



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

**ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΕΠΑΝΑΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΔΙΚΤΥΩΝ  
ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΜΕ ΣΤΟΧΟ ΤΗ ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΗΣ  
ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΤΟΥΣ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

Αναστασία Φύγου - Τσιμτσιλή

**Επίβλεψη :** Παύλος Σ. Γεωργιλάκης, Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.  
Παναγιώτης Α. Καραφώτης, Υποψήφιος Διδάκτορας Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούνιος 2020





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

**ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΕΠΑΝΑΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΔΙΚΤΥΩΝ  
ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΜΕ ΣΤΟΧΟ ΤΗ ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΗΣ  
ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΤΟΥΣ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

Αναστασία Φύγου - Τσιμτσιλή

**Επίβλεψη :** Παύλος Σ. Γεωργιλάκης, Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.  
Παναγιώτης Α. Καραφώτης, Υποψήφιος Διδάκτορας Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την ..... Ιουνίου 2020

.....  
Παύλος Γεωργιλάκης

Αν. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....  
Γεώργιος Κορρές

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....  
Ιωάννης Γκόνος

Αν. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούνιος 2020

.....

Αναστασία Φύγου-Τσιμτσιλή

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών

Ε.Μ.Π.

Copyright © Αναστασία Φύγου-Τσιμτσιλή, 2020.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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

## **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η διατύπωση και η επίλυση του προβλήματος της βέλτιστης επαναδιαμόρφωσης δικτύων διανομής ηλεκτρικής ενέργειας για τη βελτίωση της αξιοπιστίας τους. Στόχος είναι η ελαχιστοποίηση του κόστους της ενέργειας που δεν τροφοδοτήθηκε, του κόστους λόγω της διάρκειας των διακοπών παροχής ενέργειας, του κόστους λόγω της συχνότητας των διακοπών παροχής ενέργειας στους καταναλωτές, αλλά και του κόστους απωλειών ενεργού ισχύος.

Αρχικά αναλύεται το μαθηματικό μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε για τη βέλτιστη επαναδιαμόρφωση δικτύων διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Παρουσιάζονται η αντικειμενική συνάρτηση, οι περιορισμοί του προβλήματος, καθώς και οι βοηθητικές εξισώσεις. Το πρόβλημα βελτιστοποίησης που προκύπτει μοντελοποιήθηκε ως πρόβλημα μικτού ακεραίου προγραμματισμού με τετραγωνικούς περιορισμούς.

Στη παρούσα εργασία το προτεινόμενο μοντέλο υλοποιήθηκε σε περιβάλλον GAMS και εφαρμόστηκε σε δίκτυα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας 43 και 69 κόμβων. Υλοποιούνται και παρουσιάζονται 4 περιπτώσεις για το κάθε δίκτυο και αναλύονται τα αποτελέσματά τους. Επίσης, στο τέλος της εργασίας προτείνονται και ορισμένες πιθανές μελλοντικές επεκτάσεις της.

## **ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ**

Βέλτιστη επαναδιαμόρφωση, ακτινικά δίκτυα διανομής, δείκτες αξιοπιστίας

## **ABSTRACT**

The scope of this diploma thesis is the formulation and solution of the optimal radial distribution network reconfiguration considering reliability improvement. The main objective is to minimize the cost due to the energy not supplied, the cost due to the system interruption duration, the cost due to the system interruption frequency as well as the cost due to active power losses.

First of all, the mathematical model of the optimal reconfiguration of electric power distribution systems is presented. The objective function, the restrictions of the problem and the secondary equations that help the development of the model are also presented. The proposed optimization problem is formulated as a mixed integer quadratically constrained problem (MIQCP).

The proposed model has been developed using GAMS and it was applied to a 43-bus and 69-bus distribution test system. For each network, four cases have been developed (sensitivity analysis on the results due to the four objective parameters) and the obtained results are presented and discussed. Future research on the topic is also proposed.

## **KEY WORDS**

Optimal distribution network reconfiguration, radial power distribution networks, reliability indices

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε κατά το ακαδημαϊκό έτος 2019–2020 υπό την επίβλεψη του κ. Παύλου Γεωργιάκη, αναπληρωτή καθηγητή της σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Ε.Μ.Π., στον οποίο οφείλω ιδιαίτερες ευχαριστίες για την ανάθεσή της, δίνοντάς μου την ευκαιρία να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον και δημιουργικό θέμα. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον υποψήφιο διδάκτορα Παναγιώτη Καραφώτη για την υπομονή και την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση που μου παρείχε σε όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας, καθώς και για τον πολύτιμο χρόνο που μου αφιέρωσε.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την στήριξή τους σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου, καθώς και τους φίλους μου που ήταν πάντα δίπλα μου σε ό,τι χρειάστηκα.





# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b>	<b>1</b>
1.1 Εισαγωγή	1
1.2 Σκοπός και απαιτήσεις ΣΗΕ	2
1.3 Δομή συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας	3
1.4 Συστήματα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας	5
1.5 Ανάλυση ροής ισχύος	5
1.6 Αντικείμενο της εργασίας	6
1.7 Δομή της εργασίας	6
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΕΠΑΝΑΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΔΙΚΤΥΩΝ ΔΙΑΝΟΜΗΣ</b>	<b>9</b>
2.1 Εισαγωγή	9
2.2 Εξοπλισμός δικτύων διανομής ηλεκτρικής ενέργειας	12
2.2.1 Γραμμές μεταφοράς και διανομής	13
2.2.2 Υποσταθμοί μεταφοράς	13
2.2.3 Υποσταθμοί διανομής	13
2.2.4 Μετασχηματιστές	13
2.2.5 Μετασχηματιστές με ΣΑΤΥΦ	14
2.2.6 Διακόπτες	14
2.2.7 Πυκνωτές	16
2.2.8 Ρυθμιστές τάσης	16
2.3 Τοπολογίες δικτύων διανομής ηλεκτρικής ενέργειας	17
2.3.1 Ακτινικά συστήματα	17
2.3.2 Βροχοειδή συστήματα	18
2.3.3 Δικτυωτά συστήματα	18
2.4 Μέθοδοι ελέγχου λειτουργίας δικτύων διανομής ηλεκτρικής ενέργειας	18
2.4.1 Κεντρικός έλεγχος	18
2.4.2 Αποκεντρωμένος έλεγχος	19
2.5 Αξιοπιστία και επαναδιαμόρφωση δικτύων διανομής ηλεκτρικής ενέργειας	20

2.5.1	Βασικές αρχές αξιοπιστίας συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας	20
2.5.2	Δείκτες αξιοπιστίας	20
2.5.3	Απαιτούμενα δεδομένα για τον υπολογισμό των δεικτών αξιοπιστίας	21
2.5.4	Μοντελοποίηση δικτύων διανομής	23
2.5.5	Ανάλυση σφαλμάτων και προστασία δικτύων διανομής	23
2.5.6	Υπολογισμός αξιοπιστίας ενός τυπικού δικτύου διανομής	24
2.5.7	Επαναδιαμόρφωση δικτύων διανομής ηλεκτρικής ενέργειας για τη βελτίωση της αξιοπιστίας τους	25
2.6	Μέθοδοι επαναδιαμόρφωσης δικτύων διανομής ηλεκτρικής ενέργειας για βελτίωση της αξιοπιστίας τους	26
2.6.1	Αλγόριθμος Εσωτερικού Σημείου	27
2.6.2	Γενετικός Αλγόριθμος	27
2.6.3	Ευριστικός Αλγόριθμος	28
2.6.4	Αλγόριθμος Βέλτιστης Αναζήτησης Τροφής	28
2.6.5	Διαφορετικές Διατυπώσεις του Προβλήματος Βελτιστοποίησης	28

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΕΠΑΝΑΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΔΙΚΤΥΩΝ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗ ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΗΣ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ**

3.1	Εισαγωγή	31
3.2	Σταθερές και μεταβλητές του προβλήματος	32
3.2.1	Σύνολα	32
3.2.2	Σταθερές	32
3.2.3	Μεταβλητές	33
3.3	Αντικειμενική συνάρτηση του προβλήματος	33
3.4	Περιορισμοί του προβλήματος	34
3.5	Βοηθητικές εξισώσεις του προβλήματος	35

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΩΔΙΚΑ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΕΠΑΝΑΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΔΙΚΤΥΩΝ ΓΙΑ ΤΗ ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΗΣ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΤΟΥΣ**

4.1	Εισαγωγή	41
4.2	Γενικά χαρακτηριστικά του λογισμικού GAMS	42
4.3	Σύνταξη κώδικα στο λογισμικό GAMS	43

4.4	Ο επιλυτής CPLEX	44
4.5	Διαδικασία επίλυσης προβλήματος	45
4.6	Εξαγωγή αποτελεσμάτων	49
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ</b>		<b>51</b>
5.1	Εισαγωγή	51
5.2	Εφαρμογή στο δίκτυο 43 κόμβων	52
5.2.1	Μελέτη του $c^{lss}$	52
5.2.2	Μελέτη του $c^{ENS}$	59
5.2.3	Μελέτη του $c^{SAIFI}$	65
5.2.4	Μελέτη του $c^{SAIDI}$	70
5.2.5	Σχολιασμός των Αποτελεσμάτων	75
5.3	Εφαρμογή στο δίκτυο 69 κόμβων	76
5.3.1	Μελέτη του $c^{lss}$	76
5.3.2	Μελέτη του $c^{ENS}$	84
5.3.3	Μελέτη του $c^{SAIFI}$	90
5.3.4	Μελέτη του $c^{SAIDI}$	96
5.3.5	Σχολιασμός των Αποτελεσμάτων	100
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</b>		<b>103</b>
6.1	Συμπεράσματα	103
6.2	Μελλοντικές επεκτάσεις της εργασίας	104
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b>		<b>107</b>



## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ένας από τους σημαντικότερους τομείς έρευνας στην Ελλάδα και διεθνώς είναι η μελέτη των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας (ΣΗΕ). Πολύπλοκα συστήματα μεταφοράς και διανομής εξυπηρετούν την ανάγκη των χωρών για ηλεκτρική ενέργεια. Λόγω της ολοένα αυξανόμενης απαίτησης για ενέργεια, εντείνεται συνεχώς το ενδιαφέρον για την αποδοτική λειτουργία των σχετιζόμενων συστημάτων. Οι ανάγκες που πρέπει να καλύπτουν τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας έχουν αυξηθεί σημαντικά, σε σχέση με τις ανάγκες των ΣΗΕ όταν αναπτύχθηκαν αρχικά.

Ο Thomas Edison ήταν αυτός που ανέπτυξε την ιδέα της διαδομένης παραγωγής και διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας. Πραγματοποίησε αναπτυξιακό έργο σε γεννήτριες συνεχούς ρεύματος (DC) χρησιμοποιώντας ατμομηχανές. Το έργο του Edison στη παραγωγή ενέργειας οδήγησε στην ανάπτυξη των ηλεκτρικών κινητήρων, των συστημάτων μεταφοράς και διανομής και του σχετιζόμενου εξοπλισμού ελέγχου.

Οι περισσότερες ανακαλύψεις σχετιζόμενες με την ηλεκτρική ενέργεια αφορούσαν συστήματα συνεχούς ρεύματος. Η παραγωγή ενέργειας εναλλασσόμενου ρεύματος (AC) διαδόθηκε λίγο καιρό μετά. Ο πρωταρχικός λόγος προτίμησης της AC παραγωγής και μεταφοράς ήταν οι μετασχηματιστές, οι οποίοι χρησιμοποιούνταν για να αυξήσουν το επίπεδο της τάσης, ώστε να μεταφερθεί ηλεκτρική ενέργεια σε μακρινές αποστάσεις. Έτσι, η ανακάλυψη των μετασχηματιστών επέτρεψε τη μετατροπή των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας από DC σε AC. Σήμερα, σχεδόν όλα τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας παράγουν και μεταφέρουν τριφασικό εναλλασσόμενο ρεύμα. Οι μετασχηματιστές αυξάνουν τη τάση που παράγεται από τις AC γεννήτριες μειώνοντας αντίστοιχα το επίπεδο του ρεύματος. Αυτό επιτρέπει τη διανομή ηλεκτρικής ισχύος σε μεγάλες αποστάσεις, μειώνει τις απώλειες ισχύος και αυξάνει συνολικά την απόδοση του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. Η αυξημένη χρήση των ηλεκτρικών κινητήρων για οικιακή χρήση και βιομηχανικό εξοπλισμό έχει αυξήσει την ανάγκη για διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας σε διάφορες περιοχές.

Αρχικά, τα συστήματα διανομής αποτελούσαν απλά επέκταση του συστήματος παραγωγής. Υπήρχε ανεπαρκής σχεδιασμός για την αποδοτική μεταφορά της ενέργειας από το σύστημα

παραγωγής στον περιορισμένο αριθμό καταναλωτών. Η αύξηση της χρήσης της ηλεκτρικής ενέργειας οδήγησε σε υψηλότερες απαιτήσεις από το σύστημα διανομής. Πλέον, όχι μόνο εξυπηρετούνται περισσότεροι καταναλωτές, αλλά και ο σημερινός ηλεκτρολογικός εξοπλισμός απαιτεί προσοχή στη διακύμανση της τάσης και ελάχιστη ανοχή στη διακοπή των υπηρεσιών.

Ο σχεδιασμός και η λειτουργία των συστημάτων μεταφοράς και διανομής έχει εξελιχθεί σε έναν πολύ σημαντικό κλάδο της τεχνολογίας. Όχι μόνο έχει βελτιωθεί η απόδοση του συστήματος μεταφοράς και διανομής, αλλά επιπλέον και τα υλικά, ο εξοπλισμός και τα σχετιζόμενα συστήματα ελέγχου έχουν αναβαθμιστεί. Παραδείγματα τέτοια βελτίωσης περιλαμβάνουν την ποιότητα των εγκαταστάσεων, καλύτερους αγωγούς και μονωτές, και περισσότερο αξιόπιστα συστήματα υπολογιστών για την παρακολούθηση και τον έλεγχο των συστημάτων μεταφοράς και διανομής [1]. Τα σημερινά συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας είναι συνδεδεμένα με τέτοιο τρόπο, ώστε αν συμβεί κάποιο πρόβλημα σε ένα από αυτά, τα φορτία που ικανοποιεί, είναι δυνατόν να εξυπηρετηθούν από κάποιο άλλο ΣΗΕ. Ακόμη, είναι πολύ αξιόπιστα και διατηρούν την ισχύ προς τους καταναλωτές στο κατάλληλο επίπεδο τάσης χωρίς συχνές διακοπές. Έτσι, με κατάλληλο σχεδιασμό για καταστάσεις εξαιρετικά υψηλής ζήτησης αποφεύγονται φαινόμενα όπως, “blackout” (είναι η ολική διακοπή ηλεκτρικής ενέργειας) και “brownout” (είναι η μείωση του επιπέδου τάσης στον καταναλωτή). “Brownout” μπορεί και να συμβεί σκόπιμα για να μεταφερθεί διαθέσιμη ισχύς με μειωμένη τάση έτσι ώστε να αποφευχθεί “blackout” κατά τη διάρκεια προβλήματος εξαιρετικά υψηλής ζήτησης. Υψηλή ζήτηση, συνήθως, συμβαίνει κατά τη διάρκεια αφύσικα υψηλών ή χαμηλών θερμοκρασιών για μία εκτενή περίοδο.

## 1.2 ΣΚΟΠΟΣ ΚΑΙ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΣΗΕ

Ο προορισμός ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας είναι η παροχή ηλεκτρικής ενέργειας σε μια εξυπηρετούμενη περιοχή καταναλώσεως. Το σύστημα πρέπει να έχει μελετηθεί και να λειτουργεί σωστά και να ικανοποιεί τις ακόλουθες απαιτήσεις:

- ✓ Πρέπει να παρέχει ηλεκτρική ενέργεια οπουδήποτε υπάρχει ζήτηση.
- ✓ Η ζήτηση πραγματικής και άεργου ισχύος μεταβάλλεται με τον χρόνο, και το σύστημα πρέπει να μπορεί να ικανοποιεί αυτή τη συνεχώς μεταβαλλόμενη ζήτηση.
- ✓ Η παρεχόμενη ενέργεια πρέπει να ικανοποιεί ορισμένες προϋποθέσεις ποιότητας, όπως:
  1. σταθερή συχνότητα
  2. σταθερή τάση
  3. υψηλή αξιοπιστία τροφοδοτήσεως.

