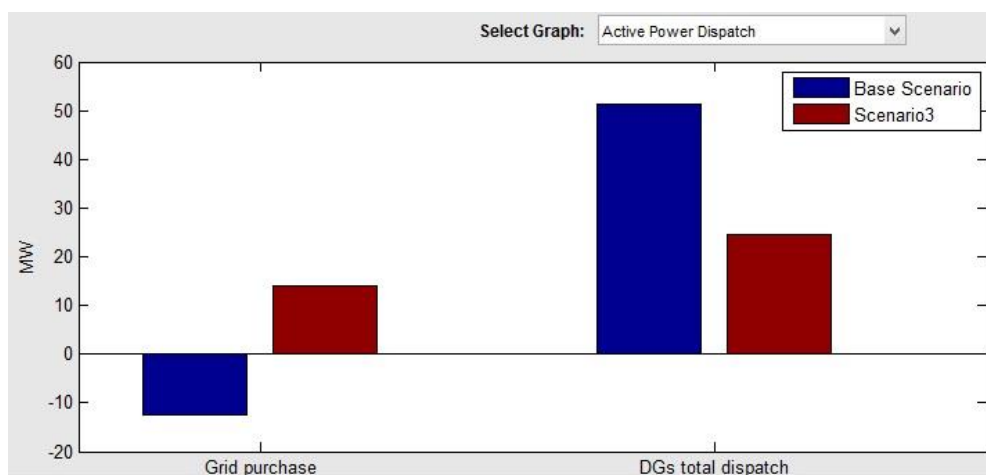


Σχήμα 5.26: Διάγραμμα πραγματικής παραγωγής ενεργού ισχύος από την κάθε ανεμογεννήτρια



Σχήμα 5.27: Αναδυόμενο παράθυρο που ενημερώνει τον χρήστη κατάλληλα για την ενεργό ισχύ των ανεμογεννητριών

Επιλέγοντας “Active Power Dispatch” σχεδιάζεται σε κοινό διάγραμμα η αγορά ενεργού ισχύος από το δίκτυο μεταφοράς καθώς και η παραγωγή ενεργού ισχύος των ΜΔΠ καυσίμου για το βασικό σενάριο, καθώς επίσης σχεδιάζεται αντίστοιχα και η αγορά ενεργού ισχύος από το δίκτυο μεταφοράς καθώς και η παραγωγή ενεργού ισχύος για τις ΜΔΠ (καυσίμου και ανεμογεννητριών) για το σενάριο που έχει επιλέξει ο χρήστης, για την καλύτερη λύση (Σχήμα 5.28).



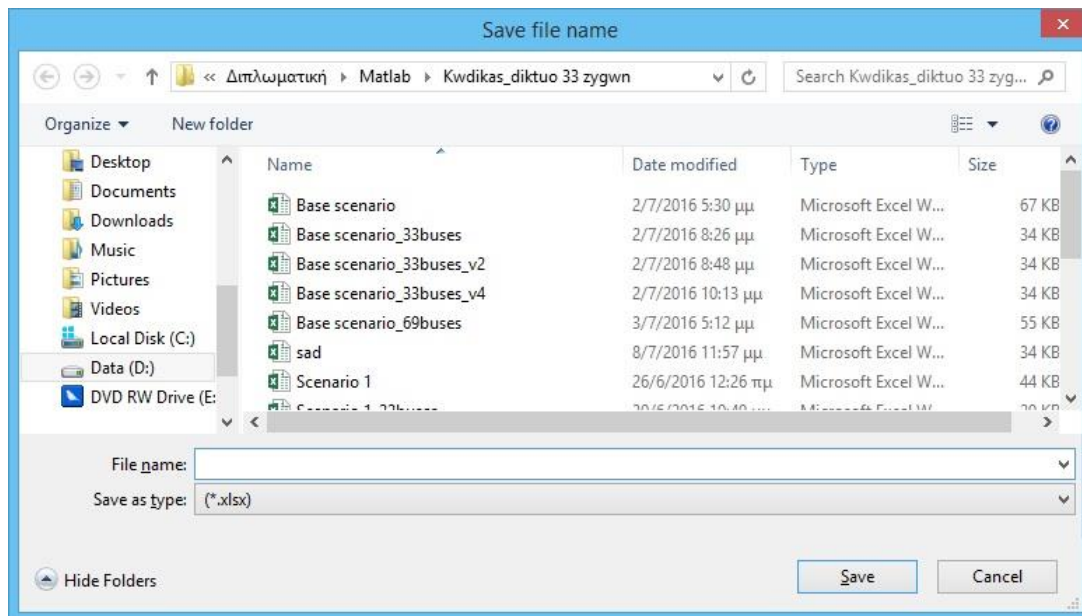
Σχήμα 5.28: Active Power Dispatch

### 5.3.5 Αποθήκευση Αποτελεσμάτων και Έξοδος

Μετά την ολοκλήρωση του ΓΑ, εμφανίζεται αναδυόμενο παράθυρο που ενημερώνει τον χρήστη για αποθήκευση του βασικού σεναρίου (Σχήμα 5.29). Μόλις ο χρήστης επιλέξει το κουμπί “OK” ανοίγει παράθυρο διαλόγου (Σχήμα 5.30), το οποίο ζητάει από τον χρήστη να δώσει ένα δικό του όνομα σε κάποιο αρχείο Excel, στο οποίο θα αποθηκευτούν τα αποτελέσματα του βασικού σεναρίου. Όταν ο χρήστης πατήσει “Save” σε όνομα αρχείου που ήδη υπάρχει, εμφανίζεται μήνυμα αντικατάστασης του ήδη υπάρχοντος αρχείου.



Σχήμα 5.29: Αναδυόμενο παράθυρο για αποθήκευση βασικού σεναρίου



Σχήμα 5.30: Αποθήκευση αποτελεσμάτων σε αρχείο Excel

Στη συνέχεια, εμφανίζεται αναδυόμενο παράθυρο που ενημερώνει τον χρήστη ότι ολοκληρώθηκε ο ΓΑ και μπορεί να αποθηκεύσει τα αποτελέσματα σε αρχείο Excel (Σχήμα 5.31). Παράλληλα ενεργοποιείται και το κουμπί “SAVE” που βρίσκεται κάτω από το “EXIT” ώστε αν θέλει ο χρήστης να αποθηκεύσει τα αποτελέσματα και τις παραμέτρους που χρησιμοποιήθηκαν για την εκτέλεση σε αρχείο Excel. Με το πάτημα του κουμπιού “SAVE” ανοίγει παράθυρο διαλόγου (Σχήμα 5.30) το οποίο ζητά από τον χρήστη να δώσει ένα δικό του όνομα σε κάποιο αρχείο Excel, στο οποίο θα αποθηκευτούν τα αποτελέσματα. Αν το

όνομα αρχείου υπάρχει ήδη, εμφανίζεται μήνυμα αντικατάστασης του ήδη υπάρχοντος αρχείου.



Σχήμα 5.31: Αναδυόμενο παράθυρο που ενημερώνει τον χρήστη για το τέλος του ΓΑ

Το αποθηκευμένο αρχείο Excel αποτελείται από επτά φύλλα, ώστε ο χρήστης να μπορεί να επεξεργαστεί και να μελετήσει καλύτερα τα αποτελέσματα καθώς και να δημιουργήσει διαγράμματα.

Στο πρώτο φύλλο αποθηκεύονται τα αποτελέσματα για την βέλτιστη παραγωγή των ΜΔΠ καυσίμου. Πιο συγκεκριμένα, αποθηκεύονται η ενεργός και η άεργος ισχύς καθώς και η γωνία του συντελεστή ισχύος της κάθε ΜΔΠ καυσίμου.

Στο δεύτερο φύλλο αποθηκεύονται τα αποτελέσματα για την βέλτιστη παραγωγή των ανεμογεννητριών. Πιο συγκεκριμένα, αποθηκεύονται η ενεργός και η άεργος ισχύς καθώς και η γωνία του συντελεστή ισχύος της κάθε ανεμογεννήτριας.

Στο τρίτο φύλλο αποθηκεύονται οι τιμές της συνάρτησης καταλληλότητας του καλύτερου χρωμοσώματος για κάθε γενιά του ΓΑ καθώς και οι τιμές των δυο αντικειμενικών συναρτήσεων που δεν έχουν επιλεγεί για ελαχιστοποίηση.

Στο τέταρτο φύλλο αποθηκεύονται η διακύμανση των τάσεων, οι απώλειες ενέργειας και τα λειτουργικά κόστη κάθε ώρας για το καλύτερο χρωμόσωμα.

Στο πέμπτο φύλλο αποθηκεύονται το ποσό ενέργειας που έχει εισαχθεί από το ανάντη δίκτυο για το καλύτερο χρωμόσωμα, οι τιμές της καμπύλης φορτίου κάθε ώρα για το δίκτυο που εξετάζεται, οι τιμές της ενεργού ισχύος για τις ΜΔΠ καυσίμου για το καλύτερο χρωμόσωμα και οι τιμές της ενεργού ισχύος για τις ανεμογεννήτριες για το καλύτερο χρωμόσωμα.

Στο έκτο φύλλο αποθηκεύονται οι τιμές της διακύμανσης των τάσεων για κάθε κόμβο του δικτύου την κάθε ώρα, για το καλύτερο χρωμόσωμα.

Στο έβδομο φύλλο αποθηκεύονται οι τιμές της διακύμανσης των τάσεων για κάθε ώρα, για κάθε κόμβο, για το καλύτερο χρωμόσωμα.

Τέλος, αφού γίνει η αποθήκευση των αποτελεσμάτων, ο χρήστης μπορεί να επανεκκινήσει την εφαρμογή με το κουμπί "RESET" ή να τερματίσει την εφαρμογή πατώντας το κουμπί "EXIT". Επανεκκίνηση της εφαρμογής και τερματισμός της μπορούν να γίνουν ακόμα και αν ο χρήστης δεν αποθηκεύσει τα αποτελέσματα. Για τον τερματισμό, ο χρήστης πατάει το κουμπί "EXIT" και εμφανίζεται παράθυρο διαλόγου (Σχήμα 5.32) στο οποίο πρέπει να πατήσει "Yes". Σε αντίθετη περίπτωση, που επιλέξει "No", γίνεται επιστροφή στο παράθυρο της εφαρμογής.



Σχήμα 5.32: Έξοδος από την εφαρμογή

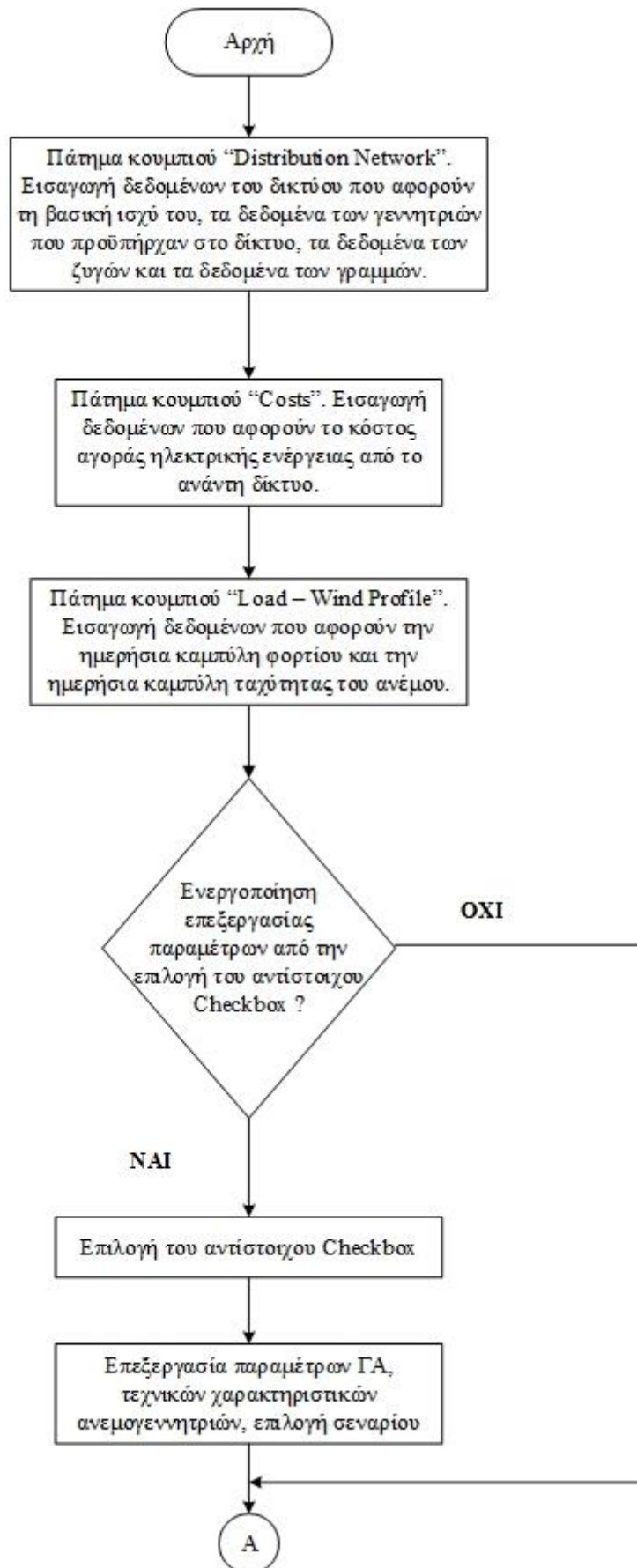
### 5.3.6 Ανάλυση m-files και Δομής της Εφαρμογής

Η εφαρμογή που υλοποιήθηκε αποτελείται από 1 fig-αρχείο και 14 m-files. Επιπλέον, προκειμένου να εκτελεστεί η εφαρμογή θα πρέπει να είναι δηλωμένος στο direction path του MATLAB ο φάκελος του MATPOWER [36], οι συναρτήσεις του οποίου χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των ροών φορτίου. Τα m-files που χρησιμοποιήθηκαν περιγράφονται στον Πίνακα 5.2.

**Πίνακας 5.2:** Περιγραφή m-files του λογισμικού για τον βέλτιστο ημερήσιο προγραμματισμό έξυπνου ΔΔΗΕ

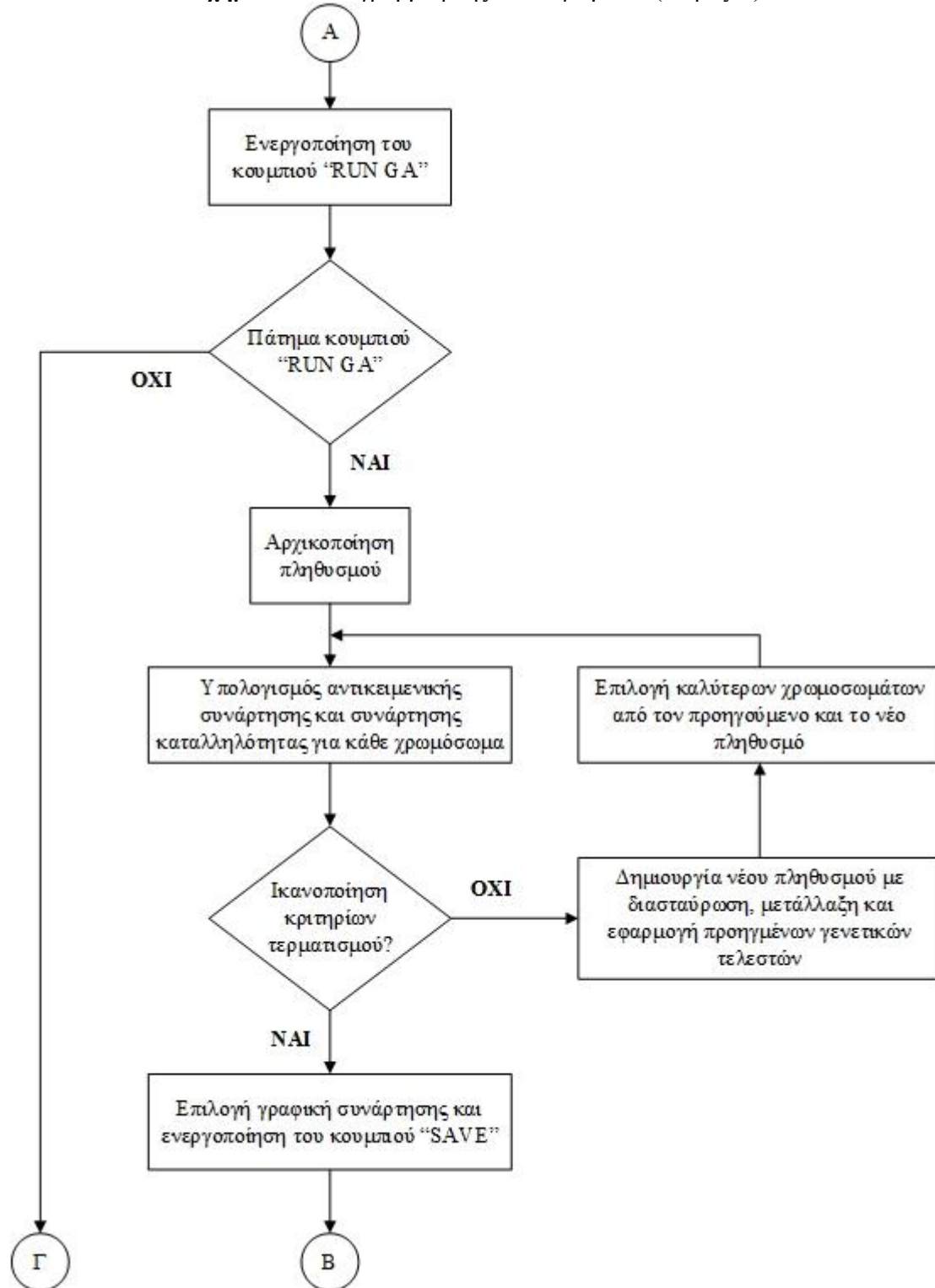
Αρχείο m-file	Περιγραφή λειτουργίας
DA_Optimal_Scheduling.m	Το αντίστοιχο αρχείο του DA_Optimal_Scheduling.fig. Στο αρχείο αυτό, υπάρχει ο κώδικας που ενσωματώθηκε στα στοιχεία ελέγχου του GUI της εφαρμογής, ώστε αυτά να εκτελούν τις επιθυμητές λειτουργίες και να είναι λειτουργικό το γραφικό περιβάλλον.
GA_optimal.m	Εκτελεί το γενετικό αλγόριθμο.
Base_scenario.m	Εκτελεί το βασικό σενάριο, σύμφωνα με το οποίο το δίκτυο λειτουργεί παθητικά, χωρίς να γίνεται έλεγχος των επιμέρους στοιχείων του δικτύου.
best_solution_alone.m	Εκτελεί ροή φορτίου για τη βέλτιστη λύση, η οποία προκύπτει μετά την εκτέλεση του γενετικού αλγόριθμου.
decode_digit.m	Αποκωδικοποιεί το νέο ψηφίο που λαμβάνει ακέραια τιμή, κατά το Mutation του πίνακα χρωμοσωμάτων των ΜΔΠ κασιμίμου.
decode_digit_WT.m	Αποκωδικοποιεί το νέο ψηφίο που λαμβάνει ακέραια τιμή, κατά το Mutation του πίνακα χρωμοσωμάτων των ανεμογεννητριών.
decoding.m	Αποκωδικοποιεί τις ακέραιες τιμές που παίρνουν τα γονίδια του πίνακα των κωδικοποιημένων χρωμοσωμάτων για τις ΜΔΠ κασιμίμου.
decoding_WT.m	Αποκωδικοποιεί τις ακέραιες τιμές που παίρνουν τα γονίδια του πίνακα των κωδικοποιημένων χρωμοσωμάτων για τις ανεμογεννήτριες.
mycase.m	Αποθηκεύει σε μια δομή τα δεδομένα του αρχείου Excel, σύμφωνα με τον τρόπο που τα αναγνωρίζει το Matpower.
penalty_DG_Generation.m	Υπολογίζει την ποινή σε περίπτωση παραβίασης του μέγιστου ορίου της φαινόμενης ισχύος της κάθε ΜΔΠ κασιμίμου.
penalty_function.m	Υπολογίζει την ποινή σε περίπτωση παραβίασης των ορίων της τάσης στον κάθε κόμβο, για το πρόβλημα βελτιστοποίησης.
Wind_Turbine.m	Υπολογίζει την ισχύ εξόδου της ανεμογεννήτριας συναρτήσει της ταχύτητας του ανέμου και της εγκατεστημένης ισχύος.
write_in_excel.m	Καταγράφει τα αποτελέσματα του γενετικού αλγορίθμου σε αρχείο Excel.
xls2case.m	Καλεί τη συνάρτηση mycase.m, αποθηκεύοντας το αρχείο Excel στη μορφή που αναγνωρίζει το Matpower.

Στο Σχήμα 5.33 παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής με το οποίο επεξηγείται η χρήση της εφαρμογής με το πάτημα των διαφόρων κουμπιών του γραφικού περιβάλλοντος:



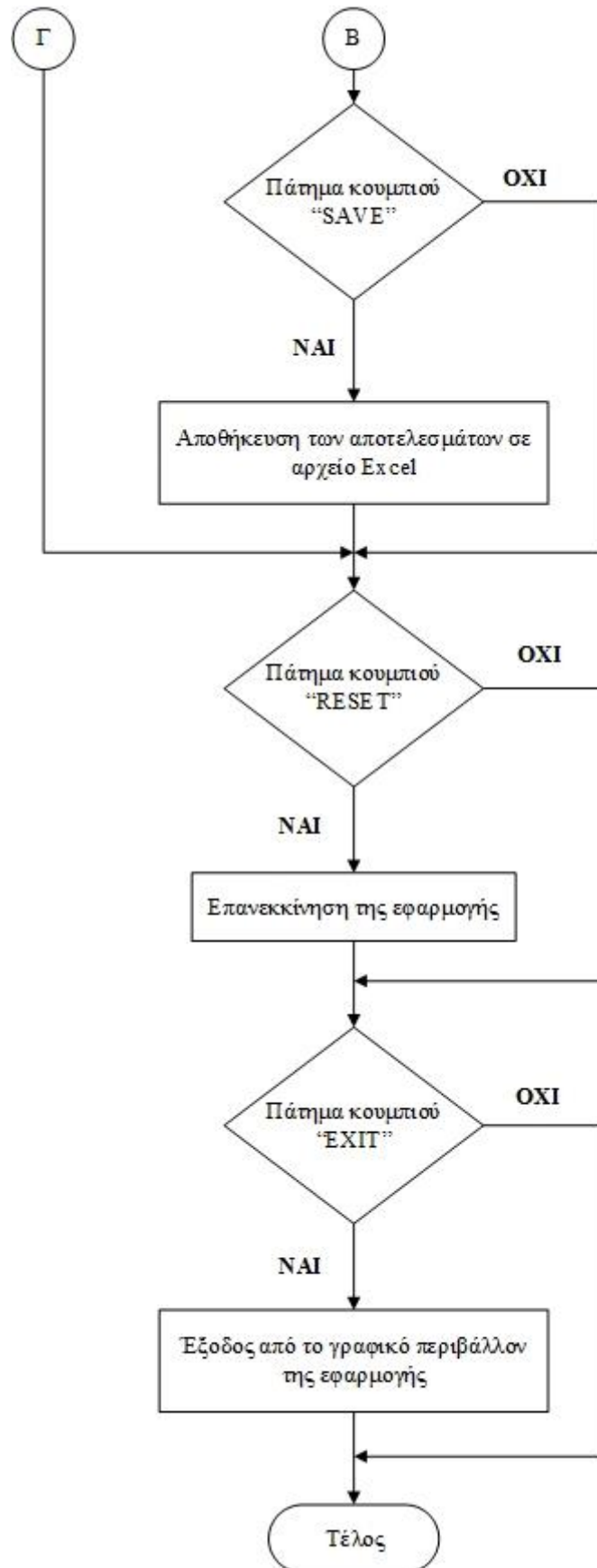


Σχήμα 5.33: Διάγραμμα ροής του λογισμικού (Μέρος Α)



Σχήμα 5.33: Διάγραμμα ροής του λογισμικού (Μέρος Β)





Σχήμα 5.33: Διάγραμμα ροής του λογισμικού (Μέρος Γ)



## ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΩΝ - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

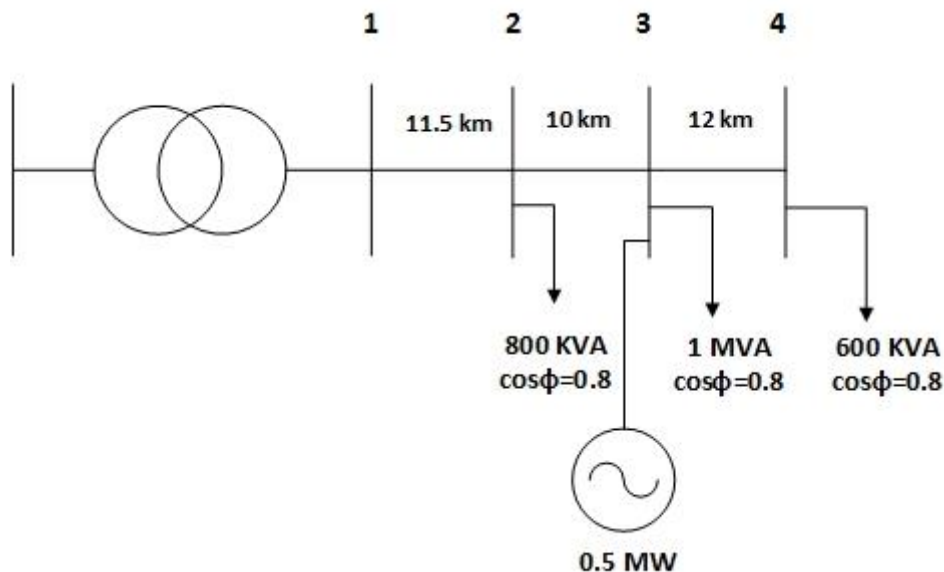
### 6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται εφαρμογές του λογισμικού, που αναπτύχθηκε και περιγράφηκε στο Κεφάλαιο 5, για διάφορα ακτινικά δίκτυα. Αρχικά παρουσιάζεται ένα αναλυτικό αριθμητικό παράδειγμα, σε μικρό δίκτυο 4 ζυγών, για την επεξήγηση και κατανόηση της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε και παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο 4. Έπειτα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν κατά την εκτέλεση του λογισμικού σε ακτινικά δίκτυα των 33 ζυγών και 69 ζυγών για διάφορα σενάρια.

### 6.2 ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

#### 6.2.1 Διατύπωση Προβλήματος και Δεδομένα Συστήματος

Έστω δίκτυο διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας 4 ζυγών και 3 γραμμών, όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.1. Στο ζυγό 1 βρίσκεται υποσταθμός ΥΤ/ΜΤ και για το λόγο αυτό θεωρείται ζυγός ταλάντωσης (slack bus) (σε αυτό το ζυγό δεν μπορεί να συνδεθεί Μονάδα Διανεμημένης Παραγωγής). Οι υπόλοιποι ζυγοί του συστήματος είναι ζυγοί φορτίου (PQ) και τα δεδομένα του δικτύου φαίνονται στον παρακάτω Πίνακα 6.1. Βασική ισχύς  $S_{BASE} = 1\text{MVA}$  και βασική τάση  $V_{BASE} = 20\text{kV}$ . Επίσης στο ζυγό 3 συνδέεται ΜΔΠ καυσίμου ονομαστικής ισχύος 0.5 MW. Στο συγκεκριμένο αριθμητικό παράδειγμα δε λαμβάνεται υπόψη η λειτουργία διανεμημένης παραγωγής από ΑΠΕ, χάριν απλουστεύσεως και ευκολότερης κατανόησης της μεθοδολογίας επίλυσης.



Σχήμα 6.1: Μονογραμμικό ισοδύναμο δικτύου 4 ζυγών

Η βασική αντίσταση της γραμμής διανομής είναι :

$$Z_{BASE} = \frac{V_B^2}{S_B} = \frac{(20 \text{ kV})^2}{1 \text{ MVA}} = 400 \Omega \quad (6.1)$$

Οι γραμμές έχουν σύνθετη αντίσταση  $Z_o = (0.22 + j0.36) \Omega/\text{km}$ . Επομένως με γνωστά τα χιλιόμετρα των γραμμών και τα φορτία των ζυγών, όπως φαίνονται στο Σχήμα 6.1, προκύπτει ο Πίνακας 6.1.

**Πίνακας 6.1:** Δεδομένα δικτύου 4 ζυγών

Γραμμή	Ζυγός αναχώρησης	Ζυγός άφιξης	R (α.μ.)	X (α.μ.)	P ζυγού άφιξης (α.μ.)	Q ζυγού άφιξης (α.μ.)
1	1	2	0.06325	0.1035	0.64	0.48
2	2	3	0.055	0.09	0.8	0.6
3	3	4	0.066	0.108	0.48	0.36
Σύνολο					1.92	1.44

Ζητείται να βρεθεί ο βέλτιστος ημερήσιος προγραμματισμός της λειτουργίας του έξυπνου ΔΔΗΕ, έτσι ώστε ελαχιστοποιηθούν οι συνολικές απώλειες ενέργειας του συγκεκριμένου δικτύου. Ως μεταβλητές ελέγχου του προβλήματος ορίζονται η τάση στο ΣΑΤΥΦ, η ενεργός ισχύς και ο συντελεστής ισχύος της ΜΔΠ καυσίμου. Ως αντικειμενική συνάρτηση του προβλήματος λαμβάνεται η ελαχιστοποίηση των συνολικών απωλειών ενέργειας του δικτύου.

Οι περιορισμοί του τίθενται στο δίκτυο είναι το μέτρο της τάσης κάθε ζυγού να μην υπερβαίνει τα προκαθορισμένα όρια  $\pm 5\%$  της ονομαστικής τιμής τάσης του ζυγού και η συνολική παραγόμενη ενεργός ισχύς της γεννήτριας να μην υπερβαίνει τα 0.5 MW.

$$V_{\min} = 0.95 \text{ α.μ.} \quad (6.2)$$

$$V_{\max} = 1.05 \text{ α.μ.} \quad (6.3)$$

$$S_{G \max} = 0.625 \text{ MVA} \quad (6.4)$$

Το διάνυσμα απόφασης και κατά επέκταση η δομή του χρωμοσώματος του ΓΑ, που θα χρησιμοποιηθεί για την εύρεση της βέλτιστης λύσης θα είναι:

$$X = [V_{ss}, P_{FDG}, \cos \varphi_{FDG}] \quad (6.5)$$

## 6.2.2 Εξισώσεις Ροής Φορτίου του συστήματος

Ο πίνακας αγωγιμοτήτων ζυγών είναι:

$$Y = \begin{bmatrix} \frac{1}{R_{12} + jX_{12}} & -\frac{1}{R_{12} + jX_{12}} & 0 & 0 \\ -\frac{1}{R_{12} + jX_{12}} & \frac{1}{R_{12} + jX_{12}} + \frac{1}{R_{23} + jX_{23}} & -\frac{1}{R_{23} + jX_{23}} & 0 \\ 0 & -\frac{1}{R_{23} + jX_{23}} & \frac{1}{R_{23} + jX_{23}} + \frac{1}{R_{34} + jX_{34}} & -\frac{1}{R_{34} + jX_{34}} \\ 0 & 0 & -\frac{1}{R_{34} + jX_{34}} & \frac{1}{R_{34} + jX_{34}} \end{bmatrix} \quad (6.6)$$

Αντικαθιστώντας στην (6.6) τις τιμές των  $R_{ij}$  και  $X_{ij}$  από τον Πίνακα 6.1 προκύπτει (α.μ.):

$$Y = [G] + [B] = \begin{bmatrix} 42.99 - j70.35 & -42.99 + j70.35 & 0 & 0 \\ -42.99 + j70.35 & 92.43 - j151.25 & -49.44 + j80.90 & 0 \\ 0 & -49.44 + j80.90 & 90.64 - j148.31 & -41.20 + j67.42 \\ 0 & 0 & -41.20 + j67.42 & 41.20 - j67.42 \end{bmatrix} \quad (6.7)$$

Επομένως οι πίνακες  $G$  και  $B$  από την (6.7) θα είναι:

$$G = \begin{bmatrix} 42.99 & -42.99 & 0 & 0 \\ -42.99 & 92.43 & -49.44 & 0 \\ 0 & -49.44 & 90.64 & -41.20 \\ 0 & 0 & -41.20 & 41.20 \end{bmatrix} \quad (6.8)$$

$$B = \begin{bmatrix} -70.35 & 70.35 & 0 & 0 \\ 70.35 & -151.25 & 80.90 & 0 \\ 0 & 80.90 & -148.31 & 67.42 \\ 0 & 0 & 67.42 & -67.42 \end{bmatrix} \quad (6.9)$$

Οι εξισώσεις ενεργού και αέργου ισχύος της ροής φορτίου στο ζυγό  $i$  είναι:

$$P_{Gi}(t) + P_{Li}(t) - V_i^2(t)G_{kk} - V_i(t) \sum_{k \in A(i)} V_k(t)(G_{ik} \cos \delta_{ik}(t) + B_{ik} \sin \delta_{ik}(t)) = 0 \quad (6.10)$$

$$Q_{Gi}(t) + Q_{Li}(t) - V_i^2(t)B_{kk} - V_i(t) \sum_{k \in A(i)} V_k(t)(G_{ik} \sin \delta_{ik}(t) - B_{ik} \cos \delta_{ik}(t)) = 0 \quad (6.11)$$

όπου:

- $P_{Gi}(t)$  η συνολική παραγόμενη ενεργός ισχύς στον κόμβο  $i$ , τη χρονική στιγμή  $t$
- $Q_{Gi}(t)$  η συνολική παραγόμενη άεργος ισχύς στον κόμβο  $i$ , τη χρονική στιγμή  $t$
- $P_{Li}(t)$  η συνολική καταναλισκόμενη ενεργός ισχύς από το φορτίο στον κόμβο  $i$ , τη χρονική στιγμή  $t$

$Q_{Li}(t)$	η συνολική καταναλισκόμενη άεργος ισχύς από το φορτίο στον κόμβο $i$ , τη χρονική στιγμή $t$
$V_i(t)$	η τάση στον κόμβο $i$ , τη χρονική στιγμή $t$
$V_k(t)$	η τάση στον κόμβο $k$ , τη χρονική στιγμή $t$
$\delta_{ik}(t)$	η γωνία της τάσης μεταξύ των κόμβων $i$ και $k$ , τη χρονική στιγμή $t$

### 6.2.3 Επίλυση με Γενετικό Αλγόριθμο

#### 6.2.3.1 Δεδομένα Γενετικού Αλγορίθμου

Στη γενική περίπτωση του βέλτιστου ημερήσιου προγραμματισμού, γίνεται πρόβλεψη για 24 ώρες. Στο συγκεκριμένο αριθμητικό παράδειγμα για χάριν ευκολίας θα γίνει πρόβλεψη για 4 ώρες. Αντίστοιχα βέβαια ο αλγόριθμος λειτουργεί και για 24 ώρες.

Θεωρείται λοιπόν, πως κάθε γενιά του ΓΑ αποτελείται από έναν πληθυσμό 10 χρωμοσωμάτων και κάθε χρωμόσωμα από 12 γονίδια (3 μεταβλητές απόφασης x 4 ώρες). Κάθε γονίδιο μπορεί να πάρει τιμές από 1 έως 10 (που έχει οριστεί ως το μέγιστο επίπεδο του Ακέραιου ΓΑ). Το ποσοστό του πληθυσμού που επιζεί είναι 40%. Ο ΓΑ τερματίζει είτε όταν ο αριθμός των γενεών ξεπεράσει τις 105 είτε όταν δεν έχει βρεθεί καλύτερο χρωμόσωμα για 30 γενιές.

**Πίνακας 6.2:** Δεδομένα Γενετικού Αλγορίθμου

Μέγεθος Πληθυσμού	10
Αριθμός Γονιδίων Χρωμοσώματος	12
Ποσοστό Πληθυσμού προς Διασταύρωση	40%
Μέγιστος Αριθμός Γενεών	105
Αριθμός συνεχόμενων γενεών που δεν έχει παρουσιαστεί καλύτερο χρωμόσωμα	30

#### 6.2.3.2 Αρχικοποίηση Πληθυσμού

Σε αυτό το πρώτο βήμα του ΓΑ δημιουργείται ο αρχικός πληθυσμός. Δημιουργείται τυχαία με τη διαδικασία που περιγράφηκε στην Ενότητα 4.3.1.2. Έστω ότι μετά από αυτή τη διαδικασία, προκύπτει ο αρχικός πληθυσμός του Πίνακα 6.3. Στον Πίνακα 6.3 φαίνονται τα χρωμοσώματα με τα αντίστοιχα γονίδια τους κωδικοποιημένα, αλλά και αποκωδικοποιημένα. Η διαδικασία αποκωδικοποίησης αναλύεται παρακάτω στην Ενότητα 6.2.3.3.

Στη συνέχεια, εφαρμόζονται οι περιορισμοί που έχουν τεθεί για τη ΜΔΠ καυσίμου. Σύμφωνα με τους περιορισμούς, η ΜΔΠ καυσίμου δεν μπορεί να λειτουργεί κάτω από το 25% της ονομαστικής ενεργού ισχύος. Επομένως, όταν τα γονίδια του αρχικού πληθυσμού που αφορούν την ενεργό ισχύ λάβουν τιμές μικρότερες των 0.125 MW αυτομάτως μηδενίζονται, αφού η ΜΔΠ τίθεται εκτός λειτουργίας. Οπότε προκύπτει ο Πίνακας 6.4.

Από την τελευταία στήλη του Πίνακα 6.4 προκύπτει ότι όσα χρωμοσώματα έχουν παραβιάσει τους περιορισμούς έχουν επιβαρυνθεί με μια ποινή (μεγάλο αριθμό) ώστε να μην επιλεγθούν για διασταύρωση. Κατατάσσεται, λοιπόν, ο αρχικός πληθυσμός κατά αύξουσα τιμή της συνάρτησης καταλληλότητας, οπότε προκύπτει ο Πίνακας 6.5.

Πίνακας 6.3: Αρχικός Πληθυσμός

α/α Χρωμο- σώματος	Γονίδια Χρωμοσώματος Κωδικοποιημένα	Γονίδια Χρωμοσώματος Αποκωδικοποιημένα (φαινότυπος)	Τιμή αντικειμενικής συνάρτησης (MWh)	Τιμή συνάρτησης καταλληλό- τητας
1	[10,9,5,9,2,4,10,10,8,7,4,10]	[1.05, 1.04, 1.00, 1.04, 0.10, 0.20, 0.50, 0.50, 15.50, 10.33, -5.17, 25.84]	0.0802	1.2636 x 10 <sup>16</sup>
2	[2,8,7,9,4,8,9,4,6,10,6,4]	[0.97, 1.03, 1.02, 1.04, 0.20, 0.40, 0.45, 0.20, 5.16, 25.84, 5.16, -5.17]	0.0799	4.2748 x 10 <sup>8</sup>
3	[7,4,8,5,5,7,10,4,9,8,10,1]	[1.02, 0.99, 1.03, 1, 0.25, 0.35, 0.50, 0.20, 20.67, 15.50, 25.84, -20.68]	0.0769	1.2636 x 10 <sup>16</sup>
4	[4,7,3,3,8,7,6,7,1,4,5,3]	[0.99, 1.02, 0.98, 0.98, 0.4, 0.35, 0.30, 0.35, -20.68, -5.17, 0, -10.34]	0.0962	2.7580 x 10 <sup>7</sup>
5	[8,9,3,8,2,9,2,6,4,9,6,5]	[1.03, 1.04, 0.98, 1.03, 0.10, 0.45, 0.10, 0.30, -5.17, 20.67, 5.16, 0]	0.0871	6.1522 x 10 <sup>7</sup>
6	[9,4,5,10,1,10,2,7,6,7,4,7]	[1.04, 0.99, 1.00, 1.05, 0.05, 0.50, 0.10, 0.35, 5.16, 10.33, -5.17, 10.33]	0.0863	0.0863
7	[9,1,1,10,7,3,5,2,3,3,4,2]	[1.04, 0.96, 0.96, 1.05, 0.35, 0.15, 0.25, 0.10, -10.34, -10.34, -5.17, -15.51]	0.0967	2.5688 x 10 <sup>9</sup>
8	[4,2,9,1,10,4,1,4,8,8,6,7]	[0.99, 0.97, 1.04, 0.96, 0.50, 0.20, 0.05, 0.20, 15.50, 15.50, 5.16, 10.33]	0.0867	1.3514 x 10 <sup>9</sup>
9	[9,1,4,1,2,8,8,9,6,1,10,9]	[1.04, 0.96, 0.99, 0.96, 0.10, 0.40, 0.40, 0.45, 5.16, -20.68, 25.84, 20.67]	0.0873	1.8823 x 10 <sup>9</sup>
10	[3,6,10,8,9,5,5,6,3,8,6,7]	[0.98, 1.01, 1.05, 1.03, 0.45, 0.25, 0.25, 0.30, -10.34, 15.50, 5.16, 10,33]	0.0834	3.2789 x 10 <sup>7</sup>

Πίνακας 6.4: Αρχικός Πληθυσμός μετά την εφαρμογή των περιορισμών των ΜΔΠ καυσίμου

α/α Χρωμοσώματος	Γονίδια Χρωμοσώματος Κωδικοποιημένα	Γονίδια Χρωμοσώματος Αποκωδικοποιημένα (φαινότυπος)	Τιμή αντικειμενικής συνάρτησης (MWh)	Τιμή συνάρτησης καταλληλότητας
1	[10,9,5,9,2,4,10,10,8,7,4,10]	[1.05, 1.04, 1.00, 1.04, 0, 0.20, 0.50, 0.50, 15.50, 10.33, -5.17, 25.84]	0.0802	$1.2636 \times 10^{16}$
2	[2,8,7,9,4,8,9,4,6,10,6,4]	[0.97, 1.03, 1.02, 1.04, 0.20, 0.40, 0.45, 0.20, 5.16, 25.84, 5.16, -5.17]	0.0799	$4.2748 \times 10^8$
3	[7,4,8,5,5,7,10,4,9,8,10,1]	[1.02, 0.99, 1.03, 1, 0.25, 0.35, 0.50, 0.20, 20.67, 15.50, 25.84, -20.68]	0.0769	$1.2636 \times 10^{16}$
4	[4,7,3,3,8,7,6,7,1,4,5,3]	[0.99, 1.02, 0.98, 0.98, 0.4, 0.35, 0.30, 0.35, -20.68, -5.17, 0, -10.34]	0.0962	$2.7580 \times 10^7$
5	[8,9,3,8,2,9,2,6,4,9,6,5]	[1.03, 1.04, 0.98, 1.03, 0, 0.45, 0, 0.30, -5.17, 20.67, 5.16, 0]	0.0871	$6.1522 \times 10^7$
6	[9,4,5,10,1,10,2,7,6,7,4,7]	[1.04, 0.99, 1.00, 1.05, 0, 0.50, 0, 0.35, 5.16, 10.33, -5.17, 10.33]	0.0863	0.0863
7	[9,1,1,10,7,3,5,2,3,3,4,2]	[1.04, 0.96, 0.96, 1.05, 0.35, 0.15, 0.25, 0, -10.34, -10.34, -5.17, -15.51]	0.0967	$2.5688 \times 10^9$
8	[4,2,9,1,10,4,1,4,8,8,6,7]	[0.99, 0.97, 1.04, 0.96, 0.50, 0.20, 0, 0.20, 15.50, 15.50, 5.16, 10.33]	0.0867	$1.3514 \times 10^9$
9	[9,1,4,1,2,8,8,9,6,1,10,9]	[1.04, 0.96, 0.99, 0.96, 0, 0.40, 0.40, 0.45, 5.16, -20.68, 25.84, 20.67]	0.0873	$1.8823 \times 10^9$
10	[3,6,10,8,9,5,5,6,3,8,6,7]	[0.98, 1.01, 1.05, 1.03, 0.45, 0.25, 0.25, 0.30, -10.34, 15.50, 5.16, 10,33]	0.0834	$3.2789 \times 10^7$



Πίνακας 6.5: Ταξινομημένος Αρχικός Πληθυσμός

α/α Χρωμο- σώματος	Γονίδια Χρωμοσώματος Κωδικοποιημένα	Γονίδια Χρωμοσώματος Αποκωδικοποιημένα (φαινότυπος)	Τιμή αντικειμενικής συνάρτησης (MWh)	Τιμή συνάρτησης καταλληλότη- τας
6	[9,4,5,10,1,10,2,7,6,7,4,7]	[1.04, 0.99, 1.00, 1.05, 0, 0.50, 0, 0.35, 5.16, 10.33, -5.17, 10.33]	0.0863	0.0863
4	[4,7,3,3,8,7,6,7,1,4,5,3]	[0.99, 1.02, 0.98, 0.98, 0.4, 0.35, 0.30, 0.35, -20.68, -5.17, 0, -10.34]	0.0962	$2.7580 \times 10^7$
10	[3,6,10,8,9,5,5,6,3,8,6,7]	[0.98, 1.01, 1.05, 1.03, 0.45, 0.25, 0.25, 0.30, -10.34, 15.50, 5.16, 10,33]	0.0834	$3.2789 \times 10^7$
5	[8,9,3,8,2,9,2,6,4,9,6,5]	[1.03, 1.04, 0.98, 1.03, 0, 0.45, 0, 0.30, -5.17, 20.67, 5.16, 0]	0.0871	$6.1522 \times 10^7$
2	[2,8,7,9,4,8,9,4,6,10,6,4]	[0.97, 1.03, 1.02, 1.04, 0.20, 0.40, 0.45, 0.20, 5.16, 25.84, 5.16, -5.17]	0.0799	$4.2748 \times 10^8$
8	[4,2,9,1,10,4,1,4,8,8,6,7]	[0.99, 0.97, 1.04, 0.96, 0.50, 0.20, 0, 0.20, 15.50, 15.50, 5.16, 10.33]	0.0867	$1.3514 \times 10^9$
9	[9,1,4,1,2,8,8,9,6,1,10,9]	[1.04, 0.96, 0.99, 0.96, 0, 0.40, 0.40, 0.45, 5.16, -20.68, 25.84, 20.67]	0.0873	$1.8823 \times 10^9$
7	[9,1,1,10,7,3,5,2,3,3,4,2]	[1.04, 0.96, 0.96, 1.05, 0.35, 0.15, 0.25, 0, -10.34, -10.34, -5.17, -15.51]	0.0967	$2.5688 \times 10^9$
1	[10,9,5,9,2,4,10,10,8,7,4,10]	[1.05, 1.04, 1.00, 1.04, 0, 0.20, 0.50, 0.50, 15.50, 10.33, -5.17, 25.84]	0.0802	$1.2636 \times 10^{16}$
3	[7,4,8,5,5,7,10,4,9,8,10,1]	[1.02, 0.99, 1.03, 1, 0.25, 0.35, 0.50, 0.20, 20.67, 15.50, 25.84, -20.68]	0.0769	$1.2636 \times 10^{16}$

Πίνακας 6.6: Χρωμοσώματα που επιβιώνουν

Νέος α/α Χρωμο- σώματος	Πρώην α/α Χρωμο- σώματος	Γονίδια Χρωμοσώματος Κωδικοποιημένα	Γονίδια Χρωμοσώματος Αποκωδικοποιημένα (φαινότυπος)	Τιμή συνάρτησης καταλληλότητας
1	6	[9,4,5,10,1,10,2,7,6,7,4,7]	[1.04, 0.99, 1.00, 1.05, 0, 0.50, 0, 0.35, 5.16, 10.33, -5.17, 10.33]	0.0863
2	4	[4,7,3,3,8,7,6,7,1,4,5,3]	[0.99, 1.02, 0.98, 0.98, 0.4, 0.35, 0.30, 0.35, -20.68, -5.17, 0, -10.34]	$2.7580 \times 10^7$
3	10	[3,6,10,8,9,5,5,6,3,8,6,7]	[0.98, 1.01, 1.05, 1.03, 0.45, 0.25, 0.25, 0.30, -10.34, 15.50, 5.16, 10,33]	$3.2789 \times 10^7$
4	5	[8,9,3,8,2,9,2,6,4,9,6,5]	[1.03, 1.04, 0.98, 1.03, 0, 0.45, 0, 0.30, -5.17, 20.67, 5.16, 0]	$6.1522 \times 10^7$

### 6.2.3.3 Αποκωδικοποίηση Γονιδίων Χρωμοσώματος

Σε αυτή την ενότητα γίνεται επεξήγηση της αποκωδικοποίησης των γονιδίων του κάθε χρωμοσώματος, στην πραγματική τους τιμή (φαινότυπος). Εφόσον έχει δημιουργηθεί ο αρχικός πληθυσμός, ο οποίος είναι κωδικοποιημένος, στη συνέχεια, κάθε χρωμόσωμα αποκωδικοποιείται με βάση μια συνάρτηση αποκωδικοποίησης που υλοποιήθηκε.

Η πραγματική τιμή του κάθε γονιδίου (φαινότυπος), ανάλογα με το μέγεθος που εκπροσωπεί, προκύπτει από την παρακάτω εξίσωση:

$$realVal = minVal + codeVal \frac{maxVal - minVal}{N_{int}} \quad (6.12)$$

όπου:

<i>realVal</i>	η πραγματική τιμή της μεταβλητής ελέγχου
<i>minVal</i>	η ελάχιστη τιμή της μεταβλητής ελέγχου
<i>codeVal</i>	το κωδικοποιημένο γονίδιο
<i>maxVal</i>	η μέγιστη τιμή της μεταβλητής ελέγχου
<i>N<sub>int</sub></i>	η μέγιστη στάθμη του ακέραιου ΓΑ

Έστω ότι είναι επιθυμητή η αποκωδικοποίηση του παρακάτω χρωμοσώματος:

$$X = [9, 4, 5, 10, 1, 10, 2, 7, 6, 7, 4, 7] \quad (6.13)$$

Αρχικά, τα γονίδια του χρωμοσώματος της εξίσωσης (6.13) χωρίζονται σε 3 ομάδες (3 μεταβλητές ελέγχου) των 4 γονιδίων η καθεμία.

Για τα 4 πρώτα γονίδια που αποτελούν την πρώτη ομάδα και αφορούν την τάση στο ΣΑΤΥΦ είναι:

$$\begin{aligned} minVal &: 0.95 \text{ α.μ.} \\ codeVal &: 9, 4, 5, 10 \\ maxVal &: 1.05 \text{ α.μ.} \\ N_{int} &: 10 \end{aligned} \quad (6.14)$$

Οπότε προκύπτει το πρώτο υποδιάγραμμα του φαινότυπου που αφορά την τάση στο ΣΑΤΥΦ.

$$realVal : 1.04, 0.99, 1.00, 1.05 \quad (6.15)$$

Για τα επόμενα 4 γονίδια που αποτελούν τη δεύτερη ομάδα (δεύτερη μεταβλητή ελέγχου) και αφορούν την ενεργό ισχύς της ΜΔΠ καυσίμου είναι:

$$\begin{aligned} minVal &: 0 \text{ MW} \\ codeVal &: 1, 10, 2, 7 \\ maxVal &: 0.5 \text{ MW} \\ N_{int} &: 10 \end{aligned} \quad (6.16)$$

Οπότε προκύπτει το δεύτερο υποδιάνυσμα του φαινότυπου που αφορά την ενεργό ισχύ της ΜΔΠ καυσίμου.

$$realVal : 0, 0.50, 0, 0.35 \quad (6.17)$$

Για τα τελευταία 4 γονίδια που αποτελούν την τρίτη ομάδα (τρίτη μεταβλητή ελέγχου) και αφορούν το συντελεστή ισχύος της ΜΔΠ καυσίμου (ελέγχεται η γωνία  $\varphi$  του  $\Sigma.I. \cos\varphi$ ) είναι:

$$\begin{aligned} minVal &: -25.84^\circ \text{ (αντιστοιχεί σε } \cos\varphi=0,90 \text{ χωρητικό)} \\ codeVal &: 6, 7, 4, 7 \\ maxVal &: 25.84^\circ \text{ (αντιστοιχεί σε } \cos\varphi=0,90 \text{ επαγωγικό)} \\ N_{int} &: 10 \end{aligned} \quad (6.18)$$

Οπότε προκύπτει το τρίτο υποδιάνυσμα του φαινότυπου που αφορά τη γωνία του συντελεστή ισχύος της ΜΔΠ καυσίμου.

$$\begin{aligned} realVal &: 5.16^\circ, 10.33^\circ, -5.17^\circ, 10.33^\circ \\ &\text{που αντιστοιχούν σε τιμές } \cos\varphi \\ realVal &: 0,99 \text{ επαγ.}, 0,98 \text{ επαγ.}, 0,99 \text{ χωρ.}, 0,98 \text{ επαγ.}, \end{aligned} \quad (6.19)$$

Συνδυάζοντας τις εξισώσεις (6.15), (6.17), (6.19) προκύπτει ο συνολικός φαινότυπος του κωδικοποιημένου χρωμοσώματος της εξίσωσης (6.13), ο οποίος είναι:

$$X_{\text{decoded}} = [1.04, 0.99, 1.00, 1.05, 0, 0.50, 0, 0.35, 5.16^\circ, 10.33^\circ, -5.17^\circ, 10.33^\circ] \quad (6.20)$$

#### 6.2.3.4 Επόμενη Γενιά

Σε αυτό το βήμα επιλέγονται από τον ταξινομημένο αρχικό πληθυσμό (Πίνακας 6.5), το 40% των καλύτερων χρωμοσωμάτων, δηλαδή τα 4 πρώτα χρωμοσώματα και τα υπόλοιπα 6 απορρίπτονται από τη διαδικασία διασταύρωσης.

Τα 4 καλύτερα χρωμοσώματα με τους αντίστοιχους κωδικούς 6, 4, 10, 5 αντιγράφονται στην επόμενη γενιά και ξεκινάει η διαδικασία της επιλογής γονέων. Η μέθοδος που χρησιμοποιείται για την επιλογή γονέων είναι αυτή της τυχαίας επιλογής χρωμοσωμάτων.

Για να αποκτήσει ξανά ο πληθυσμός 10 χρωμοσώματα, χρειάζονται 6 απόγονοι (παιδιά). Για τη δημιουργία των 6 παιδιών χρειάζονται 6 γονείς. Άρα δημιουργούνται τυχαία δυο διανύσματα, χρησιμοποιώντας τους νέους κωδικούς των χρωμοσωμάτων του Πίνακα 6.6, όπου το ένα περιέχει τις 3 μητέρες και το άλλο τους 3 πατέρες:

$$\begin{aligned} ma &= [2 \ 3 \ 1] \\ pa &= [3 \ 1 \ 4] \end{aligned} \quad (6.21)$$

δηλαδή το Παιδί 1 και το Παιδί 2 θα προκύψουν από τη διασταύρωση του χρωμοσώματος 2 με το χρωμόσωμα 3, τα Παιδιά 3 και 4 θα προκύψουν από τη διασταύρωση του χρωμοσώματος 3 με το χρωμόσωμα 1 και τα Παιδιά 5 και 6 θα προκύψουν από τη διασταύρωση του χρωμοσώματος 1 με το χρωμόσωμα 4.

### Διαδικασία διασταύρωσης

Αφού ολοκληρωθεί η επιλογή των γονέων ξεκινάει η διαδικασία της διασταύρωσης πολλαπλών σημείων, αφού για κάθε μεταβλητή ελέγχου έχουμε και ένα σημείο διασταύρωσης. Έστω τα δυο χρωμοσώματα-γονείς:

$$\begin{aligned} \text{Μητέρα} &= [p_{m1}, p_{m2}, p_{m3}, p_{m4}, p_{m5}, p_{m6}, \dots, p_{mN_{var}}] \\ \text{Πατέρας} &= [p_{d1}, p_{d2}, p_{d3}, p_{d4}, p_{d5}, p_{d6}, \dots, p_{dN_{var}}] \end{aligned} \quad (6.22)$$

Έστω δυο τυχαία σημεία διασταύρωσης το 3ο και το 5ο, τότε προκύπτουν:

$$\begin{aligned} \text{Παιδί1} &= [p_{m1}, p_{m2}, p_{d3}, p_{d4}, p_{m5}, p_{m6}, \dots, p_{mN_{var}}] \\ \text{Παιδί2} &= [p_{d1}, p_{d2}, p_{m3}, p_{m4}, p_{d5}, p_{d6}, \dots, p_{dN_{var}}] \end{aligned} \quad (6.23)$$

Στο συγκεκριμένο αριθμητικό παράδειγμα αν θεωρηθεί ως Μητέρα το χρωμόσωμα 1 και ως Πατέρας το χρωμόσωμα 2 από τον Πίνακα 6.6 προκύπτει η εξίσωση (6.24):

$$\begin{aligned} \text{Μητέρα} &= [1.04, 0.99, 1.00, 1.05, 0, 0.50, 0, 0.35, 5.16, 10.33, -5.17, 10.33] \\ \text{Πατέρας} &= [0.99, 1.02, 0.98, 0.98, 0.4, 0.35, 0.30, 0.35, -20.68, -5.17, 0, -10.34] \end{aligned} \quad (6.24)$$

Έστω δυο τυχαία σημεία διασταύρωσης το 3ο, το 6ο και το 10ο, τότε προκύπτουν:

$$\begin{aligned} \text{Παιδί1} &= [1.04, 0.99, 0.98, 0.98, 0, 0.35, 0.30, 0.35, 5.16, -5.17, 0, -10.34] \\ \text{Παιδί2} &= [0.99, 1.02, 1.00, 1.05, 0.4, 0.50, 0, 0.35, -20.68, 10.33, -5.17, -10.34] \end{aligned} \quad (6.25)$$

Αντίστοιχα γίνονται και οι άλλες 4 διασταυρώσεις, για να προκύψουν τα υπόλοιπα 4 Παιδιά. Σε περίπτωση που το πλήθος των επιλεγμένων προς διασταύρωση χρωμοσωμάτων είναι μονός αριθμός, το τελευταίο ζευγάρι θα δώσει ένα παιδί.