- ✓ Η ενέργεια πρέπει να παρέχεται με τα ελάχιστα οικονομικά και οικολογικά κόστη [2].

### 1.3 ΔΟΜΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας είναι το σύνολο των εγκαταστάσεων και μέσων, τα οποία χρησιμεύουν στην εξυπηρέτηση των αναγκών ενός συνόλου καταναλωτών σε ηλεκτρική ενέργεια. Τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας από απόψεως εκτάσεως μπορούν να διακριθούν σε «Εθνικά Συστήματα», «Περιφερειακά Συστήματα» και «Ιδιωτικά Συστήματα», εφόσον αντίστοιχα καλύπτουν το σύνολο μιας χώρας, το σύνολο μιας γεωγραφικής περιοχής, ή τις ανάγκες μεμονωμένου ιδιωτικού συγκροτήματος.

Η δομή του συστήματος έχει πρωτεύουσα σημασία για τη γεωγραφική διαθεσιμότητα της ηλεκτρικής ενέργειας. Η ιδιότητα, η οποία χαρακτηρίζει τη δομή του συστήματος περισσότερο από κάθε άλλη είναι το μέγεθος του συστήματος. Όμως ακόμη και το μικρότερο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας είναι ένα ηλεκτρικό δίκτυο πολύπλοκο.

Για την καλή λειτουργία ενός ΣΗΕ, βασική προϋπόθεση είναι η παροχή ηλεκτρικής ενέργειας όπου υπάρχει ζήτηση με το ελάχιστο δυνατό κόστος και τις ελάχιστες οικολογικές επιπτώσεις, εξασφαλίζοντας τιμές συχνότητας και τάσεως που ικανοποιούν τα αποδεκτά όρια αλλά και υψηλή αξιοπιστία τροφοδότησης.

Η τροφοδότηση των καταναλωτών με ηλεκτρική ενέργεια προϋποθέτει τρεις διακριτές 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 πρέπει να καταναλώνεται τη χρονική στιγμή της ζήτησης, λόγω της αδυναμίας αποθήκευσης (υψηλό κόστος) και της απαίτησης για αξιοπιστία και ασφάλεια τροφοδοσίας [3].

Το Σύστημα Παραγωγής περιλαμβάνει τους σταθμούς παραγωγής, όπου παράγεται το ηλεκτρικό ρεύμα μαζί με τους υποσταθμούς ανυψώσεως τάσεως [2]. Το σύνολο της ηλεκτρικής ενέργειας που παρέχεται στον καταναλωτή προέρχεται κυρίως από θερμοηλεκτρικούς σταθμούς με την καύση ορυκτών καυσίμων (άνθρακας, λιγνίτης, πετρέλαιο, φυσικό αέριο), από υδροηλεκτρικούς σταθμούς με τη ροή ή την πτώση των υδάτων, από πυρηνικούς σταθμούς με την πυρηνική σχάση (ουράνιο, θόριο, πλουτόνιο) και τα τελευταία χρόνια με μεγαλύτερη ένταση από σταθμούς ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, κυρίως με την εκμετάλλευση του ανέμου (αιολική ενέργεια) και του ήλιου (ηλιακή ενέργεια) [3].

Το Σύστημα Μεταφοράς του Ελληνικού Διασυνδεδεμένου Συστήματος περιλαμβάνει τα δίκτυα των γραμμών υψηλής τάσεως, τους υποσταθμούς ζεύξεως των δικτύων αυτών, τους υποσταθμούς μετασχηματισμού μεταξύ των διαφόρων τάσεων του δικτύου και τους υποσταθμούς υποβιβασμού της τάσεως σε μέση τάση προς τροφοδότηση των δικτύων διανομής [2]. Η μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας από τα εργοστάσια παραγωγής προς τις περιοχές κατανάλωσης γίνεται με τις γραμμές υψηλής τάσης (ΥΤ) (150 kV) και υπερ-υψηλής τάσης (ΥΥΤ) (400 kV), για να μειωθούν οι απώλειες, οι οποίες μεταφέρουν την ηλεκτρική ενέργεια σε κεντρικά σημεία του δικτύου, τους υποσταθμούς μεταφοράς, όπου γίνεται υποβιβασμός της τάσης στη μέση τάση (ΜΤ), δηλαδή στα 20 kV του δικτύου. Οι υποσταθμοί είναι η αφετηρία των δικτύων διανομής ΜΤ που διανέμουν την ηλεκτρική ενέργεια στους καταναλωτές διαμέσου των υποσταθμών διανομής και των γραμμών χαμηλής τάσης (ΧΤ) 230/400 V (Ευρώπη) [3], [4].

Σημειώνεται ότι η δομή του συστήματος επηρεάζεται σημαντικά από τη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας, τη χρονική της μεταβολή κατά τη διάρκεια του 24ώρου και από τη χωροταξική της κατανομή. Αν και το μέγεθος των ΣΗΕ διαφέρει, υπάρχουν μεταξύ τους κοινά χαρακτηριστικά. Τα χρησιμοποιούμενα συστήματα είναι τριφασικά εναλλασσόμενου ρεύματος, συχνότητας σήμερα 50 ή 60 Hz, χρησιμοποιούνται όμως, σε ειδικές περιπτώσεις και συστήματα συνεχούς ρεύματος για τη μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας. Οι γραμμές μεταφοράς και διανομής ΜΤ έχουν τρεις αγωγούς φάσεων, ενώ οι γραμμές διανομής ΧΤ έχουν επιπλέον και ουδέτερο αγωγό. Γραμμές διανομής ΧΤ υπάρχουν και μονοφασικές, δύο αγωγών [5].

Οι εγκαταστάσεις παραγωγής και μεταφοράς είναι οικονομικά εξαρτημένες μεταξύ τους και για αυτόν ακριβώς τον 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. Ένα σύστημα παραγωγής και μεταφοράς μπορεί να λειτουργεί μεμονωμένο ή διασυνδεδεμένο με ένα ή περισσότερα άλλα γειτονικά συστήματα. Η διασύνδεση γίνεται συνήθως σε επίπεδο εθνικών συστημάτων και προσφέρει ορισμένα τεχνικά και οικονομικά πλεονεκτήματα στη λειτουργία του κάθε συστήματος. Οι πελάτες που είναι συνδεδεμένοι στα δίκτυα υψηλής και μέσης τάσης είναι στην πλειονότητά τους βιομηχανικοί καταναλωτές, ενώ στα δίκτυα χαμηλής τάσης συνδέονται πελάτες οικιακής χρήσης και ένα μεγάλο μέρος των πελατών εμπορικής χρήσης [6].



## 1.4 ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Η ηλεκτρική ενέργεια διανέμεται στους καταναλωτές με τα δίκτυα διανομής. Τα δίκτυα διανομής καλύπτουν όλη την εξυπηρετούμενη περιοχή και φθάνουν μέχρι και τον τελευταίο καταναλωτή. Διακρίνονται σε δύο βαθμίδες διανομής:

- ✓ Διανομή ΜΤ ή πρωτεύουσα διανομή
- ✓ Διανομή ΧΤ ή δευτερεύουσα διανομή

Το δίκτυο διανομής ΜΤ τροφοδοτείται από τους υποσταθμούς υποβιβασμού ΥΤ/ΜΤ και τροφοδοτεί τους υποσταθμούς διανομής ΜΤ/ΧΤ και τους καταναλωτές ΜΤ. Οι περιοχές καταναλώσεως ή φορτίου, είναι αστικές, βιομηχανικές, υπεραστικές, αγροτικές ή μικτές, ενώ αντίστοιχος προς το είδος της περιοχής είναι και ο τύπος του δικτύου ΜΤ. Έτσι, στα κέντρα των πόλεων, ή γενικά σε περιοχές μεγάλης πυκνότητας φορτίου, τα δίκτυα είναι ως επί το πλείστον υπόγεια, δηλαδή οι γραμμές διανομής αποτελούνται από καλώδια. Στις υπόλοιπες περιοχές, τα δίκτυα είναι κατά κανόνα εναέρια. Τα δίκτυα διανομής ΜΤ είναι συνήθως βροχοειδή, αλλά λειτουργούν ακτινικά. Η βροχοειδής δομή επιτρέπει οικονομία γραμμών για τον ίδιο βαθμό εξυπηρέτησης, ενώ η ακτινική λειτουργία επιβάλλεται από την απλότητα της προστασίας και της ροής της ενέργειας στα δίκτυα αυτά [7].

Η χαμηλή τάση διανομής είναι εκείνη με την οποία τροφοδοτούνται οι οικιακοί καταναλωτές. Τα δίκτυα διανομής ΧΤ αναχωρούν από τους ζυγούς ΧΤ των υποσταθμών διανομής και τροφοδοτούν τις παροχές των καταναλωτών ΧΤ. Τα αστικά δίκτυα διανομής ΧΤ ιδίως των πυκνοκατοικημένων περιοχών είναι κατά κανόνα υπόγεια. Επειδή οι παροχές χαμηλής τάσεως μπορεί να είναι τριφασικές ή μονοφασικές, η χαμηλή τάση αναφέρεται με δύο τιμές. Η πρώτη αναφέρεται στην πολική τάση του συστήματος και η δεύτερη στη φασική. Το τριφασικό σύστημα ΧΤ που εφαρμόζεται στη χώρα μας είναι 400/230 V. Από οικονομική άποψη, η διανομή έχει μεγάλο ενδιαφέρον διότι απορροφά μεγάλο μέρος των επενδύσεων κεφαλαίου του όλου συστήματος [7].

## 1.5 ΑΝΑΛΥΣΗ ΡΟΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

Ο όρος ανάλυση ροής ισχύος αναφέρεται στον υπολογισμό κατά μέτρο και γωνία των τάσεων, των ρευμάτων και των ροών ενεργού και άεργου ισχύος στα διάφορα σημεία ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. Η ανάλυση αυτή αφορά τη μόνιμη κατάσταση λειτουργίας και όχι τυχόν μεταβατικά φαινόμενα τα οποία εμφανίζονται κατά τη σύνδεση ή αποσύνδεση στοιχείων του δικτύου, είτε κατά τη διάρκεια τριφασικών βραχυκυκλωμάτων [7].

Η μελέτη αυτή είναι αναγκαία τόσο κατά την ομαλή λειτουργία ενός δικτύου, όσο και για τις μελέτες επέκτασης και ανάπτυξης του συστήματος. Η ανάλυση ροής ισχύος χρειάζεται επίσης για να προσδιοριστούν οι επιπτώσεις από τις διασυνδέσεις με άλλα συστήματα, την εισαγωγή νέων φορτίων, την εγκατάσταση νέων μονάδων παραγωγής, την εύρεση της κατάλληλης θέσης για την τοποθέτηση πυκνωτών αντιστάθμισης ή ρυθμιστών, την κατασκευή νέων γραμμών, κλπ. [7].

Οι αλγόριθμοι ανάλυσης ροής ισχύος είναι στην πλειονότητά τους επαναληπτικής φύσεως και προσεγγίζουν συνήθως τα πραγματικά αποτελέσματα σε ικανοποιητικά επίπεδα με αποκλίσεις μικρότερες από 0.001 p.u. Επίσης, η εκτέλεσή τους γίνεται συνήθως σε σύντομο χρονικό διάστημα και μπορεί να χρησιμοποιηθεί από ένα σύστημα ελέγχου ώστε να λάβει την κατάλληλη απόφαση σε πραγματικό χρόνο για επιβολή αλλαγών στο δίκτυο με σκοπό τη βέλτιστη λειτουργία του συστήματος από άποψη οικονομίας, αξιοπιστίας, και ασφάλειας. Επειδή το σύστημα διανομής είναι ακτινικό (ή λειτουργεί ως ακτινικό), δεν χρησιμοποιούνται οι αλγόριθμοι που εφαρμόζονται για την ανάλυση ροής ισχύος στα συστήματα μεταφοράς εξαιτίας προβλημάτων σύγκλισης. Αντί αυτών, χρησιμοποιούνται επαναληπτικές μέθοδοι ειδικά σχεδιασμένες για ακτινικά συστήματα. Ένας τέτοιος αλγόριθμος είναι ο Backward and Forward Sweep [7], ο οποίος λαμβάνει υπόψη τις ασυμμετρίες που εμφανίζει ένα δίκτυο διανομής σε αντίθεση με τις κλασσικές μεθόδους των δικτύων μεταφοράς που εφαρμόζονται στο ανά φάση ισοδύναμο κύκλωμα.

## 1.6 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η διατύπωση και η επίλυση του προβλήματος της βέλτιστης επαναδιαμόρφωσης δικτύων διανομής ηλεκτρικής ενέργειας για την βελτίωση της αξιοπιστίας τους. Στόχος είναι η ελαχιστοποίηση του κόστους απωλειών ενεργού ισχύος, του κόστους της ενέργειας που δεν τροφοδοτήθηκε σε διάστημα ενός έτους, του κόστους που προκύπτει λόγω της διάρκειας των διακοπών παροχής ενέργειας στους καταναλωτές και του κόστους που προκύπτει λόγω της συχνότητας των διακοπών παροχής ενέργειας στους καταναλωτές.

## 1.7 ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η παρούσα εργασία οργανώνεται σε επτά κεφάλαια:

- ✓ Στο **Κεφάλαιο 2** παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά ενός δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, η επαναδιαμόρφωσή του για τη βελτίωση της αξιοπιστίας του, και η διαδικασία της ανάλυσης ευαισθησίας.

- ✓ Στο **Κεφάλαιο 3** κατασκευάζεται το μαθηματικό μοντέλο του προβλήματος της βέλτιστης επαναδιαμόρφωσης δικτύων διανομής ηλεκτρικής ενέργειας για τη βελτίωση της αξιοπιστίας τους.
- ✓ Στο **Κεφάλαιο 4** αναλύεται ο αλγόριθμος επίλυσης του προβλήματος που αναπτύχθηκε στο Κεφάλαιο 3 και περιγράφεται το λογισμικό GAMS που χρησιμοποιήθηκε για την ανάπτυξη του σχετικού κώδικα επίλυσης του μοντέλου.
- ✓ Στο **Κεφάλαιο 5** παρουσιάζονται και σχολιάζονται τα αποτελέσματα εφαρμογής του μοντέλου σε δίκτυα 43 και 69 κόμβων.
- ✓ Στο **Κεφάλαιο 6** γίνεται μια σύνοψη της εργασίας και προτείνονται τρόποι βελτίωσης και επέκτασής της.
- ✓ Στο **Κεφάλαιο 7** παρουσιάζεται η βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε σε όλη την έκταση της εργασίας.



## ΕΠΙΧΡΩΜΑΤΙΣΜΟΣ ΔΙΚΤΥΩΝ ΔΙΑΝΟΜΗΣ

### 2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ένα πολύ σημαντικό θέμα σχετικά με τα δίκτυα διανομής είναι ο τρόπος με τον οποίο μπορεί να επιτευχθεί η βέλτιστη δυνατή λειτουργία τους, καθώς όχι μόνο αποτελούν την κύρια πηγή απωλειών των ΣΗΕ, αλλά και οι περισσότερες διακοπές παροχής οφείλονται σε σφάλματα που συμβαίνουν σε δίκτυα διανομής. Το παραπάνω αναφέρεται στη διεθνή βιβλιογραφία ως πρόβλημα βελτιστοποίησης του δικτύου διανομής και ορίζεται ως η κάλυψη της ζήτησης του δικτύου με τον πιο οικονομικό, αξιόπιστο και φιλικό προς το περιβάλλον τρόπο, ενώ παράλληλα τηρούνται όλοι οι λειτουργικοί περιορισμοί. Ακόμη, με τον τρόπο αυτό είναι δυνατός και ο προγραμματισμός της μελλοντικής επέκτασης ενός δικτύου διανομής.

Θεωρείται πως ένα δίκτυο διανομής λειτουργεί με τον βέλτιστο δυνατό τρόπο εάν τροφοδοτεί το φορτίο του, έτσι ώστε οι απώλειες να είναι οι ελάχιστες δυνατές και η ποιότητα εξυπηρέτησης των καταναλωτών βέλτιστη. Η ποιότητα εξυπηρέτησης όμως συνίσταται στην αξιοπιστία του δικτύου, δηλαδή στη συνέχεια παροχής ηλεκτρικής ενέργειας και στη σταθερότητα της τάσης τροφοδότησης των καταναλωτών. Συμπερασματικά, η βέλτιστη λειτουργία καθορίζεται από τις απώλειες, την αξιοπιστία και τη σταθερότητα της τάσης.

Οι δυνατότητες βελτιστοποίησης της λειτουργίας εξαρτώνται άμεσα από τη διαμόρφωση του δικτύου. Για παράδειγμα, σε ένα εναέριο ακτινικό αγροτικό δίκτυο μέσης τάσης με μικρό αριθμό διακλαδώσεων, το πρόβλημα επιλογής της βέλτιστης συνδεσμολογίας είναι περιορισμένο, ενώ ο βαθμός εξυπηρέτησης που επιτυγχάνεται εξαρτάται κυρίως από την καλή επιλογή των προστασιών και των μέσων ρύθμισης της τάσης. Αντίθετα, σε ένα αστικό δίκτυο με πολλές δυνατότητες διασυνδέσεων υπάρχει ένα πλήθος πιθανών σχημάτων και η επιλογή της βέλτιστης συνδεσμολογίας αποτελεί σύνθετο πρόβλημα, ενώ είναι περιορισμένες οι δυνατότητες επιλογής των προστασιών και των μέσων ρύθμισης της τάσης. Αν ληφθεί υπόψη η πολυπλοκότητα των δικτύων διανομής και η συνεχώς μεταβαλλόμενη φόρτισή τους, είναι προφανές ότι ο καθορισμός της βέλτιστης λειτουργίας αποτελεί ένα σύνθετο πρόβλημα. Η ανάπτυξη των δικτύων διανομής, δηλαδή η κατασκευή νέων έργων και η αντικατάσταση των υφιστάμενων, πραγματοποιείται σταδιακά, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η ικανοποιητική εξυπηρέτηση των καταναλωτών, των οποίων το πλήθος και το φορτίο συνεχώς μεταβάλλονται. Ο ορθός

σχεδιασμός της ανάπτυξης ενός δικτύου διανομής επηρεάζει άμεσα τόσο τον βαθμό εξυπηρέτησης των καταναλωτών όσο και τις δαπάνες υλοποίησης των έργων ανάπτυξής του για την εξυπηρέτηση των καταναλωτών. Βέβαια, η βελτιστοποίηση της λειτουργίας ενός δικτύου διανομής, καθώς και η κατασκευή επεκτάσεων οφείλουν να ακολουθούν βασικούς περιορισμούς, όπως οι ακόλουθοι:

- ✓ Όλοι οι καταναλωτές θα πρέπει να συνεχίσουν να τροφοδοτούνται κανονικά.
- ✓ Η ακτινική λειτουργία του δικτύου θα πρέπει να διατηρείται.
- ✓ Οι τάσεις των κόμβων θα πρέπει να βρίσκονται μέσα στα επιτρεπτά όρια.
- ✓ Τα ρεύματα στους κλάδους (υφιστάμενους και νέους) θα πρέπει να κυμαίνονται εντός των επιτρεπόμενων ορίων.

Επιπλέον, η λήψη των αποφάσεων κατά τον σχεδιασμό της ανάπτυξης των δικτύων διανομής πρέπει να βασίζεται στο συνολικό κόστος, που προκύπτει από την εξέταση του θέματος κατά μία περίοδο αρκετών ετών (π.χ. δέκα έτη), κατά την οποία θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη όχι μόνο οι δαπάνες κατασκευής νέων έργων, αλλά και οι δαπάνες εκμετάλλευσης (λειτουργία και συντήρηση), το κόστος των απωλειών, καθώς και ο διαφορετικός βαθμός ποιότητας εξυπηρέτησης που επιτυγχάνεται ανάλογα με το έργο που υλοποιείται κάθε φορά.

Οι μέθοδοι βελτίωσης της αποδοτικότητας που χρησιμοποιούνται πιο συχνά είναι οι ακόλουθες:

- ✓ Επαναδιαμόρφωση της τοπολογίας του δικτύου μέσω διακοπών: Στην μέθοδο αυτή επικεντρώνεται η παρούσα διπλωματική εργασία.
- ✓ Βέλτιστη τοποθέτηση πυκνωτών: Η μέθοδος αυτή είναι εφαρμόσιμη σε δίκτυα διανομής μέσης τάσης. Ο πυκνωτής, ως γνωστόν, αποτελεί μια πηγή άεργου ισχύος και αφού μειώνει την επαγωγική αντίδραση, τελικά μειώνει και τις απώλειες άεργου ισχύος της γραμμής. Οι πυκνωτές σε ένα δίκτυο διανομής, χρησιμοποιούνται για τη βελτίωση του συντελεστή ισχύος καθώς και τη ρύθμιση των τάσεων με την προσφορά άεργου ισχύος για αντιστάθμιση. Οι κύριες προκλήσεις της μεθόδου αυτής είναι η επιλογή του κατάλληλου αριθμού πυκνωτών που πρέπει να τοποθετηθούν και η επιλογή του μεγέθους των πυκνωτών αυτών. Πολλοί ερευνητές έχουν αξιοποιήσει αλγορίθμους προκειμένου να καταστήσουν τη μείωση απωλειών περισσότερο αποτελεσματική, όπως αλγορίθμους γραμμικού και μη γραμμικού προγραμματισμού, αναζήτηση tabu, γενετικό

αλγόριθμο, αλγορίθμους ασαφούς λογικής, αλγόριθμο βελτιστοποίησης αποικίας μυρμηγκιών, και άλλους.

- ✓ Αξιοποίηση διανεμημένης παραγωγής (ΔΠ): Η διανεμημένη παραγωγή αποτελεί την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από εγκαταστάσεις που είναι αρκετά μικρότερες από την κύρια παραγωγή ενέργειας και μπορούν να συνδεθούν σχεδόν σε οποιοδήποτε σημείο ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. Τα τελευταία χρόνια, η διεύθυνση της διανεμημένης παραγωγής έχει γίνει εντονότερη και προσφέρει πλεονεκτήματα, όπως η προστασία του περιβάλλοντος μέσω της αξιοποίησης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ), καλύτερη διαχείριση της συμφόρησης στα δίκτυα μεταφοράς και διανομής, διατήρηση της τάσης στα επιθυμητά όρια και τελικά ελαχιστοποίηση των απωλειών. Υπάρχουν πολλές τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται στις μονάδες διανεμημένης παραγωγής και διακρίνονται στις ΑΠΕ (ανεμογεννήτριες, φωτοβολταϊκά, συστήματα εκμετάλλευσης της κυματικής ενέργειας, μικρά υδροηλεκτρικά και συστήματα ηλιοθερμίας), μονάδες συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας (μηχανές εσωτερικής καύσης, γεωθερμία, βιομάζα, κυψέλες καυσίμου) και συνδυασμός των παραπάνω κατηγοριών παραγωγής. Το ζήτημα της διανεμημένης παραγωγής έχει απασχολήσει τους ερευνητές, καθώς η προσπάθεια εστιάζεται στη μέγιστη αξιοποίηση των πλεονεκτημάτων της διανεμημένης παραγωγής, χωρίς την παραβίαση των περιορισμών που επιτάσσουν η υποδομή και η λειτουργία των υπάρχοντων συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας. Για την ελαχιστοποίηση των απωλειών μέσω της διανεμημένης παραγωγής αξιοποιούνται τεχνικές όπως ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης σμήνους μελισσών, αλγόριθμοι ασαφούς λογικής, γενετικοί αλγόριθμοι, ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης σμήνους σωματιδίων, και άλλοι.

Κατά τη διάρκεια της τελευταίας δεκαετίας, τα κίνητρα που παρέχουν κυβερνήσεις ανεπτυγμένων χωρών για την ενίσχυση της οικονομίας τους, οδηγούν σε ένα αυξανόμενο ενδιαφέρον για την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών για την πρόοδο και τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας των δικτύων διανομής, κάτι το οποίο ενισχύουν και οι νέες τεχνολογίες στους τομείς των τηλεπικοινωνιών, της πληροφορικής, των ηλεκτρονικών ισχύος και του αυτομάτου ελέγχου. Έτσι, ενθαρρύνεται η έρευνα και η ανάπτυξη νέων τεχνολογιών και υπηρεσιών σχετικών με τα δίκτυα διανομής. Οι καινοτομίες αυτές μετασχηματίζουν πλέον τα δίκτυα διανομής σε έξυπνα δίκτυα διανομής. Τα χαρακτηριστικά των έξυπνων δικτύων διανομής είναι τα ακόλουθα:

- ✓ Αυξημένη συμμετοχή των καταναλωτών και δυνατότητα σύνδεσης όλων των μονάδων διανεμημένης παραγωγής και διανεμημένης αποθήκευσης.
- ✓ Δυνατότητα εισαγωγής νέων προϊόντων, υπηρεσιών και αγορών.

- ✓ Αυξημένη αξιοπιστία και ποιότητα ισχύος.
- ✓ Βέλτιστη χρήση του εξοπλισμού του δικτύου διανομής.
- ✓ Δυνατότητα αυτοθεραπείας (self-healing) για την αντιμετώπιση των διαταραχών του συστήματος διανομής.
- ✓ Ανθεκτικότητα ενάντια σε φυσικές καταστροφές, επιθέσεις και κυβερνοεπιθέσεις.

Λόγω της χρησιμότητάς της, η επαναδιαμόρφωση των δικτύων διανομής αποτέλεσε ένα ιδιαίτερο αντικείμενο μελέτης πολλών ερευνητών στην παγκόσμια επιστημονική κοινότητα τα τελευταία χρόνια. Τα αίτια που μπορούν να οδηγήσουν στην επαναδιαμόρφωση ενός δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, οι προϋποθέσεις και οι συνθήκες κάτω από τις οποίες πραγματοποιείται, καθώς και οι στόχοι που εξυπηρετεί, ποικίλλουν. Κάποιοι από τους λόγους που οδηγούν στην ανάγκη επαναδιαμόρφωσης ενός δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας είναι η αποκατάσταση της λειτουργίας του σε περίπτωση μόνιμου σφάλματος κάποιου στοιχείου του, καθώς και η βελτιστοποίηση της λειτουργίας του δικτύου, με στόχο την ελαχιστοποίηση των απωλειών του δικτύου και τον ισομερισμό των εξυπηρετούμενων φορτίων μεταξύ των κύριων γραμμών διανομής. Η διατήρηση της ακτινικής μορφής του δικτύου καθώς και η διακύμανση των τάσεων των κόμβων εντός των επιτρεπτών ορίων αποτελούν τους κυριότερους περιορισμούς στις περισσότερες περιπτώσεις επαναδιαμόρφωσης του δικτύου [8].

## **2.2 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΔΙΚΤΥΩΝ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**

Ένα σύστημα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας αποτελείται από βασικά δομικά στοιχεία, όπου κάθε ένα από αυτά έχει σημαντικό ρόλο στη λειτουργία του συστήματος, έτσι ώστε να μεταφερθεί η ηλεκτρική ενέργεια από τους σταθμούς παραγωγής στους καταναλωτές με αποδοτικό τρόπο. Κάθε μονάδα εξοπλισμού, είναι αναγκαίο να σχεδιάζεται με τέτοιο τρόπο ώστε να λειτουργεί ικανοποιητικά σε συνεργασία με το υπόλοιπο σύστημα ανεξάρτητα με τις συνθήκες που επικρατούν έτσι ώστε να προσφέρει ικανοποιητικές υπηρεσίες σε έναν ή περισσότερους καταναλωτές. Παρά τις κατασκευαστικές διαφοροποιήσεις που μπορεί να εμφανίζονται μεταξύ των δικτύων διανομής ανά περιοχές, όλα τους φέρουν κοινά βασικά χαρακτηριστικά και συντίθενται από τα ίδια στοιχεία, τα οποία περιγράφονται στη συνέχεια.



### 2.2.1 Γραμμές μεταφοράς και διανομής

Οι γραμμές μεταφοράς και διανομής αποτελούνται από ηλεκτρικούς αγωγούς κατάλληλα προστατευόμενους με μόνωση (πύργοι μεταφοράς, αλυσίδες μονωτήρων, μονωτικά τυλίγματα) από τις διαρροές τάσης και τις ανεπιθύμητες γειώσεις. Αυτοί οι αγωγοί είναι υπεύθυνοι για τη μεταφορά της ενέργειας από ένα σημείο σε ένα άλλο. Οι γραμμές μεταφοράς είναι πάντα τριφασικές (τρεις ξεχωριστοί αγωγοί για το εναλλασσόμενο ρεύμα) και σπανίως έχουν και τέταρτο ουδέτερο (αφόρτιστο) αγωγό. Τα κύρια μέρη ενός συστήματος διανομής κατασκευάζονται ως τριφασικές γραμμές. Οι γραμμές διανομής στη ΜΤ είναι πάντοτε τριφασικές, ενώ οι γραμμές διανομής ΧΤ είναι συνήθως τριφασικές, αλλά υπάρχουν και μονοφασικές γραμμές. Ανεξάρτητα από τον τύπο του ή την χωρητικότητά του, κάθε ηλεκτρικός αγωγός έχει μια αντίδραση (αντίσταση στη ροή ρεύματος διαμέσου αυτού) που προκαλεί πτώση τάσης και ηλεκτρικές απώλειες κατά τη μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας. Πτώση τάσης είναι η μείωση της τάσης ανάμεσα στα σημεία αναχώρησης και άφιξης της ενεργειακής ροής. Οι απώλειες συνιστούν μείωση της καθαρής ενέργειας και είναι ανάλογες του τετραγώνου του ρεύματος [9].

### 2.2.2 Υποσταθμοί μεταφοράς

Τα δίκτυα διανομής ξεκινούν από τους υποσταθμούς μεταφοράς ΥΤ/ΜΤ. Οι υποσταθμοί αυτοί έχουν εγκατεστημένο εξοπλισμό προστασίας και χειρισμού του δικτύου. Συγκεκριμένα περιλαμβάνει αποζεύκτες, αυτόματους διακόπτες, πυκνωτές σε σειρά ή/και παράλληλα, γειώσεις, και λοιπές συσκευές [10].

### 2.2.3 Υποσταθμοί διανομής

Τα δίκτυα διανομής ξεκινούν από τους υποσταθμούς μεταφοράς ΥΤ/ΜΤ, και συγκεκριμένα από κόμβους συνδεδεμένους με τα δευτερεύοντα τυλίγματα μετασχηματιστών υποβιβασμού. Στους υποσταθμούς βρίσκεται επίσης εγκατεστημένος εξοπλισμός προστασίας και χειρισμού του δικτύου, όπως αποζεύκτες, αυτόματοι διακόπτες, πυκνωτές σε σειρά ή/και παράλληλα, γειώσεις, μετρητικές και άλλες συσκευές. Στις απολήξεις του δικτύου διανομής ΜΤ βρίσκονται εγκατεστημένοι οι υποσταθμοί διανομής όπου γίνεται ο υποβιβασμός από μέση σε χαμηλή τάση και ξεκινά η τροφοδοσία του δευτερεύοντος δικτύου. Κύρια στοιχεία τους είναι οι μετασχηματιστές διανομής, ενώ περιέχουν και εξοπλισμό ρύθμισης τάσης αλλά και μέσα προστασίας, όπως διακοπτικούς μηχανισμούς [10].