### Διαδικασία μετάλλαξης

Στη συνέχεια, εφαρμόζεται ο γενετικός τελεστής της μετάλλαξης στο κάθε χρωμόσωμα, όπου εισάγεται πληροφορία και χαρακτηριστικά που δεν υπήρχαν πριν στον πληθυσμό. Η μετάλλαξη μιας μεταβλητής (γονίδιο) αλλάζει την τιμή της ομοιόμορφα μεταξύ μιας ελάχιστης και μιας μέγιστης τιμής, όπως προκύπτει από τη σχέση:

$$p = (p_{hi} - p_{lo})randi + p_{lo} \quad (6.26)$$

όπου:

$p_{lo}$	η ελάχιστη τιμή του εύρους τιμών της μεταβλητής
$p_{hi}$	η μέγιστη τιμή του εύρους τιμών της μεταβλητής
$randi$	τυχαία τιμή στο διάστημα $[0,10]$

Σύμφωνα με τη μεθοδολογία για το πώς λειτουργεί η μετάλλαξη, που παρουσιάστηκε στην Ενότητα 2.3.5 ορίζονται:

- Αρχικά ένα διάνυσμα *mutpoint* με μήκος ίσο με τον αριθμό των μεταβλητών ελέγχου, το οποίο ορίζει με τυχαίο τρόπο τα γονίδια που θα υποστούν μετάλλαξη. Στο αριθμητικό παράδειγμα υπάρχουν 3 μεταβλητές ελέγχου οπότε προκύπτει το διάνυσμα *mutpoint* της εξίσωσης (6.27)

$$mutpoint = [3,6,11] \quad (6.27)$$

- Έπειτα, ορίζεται ένα νέο διάνυσμα *mut* με μήκος ίσο με τον αριθμό των μεταβλητών ελέγχου, το οποίο περιέχει την καινούργια τιμή του κάθε γονιδίου με βάση τη σχέση (6.26). Στο αριθμητικό παράδειγμα υπάρχουν 3 μεταβλητές ελέγχου οπότε προκύπτει το διάνυσμα *mut* της εξίσωσης (6.28)

$$mut = [1.04, 0.40, 25.84] \quad (6.28)$$

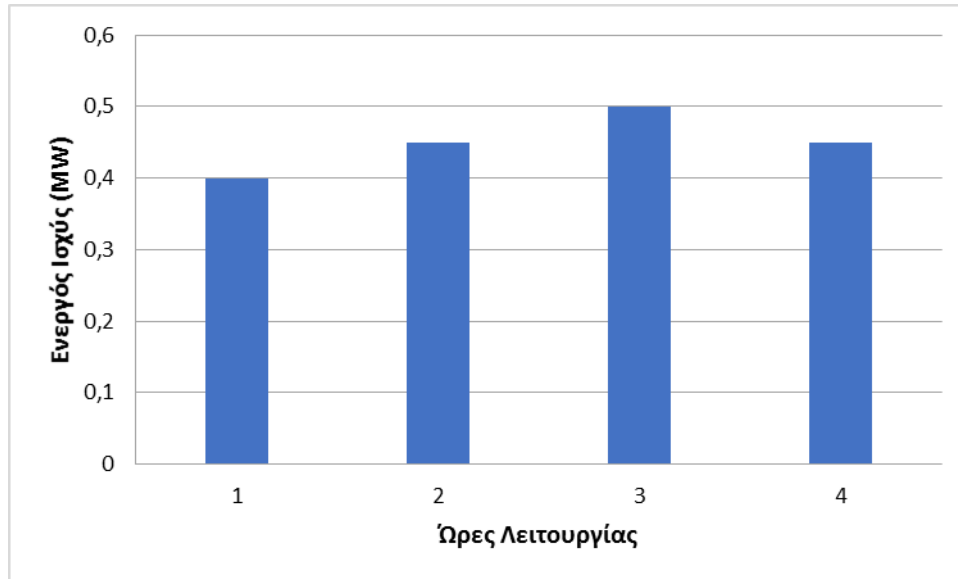
- Τέλος, εφαρμόζονται οι μεταλλάξεις των γονιδίων στο κάθε χρωμόσωμα, αλλά μόνο για τα χρωμοσώματα-παιδιά. Τα χρωμοσώματα-γονείς παραμένουν ως έχουν, χωρίς να υπόκεινται σε μετάλλαξη. Οπότε εφαρμόζοντας τις εξισώσεις (6.27) και (6.28) στο Παιδί 1 της εξίσωσης (6.25) προκύπτει:

$$\text{Παιδί1} = [1.04, 0.99, 1.04, 0.98, 0, 0.40, 0.30, 0.35, 5.16, -5.17, 25.84, -10.34] \quad (6.29)$$

Αντίστοιχα, ακολουθείται η ίδια διαδικασία της εφαρμογής του τελεστή της μετάλλαξης και για τα υπόλοιπα 5 Παιδιά. Οπότε, στον καινούργιο πληθυσμό, της νέας γενιάς, υπάρχουν 4 χρωμοσώματα γονείς από τον αρχικό πληθυσμό σύμφωνα με τα οποία θα προκύψουν μέσω διασταύρωσης πολλαπλών σημείων τα 6 Παιδιά. Σε αυτά τα 6 Παιδιά θα εφαρμοστεί ο τελεστής της μετάλλαξης και στη συνέχεια θα γίνει αξιολόγηση του καινούργιου πληθυσμού.

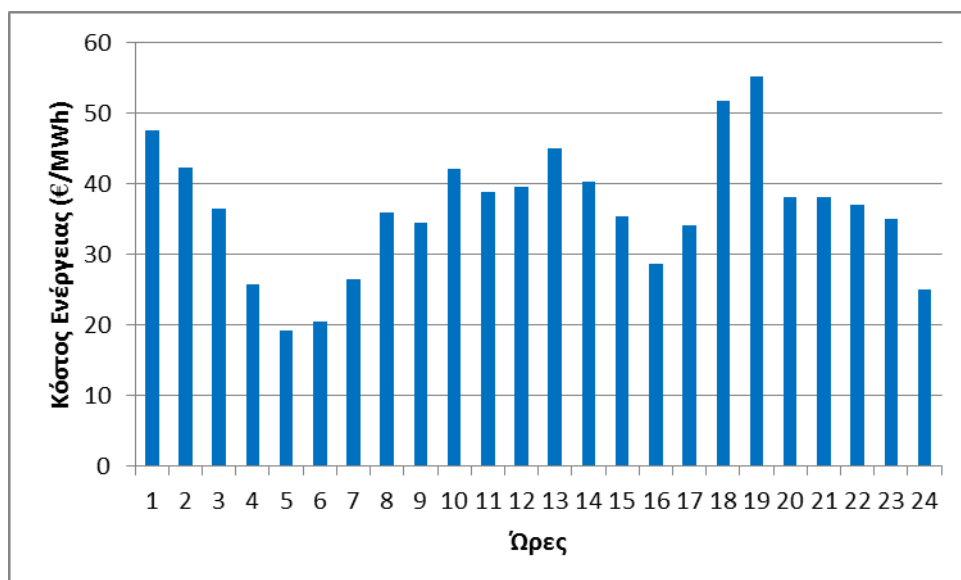
#### 6.2.4 Τελική Λύση Αριθμητικού Παραδείγματος

Χρησιμοποιώντας τη μέθοδο του Ακέραιου ΓΑ για την αξιολόγηση των χρωμοσωμάτων, έγινε προσέγγιση του βέλτιστου προγραμματισμού της λειτουργίας στο δίκτυο των 4 ζυγών, για τις 4 επόμενες ώρες. Το βέλτιστο πλάνο λειτουργίας της ΜΔΠ καυσίμου για τη χρονική διάρκεια που εξετάστηκε προέκυψε μετά από 73 γενιές και φαίνεται στο Σχήμα 6.2.

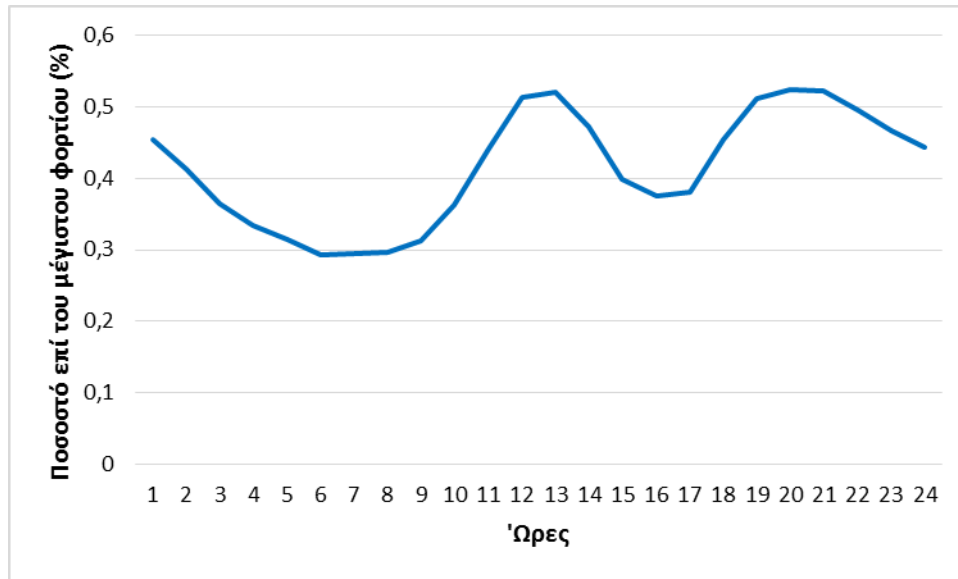


**Σχήμα 6.2:** Βέλτιστο πλάνο λειτουργίας ΜΔΠ καυσίμου

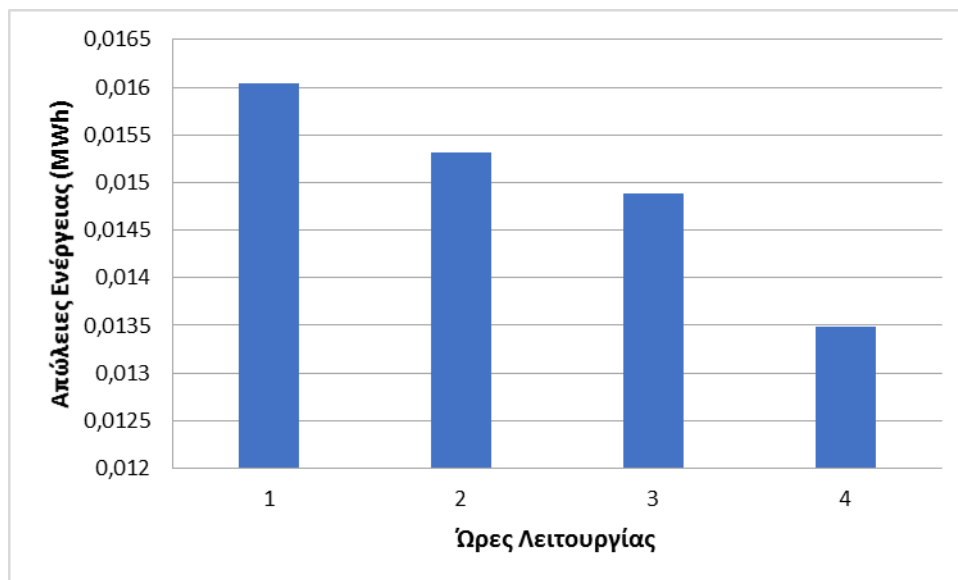
Οι συνολικές απώλειες ενέργειας του δικτύου για τη βέλτιστη λύση είναι 0,06 MWh και το συνολικό κόστος λειτουργίας του δικτύου είναι 311,67 €. Το κόστος λειτουργίας του δικτύου υπολογίστηκε με βάση την Ενότητα 4.2.2.3 όπως και στην υπόλοιπη έκταση της εργασίας. Η κοστολόγηση της κάθε MWh, ανά ώρα, έγινε με βάση το Σχήμα 6.3. Επίσης χρησιμοποιήθηκε η ίδια καμπύλη φορτίου όπως στα δίκτυα των 33-ζυγών και 69-ζυγών, όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.4. Στο Σχήμα 6.5 παρουσιάζονται οι ωριαίες απώλειες του δικτύου για τη βέλτιστη λύση και στο Σχήμα 6.6 παρουσιάζονται το ωριαίο κόστος λειτουργίας του δικτύου.



**Σχήμα 6.3:** Τιμή ηλεκτρικής ενέργειας ανά ώρα (€/MWh)

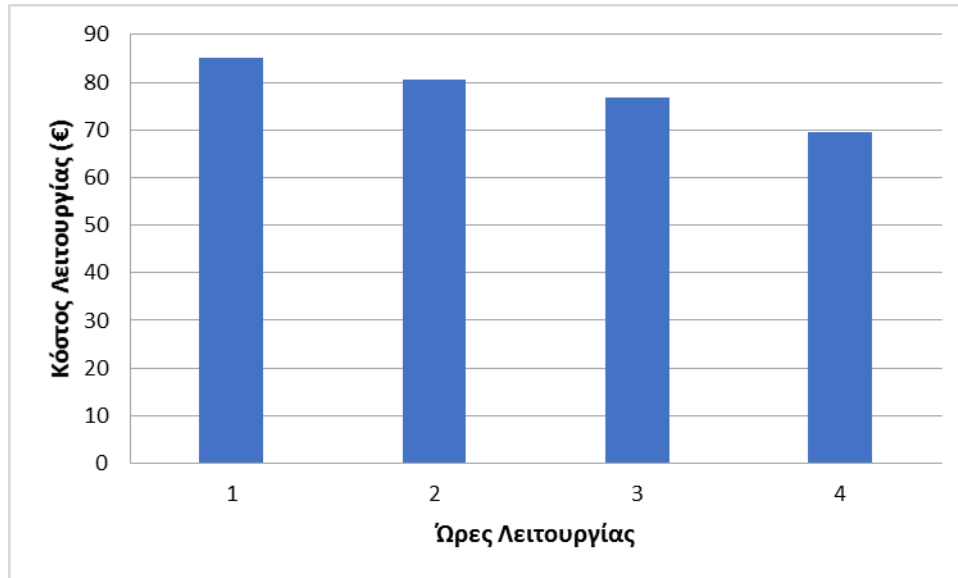


Σχήμα 6.4: Καμπύλη φορτίου



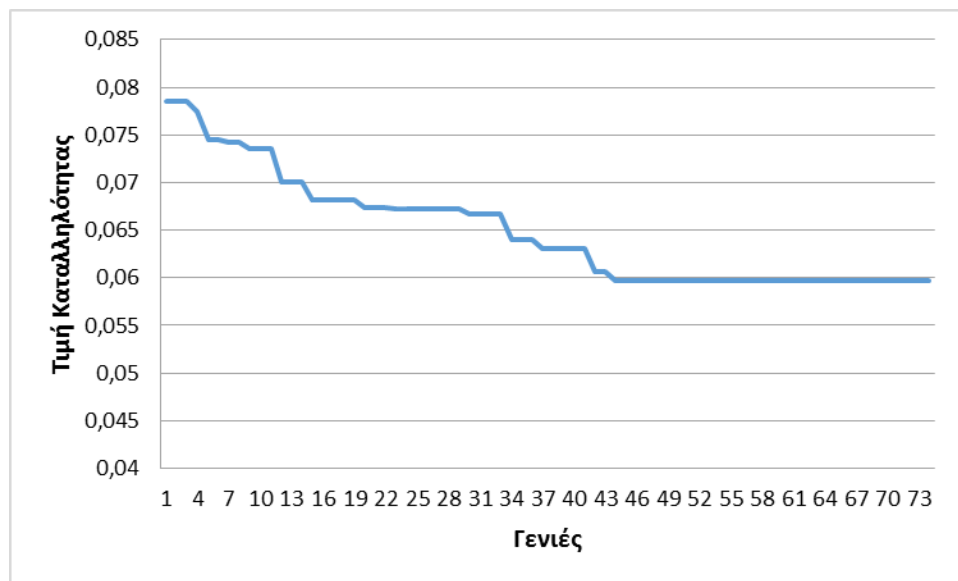
Σχήμα 6.5: Ωριαίες απώλειες ενέργειας δικτύου





Σχήμα 6.6: Ωριαίο κόστος λειτουργίας δικτύου

Στο Σχήμα 6.7 φαίνεται η εξέλιξη της τιμής καταλληλότητας του καλύτερου χρωμοσώματος κάθε γενιάς του ΓΑ, καθώς ο αλγόριθμος μεταβαίνει από τη μια γενιά στην επόμενη. Η τιμή της συνάρτησης καταλληλότητας (fitness function) υπολογίζεται από το άθροισμα της αντικειμενικής συνάρτησης (objective function) και της συνάρτησης ποινής (penalty function), όπως έχει τονιστεί στο Κεφάλαιο 4.



Σχήμα 6.7: Εξέλιξη τιμής καταλληλότητας

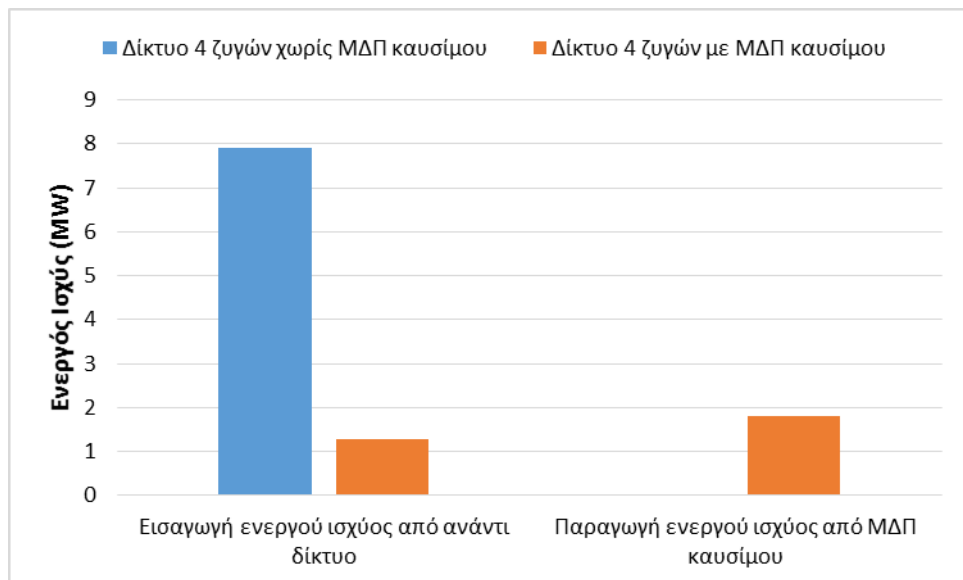
Επιπλέον, προκύπτει μείωση των απωλειών ενέργειας και μείωση του ποσοστού απωλειών δικτύου όπως φαίνονται στον Πίνακα 6.7. Το ποσοστό απωλειών δικτύου εκφράζεται ως ο λόγος των απωλειών δικτύου  $W_{loss}$  προς το άθροισμα των απωλειών του δικτύου και του αρχικού φορτίου  $P_{L0}$ :

$$\text{Απώλειες δικτύου (\%)} = \frac{W_{loss}}{W_{loss} + P_{Lo}} \quad (6.30)$$

**Πίνακας 6.7:** Αποτελέσματα βέλτιστου προγραμματισμού λειτουργίας 4 ωρών του δικτύου των 4 ζυγών

Απώλειες Ενέργειας χωρίς ΜΔΠ καυσίμου	0.23 MWh
Απώλειες Ενέργειας με ΜΔΠ καυσίμου (Βέλτιστη λειτουργία)	0.06 MWh
Ποσοστό Απωλειών δικτύου χωρίς ΜΔΠ καυσίμου	2.92%
Ποσοστό Απωλειών δικτύου με ΜΔΠ καυσίμου (Βέλτιστη λειτουργία)	0.77%
Μείωση απωλειών δικτύου (Βέλτιστη λειτουργία)	73.91%

Τέλος παρουσιάζεται στο Σχήμα 6.8 η ενεργός ισχύς που αγοράστηκε από το ανάντι δίκτυο και η ενεργός ισχύς που παράχθηκε από τη ΜΔΠ καυσίμου σε δυο περιπτώσεις, με και χωρίς ΜΔΠ καυσίμου.

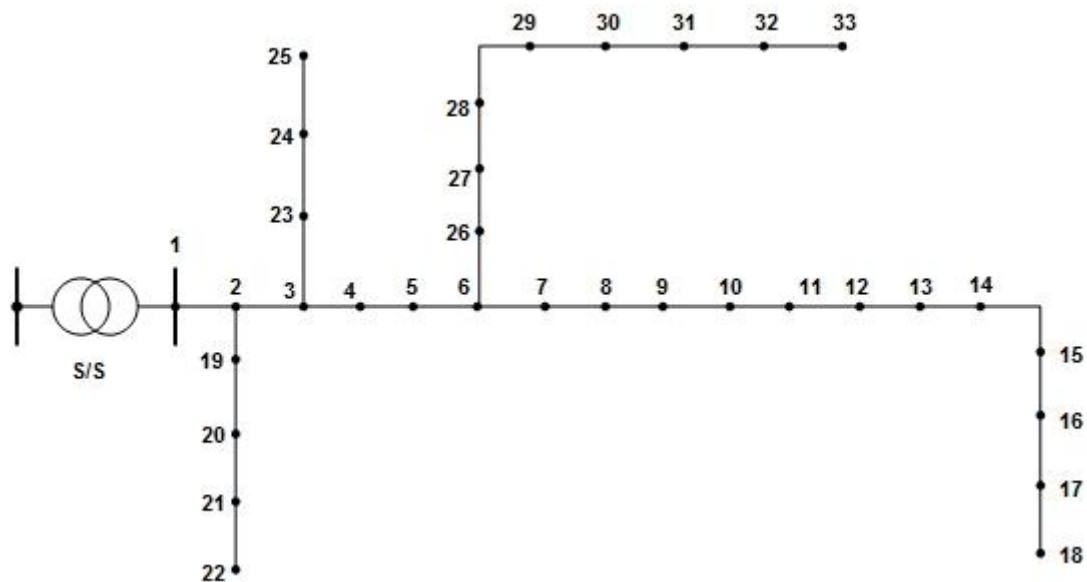


**Σχήμα 6.8:** Ενεργός ισχύς από ανάντι δίκτυο και από παραγωγή ΜΔΠ καυσίμου

### 6.3 ΔΙΚΤΥΟ 33 ΖΥΓΩΝ

#### 6.3.1 Δεδομένα Δικτύου 33 Ζυγών

Θεωρείται δίκτυο 33 ζυγών και 32 γραμμών, όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.9. Στο ζυγό 1 βρίσκεται υποσταθμός ΥΤ/ΜΤ και για το λόγο αυτό θεωρείται ζυγός ταλάντωσης (ζυγός αναφοράς) και σε αυτό το ζυγό δεν μπορεί να συνδεθεί ΜΔΠ. Στο ζυγό 1 η τάση αναφοράς λαμβάνεται ίση με 1.0 α.μ. λόγω ανύψωσης της τάσης με σύστημα ανύψωσης τάσης υπό φορτίο (ΣΑΤΥΦ) στον υποσταθμό ΥΤ/ΜΤ. Οι υπόλοιποι ζυγοί του δικτύου θεωρούνται ως ζυγοί φορτίου (PQ) και τα δεδομένα του δικτύου φαίνονται στον Πίνακα 6.8. Το συνολικό εγκατεστημένο φορτίο του δικτύου είναι  $P_L = 3.715 MW$  και  $Q_L = 2.3 MVar$ . Για το συγκεκριμένο δίκτυο η ονομαστική τάση του δικτύου που τη θεωρούμε και βασική τάση είναι  $V_N = V_{BASE} = 12.66 kV$  και η βασική ισχύς λαμβάνεται ίση με  $S_{BASE} = 1 MVA$ . Στον Πίνακα 6.8 παρουσιάζονται αναλυτικά τα δεδομένα του δικτύου.



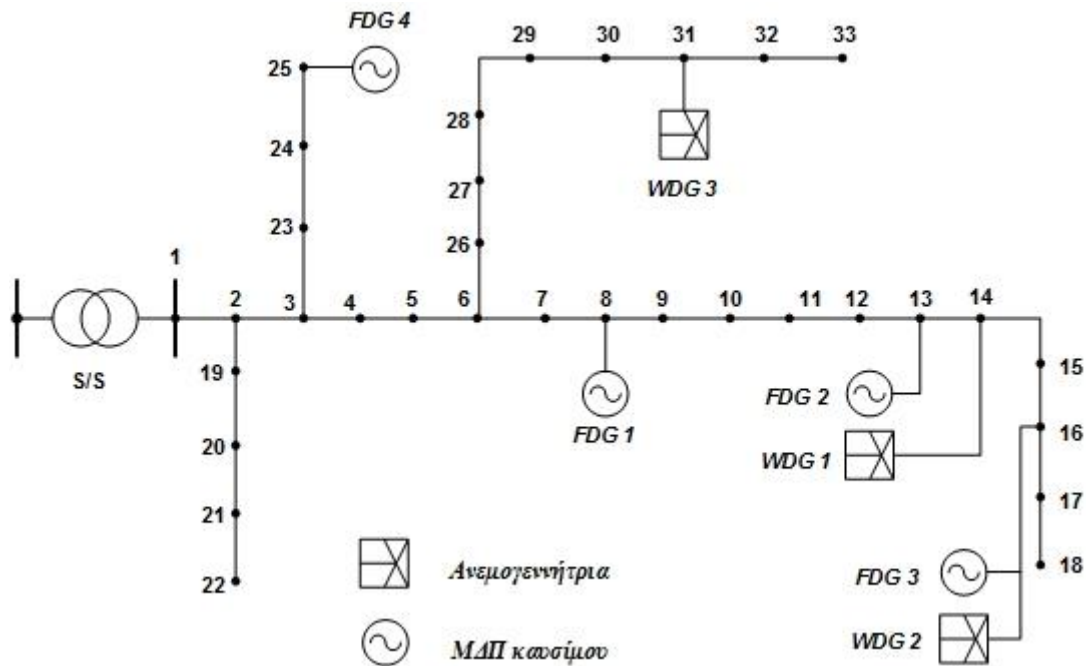
Σχήμα 6.9: Ακτινικό δίκτυο διανομής 33 ζυγών

Πίνακας 6.8: Δεδομένα δικτύου 33 ζυγών

Γραμμή	Ζυγός αναχώρησης	Ζυγός άφιξης	R (α.μ.)	X (α.μ.)	P ζυγού άφιξης (MW)	Q ζυγού άφιξης (MVar)
1	1	2	0.000575	0.000298	0.1	0.06
2	2	3	0.003076	0.001567	0.09	0.04
3	3	4	0.002284	0.001163	0.12	0.08
4	4	5	0.002378	0.001211	0.06	0.03
5	5	6	0.00511	0.004411	0.06	0.02
6	6	7	0.001168	0.003861	0.2	0.1
7	7	8	0.010678	0.007706	0.2	0.1
8	8	9	0.006426	0.004617	0.06	0.02
9	9	10	0.006489	0.004617	0.06	0.02
10	10	11	0.001227	0.000406	0.045	0.03
11	11	12	0.002336	0.000772	0.06	0.035
12	12	13	0.009159	0.007206	0.06	0.035
13	13	14	0.003379	0.004448	0.12	0.08
14	14	15	0.003687	0.003282	0.06	0.01
15	15	16	0.004656	0.0034	0.06	0.02
16	16	17	0.008042	0.010738	0.06	0.02
17	17	18	0.004567	0.003581	0.09	0.04
18	2	19	0.001023	0.000976	0.09	0.04
19	19	20	0.009385	0.008457	0.09	0.04
20	20	21	0.002555	0.002985	0.09	0.04
21	21	22	0.004423	0.005848	0.09	0.04
22	3	23	0.002815	0.001924	0.09	0.05
23	23	24	0.005603	0.004424	0.42	0.2
24	24	25	0.00559	0.004374	0.42	0.2
25	6	26	0.001267	0.000645	0.06	0.025
26	26	27	0.001773	0.000903	0.06	0.025
27	27	28	0.006607	0.005826	0.06	0.02
28	28	29	0.005018	0.004371	0.12	0.07
29	29	30	0.003166	0.001613	0.2	0.6
30	30	31	0.00608	0.006008	0.15	0.07
31	31	32	0.001937	0.002258	0.21	0.1
32	32	33	0.002128	0.003308	0.06	0.04
<b>Σύνολο</b>					3.715	2.3

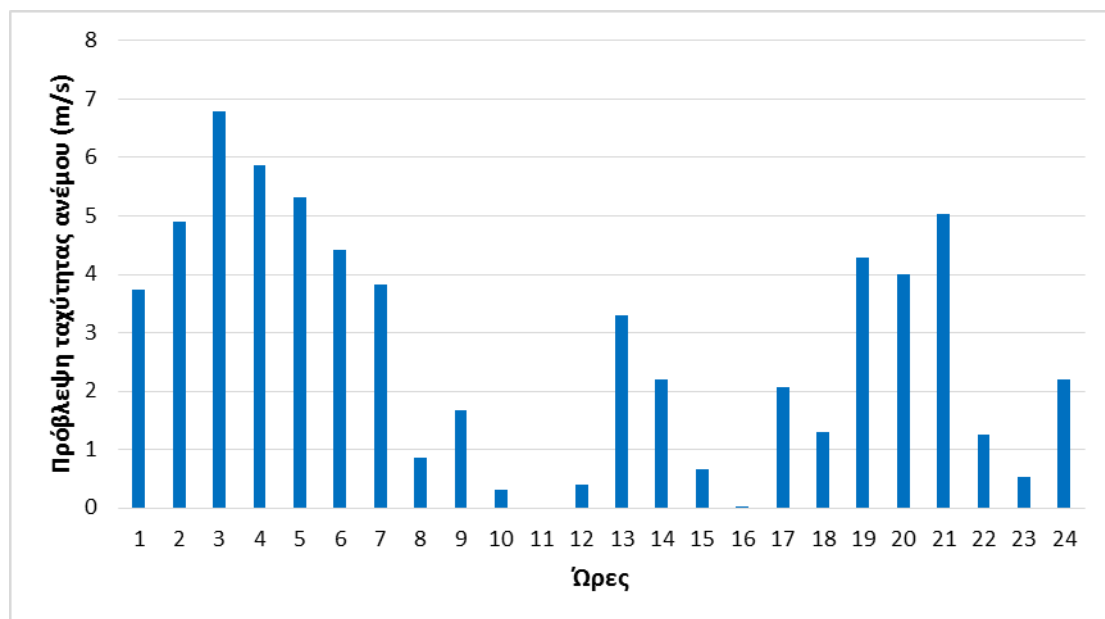
Στο Σχήμα 6.10 παρουσιάζεται το ακτινικό δίκτυο διανομής 33 ζυγών με εγκατεστημένη ΔΠ. Συγκεκριμένα στους ζυγούς 8, 13, 16, 25 έχουν εγκατασταθεί ΜΔΠ καυσίμου ονομαστικής ισχύος 0.5 MW και στους ζυγούς 14, 16, 31 έχουν εγκατασταθεί ανεμογεννήτριες ονομαστικής ισχύος 1 MW. Οι ανεμογεννήτριες εφόσον είναι

εγκατεστημένες στην ίδια περιοχή, θεωρείται πως η παραγωγή τους επηρεάζεται από την ίδια καμπύλη ταχύτητας ανέμου.



Σχήμα 6.10: Ακτινικό δίκτυο διανομής 33 ζυγών με εγκατεστημένες ΜΔΠ

Η κοστολόγηση της ενέργειας έγινε με βάση το Σχήμα 6.3 και η καμπύλη φορτίου που χρησιμοποιήθηκε είναι αυτή του Σχήματος 6.4. Η καμπύλη ανέμου που χρησιμοποιήθηκε για την πρόβλεψη της παραγωγής ενεργού ισχύος από τις Α/Γ φαίνεται στο Σχήμα 6.11.



Σχήμα 6.11: Πρόβλεψη ταχύτητας ανέμου ανά ώρα (m/s)

Στις επόμενες Ενότητες 6.3.2 έως 6.3.6 εξετάζονται σενάρια για το βέλτιστο ημερήσιο πλάνο του δικτύου του Σχήματος 6.10 και παρουσιάζεται η επίδραση των μεταβλητών ελέγχου και των περιορισμών στη βέλτιστη λύση. Τα δεδομένα του ΓΑ που χρησιμοποιήθηκαν στα εξεταζόμενα σενάρια φαίνονται στον Πίνακα 6.9. Συνοπτική περιγραφή των σεναρίων ακολουθεί στον Πίνακα 6.10.

**Πίνακας 6.9:** Δεδομένα ΓΑ που χρησιμοποιήθηκαν για το δίκτυο των 33 ζυγών

Μέγεθος Πληθυσμού	50
Αριθμός Γονιδίων Χρωμοσώματος	360
Ποσοστό Πληθυσμού προς Διασταύρωση	20%
Μέγιστος Αριθμός Γενεών	105
Αριθμός συνεχόμενων γενεών που δεν έχει παρουσιαστεί καλύτερο χρωμόσωμα	30

**Πίνακας 6.10:** Συνοπτική περιγραφή εξεταζόμενων σεναρίων στο δίκτυο των 33 ζυγών

Σενάριο 1	Αποτελεί το σενάριο αναφοράς. -Το δίκτυο λειτουργεί παθητικά χωρίς έλεγχο (χωρίς μεταβλητές ελέγχου). -Δε γίνεται βελτιστοποίηση ως προς κάποια αντικειμενική συνάρτηση.	
Σενάριο 2	Μεταβλητές ελέγχου	ΣΑΤΥΦ (έλεγχος της τάσης του ζυγού αναφοράς)
	Αντικειμενική συνάρτηση	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ελαχιστοποίηση συνολικής διακύμανσης τάσεων</li> </ul>
Σενάριο 3	Μεταβλητές ελέγχου	ΣΑΤΥΦ (έλεγχος της τάσης του ζυγού αναφοράς) $P_{WDG}$ (ενεργός ισχύς των Α/Γ – απόρριψη αιολικής παραγωγής)
	Αντικειμενική συνάρτηση	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ελαχιστοποίηση συνολικής διακύμανσης τάσεων</li> </ul>
Σενάριο 4	Μεταβλητές ελέγχου	$P_{FDG}$ (Ενεργός ισχύς ΜΔΠ καυσίμου) $Q_{FDG}$ (Αεργός ισχύς ΜΔΠ καυσίμου) $Q_{WDG}$ (Αεργός ισχύς των Α/Γ)
	Αντικειμενική συνάρτηση	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ελαχιστοποίηση συνολικής διακύμανσης τάσεων</li> <li>Ελαχιστοποίηση απωλειών ενέργειας δικτύου</li> <li>Ελαχιστοποίηση συνολικού κόστους δικτύου</li> </ul>
Σενάριο 5	Μεταβλητές ελέγχου	ΣΑΤΥΦ (έλεγχος της τάσης του ζυγού αναφοράς) $P_{FDG}$ (Ενεργός ισχύς ΜΔΠ καυσίμου) $Q_{FDG}$ (Αεργός ισχύς ΜΔΠ καυσίμου) $Q_{WDG}$ (Αεργός ισχύς των Α/Γ)
	Αντικειμενική συνάρτηση	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ελαχιστοποίηση συνολικής διακύμανσης τάσεων</li> <li>Ελαχιστοποίηση απωλειών ενέργειας δικτύου</li> <li>Ελαχιστοποίηση συνολικού κόστους δικτύου</li> </ul>

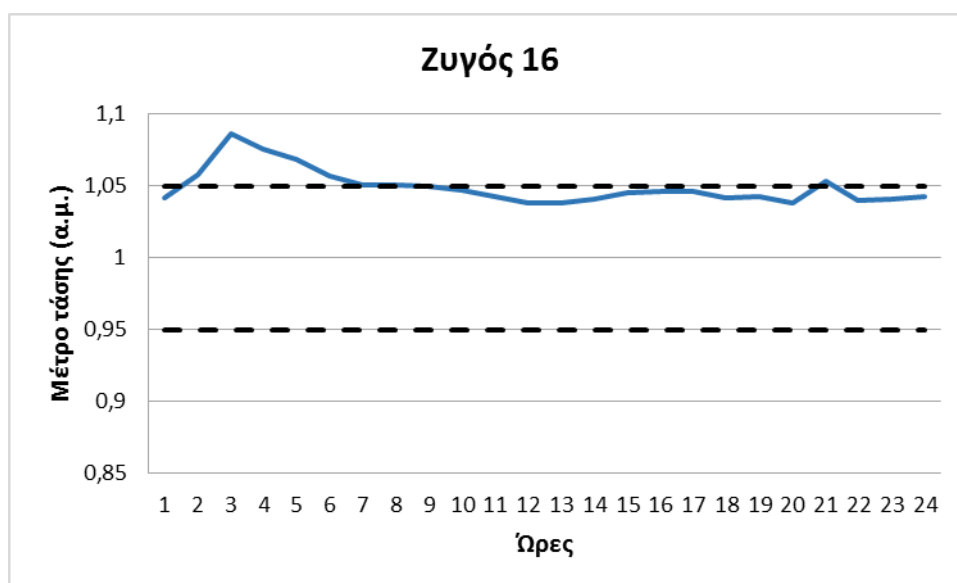
### 6.3.2 Σεναρίου 1 (Σενάριο αναφοράς) – Δίκτυο των 33 Ζυγών

Το συγκεκριμένο σενάριο αποτελεί το σενάριο αναφοράς για το δίκτυο των 33 ζυγών. Στο σενάριο αυτό το δίκτυο λειτουργεί παθητικά, χωρίς να γίνεται έλεγχος (δεν υπάρχουν μεταβλητές ελέγχου). Όλες οι ΜΔΠ λειτουργούν παράγοντας τη μέγιστη δυνατή ισχύ η οποία είναι 0.5 MW για τις ΜΔΠ καυσίμου και για τις ανεμογεννήτριες στο μέγιστο της ισχύος εξόδου τους η οποία εξαρτάται από την καμπύλη ταχύτητας του ανέμου.

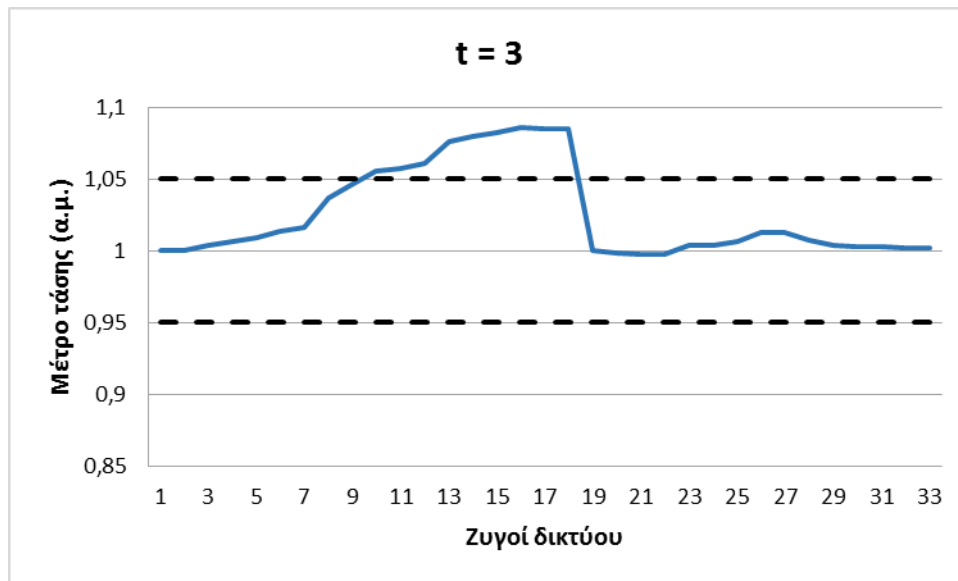
Έπειτα από υπολογισμούς χρησιμοποιώντας ροή φορτίου στο λογισμικό Matpower, η συνολική διακύμανση των τάσεων για το σύνολο των ζυγών του δικτύου είναι 0,48, οι συνολικές απώλειες ενέργειας του δικτύου για ένα 24ώρο είναι 1,86 MWh και το συνολικό κόστος λειτουργίας του δικτύου είναι 6.274,90 €.

Στο Σχήμα 6.12 παρουσιάζεται η καμπύλη της τάσης του ζυγού 16 κατά τη διάρκεια των 24 ωρών. Ο ζυγός 16 επιλέχθηκε καθώς σε αυτόν οποίο παρατηρείται η μέγιστη ανύψωση τάσης. Αποτελεί δηλαδή τον χειρότερο ζυγό, στον οποίο το μέτρο της τάσης ξεφεύγει αρκετά από τα όρια που έχουν τεθεί.

Αντίστοιχα στο Σχήμα 6.13 παρουσιάζεται η καμπύλη της τάσης όλων των ζυγών του δικτύου για την 3η ώρα. Η 3η ώρα του 24ώρου αποτελεί την ώρα που παρατηρείται η μέγιστη ανύψωση τάσης.



Σχήμα 6.12: Μέτρο τάσης (α.μ.) στο ζυγό 16 με τη μέγιστη ανύψωση τάσης – Σενάριο 1 δικτύου 33 ζυγών

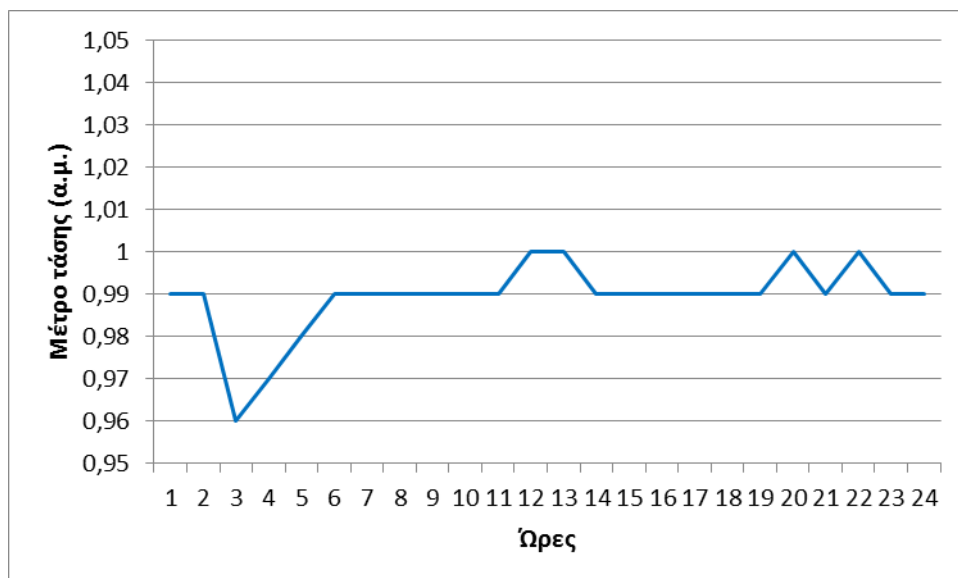


**Σχήμα 6.13:** Μέτρο τάσης (α.μ.) την ώρα  $t = 3$  (ώρα με τη μεγαλύτερη ανύψωση τάσης) – Σενάριο 1 δικτύου 33 ζυγών

### 6.3.3 Επίδραση Σεναρίου 2 στο Δίκτυο των 33 Ζυγών

Στο Σενάριο 2 οι ΜΔΠ λειτουργούν αποδίδοντας τη μέγιστη ενεργό ισχύ τους, δηλαδή 0.5 MW για τις ΜΔΠ καυσίμου και για τις ανεμογεννήτριες στο μέγιστο της ισχύος εξόδου τους, η οποία εξαρτάται από την καμπύλη ταχύτητας του ανέμου. Στο Σενάριο 2, η μοναδική μεταβλητή ελέγχου είναι η τάση στο ζυγό αναφοράς (με έλεγχο στο ΣΑΤΥΦ) και η αντικειμενική συνάρτηση είναι η ελαχιστοποίηση της συνολικής διακύμανσης των τάσεων στους κόμβους του δικτύου.

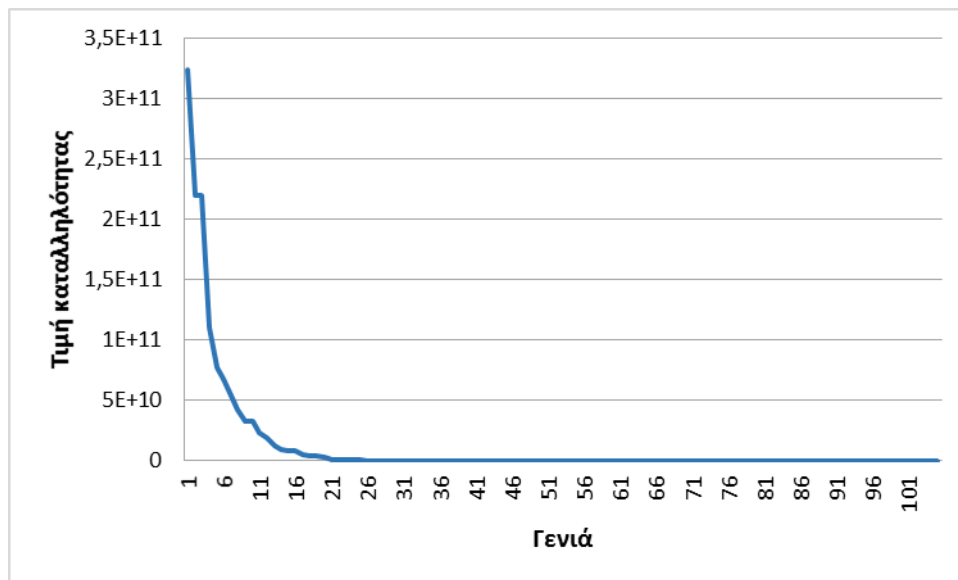
Στο Σχήμα 6.14 απεικονίζονται διαγραμματικά οι τιμές της τάσης στο ΣΑΤΥΦ για τη βέλτιστη λύση του Σεναρίου 2 των 33 ζυγών.



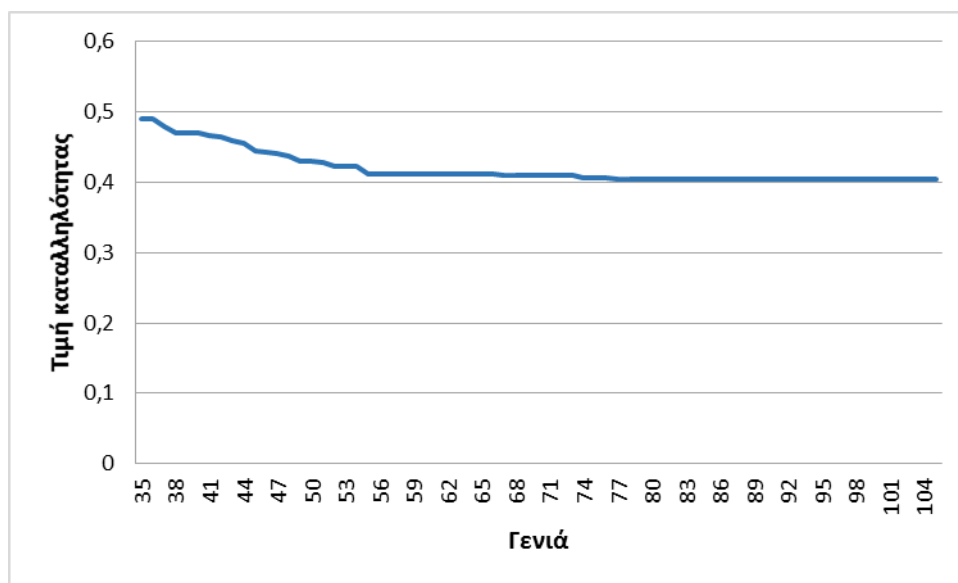
**Σχήμα 6.14:** Μέτρο τάσης (α.μ.) στο ΣΑΤΥΦ για τη βέλτιστη λύση του Σεναρίου 2 δικτύου 33 ζυγών



Στα Σχήματα 6.15 και 6.16 φαίνεται πως μειώνεται η τιμή της συνάρτησης καταλληλότητας μέσα από τη διαδικασία του Ακέραιου ΓΑ που χρησιμοποιήθηκε. Η τιμή καταλληλότητας δίνει μια εικόνα της μείωσης της αντικειμενικής συνάρτησης και ταυτίζεται με αυτή όταν δεν παραβιάζονται οι περιορισμοί, δηλαδή όταν δεν υπάρχει ποινή.



**Σχήμα 6.15:** Εξέλιξη τιμής καταλληλότητας καλύτερου χρωμοσώματος κάθε γενιάς στο ΓΑ – Σενάριο 2 δικτύου 33 ζυγών



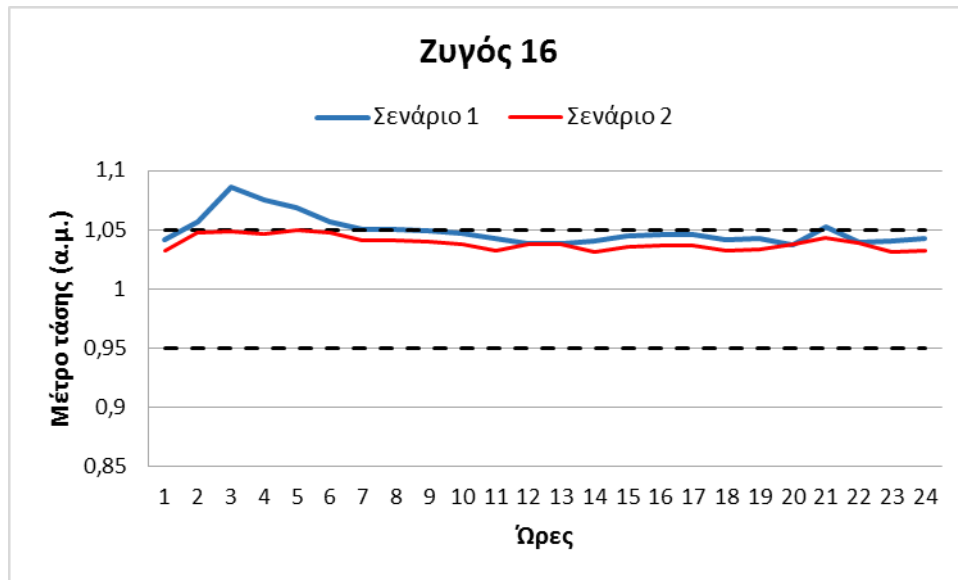
**Σχήμα 6.16:** Εξέλιξη τιμής καταλληλότητας καλύτερου χρωμοσώματος κάθε γενιάς στο ΓΑ για τις γενιές 25 έως 105 – Σενάριο 2 δικτύου 33 ζυγών

Η συνολική διακύμανση των τάσεων για τους ζυγούς του δικτύου είναι 0,40, οι συνολικές απώλειες ενέργειας του δικτύου είναι 1,91 MWh και το συνολικό κόστος λειτουργίας του δικτύου είναι 6.276,6 €.

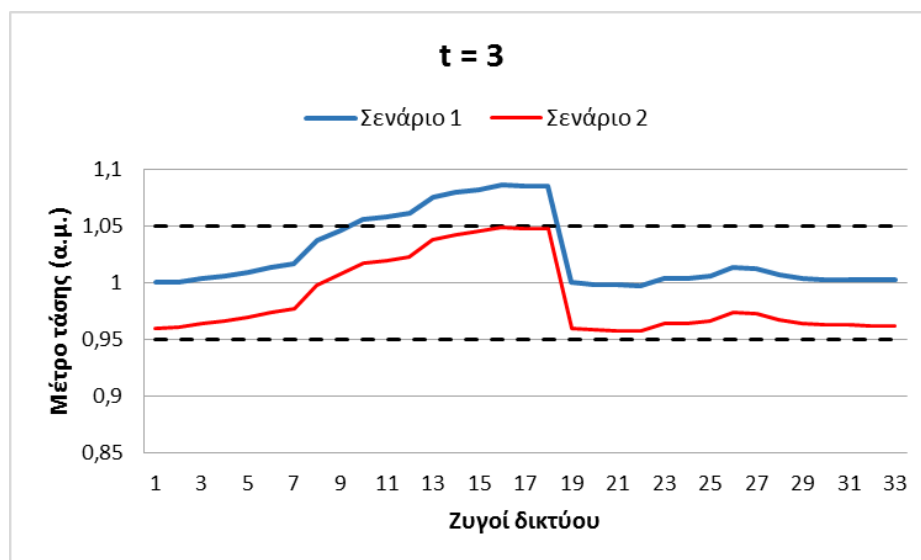
Στο Σχήμα 6.17 παρουσιάζεται η καμπύλη της τάσης του ζυγού 16 κατά τη διάρκεια των 24 ωρών για το Σενάριο 1 (Στο ζυγό 16 παρατηρείται η μεγαλύτερη ανύψωση τάσης στο

Σενάριο 1) και αντίστοιχα παρουσιάζεται η βελτίωση της καμπύλης τάσης από την εφαρμογή του Σεναρίου 2.

Αντίστοιχα στο Σχήμα 6.18 παρουσιάζεται η καμπύλη της τάσης όλων των ζυγών του δικτύου για την 3η ώρα για το Σενάριο 1 (Την 3η ώρα παρατηρείται η μεγαλύτερη ανύψωση τάσης στο Σενάριο 1) και όμοια παρουσιάζεται η βελτίωση της καμπύλης τάσης με εφαρμογή του Σεναρίου 2.



Σχήμα: 6.17: Μέτρο τάσης (α.μ.) στο ζυγό 16 (Ζυγός με τη μεγαλύτερη ανύψωση τάσης για το Σενάριο 1) Σενάριο 1 και Σενάριο 2 του δικτύου 33 ζυγών

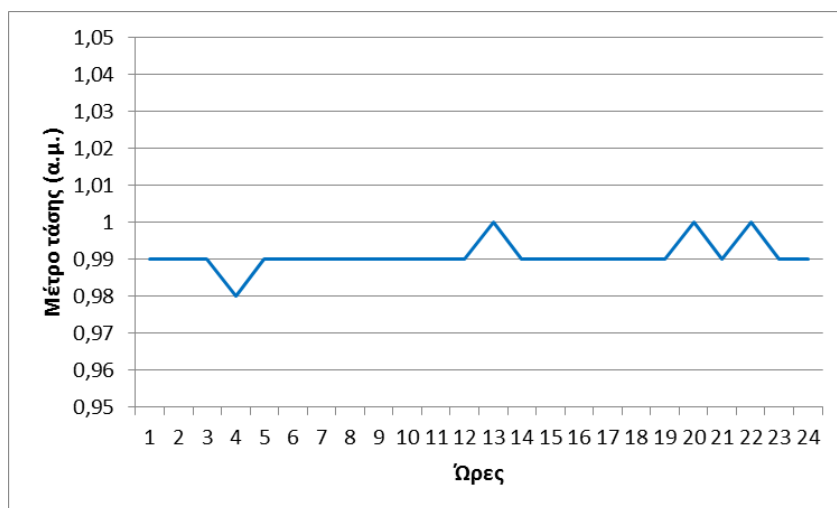


Σχήμα 6.18: Μέτρο τάσης (α.μ.) την ώρα  $t = 3$  (ώρα με τη μεγαλύτερη ανύψωση τάσης για το Σενάριο 1) – Σενάριο 1 και Σενάριο 2 του δικτύου 33 ζυγών

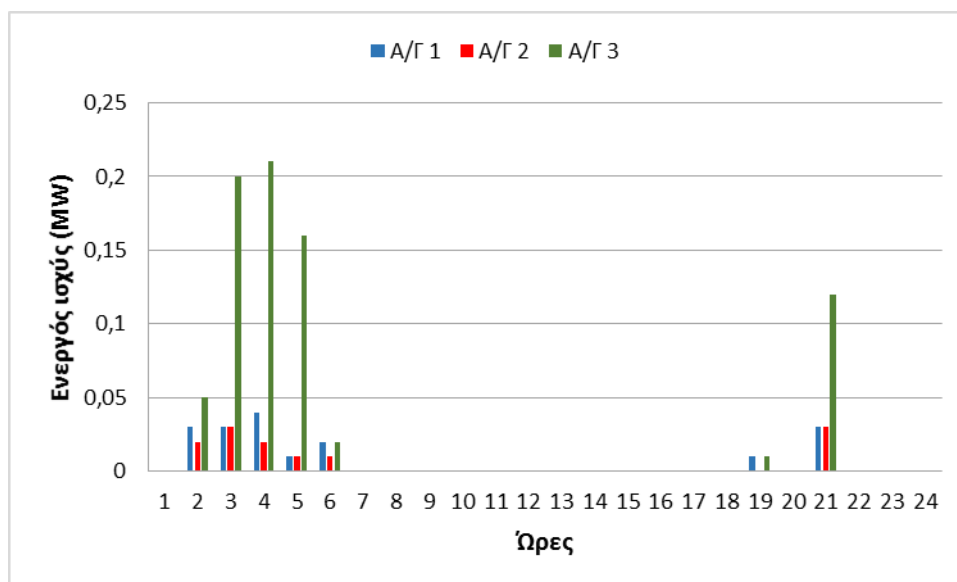
### 6.3.4 Επίδραση Σεναρίου 3 στο Δίκτυο των 33 Ζυγών

Στο Σενάριο 3 οι ΜΔΠ καυσίμου λειτουργούν παράγοντας ισχύ ίση με την εγκατεστημένη ισχύ τους, δηλαδή 0.5 MW. Μεταβλητές ελέγχου στο Σενάριο 3 για το δίκτυο των 33 ζυγών είναι η ενεργός ισχύς των ανεμογεννητριών (απορρίπτεται αιολική παραγωγή)

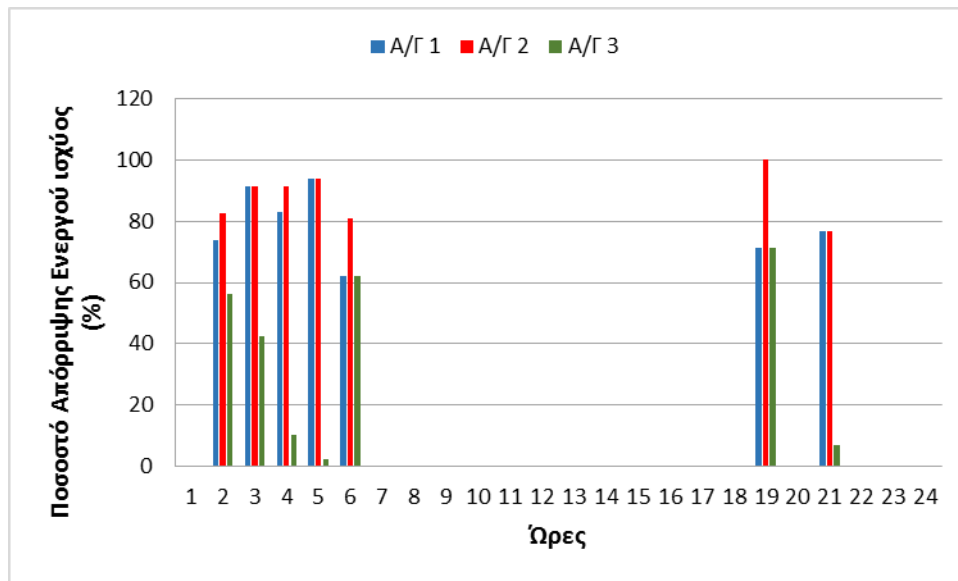
και η τάση στο ζυγό αναφοράς (με έλεγχο στο ΣΑΤΥΦ). Η ελαχιστοποίηση της συνολικής διακύμανσης των τάσεων στους ζυγούς του δικτύου αποτελεί την αντικειμενική συνάρτηση του σεναρίου. Στο Σχήμα 6.19 απεικονίζονται διαγραμματικά οι τιμές της τάσης στο ΣΑΤΥΦ για τη βέλτιστη λύση του Σεναρίου 3 των 33 ζυγών. Στο Σχήμα 6.20 απεικονίζονται διαγραμματικά οι τιμές ενεργού ισχύος εξόδου των ανεμογεννητριών (μεταβλητές ελέγχου) για τη βέλτιστη λύση του Σεναρίου 3, όπως αυτή προέκυψε από την εκτέλεση του λογισμικού και στο Σχήμα 6.21 απεικονίζεται διαγραμματικά το ποσοστό απόρριψης ενεργού ισχύος A/G για τη βέλτιστη λύση του Σεναρίου 3, για το δίκτυο των 33 ζυγών.