### 2.2.4 Μετασχηματιστές

Στον πυρήνα κάθε ΣΗΕ εναλλασσόμενου ρεύματος βρίσκονται οι μετασχηματιστές (Μ/Σ). Αυτοί αλλάζουν τα επίπεδα τάσης και ρεύματος, διατηρώντας (εκτός από ένα μικρό μέρος από ηλεκτρικές απώλειες) την ίδια συνολική ενεργειακή ροή. Οι μετασχηματιστές κατασκευάζονται βάσει προκαθορισμένων προδιαγραφών και αγοράζονται σε μεγάλες ποσότητες. Οι μετασχηματιστές

εμφανίζουν δύο τύπους ηλεκτρικών απωλειών: τις απώλειες σε κενό φορτίο (απώλειες πυρήνα ή σιδήρου) και τις απώλειες φορτίου (είναι ανάλογες του τετραγώνου του φορτίου). Οι μετασχηματιστές είναι διαθέσιμοι σε ποικίλα μεγέθη και τύπους [9]. Χρησιμοποιούνται στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας σε τρεις κύριες περιοχές:

- ✓ για την ανύψωση της τάσης σε ΥΤ στα εργοστάσια παραγωγής (20kV/150kV ή 20kV/400kV)
- ✓ για τη μεταφορά της ενέργειας (150kV/20kV ή 400kV/20kV)
- ✓ για τη διανομή της ενέργειας στους καταναλωτές (20kV/400V)

### 2.2.5 Μετασχηματιστές με ΣΑΤΥΦ

Οι μετασχηματιστές υποβιβασμού ΥΤ σε ΜΤ είναι συνήθως εξοπλισμένοι με συστήματα 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 μετασχηματιστή και κινητών επαφών στο δευτερεύον καθίσταται εφικτή η αλλαγή του λόγου μετασχηματισμού των τυλιγμάτων τους χωρίς διακοπή της ροής ισχύος [2]. Η μεταβολή του λόγου μετασχηματισμού δεν είναι συνεχής αλλά με βήματα, κατά ένα ποσοστό του αρχικού λόγου ανά βήμα [11]. Συνήθως, η μέγιστη δυνατή ποσοστιαία αύξηση του λόγου μετασχηματισμού είναι ίση με τη μέγιστη δυνατή ποσοστιαία μείωσή του. Με τη χρήση των μετασχηματιστών με ΣΑΤΥΦ δύναται να προκληθεί αύξηση ή μείωση του επιπέδου της τάσης στους κόμβους του δικτύου διανομής που βρίσκονται στους υποσταθμούς υποβιβασμού, μεταβάλλοντας αντίστοιχα τις τιμές τάσεων σε όλα τα υπόλοιπα σημεία του. Επομένως, σε περιπτώσεις παραβίασης των περιορισμών τάσης σε τμήμα του πρωτεύοντος δικτύου, με μια ή περισσότερες αλλαγές λήψεων στον μετασχηματιστή της κατάλληλης κύριας γραμμής τροφοδοσίας είναι δυνατή η αποκατάσταση της λειτουργίας του εντός των επιθυμητών ορίων.

### 2.2.6 Διακόπτες

Στα δίκτυα συμπεριλαμβάνεται πλήθος συσκευών που χρησιμοποιούνται για σύνδεση και αποσύνδεση τμημάτων τους. Διακρίνονται ανάλογα με τα χαρακτηριστικά και τη χρήση τους σε:

- 1) **Αποξεύκτες (A/Z - Isolators or Disconnectors):** Χρησιμοποιούνται για απομόνωση τμημάτων κυκλώματος, αλλά μόνο όταν το κύκλωμα έχει ήδη τεθεί εκτός τάσης. Διακρίνονται σε:
  - ταχείας τήξεως (τύπου K): χρησιμοποιούνται για την προστασία των Υ/Σ διανομής.
  - βραδείας τήξεως (τύπου T): χρησιμοποιούνται για την προστασία όλων των διακλαδώσεων από τον κορμό της γραμμής.

2) **Διακόπτες Ισχύος (Βραχυκυκλώσεως, Δ/Ι - Circuit Breakers):** Πρόκειται για μέσα προστασίας που προκαλούν τη διακοπή λειτουργίας του κυκλώματος, όταν το ρεύμα σε αυτό υπερβεί τα επιτρεπτά όρια λειτουργίας. Η λειτουργία τους ελέγχεται από τους ακόλουθους ηλεκτρονόμους (H/N):

- H/N Στιγμιαίας Λειτουργίας για σφάλματα Φάσεων (ΣΛΦ)
- H/N Χρονικής Καθυστέρησης Φάσεων (ΧΚΦ)
- H/N Στιγμιαίας Λειτουργίας για σφάλματα Γης (ΣΛΓ)
- H/N Χρονικής Καθυστέρησης Γης (ΧΚΓ)

Οι ηλεκτρονόμοι φάσεων εγκαθίστανται στις τρεις φάσεις, ενώ οι H/N γης στον ουδέτερο κόμβο των Μ/Σ εντάσεως.

3) **Διακόπτες Φορτίου (Δ/Φ - Switches):** Χρησιμοποιούνται για αποσύνδεση μερών του κυκλώματος, ακόμα και κατά τη διάρκεια λειτουργίας του.

4) **Διακόπτες Απομόνωσης (Δ/Α - Sectionalizing Switches):** Οι διακόπτες απομόνωσης λειτουργούν σε σφάλματα που συμβαίνουν σε διακλαδώσεις δικτύων. Διεγείρονται από το ρεύμα βραχυκύκλωσης και από τους κύκλους λειτουργίας του διακόπτη ισχύος στην αναχώρηση της γραμμής. Αμέσως μόλις περάσει από αυτούς το ρεύμα βραχυκυκλώματος, μετράνε, με εσωτερικό μηχανισμό, τους κύκλους λειτουργίας. Στον τελευταίο κύκλο ανοίγουν, αφού ανοίξει ο διακόπτης ισχύος. Στην συνέχεια ο διακόπτης ισχύος κλείνει και μένει κλειστός, ενώ ο διακόπτης απομόνωσης μένει ανοικτός. Η τροφοδότηση των λοιπών καταναλωτών ΜΤ υφίσταται μόνο τις διακοπές που προέρχονται από τους κύκλους λειτουργίας του διακόπτη ισχύος στην αναχώρηση της γραμμής. Πλεονέκτημα των διακοπών απομόνωσης έναντι των ασφαλειών είναι ότι δεν χρειάζονται αλλαγή και έχουν πλήρη συνεργασία με τον διακόπτη ισχύος στην αναχώρηση. Η επανάφευξή τους γίνεται είτε αυτόματα είτε χειροκίνητα αφού πρώτα αποκατασταθεί το σφάλμα από συνεργείο της εταιρίας διανομής [12].

Έτσι υπάρχουν διακόπτες κανονικά κλειστοί υπό τάση, οι οποίοι συνδέουν τις γραμμές μεταξύ τους κατά την κανονική λειτουργία του δικτύου και άλλοι που είναι κανονικά ανοικτοί και κλείνουν

μόνον όταν κριθεί απαραίτητο. Με αυτό τον τρόπο πραγματοποιείται επαναδιαμόρφωση του δικτύου ανακατευθύνοντας τη ροή ισχύος σε διαφορετικά τμήματά του [12].

### 2.2.7 Πυκνωτές

Οι εγκατεστημένες συστοιχίες πυκνωτών που διαθέτουν οι υποσταθμοί μεταφοράς και οι Μ/Σ διανομής είναι σε θέση να ρυθμίζουν την τάση αλλά και να διορθώνουν τον συντελεστή ισχύος των γραμμών του δικτύου. Οι τρόποι σύνδεσης των συστοιχιών είναι σε σειρά ή παράλληλα με τις γραμμές. Οι πυκνωτές σειράς, δηλαδή οι πυκνωτές που συνδέονται σε σειρά με γραμμές, έχουν χρησιμοποιηθεί σε πολύ περιορισμένο βαθμό σε κυκλώματα διανομής εξαιτίας ενός πιο εξειδικευμένου τύπου συσκευής με περιορισμένο εύρος εφαρμογής [10]. Αντίθετα, ευρεία χρήση έχουν οι εγκάρσιοι πυκνωτές που συνδέονται παράλληλα με τις γραμμές. Αυτό συμβαίνει λόγω της δυνατότητάς τους να παρέχουν άεργο ισχύ στο δίκτυο αντισταθμίζοντας έτσι μέρος της άεργου κατανάλωσης από τις αντιδράσεις των γραμμών. Με την τοποθέτησή τους σε κόμβους του δικτύου διανομής συμβάλλουν επίσης στη μείωση της πτώσης τάσης μεταξύ των γραμμών του αλλά και στην αύξηση (βελτίωση) του συντελεστή ισχύος. Ιδιαίτερα χρήσιμοι είναι οι εγκάρσιοι πυκνωτές με πολλαπλές καταστάσεις λειτουργίας, οι οποίοι έχουν τη δυνατότητα ρύθμισης της χωρητικότητάς τους όσο το σύστημα βρίσκεται υπό φορτίο. Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατή η ρύθμιση της επίδρασής τους στο δίκτυο ανάλογα με τις ανάγκες κάλυψης άεργου ισχύος ή προσαρμογής επιπέδων τάσεως που παρουσιάζονται κάθε στιγμή. Η εφαρμογή της μεθόδου αυτής για τη βελτίωση της τάσεως έχει γενικότερα σαν αποτέλεσμα και τη βελτίωση της οικονομίας του συστήματος. Οι εγκάρσιοι πυκνωτές αντισταθμίσεως είναι σύγχρονοι και στατοί [2].

### 2.2.8 Ρυθμιστές τάσης

Οι ρυθμιστές τάσης είναι αυτομετασχηματιστές που τοποθετούνται κατά μήκος του δικτύου διανομής, για την αντιμετώπιση του φαινομένου της πτώσης τάσης. Με τον τρόπο αυτό οι καταναλωτές στο τέλος μιας γραμμής διανομής έχουν παρόμοιο επίπεδο τάσης με εκείνους στην αρχή της γραμμής διανομής.

Σε γραμμές μεγάλου μήκους που χαρακτηρίζονται από υψηλή φόρτιση τοποθετούνται περισσότεροι από ένας ρυθμιστές τάσης. Στις περιπτώσεις αυτές το ΣΑΤΥΦ δεν μπορεί να κρατήσει τις τάσεις εντός ορίων λόγω του μήκους των γραμμών και της υψηλής τους φόρτισης και μόνο η τοποθέτηση ρυθμιστών τάσης σε σειρά διορθώνουν το πρόβλημα ανυψώνοντας σταδιακά την τάση.

## 2.3 ΤΟΠΟΛΟΓΙΕΣ ΔΙΚΤΥΩΝ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Η μορφή των δικτύων διανομής ποικίλλει ανάλογα με τα ιδιάζοντα χωροταξικά και δομικά χαρακτηριστικά της κάθε περιοχής, και τη θέση και το είδος των φορτίων. Υπάρχουν οι ακόλουθες βασικές τοπολογίες δικτύων:

- ✓ Ακτινικά Δίκτυα
- ✓ Βροχοειδή Δίκτυα
- ✓ Δικτυωτά Δίκτυα

### 2.3.1 Ακτινικά συστήματα

Πάνω από το 80% των δικτύων διανομής παγκοσμίως κατασκευάζονται με ακτινική δομή, στην οποία υπάρχει μόνο μία διαδρομή ανάμεσα σε κάθε καταναλωτή και στον υποσταθμό. Τα ακτινικά δίκτυα αποτελούν την οικονομικότερη λύση σε σχέση με τις άλλες τοπολογίες δικτύων και επίσης είναι απλούστερα στην ανάλυση και στην λειτουργία τους [13]. Το βασικό τους μειονέκτημα είναι η ύπαρξη ενός μοναδικού μονοπατιού ανάμεσα σε κάθε καταναλωτή και στον υποσταθμό, δημιουργώντας έτσι ένα δενδροειδές δίκτυο με απολήξεις τους Μ/Σ διανομής. Η δενδροειδής δομή του περιλαμβάνει τον κορμό του δικτύου, που κατασκευάζεται από αγωγούς μεγαλύτερης διατομής και τις διακλαδώσεις, που έχουν αγωγούς μικρότερης διατομής από ότι ο κορμός. Στις διακλαδώσεις συνδέονται συνήθως οι μετασηματιστές μέσης τάσης / χαμηλής τάσης (ΜΤ/ΧΤ). Σε αυτή τη δομή συχνά υπάρχουν και βρόχοι αλλά τα δίκτυα λειτουργούν σε ακτινική διαμόρφωση με κάποιους ανοικτούς διακόπτες, για να επιτρέπεται η ανίχνευση βλάβης και η απομόνωση τμημάτων σε περίπτωση σφάλματος. Η κάθε γραμμή ενός τέτοιου δικτύου τροφοδοτείται μόνο από το ένα άκρο. Η αξιοπιστία τους για συνεχή παροχή ηλεκτρικής ενέργειας είναι ιδιαίτερα χαμηλή και ο λόγος είναι ότι η εμφάνιση σφάλματος σε οποιαδήποτε τοποθεσία προκαλεί διακοπή της παροχής ενέργειας στους καταναλωτές που βρίσκονται κατάντι της περιοχής του σφάλματος [10]. Βέβαια, το φαινόμενο αυτό μπορεί να αντιμετωπιστεί ολικά ή εν μέρει με την ύπαρξη των αποζευκτών που είναι ανοικτοί υπό φορτίο (tie switches), οι οποίοι συνδέουν μεταξύ τους διάφορα σημεία κατά μήκος των κύριων γραμμών διανομής. Αφού λοιπόν απομονωθεί η περιοχή του σφάλματος με την βοήθεια των κατάλληλων διακοπών απομόνωσης (sectionalizing switches), το υπόλοιπο μέρος του δικτύου θα συνδεθεί κλείνοντας τους κατάλληλους αποζεύκτες σε κάποια γραμμή διανομής.

### 2.3.2 Βροχοειδή συστήματα

Το πλεονέκτημα που παρουσιάζει αυτή η τοπολογία του δικτύου έναντι της ακτινικής είναι η ύπαρξη δύο μονοπατιών, με την ύπαρξη ενός αποζεύκτη βρόχου (loop tie switch) ο οποίος μένει ανοιχτός σε κανονική λειτουργία, ανάμεσα στον υποσταθμό ΥΤ/ΜΤ και σε κάθε καταναλωτή. Με τη σωστή κατασκευή αλλά και προστασία, τα βροχοειδή δίκτυα μπορούν να προσφέρουν υψηλά επίπεδα αξιοπιστίας στους καταναλωτές. Το μέγεθος του αγωγού τροφοδοσίας, συνήθως, είναι ίδιο σε όλο τον βρόχο και επιλέγεται έτσι ώστε να είναι ικανό να εξυπηρετήσει τα δικά του φορτία συν τα φορτία του άλλου μισού βρόχου. Με αυτόν τον τρόπο, σε περίπτωση σφάλματος ενός τμήματος της κύριας γραμμής, είναι δυνατή η εξυπηρέτηση μεγάλου μέρους των φορτίων που επηρεάστηκαν από το σφάλμα [10]. Γενικά, τα βροχοειδή δίκτυα έχουν μεγαλύτερο κόστος και είναι πιο περίπλοκα στην ανάλυση και στη λειτουργία τους από τα ακτινικά δίκτυα [13].

### 2.3.3 Δικτυωτά συστήματα

Σε αυτήν την τοπολογία, το δίκτυο είναι ένα σύστημα στο οποίο παρέχεται ενέργεια από ένα αριθμό υποσταθμών. Εδώ οι κύριες γραμμές διανομής τροφοδοτούνται από δύο υποσταθμούς, ένα σε κάθε άκρο τους, και από αυτές ξεκινούν οι ακτινικές γραμμές διανομής, οι οποίες εξυπηρετούν τα φορτία του δικτύου. Τα δίκτυα αυτής της μορφής μπορούν να εξυπηρετήσουν φορτία από πολλές κατευθύνσεις. Σε γενικές γραμμές, οι απώλειές τους είναι χαμηλότερες από αυτές σε αντίστοιχου μεγέθους ακτινικά ή βροχοειδή δίκτυα και παρέχουν μεγαλύτερη αξιοπιστία. Παρόλα αυτά παρουσιάζουν μεγαλύτερη δυσκολία στον σχεδιασμό και τον χειρισμό.

## 2.4 ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΔΙΚΤΥΩΝ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Στην Ενότητα 2.2 δόθηκε μια περιγραφή των στοιχείων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να ελέγξουν τη λειτουργία του δικτύου διανομής. Η δυνατότητα τηλεχειρισμού τους στις σύγχρονες εγκαταστάσεις έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη τεχνικών που ρυθμίζουν ολόκληρα τμήματα δικτύου με ταυτόχρονο χειρισμό όλων των στοιχείων ελέγχου που βρίσκονται σε αυτά μέσω ευφυών συστημάτων. Ανάλογα με την κλίμακα στην οποία επιδιώκουν τον έλεγχο του δικτύου, τα συστήματα αυτά διακρίνονται σε συστήματα κεντρικού και αποκεντρωμένου ελέγχου.

### 2.4.1 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 κριθεί απαραίτητο το άνοιγμα ή κλείσιμο κάποιων διακοπών, η αλλαγή επιπέδων τάσης των Μ/Σ με ΣΑΤΥΦ, η ζεύξη/απόζευξη εγκάρσιων πυκνωτών, ή και ο περιορισμός της παραγωγής των μονάδων διανεμημένης παραγωγής που μπορεί να είναι συνδεδεμένες στο δίκτυο.

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 εύρεση της βέλτιστης λύσης, ιδιαίτερα σε δίκτυα με μεγάλο αριθμό κόμβων. Ένα χαρακτηριστικό πεδίο εφαρμογής του κεντρικού ελέγχου στα δίκτυα διανομής αποτελεί η επίλυση του προβλήματος της βέλτιστης ροής ισχύος [15], [16].

#### **2.4.2 Αποκεντρωμένος έλεγχος**

Τα συστήματα αποκεντρωμένου ελέγχου λειτουργούν αντίστοιχα με αυτά του κεντρικού ελέγχου όσον αφορά τη μέθοδο συγκέντρωσης δεδομένων και τη 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 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.

## **2.5 ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ ΚΑΙ ΕΠΑΝΑΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΔΙΚΤΥΩΝ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**

### **2.5.1 Βασικές Αρχές Αξιοπιστίας Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας**

Σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας είναι το σύνολο των εγκαταστάσεων και μέσων, τα οποία χρησιμεύουν στην εξυπηρέτηση των αναγκών των καταναλωτών σε ηλεκτρική ενέργεια συγκεκριμένης ποιότητας. Οι βασικοί παράγοντες που συνιστούν την ποιότητα αυτή είναι η σταθερή συχνότητα και η σταθερή τάση που πρέπει να κυμαίνονται μέσα στα προδιαγραφόμενα όρια καθώς και η υψηλή αξιοπιστία τροφοδοτήσεως. Οι εγκαταστάσεις όμως που αποτελούν το σύστημα κατά τη διάρκεια ζωής τους τίθενται εκτός λειτουργίας είτε λόγω των διαφόρων βλαβών που υφίστανται, είτε λόγω της συντήρησης στην οποία πρέπει να υποβληθούν. Για τον λόγο αυτό και προκειμένου να εξασφαλιστεί η ζητούμενη στάθμη ασφάλειας, συνέχειας και αξιοπιστίας της τροφοδότησης, τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας περιλαμβάνουν από τη φάση της σχεδίασης πολλά επιπρόσθετα φυσικά και λειτουργικά στοιχεία όπως η εφεδρεία των σταθμών παραγωγής, η διασύνδεση με γειτονικά δίκτυα και ακόμα τα εναλλακτικά συστήματα τροφοδότησης στο δίκτυο διανομής.

Με τον όρο αξιοπιστία εννοείται η πιθανότητα μιας συσκευής ή ενός συστήματος να εκτελεί την αποστολή του επαρκώς για τη σχεδιαζόμενη χρονική περίοδο και τις επικρατούσες λειτουργικές συνθήκες. Το πρώτο μέρος του ορισμού, η πιθανότητα δηλαδή, αποτελεί και τον πρώτο αριθμητικό δείκτη αξιολόγησης του συστήματος. Σε αρκετές εφαρμογές μπορεί να θεωρηθεί ως ο σημαντικότερος δείκτης αξιοπιστίας αλλά υπάρχουν και άλλοι δείκτες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατάλληλα.

Οι λόγοι που υπαγορεύουν τη γνώση της αξιοπιστίας ενός συστήματος είναι κυρίως λόγοι ασφάλειας και λόγοι οικονομικοί. Επιπλέον, επιβάλλεται η επιλογή συστημάτων ενδεδειγμένης αξιοπιστίας, για την αποφυγή της δυσαρέσκειας των καταναλωτών και των επιπτώσεων επί της λειτουργίας του συστήματος.

Η ανάλυση της αξιοπιστίας λειτουργίας των συστημάτων είναι μια μεθοδολογία που έχει εφαρμοστεί ευρύτατα κατά το παρελθόν, για τη σχεδίαση συστημάτων που να παρουσιάζουν ελάχιστο αριθμό βλαβών κατά τη λειτουργία τους, αλλά με τη χρησιμοποίηση εμπειρικών τεχνικών και μεθόδων. Αντίθετα, οι σημερινές τεχνικές χρησιμοποιούν ρεαλιστικά μοντέλα προσομοίωσης της λειτουργίας του συστήματος και υπολογίζουν μία σειρά από αριθμητικούς δείκτες αξιοπιστίας.

### **2.5.2 Δείκτες Αξιοπιστίας**

Προς το παρόν δεν υπάρχουν ευρέως αποδεκτές από τις ηλεκτρικές επιχειρήσεις διαδικασίες για την καταγραφή των διακοπών τροφοδότησης. Κάθε επιχείρηση έχει περισσότερο ή λιγότερο, τους



δικούς της κανονισμούς για την καταγραφή των αστοχιών της λειτουργίας, και εφαρμόζει αντίστοιχες στατιστικές μεθόδους για την επεξεργασία των στοιχείων. Ένα γενικό σχήμα για την καταγραφή και τους υπολογισμούς θα ήταν χρήσιμο αλλά μη πρακτικό, λόγω των διαφορών στις τροφοδοτούμενες περιοχές, των χαρακτηριστικών των φορτίων, τον αριθμό των καταναλωτών, και την αναμενόμενη ποιότητα εξυπηρέτησεως. Με πιθανές διαφορές στην ορολογία, οι παρακάτω δείκτες αξιοπιστίας χρησιμοποιούνται ευρύτατα:

- ✓ Μέση συχνότητα διακοπών συστήματος: Ο μέσος αριθμός των διακοπών στη μονάδα του χρόνου (συνήθως ένα έτος) (SAIFI: System Average Interruption Frequency Index).
- ✓ Μέση διάρκεια διακοπής συστήματος: Η μέση διάρκεια διακοπής τροφοδότησης στη μονάδα του χρόνου (συνήθως ένα έτος) (SAIDI: System Average Interruption Duration Index).
- ✓ Μη Διανεμούμενη Ενέργεια συστήματος: Η ζήτηση ενέργειας που δεν καλύπτεται ετησίως λόγω διακοπών τροφοδότησης (ENS: Energy Not Supplied).

### 2.5.3 Απαιτούμενα δεδομένα για τον υπολογισμό των δεικτών αξιοπιστίας

Ο συνολικός αλγόριθμος για τον υπολογισμό της αξιοπιστίας ενός συστήματος με βάση το κριτήριο της ολικής απώλειας της συνέχειας απαιτεί τα ακόλουθα δεδομένα εισόδου:

- ✓ Τοπολογία του συστήματος:
  - Δεδομένα κλάδων
  - Πηγές ή κόμβοι παραγωγής
  - Αναλυόμενοι κόμβοι
- ✓ Δεδομένα Αξιοπιστίας των στοιχείων του συστήματος:
  - Ολικός ρυθμός σφαλμάτων (σφάλματα / έτος). Είναι το άθροισμα του ρυθμού των παθητικών και ενεργών σφαλμάτων.
  - Ρυθμός συντήρησης (αριθμός συντηρήσεων / έτος).
  - Μέσος χρόνος επισκευής (ώρες).
  - Μέσος χρόνος ανοιγοκλεισίματος διακόπτη (ώρες). Είναι ο μέσος χρόνος που χρειάζεται για να απομονωθεί ένα στοιχείο μετά από ένα ενεργό σφάλμα και για να κλείσουν οι διακόπτες που λειτούργησαν μετά από το σφάλμα αυτό.
  - Μέσος χρόνος επανασύνδεσης (ώρες). Είναι ο μέσος χρόνος που χρειάζεται ένα στοιχείο να επανέλθει σε κανονική λειτουργία μετά από ένα παροδικό σφάλμα.

- Μέσος χρόνος συντήρησης (ώρες). Είναι ο μέσος χρόνος που χρειάζεται ένα στοιχείο για να συντηρηθεί.
- Πιθανότητα μη λειτουργίας διακόπτη. Είναι η πιθανότητα να μη λειτουργήσει (άνοιγμα ή κλείσιμο) ένας διακόπτης όταν κληθεί να λειτουργήσει.
- Ρυθμός σφαλμάτων κοινής αιτίας (σφάλματα / έτος). Διαιρείται σε ρυθμό σφαλμάτων κοινής αιτίας σε ήπιες καιρικές συνθήκες και σε ρυθμό σφαλμάτων κοινής αιτίας σε αντίξοες καιρικές συνθήκες.
- Ρυθμός επισκευής σφαλμάτων κοινής αιτίας. Αριθμός των επισκευών, κατά τις οποίες τα στοιχεία που έχουν τεθεί εκτός λειτουργίας επανέρχονται ταυτόχρονα. Δίνεται σαν ποσοστό επί της εκατό του αριθμού επισκευών.

Η συλλογή αυτών των δεδομένων αξιοπιστίας είναι μια πολύ επίπονη διαδικασία. Πολλές φορές μάλιστα οι ηλεκτρικές εταιρίες δεν κρατούν λεπτομερή αρχεία σφαλμάτων των στοιχείων. Έτσι, τα δεδομένα όμοιων στοιχείων συνδυάζονται, μέσω στατιστικής επεξεργασίας των δειγμάτων, για τη δημιουργία μιας βάσης δεδομένων για τους υπολογισμούς. Η συλλογή και επεξεργασία των δεδομένων αξιοπιστίας πρέπει να γίνεται με μεγάλη προσοχή επειδή η αξία των αποτελεσμάτων εξαρτάται από αυτά τα δεδομένα εισόδου.

- ✓ Δεδομένα της μελέτης ροής φορτίου:
  - Δεδομένα των κόμβων του συστήματος. Για κάθε κόμβο του συστήματος απαιτείται το μέγεθος της παραγόμενης ενεργού και άεργου ισχύος (MW-MVar) και το μέγεθος του συνδεδεμένου ενεργού και άεργου φορτίου (MW-MVar). Επίσης το μέγεθος της τάσης, σε ανά μονάδα τιμή, προκειμένου για κόμβους παραγωγής.
  - Δεδομένα κλάδων του συστήματος. Για κάθε κλάδο του συστήματος απαιτείται σε ανά μονάδα τιμές η ισοδύναμη αντίσταση, αυτεπαγωγή, εγκάρσια αγωγιμότητα και η θερμική αντοχή σε MVA. Εάν ο κλάδος περιλαμβάνει μετασχηματιστή με δυνατότητα ρύθμισης της τάσης του κόμβου στο δευτερεύον του, απαιτούνται τα όρια ρύθμισης, το βήμα ρύθμισης και η επιθυμητή τάση του δευτερεύοντος.
- ✓ Δεδομένα καμπύλης διάρκειας φορτίου:
  - Η καμπύλη διάρκειας φορτίου του συστήματος, για τον χρόνο που γίνεται η μελέτη, περιλαμβάνει το επίπεδο φόρτισης (επί της εκατό της μέγιστης φόρτισης), την πιθανότητα το ζητούμενο φορτίο να είναι μεγαλύτερο ή ίσο αυτού του επιπέδου φόρτισης και τη μέση διάρκειά του σε ώρες. Αυτές οι πληροφορίες χαρακτηρίζονται ως εκτεταμένη καμπύλη διάρκειας φορτίου και συνήθως είναι διαθέσιμη για

ορισμένους κόμβους του συστήματος. Λόγω λοιπόν της έλλειψης δεδομένων θεωρείται ότι όλοι οι κόμβοι έχουν την ίδια καμπύλη διάρκειας φορτίου.

#### 2.5.4 Μοντελοποίηση δικτύων διανομής

Η βάση για την ανάπτυξη μιας υπολογιστικής μεθόδου ανάλυσης ενός συστήματος είναι η τοπολογία του. Έτσι η τοπολογία ενός δικτύου διανομής καθορίζεται από τους κλάδους του. Κάθε κλάδος ορίζεται ως ένα σύνολο στοιχείων συνδεδεμένων σε σειρά ανάμεσα από δύο κόμβους που ονομάζονται κόμβοι αναχώρησης και άφιξης του κλάδου. Τα στοιχεία του κλάδου μπορεί να είναι γραμμές, διακόπτες, μετασχηματιστές, κ.α. Οι κλάδοι χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: στους κλάδους μιας κατεύθυνσης της ροής ισχύος και στους κλάδους διπλής κατεύθυνσης της ροής ισχύος.

Κάθε άκρο του κλάδου μπορεί να είναι ένας πραγματικός κόμβος του συστήματος ή ένας υποθετικός κόμβος που αναπαριστά τα σημεία διακλάδωσης. Οι κόμβοι των δευτερευόντων τυλιγμάτων των μετασχηματιστών καθορίζουν τους κόμβους φορτίου του συστήματος. Κάθε κόμβος φορτίου τροφοδοτείται από την πηγή του συστήματος διαμέσου της μοναδικής γραμμής τροφοδότησης, η οποία αποτελεί τη μοναδική ελάχιστη όδευση του κόμβου. Η όδευση αυτή ορίζεται από το σύνολο των στοιχείων που την απαρτίζουν με τη σειρά που αυτά εμφανίζονται κατά τη ροή της ισχύος, αρχίζοντας από την πηγή του συστήματος.

Η μοντελοποίηση ενός δικτύου διανομής γίνεται με την αρίθμηση:

- ✓ κάθε κλάδου
- ✓ του κόμβου αναχώρησής του
- ✓ των στοιχείων του (γραμμών, διακοπών, κ.α.)
- ✓ του κόμβου άφιξής του.

#### 2.5.5 Ανάλυση σφαλμάτων και προστασία δικτύων διανομής

Τα σφάλματα που εμφανίζονται, διακρίνονται στα παροδικά ή αυταποσβεννύμενα σφάλματα (αρκεί για την απαλοιφή τους η διακοπή της τάσης για πολύ μικρό χρονικό διάστημα (0,2sec) ή απαλείφονται μόνα τους) και στα μόνιμα σφάλματα. Στην κατηγορία των παροδικών σφαλμάτων μπορούν να θεωρηθούν και τα ημιμόνιμα σφάλματα για την απαλοιφή των οποίων απαιτείται χρόνος διακοπής της τάσης της τάξης των μερικών δευτερολέπτων. Μόνιμα σφάλματα θεωρούνται τα σφάλματα εκείνα για την άρση των οποίων απαιτείται η ανθρώπινη παρέμβαση (για την αντικατάσταση π.χ. ενός μονωτήρα).

Για την απαλοιφή των παροδικών σφαλμάτων, τα οποία αποτελούν και το μεγαλύτερο ποσοστό των σφαλμάτων, χρησιμοποιούνται οι αυτόματοι διακόπτες. Στην περίπτωση που συμβεί ένα παροδικό

σφάλμα κατά μήκος της κύριας γραμμής του δικτύου διανομής, ο αυτόματος διακόπτης ανοιγοκλείνει (μία ή δύο φορές) και έτσι σβήνεται το τόξο που προκλήθηκε. Στους καταναλωτές η διακοπή της τάσης διαρκεί ελάχιστο χρονικό διάστημα και πολλές φορές δεν καταλαβαίνουν ότι υπήρξε διακοπή της τροφοδότησης. Αν τώρα το παροδικό σφάλμα συμβεί σε κάποια διακλάδωση που προστατεύεται από έναν ασφαλειοαποζεύκτη, ανάλογα με το μέγεθος της υπερέντασης και της ασφάλειας της διακλάδωσης θα ενεργοποιηθεί ο αυτόματος διακόπτης ή θα συμβεί η τήξη της ασφάλειας που θα βγάλει εκτός τον κλάδο αυτό. Για ένα δεδομένο μέγεθος βραχυκυκλώματος η επιλογική συνεργασία της ασφάλειας και του αυτόματου διακόπτη καθορίζει ποια διάταξη θα ενεργοποιηθεί.

Στην περίπτωση που συμβεί μόνιμο σφάλμα στην κύρια γραμμή του δικτύου διανομής θα λειτουργήσει ο αυτόματος διακόπτης και έτσι όλοι οι καταναλωτές θα μείνουν εκτός λειτουργίας για όσο χρόνο διαρκέσει η επισκευή και αποκατάσταση του σφάλματος. Το χρονικό αυτό διάστημα εξαρτάται από τις καιρικές συνθήκες, την τοποθεσία που συνέβη το σφάλμα, το μέγεθος του βραχυκυκλώματος, κ.α. Αν τώρα το μόνιμο σφάλμα συμβεί σε κάποια διακλάδωση που προστατεύεται από έναν ασφαλειοαποζεύκτη, θα συμβεί τήξη της ασφάλειας μέσης τάσης και έτσι ο κλάδος θα μείνει εκτός λειτουργίας.