**Σχήμα 6.19:** Μέτρο τάσης (α.μ.) στο ΣΑΤΥΦ βέλτιστης λύσης Σεναρίου 3 για το δίκτυο των 33 ζυγών

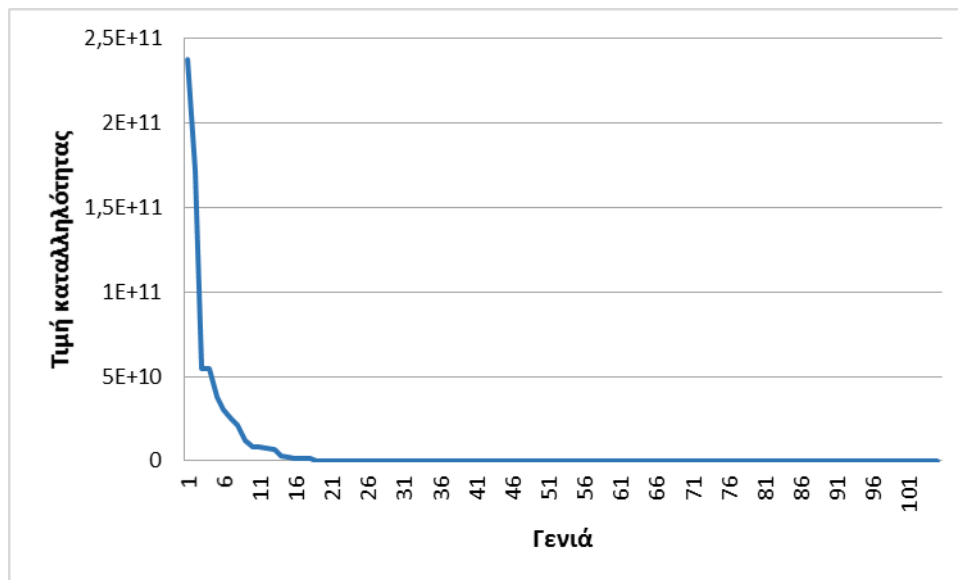


**Σχήμα 6.20:** Ενεργός ισχύς ανεμογεννητριών βέλτιστης λύσης Σεναρίου 3 για το δίκτυο των 33 ζυγών

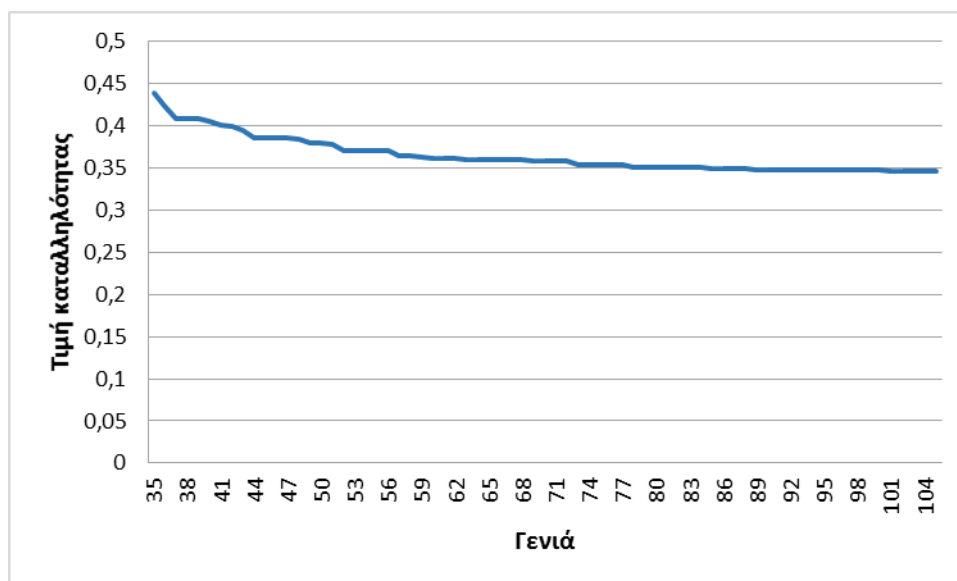


**Σχήμα 6.21:** Ποσοστό απόρριψης ενεργού ισχύος ανεμογεννητριών βέλτιστης λύσης Σεναρίου 3 για το δίκτυο των 33 ζυγών

Στα Σχήματα 6.22 και 6.23 φαίνεται πως μειώνεται η τιμή της συνάρτησης καταλληλότητας μέσα από τη διαδικασία του Ακέραιου ΓΑ που χρησιμοποιήθηκε. Η τιμή καταλληλότητας δίνει μια εικόνα της μείωσης της αντικειμενικής συνάρτησης και ταυτίζεται με αυτή όταν δεν παραβιάζονται οι περιορισμοί, δηλαδή όταν δεν υπάρχει ποινή.



**Σχήμα 6.22:** Εξέλιξη της τιμής καταλληλότητας του καλύτερου χρωμοσώματος κάθε γενιάς στο ΓΑ – Σενάριο 3 του δικτύου 33 ζυγών

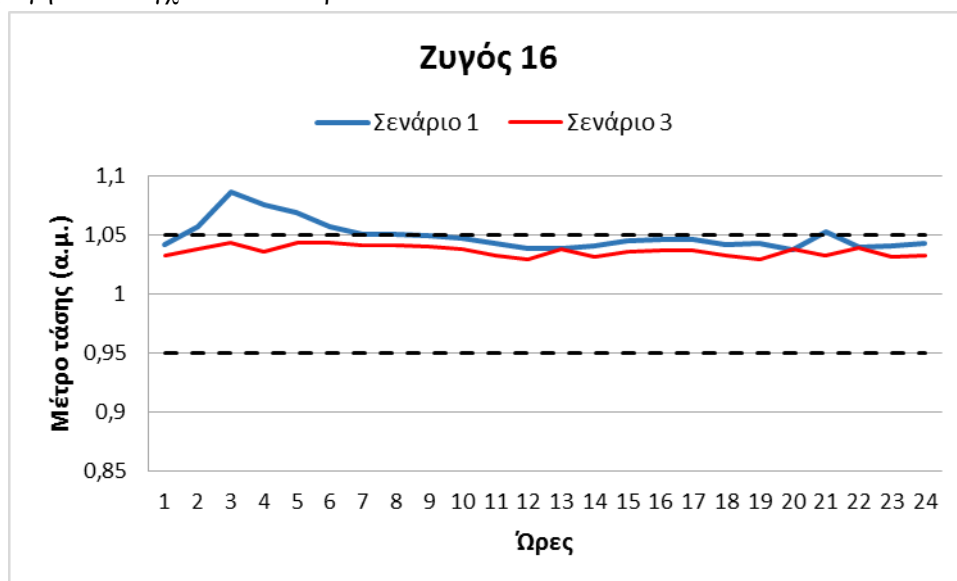


**Σχήμα 6.23:** Εξέλιξη τιμής καταλληλότητας καλύτερου χρωμοσώματος κάθε γενιάς στο ΓΑ για το σενάριο 3 για τις γενιές 25 έως 105 για το δίκτυο 33 ζυγών

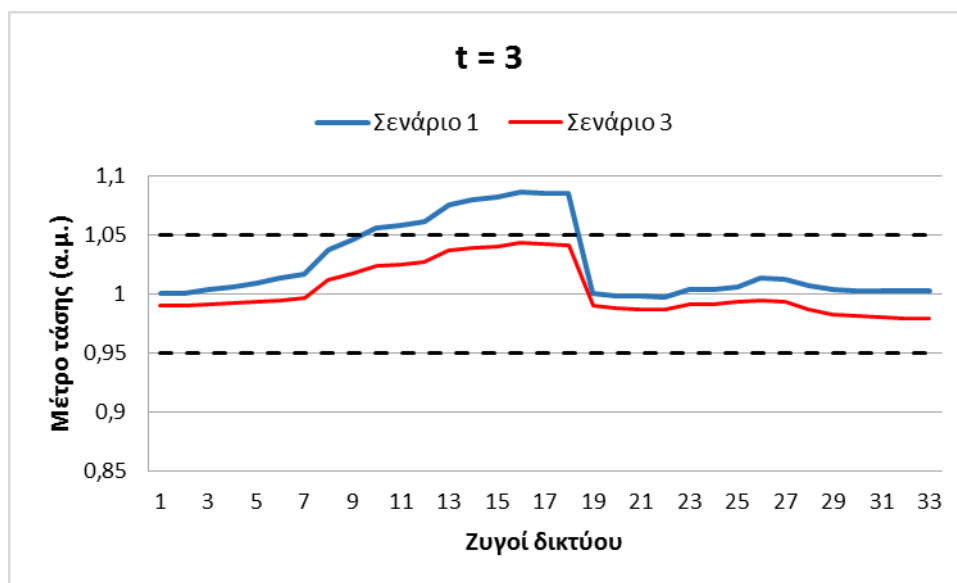
Το συνολικό άθροισμα της διακύμανσης των τάσεων για τους κόμβους του δικτύου είναι 0,35, οι συνολικές απώλειες ενέργειας του δικτύου είναι 1,69 MWh και το συνολικό κόστος λειτουργίας του δικτύου είναι 6.339,7 €.

Στο Σχήμα 6.24 παρουσιάζεται η εξέλιξη του μέτρου της τάσης του ζυγού 16 κατά τη διάρκεια των 24 ωρών, στον οποίο παρατηρείται η μεγαλύτερη ανύψωση τάσης στο Σενάριο 1 και αντίστοιχα παρουσιάζεται η βελτίωση της τάσης έπειτα από εφαρμογή των ελέγχων του Σεναρίου 3.

Αντίστοιχα στο Σχήμα 6.25 παρουσιάζεται η καμπύλη της τάσης όλων των ζυγών του δικτύου για την 3η ώρα, κατά τη διάρκεια της οποίας παρατηρείται η μεγαλύτερη ανύψωση τάσης στο Σενάριο 1 και αντίστοιχα παρουσιάζεται η βελτίωση της τάσης έπειτα από εφαρμογή των ελέγχων του Σεναρίου 3.



**Σχήμα: 6.24:** Μέτρο τάσης (α.μ.) του ζυγού 16 (ζυγός με τη μεγαλύτερη ανύψωση τάσης για το Σενάριο 1) – Σενάριο 1 και 3 του δικτύου 33 ζυγών



**Σχήμα 6.25:** Μέτρο τάσης (α.μ.) την ώρα  $t = 3$  (ώρα με τη μεγαλύτερη ανύψωση τάσης για το Σενάριο 1) – Σενάριο 1 και 3 του δικτύου 33 ζυγών

### 6.3.5 Επίδραση Σεναρίου 4 στο Δίκτυο των 33 Ζυγών

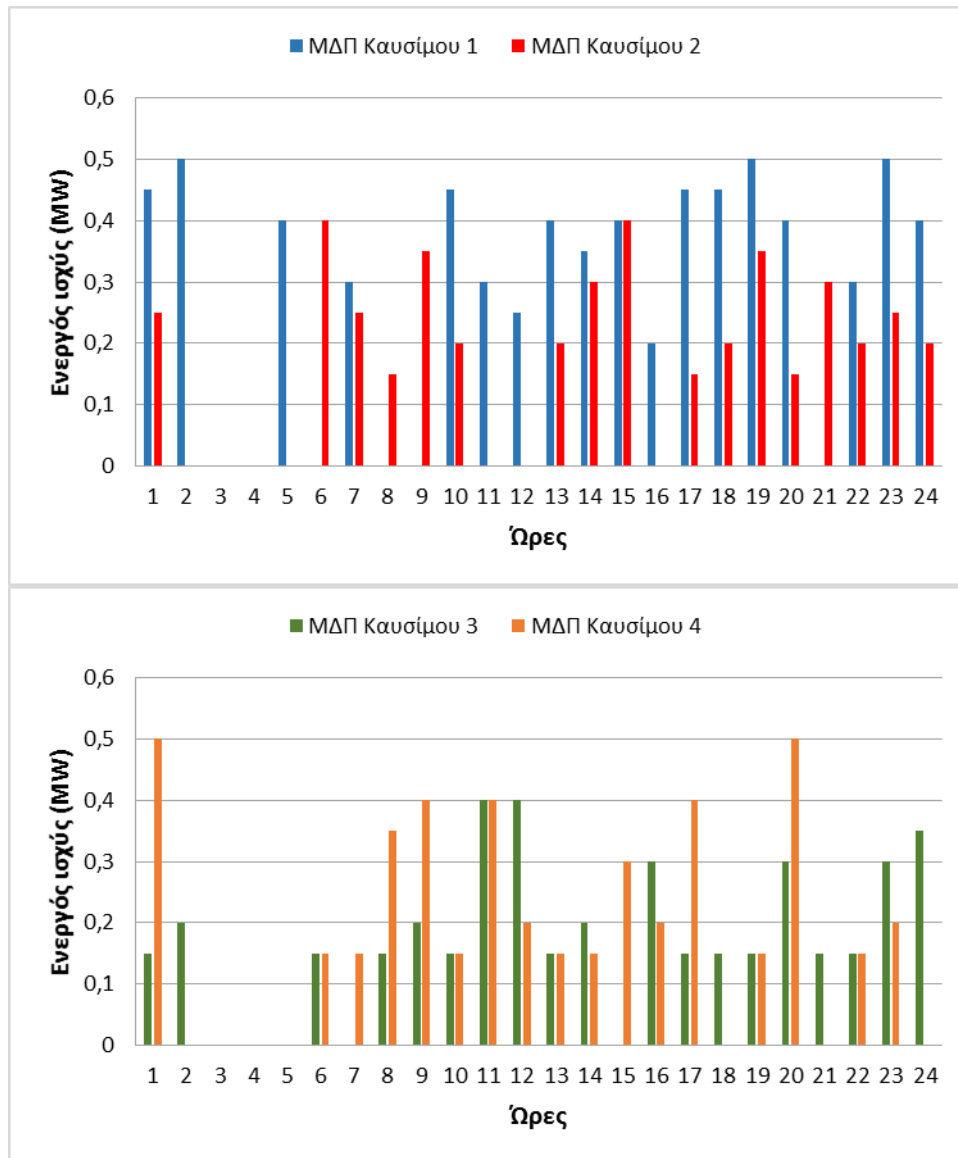
Στο Σενάριο 4 οι ανεμογεννήτριες παράγουν ισχύ σύμφωνα με την καμπύλη ταχύτητας του ανέμου και συνεπώς δεν απορρίπτεται αιολική παραγωγή, αλλά αντίθετα γίνεται μέγιστη εκμετάλλευση του αιολικού δυναμικού. Οι μεταβλητές ελέγχου για το συγκεκριμένο σενάριο για το δίκτυο των 33 ζυγών είναι η ενεργός και άεργος ισχύς των ΜΔΠ καυσίμου και η άεργος ισχύς των ανεμογεννητριών. Στο Σενάριο 4 γίνεται βελτιστοποίηση του ημερήσιου προγραμματισμού χρησιμοποιώντας τρεις αντικειμενικές συναρτήσεις: ελαχιστοποίηση της συνολικής διακύμανσης των τάσεων στους ζυγούς του δικτύου, ελαχιστοποίηση των συνολικών απωλειών ενέργειας του δικτύου και ελαχιστοποίηση του κόστους λειτουργίας του δικτύου.

#### 6.3.5.1 Αντικειμενική Συνάρτηση: Ελαχιστοποίηση της Συνολική Διακύμανσης των Τάσεων στους Ζυγούς του Δικτύου των 33 Ζυγών

Στον Πίνακα 6.11 παρουσιάζονται οι τιμές της ενεργού και αέργου ισχύος των ΜΔΠ καυσίμου για τη βέλτιστη λύση του Σεναρίου 4 και στα Σχήματα 6.26 και 6.27 απεικονίζονται διαγραμματικά. Για τις τιμές της αέργου ισχύος των ΜΔΠ καυσίμου, ελέγχεται ο συντελεστής ισχύος  $\cos\phi$  και παίρνει τιμές από 0,90 χωρητικός έως 0,90 επαγωγικός.

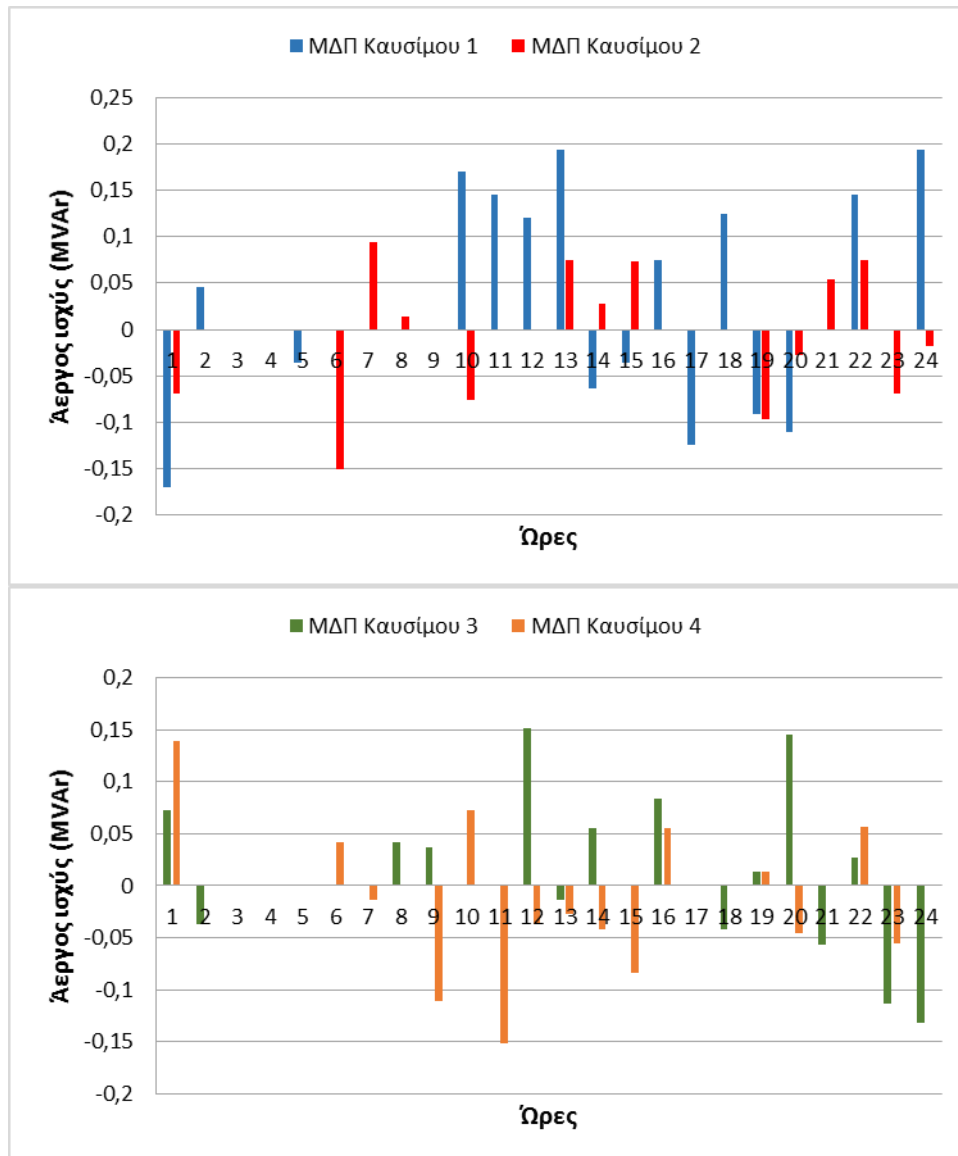
**Πίνακας 6.11:** Τιμές ενεργού και άεργου ισχύος ΜΔΠ καυσίμου για τη βέλτιστη λύση του σεναρίου 4 για το δίκτυο των 33 ζυγών

Ώρα	Ενεργός Ισχύς				Άεργος Ισχύς			
	ΜΔΠ Καυσίμου 1	ΜΔΠ Καυσίμου 2	ΜΔΠ Καυσίμου 3	ΜΔΠ Καυσίμου 4	ΜΔΠ Καυσίμου 1	ΜΔΠ Καυσίμου 2	ΜΔΠ Καυσίμου 3	ΜΔΠ Καυσίμου 4
1	0,45	0,25	0,15	0,5	-0,16986	-0,06938	0,072642	0,138662
2	0,5	0	0,2	0	0,045152	0	-0,03649	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0,4	0	0	0	-0,03619	0	0	0
6	0	0,4	0,15	0,15	0	-0,15099	0	0,041599
7	0,3	0,25	0	0,15	0	0,094318	0	-0,01357
8	0	0,15	0,15	0,35	0	0,013545	0,041599	0
9	0	0,35	0,2	0,4	0	0	0,036454	-0,11101
10	0,45	0,2	0,15	0,15	0,169772	-0,07549	0	0,072642
11	0,3	0	0,4	0,4	0,145284	0	0	-0,15099
12	0,25	0	0,4	0,2	0,12107	0	0,150908	-0,03649
13	0,4	0,2	0,15	0,15	0,193712	0,075454	-0,01357	-0,02737
14	0,35	0,3	0,2	0,15	-0,06386	0,027091	0,055465	-0,04163
15	0,4	0,4	0	0,3	-0,03619	0,072909	0	-0,08325
16	0,2	0	0,3	0,2	0,075454	0	0,083197	0,055465
17	0,45	0,15	0,15	0,4	-0,12488	0	0	0
18	0,45	0,2	0,15	0	0,124796	0	-0,04163	0
19	0,5	0,35	0,15	0,15	-0,09123	-0,09713	0,013545	0,013545
20	0,4	0,15	0,3	0,5	-0,11101	-0,02737	0,145284	-0,04524
21	0	0,3	0,15	0	0	0,054682	-0,05662	0
22	0,3	0,2	0,15	0,15	0,145284	0,075454	0,027341	0,056591
23	0,5	0,25	0,3	0,2	0	-0,06938	-0,11324	-0,0555
24	0,4	0,2	0,35	0	0,193712	-0,0181	-0,13211	0



Σχήμα 6.26: Ενεργός ισχύς ΜΔΠ καυσίμου βέλτιστης λύσης σεναρίου 4 για το δίκτυο των 33 ζυγών



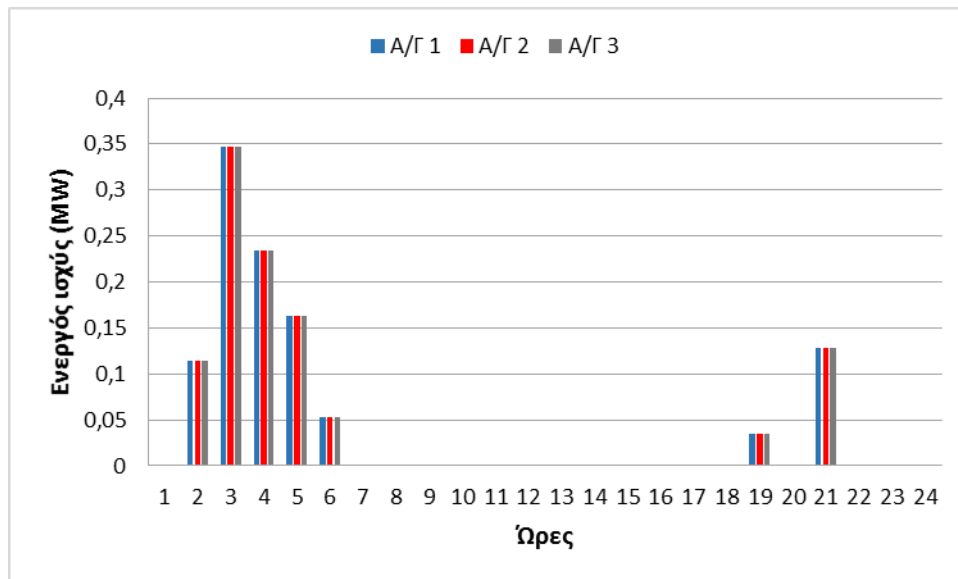


Σχήμα 6.27: Άεργος ισχύς ΜΔΠ καυσίμου βέλτιστης λύσης σεναρίου 4 για το δίκτυο των 33 ζυγών

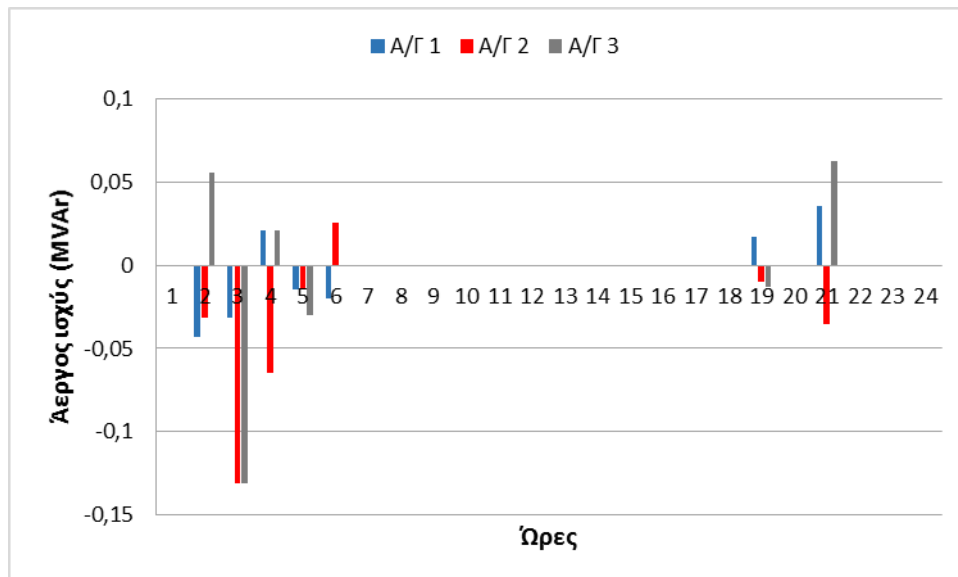
Στον Πίνακα 6.12 παρουσιάζονται οι τιμές ενεργού και άεργου (μεταβλητή ελέγχου) ισχύος των ανεμογεννητριών για τη βέλτιστη λύση του σεναρίου και στα Σχήματα 6.28 και 6.29 απεικονίζονται διαγραμματικά.

**Πίνακας 6.12:** Τιμές ενεργού και άεργου ισχύος ανεμογεννητριών για τη βέλτιστη λύση του  
– Σενάριο 4 του δικτύου των 33 ζυγών

Ώρα	Ενεργός Ισχύς Α/Γ (δεν ελέγχεται – 100% εκμετάλλευση της αιολικής παραγωγής)			Άεργος Ισχύς Α/Γ		
	Α/Γ 1	Α/Γ 2	Α/Γ 3	Α/Γ 1	Α/Γ 2	Α/Γ 3
1	0	0	0	0	0	0
2	0,11375	0,11375	0,11375	-0,04294	-0,03157	0,055087
3	0,3475	0,3475	0,3475	-0,03144	-0,13117	-0,13117
4	0,23375	0,23375	0,23375	0,021108	-0,06487	0,021108
5	0,16375	0,16375	0,16375	-0,01482	-0,01482	-0,02988
6	0,0525	0,0525	0,0525	-0,01982	0,025425	0
7	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0
19	0,035	0,035	0,035	0,01695	-0,00971	-0,01321
20	0	0	0	0	0	0
21	0,12875	0,12875	0,12875	0,035706	-0,03573	0,062351
22	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0

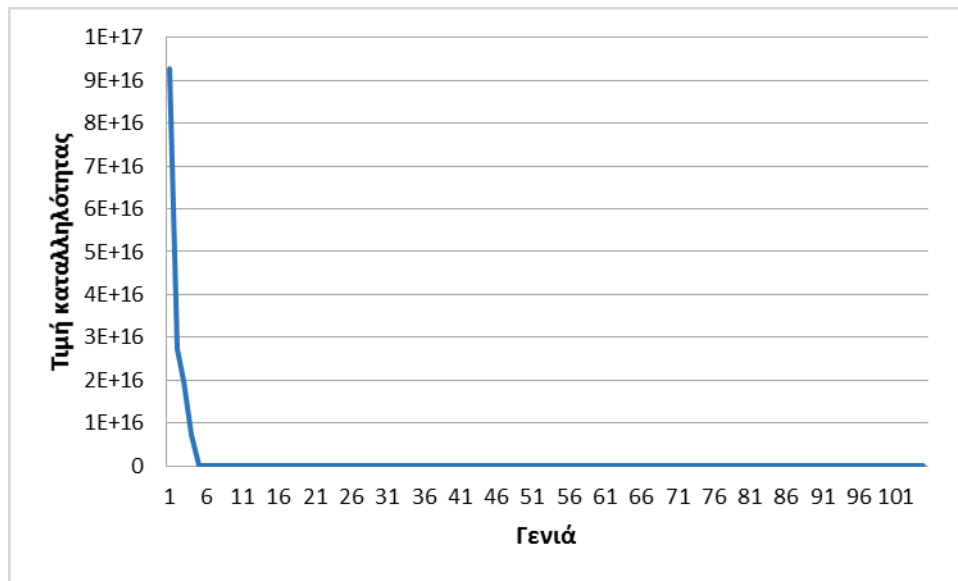


Σχήμα 6.28: Ενεργός ισχύς ανεμογεννητριών – Σενάριο 4 του δικτύου των 33 ζυγών

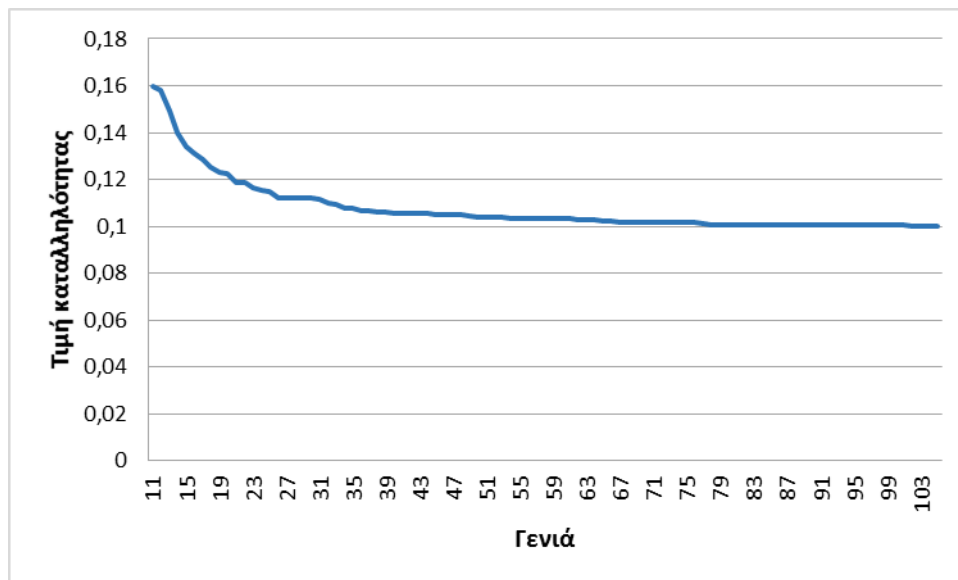


Σχήμα 6.29: Άεργος ισχύς ανεμογεννητριών βέλτιστης λύσης σεναρίου 4 για το δίκτυο των 33 ζυγών

Στα Σχήματα 6.30 και 6.31 φαίνεται πως μειώνεται η τιμή της συνάρτησης καταλληλότητας μέσα από τη διαδικασία του ακέραιου ΓΑ που χρησιμοποιήθηκε. Η τιμή καταλληλότητας δίνει μια εικόνα της μείωσης της αντικειμενικής συνάρτησης και ταυτίζεται με αυτή όταν δεν παραβιάζονται οι περιορισμοί, δηλαδή όταν δεν υπάρχει ποινή.



**Σχήμα 6.30:** Εξέλιξη της τιμής καταλληλότητας του καλύτερου χρωμοσώματος κάθε γενιάς στο ΓΑ – Σενάριο 4 του δικτύου 33 ζυγών



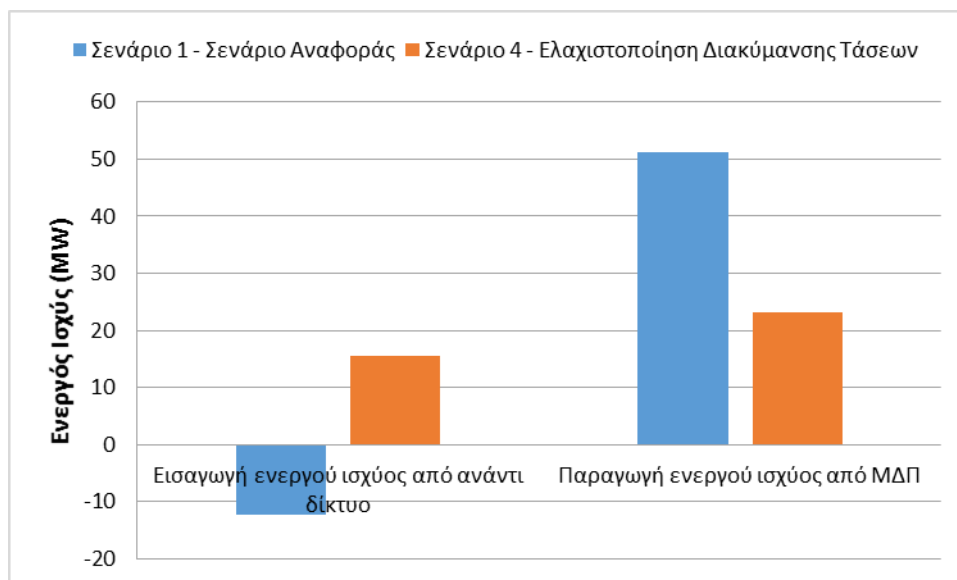
**Σχήμα 6.31:** Εξέλιξη της τιμής καταλληλότητας του καλύτερου χρωμοσώματος κάθε γενιάς στο ΓΑ για τις γενιές 11 έως 105 – Σενάριο 4 του δικτύου 33 ζυγών

Η συνολική διακύμανση των τάσεων για τους ζυγούς του δικτύου είναι 0,10, οι συνολικές απώλειες ενέργειας του δικτύου είναι 1,63 MWh και το συνολικό κόστος λειτουργίας του δικτύου είναι 4.244,4 €.

Οι τιμές της ενεργού ισχύος από τον Υ/Σ του δικτύου και η παραγωγή ενεργού ισχύος από ΜΔΠ για τα Σενάρια 1 και 4 παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.13. Ακολουθεί η διαγραμματική αναπαράσταση αυτών, στο Σχήμα 6.32. Στο Σενάριο 4 παρατηρείται αύξηση της εισερχόμενης ενεργού ισχύος από τον Υ/Σ του δικτύου και μείωση στην παραγωγή ενεργού ισχύος από ΜΔΠ που οφείλεται στον κατάλληλο χειρισμό των μεταβλητών ελέγχου του συγκεκριμένου σεναρίου.

**Πίνακας 6.13:** Ενεργός ισχύς από τον Υ/Σ του δικτύου και παραγωγή ενεργού ισχύος από τις ΜΔΠ – Σενάριο 1 και 4 του δικτύου των 33 ζυγών

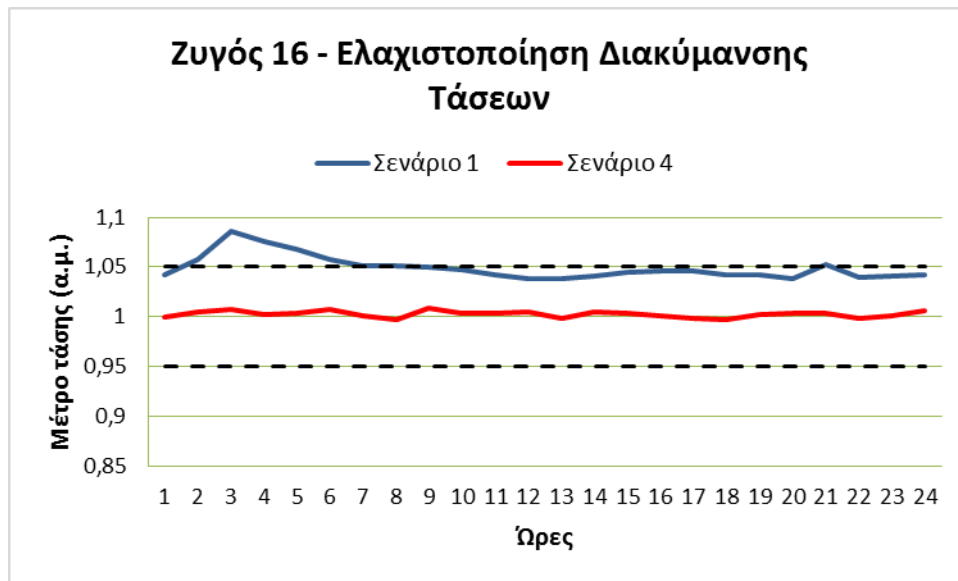
	Ενεργός ισχύς από τον Υ/Σ Υ/T-M/T (MW)	Παραγωγή ενεργού ισχύος από ΜΔΠ (MW)
Σενάριο 1 – Σενάριο Αναφοράς	-12,34	51,225
Σενάριο 4	15,49	23,175



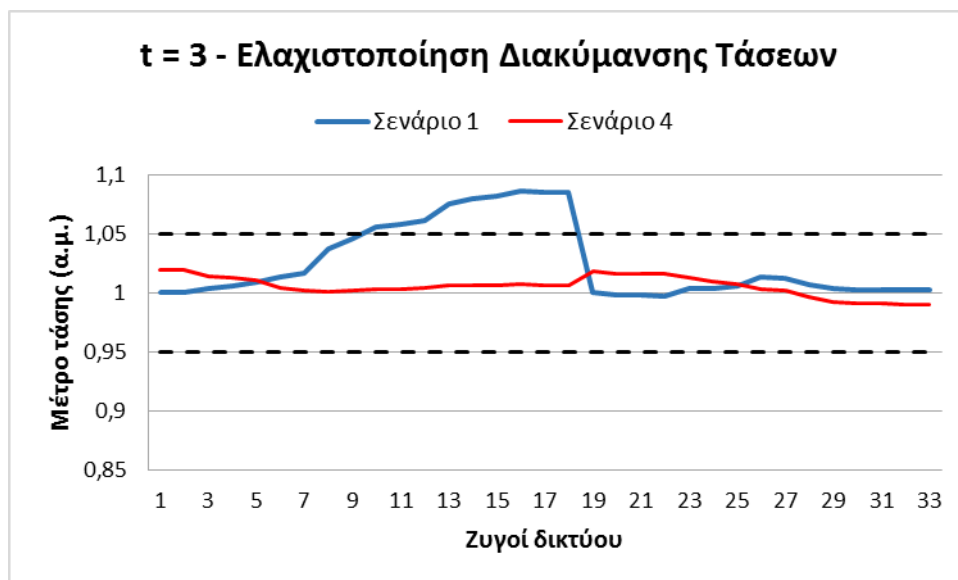
**Σχήμα 6.32:** Συγκριτικό διάγραμμα ενεργού ισχύος από τον Υ/Σ του δικτύου και παραγωγής ενεργού ισχύος από τις ΜΔΠ – Σενάριο 1 και Σενάριο 4 του δικτύου 33 ζυγών

Στο Σχήμα 6.33 παρουσιάζεται η εξέλιξη του μέτρου της τάσης του ζυγού 16 κατά τη διάρκεια των 24 ωρών, στον οποίο παρατηρείται η μέγιστη ανύψωση τάσης στο σενάριο 1 και αντίστοιχα παρουσιάζεται η βελτίωση του μέτρου της τάσης για το σενάριο 4.

Αντίστοιχα στο Σχήμα 6.34 παρουσιάζεται η εξέλιξη του μέτρου της τάσης όλων των ζυγών του δικτύου για την 3η ώρα, όπου αποτελεί τη χρονική στιγμή που παρατηρείται η μέγιστη ανύψωση τάσης στο σενάριο 1 και όμοια παρουσιάζεται για το σενάριο 4.



**Σχήμα 6.33:** Μέτρο τάσης (α.μ.) του ζυγού 16 (ζυγός με τη μεγαλύτερη ανύψωση τάσης για το Σενάριο 1) – Σενάριο 1 και 4 του δικτύου 33 ζυγών



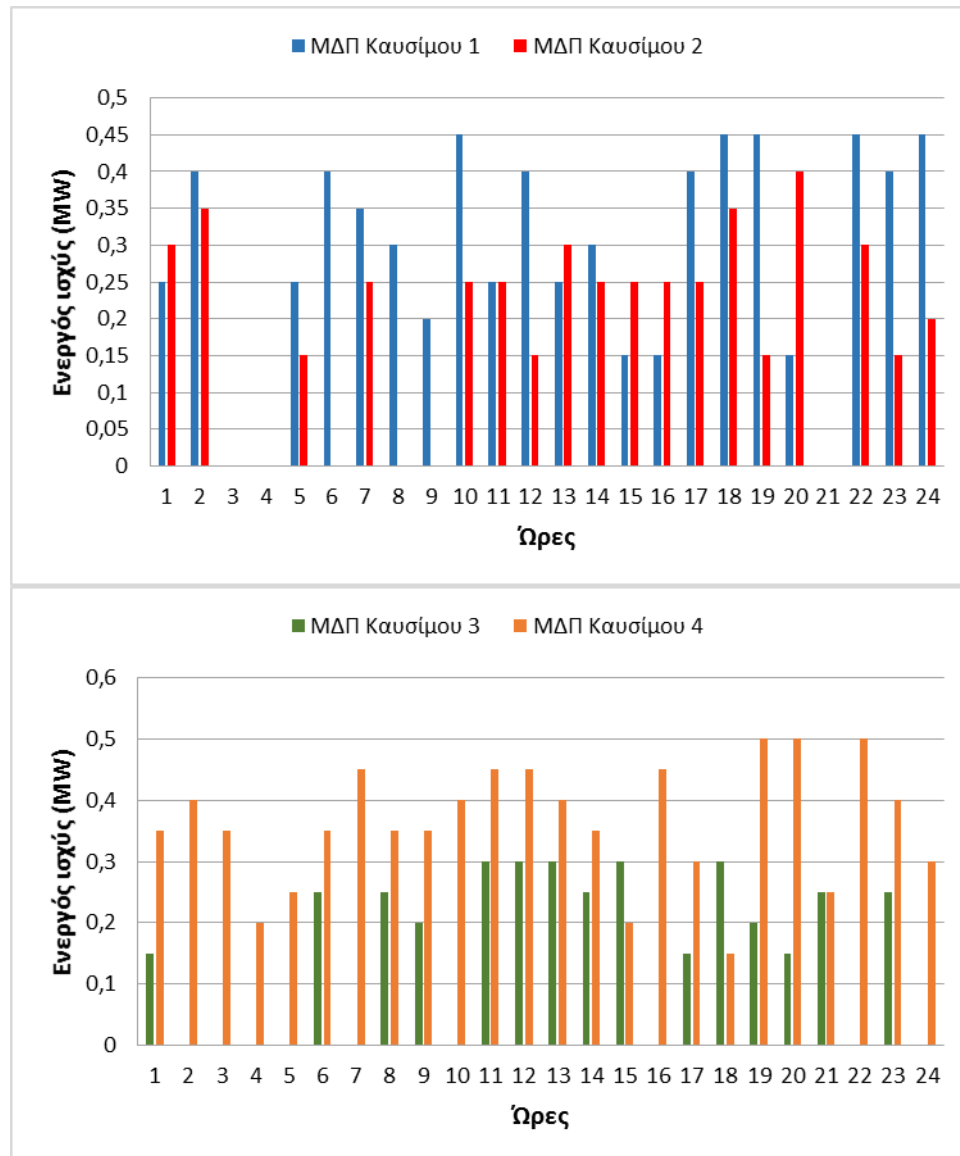
**Σχήμα 6.34:** Μέτρο τάσης (α.μ.) την ώρα  $t = 3$  (ώρα με τη μεγαλύτερη ανύψωση τάσης για το Σενάριο 1) – Σενάριο 1 και 4 του δικτύου 33 ζυγών

### 6.3.5.2 Αντικειμενική Συνάρτηση: Ελαχιστοποίηση των Συνολικών Απωλειών του Δικτύου των 33 Ζυγών

Στον Πίνακα 6.14 παρουσιάζονται οι τιμές ενεργού και άεργου ισχύος των ΜΔΠ καυσίμου για τη βέλτιστη λύση του σεναρίου και στα Σχήματα 6.35 και 6.36 απεικονίζονται διαγραμματικά.

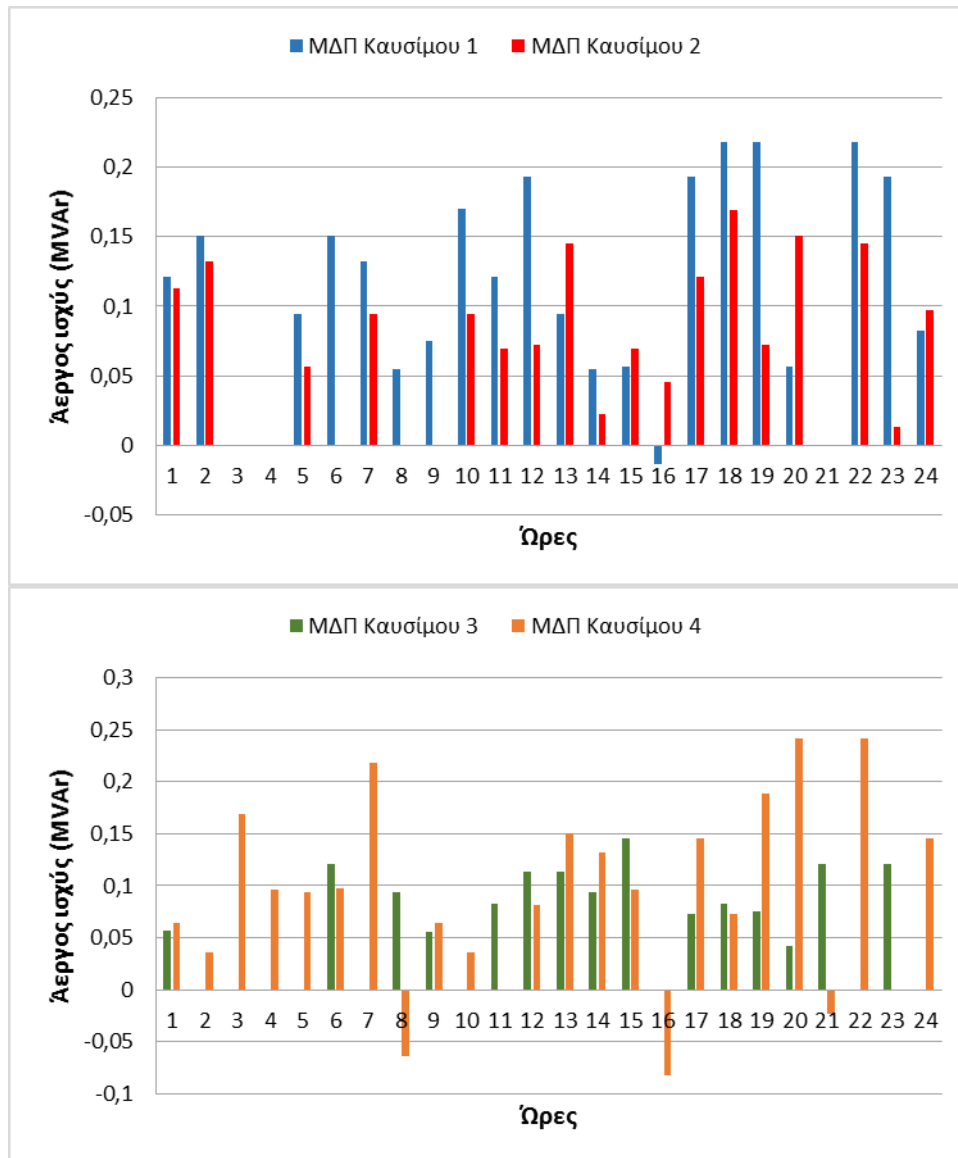
**Πίνακας 6.14:** Τιμές ενεργού και άεργου ισχύος ΜΔΠ καυσίμου για τη βέλτιστη λύση του σεναρίου 4 για το δίκτυο των 33 ζυγών

Ώρα	Ενεργός Ισχύς				Άεργος Ισχύς			
	ΜΔΠ Καυσίμου 1	ΜΔΠ Καυσίμου 2	ΜΔΠ Καυσίμου 3	ΜΔΠ Καυσίμου 4	ΜΔΠ Καυσίμου 1	ΜΔΠ Καυσίμου 2	ΜΔΠ Καυσίμου 3	ΜΔΠ Καυσίμου 4
1	0,25	0,3	0,15	0,35	0,12107	0,113181	0,056591	0,063795
2	0,4	0,35	0	0,4	0,150908	0,132045	0	0,036121
3	0	0	0	0,35	0	0	0	0,169498
4	0	0	0	0,2	0	0	0	0,096856
5	0,25	0,15	0	0,25	0,094318	0,056591	0	0,094318
6	0,4	0	0,25	0,35	0,150908	0	0,12107	0,097064
7	0,35	0,25	0	0,45	0,132045	0,094318	0	0,217926
8	0,3	0	0,25	0,35	0,054682	0	0,094318	-0,06386
9	0,2	0	0,2	0,35	0,075454	0	0,055465	0,063795
10	0,45	0,25	0	0,4	0,169772	0,094318	0	0,036121
11	0,25	0,25	0,3	0,45	0,12107	0,069331	0,083197	0
12	0,4	0,15	0,3	0,45	0,193712	0,072642	0,113181	0,082022
13	0,25	0,3	0,3	0,4	0,094318	0,145284	0,113181	0,150908
14	0,3	0,25	0,25	0,35	0,054682	0,022576	0,094318	0,132045
15	0,15	0,25	0,3	0,2	0,056591	0,069331	0,145284	0,096856
16	0,15	0,25	0	0,45	-0,01357	0,045568	0	-0,0821
17	0,4	0,25	0,15	0,3	0,193712	0,12107	0,072642	0,145284
18	0,45	0,35	0,3	0,15	0,217926	0,169498	0,083197	0,072642
19	0,45	0,15	0,2	0,5	0,217926	0,072642	0,075454	0,188635
20	0,15	0,4	0,15	0,5	0,056591	0,150908	0,041599	0,24214
21	0	0	0,25	0,25	0	0	0,12107	-0,02262
22	0,45	0,3	0	0,5	0,217926	0,145284	0	0,24214
23	0,4	0,15	0,25	0,4	0,193712	0,013545	0,12107	0
24	0,45	0,2	0	0,3	0,082022	0,096856	0	0,145284



Σχήμα 6.35: Ενεργός ισχύς ΜΔΠ καυσίμου βέλτιστης λύσης σεναρίου 4 για το δίκτυο των 33 ζυγών



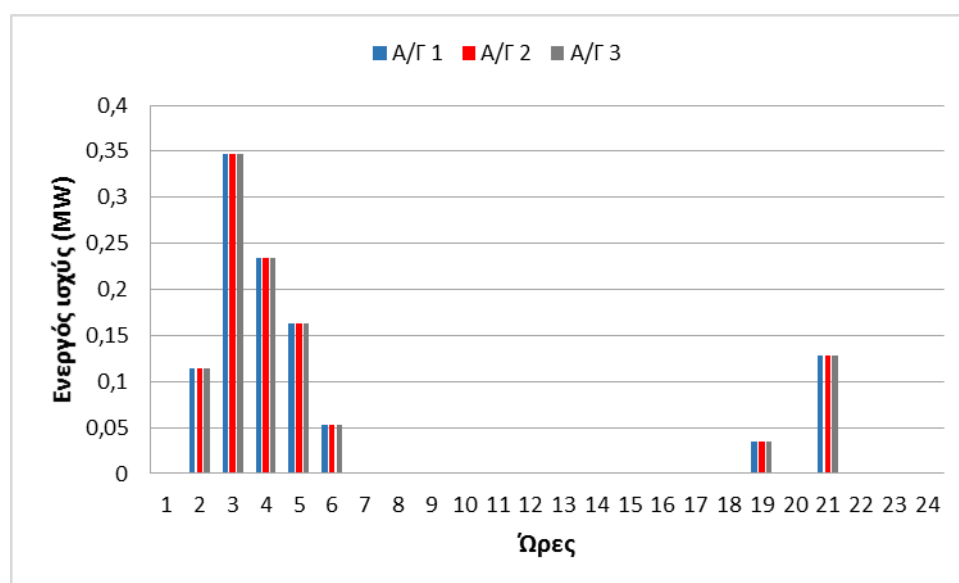


Σχήμα 6.36: Άεργος ισχύς ΜΔΠ καυσίμου βέλτιστης λύσης σεναρίου 4 για το δίκτυο των 33 ζυγών

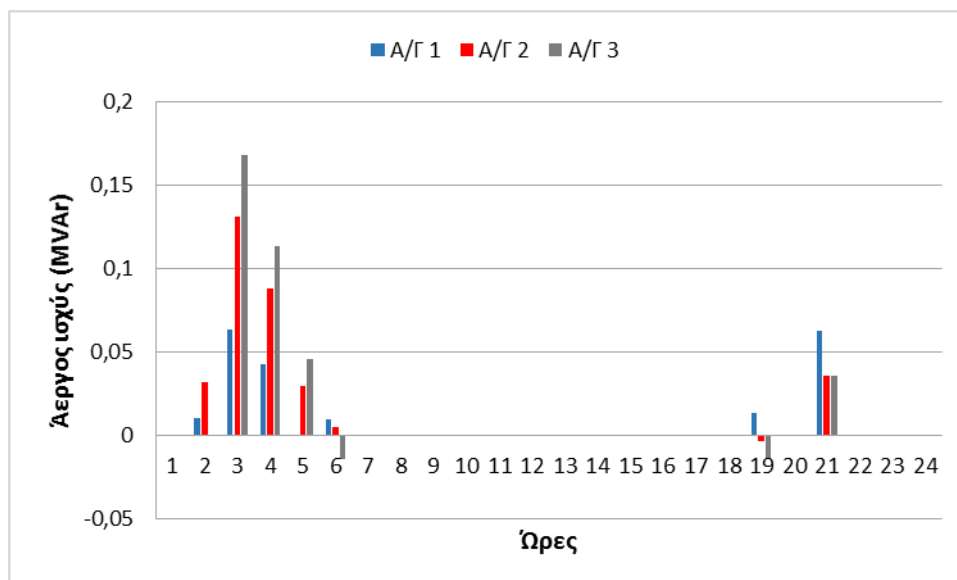
Στον Πίνακα 6.15 παρουσιάζονται οι τιμές ενεργού και άεργου (μεταβλητή ελέγχου) ισχύος των ανεμογεννητριών για τη βέλτιστη λύση του σεναρίου και στα Σχήματα 6.37 και 6.38 απεικονίζονται διαγραμματικά.

**Πίνακας 6.15:** Τιμές ενεργού και άεργου ισχύος ανεμογεννητριών για τη βέλτιστη λύση του σεναρίου 4 για το δίκτυο των 33 ζυγών

Ώρα	Ενεργός Ισχύς Α/Γ			Άεργος Ισχύς Α/Γ		
	Α/Γ 1	Α/Γ 2	Α/Γ 3	Α/Γ 1	Α/Γ 2	Α/Γ 3
1	0	0	0	0	0	0
2	0,11375	0,11375	0,11375	0,010272	0,031546	0
3	0,3475	0,3475	0,3475	0,063339	0,131101	0,168287
4	0,23375	0,23375	0,23375	0,042606	0,088187	0,113201
5	0,16375	0,16375	0,16375	0	0,029847	0,045412
6	0,0525	0,0525	0,0525	0,009569	0,004741	-0,01457
7	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0
19	0,035	0,035	0,035	0,013204	-0,00317	-0,01321
20	0	0	0	0	0	0
21	0,12875	0,12875	0,12875	0,062351	0,035706	0,035706
22	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0

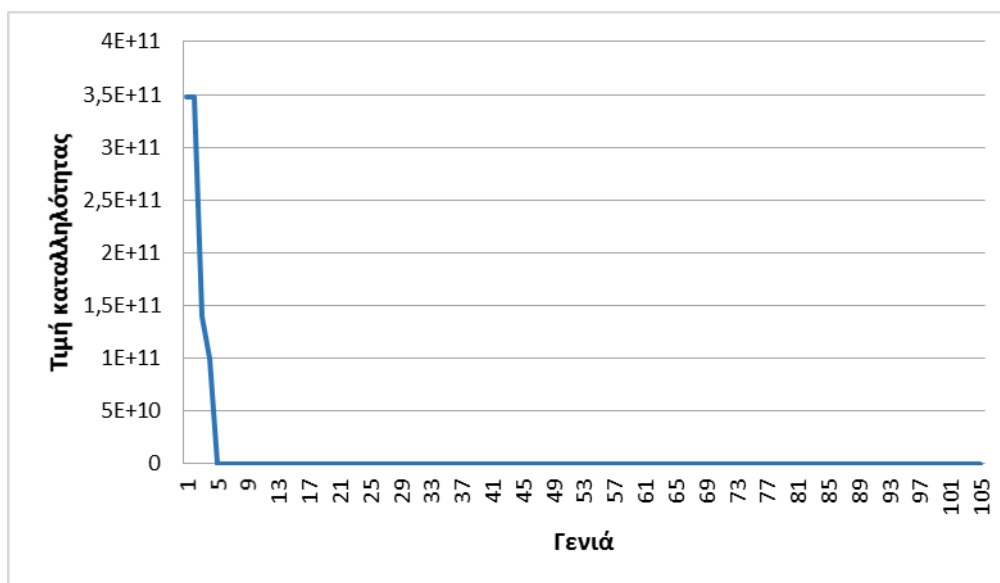


**Σχήμα 6.37:** Ενεργός ισχύς ανεμογεννητριών βέλτιστης λύσης σεναρίου 4 για το δίκτυο των 33 ζυγών

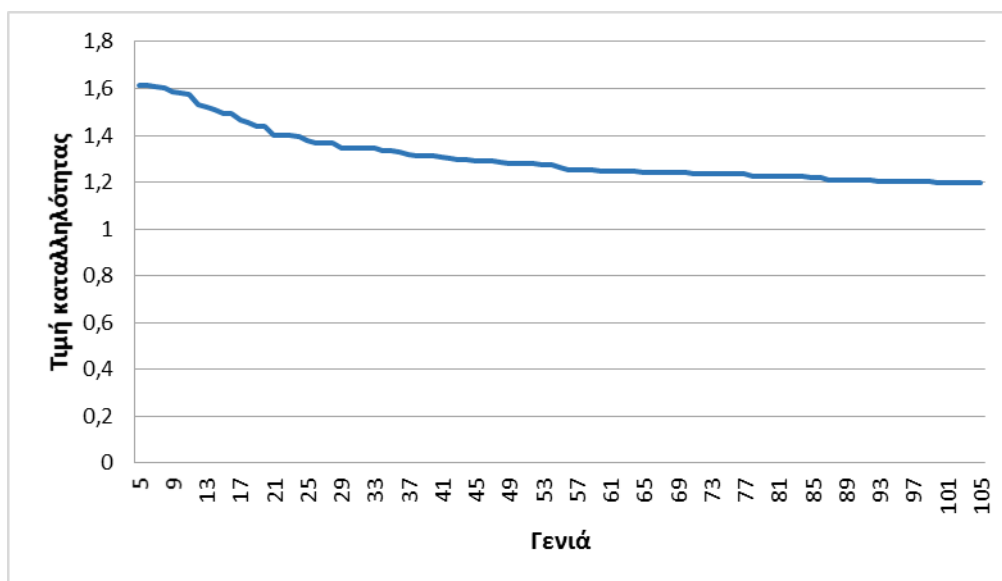


**Σχήμα 6.38:** Άεργος ισχύς ανεμογεννητριών βέλτιστης λύσης σεναρίου 4 για το δίκτυο των 33 ζυγών

Στα Σχήματα 6.39 και 6.40 φαίνεται πως μειώνεται η τιμή της συνάρτησης καταλληλότητας μέσα από τη διαδικασία του ακέραίου ΓΑ που χρησιμοποιήθηκε. Η τιμή καταλληλότητας δίνει μια εικόνα της μείωσης της αντικειμενικής συνάρτησης και ταυτίζεται με αυτή όταν δεν παραβιάζονται οι περιορισμοί, δηλαδή όταν δεν υπάρχει ποινή.



**Σχήμα 6.39:** Εξέλιξη τιμής καταλληλότητας καλύτερου χρωμοσώματος κάθε γενιάς στο ΓΑ για το σενάριο 4 για το δίκτυο 33 ζυγών



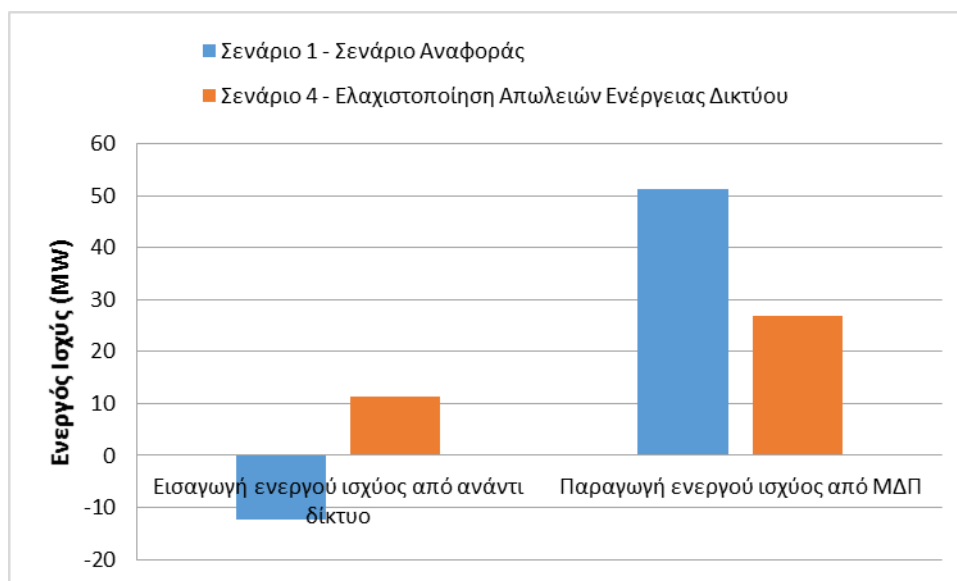
**Σχήμα 6.40:** Εξέλιξη τιμής καταλληλότητας καλύτερου χρωμοσώματος κάθε γενιάς στο ΓΑ για το σενάριο 4 για τις γενιές 5 έως 105 για το δίκτυο 33 ζυγών

Το συνολικό άθροισμα της διακύμανσης των τάσεων για τους κόμβους του δικτύου είναι 0,14, οι συνολικές απώλειες ενέργειας του δικτύου είναι 1,20 MWh και το συνολικό κόστος λειτουργίας του δικτύου είναι 4.548,5 €.

Οι τιμές της ενεργού ισχύος από τον Υ/Σ του δικτύου και η παραγωγή ενεργού ισχύος από ΜΔΠ για τα Σενάρια 1 και 4 παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.16. Ακολουθεί η διαγραμματική αναπαράσταση αυτών, στο Σχήμα 6.41. Στο Σενάριο 4 παρατηρείται αύξηση της εισερχόμενης ενεργού ισχύος από τον Υ/Σ του δικτύου και μείωση στην παραγωγή ενεργού ισχύος από ΜΔΠ που οφείλεται στον κατάλληλο χειρισμό των μεταβλητών ελέγχου του συγκεκριμένου σεναρίου.

**Πίνακας 6.16:** Ενεργός ισχύς από τον Υ/Σ του δικτύου και παραγωγή ενεργού ισχύος από τις ΜΔΠ – Σενάριο 1 και 4 του δικτύου των 33 ζυγών

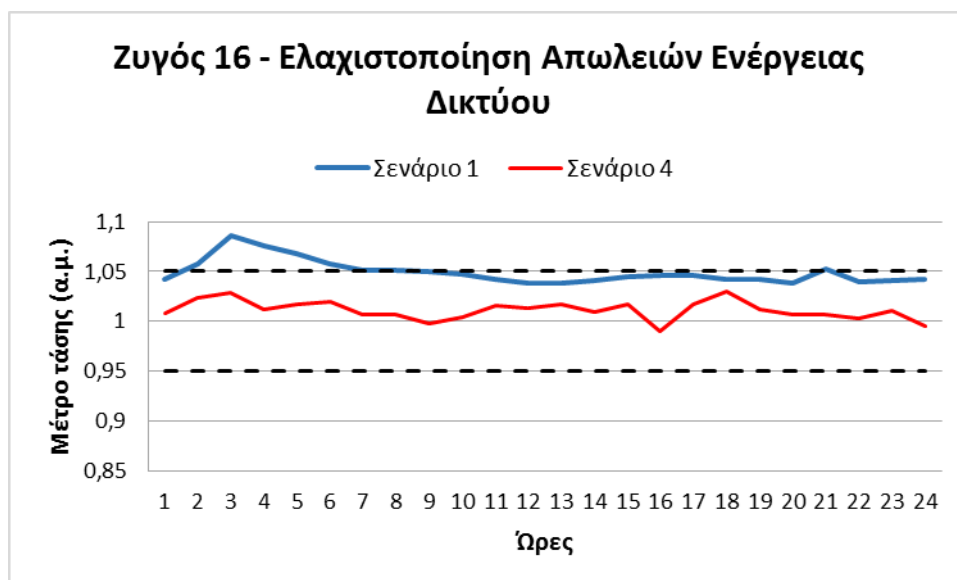
	Ενεργός ισχύς από τον Υ/Σ Υ/Τ-Μ/Τ (MW)	Παραγωγή ενεργού ισχύος από ΜΔΠ (MW)
Σενάριο 1 – Σενάριο Αναφοράς	-12,34	51,225
Σενάριο 4	11,35	26,875



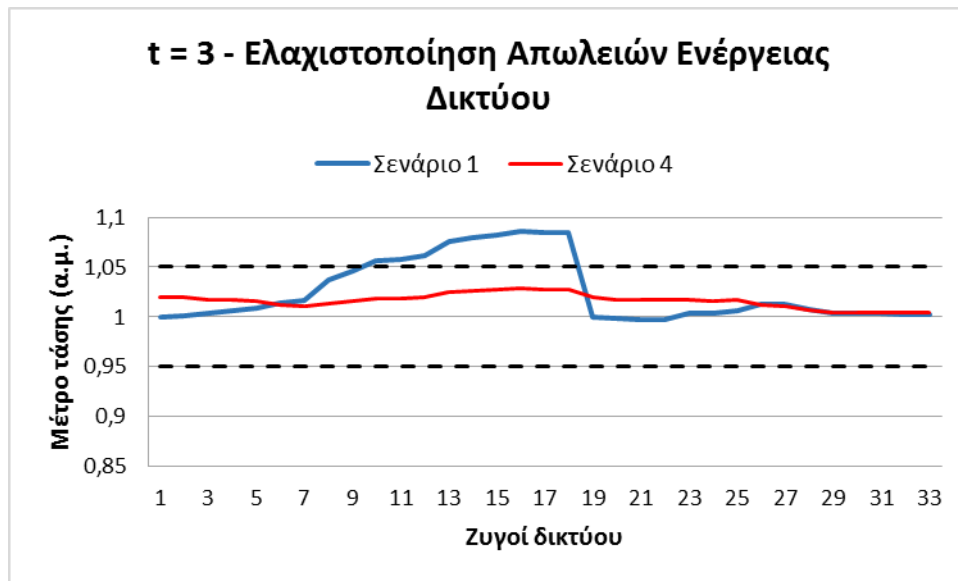
**Σχήμα 6.41:** Συγκριτικό διάγραμμα ενεργού ισχύος από το ανάντι δίκτυο και παραγωγής ενεργού ισχύος από τις ΜΔΠ – Σενάριο 1 και Σενάριο 4 του δικτύου 33 ζυγών

Στο Σχήμα 6.42 παρουσιάζεται η εξέλιξη του μέτρου της τάσης του ζυγού 16 κατά τη διάρκεια των 24 ωρών, στον οποίο παρατηρείται η μέγιστη ανύψωση τάσης στο σενάριο 1 και αντίστοιχα παρουσιάζεται η βελτίωση του μέτρου της τάσης για το σενάριο 4.

Αντίστοιχα στο Σχήμα 6.43 παρουσιάζεται η εξέλιξη του μέτρου της τάσης όλων των ζυγών του δικτύου για την 3η ώρα, όπου αποτελεί τη χρονική στιγμή που παρατηρείται η μέγιστη ανύψωση τάσης στο σενάριο 1 και όμοια παρουσιάζεται για το σενάριο 4.



**Σχήμα: 6.42:** Μέτρο τάσης (α.μ.) του ζυγού 16 (ζυγός με τη μεγαλύτερη ανύψωση τάσης για το Σενάριο 1) – Σενάριο 1 και 4 του δικτύου 33 ζυγών



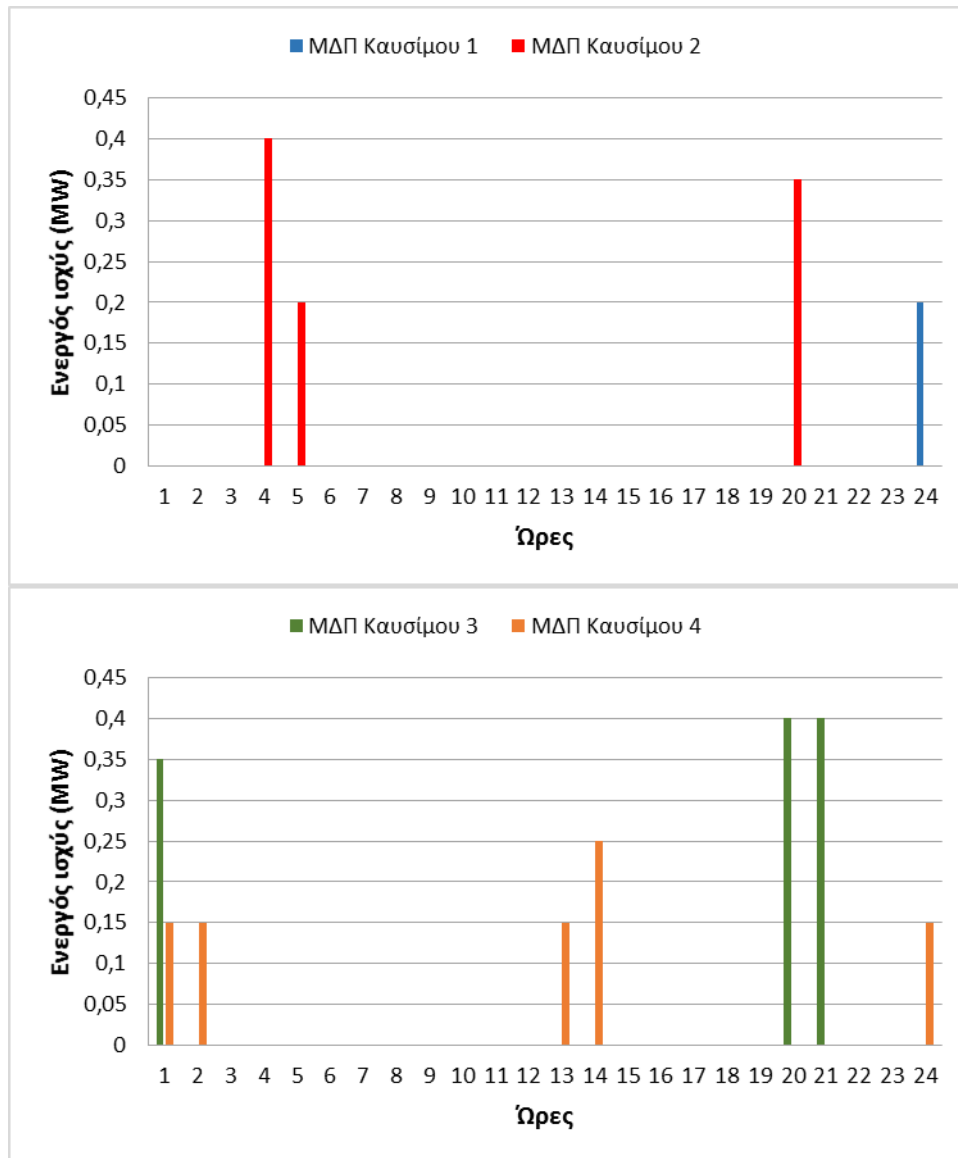
**Σχήμα 6.43:** Μέτρο τάσης (α.μ.) την ώρα  $t = 3$  (ώρα με τη μεγαλύτερη ανύψωση τάσης για το Σενάριο 1) – Σενάριο 1 και 4 του δικτύου 33 ζυγών

### 6.3.5.3 Αντικειμενική Συνάρτηση: Ελαχιστοποίηση του Κόστους Λειτουργίας του Δικτύου των 33 Ζυγών

Στον Πίνακα 6.17 παρουσιάζονται οι τιμές ενεργού και άεργου ισχύος των ΜΔΠ καυσίμου για τη βέλτιστη λύση του σεναρίου και στα Σχήματα 6.41 και 6.42 απεικονίζονται διαγραμματικά.

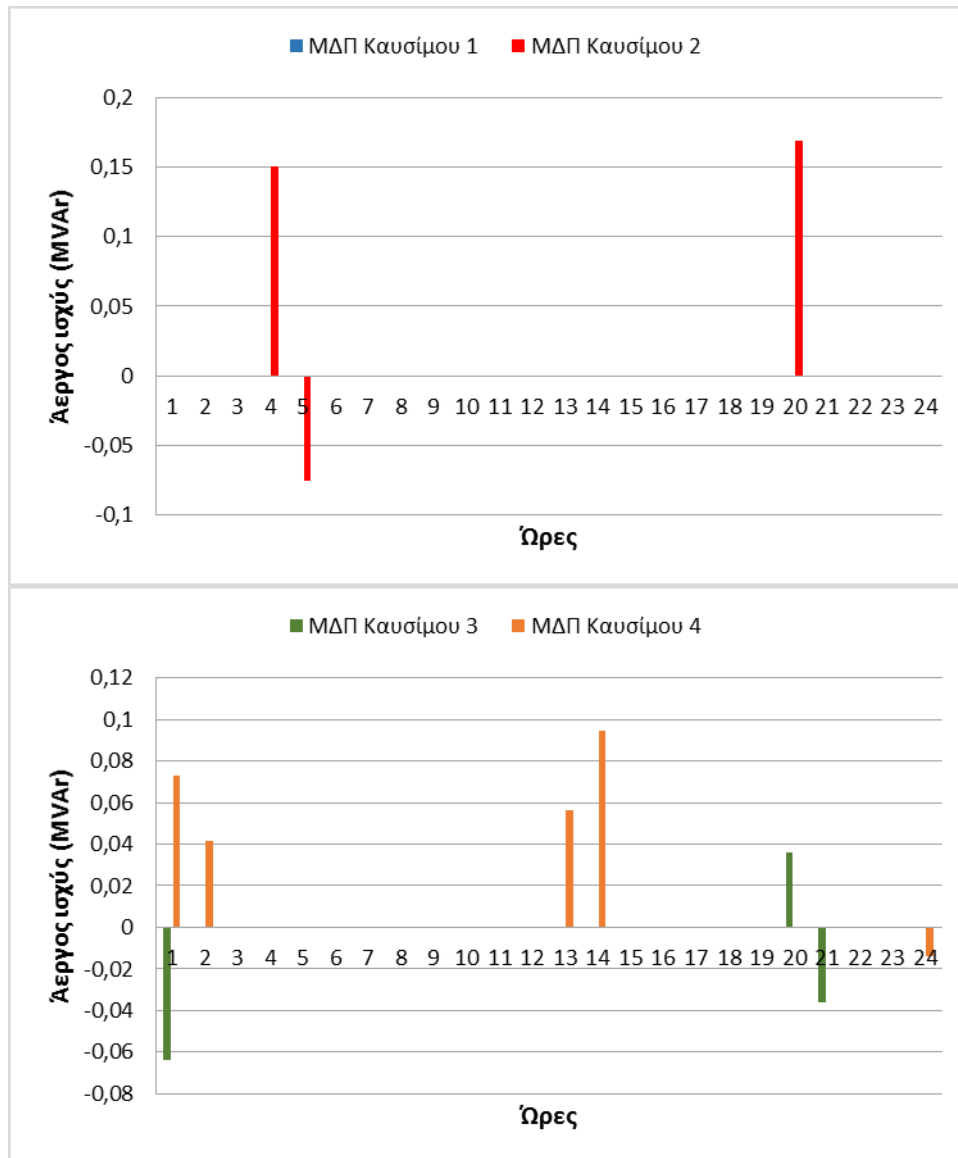
**Πίνακας 6.17:** Τιμές ενεργού και άεργου ισχύος ΜΔΠ καυσίμου για τη βέλτιστη λύση του σεναρίου 4 για το δίκτυο των 33 ζυγών

Ώρα	Ενεργός Ισχύς				Άεργος Ισχύς			
	ΜΔΠ Καυσίμου 1	ΜΔΠ Καυσίμου 2	ΜΔΠ Καυσίμου 3	ΜΔΠ Καυσίμου 4	ΜΔΠ Καυσίμου 1	ΜΔΠ Καυσίμου 2	ΜΔΠ Καυσίμου 3	ΜΔΠ Καυσίμου 4
1	0	0	0,35	0,15	0	0	-0,06386	0,072642
2	0	0	0	0,15	0	0	0	0,041599
3	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0,4	0	0	0	0,150908	0	0
5	0	0,2	0	0	0	-0,07549	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0,15	0	0	0	0,056591
14	0	0	0	0,25	0	0	0	0,094318
15	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0,35	0,4	0	0	0,169498	0,036121	0
21	0	0	0,4	0	0	0	-0,03619	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0,2	0	0	0,15	0	0	0	-0,01357



Σχήμα 6.41: Ενεργός ισχύς ΜΔΠ καυσίμου βέλτιστης λύσης σεναρίου 4 για το δίκτυο των 33 ζυγών



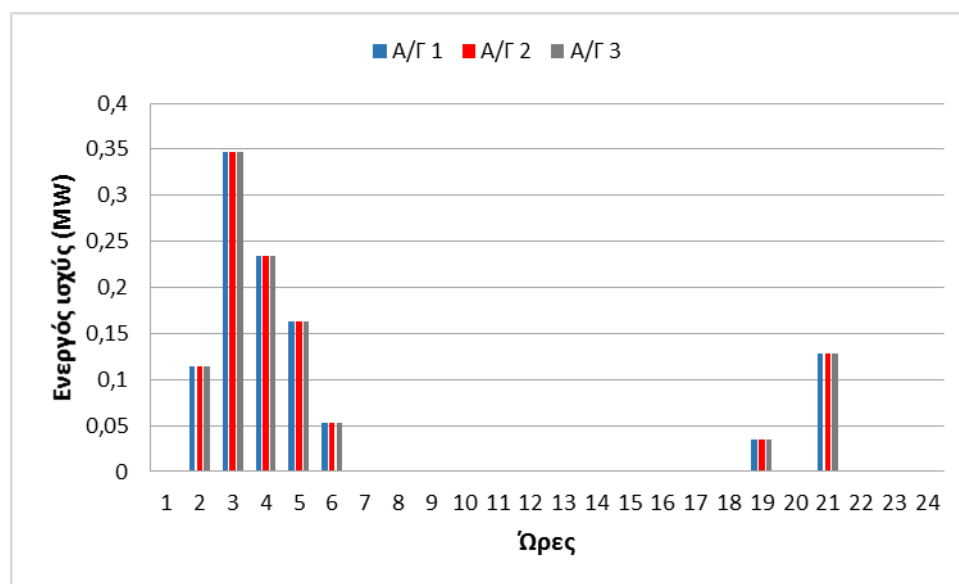


Σχήμα 6.42: Άεργος ισχύς ΜΔΠ καυσίμου βέλτιστης λύσης σεναρίου 4 για το δίκτυο των 33 ζυγών

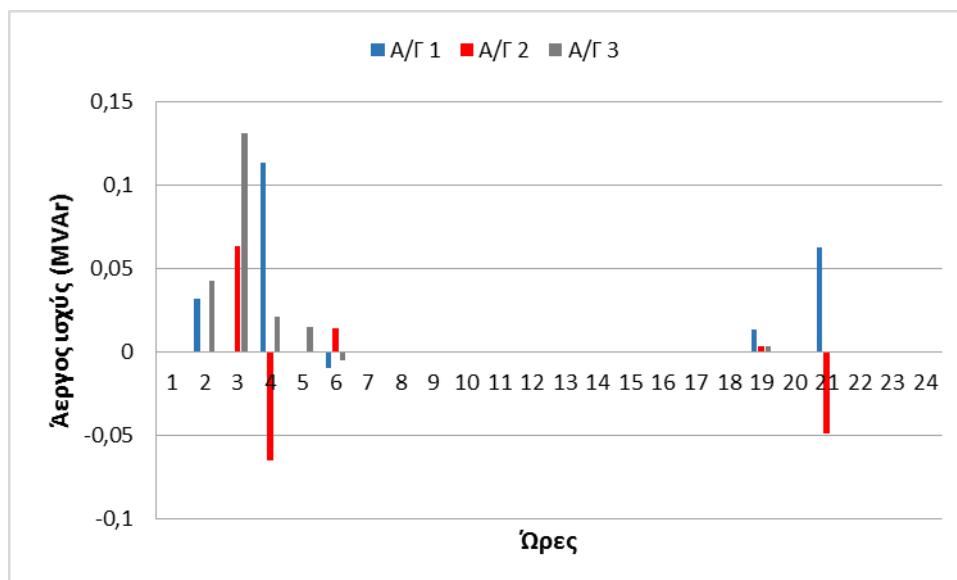
Στον Πίνακα 6.18 παρουσιάζονται οι τιμές ενεργού και άεργου (μεταβλητή ελέγχου) ισχύος των ανεμογεννητριών για τη βέλτιστη λύση του σεναρίου και στα Σχήματα 6.43 και 6.44 απεικονίζονται διαγραμματικά.

**Πίνακας 6.18:** Τιμές ενεργού και άεργου ισχύος ανεμογεννητριών για τη βέλτιστη λύση του σεναρίου 4 για το δίκτυο των 33 ζυγών

Ώρα	Ενεργός Ισχύς Α/Γ			Άεργος Ισχύς Α/Γ		
	Α/Γ 1	Α/Γ 2	Α/Γ 3	Α/Γ 1	Α/Γ 2	Α/Γ 3
1	0	0	0	0	0	0
2	0,11375	0,11375	0,11375	0,031546	0	0,042914
3	0,3475	0,3475	0,3475	0	0,063339	0,131101
4	0,23375	0,23375	0,23375	0,113201	-0,06487	0,021108
5	0,16375	0,16375	0,16375	0	0	0,014787
6	0,0525	0,0525	0,0525	-0,00958	0,01456	-0,00475
7	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0
19	0,035	0,035	0,035	0,013204	0,003161	0,003161
20	0	0	0	0	0	0
21	0,12875	0,12875	0,12875	0,062351	-0,0486	0
22	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0

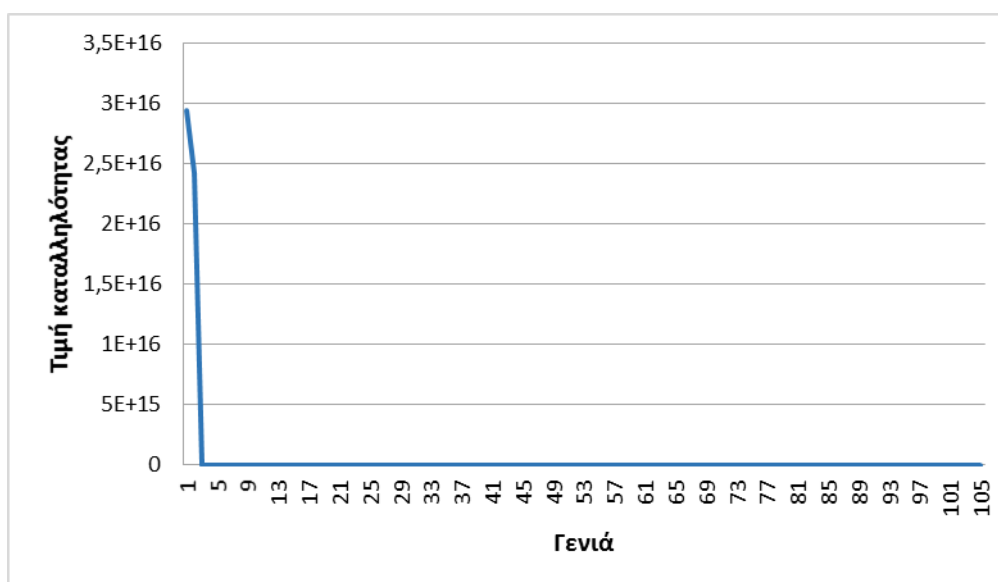


**Σχήμα 6.43:** Ενεργός ισχύς ανεμογεννητριών βέλτιστης λύσης σεναρίου 4 για το δίκτυο των 33 ζυγών

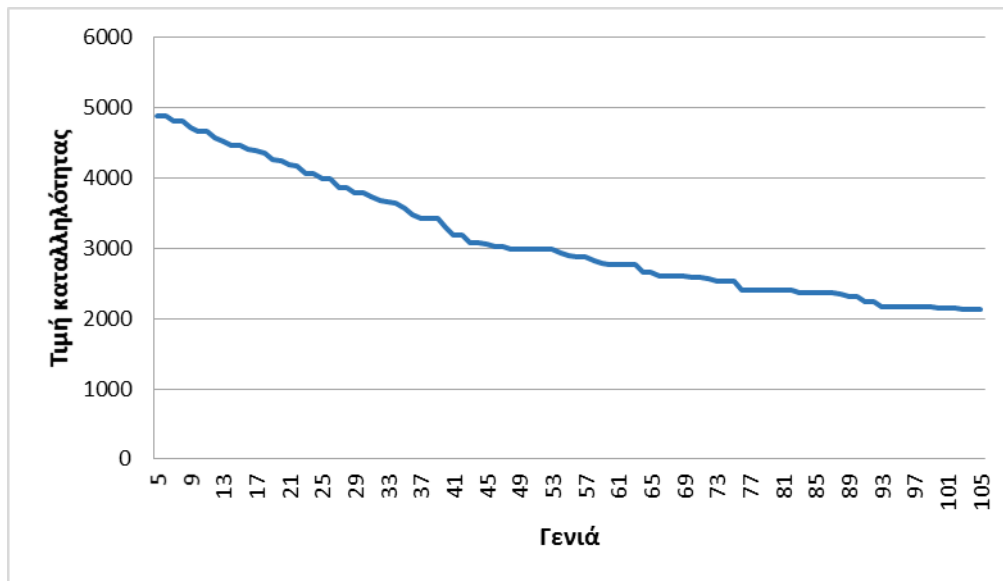


**Σχήμα 6.44:** Άεργος ισχύς ανεμογεννητριών βέλτιστης λύσης σεναρίου 4 για το δίκτυο των 33 ζυγών

Στα Σχήματα 6.45 και 6.46 φαίνεται πως μειώνεται η τιμή της συνάρτησης καταλληλότητας μέσα από τη διαδικασία του ακέραίου ΓΑ που χρησιμοποιήθηκε. Η τιμή καταλληλότητας δίνει μια εικόνα της μείωσης της αντικειμενικής συνάρτησης και ταυτίζεται με αυτή όταν δεν παραβιάζονται οι περιορισμοί, δηλαδή όταν δεν υπάρχει ποινή.



**Σχήμα 6.45:** Εξέλιξη τιμής καταλληλότητας καλύτερου χρωμοσώματος κάθε γενιάς στο ΓΑ για το σενάριο 4 για το δίκτυο 33 ζυγών



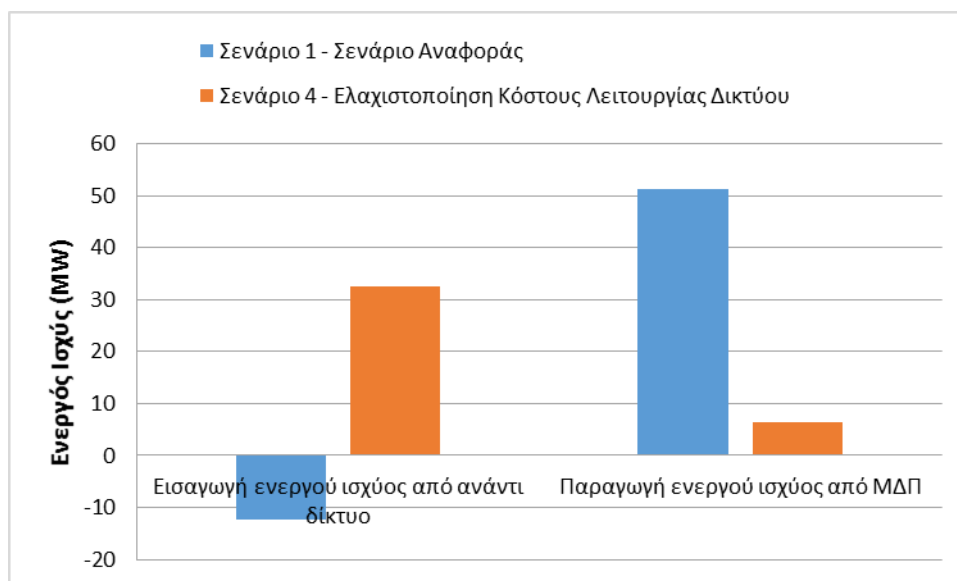
**Σχήμα 6.46:** Εξέλιξη τιμής καταλληλότητας καλύτερου χρωμοσώματος κάθε γενιάς στο ΓΑ για το σενάριο 4 για τις γενιές 5 έως 105 για το δίκτυο 33 ζυγών

Το συνολικό άθροισμα της διακύμανσης των τάσεων για τους κόμβους του δικτύου είναι 0,30, οι συνολικές απώλειες ενέργειας του δικτύου είναι 1,87 MWh και το συνολικό κόστος λειτουργίας του δικτύου είναι 1.926,1 €.

Οι τιμές της ενεργού ισχύος από τον Υ/Σ του δικτύου και η παραγωγή ενεργού ισχύος από ΜΔΠ για τα Σενάρια 1 και 4 παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.19. Ακολουθεί η διαγραμματική αναπαράσταση αυτών, στο Σχήμα 6.47. Στο Σενάριο 4 παρατηρείται αύξηση της εισερχόμενης ενεργού ισχύος από τον Υ/Σ του δικτύου και μείωση στην παραγωγή ενεργού ισχύος από ΜΔΠ που οφείλεται στον κατάλληλο χειρισμό των μεταβλητών ελέγχου του συγκεκριμένου σεναρίου.

**Πίνακας 6.19:** Ενεργός ισχύς από τον Υ/Σ του δικτύου και παραγωγή ενεργού ισχύος από τις ΜΔΠ – Σενάριο 1 και 4 του δικτύου των 33 ζυγών

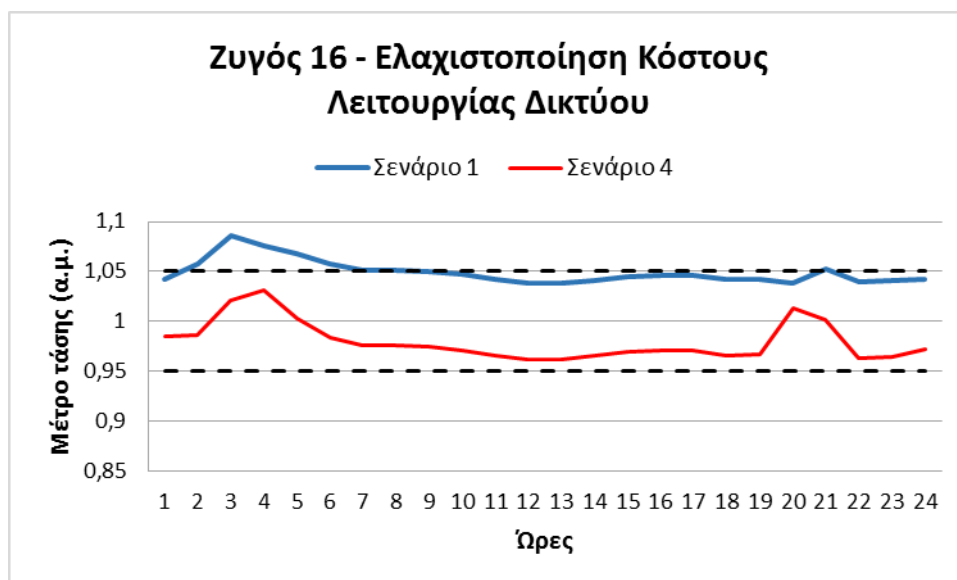
	Ενεργός ισχύς από τον Υ/Σ Υ/Τ-Μ/Τ (MW)	Παραγωγή ενεργού ισχύος από ΜΔΠ (MW)
Σενάριο 1 – Σενάριο Αναφοράς	-12,34	51,225
Σενάριο 4	32,53	6,375



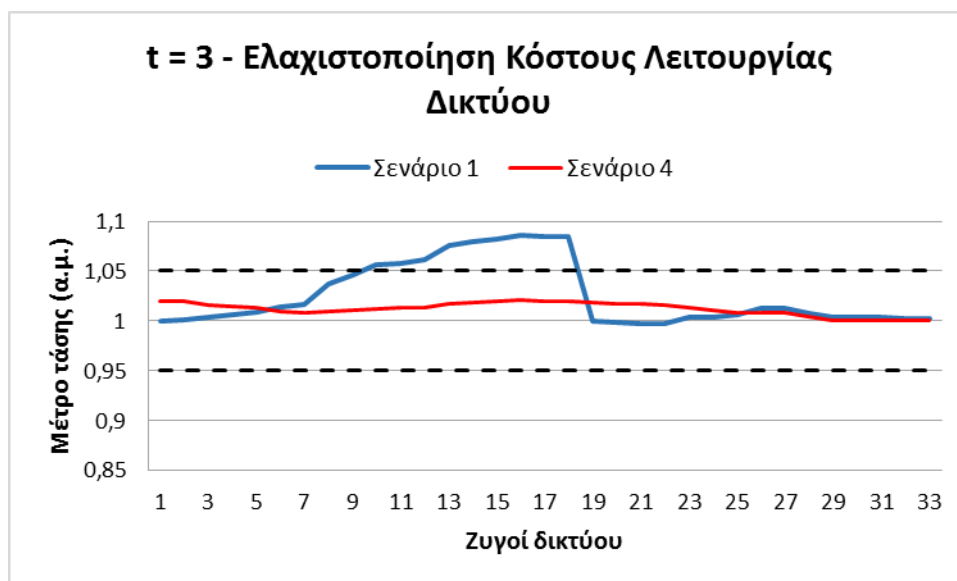
**Σχήμα 6.47:** Συγκριτικό διάγραμμα ενεργού ισχύος από το ανάντι δίκτυο και παραγωγής ενεργού ισχύος από τις ΜΔΠ – Σενάριο 1 και Σενάριο 4 του δικτύου 33 ζυγών

Στο Σχήμα 6.48 παρουσιάζεται η εξέλιξη του μέτρου της τάσης του ζυγού 16 κατά τη διάρκεια των 24 ωρών, στον οποίο παρατηρείται η μέγιστη ανύψωση τάσης στο σενάριο 1 και αντίστοιχα παρουσιάζεται η βελτίωση του μέτρου της τάσης για το σενάριο 4.

Αντίστοιχα στο Σχήμα 6.49 παρουσιάζεται η εξέλιξη του μέτρου της τάσης όλων των ζυγών του δικτύου για την 3η ώρα, όπου αποτελεί τη χρονική στιγμή που παρατηρείται η μέγιστη ανύψωση τάσης στο σενάριο 1 και όμοια παρουσιάζεται για το σενάριο 4.



**Σχήμα: 6.48:** Μέτρο τάσης (α.μ.) του ζυγού 16 (ζυγός με τη μεγαλύτερη ανύψωση τάσης για το Σενάριο 1) – Σενάριο 1 και 4 του δικτύου 33 ζυγών



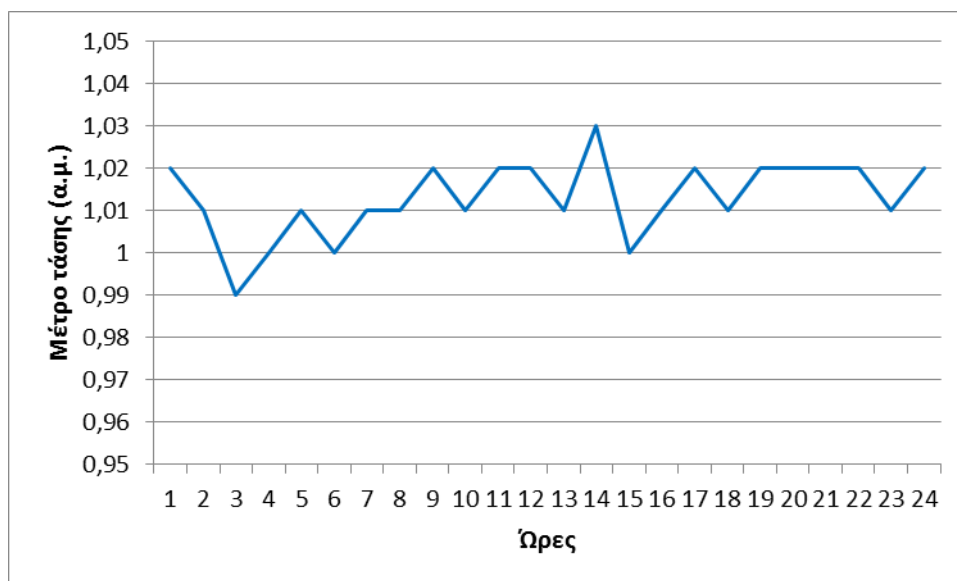
**Σχήμα 6.49:** Μέτρο τάσης (α.μ.) την ώρα  $t = 3$  (ώρα με τη μεγαλύτερη ανύψωση τάσης για το Σενάριο 1) – Σενάριο 1 και 4 του δικτύου 33 ζυγών

### 6.3.6 Επίδραση Σεναρίου 5 στο Δίκτυο των 33 Ζυγών

Στο σενάριο 5 οι ανεμογεννήτριες λειτουργούν στο μέγιστο της ισχύος εξόδου τους η οποία εξαρτάται από την καμπύλη του ανέμου. Οι μεταβλητές ελέγχου για το συγκεκριμένο σενάριο για το δίκτυο των 33 ζυγών είναι η τάση στο ΣΑΤΥΦ, η ενεργός και άεργος ισχύς των ΜΔΠ καυσίμου και η άεργος ισχύς των ανεμογεννητριών. Στο σενάριο 5 γίνεται βελτιστοποίηση του ημερήσιου προγραμματισμού έχοντας διαθέσιμες τρεις αντικειμενικές συναρτήσεις: ελαχιστοποίηση του αθροίσματος της διακύμανσης των τάσεων στους κόμβους του δικτύου, ελαχιστοποίηση των συνολικών απωλειών ενέργειας του δικτύου και ελαχιστοποίηση του κόστους λειτουργίας του δικτύου.

#### 6.3.6.1 Αντικειμενική Συνάρτηση: Ελαχιστοποίηση του Αθροίσματος της Διακύμανσης των Τάσεων στους Κόμβους του Δικτύου των 33 Ζυγών

Στο Σχήμα 6.49 απεικονίζονται διαγραμματικά οι τιμές της τάσης στο ΣΑΤΥΦ για τη βέλτιστη λύση του Σεναρίου 5 των 33 ζυγών. Στον Πίνακα 6.20 παρουσιάζονται οι τιμές ενεργού και άεργου ισχύος των ΜΔΠ καυσίμου για τη βέλτιστη λύση του σεναρίου και στα Σχήματα 6.50 και 6.51 απεικονίζονται διαγραμματικά.

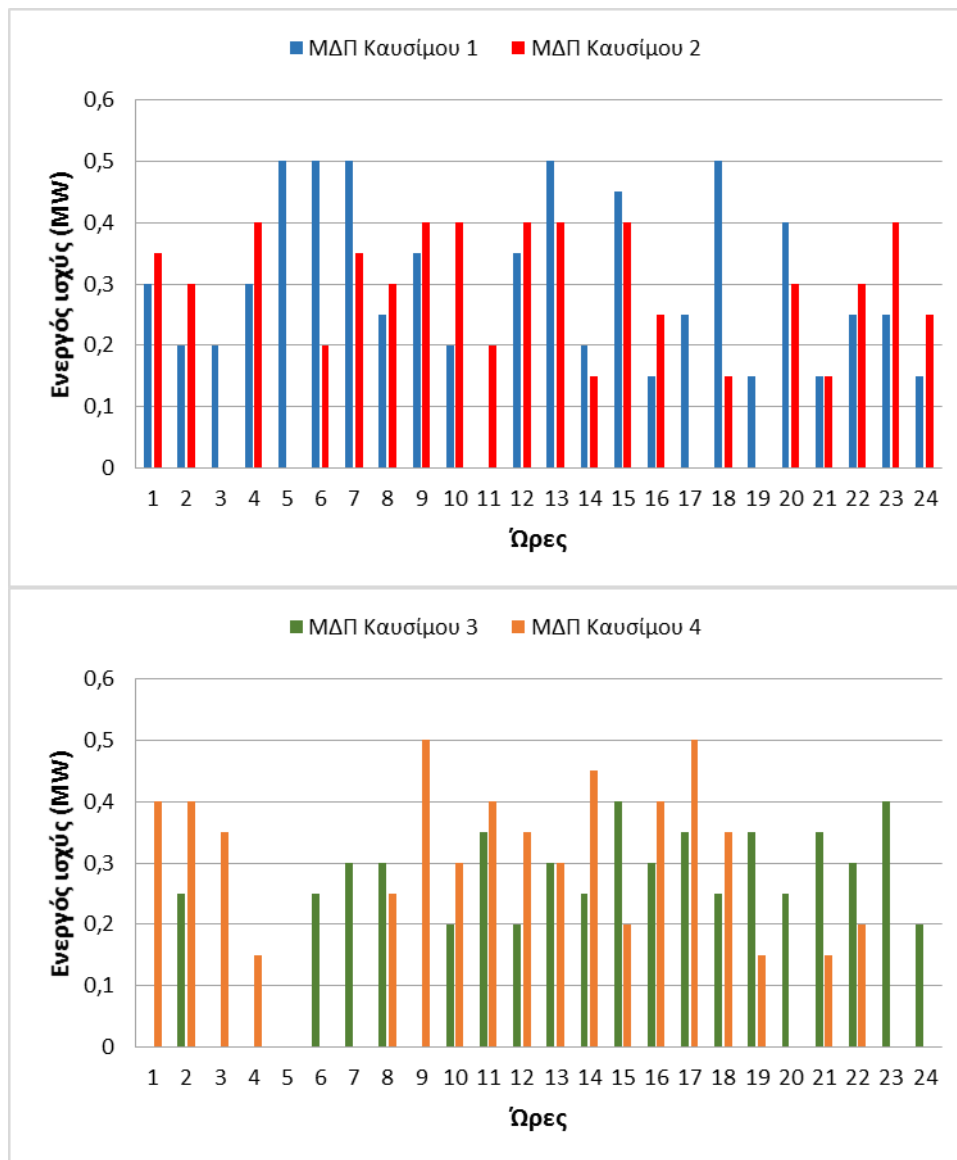


Σχήμα 6.49: Μέτρο τάσης (α.μ.) στο ΣΑΤΥΦ βέλτιστης λύσης Σεναρίου 5 για το δίκτυο των 33 ζυγών

Πίνακας 6.20: Τιμές ενεργού και άεργου ισχύος ΜΔΠ καυσίμου για τη βέλτιστη λύση του σεναρίου 5 για το δίκτυο των 33 ζυγών

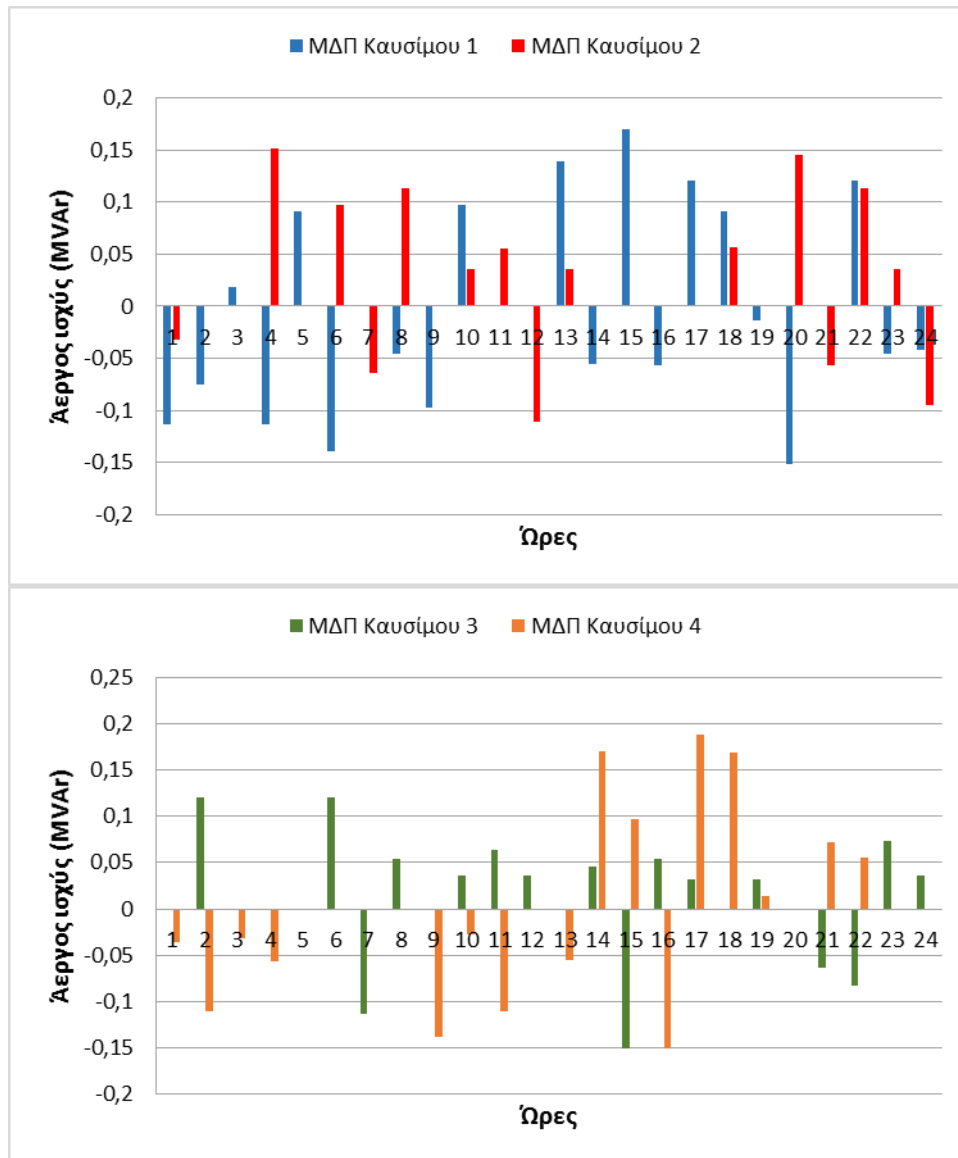
Ώρα	Ενεργός Ισχύς				Άεργος Ισχύς			
	ΜΔΠ Καυσίμου 1	ΜΔΠ Καυσίμου 2	ΜΔΠ Καυσίμου 3	ΜΔΠ Καυσίμου 4	ΜΔΠ Καυσίμου 1	ΜΔΠ Καυσίμου 2	ΜΔΠ Καυσίμου 3	ΜΔΠ Καυσίμου 4
1	0,3	0,35	0	0,4	-0,11324	-0,03167	0	-0,03619
2	0,2	0,3	0,25	0,4	-0,07549	0	0,12107	-0,11101
3	0,2	0	0	0,35	0,018061	0	0	-0,03167
4	0,3	0,4	0	0,15	-0,11324	0,150908	0	-0,05662
5	0,5	0	0	0	0,091136	0	0	0
6	0,5	0,2	0,25	0	-0,13876	0,096856	0,12107	0
7	0,5	0,35	0,3	0	0	-0,06386	-0,11324	0
8	0,25	0,3	0,3	0,25	-0,04561	0,113181	0,054682	0
9	0,35	0,4	0	0,5	-0,09713	0	0	-0,13876
10	0,2	0,4	0,2	0,3	0,096856	0,036121	0,036454	-0,02714
11	0	0,2	0,35	0,4	0	0,055465	0,063795	-0,11101
12	0,35	0,4	0,2	0,35	0	-0,11101	0,036454	0
13	0,5	0,4	0,3	0,3	0,138662	0,036121	0	-0,05474
14	0,2	0,15	0,25	0,45	-0,0555	0	0,045568	0,169772
15	0,45	0,4	0,4	0,2	0,169772	0	-0,15099	0,096856
16	0,15	0,25	0,3	0,4	-0,05662	0	0,054682	-0,15099
17	0,25	0	0,35	0,5	0,12107	0	0,031606	0,188635
18	0,5	0,15	0,25	0,35	0,091136	0,056591	0	0,169498
19	0,15	0	0,35	0,15	-0,01357	0	0,031606	0,013545
20	0,4	0,3	0,25	0	-0,15099	0,145284	0	0
21	0,15	0,15	0,35	0,15	0	-0,05662	-0,06386	0,072642

Ώρα	Ενεργός Ισχύς				Άεργος Ισχύς			
	ΜΔΠ Καυσίμου 1	ΜΔΠ Καυσίμου 2	ΜΔΠ Καυσίμου 3	ΜΔΠ Καυσίμου 4	ΜΔΠ Καυσίμου 1	ΜΔΠ Καυσίμου 2	ΜΔΠ Καυσίμου 3	ΜΔΠ Καυσίμου 4
22	0,25	0,3	0,3	0,2	0,12107	0,113181	-0,08325	0,055465
23	0,25	0,4	0,4	0	-0,04561	0,036121	0,072909	0
24	0,15	0,25	0,2	0	-0,04163	-0,09437	0,036454	0



Σχήμα 6.50: Ενεργός ισχύς ΜΔΠ καυσίμου βέλτιστης λύσης σεναρίου 5 για το δίκτυο των 33 ζυγών



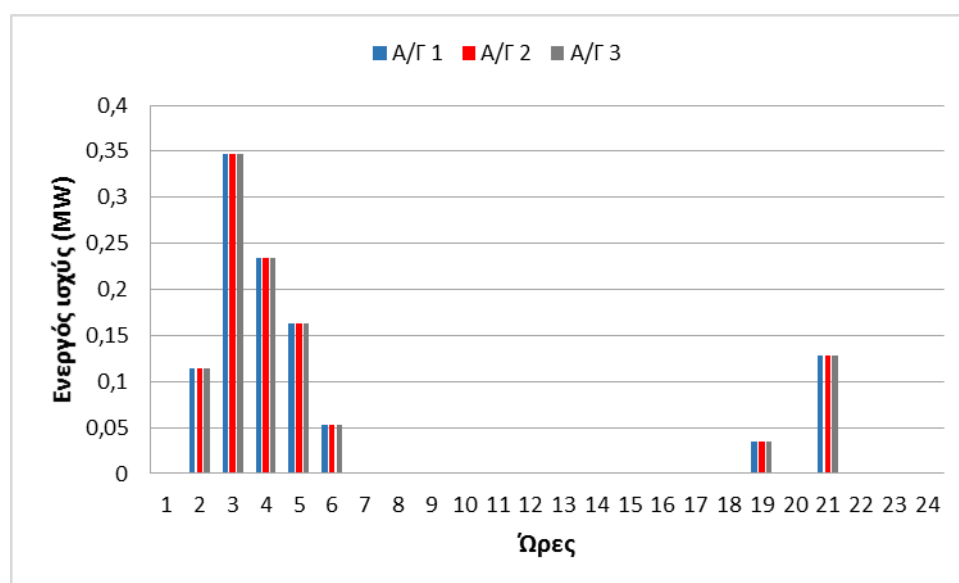


Σχήμα 6.51: Άεργος ισχύς ΜΔΠ καυσίμου βέλτιστης λύσης σεναρίου 5 για το δίκτυο των 33 ζυγών

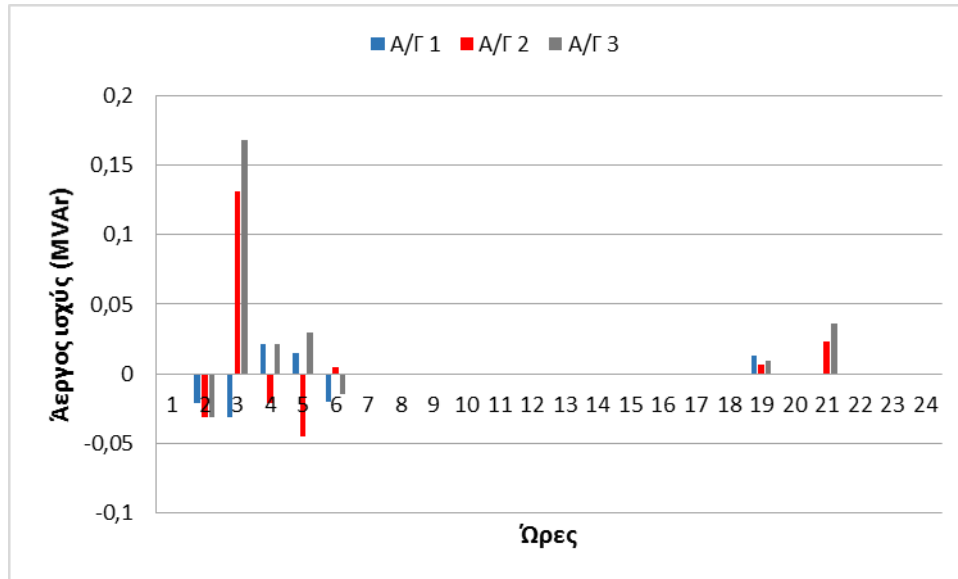
Στον Πίνακα 6.21 παρουσιάζονται οι τιμές ενεργού και άεργου (μεταβλητή ελέγχου) ισχύος των ανεμογεννητριών για τη βέλτιστη λύση του σεναρίου και στα Σχήματα 6.52 και 6.53 απεικονίζονται διαγραμματικά.

**Πίνακας 6.21:** Τιμές ενεργού και άεργου ισχύος ανεμογεννητριών για τη βέλτιστη λύση του σεναρίου 5 για το δίκτυο των 33 ζυγών

Ώρα	Ενεργός Ισχύς Α/Γ			Άεργος Ισχύς Α/Γ		
	Α/Γ 1	Α/Γ 2	Α/Γ 3	Α/Γ 1	Α/Γ 2	Α/Γ 3
1	0	0	0	0	0	0
2	0,11375	0,11375	0,11375	-0,02075	-0,03157	-0,03157
3	0,3475	0,3475	0,3475	-0,03144	0,131101	0,168287
4	0,23375	0,23375	0,23375	0,021108	-0,02115	0,021108
5	0,16375	0,16375	0,16375	0,014787	-0,04544	0,029847
6	0,0525	0,0525	0,0525	-0,01982	0,004741	-0,01457
7	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0
19	0,035	0,035	0,035	0,013204	0,00638	0,009706
20	0	0	0	0	0	0
21	0,12875	0,12875	0,12875	0	0,023467	0,035706
22	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0

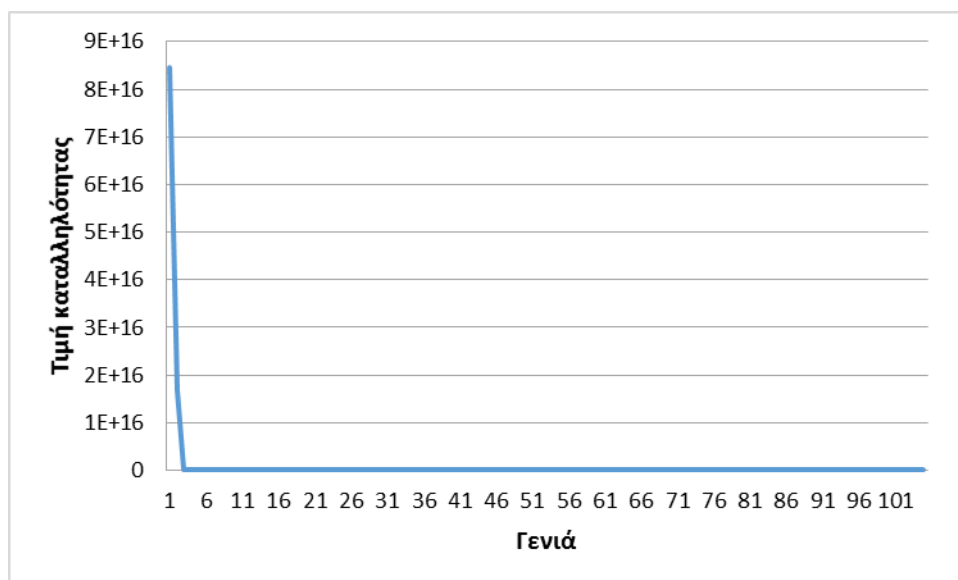


**Σχήμα 6.52:** Ενεργός ισχύς ανεμογεννητριών βέλτιστης λύσης σεναρίου 5 για το δίκτυο των 33 ζυγών

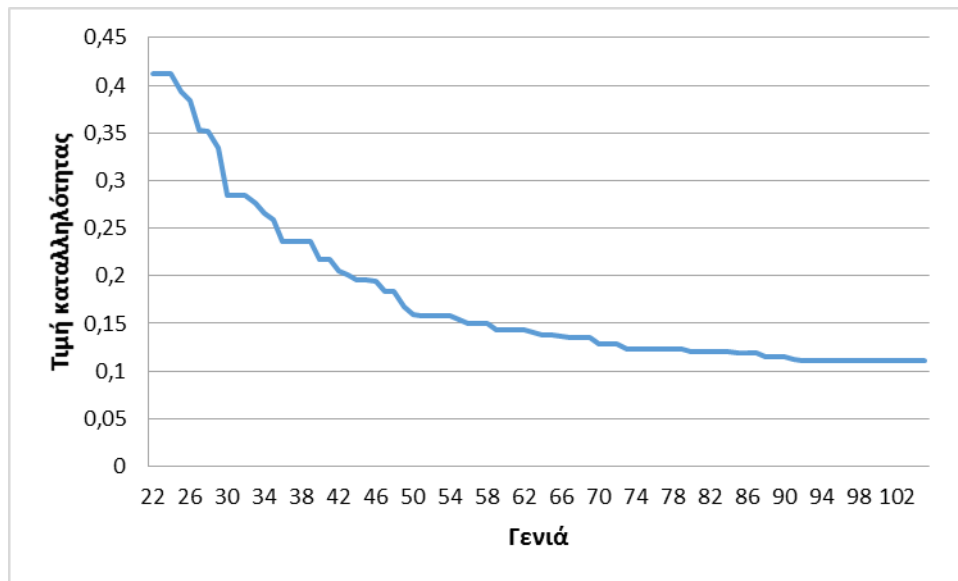


**Σχήμα 6.53:** Άεργος ισχύς ανεμογεννητριών βέλτιστης λύσης σεναρίου 5 για το δίκτυο των 33 ζυγών

Στα Σχήματα 6.54 και 6.55 φαίνεται πως μειώνεται η τιμή της συνάρτησης καταλληλότητας μέσα από τη διαδικασία του ακέραιου ΓΑ που χρησιμοποιήθηκε. Η τιμή καταλληλότητας δίνει μια εικόνα της μείωσης της αντικειμενικής συνάρτησης και ταυτίζεται με αυτή όταν δεν παραβιάζονται οι περιορισμοί, δηλαδή όταν δεν υπάρχει ποινή.