### 2.5.6 Υπολογισμός αξιοπιστίας ενός τυπικού δικτύου διανομής

Για να υπολογιστεί η αξιοπιστία ενός δικτύου διανομής με γνωστή τοπολογία και δεδομένα φορτία πρέπει να συγκεντρωθούν τα απαραίτητα δεδομένα. Θεωρείται ότι βλάβη μπορεί να υποστεί κάθε στοιχείο του συστήματος με τους γνωστούς ρυθμούς βλαβών. Ο παρακάτω αλγόριθμος για τον υπολογισμό της αξιοπιστίας επαναλαμβάνεται για όλους τους υπό ανάλυση κόμβους (κόμβους φορτίου).

- Εισαγωγή των δεδομένων του δικτύου: τοπολογία, φορτία, δεδομένα αξιοπιστίας, δεδομένα μέσω προστασίας και η επιλογική τους συνεργασία.
- Για κάθε στοιχείο του δικτύου αναγνωρίζεται ποιο μέσο προστασίας ενεργοποιείται με την εμφάνιση μόνιμης βλάβης.
- Θεωρείται ο υπό ανάλυση κόμβος φορτίου.
- Αναγνωρίζεται η ελάχιστη όδευση από την πηγή του δικτύου προς τον υπό ανάλυση κόμβο.
- Υπολογίζονται οι δείκτες αξιοπιστίας για την περίπτωση μόνιμων βλαβών.

- Υπολογίζονται οι δείκτες αξιοπιστίας για την περίπτωση παροδικών βλαβών.
- Υπολογίζονται οι συνολικοί δείκτες αξιοπιστίας του υπό ανάλυση κόμβου, αθροίζοντας τους αντίστοιχους δείκτες που υπολογίστηκαν στα δύο προηγούμενα βήματα.
- Υπολογίζονται οι δείκτες αξιοπιστίας των καταναλωτών, όταν δεν υπάρχουν άλλοι κόμβοι προς ανάλυση.

### **2.5.7 Επαναδιαμόρφωση δικτύων διανομής ηλεκτρικής ενέργειας για βελτίωση της αξιοπιστίας τους**

Βασικός στόχος της επαναδιαμόρφωσης των δικτύων διανομής ηλεκτρικής ενέργειας για τη βελτίωση της αξιοπιστίας τους είναι η ικανοποίηση όσο το δυνατόν μεγαλύτερου αριθμού καταναλωτών. Η αρχή με βάση την οποία λαμβάνει χώρα η επαναδιαμόρφωσή τους είναι η ακόλουθη: με το κλείσιμο/άνοιγμα των κατάλληλων διακοπών γίνεται η επιλογή της τοπολογίας εκείνης, η οποία θα οδηγήσει στις λιγότερες δυνατές απώλειες ενεργού ισχύος και ταυτόχρονα στους καλύτερους δυνατούς δείκτες αξιοπιστίας.

Σε αυτό το πλαίσιο, οι διακόπτες και οι συσκευές προστασίας που τοποθετούνται στο δίκτυο και ελέγχονται από απόσταση παίζουν σημαντικό ρόλο, καθώς επιτρέπουν στο σύστημα να ανταποκρίνεται γρήγορα σε έκτακτες ανάγκες με τη χρήση αυτόματων συστημάτων με σκοπό την ελαχιστοποίηση της μη τροφοδοτούμενης ενέργειας που απαιτήθηκε. Επιπροσθέτως, οι διακοπτικές συσκευές χρησιμοποιούνται και για τη διατήρηση της βέλτιστης κατάστασης μόνιμης λειτουργίας του συστήματος κάτω από τις συνήθεις συνθήκες. Η χρήση τους επηρεάζει την ηλεκτρική συμπεριφορά του συστήματος με το να αλλάζει η τοπολογία της τροφοδοσίας. Έτσι, ο διαχειριστής του δικτύου διανομής μπορεί να χειριστεί κατάλληλα τους διακόπτες (άνοιγμα ή κλείσιμο):

- για να μειώσει τις απώλειες ενεργού ισχύος του δικτύου διανομής
- για να ρυθμίσει την τάση του δικτύου διανομής κατόπιν αλλαγών στη ζήτηση ή την τροφοδότηση ενέργειας

Ο κύριος λόγος για επένδυση σε διακόπτες και συσκευές προστασίας είναι να αποτραπούν παρατεταμένες διακοπές παροχής ηλεκτρικής ενέργειας και να μειωθεί ο αριθμός των καταναλωτών που απομονώνονται εξαιτίας βλαβών. Οι διακοπές αυτές επηρεάζουν αρνητικά την ποιότητα της υπηρεσίας που παρέχεται και διακυβεύεται η φυσική δομή του συστήματος. Συνεπώς, είναι πολύ σημαντικό να αποφευχθούν τέτοια συμβάντα. Για να είναι αυτό εφικτό, είναι απαραίτητη η χρήση

δεικτών αξιοπιστίας. Οι πιο κοινοί δείκτες που χρησιμοποιούνται είναι ο δείκτης μέσης συχνότητας διακοπών καταναλωτών ετησίως, ο δείκτης μέσης διάρκειας διακοπών καταναλωτών ετησίως, και ο δείκτης μέσης μη διανεμούμενης ενέργειας καταναλωτών ετησίως.

Το μοντέλο που χρησιμοποιείται έχει ως στόχο τον καθορισμό της τοπολογίας του συστήματος η οποία ελαχιστοποιεί:

- τις απώλειες ενεργού ισχύος του δικτύου διανομής
- τη μέση συχνότητα διακοπών
- τη μέση διάρκεια διακοπών
- τη μέση μη διανεμούμενη ενέργεια καταναλωτών ετησίως [17].

## **2.6 ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΑΝΑΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΔΙΚΤΥΩΝ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΗΣ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΤΟΥΣ**

Η επαναδιαμόρφωση των δικτύων διανομής ηλεκτρικής ενέργειας για βελτίωση της αξιοπιστίας τους αποτελεί ένα σημαντικό αντικείμενο μελέτης. Αναμενόμενο, λοιπόν, είναι να υπάρχουν πολλές προσεγγίσεις του θέματος από διαφορετικές οπτικές γωνίες με τη βοήθεια διαφόρων αλγορίθμων με ποικίλες ιδιαιτερότητες και χαρακτηριστικά ο καθένας.

Οι αλγόριθμοι επίλυσης ενός προβλήματος επαναδιαμόρφωσης δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας μπορούν να χωριστούν στις ακόλουθες κατηγορίες:

- Τυπικοί μαθηματικοί αλγόριθμοι βελτιστοποίησης, όπως ο λεγόμενος «άπληστος» αλγόριθμος αναζήτησης (greedy search algorithm), που όμως δύσκολα εφαρμόζεται σε δίκτυα διανομής μεγάλης κλίμακας
- Ευριστικοί αλγόριθμοι, που περιλαμβάνουν την μέθοδο εναλλαγής κλάδου (branch exchange method) και την μέθοδο ιδανικής ροής φορτίου (optimal flow pattern method).

- Αλγόριθμοι τεχνητής νοημοσύνης, που περιλαμβάνουν αλγορίθμους όπως τον γενετικό αλγόριθμο, τον αλγόριθμο tabu search, τον αλγόριθμο βελτιστοποίησης σμήνους σωματιδίων και τον αλγόριθμο προσομοιωμένης απόπτωσης. Οι παραπάνω μέθοδοι δεν εγγυώνται την εύρεση της βέλτιστης λύσης και συνήθως απαιτούν μεγάλο υπολογιστικό χρόνο.

Παρακάτω παρουσιάζονται συγκεκριμένα μερικοί αλγόριθμοι που λύνουν το πρόβλημα βέλτιστης επαναδιαμόρφωσης των δικτύων διανομής.

### 2.6.1 Αλγόριθμος Εσωτερικού Σημείου

Ο αλγόριθμος εσωτερικού σημείου του Karmarkar, δημιουργήθηκε προκειμένου να χρησιμοποιηθεί για τη λύση προβλημάτων γραμμικού προγραμματισμού. Ο αλγόριθμος αυτός υπολογίζει τη βέλτιστη λύση, χωρίς να χρειαστεί να ακολουθήσει μία σειρά σημείων κοντά στους περιορισμούς του προβλήματος. Αντιθέτως, ανιχνεύει αυτούς τους περιορισμούς και ακολουθεί μια διαδρομή διαμέσου του εσωτερικού τους προκειμένου να βρει τη βέλτιστη λύση και καταφέρνει να λύνει τα προβλήματα μέσα σε πολυωνυμικό χρόνο, καθιστώντας τον πολύ πιο γρήγορο από τους συμβατικούς γραμμικούς αλγόριθμους. Εφαρμογή του σε προβλήματα βέλτιστης επαναδιαμόρφωσης δικτύων διανομής ηλεκτρικής ενέργειας έγινε για πρώτη φορά κατά τη δεκαετία του 1990, και πρόσφατα επεκτάθηκε και βελτιώθηκε, προκειμένου να λύνει προβλήματα επαναδιαμόρφωσης δικτύων, τα οποία είναι μη γραμμικά όπως είναι η επαναδιαμόρφωση δικτύων διανομής ενέργειας προκειμένου να ελαχιστοποιηθούν οι απώλειες ενεργού ισχύος, κρατώντας την ακτινικότητα του δικτύων και θεωρώντας διαφορετικά επίπεδα φορτίου [18], [19].

### 2.6.2 Γενετικός Αλγόριθμος

Πρόκειται για μια μη αριθμητική μέθοδο, η οποία λειτουργεί χρησιμοποιώντας μεγάλες δυαδικές σειρές για την αναπαράσταση διαδοχικών εναλλακτικών λύσεων, με σκοπό την παραγωγή της βέλτιστης. Ο αλγόριθμος χρησιμοποιεί τα δυαδικά 0 και 1 για να αναπαραστήσει ανοικτούς και κλειστούς διακόπτες αντίστοιχα. Από τις αποδεκτές λύσεις, συνδυάζει ευνοϊκά χαρακτηριστικά προσπαθώντας να δημιουργήσει καλύτερα χαρακτηριστικά. Η εφαρμογή του παραπάνω αλγορίθμου στη βέλτιστη επαναδιαμόρφωση δικτύων διανομής ηλεκτρικής ενέργειας αντιπροσωπεύει μία από τις πιο σημαντικές διαδικασίες βελτίωσης της απόδοσης των δικτύων. Συνήθης πρακτική όταν γίνεται χρήση του γενετικού αλγορίθμου, είναι η εφαρμογή της μεθόδου “κύριου κριτηρίου” (main criterion method) κατά την οποία επιλέγεται κυρίως ένα στοιχείο ως άξονας (στην αντικειμενική συνάρτηση), και συγκεκριμένα η ελαχιστοποίηση των απωλειών ενεργού ισχύος [9], [20].

### 2.6.3 Ευριστικός Αλγόριθμος

Ο αλγόριθμος του Qiuyu Peng και Steven H. Low [21] λύνει ένα συνδυασμένο πρόβλημα μη γραμμικού προγραμματισμού. Έτσι, αναπτύχθηκε για τη βελτιστοποίηση και την επαναδιαμόρφωση των κλάδων του δικτύου. Σε κάθε βήμα μεταφέρονται μερικά φορτία από έναν τροφοδότη σε έναν άλλο, με στόχο την επίτευξη του επιθυμητού στόχου της αντικειμενικής, δηλαδή της ελαχιστοποίησης του κόστους λόγω των απωλειών ισχύος. Αυτή η διαδικασία συνεχίζεται μέχρι να μην μπορεί να μεταφερθεί κανένα φορτίο μεταξύ των δύο γραμμών τροφοδοσίας [6].

### 2.6.4 Αλγόριθμος Βέλτιστης Αναζήτησης Τροφής

Ο αλγόριθμος της βέλτιστης αναζήτησης τροφής [22] λύνει το μη γραμμικό πρόβλημα βελτιστοποίησης και η κατάσταση των διακοπών (ανοικτοί ή κλειστοί) αποφασίζεται σύμφωνα με τη συμπεριφορά των βακτηρίων (bacteria) προσομοιώνοντας τη διαδικασία αναζήτησης της τροφής τους. Συγκεκριμένα, τα βακτήρια (bacteria) στη διαδικασία αυτή αποφασίζουν αν θα κινηθούν προς μια προκαθορισμένη ή διαφορετική κατεύθυνση με κριτήριο την αναζήτηση θρεπτικών συστατικών. Ο αλγόριθμος συγκλίνει γρήγορα λόγω του ότι τα υγιή βακτήρια (bacteria) αναπαράγονται και τα μη υγιή καταστρέφονται. Αυτό γίνεται και στα δίκτυα διανομής [6].

### 2.6.5 Διαφορετικές Διατυπώσεις του Προβλήματος Βελτιστοποίησης

Πέρα του ότι υπάρχει μια μεγάλη γκάμα αλγορίθμων οι οποίοι επιλύουν το πρόβλημα της επαναδιαμόρφωσης των δικτύων διανομής, υπάρχουν και διαφορετικές οπτικές γωνίες από τις οποίες μπορεί να προσεγγιστεί το πρόβλημα. Είναι δυνατόν να μην δίνεται η ίδια βαρύτητα σε όλους τους περιορισμούς, ή ακόμα και να παραλειφθούν τελείως κάποιοι περιορισμοί. Επίσης, η επιλογή των δεικτών αξιοπιστίας είναι ένα επιπλέον στοιχείο διαφοροποίησης μεταξύ των μεθόδων που χρησιμοποιούνται.

Παρακάτω γίνονται πιο εμφανείς αυτές οι διαφοροποιήσεις, παρουσιάζοντας συγκεκριμένα άρθρα της βιβλιογραφίας και την προσέγγιση που επιλέχθηκε στο καθένα από αυτά.

- Στην [23], κατά την επαναδιαμόρφωση του δικτύου για τη βελτίωση της αξιοπιστίας του λαμβάνεται υπόψη η ελαχιστοποίηση των απωλειών, οι δείκτες αξιοπιστίας SAIDI (System Average Interruption Duration Index), SAIFI (System Average Interruption Frequency Index) και ENS (Energy Not Supplied), η λειτουργία των διακοπών, τα επιτρεπτά όρια των τάσεων και ρεύματος, καθώς και η διατήρηση της ακτινικότητας του δικτύου διανομής.



- Στην [24], εφαρμόζεται τεχνική επαναδιαμόρφωσης μέσω στρατηγικής μείωσης του ρυθμού των σφαλμάτων, η οποία λαμβάνει υπόψη μόνο την αξιοπιστία των πηγών τροφοδοσίας, θεωρώντας τα υπόλοιπα στοιχεία του δικτύου πλήρως αξιόπιστα.
- Στην [25], χρησιμοποιείται ένα απλοποιημένο μοντέλο, το οποίο χρησιμοποιεί μόνο το ισοζύγιο ενεργού ισχύος για αποκατάσταση της λειτουργίας μέρους του δικτύου.
- Στην [26], εξετάζεται η πιθανότητα κάποιος καταναλωτής με μικρή απαίτηση σε φορτίο, που δεν έχει απομονωθεί από το σφάλμα, να μην εξυπηρετηθεί, προκειμένου κάποιος άλλος καταναλωτής με μεγαλύτερες απαιτήσεις σε φορτίο που βρίσκεται εκτός δικτύου να εξυπηρετηθεί.
- Στην [27], δίνεται επιπρόσθετα σημασία και στο κόστος λειτουργίας, ενώ χρησιμοποιείται μόνο ο δείκτης αξιοπιστίας ENS (Energy Not Supplied).
- Στην [28], δίνεται μεγαλύτερη έμφαση στη βελτίωση της αξιοπιστίας του δικτύου διανομής και λιγότερη έμφαση στη μείωση των απωλειών ισχύος.