**Σχήμα 6.54:** Εξέλιξη τιμής καταλληλότητας καλύτερου χρωμοσώματος κάθε γενιάς στο ΓΑ για το σενάριο 5 για το δίκτυο 33 ζυγών



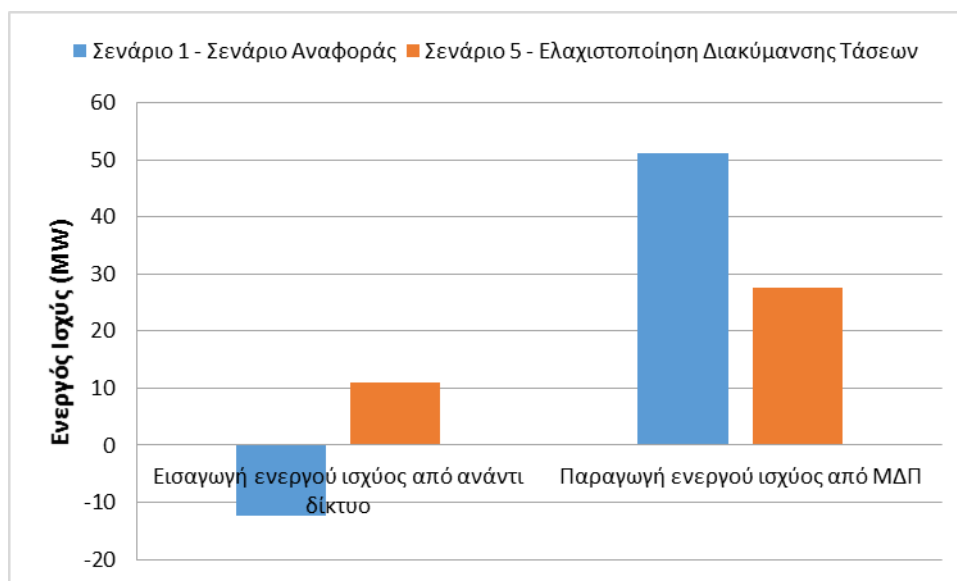
**Σχήμα 6.55:** Εξέλιξη τιμής καταλληλότητας καλύτερου χρωμοσώματος κάθε γενιάς στο ΓΑ για το σενάριο 5 για τις γενιές 22 έως 105 για το δίκτυο 33 ζυγών

Το συνολικό άθροισμα της διακύμανσης των τάσεων για τους κόμβους του δικτύου είναι 0,11, οι συνολικές απώλειες ενέργειας του δικτύου είναι 1,70 MWh και το συνολικό κόστος λειτουργίας του δικτύου είναι 4.722 €.

Οι τιμές της ενεργού ισχύος από τον Υ/Σ του δικτύου και η παραγωγή ενεργού ισχύος από ΜΔΠ για τα Σενάρια 1 και 4 παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.22. Ακολουθεί η διαγραμματική αναπαράσταση αυτών, στο Σχήμα 6.56. Στο Σενάριο 4 παρατηρείται αύξηση της εισερχόμενης ενεργού ισχύος από τον Υ/Σ του δικτύου και μείωση στην παραγωγή ενεργού ισχύος από ΜΔΠ που οφείλεται στον κατάλληλο χειρισμό των μεταβλητών ελέγχου του συγκεκριμένου σεναρίου.

**Πίνακας 6.22:** Ενεργός ισχύς από τον Υ/Σ και παραγωγή ενεργού ισχύος από τις ΜΔΠ για το Σενάριο 1 και το Σενάριο 5 του δικτύου των 33 ζυγών

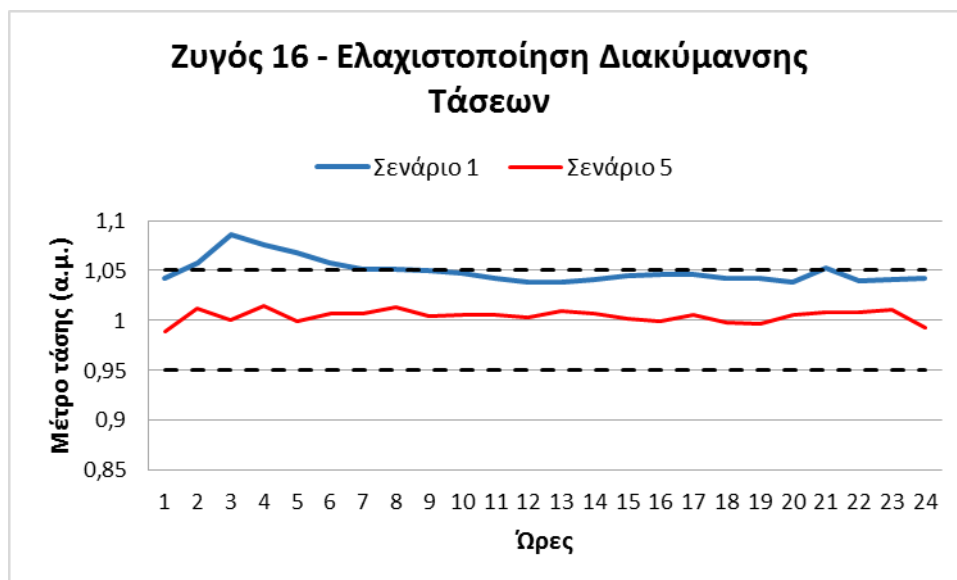
	Εισαγωγή ενεργού ισχύος από ανάπτυ δίκτυο (MW)	Παραγωγή ενεργού ισχύος από ΜΔΠ (MW)
Σενάριο 1 – Σενάριο Αναφοράς	-12,34	51,225
Σενάριο 5	11,05	27,675



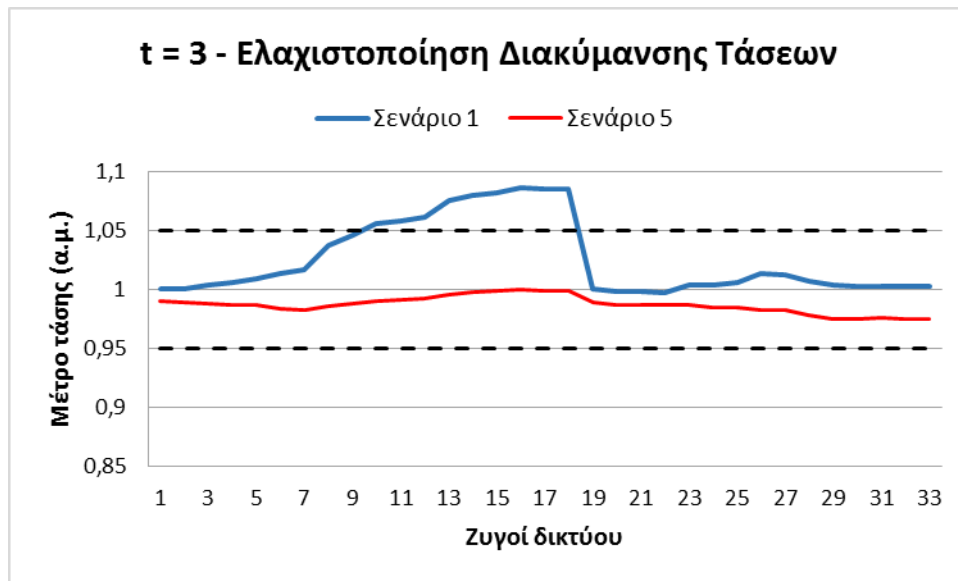
**Σχήμα 6.56:** Συγκριτικό διάγραμμα ενεργού ισχύος από το ανάντι δίκτυο και παραγωγής ενεργού ισχύος από τις ΜΔΠ – Σενάριο 1 και Σενάριο 5 του δικτύου 33 ζυγών

Στο Σχήμα 6.57 παρουσιάζεται η εξέλιξη του μέτρου της τάσης του ζυγού 16 κατά τη διάρκεια των 24 ωρών, στον οποίο παρατηρείται η μέγιστη ανύψωση τάσης στο σενάριο 1 και αντίστοιχα παρουσιάζεται η βελτίωση του μέτρου της τάσης για το σενάριο 5.

Αντίστοιχα στο Σχήμα 6.58 παρουσιάζεται η εξέλιξη του μέτρου της τάσης όλων των ζυγών του δικτύου για την 3η ώρα, όπου αποτελεί τη χρονική στιγμή που παρατηρείται η μέγιστη ανύψωση τάσης στο σενάριο 1 και όμοια παρουσιάζεται για το σενάριο 5.



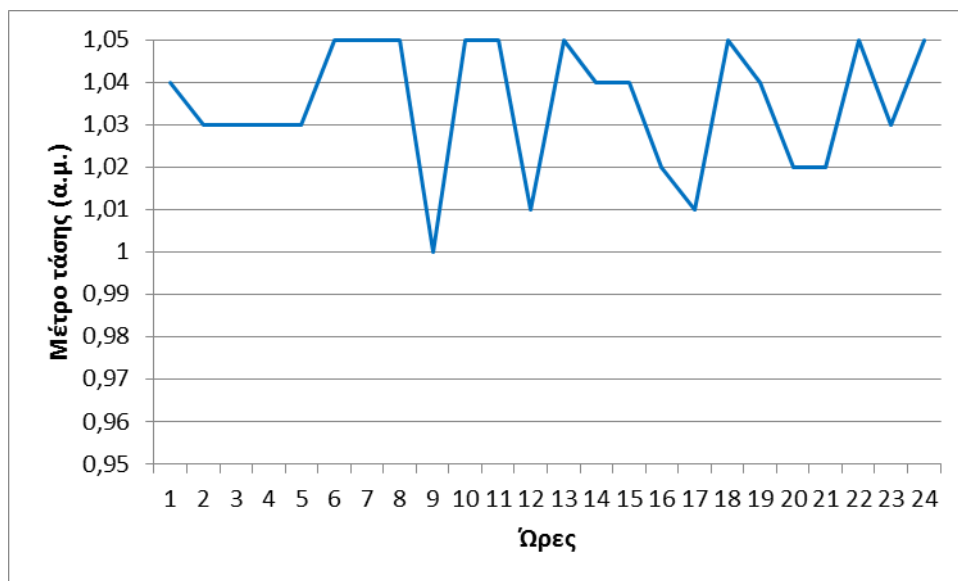
**Σχήμα: 6.57:** Μέτρο τάσης (α.μ.) του ζυγού 16 (ζυγός με τη μεγαλύτερη ανύψωση τάσης για το Σενάριο 1) – Σενάριο 1 και 5 του δικτύου 33 ζυγών



**Σχήμα 6.58:** Μέτρο τάσης (α.μ.) την ώρα  $t = 3$  (ώρα με τη μεγαλύτερη ανύψωση τάσης για το Σενάριο 1) – Σενάριο 1 και 5 του δικτύου 33 ζυγών

### 6.3.6.2 Αντικειμενική Συνάρτηση: Ελαχιστοποίηση των Συνολικών Απωλειών του Δικτύου των 33 Ζυγών

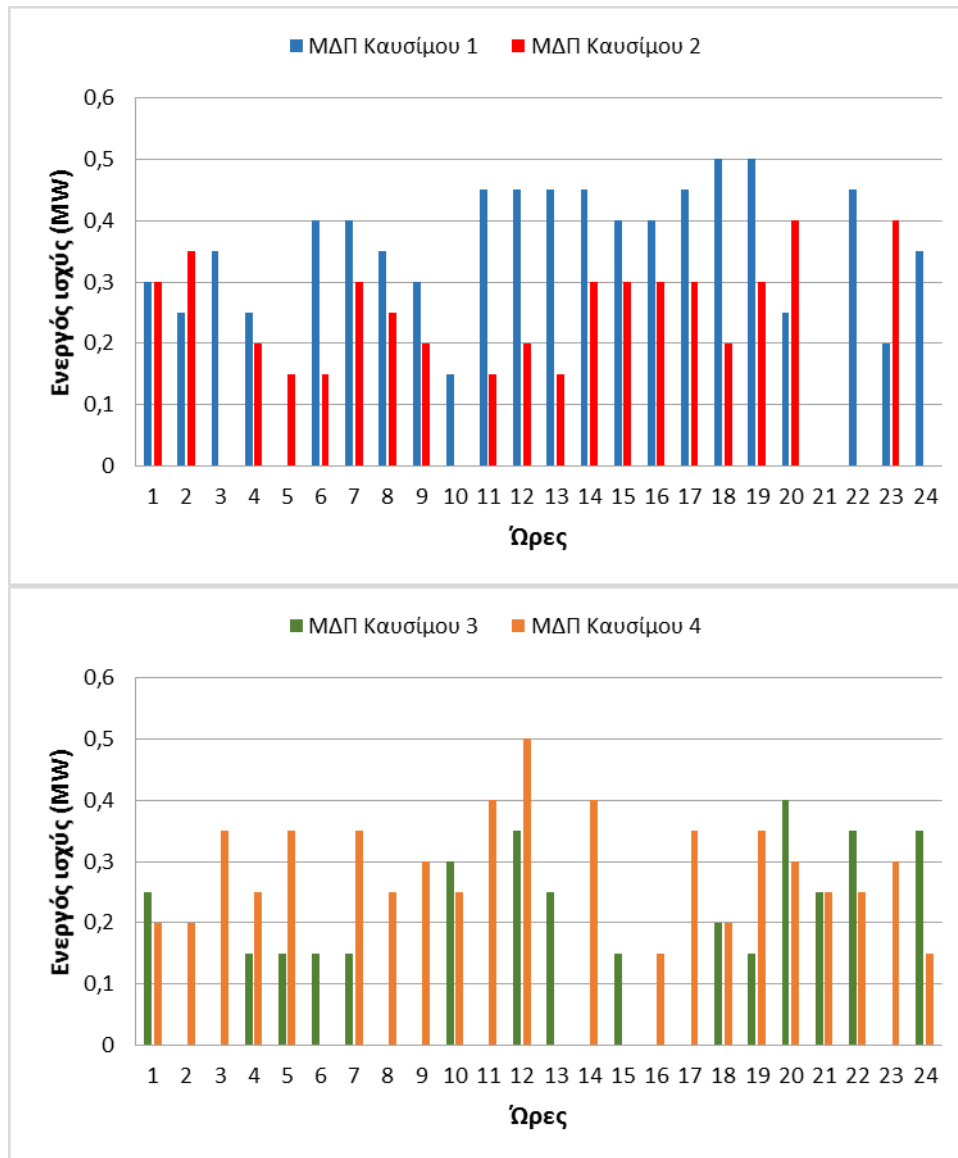
Στο Σχήμα 6.59 απεικονίζονται διαγραμματικά οι τιμές της τάσης στο ΣΑΤΥΦ για τη βέλτιστη λύση του Σεναρίου 5 των 33 ζυγών. Στον Πίνακα 6.23 παρουσιάζονται οι τιμές ενεργού και άεργου ισχύος των ΜΔΠ καυσίμου για τη βέλτιστη λύση του σεναρίου και στα Σχήματα 6.60 και 6.61 απεικονίζονται διαγραμματικά.



**Σχήμα 6.59:** Μέτρο τάσης (α.μ.) στο ΣΑΤΥΦ βέλτιστης λύσης Σεναρίου 5 για το δίκτυο των 33 ζυγών

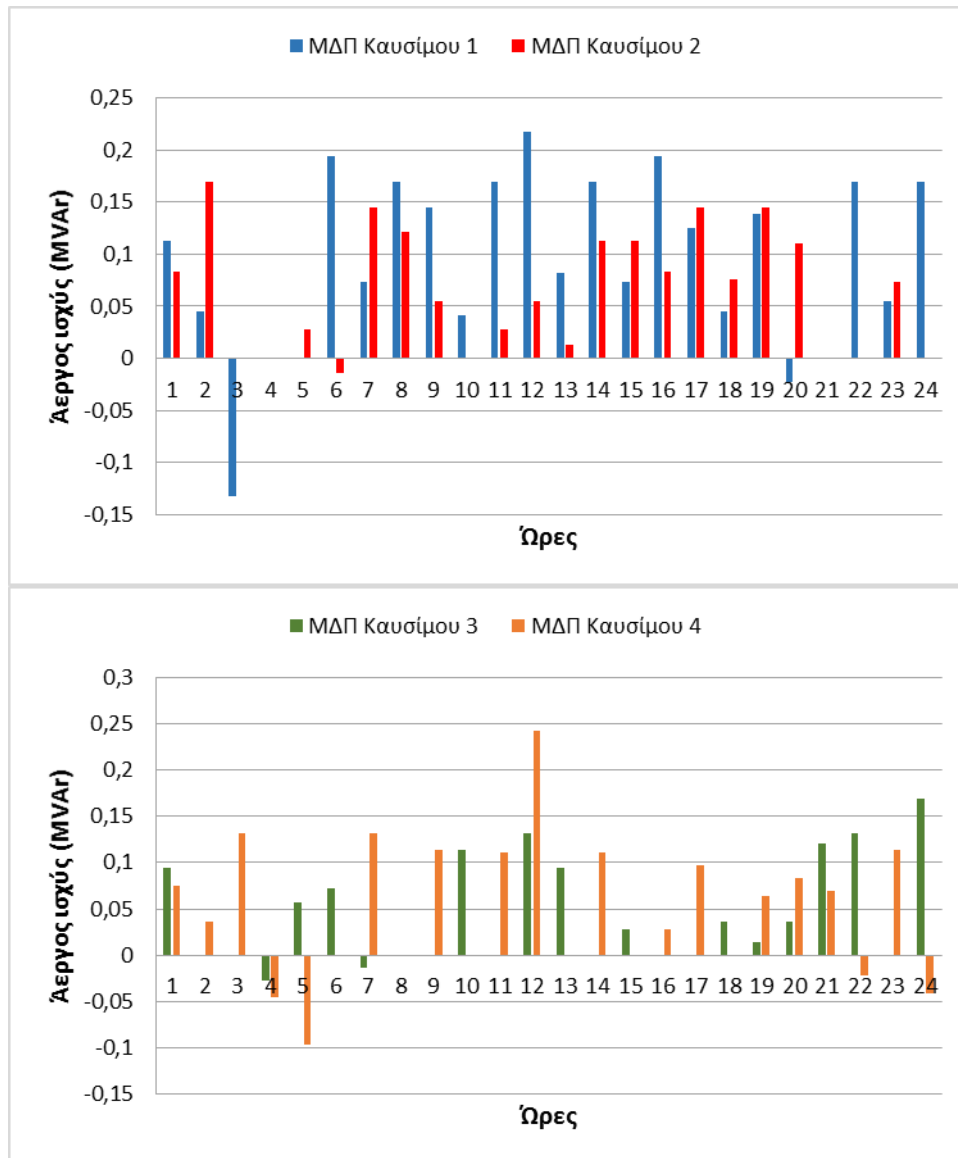
**Πίνακας 6.23:** Τιμές ενεργού και άεργου ισχύος ΜΔΠ καυσίμου για τη βέλτιστη λύση του σεναρίου 5 για το δίκτυο των 33 ζυγών

Ώρα	Ενεργός Ισχύς				Άεργος Ισχύς			
	ΜΔΠ Καυσίμου 1	ΜΔΠ Καυσίμου 2	ΜΔΠ Καυσίμου 3	ΜΔΠ Καυσίμου 4	ΜΔΠ Καυσίμου 1	ΜΔΠ Καυσίμου 2	ΜΔΠ Καυσίμου 3	ΜΔΠ Καυσίμου 4
1	0,3	0,3	0,25	0,2	0,113181	0,083197	0,094318	0,075454
2	0,25	0,35	0	0,2	0,045568	0,169498	0	0,036454
3	0,35	0	0	0,35	-0,13211	0	0	0,132045
4	0,25	0,2	0,15	0,25	0	0	-0,02737	-0,04561
5	0	0,15	0,15	0,35	0	0,027341	0,056591	-0,09713
6	0,4	0,15	0,15	0	0,193712	-0,01357	0,072642	0
7	0,4	0,3	0,15	0,35	0,072909	0,145284	-0,01357	0,132045
8	0,35	0,25	0	0,25	0,169498	0,12107	0	0
9	0,3	0,2	0	0,3	0,145284	0,055465	0	0,113181
10	0,15	0	0,3	0,25	0,041599	0	0,113181	0
11	0,45	0,15	0	0,4	0,169772	0,027341	0	0,11093
12	0,45	0,2	0,35	0,5	0,217926	0,055465	0,132045	0,24214
13	0,45	0,15	0,25	0	0,082022	0,013545	0,094318	0
14	0,45	0,3	0	0,4	0,169772	0,113181	0	0,11093
15	0,4	0,3	0,15	0	0,072909	0,113181	0,027341	0
16	0,4	0,3	0	0,15	0,193712	0,083197	0	0,027341
17	0,45	0,3	0	0,35	0,124796	0,145284	0	0,097064
18	0,5	0,2	0,2	0,2	0,045152	0,075454	0,036454	0
19	0,5	0,3	0,15	0,35	0,138662	0,145284	0,013545	0,063795
20	0,25	0,4	0,4	0,3	-0,02262	0,11093	0,036121	0,083197
21	0	0	0,25	0,25	0	0	0,12107	0,069331
22	0,45	0	0,35	0,25	0,169772	0	0,132045	-0,02262
23	0,2	0,4	0	0,3	0,055465	0,072909	0	0,113181
24	0,35	0	0,35	0,15	0,169498	0	0,169498	-0,04163



Σχήμα 6.60: Ενεργός ισχύς ΜΔΠ καυσίμου βέλτιστης λύσης σεναρίου 5 για το δίκτυο των 33 ζυγών



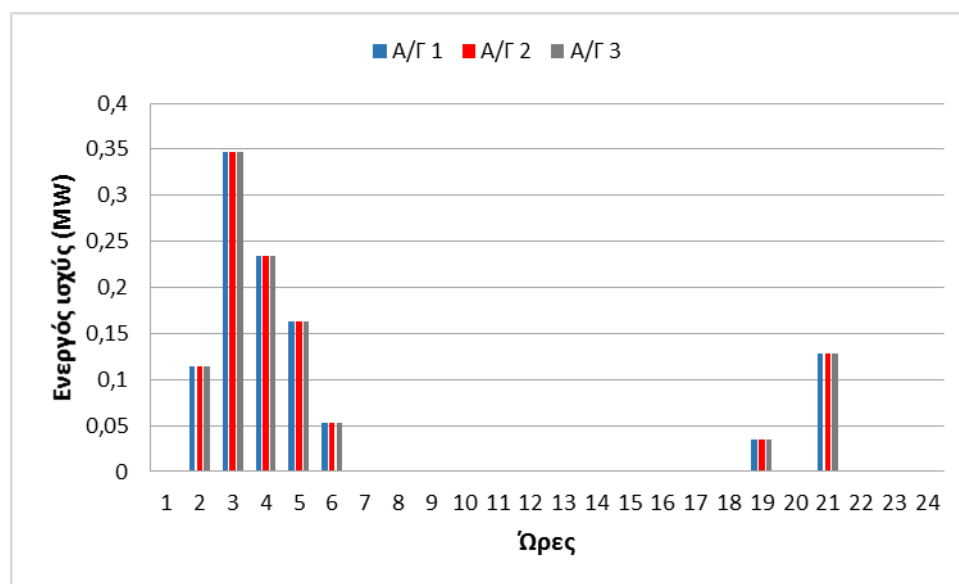


Σχήμα 6.61: Άεργος ισχύς ΜΔΠ καυσίμου βέλτιστης λύσης σεναρίου 5 για το δίκτυο των 33 ζυγών

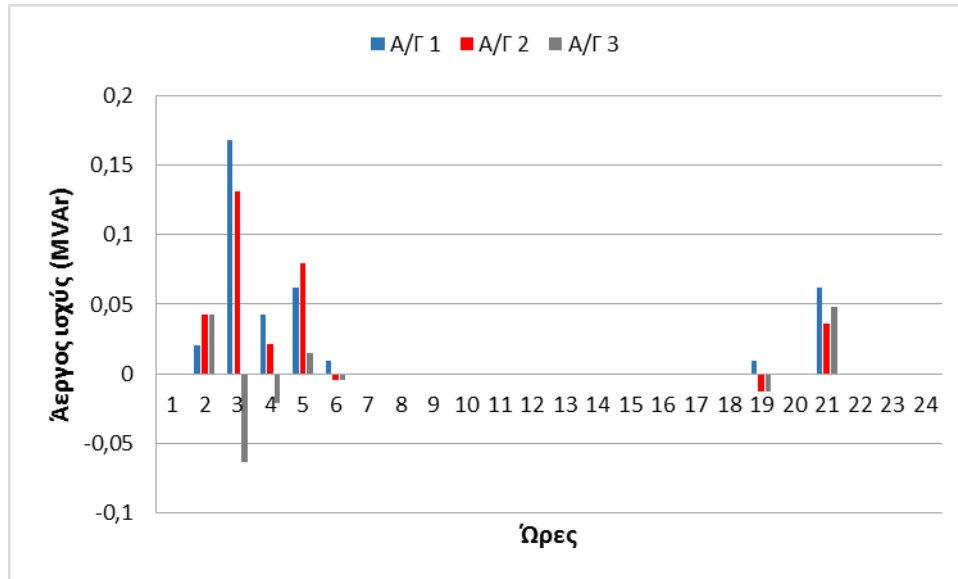
Στον Πίνακα 6.24 παρουσιάζονται οι τιμές ενεργού και άεργου (μεταβλητή ελέγχου) ισχύος των ανεμογεννητριών για τη βέλτιστη λύση του σεναρίου και στα Σχήματα 6.62 και 6.63 απεικονίζονται διαγραμματικά.

**Πίνακας 6.24:** Τιμές ενεργού και άεργου ισχύος ανεμογεννητριών για τη βέλτιστη λύση του σεναρίου 5 για το δίκτυο των 33 ζυγών

Ώρα	Ενεργός Ισχύς Α/Γ			Άεργος Ισχύς Α/Γ		
	Α/Γ 1	Α/Γ 2	Α/Γ 3	Α/Γ 1	Α/Γ 2	Α/Γ 3
1	0	0	0	0	0	0
2	0,11375	0,11375	0,11375	0,020733	0,042914	0,042914
3	0,3475	0,3475	0,3475	0,168287	0,131101	-0,0634
4	0,23375	0,23375	0,23375	0,042606	0,021108	-0,02115
5	0,16375	0,16375	0,16375	0,061778	0,079301	0,014787
6	0,0525	0,0525	0,0525	0,009569	-0,00475	-0,00475
7	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0
19	0,035	0,035	0,035	0,009706	-0,01321	-0,01321
20	0	0	0	0	0	0
21	0,12875	0,12875	0,12875	0,062351	0,035706	0,048574
22	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0

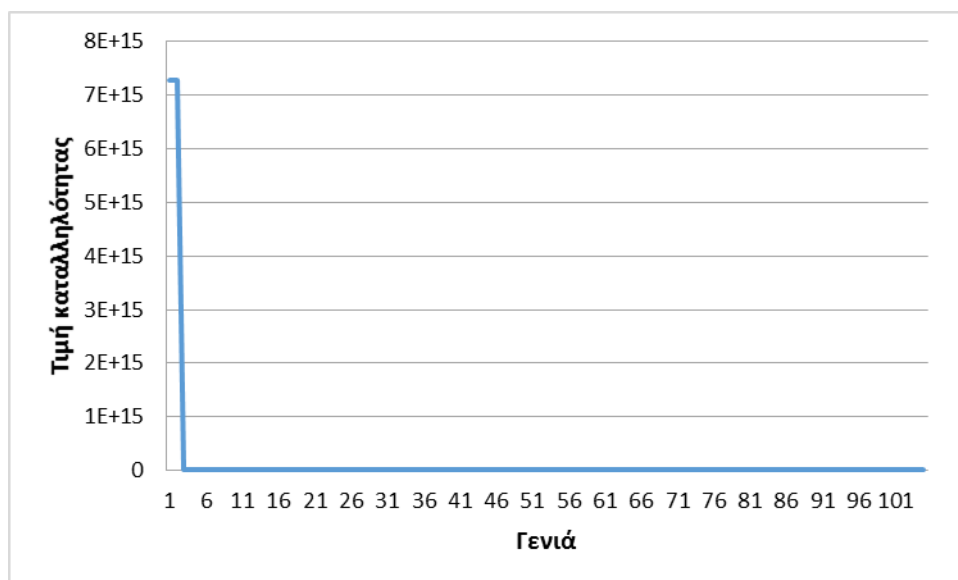


**Σχήμα 6.62:** Ενεργός ισχύς ανεμογεννητριών βέλτιστης λύσης σεναρίου 5 για το δίκτυο των 33 ζυγών

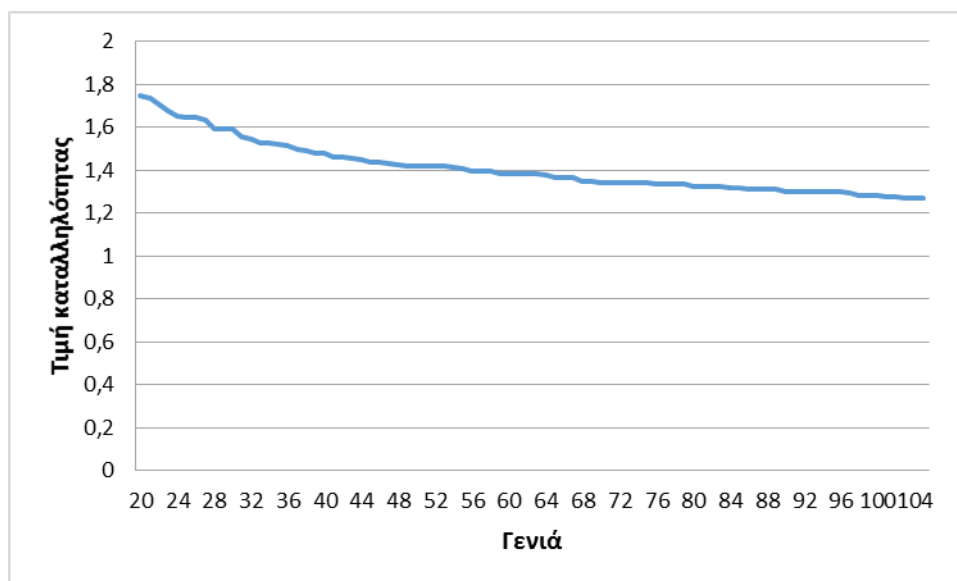


**Σχήμα 6.63:** Άεργος ισχύς ανεμογεννητριών βέλτιστης λύσης σεναρίου 5 για το δίκτυο των 33 ζυγών

Στα Σχήματα 6.64 και 6.65 φαίνεται πως μειώνεται η τιμή της συνάρτησης καταλληλότητας μέσα από τη διαδικασία του ακέραίου ΓΑ που χρησιμοποιήθηκε. Η τιμή καταλληλότητας δίνει μια εικόνα της μείωσης της αντικειμενικής συνάρτησης και ταυτίζεται με αυτή όταν δεν παραβιάζονται οι περιορισμοί, δηλαδή όταν δεν υπάρχει ποινή.



**Σχήμα 6.64:** Εξέλιξη τιμής καταλληλότητας καλύτερου χρωμοσώματος κάθε γενιάς στο ΓΑ για το σενάριο 5 για το δίκτυο 33 ζυγών



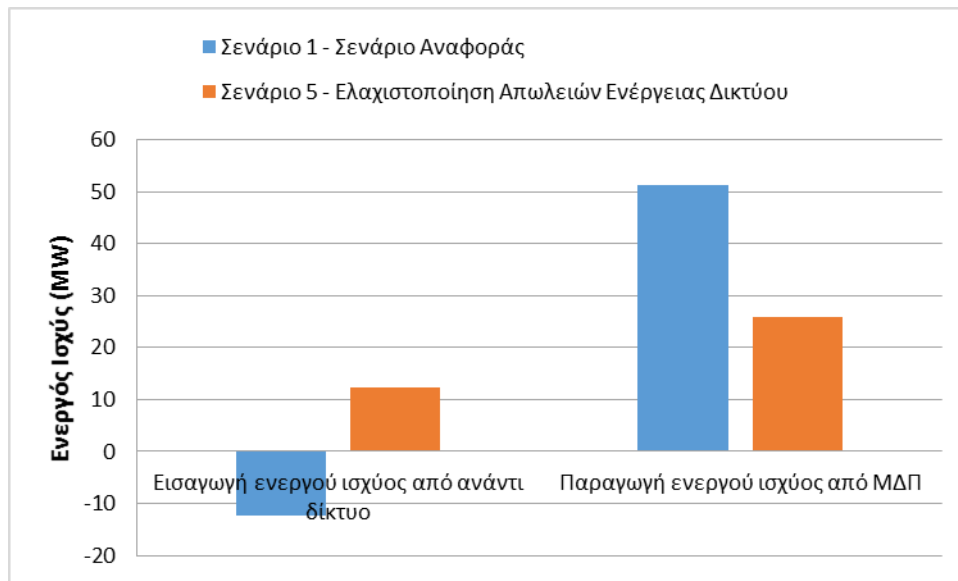
**Σχήμα 6.65:** Εξέλιξη τιμής καταλληλότητας καλύτερου χρωμοσώματος κάθε γενιάς στο ΓΑ για το σενάριο 5 για τις γενιές 20 έως 105 για το δίκτυο 33 ζυγών

Το συνολικό άθροισμα της διακύμανσης των τάσεων για τους κόμβους του δικτύου είναι 0,67, οι συνολικές απώλειες ενέργειας του δικτύου είναι 1,27 MWh και το συνολικό κόστος λειτουργίας του δικτύου είναι 4.496,3 €.

Οι τιμές της ενεργού ισχύος από τον Υ/Σ του δικτύου και η παραγωγή ενεργού ισχύος από ΜΔΠ για τα Σενάρια 1 και 5 παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.25. Ακολουθεί η διαγραμματική αναπαράσταση αυτών, στο Σχήμα 6.66. Στο Σενάριο 5 παρατηρείται αύξηση της εισερχόμενης ενεργού ισχύος από τον Υ/Σ του δικτύου και μείωση στην παραγωγή ενεργού ισχύος από ΜΔΠ που οφείλεται στον κατάλληλο χειρισμό των μεταβλητών ελέγχου του συγκεκριμένου σεναρίου.

**Πίνακας 6.25:** Ενεργός ισχύς από τον Υ/Σ του δικτύου και παραγωγή ενεργού ισχύος από τις ΜΔΠ – Σενάριο 1 και 5 του δικτύου των 33 ζυγών

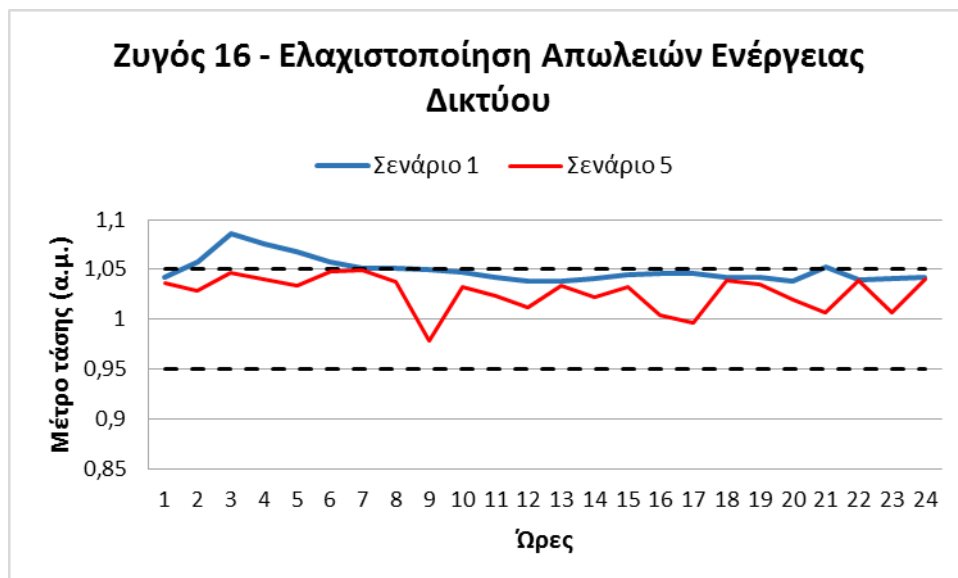
	Ενεργός ισχύς από τον Υ/Σ Υ/Τ-Μ/Τ (MW)	Παραγωγή ενεργού ισχύος από ΜΔΠ (MW)
Σενάριο 1 – Σενάριο Αναφοράς	-12,34	51,225
Σενάριο 5	12,42	25,875



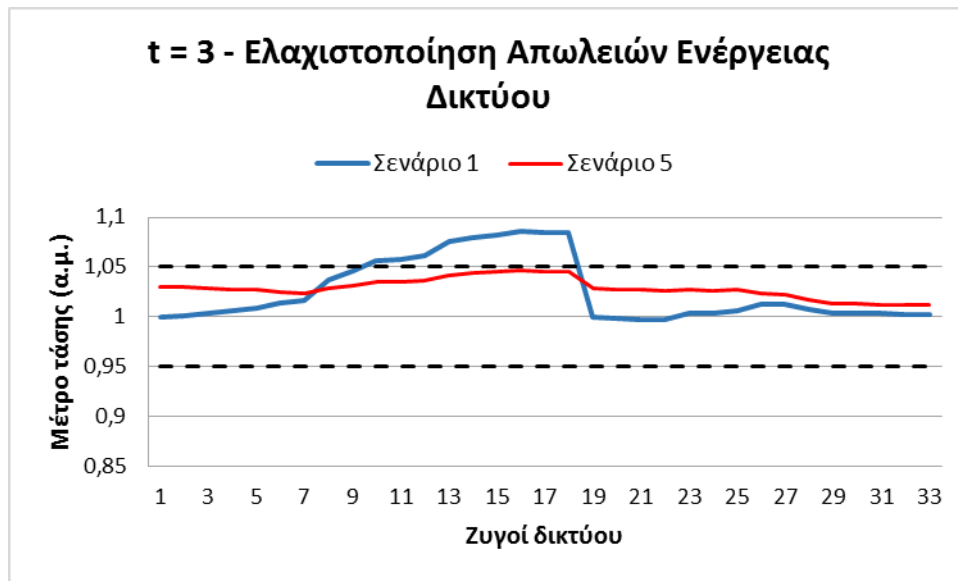
**Σχήμα 6.66:** Συγκριτικό διάγραμμα ενεργού ισχύος από το ανάντι δίκτυο και παραγωγής ενεργού ισχύος από τις ΜΔΠ – Σενάριο 1 και Σενάριο 5 του δικτύου 33 ζυγών

Στο Σχήμα 6.67 παρουσιάζεται η εξέλιξη του μέτρου της τάσης του ζυγού 16 κατά τη διάρκεια των 24 ωρών, στον οποίο παρατηρείται η μέγιστη ανύψωση τάσης στο σενάριο 1 και αντίστοιχα παρουσιάζεται η βελτίωση του μέτρου της τάσης για το σενάριο 5.

Αντίστοιχα στο Σχήμα 6.68 παρουσιάζεται η εξέλιξη του μέτρου της τάσης όλων των ζυγών του δικτύου για την 3η ώρα, όπου αποτελεί τη χρονική στιγμή που παρατηρείται η μέγιστη ανύψωση τάσης στο σενάριο 1 και όμοια παρουσιάζεται για το σενάριο 5.



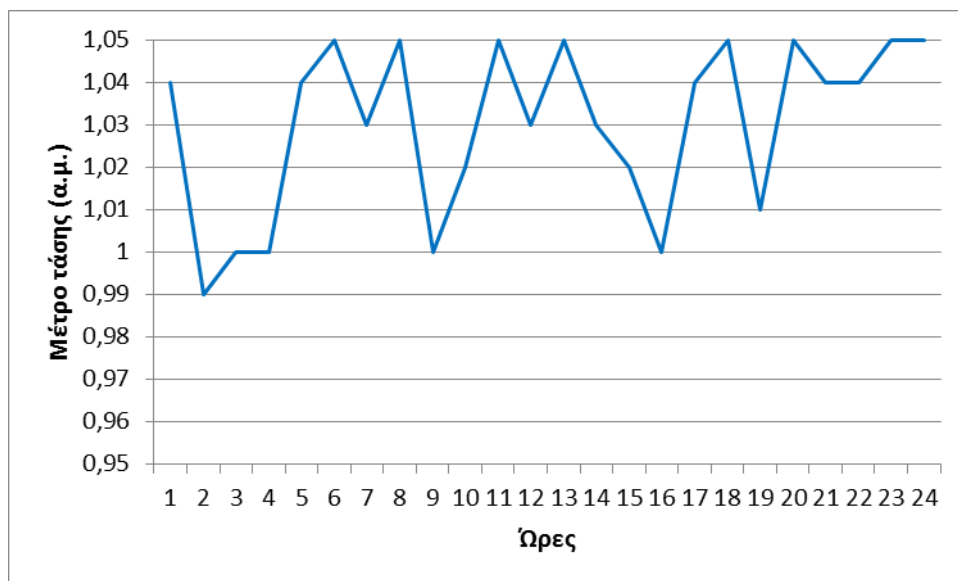
**Σχήμα: 6.67:** Μέτρο τάσης (α.μ.) του ζυγού 16 (ζυγός με τη μεγαλύτερη ανύψωση τάσης για το Σενάριο 1) – Σενάριο 1 και 5 του δικτύου 33 ζυγών



**Σχήμα 6.68:** Μέτρο τάσης (α.μ.) την ώρα  $t = 3$  (ώρα με τη μεγαλύτερη ανύψωση τάσης για το Σενάριο 1) – Σενάριο 1 και 5 του δικτύου 33 ζυγών

### 6.3.6.3 Αντικειμενική Συνάρτηση: Ελαχιστοποίηση του Κόστους Λειτουργίας του Δικτύου των 33 Ζυγών

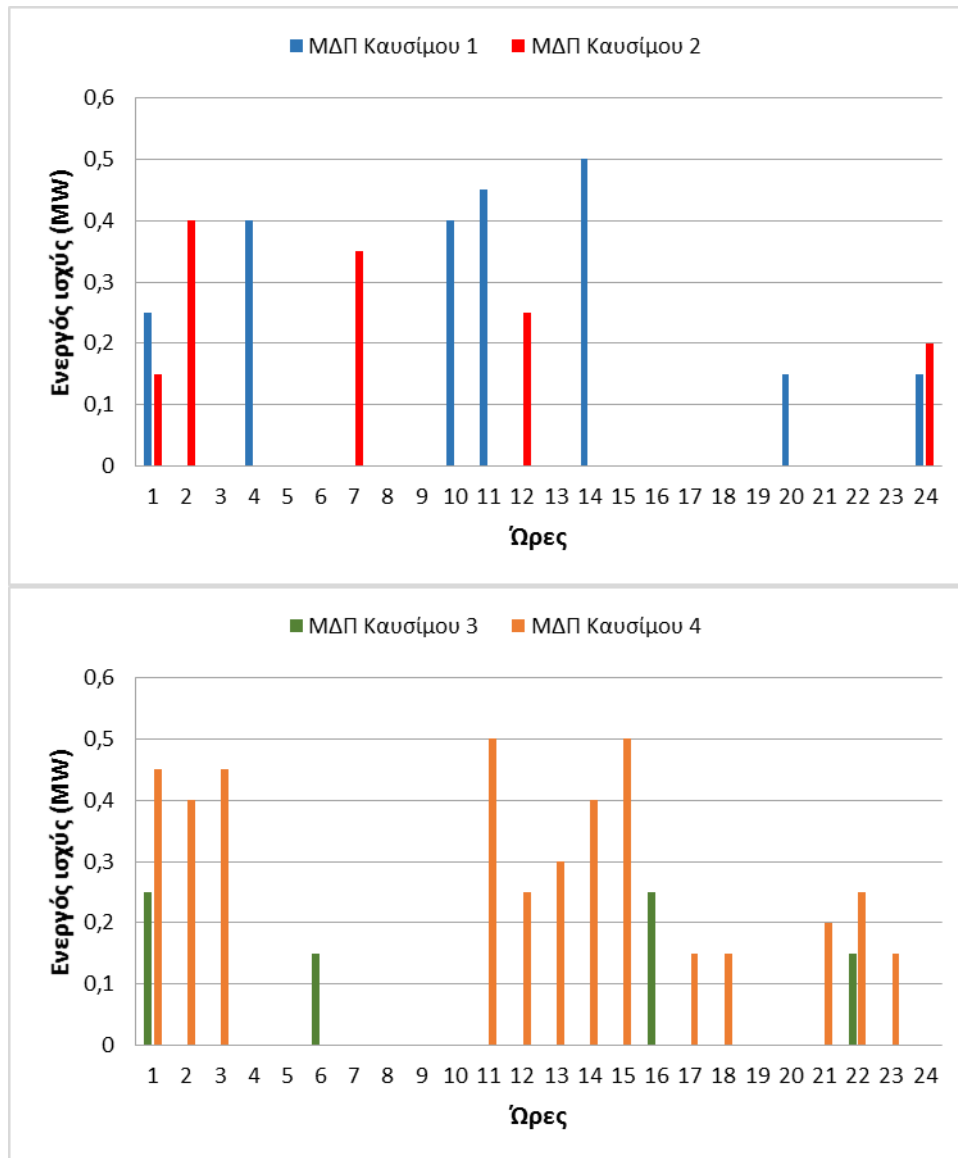
Στο Σχήμα 6.69 απεικονίζονται διαγραμματικά οι τιμές της τάσης στο ΣΑΤΥΦ για τη βέλτιστη λύση του Σεναρίου 5 των 33 ζυγών. Στον Πίνακα 6.26 παρουσιάζονται οι τιμές ενεργού και άεργου ισχύος των ΜΔΠ καυσίμου για τη βέλτιστη λύση του σεναρίου και στα Σχήματα 6.70 και 6.71 απεικονίζονται διαγραμματικά.



**Σχήμα 6.69:** Μέτρο τάσης (α.μ.) στο ΣΑΤΥΦ βέλτιστης λύσης Σεναρίου 5 για το δίκτυο των 33 ζυγών

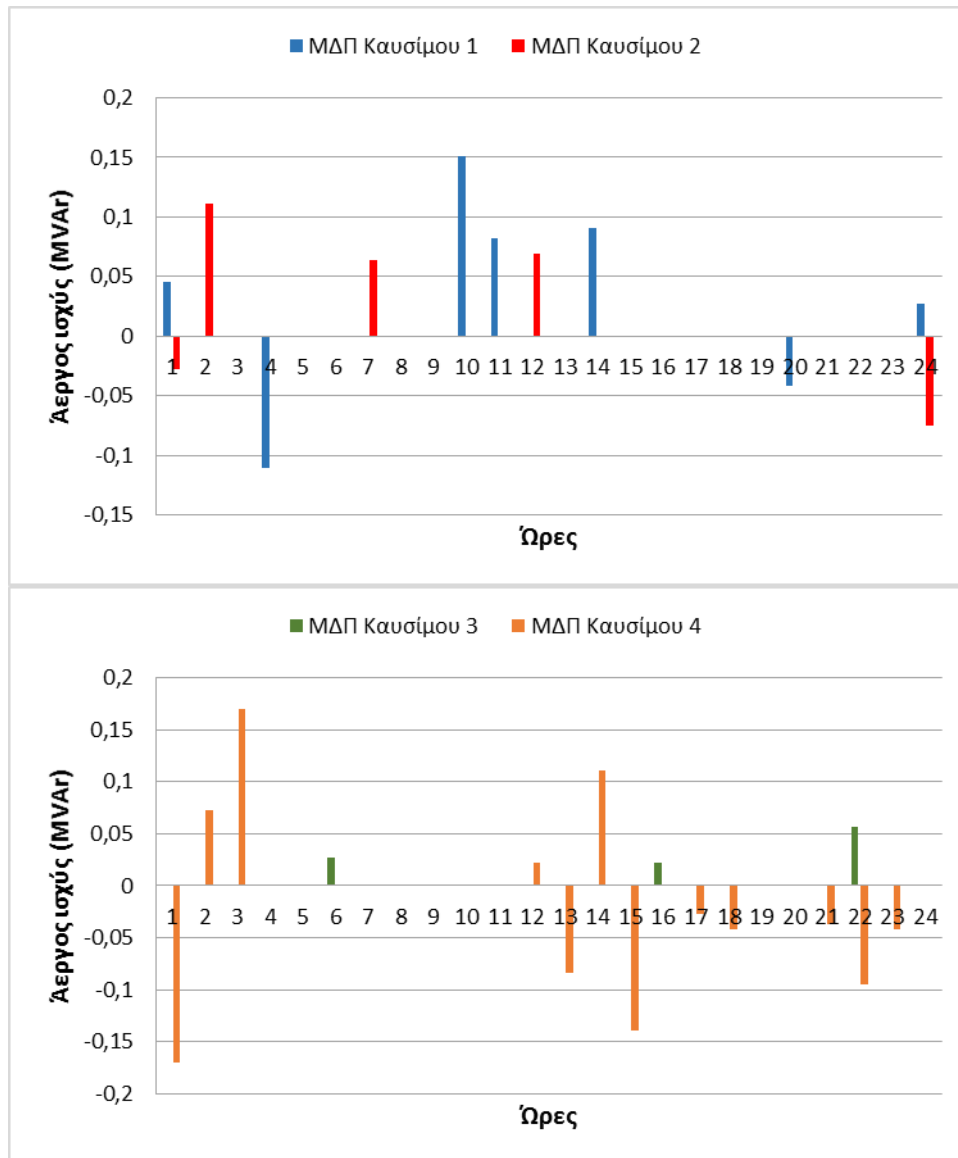
**Πίνακας 6.26:** Τιμές ενεργού και άεργου ισχύος ΜΔΠ καυσίμου για τη βέλτιστη λύση του σεναρίου 5 για το δίκτυο των 33 ζυγών

Ώρα	Ενεργός Ισχύς				Άεργος Ισχύς			
	ΜΔΠ Καυσίμου 1	ΜΔΠ Καυσίμου 2	ΜΔΠ Καυσίμου 3	ΜΔΠ Καυσίμου 4	ΜΔΠ Καυσίμου 1	ΜΔΠ Καυσίμου 2	ΜΔΠ Καυσίμου 3	ΜΔΠ Καυσίμου 4
1	0,25	0,15	0,25	0,45	0,045568	-0,02737	0	-0,16986
2	0	0,4	0	0,4	0	0,11093	0	0,072909
3	0	0	0	0,45	0	0	0	0,169772
4	0,4	0	0	0	-0,11101	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0,15	0	0	0	0,027341	0
7	0	0,35	0	0	0	0,063795	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0,4	0	0	0	0,150908	0	0	0
11	0,45	0	0	0,5	0,082022	0	0	0
12	0	0,25	0	0,25	0	0,069331	0	0,022576
13	0	0	0	0,3	0	0	0	-0,08325
14	0,5	0	0	0,4	0,091136	0	0	0,11093
15	0	0	0	0,5	0	0	0	-0,13876
16	0	0	0,25	0	0	0	0,022576	0
17	0	0	0	0,15	0	0	0	-0,02737
18	0	0	0	0,15	0	0	0	-0,04163
19	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0,15	0	0	0	-0,04163	0	0	0
21	0	0	0	0,2	0	0	0	-0,03649
22	0	0	0,15	0,25	0	0	0,056591	-0,09437
23	0	0	0	0,15	0	0	0	-0,04163
24	0,15	0,2	0	0	0,027341	-0,07549	0	0



Σχήμα 6.70: Ενεργός ισχύς ΜΔΠ καυσίμου βέλτιστης λύσης σεναρίου 5 για το δίκτυο των 33 ζυγών



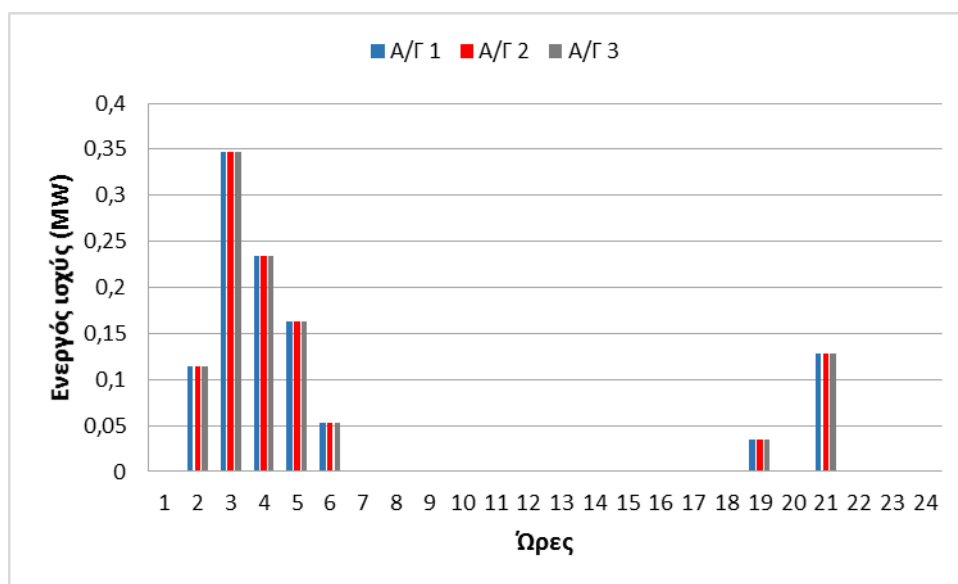


Σχήμα 6.71: Άεργος ισχύς ΜΔΠ καυσίμου βέλτιστης λύσης σεναρίου 5 για το δίκτυο των 33 ζυγών

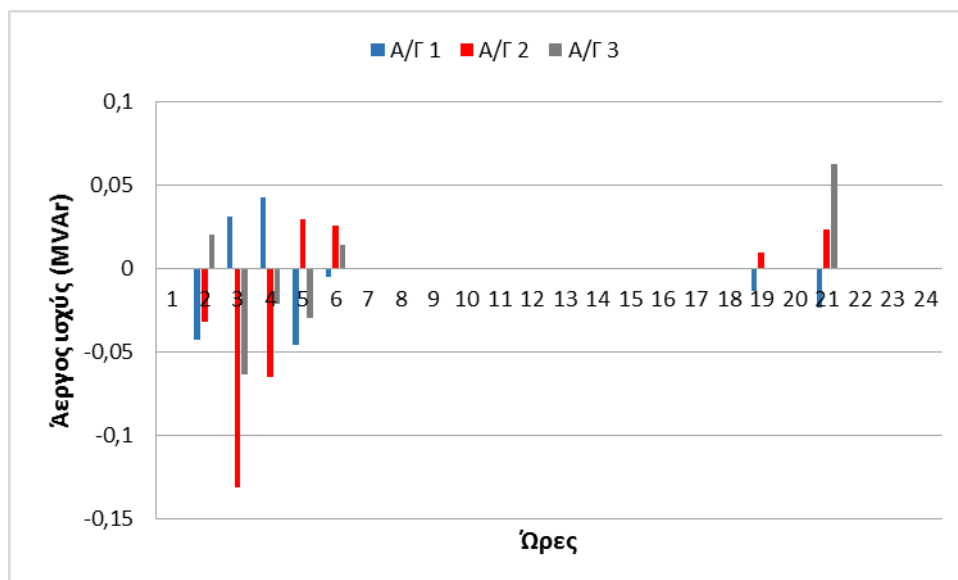
Στον Πίνακα 6.27 παρουσιάζονται οι τιμές ενεργού και άεργου (μεταβλητή ελέγχου) ισχύος των ανεμογεννητριών για τη βέλτιστη λύση του σεναρίου και στα Σχήματα 6.72 και 6.73 απεικονίζονται διαγραμματικά.

**Πίνακας 6.27:** Τιμές ενεργού και άεργου ισχύος ανεμογεννητριών για τη βέλτιστη λύση του σεναρίου 5 για το δίκτυο των 33 ζυγών

Ώρα	Ενεργός Ισχύς Α/Γ			Άεργος Ισχύς Α/Γ		
	Α/Γ 1	Α/Γ 2	Α/Γ 3	Α/Γ 1	Α/Γ 2	Α/Γ 3
1	0	0	0	0	0	0
2	0,11375	0,11375	0,11375	-0,04294	-0,03157	0,020733
3	0,3475	0,3475	0,3475	0,03138	-0,13117	-0,0634
4	0,23375	0,23375	0,23375	0,042606	-0,06487	-0,02115
5	0,16375	0,16375	0,16375	-0,04544	0,029847	-0,02988
6	0,0525	0,0525	0,0525	-0,00475	0,025425	0,01456
7	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0
19	0,035	0,035	0,035	-0,01321	0,009706	0
20	0	0	0	0	0	0
21	0,12875	0,12875	0,12875	-0,02349	0,023467	0,062351
22	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0

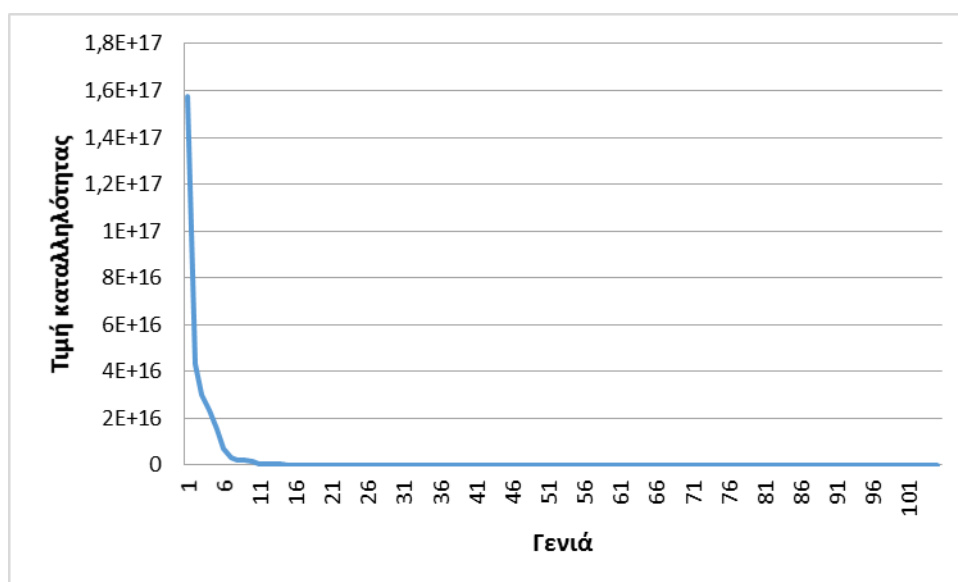


**Σχήμα 6.72:** Ενεργός ισχύς ανεμογεννητριών βέλτιστης λύσης σεναρίου 5 για το δίκτυο των 33 ζυγών

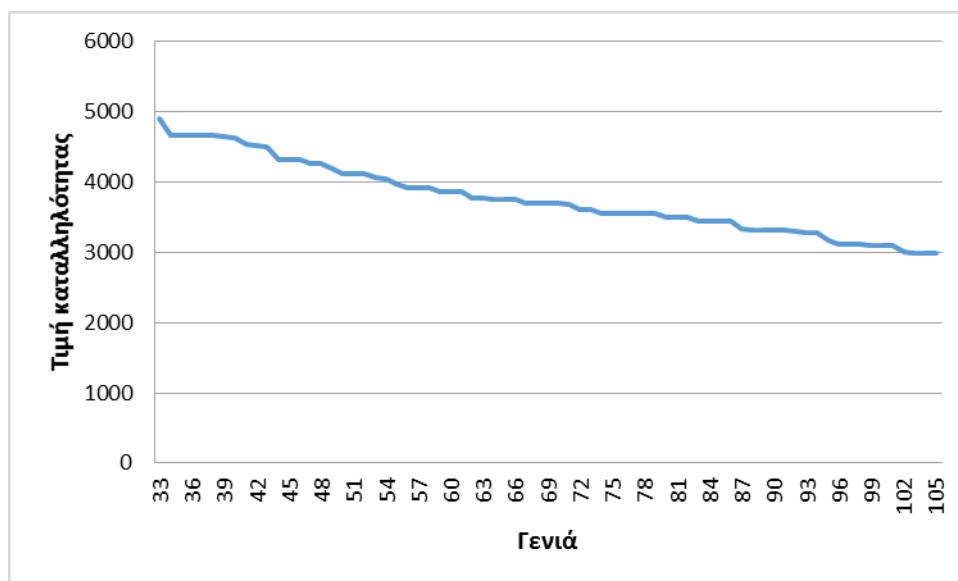


**Σχήμα 6.73:** Άεργος ισχύς ανεμογεννητριών βέλτιστης λύσης σεναρίου 5 για το δίκτυο των 33 ζυγών

Στα Σχήματα 6.74 και 6.75 φαίνεται πως μειώνεται η τιμή της συνάρτησης καταλληλότητας μέσα από τη διαδικασία του ακέραίου ΓΑ που χρησιμοποιήθηκε. Η τιμή καταλληλότητας δίνει μια εικόνα της μείωσης της αντικειμενικής συνάρτησης και ταυτίζεται με αυτή όταν δεν παραβιάζονται οι περιορισμοί, δηλαδή όταν δεν υπάρχει ποινή.



**Σχήμα 6.74:** Εξέλιξη τιμής καταλληλότητας καλύτερου χρωμοσώματος κάθε γενιάς στο ΓΑ για το σενάριο 5 για το δίκτυο 33 ζυγών



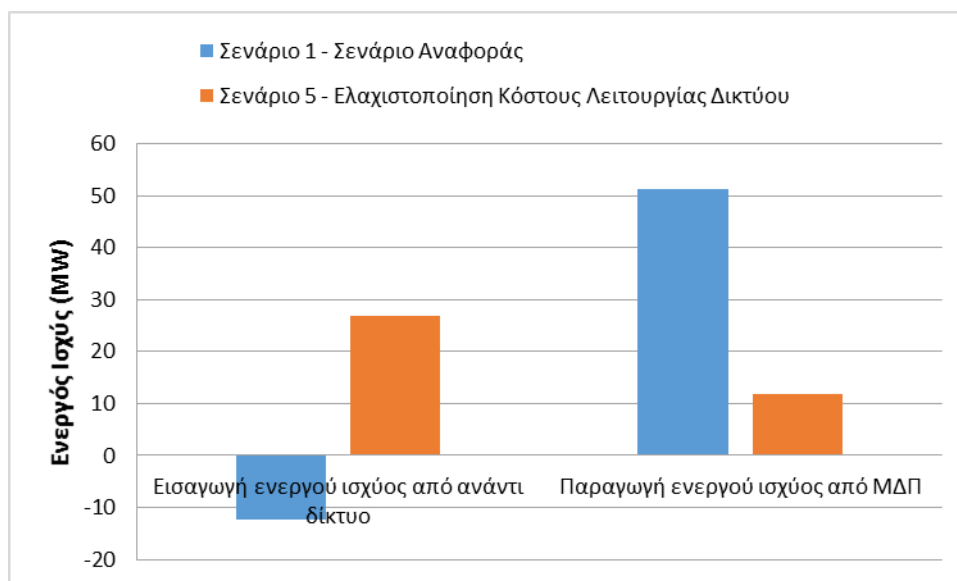
**Σχήμα 6.75:** Εξέλιξη τιμής καταλληλότητας καλύτερου χρωμοσώματος κάθε γενιάς στο ΓΑ για το σενάριο 5 για τις γενιές 33 έως 105 για το δίκτυο 33 ζυγών

Το συνολικό άθροισμα της διακύμανσης των τάσεων για τους κόμβους του δικτύου είναι 0,47, οι συνολικές απώλειες ενέργειας του δικτύου είναι 1,76 MWh και το συνολικό κόστος λειτουργίας του δικτύου είναι 2.592,1 €.

Οι τιμές της ενεργού ισχύος από τον Υ/Σ του δικτύου και η παραγωγή ενεργού ισχύος από ΜΔΠ για τα Σενάρια 1 και 5 παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.28. Ακολουθεί η διαγραμματική αναπαράσταση αυτών, στο Σχήμα 6.74. Στο Σενάριο 5 παρατηρείται αύξηση της εισερχόμενης ενεργού ισχύος από τον Υ/Σ του δικτύου και μείωση στην παραγωγή ενεργού ισχύος από ΜΔΠ που οφείλεται στον κατάλληλο χειρισμό των μεταβλητών ελέγχου του συγκεκριμένου σεναρίου.

**Πίνακας 6.28:** Ενεργός ισχύς από τον Υ/Σ του δικτύου και παραγωγή ενεργού ισχύος από τις ΜΔΠ – Σενάριο 1 και 5 του δικτύου των 33 ζυγών

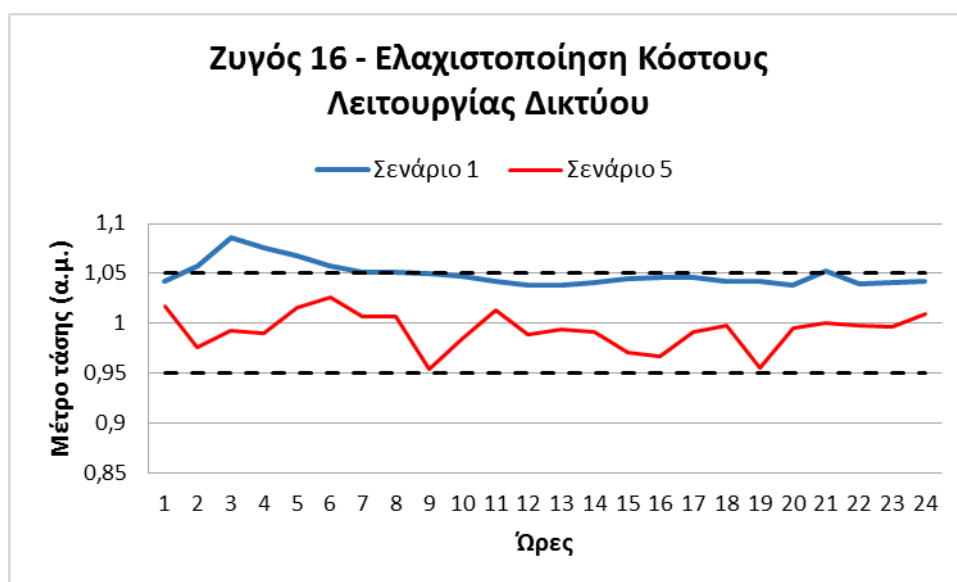
	Ενεργός ισχύς από τον Υ/Σ Υ/T-M/T (MW)	Παραγωγή ενεργού ισχύος από ΜΔΠ (MW)
Σενάριο 1 – Σενάριο Αναφοράς	-12,34	51,225
Σενάριο 5	26,96	11,825



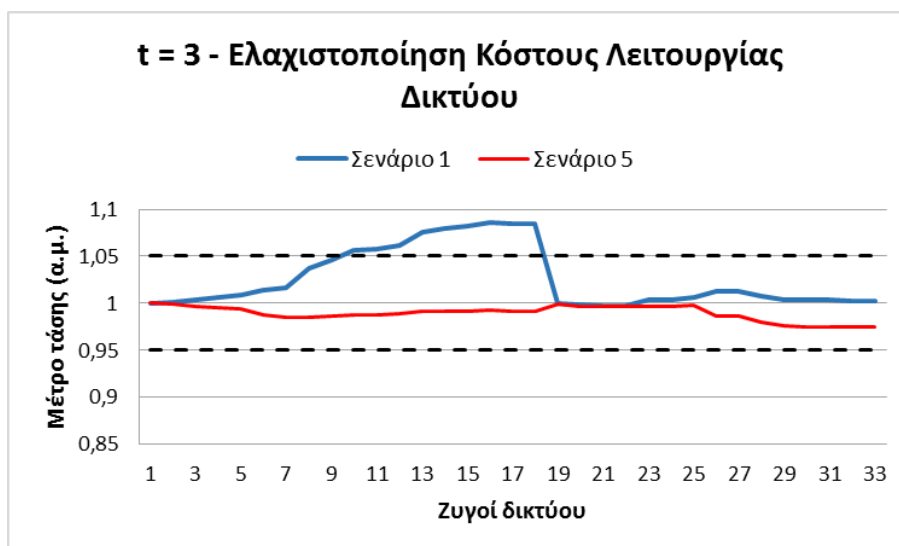
**Σχήμα 6.76:** Συγκριτικό διάγραμμα ενεργού ισχύος από το ανάντι δίκτυο και παραγωγής ενεργού ισχύος από τις ΜΔΠ – Σενάριο 1 και Σενάριο 5 του δικτύου 33 ζυγών

Στο Σχήμα 6.77 παρουσιάζεται η εξέλιξη του μέτρου της τάσης του ζυγού 16 κατά τη διάρκεια των 24 ωρών, στον οποίο παρατηρείται η μέγιστη ανύψωση τάσης στο σενάριο 1 και αντίστοιχα παρουσιάζεται η βελτίωση του μέτρου της τάσης για το σενάριο 5.

Αντίστοιχα στο Σχήμα 6.78 παρουσιάζεται η εξέλιξη του μέτρου της τάσης όλων των ζυγών του δικτύου για την 3η ώρα, όπου αποτελεί τη χρονική στιγμή που παρατηρείται η μέγιστη ανύψωση τάσης στο σενάριο 1 και όμοια παρουσιάζεται για το σενάριο 5.



**Σχήμα: 6.77:** Μέτρο τάσης (α.μ.) του ζυγού 16 (ζυγός με τη μεγαλύτερη ανύψωση τάσης για το Σενάριο 1) – Σενάριο 1 και 5 του δικτύου 33 ζυγών



Σχήμα 6.78: Μέτρο τάσης (α.μ.) την ώρα t = 3 (ώρα με τη μεγαλύτερη ανύψωση τάσης για το Σενάριο 1) – Σενάριο 1 και 5 του δικτύου 33 ζυγών

### 6.3.7 Ερμηνεία Αποτελεσμάτων Δικτύου 33 Ζυγών

Στον Πίνακα 6.29 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα της βέλτιστης λύσης που προέκυψαν για το κάθε σενάριο του δικτύου των 33 ζυγών, εφαρμόζοντας κάθε φορά την αντίστοιχη αντικειμενική συνάρτηση.

Πίνακας 6.29: Συνοπτικός πίνακας αποτελεσμάτων βέλτιστης λύσης, για τα σενάρια που εφαρμόστηκαν στο δίκτυο των 33 ζυγών

	Άθροισμα διακύμανσης τάσεων	Συνολικό κόστος λειτουργίας δικτύου (€)	Συνολικές απώλειες ενέργειας δικτύου (MW)	Αντικειμενική συνάρτηση
Σενάριο 1 Σενάριο Αναφοράς	0,48	6.274,90	1,86	-
Σενάριο 2	0,4 Μείωση 16,67%	6.276,60 Αύξηση 0,03%	1,91 Αύξηση 2,69%	(A)
Σενάριο 3	0,35 Μείωση 27,08%	6.339,70 Αύξηση 1,03%	1,69 Μείωση 9,14%	(A)
Σενάριο 4	0,1 Μείωση 79,17%	4.244,40 Μείωση 32,4%	1,63 Μείωση 12,37%	(A)
	0,14 Μείωση 70,83%	4.548,50 Μείωση 27,51%	1,2 Μείωση 35,48%	(B)
	0,3 Μείωση 37,5%	1.926,10 Μείωση 69,3%	1,87 Αύξηση 0,54%	(Γ)
Σενάριο 5	0,11 Μείωση 77,08%	4.722 Μείωση 24,75%	1,7 Μείωση 8,6%	(A)
	0,67 Αύξηση 39,58%	4.496,30 Μείωση 28,34%	1,27 Μείωση 31,72%	(B)
	0,47 Μείωση 2,08%	2.592,1 Μείωση 58,69%	1,76 Μείωση 5,38%	(Γ)

(A) Ελαχιστοποίηση της διακύμανσης των τάσεων του δικτύου, (B) Ελαχιστοποίηση των συνολικών απωλειών ενέργειας του δικτύου, (Γ) Ελαχιστοποίηση συνολικού κόστους λειτουργίας δικτύου

Το Σενάριο 2, όπου ως μεταβλητή ελέγχου υπάρχει μόνο η τάση στο ΣΑΤΥΦ, μείωσε το άθροισμα της διακύμανσης των τάσεων του δικτύου, αλλά παράλληλα αύξησε το συνολικό κόστος λειτουργίας και τις συνολικές απώλειες ενέργειας του δικτύου.

Το Σενάριο 3, το οποίο έχει ως μεταβλητές ελέγχου την τάση στο ΣΑΤΥΦ και την ενεργό ισχύ των ανεμογεννητριών, μείωσε το άθροισμα της διακύμανσης των τάσεων και τις συνολικές απώλειες ενέργειας του δικτύου, αλλά παράλληλα αύξησε το συνολικό κόστος λειτουργίας του δικτύου.

Στο Σενάριο 4, το οποίο έχει ως μεταβλητές ελέγχου την ενεργό και άεργο ισχύ των ΜΔΠ καυσίμου και την άεργο ισχύ των ανεμογεννητριών, όταν χρησιμοποιείται ως αντικειμενική συνάρτηση η ελαχιστοποίηση της διακύμανσης των τάσεων του δικτύου και η ελαχιστοποίηση των συνολικών απωλειών ενέργειας του δικτύου, μειώνονται όλα τα αποτελέσματα της βέλτιστης λύσης συγκριτικά με το Σενάριο Αναφοράς – Σενάριο 1. Διαφοροποίηση εμφανίζεται όταν χρησιμοποιείται ως αντικειμενική συνάρτηση η ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους λειτουργίας του δικτύου, όπου μειώνονται το άθροισμα της διακύμανσης των τάσεων και το συνολικό κόστος λειτουργίας του δικτύου, αλλά αυξάνονται οι συνολικές απώλειες ενέργειας του δικτύου.

Στο Σενάριο 5, το οποίο έχει ως μεταβλητές ελέγχου την τάση στο ΣΑΤΥΦ, την ενεργό και άεργο ισχύ των ΜΔΠ καυσίμου και την άεργο ισχύ των ανεμογεννητριών, όταν χρησιμοποιείται ως αντικειμενική συνάρτηση η ελαχιστοποίηση της διακύμανσης των τάσεων και η ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους λειτουργίας του δικτύου, μειώνονται όλα τα αποτελέσματα της βέλτιστης λύσης συγκριτικά με το Σενάριο Αναφοράς – Σενάριο 1. Διαφοροποίηση εμφανίζεται όταν χρησιμοποιείται ως αντικειμενική συνάρτηση η ελαχιστοποίηση των συνολικών απωλειών ενέργειας του δικτύου, όπου μειώνονται οι συνολικές απώλειες ενέργειας και το συνολικό κόστος λειτουργίας του δικτύου, αλλά αυξάνεται το άθροισμα της διακύμανσης των τάσεων του δικτύου.

Συγκρίνοντας το κάθε Σενάριο με το Σενάριο 1 – Σενάριο Αναφοράς παρατηρείται πως όσον αφορά το άθροισμα της διακύμανσης των τάσεων του δικτύου, την μεγαλύτερη μείωση 79,17% παρουσιάζει το Σενάριο 4, όταν χρησιμοποιείται ως αντικειμενική συνάρτηση η ελαχιστοποίηση της διακύμανσης των τάσεων του δικτύου. Όσον αφορά το συνολικό κόστος λειτουργίας του δικτύου, την μεγαλύτερη μείωση 69,3% παρουσιάζει το Σενάριο 4, όταν χρησιμοποιείται ως αντικειμενική συνάρτηση η ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους λειτουργίας του δικτύου. Όσον αφορά τις απώλειες ενέργειας του δικτύου, την μεγαλύτερη μείωση 35,48% παρουσιάζει το Σενάριο 4, όταν χρησιμοποιείται ως αντικειμενική συνάρτηση η ελαχιστοποίηση των απωλειών ενέργειας του δικτύου.

Αν ο διαχειριστής του δικτύου επιθυμεί μόνο μείωση του συνολικού κόστους λειτουργίας του δικτύου, πρέπει να επιλέξει το Σενάριο 4 με χρήση αντικειμενικής συνάρτησης την ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους λειτουργίας του δικτύου. Αν όμως ο διαχειριστής επιθυμεί μείωση και των απωλειών ενέργειας καθώς και της διακύμανσης των τάσεων, τότε το Σενάριο 5, με χρήση αντικειμενικής συνάρτησης την ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους λειτουργίας του δικτύου, αποτελεί τη βέλτιστη λύση.

Από το Σχήμα 6.46 προκύπτει το συμπέρασμα πως για την ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους λειτουργίας του δικτύου των 33 ζυγών για το Σενάριο 4 με χρήση ως αντικειμενικής συνάρτησης την ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους λειτουργίας, ο διαχειριστής πρέπει να αγοράσει το μεγαλύτερο μέρος ενεργού ισχύος από το ανάντι δίκτυο, παρά να παράγει ενεργό ισχύ από ΜΔΠ. Συγκεκριμένα, για την κάλυψη των 37 MW που είναι το φορτίο των 33 ζυγών, πρέπει τα 32,5 MW που αντιστοιχούν στο 87,8% του συνολικού φορτίου, να τα προμηθευτεί από το ανάντι δίκτυο, να απορροφήσει το σύνολο της παραγόμενης ενεργού ισχύος 3,23 MW από τις ανεμογεννήτριες, που αντιστοιχούν στο 8,7% του συνολικού φορτίου και να παράγει 3,15 MW ενεργού ισχύος από τις ΜΔΠ καυσίμου, που αντιστοιχούν στο 8,5% του συνολικού φορτίου. Οι απώλειες στο συγκεκριμένο σενάριο είναι της τάξεως του 5%. Επίσης παρατηρείται πως το χρονικό διάστημα 6-12 που το φορτίο είναι εκτός αιχμής δεν λειτουργεί καμία ΜΔΠ καυσίμου. Το φορτίο καλύπτεται κυρίως από εισαγόμενη από το ανάντι δίκτυο ενέργεια και μόνο την 6η

ώρα από αιολική παραγωγή. Αντίστοιχα στην αιχμή, δηλαδή τις ώρες 13, 14, 20, 21 το φορτίο καλύπτεται εισαγωγή ενέργειας από το ανάντι δίκτυο, ΜΔΠ καυσίμου και μόνο την 21η χρονική στιγμή από αιολική παραγωγή.

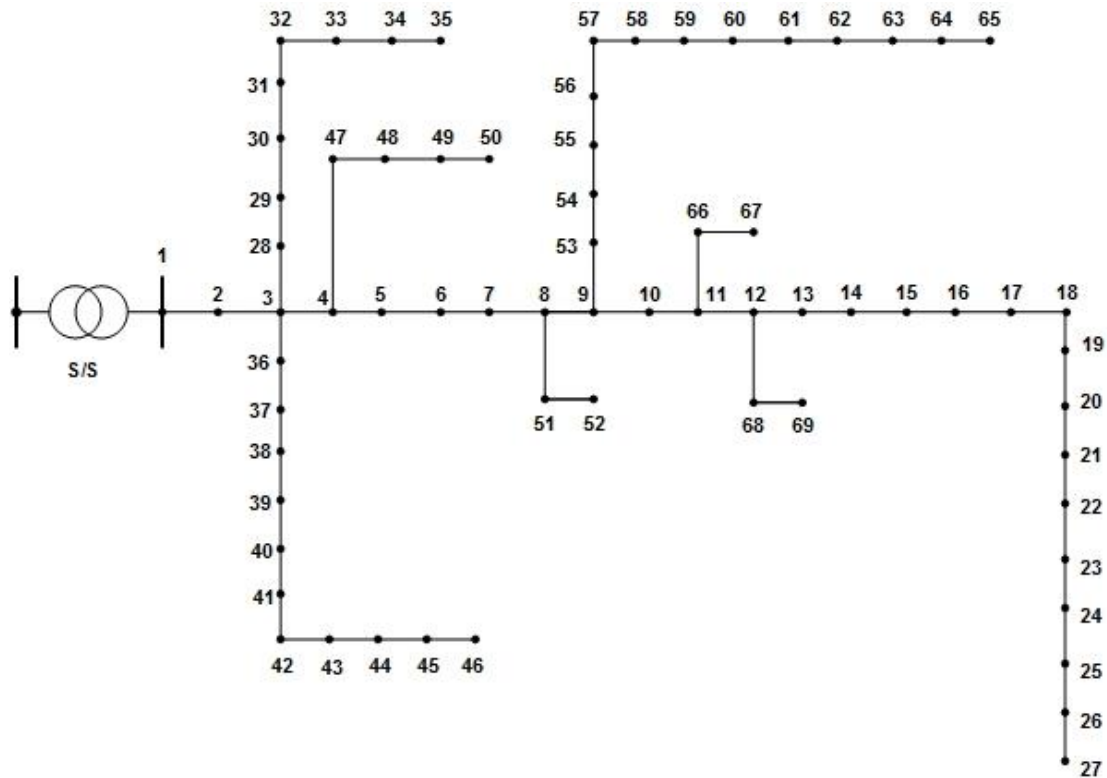
Αντίστοιχα, από το Σχήμα 6.76 προκύπτει το συμπέρασμα πως για την ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους λειτουργίας του δικτύου των 33 ζυγών για το Σενάριο 5 με χρήση ως αντικειμενικής συνάρτησης την ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους λειτουργίας, ο διαχειριστής πρέπει να αγοράσει το μεγαλύτερο μέρος ενεργού ισχύος από το ανάντι δίκτυο, παρά να παράγει ενεργό ισχύ από ΜΔΠ. Συγκεκριμένα, για την κάλυψη των 37 MW που είναι το φορτίο των 33 ζυγών, πρέπει τα 27 MW που αντιστοιχούν στο 72,8% του συνολικού φορτίου, να τα προμηθευτεί από το ανάντι δίκτυο, να απορροφήσει το σύνολο της παραγόμενης ενεργού ισχύος 3,23 MW από τις ανεμογεννήτριες, που αντιστοιχούν στο 8,7% του συνολικού φορτίου και να παράξει 8,6 MW ενεργού ισχύος από τις ΜΔΠ καυσίμου, που αντιστοιχούν στο 23,2% του συνολικού φορτίου. Οι απώλειες στο συγκεκριμένο σενάριο είναι της τάξεως του 4,7%. Τις χρονικές στιγμές που παρατηρείται αιχμή φορτίου, δηλαδή 10-15, οι ΜΔΠ καυσίμου συμβάλουν σημαντικά στην παροχή ενεργού ισχύος στο δίκτυο, σε συνδυασμό με την εισαγωγή ενεργού ισχύος από το ανάντι δίκτυο. Αντίστοιχα τις ώρες 6-8 που το φορτίο είναι εκτός αιχμής υπάρχει ελάχιστη παραγωγή ενεργού ισχύος από ΜΔΠ καυσίμου και η προμήθειά της γίνεται κυρίως από το ανάντι δίκτυο.

## 6.4 ΔΙΚΤΥΟ 69 ΖΥΓΩΝ

### 6.4.1 Δεδομένα Δικτύου 69 Ζυγών

Θεωρείται δίκτυο 69 ζυγών και 68 γραμμών, όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.79. Στο ζυγό 1 βρίσκεται υποσταθμός ΥΤ/ΜΤ και για το λόγο αυτό θεωρείται ζυγός ταλάντωσης (ζυγός αναφοράς) και σε αυτό το ζυγό δεν μπορεί να συνδεθεί ΜΔΠ. Στο ζυγό 1 η τάση αναφοράς λαμβάνεται ίση με 1.0 α.μ. λόγω ανύψωσης της τάσης με σύστημα ανύψωσης τάσης υπό φορτίο (ΣΑΤΥΦ) στον υποσταθμό ΥΤ/ΜΤ. Οι υπόλοιποι ζυγοί του δικτύου θεωρούνται ως ζυγοί φορτίου (PQ) και τα δεδομένα του δικτύου φαίνονται στον Πίνακα 6.30. Το συνολικό εγκατεστημένο φορτίο του δικτύου είναι  $P_L = 3,802 MW$  και  $Q_L = 2,694 MVA$ . Για το συγκεκριμένο δίκτυο η ονομαστική τάση του δικτύου που τη θεωρούμε και βασική τάση είναι  $V_N = V_{BASE} = 12.66 kV$  και λαμβάνεται ως βασική ισχύ  $S_{BASE} = 10 MVA$ . Στον Πίνακα 6.42 παρουσιάζονται αναλυτικά τα δεδομένα του δικτύου.





Σχήμα 6.79: Ακτινικό δίκτυο διανομής 69 ζυγών

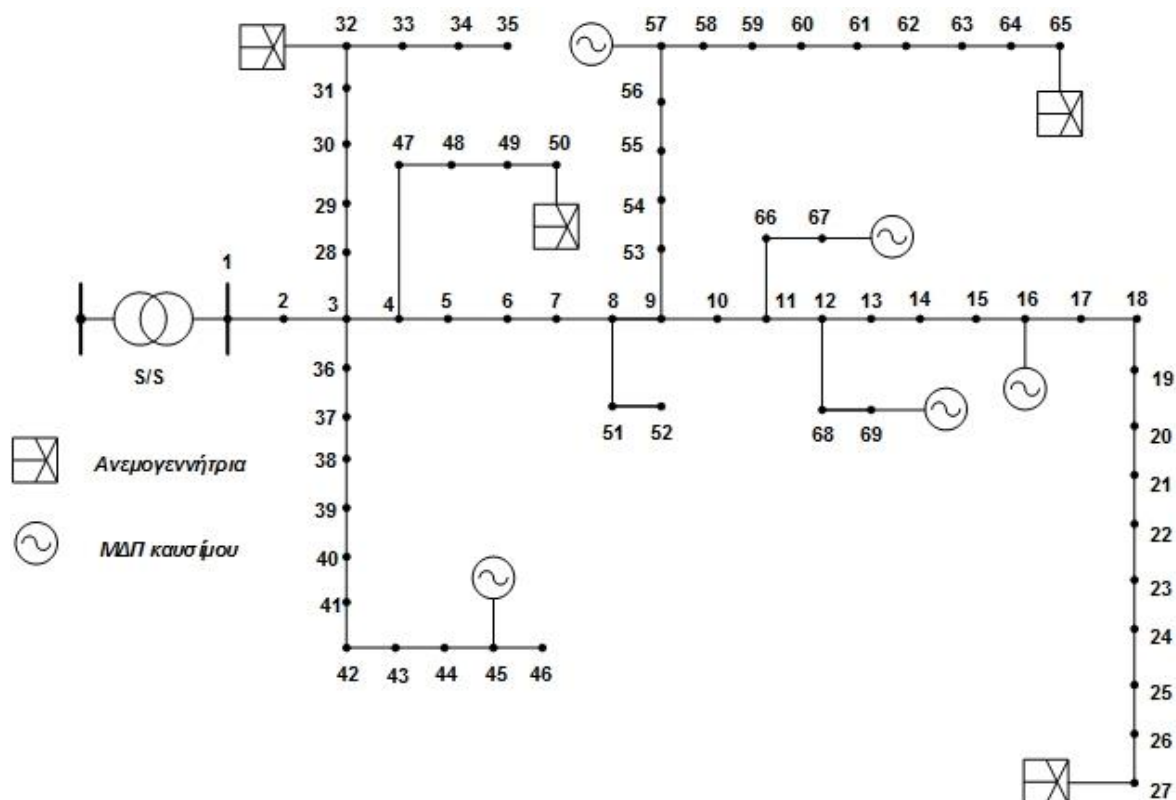
Πίνακας 6.30: Δεδομένα δικτύου 69 ζυγών

Γραμμή	Ζυγός αναχώρησης	Ζυγός άφιξης	R (α.μ.)	X (α.μ.)	P ζυγού άφιξης (MW)	Q ζυγού άφιξης (MVar)
1	1	2	3,11963E-05	7,4871E-05	0	0
2	2	3	3,11963E-05	7,4871E-05	0	0
3	3	4	9,35888E-05	0,000224613	0	0
4	4	5	0,001566052	0,00183434	0	0
5	5	6	0,022835666	0,011629967	0,0026	0,0022
6	6	7	0,023771553	0,01211039	0,0404	0,03
7	7	8	0,005752591	0,002932449	0,075	0,054
8	8	9	0,003075952	0,001566052	0,03	0,022
9	9	10	0,051099481	0,016889658	0,028	0,019
10	10	11	0,011679881	0,003862098	0,145	0,104
11	11	12	0,044386045	0,014668484	0,145	0,104
12	12	13	0,064264305	0,02121346	0,008	0,005
13	13	14	0,0651378	0,021525422	0,008	0,0055
14	14	15	0,066011296	0,021812428	0	0
15	15	16	0,012266371	0,004055514	0,0455	0,03
16	16	17	0,023359763	0,007724195	0,06	0,035
17	17	18	0,000293245	9,9828E-05	0,06	0,035
18	18	19	0,020439792	0,006757111	0	0
19	19	20	0,013139867	0,004305084	0,001	0,0006

Γραμμή	Ζυγός αναχώρησης	Ζυγός άφιξης	R (α.μ.)	X (α.μ.)	P ζυγού άφιξης (MW)	Q ζυγού άφιξης (MVar)
20	20	21	0,021313288	0,007044117	0,114	0,081
21	21	22	0,000873495	0,000287006	0,005	0,0035
22	22	23	0,009926651	0,003281847	0	0
23	23	24	0,021606533	0,007143945	0,028	0,02
24	24	25	0,046719526	0,015442151	0	0
25	25	26	0,019273052	0,006370277	0,014	0,01
26	26	27	0,010806386	0,003568853	0,014	0,01
27	3	28	0,000274527	0,000673839	0,026	0,0186
28	28	29	0,003993122	0,009764431	0,026	0,0186
29	29	30	0,024819748	0,008204618	0	0
30	30	31	0,004379956	0,014475067	0	0
31	31	32	0,021899778	0,007237533	0	0
32	32	33	0,052347332	0,017569736	0,014	0,01
33	33	34	0,106566439	0,035226822	0,0195	0,014
34	34	35	0,091966588	0,030403879	0,006	0,004
35	3	36	0,000274527	0,000673839	0,026	0,01855
36	36	37	0,003993122	0,009764431	0,026	0,01855
37	37	38	0,006569933	0,007674281	0	0
38	38	39	0,001896733	0,002214935	0,024	0,017
39	39	40	0,000112307	0,000131024	0,024	0,017
40	40	41	0,045440479	0,053089803	0,0012	0,001
41	41	42	0,019341684	0,022604813	0	0
42	42	43	0,002558094	0,002982363	0,006	0,0043
43	43	44	0,000574011	0,000723753	0	0
44	44	45	0,006794546	0,008566494	0,03922	0,0263
45	45	46	5,61533E-05	7,4871E-05	0,03922	0,0263
46	4	47	0,000212135	0,000524097	0	0
47	47	48	0,005309604	0,012996364	0,079	0,0564
48	48	49	0,018081355	0,044242542	0,3847	0,2745
49	49	50	0,005128666	0,012547138	0,3847	0,2745
50	8	51	0,005790027	0,002951167	0,0405	0,0283
51	51	52	0,02070808	0,006950528	0,0036	0,0027
52	9	53	0,0108563	0,005527978	0,00435	0,0035
53	53	54	0,012665683	0,006451387	0,0264	0,019
54	54	55	0,017731957	0,009028199	0,024	0,0172
55	55	56	0,017551018	0,008940849	0	0
56	56	57	0,099204121	0,033298893	0	0
57	57	58	0,048897025	0,016409235	0	0
58	58	59	0,018979807	0,006276688	0,1	0,072
59	59	60	0,024089755	0,007312404	0	0
60	60	61	0,031664208	0,016128469	1,244	0,888
61	61	62	0,006077032	0,003094669	0,032	0,023

Γραμμή	Ζυγός αναχώρησης	Ζυγός άφιξης	R (α.μ.)	X (α.μ.)	P ζυγού άφιξης (MW)	Q ζυγού άφιξης (MVar)
62	62	63	0,009046917	0,004604569	0	0
63	63	64	0,044329892	0,022579856	0,227	0,162
64	64	65	0,064950623	0,033080519	0,059	0,042
65	11	66	0,012553377	0,003812184	0,018	0,013
66	66	67	0,000293245	8,73495E-05	0,018	0,013
67	12	68	0,046133036	0,015248734	0,028	0,02
68	68	69	0,000293245	9,9828E-05	0,028	0,02
<b>Σύνολο</b>					3,80189	2,6941

Στο Σχήμα 6.80 παρουσιάζεται το ακτινικό δίκτυο διανομής 69 ζυγών με εγκατεστημένη ΔΠ. Συγκεκριμένα στους ζυγούς 16, 25, 45, 57, 67, 69 έχουν εγκατασταθεί ΜΔΠ καυσίμου ονομαστικής ισχύος 0.5 MW και στους ζυγούς 27, 32, 50, 65 έχουν εγκατασταθεί ανεμογεννήτριες ονομαστικής ισχύος 1 MW. Οι ανεμογεννήτριες εφόσον είναι εγκατεστημένες στην ίδια περιοχή, θεωρείται πως ακολουθούν την ίδια καμπύλη ανέμου.



**Σχήμα 6.80:** Ακτινικό δίκτυο διανομής 69 ζυγών με εγκατεστημένες ΜΔΠ

Η κοστολόγηση της ενέργειας έγινε με βάση το Σχήμα 6.3 και η καμπύλη φορτίου που χρησιμοποιήθηκε είναι αυτή του Σχήματος 6.4. Η καμπύλη ανέμου που χρησιμοποιήθηκε για την πρόβλεψη της παραγωγής ενεργού ισχύος από τις Α/Γ φαίνεται στο Σχήμα 6.11.

Στις επόμενες Ενότητες 6.4.2 έως 6.4.6 εξετάζονται σενάρια για το βέλτιστο ημερήσιο πλάνο του δικτύου του Σχήματος 6.80 και παρουσιάζεται η επίδραση των μεταβλητών ελέγχου και των περιορισμών στη βέλτιστη λύση. Τα δεδομένα του ΓΑ που χρησιμοποιήθηκαν στα εξεταζόμενα σενάρια φαίνονται στον Πίνακα 6.31. Συνοπτική περιγραφή των σεναρίων ακολουθεί στον Πίνακα 6.32.

**Πίνακας 6.31:** Δεδομένα ΓΑ που χρησιμοποιήθηκαν για το δίκτυο των 69 ζυγών

Μέγεθος Πληθυσμού	50
Αριθμός Γονιδίων Χρωμοσώματος	504
Ποσοστό Πληθυσμού προς Διασταύρωση	20%
Μέγιστος Αριθμός Γενεών	105
Αριθμός συνεχόμενων γενεών που δεν έχει παρουσιαστεί καλύτερο χρωμόσωμα	30

**Πίνακας 6.32:** Συνοπτική περιγραφή εξεταζόμενων σεναρίων στο δίκτυο των 69 ζυγών

Σενάριο 1	Αποτελεί το σενάριο αναφοράς. Το δίκτυο λειτουργεί παθητικά χωρίς να γίνεται έλεγχος σε καμία μεταβλητή ελέγχου. Δεν γίνεται βελτιστοποίηση ως προς κάποια συνάρτηση καταλληλότητας.	
Σενάριο 2	Μεταβλητές ελέγχου:	ΣΑΤΥΦ
	Συνάρτηση καταλληλότητας:	Ελαχιστοποίηση αθροίσματος διακύμανσης τάσεων
Σενάριο 3	Μεταβλητές ελέγχου:	ΣΑΤΥΦ, ενεργός ισχύς ανεμογεννητριών
	Συνάρτηση καταλληλότητας:	Ελαχιστοποίηση αθροίσματος διακύμανσης τάσεων
Σενάριο 4	Μεταβλητές ελέγχου:	Ενεργός και άεργος ισχύς ΜΔΠ καυσίμου, άεργος ισχύς ανεμογεννητριών
	Συνάρτηση καταλληλότητας:	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ελαχιστοποίηση αθροίσματος διακύμανσης τάσεων</li> <li>• Ελαχιστοποίηση απωλειών ενέργειας δικτύου</li> <li>• Ελαχιστοποίηση συνολικού κόστους δικτύου</li> </ul>
Σενάριο 5	Μεταβλητές ελέγχου:	ΣΑΤΥΦ, ενεργός και άεργος ισχύς ΜΔΠ καυσίμου, άεργος ισχύς ανεμογεννητριών
	Συνάρτηση καταλληλότητας:	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ελαχιστοποίηση αθροίσματος διακύμανσης τάσεων</li> <li>• Ελαχιστοποίηση απωλειών ενέργειας δικτύου</li> <li>• Ελαχιστοποίηση συνολικού κόστους δικτύου</li> </ul>

#### 6.4.2 Σεναρίου 1 (Σενάριο αναφοράς) –Δίκτυο των 69 Ζυγών

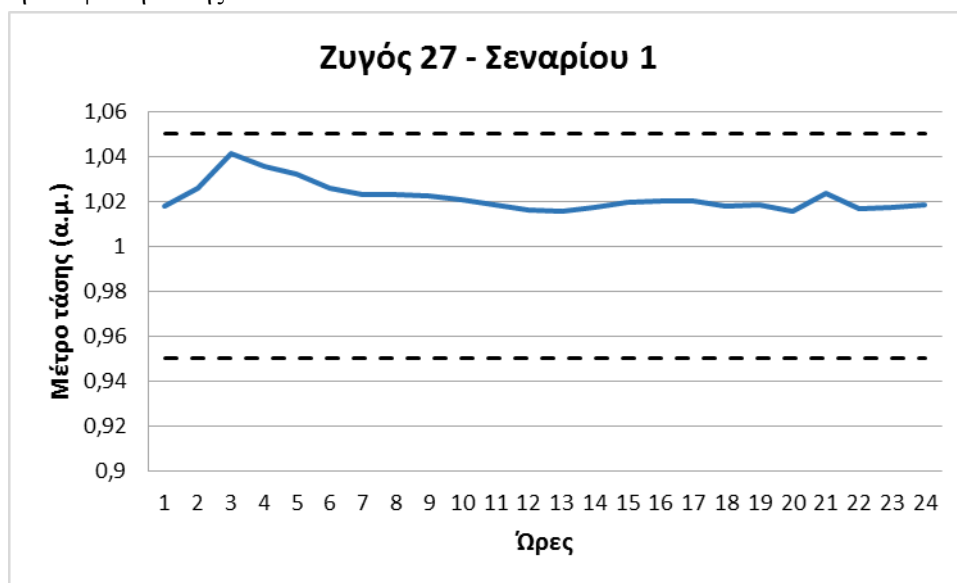
Το συγκεκριμένο σενάριο αποτελεί το σενάριο αναφοράς για το δίκτυο των 69 ζυγών. Το δίκτυο λειτουργεί παθητικά, χωρίς να γίνεται έλεγχος σε κάποια μεταβλητή ελέγχου. Όλες οι ΜΔΠ λειτουργούν στα ονομαστικά τους μεγέθη, τα οποία είναι 0.5 MW για

τις ΜΔΠ καυσίμου και για τις ανεμογεννήτριες στο μέγιστο της ισχύος εξόδου τους η οποία εξαρτάται από την καμπύλη του ανέμου.

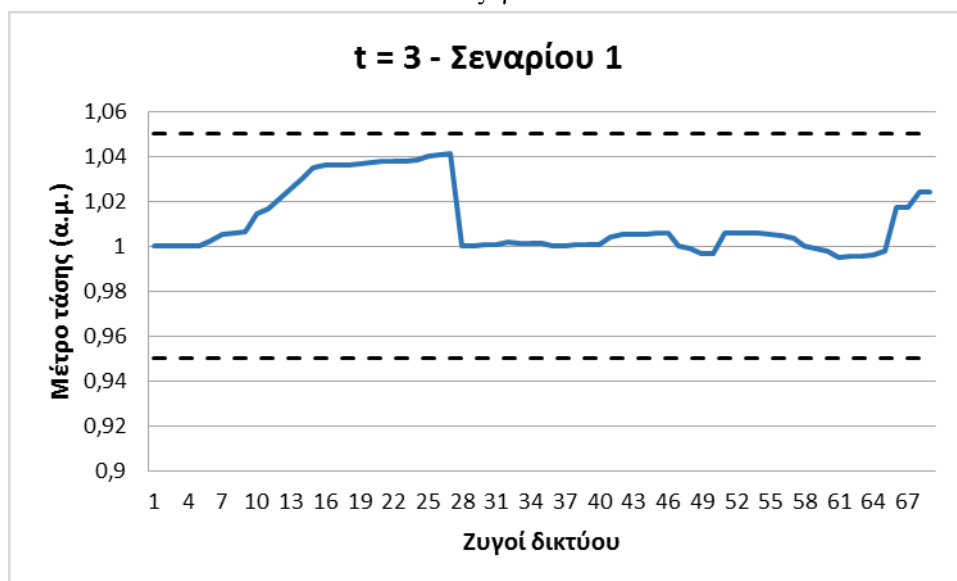
Το συνολικό άθροισμα της διακύμανσης των τάσεων για τους κόμβους του δικτύου είναι 0,28, οι συνολικές απώλειες ενέργειας του δικτύου είναι 1,68 MWh και το συνολικό κόστος λειτουργίας του δικτύου είναι 7.457,4 €.

Στο Σχήμα 6.81 παρουσιάζεται η εξέλιξη του μέτρου της τάσης του ζυγού 27 κατά τη διάρκεια των 24 ωρών, στον οποίο παρατηρείται η μέγιστη ανύψωση τάσης. Αποτελεί δηλαδή τον χειρότερο ζυγό στον οποίο το μέτρο της τάσης ξεφεύγει αρκετά από τα όρια που έχουν τεθεί.

Αντίστοιχα στο Σχήμα 6.82 παρουσιάζεται η εξέλιξη του μέτρου της τάσης όλων των ζυγών του δικτύου για την 3η ώρα, όπου αποτελεί τη χρονική στιγμή που παρατηρείται η μέγιστη ανύψωση τάσης.



**Σχήμα 6.81:** Μέτρο τάσης (α.μ.) ζυγού 27 με τη μέγιστη ανύψωση τάσης Σεναρίου 1 δικτύου 69 ζυγών



**Σχήμα 6.82:** Μέτρο τάσης (α.μ.) χρονικής στιγμής t = 3, με τη μέγιστη ανύψωση τάσης Σεναρίου 1 δικτύου 69 ζυγών

Παρατηρείται πως το μέτρο της τάσης στον ζυγό 27 (ζυγός με τη μέγιστη ανύψωση τάσης) είναι εντός ορίων, επομένως δεν απαιτείται βελτιστοποίηση ως προς το σύνολο της διακύμανσης των τάσεων. Γι' αυτό το λόγο, δεν εξετάζονται τα Σενάρια 2,3 που έχουν ως αντικειμενική συνάρτηση μόνο τη βελτιστοποίηση ως προς τη συνολική διακύμανση, καθώς επίσης και από το Σενάριο 5 δεν εξετάζεται η συγκεκριμένη αντικειμενική συνάρτηση.

### 6.4.3 Επίδραση Σεναρίου 4 στο Δίκτυο των 69 Ζυγών

Στο σενάριο 4 οι ανεμογεννήτριες λειτουργούν στο μέγιστο της ισχύος εξόδου τους η οποία εξαρτάται από την καμπύλη του ανέμου. Οι μεταβλητές ελέγχου για το συγκεκριμένο σενάριο για το δίκτυο των 69 ζυγών είναι η ενεργός και άεργος ισχύς των ΜΔΠ καυσίμου και η άεργος ισχύς των ανεμογεννητριών. Στο σενάριο 4 γίνεται βελτιστοποίηση του ημερήσιου προγραμματισμού έχοντας διαθέσιμες δυο αντικειμενικές συναρτήσεις: ελαχιστοποίηση των συνολικών απωλειών ενέργειας του δικτύου και ελαχιστοποίηση του κόστους λειτουργίας του δικτύου.

#### 6.4.3.1 Αντικειμενική Συνάρτηση: Ελαχιστοποίηση των Συνολικών Απωλειών του Δικτύου των 69 Ζυγών

Στους Πίνακες 6.33 και 6.34 παρουσιάζονται οι τιμές ενεργού και άεργου ισχύος των ΜΔΠ καυσίμου για τη βέλτιστη λύση του σεναρίου και στα Σχήματα 6.83 και 6.84 απεικονίζονται διαγραμματικά.

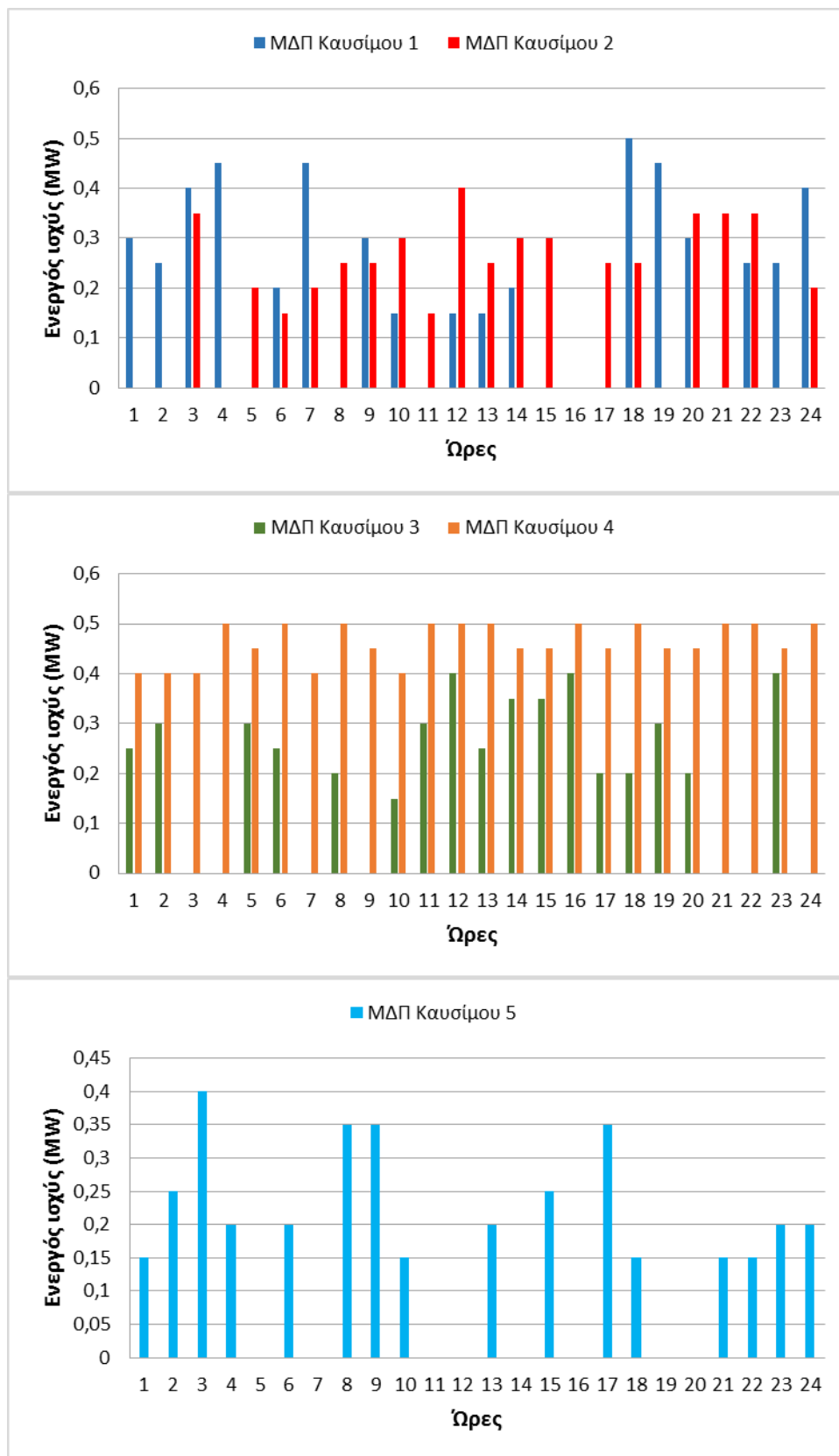
**Πίνακας 6.33:** Τιμές ενεργού και άεργου ισχύος ΜΔΠ καυσίμου για τη βέλτιστη λύση του σεναρίου 4 για το δίκτυο των 69 ζυγών

Ώρα	Ενεργός Ισχύς				
	ΜΔΠ Καυσίμου 1	ΜΔΠ Καυσίμου 2	ΜΔΠ Καυσίμου 3	ΜΔΠ Καυσίμου 4	ΜΔΠ Καυσίμου 5
1	0,3	0	0,25	0,4	0,15
2	0,25	0	0,3	0,4	0,25
3	0,4	0,35	0	0,4	0,4
4	0,45	0	0	0,5	0,2
5	0	0,2	0,3	0,45	0
6	0,2	0,15	0,25	0,5	0,2
7	0,45	0,2	0	0,4	0
8	0	0,25	0,2	0,5	0,35
9	0,3	0,25	0	0,45	0,35
10	0,15	0,3	0,15	0,4	0,15
11	0	0,15	0,3	0,5	0
12	0,15	0,4	0,4	0,5	0
13	0,15	0,25	0,25	0,5	0,2
14	0,2	0,3	0,35	0,45	0
15	0	0,3	0,35	0,45	0,25
16	0	0	0,4	0,5	0
17	0	0,25	0,2	0,45	0,35
18	0,5	0,25	0,2	0,5	0,15

Ώρα	Ενεργός Ισχύς				
	ΜΔΠ Καυσίμου 1	ΜΔΠ Καυσίμου 2	ΜΔΠ Καυσίμου 3	ΜΔΠ Καυσίμου 4	ΜΔΠ Καυσίμου 5
19	0,45	0	0,3	0,45	0
20	0,3	0,35	0,2	0,45	0
21	0	0,35	0	0,5	0,15
22	0,25	0,35	0	0,5	0,15
23	0,25	0	0,4	0,45	0,2
24	0,4	0,2	0	0,5	0,2

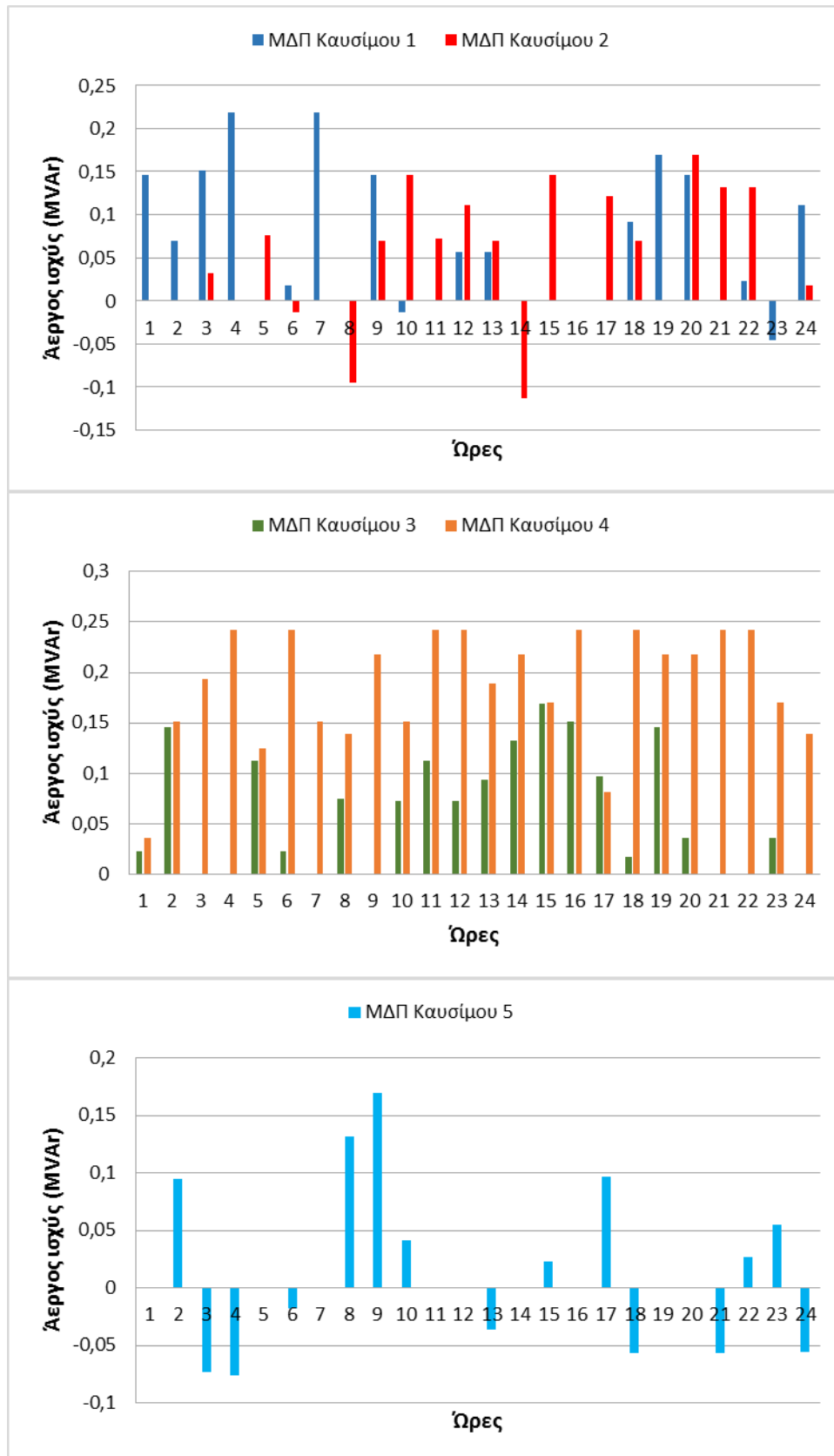
**Πίνακας 6.34:** Τιμές ενεργού και άεργου ισχύος ΜΔΠ καυσίμου για τη βέλτιστη λύση του σεναρίου 4 για το δίκτυο των 69 ζυγών

Ώρα	Άεργος Ισχύς				
	ΜΔΠ Καυσίμου 1	ΜΔΠ Καυσίμου 2	ΜΔΠ Καυσίμου 3	ΜΔΠ Καυσίμου 4	ΜΔΠ Καυσίμου 5
1	0,145284	0	0,022576	0,036121	0
2	0,069331	0	0,145284	0,150908	0,094318
3	0,150908	0,031606	0	0,193712	-0,07298
4	0,217926	0	0	0,24214	-0,07549
5	0	0,075454	0,113181	0,124796	0
6	0,018061	-0,01357	0,022576	0,24214	-0,0181
7	0,217926	0	0	0,150908	0
8	0	-0,09437	0,075454	0,138662	0,132045
9	0,145284	0,069331	0	0,217926	0,169498
10	-0,01357	0,145284	0,072642	0,150908	0,041599
11	0	0,072642	0,113181	0,24214	0
12	0,056591	0,11093	0,072909	0,24214	0
13	0,056591	0,069331	0,094318	0,188635	-0,03649
14	0	-0,11324	0,132045	0,217926	0
15	0	0,145284	0,169498	0,169772	0,022576
16	0	0	0,150908	0,24214	0
17	0	0,12107	0,096856	0,082022	0,097064
18	0,091136	0,069331	0,018061	0,24214	-0,05662
19	0,169772	0	0,145284	0,217926	0
20	0,145284	0,169498	0,036454	0,217926	0
21	0	0,132045	0	0,24214	-0,05662
22	0,022576	0,132045	0	0,24214	0,027341
23	-0,04561	0	0,036121	0,169772	0,055465
24	0,11093	0,018061	0	0,138662	-0,0555