Το μεγαλύτερο τμήμα της έρευνας στην επαναδιαμόρφωση των δικτύων διανομής δεν λαμβάνει υπόψη του την αβεβαιότητα των παραμέτρων, όπως η παραγωγή από μονάδες διανεμημένης παραγωγής, η ζήτηση των φορτίων και τα κόστη ισχύος και ενέργειας που μεταβάλλονται. Ακόμη, τα δίκτυα διανομής στην πραγματικότητα έχουν συνήθως αρκετά μεγάλη έκταση, ενώ οι περισσότερες υπάρχουσες μέθοδοι βελτιστοποίησης έχουν δοκιμασθεί σε μικρού μεγέθους δίκτυα διανομής. Επίσης, ορισμένες βιβλιογραφικές αναφορές δεν λαμβάνουν υπόψη περιορισμούς στα επίπεδα της τάσης ή στην τελική διάταξη του δικτύου μετά την επαναδιαμόρφωσή του, περιορισμοί όμως που ενδέχεται να επηρεάσουν το τελικό αποτέλεσμα. Επιπλέον, είναι σημαντικό μαζί με το τεχνικό αποτέλεσμα να δίνεται σημασία στο οικονομικό και περιβαλλοντικό αποτέλεσμα. Πολλές μελέτες για τη βέλτιστη επαναδιαμόρφωση ενός δικτύου δίνουν βάρος σε μια μόνο πλευρά του σύνθετου αυτού προβλήματος. Έτσι, είναι αναγκαίο να αναπτυχθούν και άλλοι αλγόριθμοι, οι οποίοι μπορούν να οδηγήσουν στην εξεύρεση καθολικών λύσεων, δηλαδή τεχνικές που δεν επιλύουν μόνο συγκριμένα προβλήματα. Τέτοιοι αλγόριθμοι ονομάζονται μετά-ευριστικοί αλγόριθμοι βελτιστοποίησης. Οι παράμετροι ελέγχου των μετά-ευριστικών τεχνικών βελτιστοποίησης επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό την υπολογιστική τους απόδοση και ικανότητα.

Από την άλλη πλευρά, τα ηλεκτρικά οχήματα αποτελούν ένα νέο είδος φορτίων για τα δίκτυα διανομής και επειδή είναι μεγάλα φορτία μπορούν να μεταβάλλουν σημαντικά τη λειτουργία των δικτύων διανομής. Παρά το γεγονός ότι έχουν πραγματοποιηθεί ορισμένες μελέτες για την διερεύνηση

της επίδρασης των ηλεκτρικών οχημάτων στα δίκτυα διανομής, υπάρχουν ακόμα περιθώρια για περαιτέρω έρευνα της βελτιστοποίησης της λειτουργίας του δικτύου διανομής, στο οποίο συνδέονται και ηλεκτρικά οχήματα.

**ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ  
ΕΠΑΝΑΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΔΙΚΤΥΩΝ ΔΙΑΝΟΜΗΣ  
ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗ ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΗΣ  
ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ**

**3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Στόχος της βέλτιστης επαναδιαμόρφωσης των δικτύων διανομής ηλεκτρικής ενέργειας είναι η ικανοποίηση στον μέγιστο δυνατό βαθμό των επιθυμητών στόχων. Στη παρούσα εργασία μελετήθηκε η διαδικασία μεταβολής της τοπολογίας του δικτύου, ή αλλιώς η βέλτιστη επαναδιαμόρφωση των δικτύων διανομής για τη βελτίωση της αξιοπιστίας τους. Η μεταβολή της τοπολογίας του δικτύου επιτυγχάνεται μέσω της σύνδεσης και απόσευξης γραμμών του δικτύου με τη βοήθεια των διακοπτικών μέσων που διαθέτει το εκάστοτε δίκτυο. Στόχος της επαναδιαμόρφωσης είναι οι μεταβλητές ελέγχου να λάβουν τιμές τέτοιες ώστε να επιτευχθεί η βέλτιστη αξιοπιστία βάσει των τεχνικών χαρακτηριστικών του δικτύου. Αρχικά προσδιορίζονται οι εξισώσεις που συνδέουν τα ηλεκτρικά μεγέθη του συστήματος, καθώς και το σύνολο των τεχνικών περιορισμών του δικτύου. Σε ένα κλασικό δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, με δεδομένα τα στοιχεία των γραμμών του και τις καταναλώσεις των φορτίων του, οι μεταβλητές ελέγχου είναι η κατάσταση των διακοπτικών μέσων του δικτύου και τα μέτρα των τάσεων των κόμβων. Ο υπολογισμός των μεταβλητών ελέγχου που οδηγεί το δίκτυο σε κατάσταση βέλτιστης αξιοπιστίας, στην οποία οι περιορισμοί τηρούνται, ονομάζεται εφικτή λύση. Το λογισμικό που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της διπλωματικής αυτής εργασίας αναζητά την πιο κατάλληλη λύση από ένα σύνολο εφικτών λύσεων που προκύπτουν από διαφορετικές αποτιμήσεις των μεταβλητών ελέγχου. Η καταλληλότητα μιας λύσης αξιολογείται με κριτήριο την τιμή που λαμβάνει μια συνάρτηση των μεγεθών του δικτύου που ονομάζεται αντικειμενική συνάρτηση. Ο στόχος ενός προβλήματος βελτιστοποίησης είναι η ελαχιστοποίηση ή η μεγιστοποίηση της αντικειμενικής συνάρτησης. Η αντικειμενική συνάρτηση που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία είναι η ελαχιστοποίηση του κόστους που προκύπτει λόγω των απωλειών ενεργού ισχύος του δικτύου διανομής και λόγω των δεικτών αξιοπιστίας SAIDI, SAIFI, και ENS.

## 3.2 ΣΤΑΘΕΡΕΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Προτού γίνει η περιγραφή της αντικειμενικής συνάρτησης και στη συνέχεια η αναλυτική περιγραφή του μαθηματικού προβλήματος που μελετάται στη παρούσα διπλωματική εργασία, κρίνεται απαραίτητος ο ορισμός των παρακάτω μεταβλητών, σταθερών και συνόλων.

### 3.2.1 Σύνολα

$\Omega_b$ : σύνολο των κόμβων του δικτύου

$\Omega_l$ : σύνολο των κλάδων του δικτύου

$\Omega_{sw}$ : σύνολο των διακοπών του δικτύου

$\Omega_b^S$ : σύνολο των κόμβων παραγωγής του δικτύου

$\Omega_z$ : σύνολο ζωνών του δικτύου

### 3.2.2 Σταθερές

$c^{lss}$ : κόστος απωλειών ενεργού ισχύος [\$/kW]

$c^{ENS}$ : κόστος μη τροφοδοτούμενης ενέργειας [\$/kWh/έτος]

$c^{SAIDI}$ : κόστος λόγω παραβίασης του ανώτατου ορίου  $SAIDI_{max}$  [\$/ώρες/έτος]

$c^{SAIFI}$ : κόστος λόγω παραβίασης του ανώτατου ορίου  $SAIFI_{max}$  [\$/βλάβες/έτος]

$t_{z,k}^D$ : καταναλισκόμενη τεχνητή ροή ισχύος

$I_{max}$ : μέγιστη ένταση ρεύματος σε κλάδο [A]

$I_{max}^{sw}$ : μέγιστη ένταση ρεύματος σε διακόπτη [A]

$M_k$ : πλήθος χρηστών συνδεδεμένοι στον κόμβο k

$P_i^D$ : καταναλισκόμενη ενεργός ισχύς στον κόμβο i [kW]

$Q_i^D$ : καταναλισκόμενη άεργος ισχύς στον κόμβο i [kVAr]

$R_{ij}$ : αντίσταση κλάδου ij [mΩ]

$R_{ij}^{sw}$ : αντίσταση διακόπτη ij [mΩ]

$r_{ij}$ : μέσος χρόνος αποκατάστασης για τον κλάδο ij [ώρες]

$r_{sw}$ : μέσος χρόνος αποκατάστασης για τον διακόπτη ij [ώρες]

$r_z$ : μέσος χρόνος αποκατάστασης της ζώνης z [ώρες]

$SAIDI_{max}$ : μέγιστη μέση διάρκεια διακοπής λειτουργίας [ώρες/έτος]

$SAIFI_{max}$ : μέγιστη μέση συχνότητα διακοπής λειτουργίας [βλάβες/έτος]

$V_{min}$ : μέτρο ελάχιστης τάσης [kV]

$V_{max}$ : μέτρο μέγιστης τάσης [kV]

$X_{ij}$ : αντίδραση κλάδου ij [Ω]

$\lambda_{ij}$  : μέσος ρυθμός βλαβών του κλάδου  $ij$  [βλάβες/έτος]

$\lambda_z$  : μέσος ρυθμός βλαβών της ζώνης  $z$  [βλάβες/έτος]

$\lambda_{fused,k}$  : μέσος ρυθμός βλαβών στον κόμβο  $k$  σε κλάδους όπου υπάρχει ασφάλεια [βλάβες/έτος]

### 3.2.3 Μεταβλητές

$t_{ij,k}$ : τεχνητή ροή ισχύος

ENS: ετήσια μη τροφοδοτούμενη ενέργεια [kWh]

$t_{z,k}^S$  : παραγόμενη τεχνητή ροή ισχύος

$I_{ij}$ : μέτρο ρεύματος κλάδου  $ij$  [A]

$I_{ij}^{sqf}$  : μέτρο ρεύματος κλάδου  $ij$  στο τετράγωνο [ $A^2$ ]

$I_{ij}^{sw,sqf}$  : μέτρο ρεύματος που διαρρέει τον διακόπτη  $ij$  στο τετράγωνο [ $A^2$ ]

$P_i^S$ : παραγόμενη ροή ενεργού ισχύος [kW]

$P_{ij}$ : ροή ενεργού ισχύος του κλάδου  $ij$  [kW]

$P_{ij}^{sw}$  : ροή ενεργού ισχύος σε διακόπτες [kW]

$Q_i^S$ : παραγόμενη ροή αέργου ισχύος [kVAr]

$Q_{ij}$ : ροή αέργου ισχύος του κλάδου  $ij$  [kVAr]

$Q_{ij}^{sw}$  :: ροή αέργου ισχύος σε διακόπτες [kVAr]

$U_k$ : μέσος ετήσιος χρόνος διακοπής λειτουργίας στον κόμβο  $k$  [ώρες/έτος]

$V_i$ : μέτρο τάσης κόμβου  $i$  [kV]

$V_i^{sqf}$  : μέτρο τάσης κόμβου  $i$  στο τετράγωνο [ $kV^2$ ]

$\lambda_k$  : μέσος ρυθμός βλαβών ανά κόμβο  $k$  [βλάβες/έτος]

$g_{ij}$ : δυαδική μεταβλητή ένδειξης κατάστασης διακόπτη  $ij$

$f_{z,k}$ : δυαδική μεταβλητή που αναγνωρίζει αν η ζώνη  $z$  είναι μέρος της ελάχιστης όδευσης μεταξύ κάθε κόμβου  $k$  και της αντίστοιχης τροφοδοσίας

$w_{z,k}$ : δυαδική μεταβλητή που αναγνωρίζει αν η ζώνη  $z$  και ο κόμβος  $k$  ανήκουν στην ίδια τροφοδοσία

## 3.3 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΙΚΗ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ

Στο μοντέλο της βέλτιστης επαναδιαμόρφωσης του δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας για τη βελτίωση της αξιοπιστίας του που χρησιμοποιείται στην παρούσα εργασία, έχει γίνει χρήση της ακόλουθης αντικειμενικής συνάρτησης:

$$\min z = c^{lss} \cdot \sum_{ij \in \Omega_l} (R_{ij} \cdot I_{ij}^{sqr}) + c^{ENS} \cdot ENS + c^{SAIDI} \cdot \sum_{k \in \Omega_b} M_k \cdot (SAIDI - SAIDI_{min}) + c^{SAIFI} \cdot \sum_{k \in \Omega_b} M_k \cdot (SAIFI - SAIFI_{min}) \quad (3.1)$$

όπου  $c^{lss}$ ,  $c^{ENS}$ ,  $c^{SAIDI}$  και  $c^{SAIFI}$  οι συντελεστές βαρύτητας υπό τη μορφή κόστους των διαφορετικών στόχων της επαναδιαμόρφωσης.

Ο πρώτος όρος έχει ως στόχο την ελαχιστοποίηση του κόστους λόγω των απωλειών ενεργού ισχύος του δικτύου διανομής. Οι τρεις υπόλοιποι όροι έχουν να κάνουν με τη βελτίωση της αξιοπιστίας τους δικτύου. Συγκεκριμένα, ο δεύτερος όρος ελαχιστοποιεί το κόστος λόγω της μη τροφοδοτούμενης ενέργειας στους καταναλωτές, ο τρίτος όρος ελαχιστοποιεί το κόστος λόγω της διάρκειας των διακοπών λειτουργίας και ο τέταρτος όρος ελαχιστοποιεί το κόστος λόγω της συχνότητας των διακοπών λειτουργίας. Στη παρούσα διπλωματική θα δοθούν διάφορες τιμές στους συντελεστές κόστους προκειμένου αφενός να μελετηθεί η σύγκρουση που υπάρχει στη προσπάθεια να ελαχιστοποιηθούν τα κόστη του πρώτου όρου ταυτόχρονα με τους τρεις υπόλοιπους όρους, καθώς και οι διάφορες τοπολογίες του δικτύου που προκύπτουν ανάλογα με το που θα δοθεί μεγαλύτερη βαρύτητα.

### 3.4 ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Σημαντικοί περιορισμοί του προβλήματος της επαναδιαμόρφωσης αποτελούν οι σχέσεις (3.2) έως (3.9):

$$0 \leq I_{ij}^{sqr} \leq (I_{max})^2 \quad i - j \in \Omega_l \quad (3.2)$$

$$V_{min}^2 \leq V_i^{sqr} \leq V_{max}^2 \quad i \in \Omega_b \quad (3.3)$$

$$|V_j^{sqr} - V_i^{sqr}| \leq (V_{max}^2 - V_{min}^2) \cdot (1 - g_{ij}) \quad i - j \in \Omega_{sw} \quad (3.4)$$

$$|P_{ij}^{sw}| \leq (I_{max}^{sw} \cdot V_{max}) \cdot g_{ij} \quad i - j \in \Omega_{sw} \quad (3.5)$$

$$|Q_{ij}^{sw}| \leq (I_{max}^{sw} \cdot V_{max}) \cdot g_{ij} \quad i - j \in \Omega_{sw} \quad (3.6)$$

$$0 \leq I_{ij}^{sw,sqr} \leq (I_{max}^{sw})^2 \cdot g_{ij} \quad i - j \in \Omega_{sw} \quad (3.7)$$

$$SAIDI \geq SAIDI_{min} \quad (3.8)$$

$$SAIFI \geq SAIFI_{min} \quad (3.9)$$

Οι σχέσεις (3.2) και (3.3) ορίζουν τους λειτουργικούς περιορισμούς του προβλήματος, δηλαδή τα όρια του ρεύματος στους κλάδους και τα όρια της τάσης στους κόμβους, αντίστοιχα. Οι δύο τελευταίοι περιορισμοί (3.8) και (3.9) εκφράζουν τα κατώτατα όρια των δεικτών αξιοπιστίας SAIDI και SAIFI.

Σε αυτό το σημείο, πρέπει πρώτα να εξηγηθεί η ανάγκη για χρήση διακοπών στο πρόβλημα και να ορισθεί η μεταβλητή που χρησιμοποιείται για τους διακόπτες. Στόχος σε ένα δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας είναι η βέλτιστη ροή ενεργού και άεργου ισχύος, δηλαδή η εξυπηρέτηση της ζήτησης των φορτίων και ταυτόχρονα η ικανοποίηση όλων των παραπάνω περιορισμών. Όμως, η τοπολογία του δικτύου που προσφέρει τους βέλτιστους δείκτες αξιοπιστίας μπορεί να αλλάξει ανάλογα με το που θα δοθεί μεγαλύτερη βαρύτητα. Στην κατεύθυνση αυτή σημαντικό ρόλο κατέχουν τα διακοπτικά στοιχεία με τα οποία είναι εξοπλισμένο το εκάστοτε δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Συγκεκριμένα, παρατηρείται ότι στους περιορισμούς (3.4)–(3.7) χρησιμοποιείται η δυαδική μεταβλητή  $g_{ij}$  η οποία εκφράζει την κατάσταση των διακοπών. Ισχύει ότι:

- $g_{ij} = 1$ ,  $i-j \in \Omega_{sw}$ , αν ο διακόπτης του κλάδου  $i-j$  είναι κλειστός.
- $g_{ij} = 0$ ,  $i-j \in \Omega_{sw}$ , αν ο διακόπτης του κλάδου  $i-j$  είναι ανοιχτός.