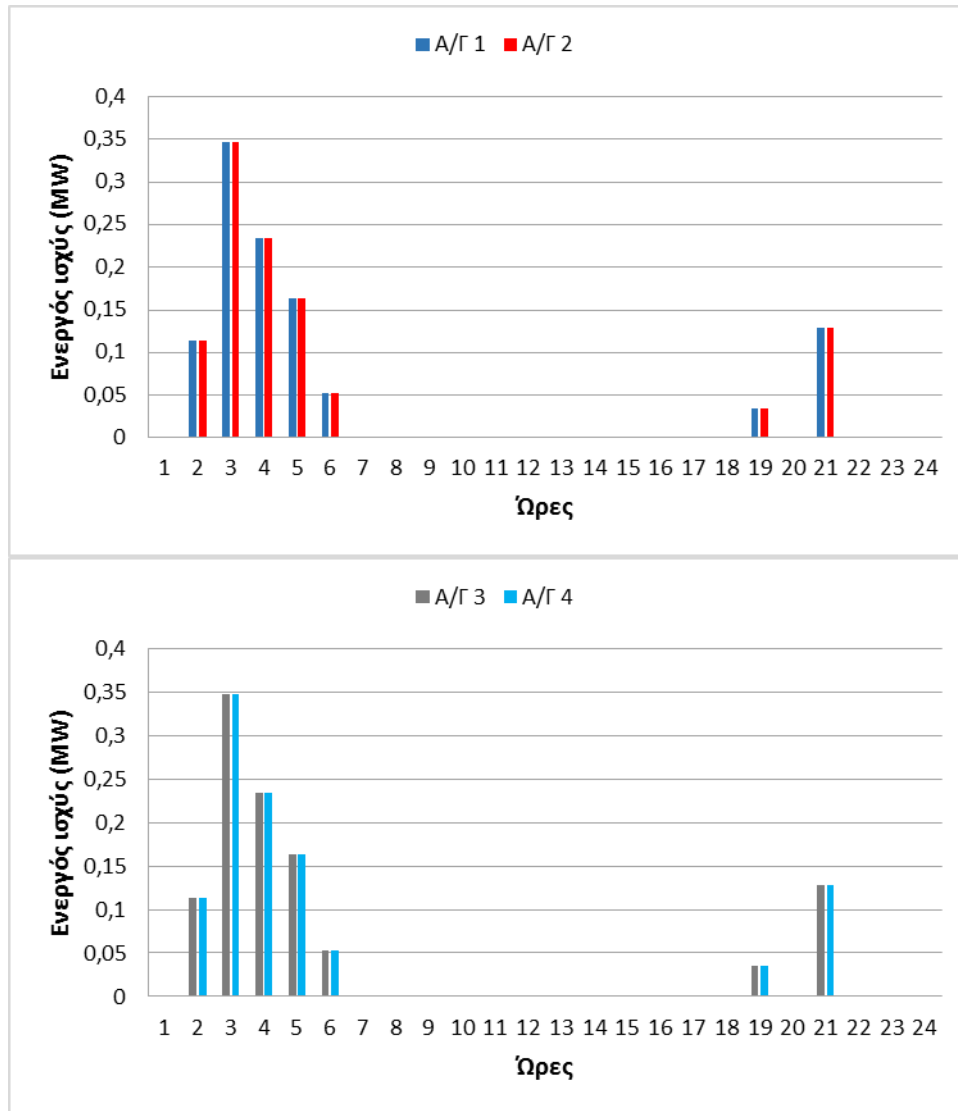
Σχήμα 6.83: Ενεργός ισχύς ΜΔΠ καυσίμου βέλτιστης λύσης σεναρίου 4 για το δίκτυο των 69 ζυγών



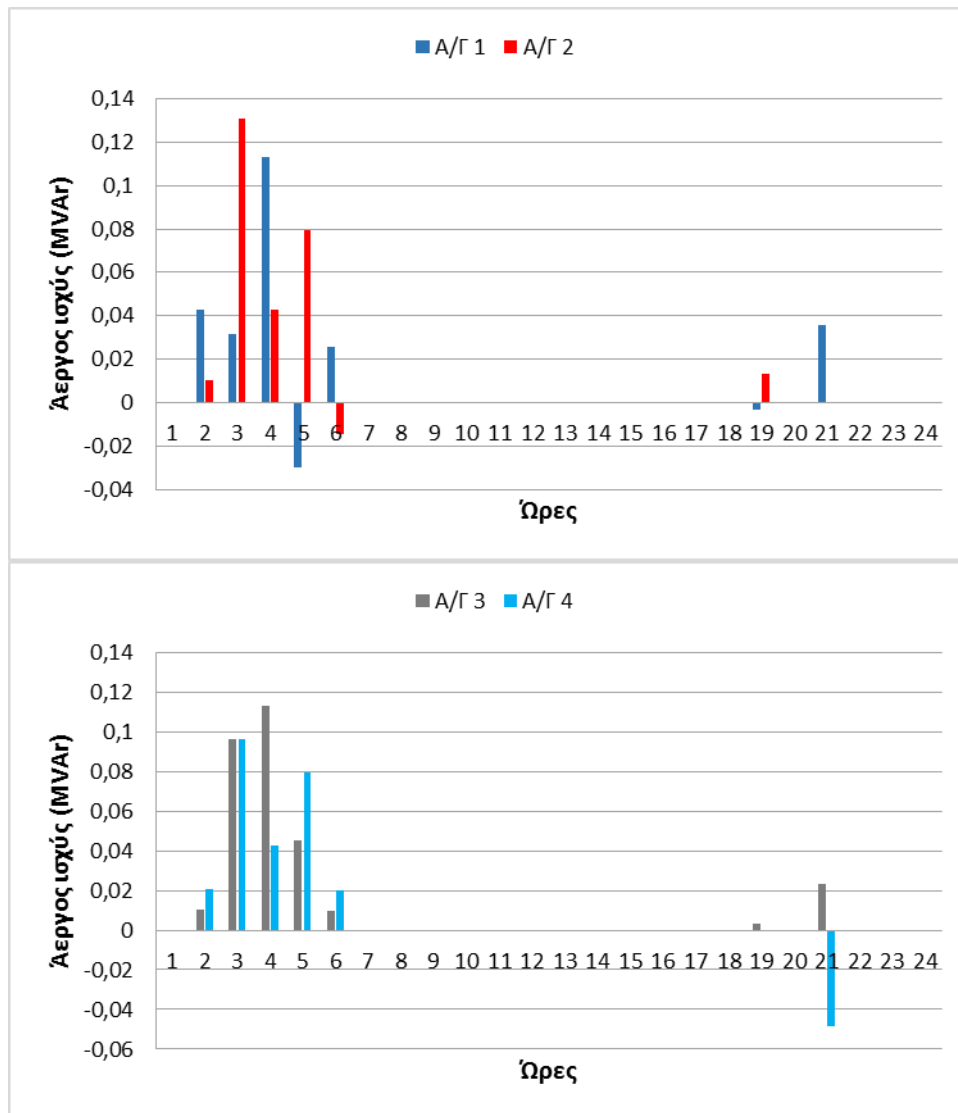


Σχήμα 6.84: Άεργος ισχύς ΜΔΠ καυσίμου βέλτιστης λύσης σεναρίου 4 για το δίκτυο των 69 ζυγών



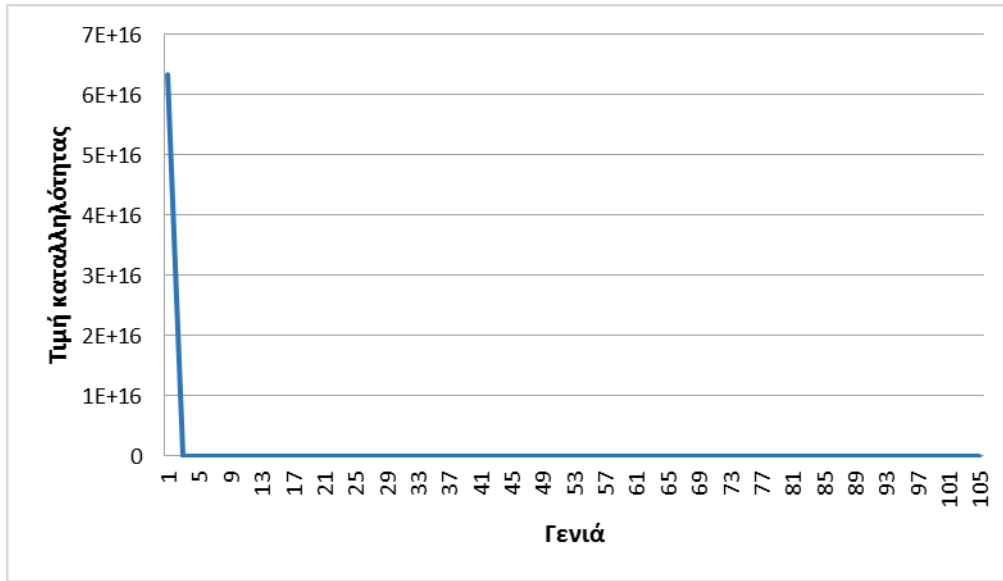


Σχήμα 6.85: Ενεργός ισχύς ανεμογεννητριών βέλτιστης λύσης σεναρίου 4 για το δίκτυο των 69 ζυγών

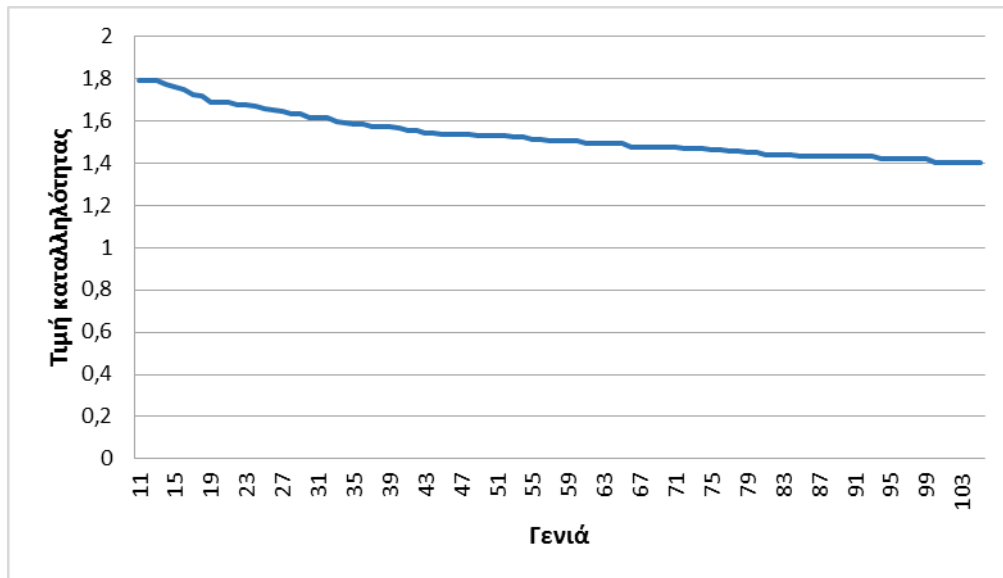


**Σχήμα 6.86:** Άεργος ισχύς ανεμογεννητριών βέλτιστης λύσης σεναρίου 4 για το δίκτυο των 69 ζυγών

Στα Σχήματα 6.87 και 6.88 φαίνεται πως μειώνεται η τιμή της συνάρτησης καταλληλότητας μέσα από τη διαδικασία του ακεραίου ΓΑ που χρησιμοποιήθηκε. Η τιμή καταλληλότητας δίνει μια εικόνα της μείωσης της αντικειμενικής συνάρτησης και ταυτίζεται με αυτή όταν δεν παραβιάζονται οι περιορισμοί, δηλαδή όταν δεν υπάρχει ποινή.



**Σχήμα 6.87:** Εξέλιξη τιμής καταλληλότητας καλύτερου χρωμοσώματος κάθε γενιάς στο ΓΑ για το σενάριο 4 για το δίκτυο 69 ζυγών



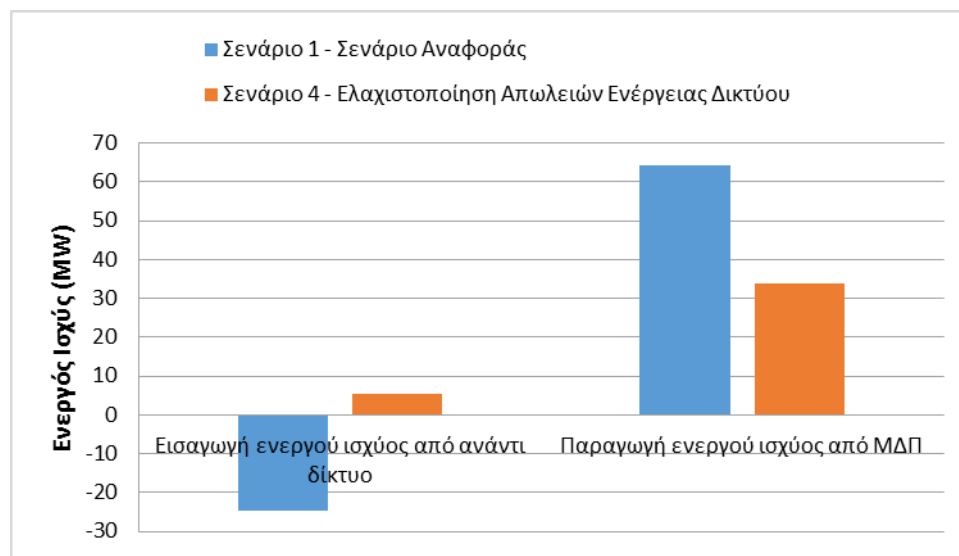
**Σχήμα 6.88:** Εξέλιξη τιμής καταλληλότητας καλύτερου χρωμοσώματος κάθε γενιάς στο ΓΑ για το σενάριο 4 για τις γενιές 11 έως 105 για το δίκτυο 69 ζυγών

Το συνολικό άθροισμα της διακύμανσης των τάσεων για τους κόμβους του δικτύου είναι 0,53, οι συνολικές απώλειες ενέργειας του δικτύου είναι 1,40 MWh και το συνολικό κόστος λειτουργίας του δικτύου είναι 5.253,4 €.

Οι τιμές της ενεργού ισχύος από τον Υ/Σ του δικτύου και η παραγωγή ενεργού ισχύος από ΜΔΠ για τα Σενάρια 1 και 4 παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.36. Ακολουθεί η διαγραμματική αναπαράσταση αυτών, στο Σχήμα 6.89. Στο Σενάριο 4 παρατηρείται αύξηση της εισερχόμενης ενεργού ισχύος από τον Υ/Σ του δικτύου και μείωση στην παραγωγή ενεργού ισχύος από ΜΔΠ που οφείλεται στον κατάλληλο χειρισμό των μεταβλητών ελέγχου του συγκεκριμένου σεναρίου.

**Πίνακας 6.36:** Ενεργός ισχύς από τον Υ/Σ του δικτύου και παραγωγή ενεργού ισχύος από τις ΜΔΠ – Σενάριο 1 και 4 του δικτύου των 69 ζυγών

	Ενεργός ισχύς από τον Υ/Σ Υ/Τ-Μ/Τ (MW)	Παραγωγή ενεργού ισχύος από ΜΔΠ (MW)
Σενάριο 1 – Σενάριο Αναφοράς	-24,7244	64,3
Σενάριο 4	5,3940	33,9



**Σχήμα 6.89:** Συγκριτικό διάγραμμα ενεργού ισχύος από το ανάντι δίκτυο και παραγωγής ενεργού ισχύος από τις ΜΔΠ – Σενάριο 1 και Σενάριο 4 του δικτύου 69 ζυγών

#### 6.4.3.2 Αντικειμενική Συνάρτηση: Ελαχιστοποίηση του Κόστους Λειτουργίας του Δικτύου των 69 Ζυγών

Στους Πίνακες 6.37 και 6.38 παρουσιάζονται οι τιμές ενεργού και άεργου ισχύος των ΜΔΠ καυσίμου για τη βέλτιστη λύση του σεναρίου και στα Σχήματα 6.90 και 6.91 απεικονίζονται διαγραμματικά.

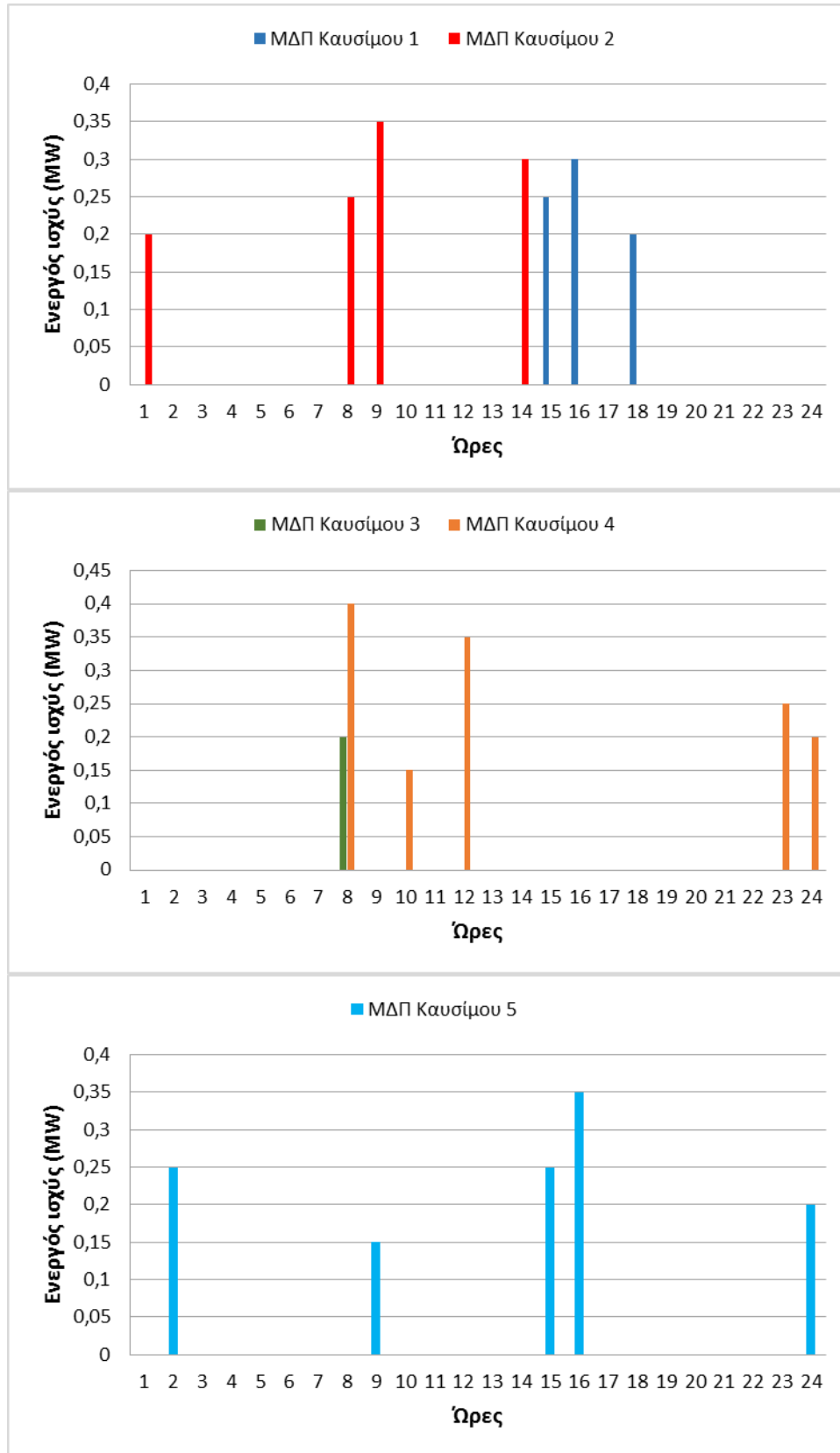
**Πίνακας 6.37:** Τιμές ενεργού ισχύος ΜΔΠ καυσίμου για τη βέλτιστη λύση του σεναρίου 4 για το δίκτυο των 69 ζυγών

Ώρα	Ενεργός Ισχύς				
	ΜΔΠ Καυσίμου 1	ΜΔΠ Καυσίμου 2	ΜΔΠ Καυσίμου 3	ΜΔΠ Καυσίμου 4	ΜΔΠ Καυσίμου 5
1	0	0,2	0	0	0
2	0	0	0	0	0,25
3	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0
8	0	0,25	0,2	0,4	0
9	0	0,35	0	0	0,15
10	0	0	0	0,15	0
11	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0,35	0
13	0	0	0	0	0
14	0	0,3	0	0	0
15	0,25	0	0	0	0,25
16	0,3	0	0	0	0,35
17	0	0	0	0	0
18	0,2	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0,25	0
24	0	0	0	0,2	0,2

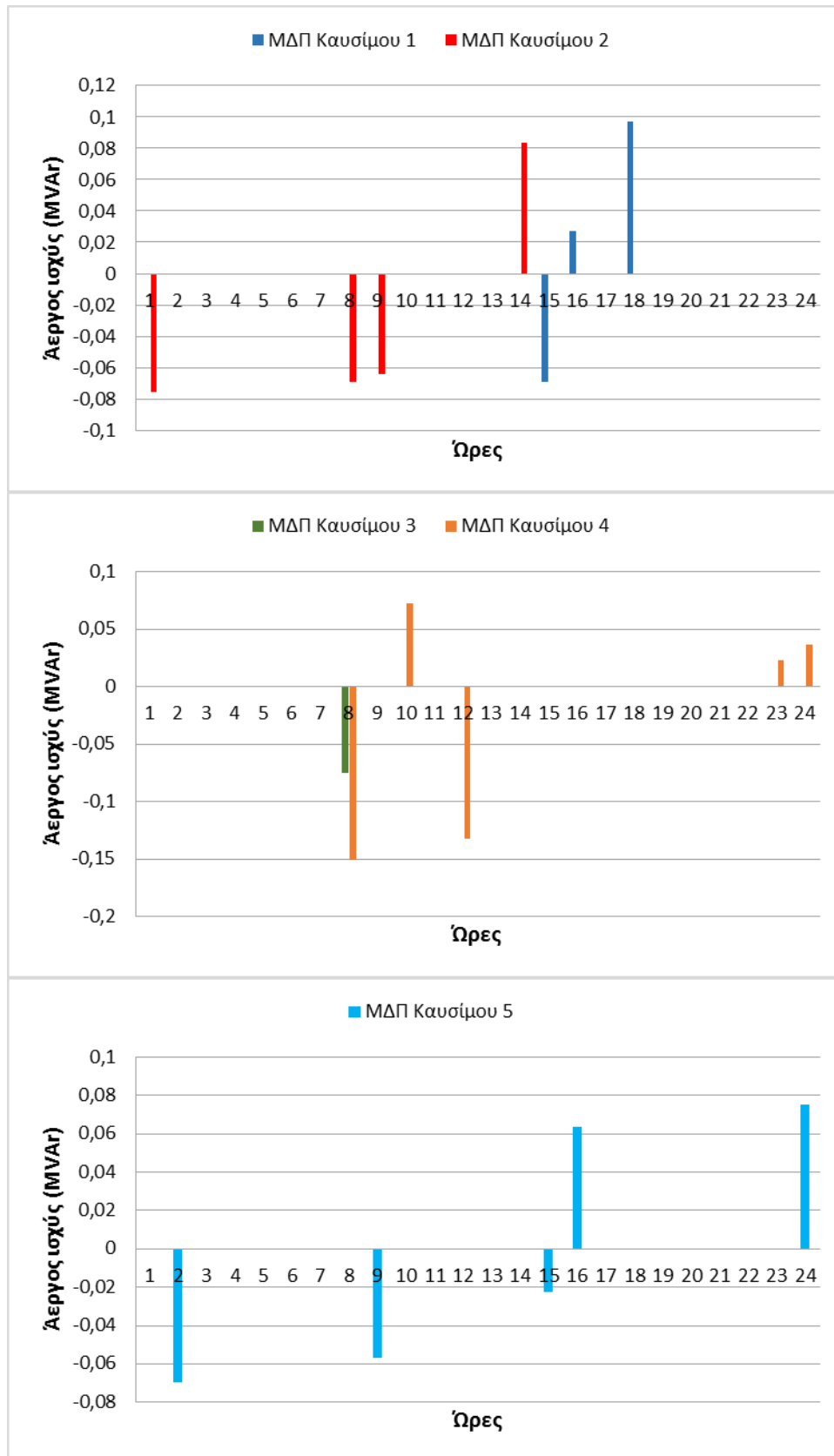
**Πίνακας 6.38:** Τιμές άεργου ισχύος ΜΔΠ καυσίμου για τη βέλτιστη λύση του σεναρίου 4 για το δίκτυο των 69 ζυγών

Ώρα	Άεργος Ισχύς				
	ΜΔΠ Καυσίμου 1	ΜΔΠ Καυσίμου 2	ΜΔΠ Καυσίμου 3	ΜΔΠ Καυσίμου 4	ΜΔΠ Καυσίμου 5
1	0	-0,07549	0	0	0
2	0	0	0	0	-0,06938
3	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0
8	0	-0,06938	-0,07549	-0,15099	0
9	0	-0,06386	0	0	-0,05662
10	0	0	0	0,072642	0
11	0	0	0	0	0
12	0	0	0	-0,13211	0
13	0	0	0	0	0
14	0	0,083197	0	0	0
15	-0,06938	0	0	0	-0,02262
16	0,027091	0	0	0	0,063795
17	0	0	0	0	0
18	0,096856	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0,022576	0
24	0	0	0	0,036454	0,075454



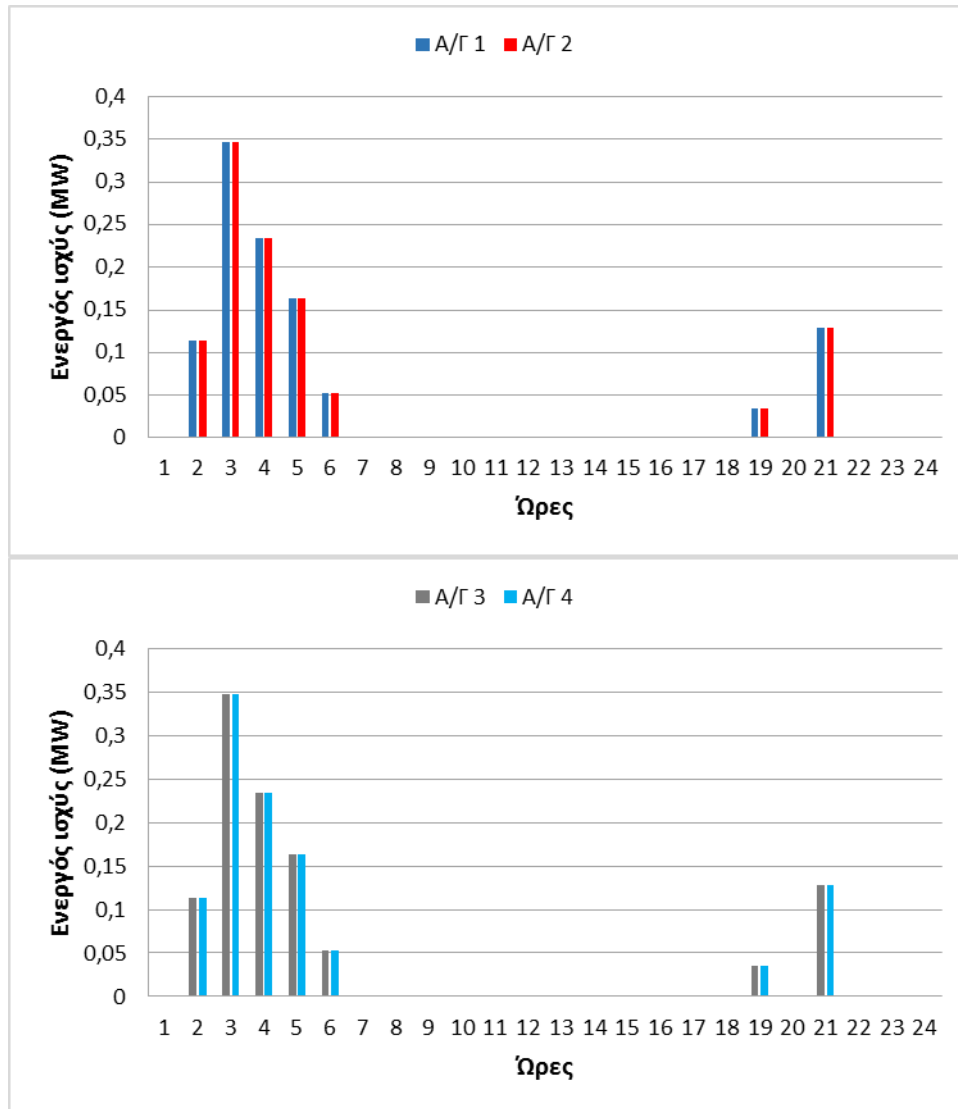


Σχήμα 6.90: Ενεργός ισχύς ΜΔΠ καυσίμου βέλτιστης λύσης σεναρίου 4 για το δίκτυο των 69 ζυγών

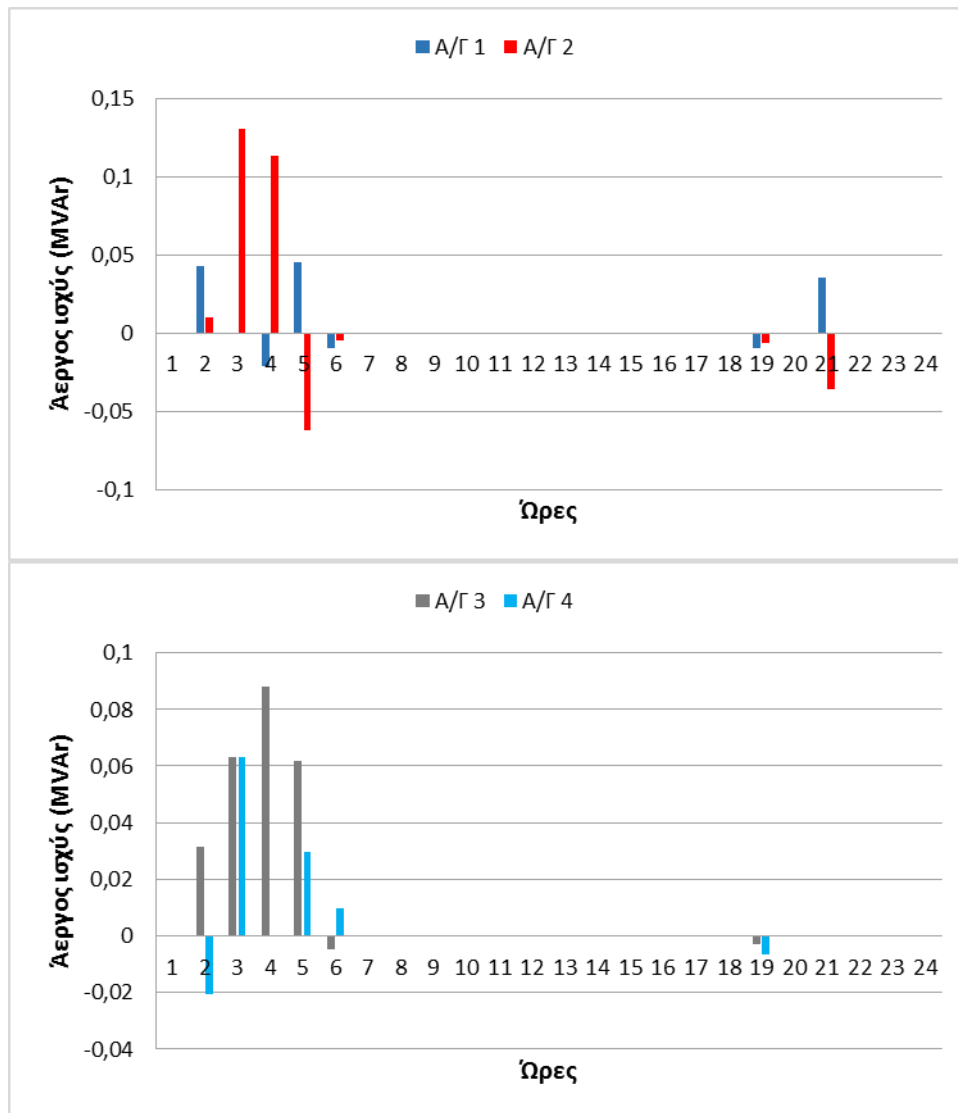


Σχήμα 6.91: Άεργος ισχύς ΜΔΠ καυσίμου βέλτιστης λύσης σεναρίου 4 για το δίκτυο των 69 ζυγών



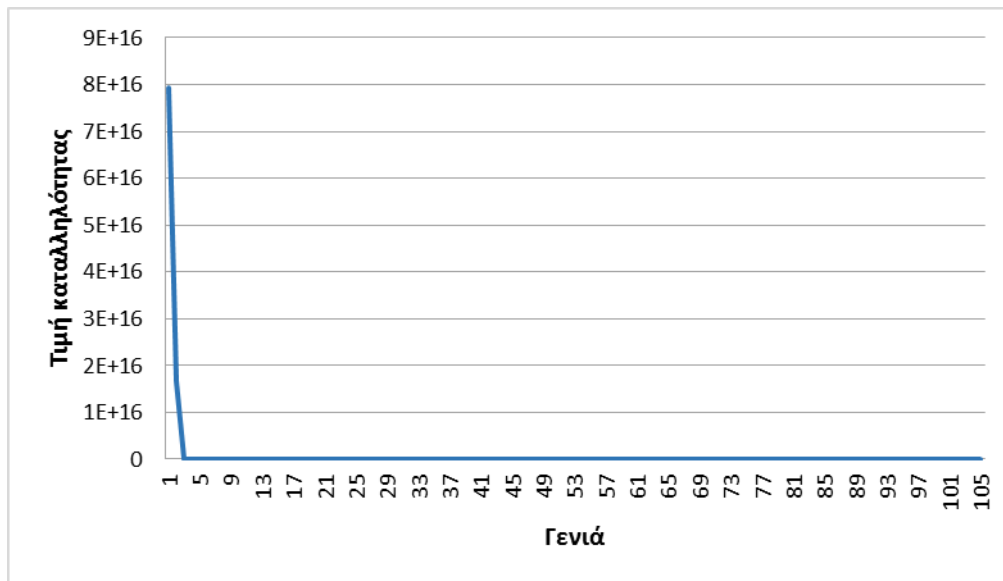


Σχήμα 6.92: Ενεργός ισχύς ανεμογεννητριών βέλτιστης λύσης σεναρίου 4 για το δίκτυο των 69 ζυγών

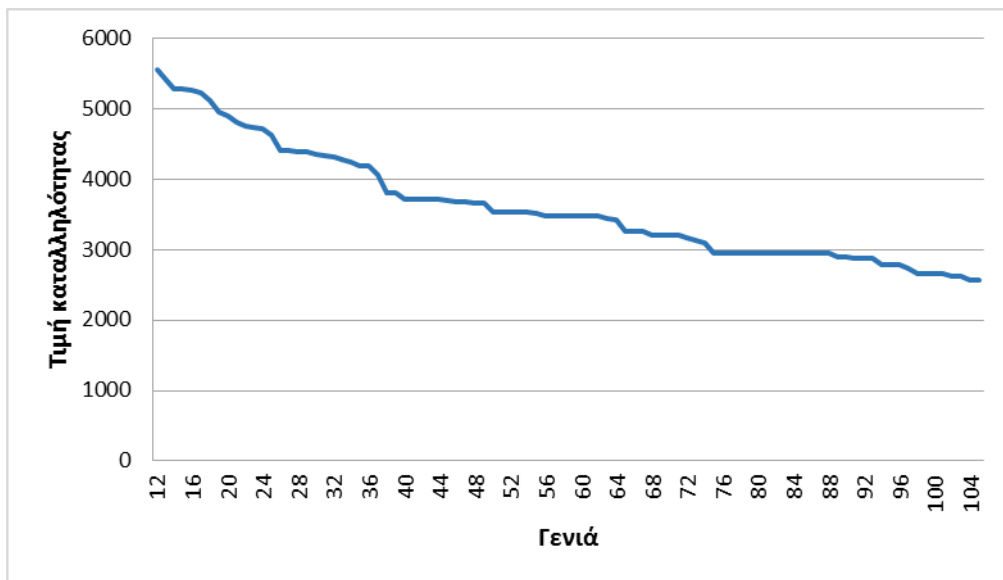


**Σχήμα 6.93:** Άεργος ισχύς ανεμογεννητριών βέλτιστης λύσης σεναρίου 4 για το δίκτυο των 69 ζυγών

Στα Σχήματα 6.94 και 6.95 φαίνεται πως μειώνεται η τιμή της συνάρτησης καταλληλότητας μέσα από τη διαδικασία του ακέρατου ΓΑ που χρησιμοποιήθηκε. Η τιμή καταλληλότητας δίνει μια εικόνα της μείωσης της αντικειμενικής συνάρτησης και ταυτίζεται με αυτή όταν δεν παραβιάζονται οι περιορισμοί, δηλαδή όταν δεν υπάρχει ποινή.



**Σχήμα 6.94:** Εξέλιξη τιμής καταλληλότητας καλύτερου χρωμοσώματος κάθε γενιάς στο ΓΑ για το σενάριο 4 για το δίκτυο 69 ζυγών



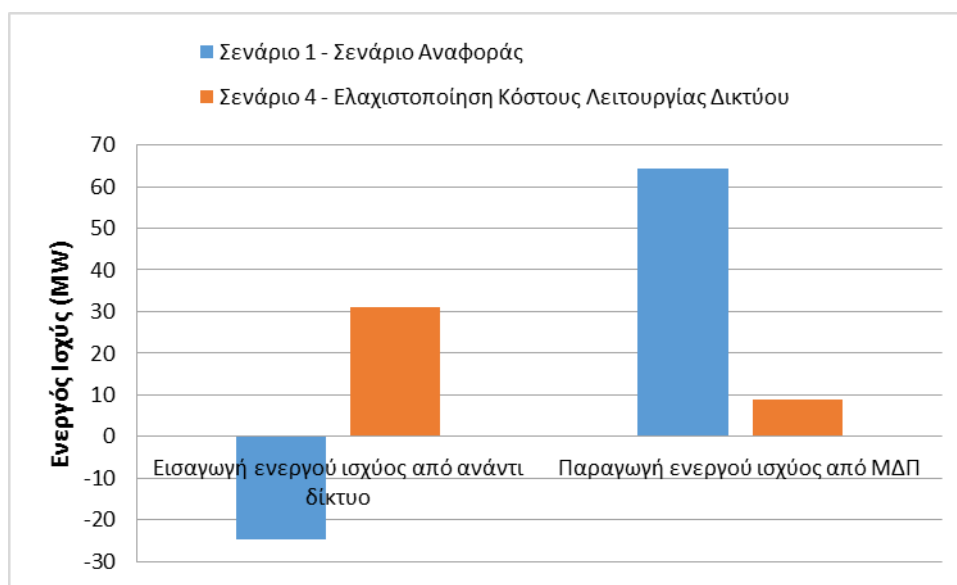
**Σχήμα 6.95:** Εξέλιξη τιμής καταλληλότητας καλύτερου χρωμοσώματος κάθε γενιάς στο ΓΑ για το σενάριο 4 για τις γενιές 12 έως 105 για το δίκτυο 69 ζυγών

Το συνολικό άθροισμα της διακύμανσης των τάσεων για τους κόμβους του δικτύου είναι 0,39, οι συνολικές απώλειες ενέργειας του δικτύου είναι 2,04 MWh και το συνολικό κόστος λειτουργίας του δικτύου είναι 2.161,4 €.

Οι τιμές της ενεργού ισχύος από τον Υ/Σ του δικτύου και η παραγωγή ενεργού ισχύος από ΜΔΠ για τα Σενάρια 1 και 4 παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.40. Ακολουθεί η διαγραμματική αναπαράσταση αυτών, στο Σχήμα 6.96. Στο Σενάριο 4 παρατηρείται αύξηση της εισερχόμενης ενεργού ισχύος από τον Υ/Σ του δικτύου και μείωση στην παραγωγή ενεργού ισχύος από ΜΔΠ που οφείλεται στον κατάλληλο χειρισμό των μεταβλητών ελέγχου του συγκεκριμένου σεναρίου.

**Πίνακας 6.67:** Ενεργός ισχύς από τον Υ/Σ του δικτύου και παραγωγή ενεργού ισχύος από τις ΜΔΠ – Σενάριο 1 και 4 του δικτύου των 69 ζυγών

	Ενεργός ισχύς από τον Υ/Σ Υ/Τ-Μ/Τ (MW)	Παραγωγή ενεργού ισχύος από ΜΔΠ (MW)
Σενάριο 1 – Σενάριο Αναφοράς	-24,7244	64,3
Σενάριο 4	31,03089	8,9



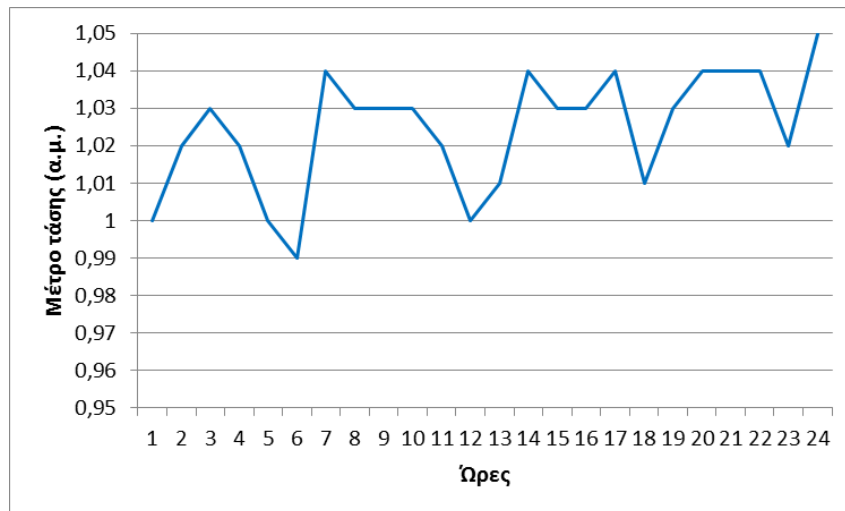
**Σχήμα 6.96:** Συγκριτικό διάγραμμα ενεργού ισχύος από το ανάντι δίκτυο και παραγωγής ενεργού ισχύος από τις ΜΔΠ – Σενάριο 1 και Σενάριο 4 του δικτύου 69 ζυγών

#### 6.4.4 Επίδραση Σεναρίου 5 στο Δίκτυο των 69 Ζυγών

Στο σενάριο 5 οι ανεμογεννήτριες λειτουργούν στο μέγιστο της ισχύος εξόδου τους η οποία εξαρτάται από την καμπύλη του ανέμου. Οι μεταβλητές ελέγχου για το συγκεκριμένο σενάριο για το δίκτυο των 69 ζυγών είναι η τάση στο ΣΑΤΥΦ, η ενεργός και άεργος ισχύς των ΜΔΠ καυσίμου και η άεργος ισχύς των ανεμογεννητριών. Στο σενάριο 5 γίνεται βελτιστοποίηση του ημερήσιου προγραμματισμού έχοντας διαθέσιμες τρεις αντικειμενικές συναρτήσεις: ελαχιστοποίηση του αθροίσματος της διακύμανσης των τάσεων στους κόμβους του δικτύου, ελαχιστοποίηση των συνολικών απωλειών ενέργειας του δικτύου και ελαχιστοποίηση του κόστους λειτουργίας του δικτύου.

##### 6.4.4.1 Αντικειμενική Συνάρτηση: Ελαχιστοποίηση των Συνολικών Απωλειών του Δικτύου των 69 Ζυγών

Στο Σχήμα 6.97 απεικονίζονται διαγραμματικά οι τιμές της τάσης στο ΣΑΤΥΦ για τη βέλτιστη λύση του Σεναρίου 5 των 69 ζυγών. Στους Πίνακες 6.41 και 6.42 παρουσιάζονται οι τιμές ενεργού και άεργου ισχύος των ΜΔΠ καυσίμου για τη βέλτιστη λύση του σεναρίου και στα Σχήματα 6.98 και 6.99 απεικονίζονται διαγραμματικά.



Σχήμα 6.97: Μέτρο τάσης (α.μ.) στο ΣΑΤΥΦ βέλτιστης λύσης Σεναρίου 5 για το δίκτυο των 69 ζυγών

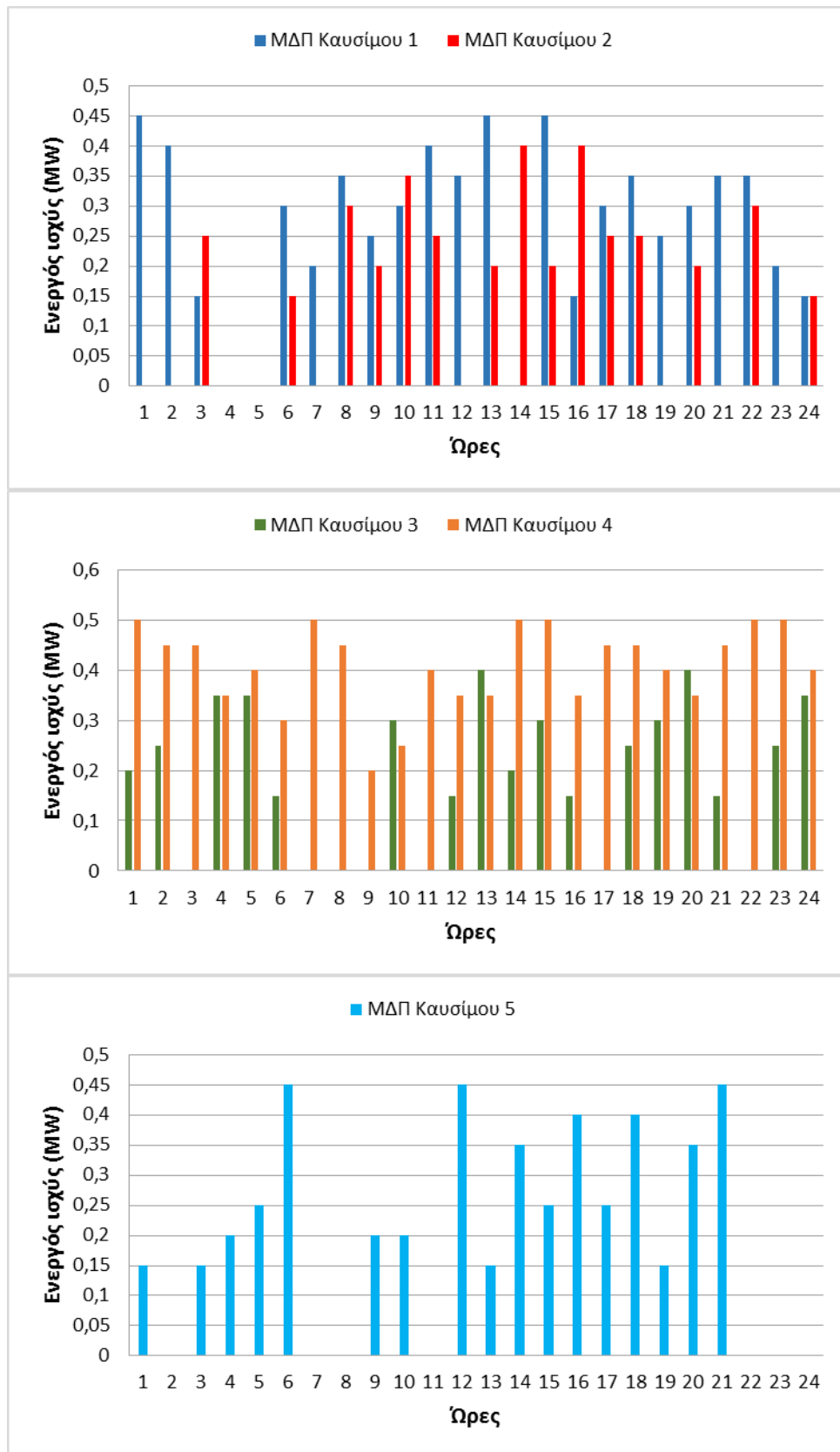
Πίνακας 6.41: Τιμές ενεργού ισχύος ΜΔΠ καυσίμου για τη βέλτιστη λύση του σεναρίου 5 για το δίκτυο των 69 ζυγών

Ώρα	Ενεργός Ισχύς				
	ΜΔΠ Καυσίμου 1	ΜΔΠ Καυσίμου 2	ΜΔΠ Καυσίμου 3	ΜΔΠ Καυσίμου 4	ΜΔΠ Καυσίμου 5
1	0,45	0	0,2	0,5	0,15
2	0,4	0	0,25	0,45	0
3	0,15	0,25	0	0,45	0,15
4	0	0	0,35	0,35	0,2
5	0	0	0,35	0,4	0,25
6	0,3	0,15	0,15	0,3	0,45
7	0,2	0	0	0,5	0
8	0,35	0,3	0	0,45	0
9	0,25	0,2	0	0,2	0,2
10	0,3	0,35	0,3	0,25	0,2
11	0,4	0,25	0	0,4	0
12	0,35	0	0,15	0,35	0,45
13	0,45	0,2	0,4	0,35	0,15
14	0	0,4	0,2	0,5	0,35
15	0,45	0,2	0,3	0,5	0,25
16	0,15	0,4	0,15	0,35	0,4
17	0,3	0,25	0	0,45	0,25
18	0,35	0,25	0,25	0,45	0,4
19	0,25	0	0,3	0,4	0,15
20	0,3	0,2	0,4	0,35	0,35
21	0,35	0	0,15	0,45	0,45
22	0,35	0,3	0	0,5	0
23	0,2	0	0,25	0,5	0
24	0,15	0,15	0,35	0,4	0

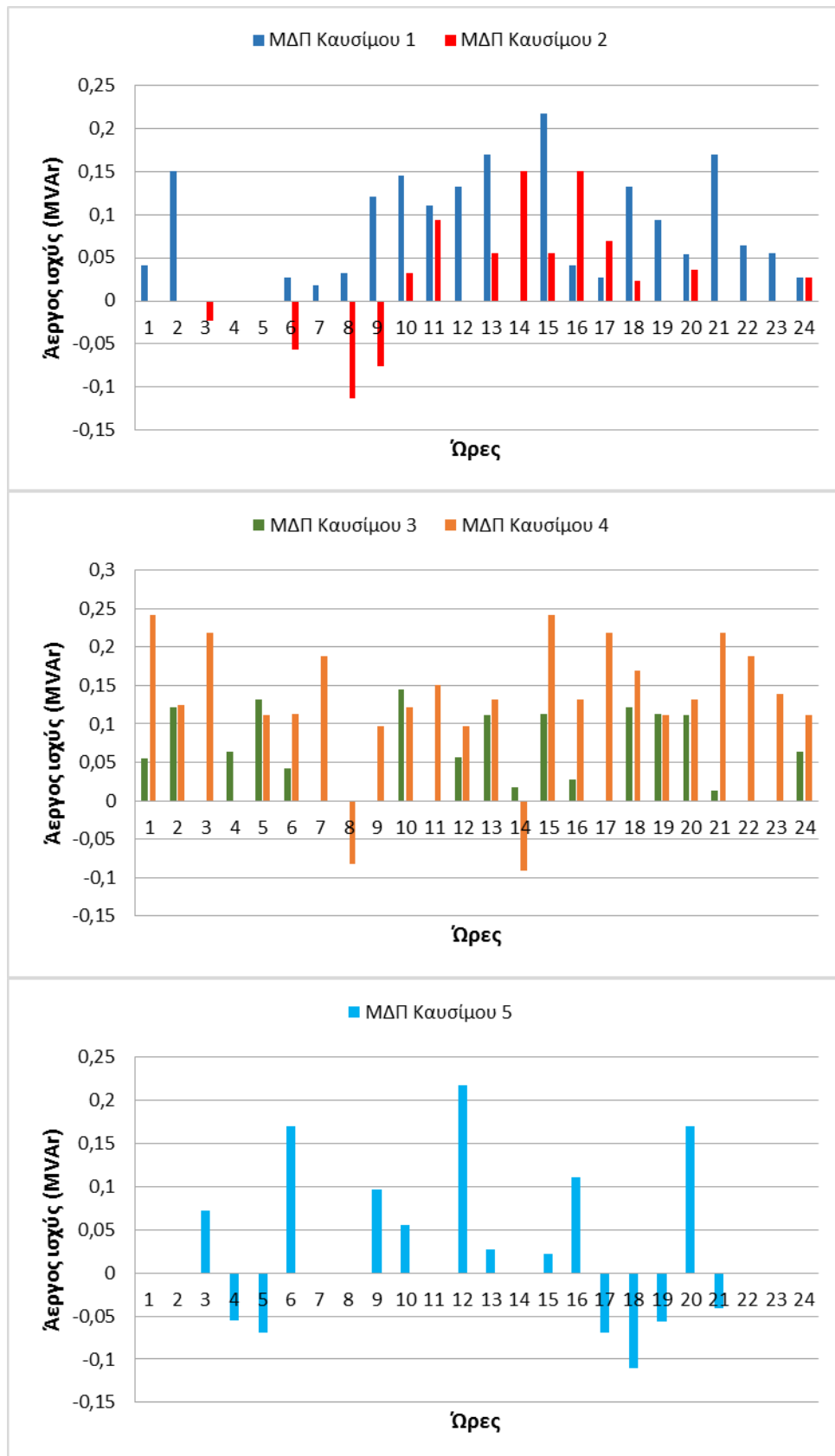


**Πίνακας 6.42:** Τιμές άεργου ισχύος ΜΔΠ καυσίμου για τη βέλτιστη λύση του σεναρίου 5 για το δίκτυο των 69 ζυγών

Ώρα	Άεργος Ισχύς				
	ΜΔΠ Καυσίμου 1	ΜΔΠ Καυσίμου 2	ΜΔΠ Καυσίμου 3	ΜΔΠ Καυσίμου 4	ΜΔΠ Καυσίμου 5
1	0,040636	0	0,055465	0,24214	0
2	0,150908	0	0,12107	0,124796	0
3	0	-0,02262	0	0,217926	0,072642
4	0	0	0,063795	0	-0,0555
5	0	0	0,132045	0,11093	-0,06938
6	0,027091	-0,05662	0,041599	0,113181	0,169772
7	0,018061	0	0	0,188635	0
8	0,031606	-0,11324	0	-0,0821	0
9	0,12107	-0,07549	0	0,096856	0,096856
10	0,145284	0,031606	0,145284	0,12107	0,055465
11	0,11093	0,094318	0	0,150908	0
12	0,132045	0	0,056591	0,097064	0,217926
13	0,169772	0,055465	0,11093	0,132045	0,027341
14	0	0,150908	0,018061	-0,09123	0
15	0,217926	0,055465	0,113181	0,24214	0,022576
16	0,041599	0,150908	0,027341	0,132045	0,11093
17	0,027091	0,069331	0	0,217926	-0,06938
18	0,132045	0,022576	0,12107	0,169772	-0,11101
19	0,094318	0	0,113181	0,11093	-0,05662
20	0,054682	0,036454	0,11093	0,132045	0,169498
21	0,169498	0	0,013545	0,217926	-0,04072
22	0,063795	0	0	0,188635	0
23	0,055465	0	0	0,138662	0
24	0,027341	0,027341	0,063795	0,11093	0

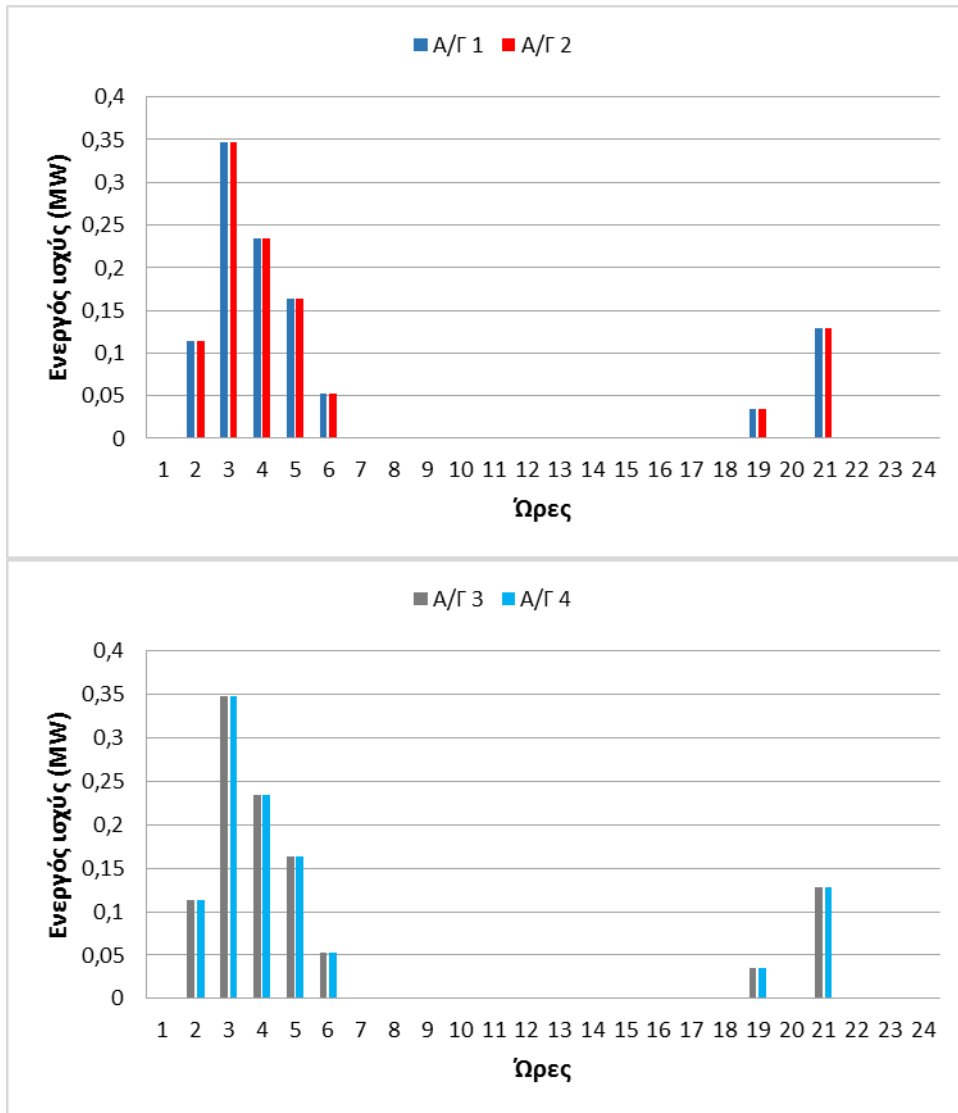


Σχήμα 6.98: Ενεργός ισχύς ΜΔΠ καυσίμου βέλτιστης λύσης σεναρίου 5 για το δίκτυο των 69 ζυγών

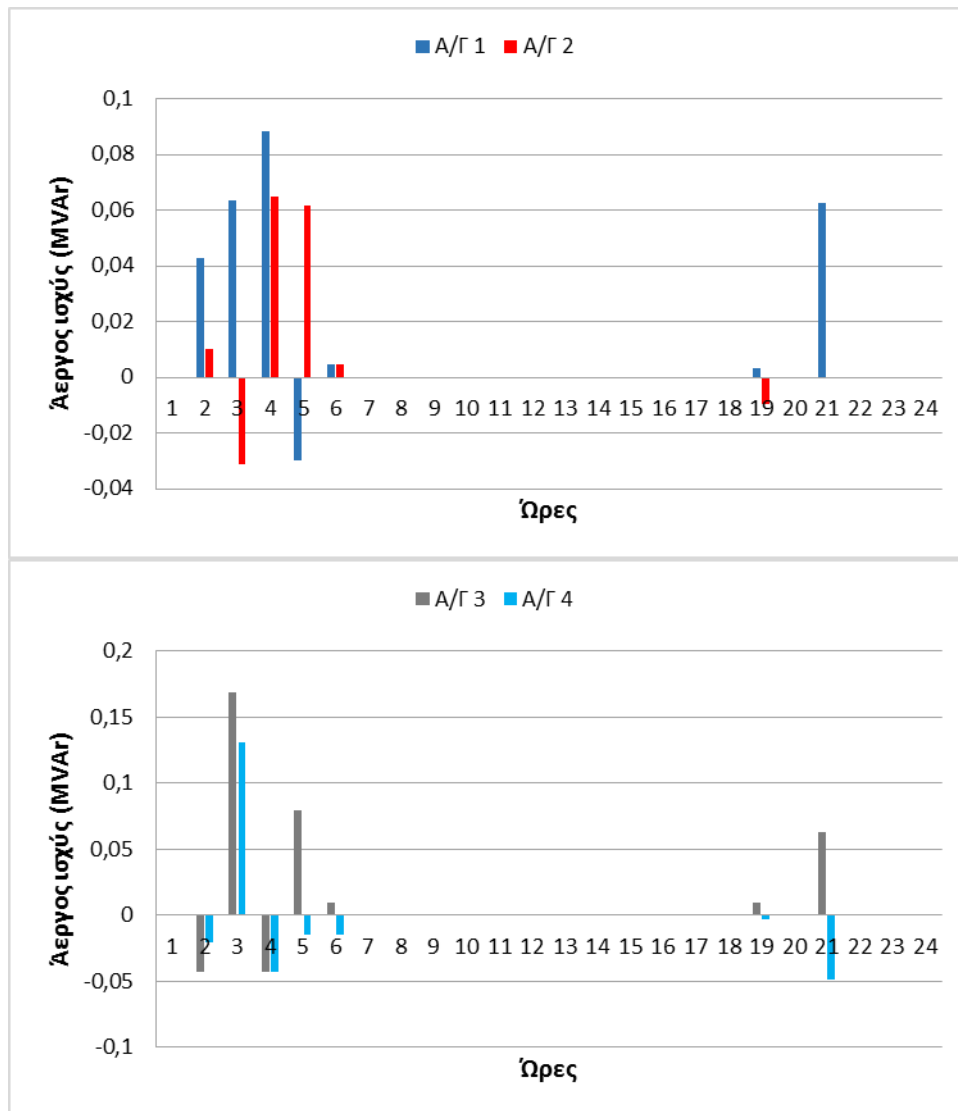


Σχήμα 6.99: Άεργος ισχύς ΜΔΠ καυσίμου βέλτιστης λύσης σεναρίου 5 για το δίκτυο των 69 ζυγών



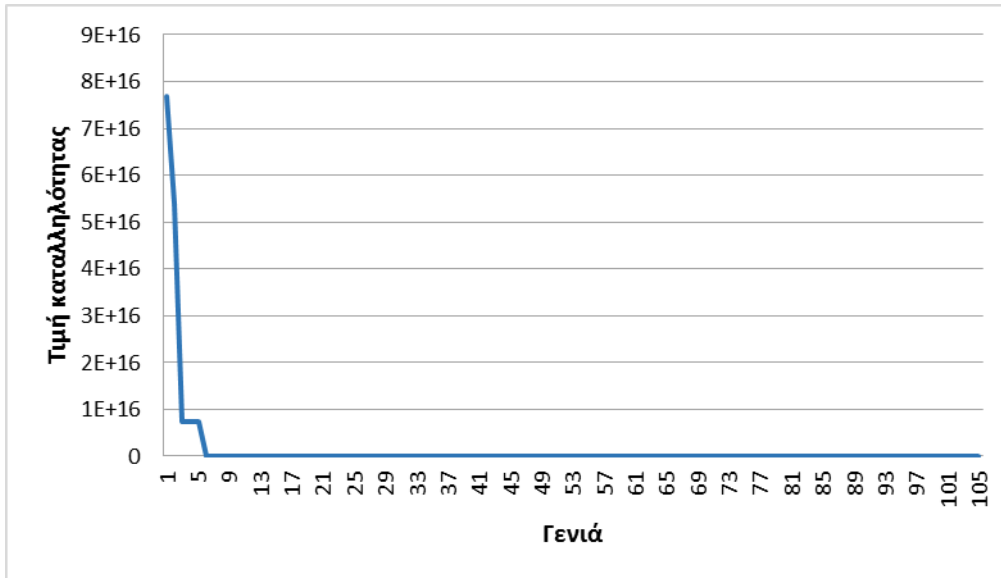


Σχήμα 6.100: Ενεργός ισχύς ανεμογεννητριών βέλτιστης λύσης σεναρίου 5 για το δίκτυο των 69 ζυγών

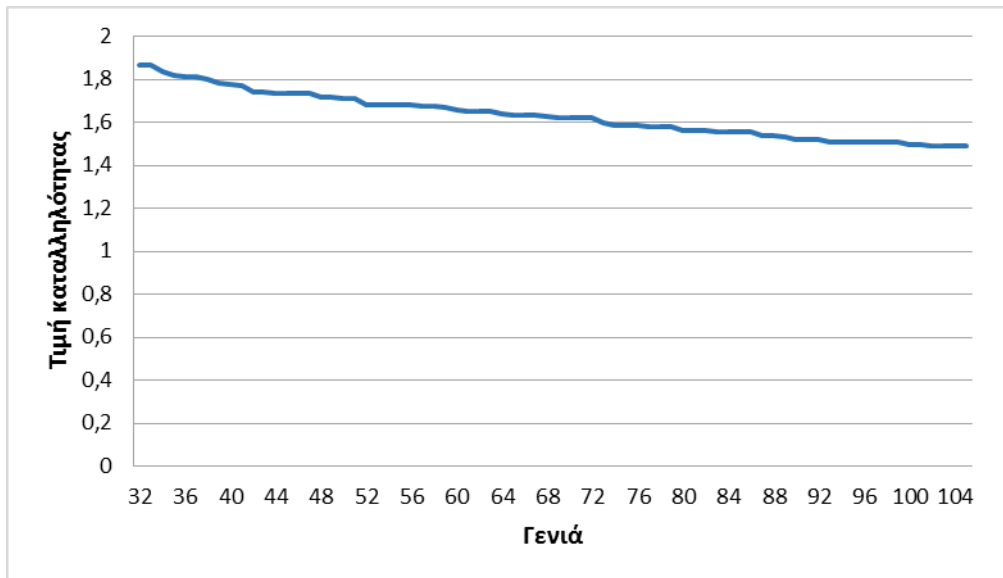


**Σχήμα 6.101:** Άεργος ισχύς ανεμογεννητριών βέλτιστης λύσης σεναρίου 5 για το δίκτυο των 69 ζυγών

Στα Σχήματα 6.102 και 6.103 φαίνεται πως μειώνεται η τιμή της συνάρτησης καταλληλότητας μέσα από τη διαδικασία του ακεραίου ΓΑ που χρησιμοποιήθηκε. Η τιμή καταλληλότητας δίνει μια εικόνα της μείωσης της αντικειμενικής συνάρτησης και ταυτίζεται με αυτή όταν δεν παραβιάζονται οι περιορισμοί, δηλαδή όταν δεν υπάρχει ποινή.



**Σχήμα 6.102:** Εξέλιξη τιμής καταλληλότητας καλύτερου χρωμοσώματος κάθε γενιάς στο ΓΑ για το σενάριο 5 για το δίκτυο 69 ζυγών



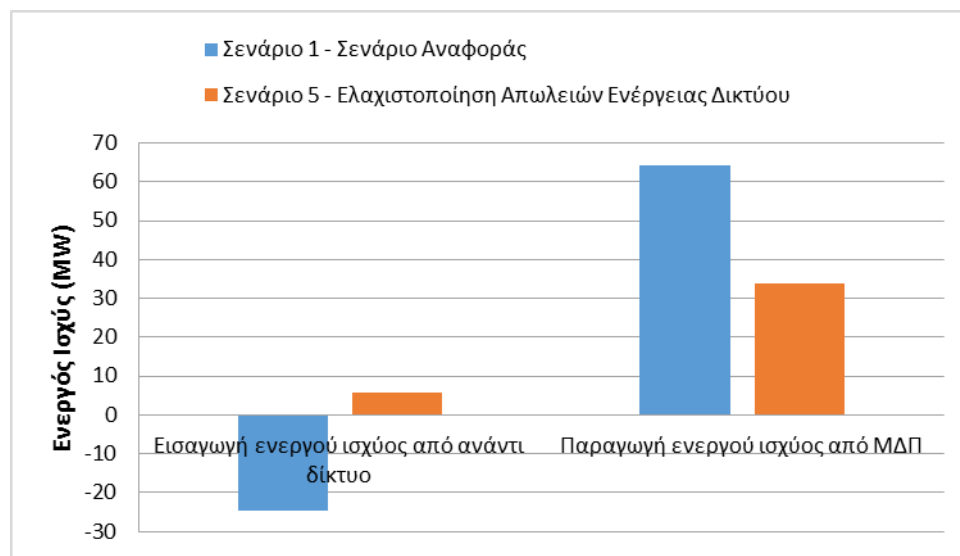
**Σχήμα 6.103:** Εξέλιξη τιμής καταλληλότητας καλύτερου χρωμοσώματος κάθε γενιάς στο ΓΑ για το σενάριο 5 για τις γενιές 32 έως 105 για το δίκτυο 69 ζυγών

Το συνολικό άθροισμα της διακύμανσης των τάσεων για τους κόμβους του δικτύου είναι 1,17, οι συνολικές απώλειες ενέργειας του δικτύου είναι 1,49 MWh και το συνολικό κόστος λειτουργίας του δικτύου είναι 5.289,3 €.

Οι τιμές της ενεργού ισχύος από τον Υ/Σ του δικτύου και η παραγωγή ενεργού ισχύος από ΜΔΠ για τα Σενάρια 1 και 5 παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.44. Ακολουθεί η διαγραμματική αναπαράσταση αυτών, στο Σχήμα 6.104. Στο Σενάριο 5 παρατηρείται αύξηση της εισερχόμενης ενεργού ισχύος από τον Υ/Σ του δικτύου και μείωση στην παραγωγή ενεργού ισχύος από ΜΔΠ που οφείλεται στον κατάλληλο χειρισμό των μεταβλητών ελέγχου του συγκεκριμένου σεναρίου.

**Πίνακας 6.44:** Ενεργός ισχύς από τον Υ/Σ του δικτύου και παραγωγή ενεργού ισχύος από τις ΜΔΠ – Σενάριο 1 και 5 του δικτύου των 69 ζυγών

	Ενεργός ισχύς από τον Υ/Σ Υ/T-M/T (MW)	Παραγωγή ενεργού ισχύος από ΜΔΠ (MW)
Σενάριο 1 – Σενάριο Αναφοράς	-24,7244	64,3
Σενάριο 5	5,685413	33,7

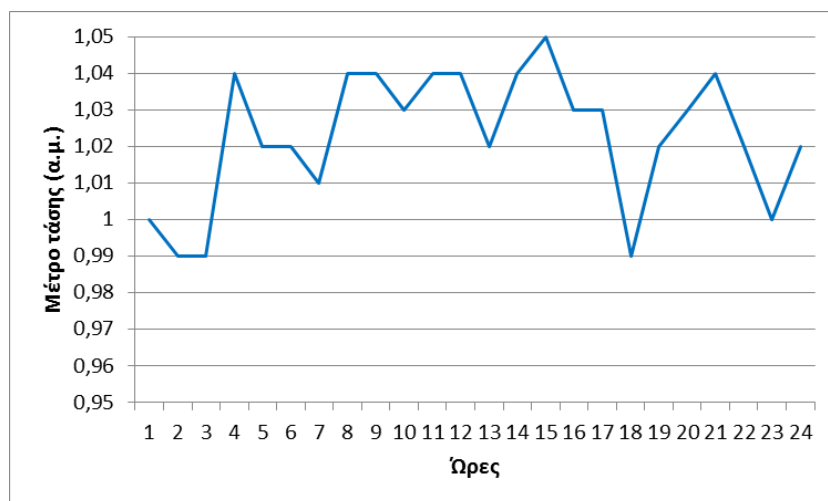


**Σχήμα 6.104:** Συγκριτικό διάγραμμα ενεργού ισχύος από το ανάντι δίκτυο και παραγωγής ενεργού ισχύος από τις ΜΔΠ – Σενάριο 1 και Σενάριο 5 του δικτύου 69 ζυγών

#### 6.4.4.2 Αντικειμενική Συνάρτηση: Ελαχιστοποίηση του Κόστους Λειτουργίας του Δικτύου των 69 Ζυγών

Στο Σχήμα 6.105 απεικονίζονται διαγραμματικά οι τιμές της τάσης στο ΣΑΤΥΦ για τη βέλτιστη λύση του Σεναρίου 5 των 69 ζυγών. Στους Πίνακες 6.45 και 6.46 παρουσιάζονται οι τιμές ενεργού και άεργου ισχύος των ΜΔΠ καυσίμου για τη βέλτιστη λύση του σεναρίου και στα Σχήματα 6.106 και 6.107 απεικονίζονται διαγραμματικά.





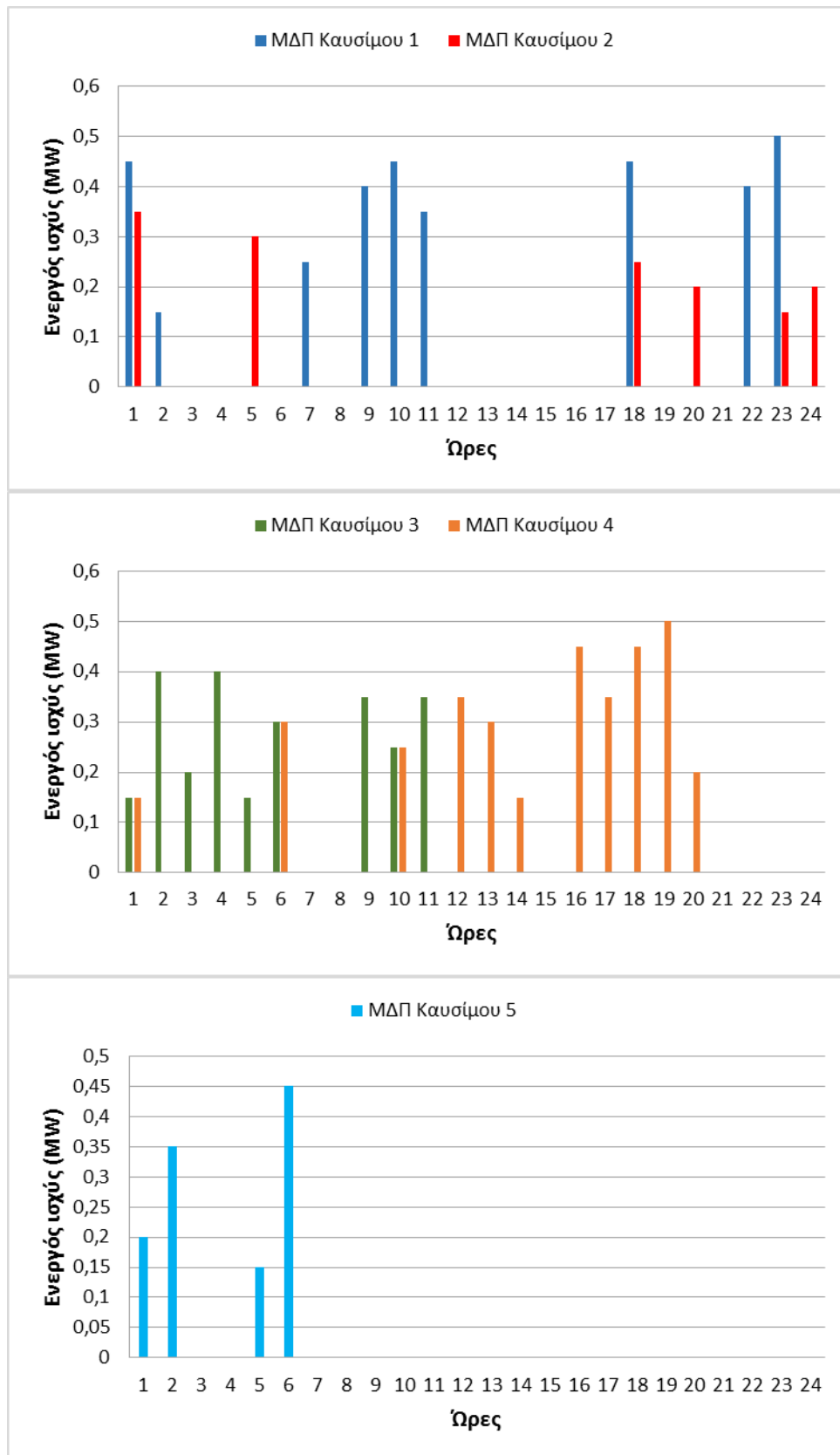
**Σχήμα 6.105:** Μέτρο τάσης (α.μ.) στο ΣΑΤΥΦ βέλτιστης λύσης Σεναρίου 5 για το δίκτυο των 69 ζυγών

**Πίνακας 6.45:** Τιμές ενεργού ισχύος ΜΔΠ καυσίμου για τη βέλτιστη λύση του σεναρίου 5 για το δίκτυο των 69 ζυγών

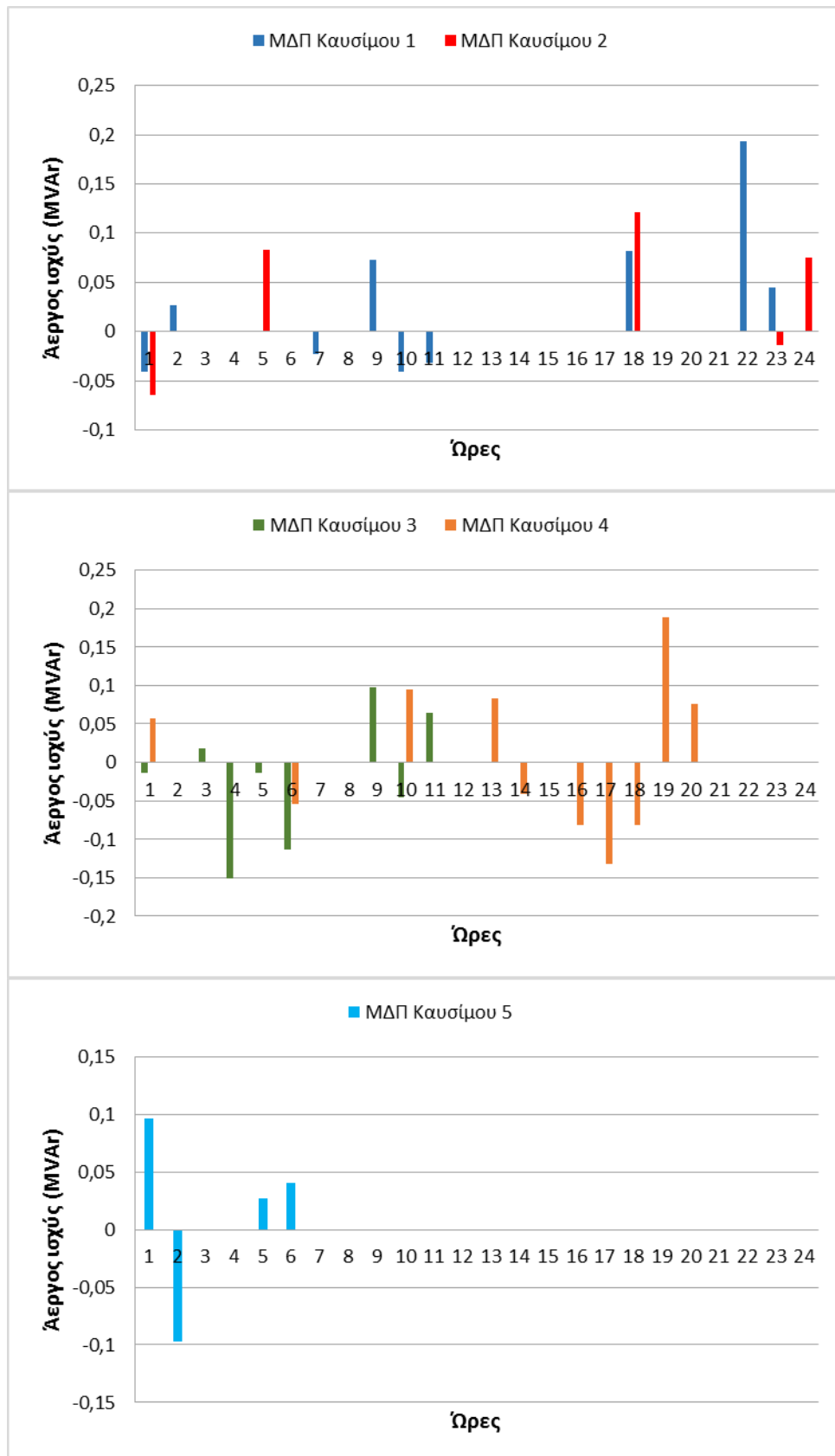
Ώρα	Ενεργός Ισχύς				
	ΜΔΠ Καυσίμου 1	ΜΔΠ Καυσίμου 2	ΜΔΠ Καυσίμου 3	ΜΔΠ Καυσίμου 4	ΜΔΠ Καυσίμου 5
1	0,45	0,35	0,15	0,15	0,2
2	0,15	0	0,4	0	0,35
3	0	0	0,2	0	0
4	0	0	0,4	0	0
5	0	0,3	0,15	0	0,15
6	0	0	0,3	0,3	0,45
7	0,25	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0
9	0,4	0	0,35	0	0
10	0,45	0	0,25	0,25	0
11	0,35	0	0,35	0	0
12	0	0	0	0,35	0
13	0	0	0	0,3	0
14	0	0	0	0,15	0
15	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0,45	0
17	0	0	0	0,35	0
18	0,45	0,25	0	0,45	0
19	0	0	0	0,5	0
20	0	0,2	0	0,2	0
21	0	0	0	0	0
22	0,4	0	0	0	0
23	0,5	0,15	0	0	0
24	0	0,2	0	0	0

**Πίνακας 6.46:** Τιμές άεργου ισχύος ΜΔΠ καυσίμου για τη βέλτιστη λύση του σεναρίου 5 για το δίκτυο των 69 ζυγών

Ώρα	Άεργος Ισχύς				
	ΜΔΠ Καυσίμου 1	ΜΔΠ Καυσίμου 2	ΜΔΠ Καυσίμου 3	ΜΔΠ Καυσίμου 4	ΜΔΠ Καυσίμου 5
1	-0,04072	-0,06386	-0,01357	0,056591	0,096856
2	0,027341	0	0	0	-0,09713
3	0	0	0,018061	0	0
4	0	0	-0,15099	0	0
5	0	0,083197	-0,01357	0	0,027341
6	0	0	-0,11324	-0,05474	0,040636
7	-0,02262	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0
9	0,072909	0	0,097064	0	0
10	-0,04072	0	-0,04561	0,094318	0
11	-0,03167	0	0,063795	0	0
12	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0,083197	0
14	0	0	0	-0,04163	0
15	0	0	0	0	0
16	0	0	0	-0,0821	0
17	0	0	0	-0,13211	0
18	0,082022	0,12107	0	-0,0821	0
19	0	0	0	0,188635	0
20	0	0	0	0,075454	0
21	0	0	0	0	0
22	0,193712	0	0	0	0
23	0,045152	-0,01357	0	0	0
24	0	0,075454	0	0	0

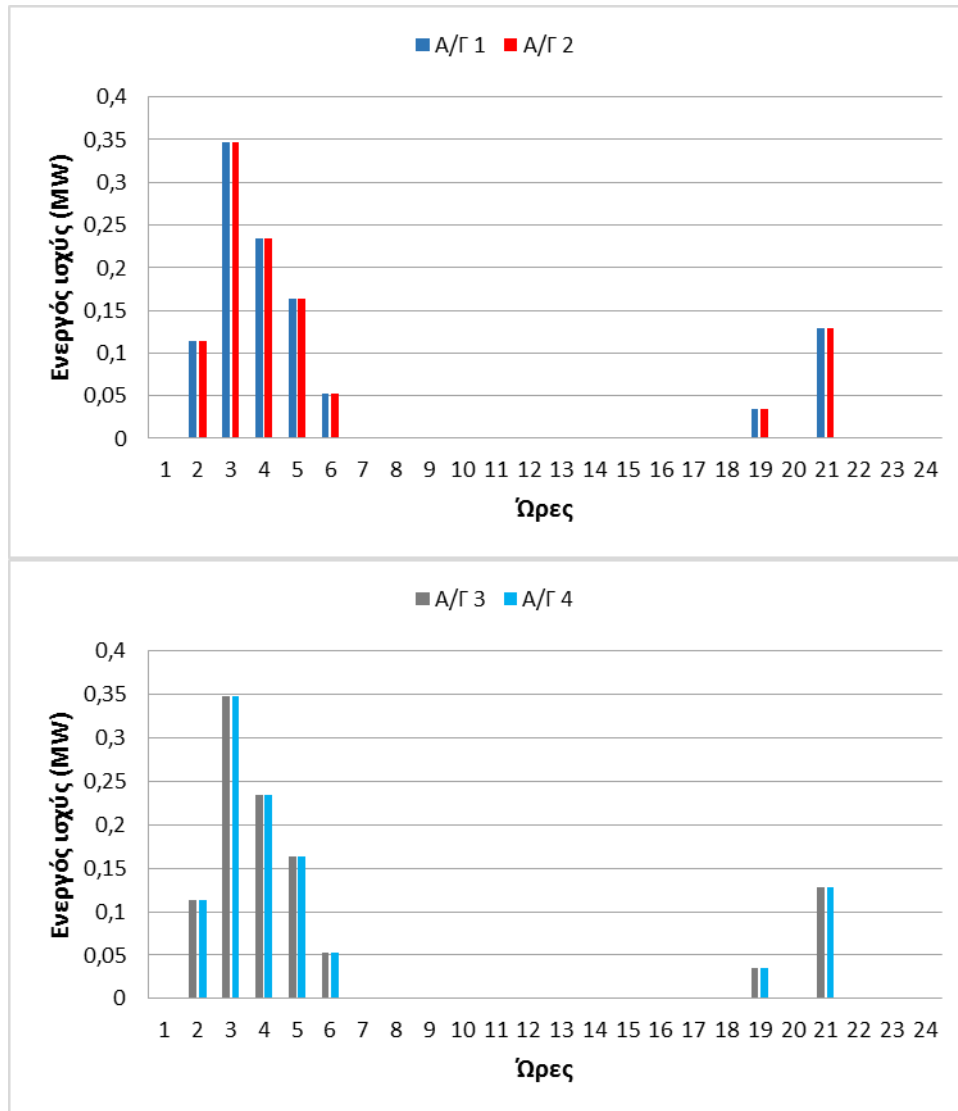


Σχήμα 6.106: Ενεργός ισχύς ΜΔΠ καυσίμου βέλτιστης λύσης σεναρίου 5 για το δίκτυο των 69 ζυγών

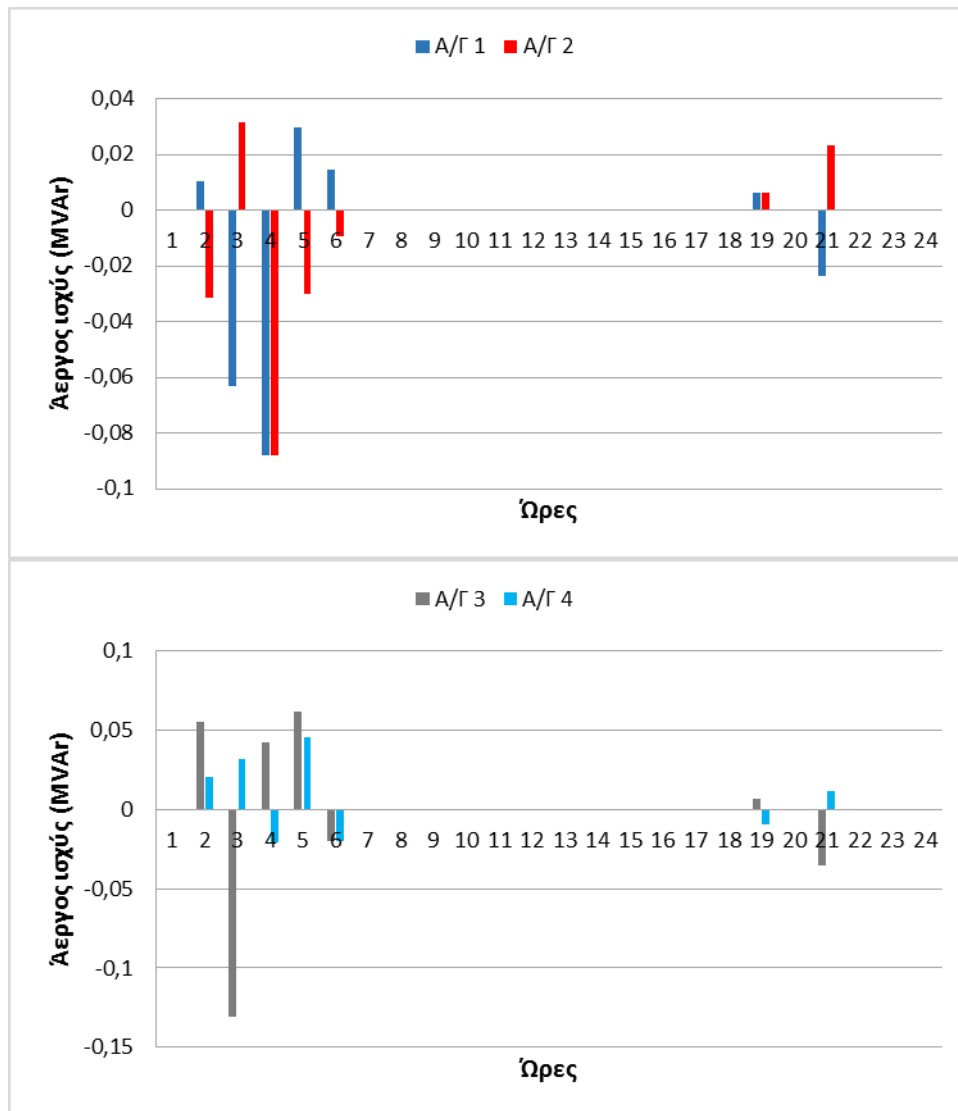


Σχήμα 6.107: Άεργος ισχύς ΜΔΠ καυσίμου βέλτιστης λύσης σεναρίου 5 για το δίκτυο των 69 ζυγών



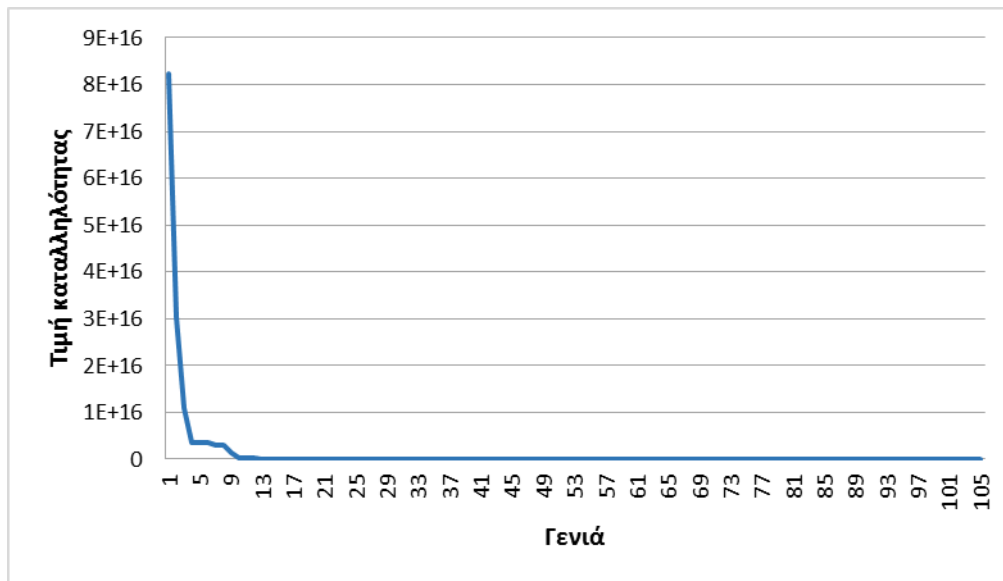


Σχήμα 6.108: Ενεργός ισχύς ανεμογεννητριών βέλτιστης λύσης σεναρίου 5 για το δίκτυο των 69 ζυγών

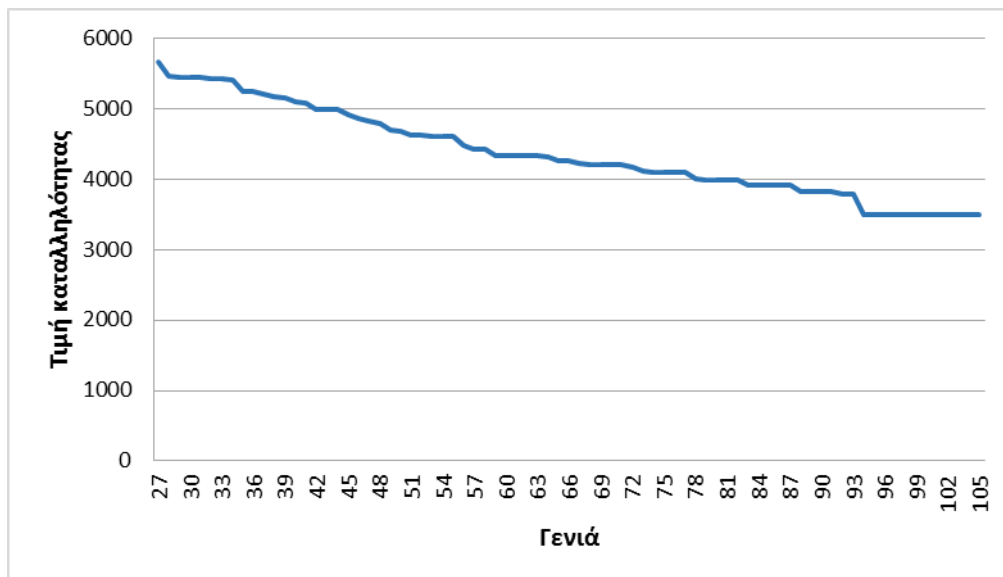


**Σχήμα 6.109:** Άεργος ισχύς ανεμογεννητριών βέλτιστης λύσης σεναρίου 5 για το δίκτυο των 69 ζυγών

Στα Σχήματα 6.110 και 6.111 φαίνεται πως μειώνεται η τιμή της συνάρτησης καταλληλότητας μέσα από τη διαδικασία του ακέραιου ΓΑ που χρησιμοποιήθηκε. Η τιμή καταλληλότητας δίνει μια εικόνα της μείωσης της αντικειμενικής συνάρτησης και ταυτίζεται με αυτή όταν δεν παραβιάζονται οι περιορισμοί, δηλαδή όταν δεν υπάρχει ποινή.



**Σχήμα 6.110:** Εξέλιξη τιμής καταλληλότητας καλύτερου χρωμοσώματος κάθε γενιάς στο ΓΑ για το σενάριο 5 για το δίκτυο 69 ζυγών



**Σχήμα 6.111:** Εξέλιξη τιμής καταλληλότητας καλύτερου χρωμοσώματος κάθε γενιάς στο ΓΑ για το σενάριο 5 για τις γενιές 27 έως 105 για το δίκτυο 69 ζυγών

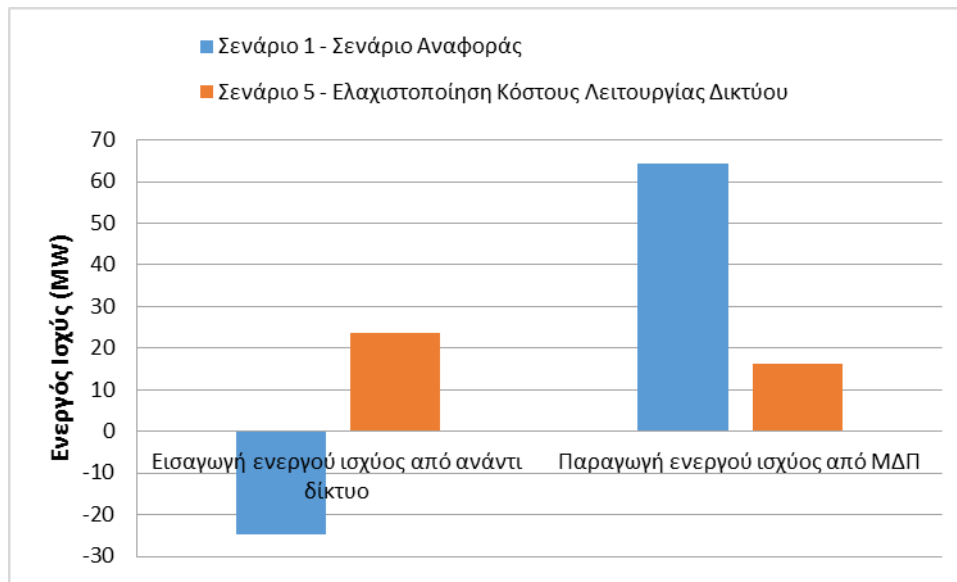
Το συνολικό άθροισμα της διακύμανσης των τάσεων για τους κόμβους του δικτύου είναι 0,97, οι συνολικές απώλειες ενέργειας του δικτύου είναι 1,95 MWh και το συνολικό κόστος λειτουργίας του δικτύου είναι 3.055,5 €.

Οι τιμές της ενεργού ισχύος από τον Υ/Σ του δικτύου και η παραγωγή ενεργού ισχύος από ΜΔΠ για τα Σενάρια 1 και 5 παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.48. Ακολουθεί η διαγραμματική αναπαράσταση αυτών, στο Σχήμα 6.112. Στο Σενάριο 5 παρατηρείται αύξηση της εισερχόμενης ενεργού ισχύος από τον Υ/Σ του δικτύου και μείωση στην παραγωγή ενεργού ισχύος από ΜΔΠ που οφείλεται στον κατάλληλο χειρισμό των μεταβλητών ελέγχου του συγκεκριμένου σεναρίου.



**Πίνακας 6.48:** Ενεργός ισχύς από τον Υ/Σ και παραγωγή ενεργού ισχύος από τις ΜΔΠ για το Σενάριο 1 και το Σενάριο 5 του δικτύου των 69 ζυγών

	Ενεργός ισχύς από τον Υ/Σ Υ/T-M/T (MW)	Παραγωγή ενεργού ισχύος από ΜΔΠ (MW)
Σενάριο 1 – Σενάριο Αναφοράς	-24,7244	64,3
Σενάριο 5	23,53974	16,3



**Σχήμα 6.112:** Συγκριτικό διάγραμμα ενεργού ισχύος από το ανάντι δίκτυο και παραγωγής ενεργού ισχύος από τις ΜΔΠ – Σενάριο 1 και Σενάριο 5 του δικτύου 69 ζυγών

#### 6.4.5 Ερμηνεία Αποτελεσμάτων Δικτύου 69 Ζυγών

Στον Πίνακα 6.49 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα της βέλτιστης λύσης που προέκυψαν για το κάθε σενάριο του δικτύου των 69 ζυγών, εφαρμόζοντας κάθε φορά την αντίστοιχη αντικειμενική συνάρτηση.

**Πίνακας 6.49:** Συνοπτικός πίνακας αποτελεσμάτων βέλτιστης λύσης, για τα σενάρια που εφαρμόστηκαν στο δίκτυο των 69 ζυγών

	Συνολικό κόστος λειτουργίας δικτύου (€)	Συνολικές απώλειες ενέργειας δικτύου (MW)	Αντικειμενική συνάρτηση
Σενάριο 1 Σενάριο Αναφοράς	7.457,40	1,68	-
Σενάριο 4	5.253,40 Μείωση 29,55%	1,4 Μείωση 16,67%	(B)
	2.161,40 Μείωση 74,02%	2,04 Αύξηση 21,83%	(Γ)
Σενάριο 5	5.289,30 Μείωση 29,07%	1,49 Μείωση 11,31%	(B)
	3.055,50 Μείωση 59,03%	1,95 Αύξηση 16,07%	(Γ)
(B) Ελαχιστοποίηση των συνολικών απωλειών ενέργειας του δικτύου, (Γ) Ελαχιστοποίηση συνολικού κόστους λειτουργίας δικτύου			

Στο Σενάριο 4, το οποίο έχει ως μεταβλητές ελέγχου την ενεργό και άεργο ισχύ των ΜΔΠ καυσίμου και την άεργο ισχύ των ανεμογεννητριών, όταν χρησιμοποιείται ως αντικειμενική συνάρτηση η ελαχιστοποίηση των συνολικών απωλειών ενέργειας του δικτύου, μειώνεται τόσο το συνολικό κόστος λειτουργίας του δικτύου, όσο και οι συνολικές απώλειες ενέργειας του δικτύου συγκριτικά με το Σενάριο Αναφοράς – Σενάριο 1. Ενώ, όταν χρησιμοποιείται ως αντικειμενική συνάρτηση η ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους λειτουργίας του δικτύου, μειώνεται το συνολικό κόστος λειτουργίας του δικτύου και αυξάνονται οι συνολικές απώλειες ενέργειας του δικτύου.

Στο Σενάριο 5, το οποίο έχει ως μεταβλητές ελέγχου την τάση στο ΣΑΤΥΦ, την ενεργό και άεργο ισχύ των ΜΔΠ καυσίμου και την άεργο ισχύ των ανεμογεννητριών, όταν χρησιμοποιείται ως αντικειμενική συνάρτηση η ελαχιστοποίηση των συνολικών απωλειών ενέργειας του δικτύου, μειώνονται το συνολικό κόστος λειτουργίας και οι απώλειες ενέργειας του δικτύου. Ενώ, όταν χρησιμοποιείται ως αντικειμενική συνάρτηση η ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους λειτουργίας του δικτύου μειώνεται μόνο το συνολικό κόστος λειτουργίας του δικτύου και αυξάνονται οι συνολικές απώλειες ενέργειας του δικτύου.

Συγκρίνοντας το κάθε Σενάριο με το Σενάριο 1 – Σενάριο Αναφοράς παρατηρείται πως όσον αφορά το συνολικό κόστος λειτουργίας του δικτύου, την μεγαλύτερη μείωση 74,02% παρουσιάζει το Σενάριο 4, όταν χρησιμοποιείται ως αντικειμενική συνάρτηση η ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους λειτουργίας του δικτύου. Όσον αφορά τις απώλειες ενέργειας του δικτύου, την μεγαλύτερη μείωση 16,67% παρουσιάζει το Σενάριο 4, όταν χρησιμοποιείται ως αντικειμενική συνάρτηση η ελαχιστοποίηση των απωλειών ενέργειας του δικτύου.

Αν ο διαχειριστής του δικτύου επιθυμεί μόνο μείωση του συνολικού κόστους λειτουργίας του δικτύου, πρέπει να επιλέξει το Σενάριο 4 με χρήση αντικειμενικής συνάρτησης την ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους λειτουργίας του δικτύου. Αν όμως ο διαχειριστής επιθυμεί μείωση και των απωλειών ενέργειας, πρέπει να επιλέξει το Σενάριο 4 με χρήση αντικειμενικής συνάρτησης την ελαχιστοποίησης των συνολικών απωλειών ενέργειας του δικτύου.

Από το Σχήμα 6.96 προκύπτει το συμπέρασμα πως για την ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους λειτουργίας του δικτύου των 69 ζυγών για το Σενάριο 4 με χρήση ως αντικειμενικής συνάρτησης την ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους λειτουργίας, ο διαχειριστής πρέπει να αγοράσει το μεγαλύτερο μέρος ενεργού ισχύος από το ανάντι

δίκτυο, παρά να παράγει ενεργό ισχύ από ΜΔΠ. Συγκεκριμένα, για την κάλυψη των 37,89 MW που είναι το φορτίο των 69 ζυγών, πρέπει τα 31 MW που αντιστοιχούν στο 81,9% του συνολικού φορτίου, να τα προμηθευτεί από το ανάντι δίκτυο, να απορροφήσει το σύνολο της παραγόμενης ενεργού ισχύος 4,3 MW από τις ανεμογεννήτριες, που αντιστοιχούν στο 11,3% του συνολικού φορτίου και να παράξει 4,6 MW ενεργού ισχύος από τις ΜΔΠ καυσίμου, που αντιστοιχούν στο 12,1% του συνολικού φορτίου. Οι απώλειες στο συγκεκριμένο σενάριο είναι της τάξεως του 5,4%. Επίσης παρατηρείται πως το χρονικό διάστημα 5-11 που το φορτίο είναι εκτός αιχμής δεν λειτουργεί καμία ΜΔΠ καυσίμου, εκτός από την ώρα 8 όπου λειτουργούν τρεις από τις πέντε ΜΔΠ καυσίμου. Το φορτίο καλύπτεται κυρίως από εισαγόμενη από το ανάντι δίκτυο ενέργεια και μόνο την 5η και 6η ώρα από αιολική παραγωγή.



## **ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

### **7.1 ΣΥΝΟΨΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ**

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε ο βέλτιστος ημερήσιος προγραμματισμός έξυπνου Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΔΗΕ). Πιο συγκεκριμένα, μελετήθηκε η βέλτιστη λειτουργία των Μονάδων Διανεμημένης Παραγωγής (ΜΔΠ) και του δικτύου χρησιμοποιώντας ακέραιο Γενετικό Αλγόριθμο (ΓΑ). Οι τύποι ΜΔΠ που χρησιμοποιήθηκαν είναι ΜΔΠ καυσίμου και ανεμογεννήτριες (Α/Γ).

Για την εύρεση του βέλτιστου ημερήσιου προγραμματισμού έξυπνου ΔΔΗΕ αναπτύχθηκε λογισμικό σε περιβάλλον MATLAB. Επιπλέον, αναπτύχθηκε γραφικό περιβάλλον (GUI) για την καλύτερη και πιο εύχρηστη εφαρμογή του προγράμματος και την εξαγωγή αποτελεσμάτων. Χρησιμοποιώντας το λογισμικό αυτό, μελετήθηκε ο βέλτιστος ημερήσιος προγραμματισμός για τρία ακτινικά ΔΔΗΕ: α) 4 ζυγών (Αριθμητικό Παράδειγμα), β) 33 ζυγών, και γ) 69 ζυγών.

Πιο αναλυτικά, στο Κεφάλαιο 6, για τα δίκτυα των 33 ζυγών και 69 ζυγών έγινε μελέτη του βέλτιστου ημερήσιου προγραμματισμού για διάφορα σενάρια. Κάθε σενάριο μπορεί να διαθέτει διαφορετικές μεταβλητές ελέγχου και διαφορετική αντικειμενική συνάρτηση. Η αντικειμενική συνάρτηση μπορεί να είναι: α) ελαχιστοποίηση της διακύμανσης των τάσεων στους ζυγούς του δικτύου, β) ελαχιστοποίηση των συνολικών απωλειών ενέργειας του δικτύου και γ) ελαχιστοποίηση του κόστους λειτουργίας του δικτύου. Για το δίκτυο των 4 ζυγών δίνεται ένα αναλυτικό αριθμητικό παράδειγμα, ώστε να γίνει κατανοητή η λειτουργία του αλγόριθμου και η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε.

Όσον αφορά τον ΓΑ παρατηρήθηκε ότι ο χρόνος εκτέλεσής του, μέχρι να βρεθεί η βέλτιστη λύση, εξαρτάται άμεσα από τον αριθμό των γενεών που έχει ορίσει ο χρήστης, από τις ώρες για τις οποίες διατυπώνεται το βέλτιστο ημερήσιο πλάνο λειτουργίας, από τα δεδομένα πρόβλεψης φορτίου και ταχύτητας ανέμου και από τον αριθμό των μεταβλητών ελέγχου. Επομένως, όσο περισσότερες ώρες επιλέγονται για το πλάνο λειτουργίας και όσο περισσότερες ΜΔΠ έχουν εισαχθεί στο υπό εξέταση δίκτυο (κατά συνέπεια περισσότερες μεταβλητές ελέγχου), τόσο μεγαλύτερος χρόνος εκτέλεσης απαιτείται.

Στη μελέτη περίπτωσης τόσο του δικτύου των 33 ζυγών όσο και του δικτύου των 69 ζυγών κατά την εξέταση όλων των σεναρίων, παρατηρείται πως αν ο διαχειριστής επιλέξει ως αντικειμενική συνάρτηση την ελαχιστοποίηση της διακύμανσης των τάσεων, συμφέρει να παράγει το μεγαλύτερο ποσοστό της ενέργειας που απαιτεί το δίκτυο από ΜΔΠ και να εισάγει ένα μικρό ποσοστό της ενέργειας από το ανάντι δίκτυο. Όμοια, αν ο διαχειριστής επιλέξει ως αντικειμενική συνάρτηση την ελαχιστοποίηση των απωλειών ενέργειας του δικτύου, οφείλει να παράγει το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας από ΜΔΠ και να εισάγει ένα μικρό ποσοστό από το ανάντι δίκτυο. Αντίθετα, αν ο διαχειριστής επιλέξει ως αντικειμενική συνάρτηση την ελαχιστοποίηση του λειτουργικού κόστους του δικτύου, οφείλει να προμηθευτεί το μεγαλύτερο ποσοστό της ενέργειας από το ανάντι δίκτυο, παρά να παράγει από ΜΔΠ και συγκεκριμένα ΜΔΠ καυσίμου. Αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι η

παραγόμενη kWh από ΜΔΠ καυσίμου συνήθως κοστίζει περισσότερο από την αντίστοιχη παραγόμενη kWh από ένα μεγάλο σταθμό παραγωγής (π.χ. θερμικό σταθμό) και την τιμή αγοράς της kWh από το δίκτυο μεταφοράς.

Τις χρονικές στιγμές που παρατηρείται αιχμή φορτίου, οι ΜΔΠ καυσίμου συμβάλουν σημαντικά στην παροχή ενεργού ισχύος στο δίκτυο, σε συνδυασμό με την εισαγωγή ενεργού ισχύος από το ανάντι δίκτυο. Αντίστοιχα, τις ώρες που το φορτίο είναι εκτός αιχμής υπάρχει ελάχιστη παραγωγή ενεργού ισχύος από ΜΔΠ καυσίμου και η προμήθειά της γίνεται κυρίως από το ανάντι δίκτυο. Η παραγόμενη ενεργός ισχύς από τις ανεμογεννήτριες, με βάση την καμπύλη ταχύτητας ανέμου, απορροφάται στο σύνολό της από το εκάστοτε δίκτυο με στόχο την πλήρη εκμετάλλευση του αιολικού δυναμικού της περιοχής.

Τέλος, είναι σημαντικό να τονιστεί πως ο ΓΑ βρίσκει μια πολύ καλή λύση κοντά στη βέλτιστη. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ο ΓΑ είναι αλγόριθμος στοχαστικής αναζήτησης μέσα από ένα πλήθος πιθανών λύσεων και ορισμένες φορές μπορεί να «εγκλωβιστεί» σε τοπικό βέλτιστο.

## 7.2 ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Μια πιθανή μελλοντική επέκταση της παρούσας εργασίας είναι ο υπολογισμός του βέλτιστου ημερήσιου προγραμματισμού έξυπνου ΔΔΗΕ, το οποίο μπορεί να αναδιαμορφώσει την τοπολογία του με τη βοήθεια διακοπών.

Επίσης, μπορεί να μελετηθεί και η λειτουργία άλλων αντικειμενικών συναρτήσεων που μπορούν να συμβάλλουν στη βελτιστοποίηση του προβλήματος.

Εκτός από την εφαρμογή του λογισμικού σε ακτινικά δίκτυα διανομής, θα μπορούσε να εφαρμοστεί η μέθοδος και σε βροχοειδή δίκτυα διανομής.

Όσον αφορά τον χρόνο εκτέλεσης του ΓΑ θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί άλλη μέθοδος ταξινόμησης των τιμών καταλληλότητας, ώστε να αποδειχθεί αν μπορεί να ελαχιστοποιηθεί. Επίσης, για να μειωθεί ο χρόνος σύγκλισης του ΓΑ θα μπορούσε να γίνει ακόμα πιο στοχευμένη αρχικοποίηση του πληθυσμού καθώς και να ενισχυθεί ο ΓΑ με την προσθήκη επιπλέον ειδικών γενετικών τελεστών.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Κ. Βουρνάς, και Γ. Κονταξής, *Εισαγωγή στα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας*, Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2006.
- [2] Δ. Ζαχαροπούλου, *Μέθοδοι περιορισμού των ανυψώσεων τάσης σε δίκτυα διανομής με διεσπαρμένη παραγωγή*, Πάτρα: Πολυτεχνική Σχολή Πανεπιστημίου Πατρών, Ιούλιος 2012.
- [3] Γ. Φίντζος, *Βέλτιστη Διαστασιολόγηση Μονάδων Διεσπαρμένης Παραγωγής με Χρήση Γενετικού Αλγορίθμου και Βέλτιστης Ροής Φορτίου*, Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Ιούλιος 2012.
- [4] Π. Σ. Γεωργιάκης, *Σύγχρονα Συστήματα Μεταφοράς και Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας*. Ηλεκτρονικό Βιβλίο, Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών (ΣΕΑΒ), Αθήνα, 2015. [Online]. Διαθέσιμο: <http://repository.kallipos.gr/handle/11419/2013>
- [5] S. Golshannavaz, S. Afsharnia, and F. Aminifar, "Smart distribution grid: Optimal day-ahead scheduling with reconfigurable topology," *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 5, no. 5, pp. 2402–2411, Aug. 2014.
- [6] Σ. Λυκοθανάσης, *Γενετικοί Αλγόριθμοι και Εφαρμογές*. Πάτρα: Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, 2001, σελ. 13-108. [Online]. Διαθέσιμο: [http://www.icsd.aegean.gr/lecturers/kavallieratou/NN&EP\\_files/pli31c.pdf](http://www.icsd.aegean.gr/lecturers/kavallieratou/NN&EP_files/pli31c.pdf), προσπελάστηκε τον Ιούνιο 2016
- [7] R. L. Haupt and S. E. Haupt, *Practical Genetic Algorithms Second Edition* Wiley-Interscience, USA, 2004, pp. 22-65.
- [8] M. Bonazountas. (2001, February 11). Integer programming. [Online]. Διαθέσιμο: <http://www.ntua.gr/envirosystems/files/07-akeraios.pdf>, προσπελάστηκε τον Ιούνιο 2016
- [9] A. G. Bakirtzis, P. N. Biskas, C. E. Zoumas and V. Petridis, "Optimal Power Flow by Enhanced Genetic Algorithm," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 17, no. 2, pp. 229-236, May 2002.
- [10] K. Kalaiselvi, V. Suresh and K.Chandrasekar, "Enhanced Genetic Algorithm for Optimal Electric Power Flow using TCSC and TCPS," *World Congress in Engineering*, vol. 2184, no. 1, pp. 962-966, June 2010
- [11] Μ. Π. Παπαδόπουλος, *Δίκτυα Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας*, τομ. Ι. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 1994.
- [12] T. Gönen, *Electric power distribution system engineering*, 2nd edition, CRC Press, 2008

- [13] G. Pepermans, J. Driesen, D. Haeseldonckx, R. Belmans, W. D'haeseleer, "Distributed Generation: definition, benefits and issues", *Energy Policy*, vol. 33, pp. 787-798, 2005.
- [14] T. Ackermann, G. Andersson, L.Söder, "Distributed Generation: a definition", *Electric Power System Research*, vol. 57, pp. 195-204, 2001.
- [15] M. Bollen, F. Hassan, "Integration of Distributed Generation in the Power System", *Wiley-IEEE Press*, 2011.
- [16] IEA, "Distributed Generation in Liberalised Electricity Markets", *Paris: IEA Publications*, pp.7-16, 25-51, 2002.
- [17] R. A. Laurie, "Distributed Generation: Reaching the Market Just in Time", *The Electricity Journal*, pp. 87-94, March 2001
- [18] N. Strachan ,H. Dowlatabadi, "Distributed generation and distribution utilities", *Energy Policy*, vol. 30, pp. 649-661, 2002.
- [19] E. S. Karapidakis, Y. A. Katsigiannis, P. S. Georgilakis, E. Thalassinakis, "Generation expansion planning of Crete power system for high penetration of renewable energy sources", *Materials Science Forum*, Vol. 670, pp. 407-414, 2011.
- [20] P. S. Georgilakis, N. D. Hatziargyriou, "Optimal Distributed Generation Placement in Power Distribution Networks: Models, Methods, and Future Research", *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 28, no. 3, pp. 3420-3428, Aug. 2013.
- [21] A. L. Devi and B. Subramanyam, "Optimal DG unit placement for loss reduction in radial distribution system – a case study," *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, vol. 2, no. 6, pp. 57–61, Dec. 2007.
- [22] M. P. Lalitha, V.C.V. Reddy and V. Usha, "Optimal DG placement for minimum real power loss in radial distribution systems using PSO," *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, vol. 13, no. 2, pp. 107–116, Mar. 2010.
- [23] V.A. Evangelopoulos, P.S. Georgilakis, N.D. Hatziargyriou, "Optimal operation of smart distribution networks: A review of models, methods and future research," *Electric Power Systems Research*, vol. 140, pp. 95–106, Nov. 2016.
- [24] V.A. Evangelopoulos, P.S. Georgilakis, "Optimal distributed generation placement under uncertainties based on point estimate method embedded genetic algorithm," *IET Generation, Transmission, and Distribution*, Vol. 8, No. 3, pp. 389-400, Mar 2014.
- [25] Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution systems, EN 50160, 2007
- [26] M. J. Dolan, E. M. Davidson, I. Kockar, G.W. Ault and S.D.J. McArthur, "Distribution power flow management utilizing an online optimal power flow technique," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 27, no. 2, pp. 790–799, Jan. 2012.
- [27] M. J. Dolan, E. M. Davidson, G.W. Ault, K.R.W. Bell and S.D.J. McArthur, "Distribution power flow management utilizing an online constraint programming method," *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 4, no. 2, pp. 798–805, Mar. 2013.
- [28] S. Golshannavaz, S. Afsharnia, and F. Aminifar, "Smart distribution grid: Optimal day-ahead scheduling with reconfigurable topology," *IEEE*



- Transactions on Smart Grid*, vol. 5, no. 5, pp. 2402–2411, Aug. 2014
- [29] M. Bonazountas. (2001, February 11). *Integer programming*. [Online]. Διαθέσιμο: <http://www.ntua.gr/envirosystems/files/07-akeraios.pdf>, προσπελάστηκε τον Ιούνιο 2016
- [30] D. E. Goldberg, *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*. Boston, MA, USA: Addison-Wesley, 1989, pp. 65–90.
- [31] N. Yang, C. Yu, F. Wen, and C. Chung, “An investigation of reactive power planning based on chance constrained programming,” *Electrical Power & Energy Systems*, vol. 29, no. 9, pp. 650–656, Nov. 2007.
- [32] A. E. Smith and C. David, *Penalty Functions*, in: Handbook of Evolutionary Computation. Bristol, UK, Institute of Physics Publishing and Oxford University Press, 1997.
- [33] Γ. Θεοδώρου και Ν. Θεοδώρου, *Πρακτικός Οδηγός στο MATLAB* [Online]. Διαθέσιμο: [http://users.auth.gr/~theodoru/CompuStat/MATLAB\\_AUTH.pdf](http://users.auth.gr/~theodoru/CompuStat/MATLAB_AUTH.pdf).
- [34] A. Knight, *Basics of MATLAB and Beyond* Washington, D.C.: Chapman & Hall/CRC, 1999.
- [35] MATLAB - Creating Graphical User Interfaces, The Mathworks Inc., 2012.
- [36] R. D. Zimmerman and C. E. Murillo-Sanchez, *MATPOWER 4.1 A MATLAB Power System Simulation Package - User's Manual* Ithaca, NY: Cornell Univ. PSERC, 2011.