Η σχέση (3.7) ορίζει τα λειτουργικά όρια του ρεύματος στους κλάδους που λειτουργούν σαν διακόπτες, η ανισότητα (3.4) ελέγχει την τάση μεταξύ δύο κόμβων και οι ανισότητες (3.5) και (3.6) ορίζουν τα λειτουργικά όρια της ενεργού και άεργου ροής ισχύος. Παρατηρείται ότι όλες οι σχέσεις είναι πολλαπλασιασμένες με την μεταβλητή  $g_{ij}$ . Έτσι, όταν ο διακόπτης είναι κλειστός και η μεταβλητή παίρνει την τιμή ένα, στη σχέση (3.4) το ανώτατο όριο μηδενίζεται και οι τάσεις των κόμβων εξισώνονται, πράγμα λογικό σε αντίθεση με τη περίπτωση που ο διακόπτης είναι ανοιχτός και τότε η πτώση τάσης μεταξύ των κόμβων κυμαίνεται ανάμεσα στη διαφορά της ελάχιστης από τη μέγιστη τάση. Αντίστοιχα, οι υπόλοιπες σχέσεις έχουν υπόσταση, μόνο όταν ο διακόπτης είναι κλειστός, καθώς σε αντίθετη περίπτωση μηδενίζονται.

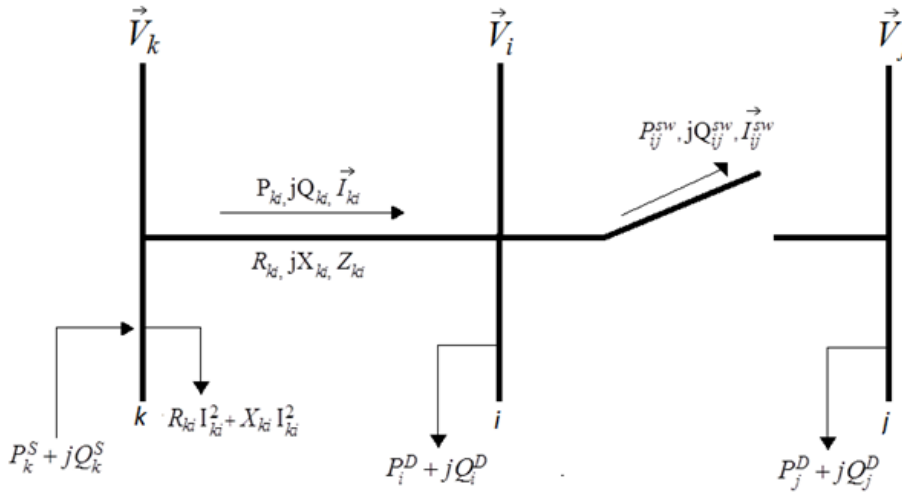
### 3.5 ΒΟΗΘΗΤΙΚΕΣ ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ

Στη ενότητα αυτή θα παρατεθούν όλες οι εξισώσεις που είναι βοηθητικές στο πρόβλημα που μελετάται και είναι απαραίτητες για την επίλυσή του. Έστω το δίκτυο 3 κόμβων του Σχήματος 3.1.

Οι εξισώσεις ροής ενεργού και άεργου ισχύος αντίστοιχα, σύμφωνα και με την [17] και το Σχήμα 3.1, παίρνουν τη μορφή:

$$\sum_{ji \in \Omega_l} P_{ji} - \sum_{ij \in \Omega_l} (R_{ij} \cdot I_{ij}^{\text{sqr}} + P_{ij}) + \sum_{ji \in \Omega_{\text{sw}}} P_{ji}^{\text{sw}} - \sum_{ij \in \Omega_{\text{sw}}} P_{ij}^{\text{sw}} + P_i^S = P_i^D \quad i \in \Omega_b \quad (3.10)$$

$$\sum_{ji \in \Omega_l} Q_{ji} - \sum_{ij \in \Omega_l} (X_{ij} \cdot I_{ij}^{\text{sqr}} + Q_{ij}) + \sum_{ji \in \Omega_{\text{sw}}} Q_{ji}^{\text{sw}} - \sum_{ij \in \Omega_{\text{sw}}} Q_{ij}^{\text{sw}} + Q_i^S = Q_i^D \quad i \in \Omega_b \quad (3.11)$$



Σχήμα 3.1 : Δίκτυο 3 κόμβων

Η εξίσωση της πτώσης τάσης ανάμεσα στους κόμβους  $i$  και  $j$  είναι:

$$V_i^{\text{sqr}} - 2(R_{ij} \cdot P_{ij} + X_{ij} \cdot Q_{ij}) - V_j^{\text{sqr}} = 0 \quad i - j \in \Omega_l \quad (3.12)$$

Ακόμα ισχύει η παρακάτω βασική σχέση, η οποία συνδέει το μέτρο της τάσης του κάθε κόμβου με το ρεύμα και τη ροή ισχύος, ενεργού και άεργου, στον κλάδο  $i-j$ :

$$V_j^{\text{sqr}} \cdot I_{ij}^{\text{sqr}} \geq P_{ij}^2 + Q_{ij}^2 \quad i - j \in \Omega_l \quad (3.13)$$

Ομοίως, η ίδια σχέση ισχύει για τους κλάδους που λειτουργούν σαν διακόπτες:

$$V_j^{\text{sqr}} \cdot I_{ij}^{\text{sqr,sw}} \geq (P_{ij}^{\text{sw}})^2 + (Q_{ij}^{\text{sw}})^2 \quad i - j \in \Omega_{\text{sw}} \quad (3.14)$$



Η ακτινικότητα του δικτύου διασφαλίζεται λόγω της σχέσης (3.15) και των σχέσεων (3.10) και (3.11). Συγκεκριμένα, το άθροισμα του αριθμού των κλάδων και των διακοπών που είναι κλειστοί πρέπει να ισούται με τη διαφορά του αριθμού των κόμβων του δικτύου μείον εκείνων που λειτουργούν ως πηγές τροφοδοσίας, ενώ οι σχέσεις της ροής ισχύος εξασφαλίζουν τη συνεκτικότητα μεταξύ των κόμβων [17].

$$|\Omega_l| + \sum_{ij \in \Omega_{sw}} g_{ij} = |\Omega_b| - |\Omega_b^s| \quad (3.15)$$

Σε αυτό το σημείο πρέπει να εξηγηθούν δύο ακόμα δυαδικές μεταβλητές που χρησιμοποιούνται, προκειμένου να γίνουν κατανοητές οι παρακάτω βοηθητικές εξισώσεις.

Συγκεκριμένα παρατηρείται ότι στις (3.16), (3.17), (3.25) και (3.26) χρησιμοποιείται η δυαδική μεταβλητή  $w_{z,k}$  η οποία αναγνωρίζει αν η ζώνη  $z \in \Omega_z$  ανήκει στην ίδια τροφοδοσία με τον κόμβο  $k \in \Omega_b$ . Ισχύει ότι:

- $w_{z,k} = 1$  ,  $z \in \Omega_z$ ,  $k \in \Omega_b$  , αν η ζώνη  $z \in \Omega_z$  ανήκει στην ίδια τροφοδοσία με τον κόμβο  $k \in \Omega_b$ .
- $w_{z,k} = 0$  ,  $z \in \Omega_z$ ,  $k \in \Omega_b$  , αν η ζώνη  $z \in \Omega_z$  δεν ανήκει στην ίδια τροφοδοσία με τον κόμβο  $k \in \Omega_b$ .

Επίσης, στις (3.17), (3.23) και (3.24) χρησιμοποιείται η δυαδική μεταβλητή  $f_{z,k}$  η οποία αναγνωρίζει αν η ζώνη  $z \in \Omega_z$  ανήκει στην ελάχιστη όδευση του κόμβου  $k \in \Omega_b$  και της τροφοδοσίας στην οποία ανήκει ο κόμβος αυτός. Ισχύει ότι:

- $f_{z,k} = 1$  ,  $z \in \Omega_z$ ,  $k \in \Omega_b$  , αν η ζώνη  $z \in \Omega_z$  ανήκει στην ελάχιστη όδευση του κόμβου  $k \in \Omega_b$  και της τροφοδοσίας στην οποία ανήκει ο κόμβος αυτός.
- $f_{z,k} = 0$  ,  $z \in \Omega_z$ ,  $k \in \Omega_b$  , αν η ζώνη  $z \in \Omega_z$  δεν ανήκει στην ελάχιστη όδευση του κόμβου  $k \in \Omega_b$  και της τροφοδοσίας στην οποία ανήκει ο κόμβος αυτός.

Ο μέσος ρυθμός βλαβών σε κάθε κόμβο  $k$  ορίζεται ως εξής:

$$\lambda_k = \sum_{z \in \Omega_z} \lambda_z \cdot w_{z,k} + \lambda_{fusedk} \quad k \in \Omega_b \quad (3.16)$$

Στη συνέχεια ορίζεται ο μέσος ετήσιος χρόνος διακοπής λειτουργίας σε κάθε κόμβο  $k$ :

$$U_k = \sum_{z \in \Omega_z} [\lambda_z \cdot r_z \cdot f_{z,k} + (w_{z,k} - f_{z,k}) \cdot \lambda_z \cdot r_{sw}] + \lambda_{fusedk} \cdot r_z \quad k \in \Omega_b \quad (3.17)$$

Η εξίσωση υπολογισμού της ετήσιας μη τροφοδοτούμενης ενέργειας στους καταναλωτές είναι:

$$ENS = \sum_{k \in \Omega_b} P_k^D \cdot U_k \quad k \in \Omega_b \quad (3.18)$$

Οι εξισώσεις για τους δείκτες αξιοπιστίας SAIDI και SAIFI είναι:

$$SAIDI = \frac{\sum_{k \in \Omega_b} (M_k \cdot U_k)}{\sum_{k \in \Omega_b} M_k} \quad k \in \Omega_b \quad (3.19)$$

$$SAIFI = \frac{\sum_{k \in \Omega_b} (M_k \cdot \lambda_k)}{\sum_{k \in \Omega_b} M_k} \quad k \in \Omega_b \quad (3.20)$$

Εξισώσεις και ανισότητες εύρεσης των πιθανών ελάχιστων οδύσεων:

$$\sum_{j \in \Omega_{sw}} t_{j,k} - \sum_{ij \in \Omega_{sw}} t_{ij,k} + t_{z,k}^S = t_{z,k}^D \quad k \in \Omega_b, z \in \Omega_z \quad (3.21)$$

$$|t_{ij,k}| \leq g_{ij} \quad i - j \in \Omega_{sw}, k \in \Omega_b \quad (3.22)$$

$$f_{z(j),k} \geq |t_{ij,k}| \quad i - j \in \Omega_{sw}, k \in \Omega_b \quad (3.23)$$

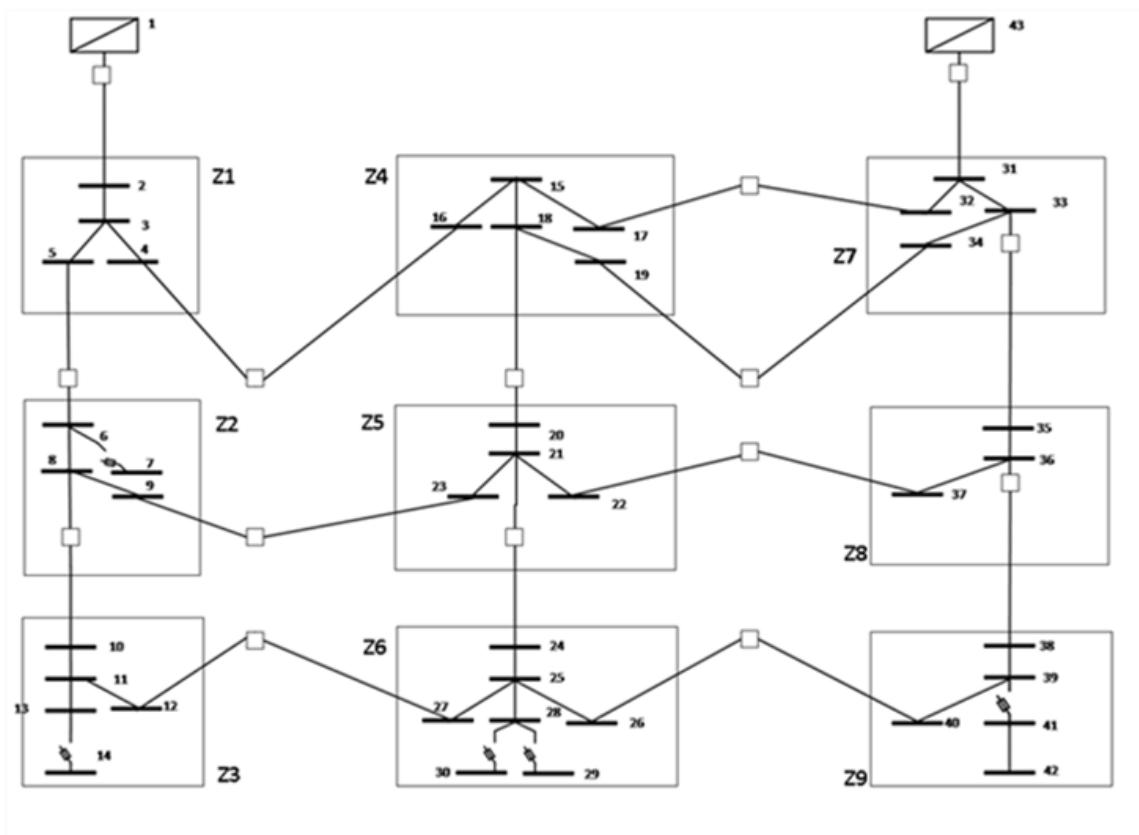
$$f_{z(i),k} \geq |t_{ij,k}| \quad i - j \in \Omega_{sw}, k \in \Omega_b \quad (3.24)$$

$$w_{z(j),k} \geq w_{z(i),k} + g_{ij} - 1 \quad i - j \in \Omega_{sw}, k \in \Omega_b \quad (3.25)$$

$$w_{z(i),k} \geq w_{z(j),k} + g_{ij} - 1 \quad i - j \in \Omega_{sw}, k \in \Omega_b \quad (3.26)$$

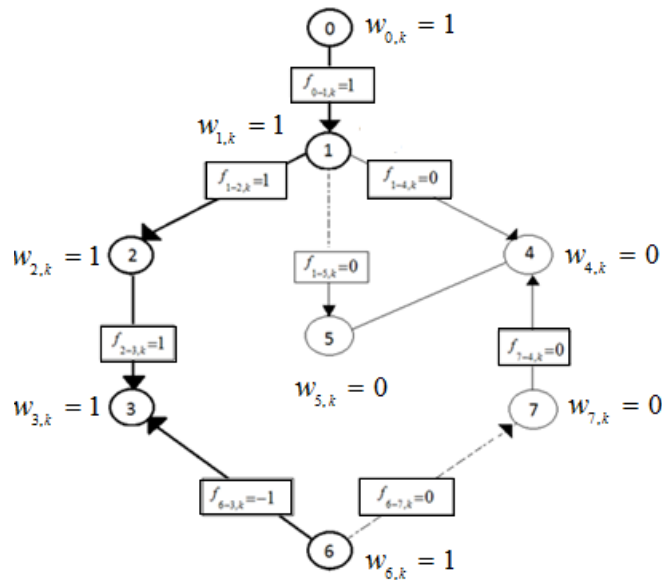
Η σχέση (3.21) εκφράζει την αναλυτική εξίσωση που αναγνωρίζει την ελάχιστη όδευση για κάθε κόμβο  $k$  που ανήκει σε μια μοναδική ζώνη  $z$  σε ένα ακτινικό δίκτυο. Λαμβάνοντας υπόψη την τεχνητή καταναλισκόμενη ροή ισχύος  $t_{z,k}^D$  η οποία παίρνει τη τιμή ένα, σε περίπτωση που η ζώνη  $z$  που μελετάται εκείνη την ώρα είναι ίδια με τη ζώνη  $z^{(k)}$  στην οποία ανήκει ο κόμβος  $k$ , αλλιώς παίρνει μηδενική τιμή, παρατηρείται ότι η μεταβλητή  $t_{ij,k}$  αντιπροσωπεύει μια τεχνητή ροή ισχύος η οποία είναι διάφορη του μηδενός αν ο διακόπτης  $i-j$  ανήκει στην ελάχιστη όδευση μεταξύ του κόμβου  $k$  και της τροφοδοσίας του. Η σχέση (3.22) συσχετίζει την τεχνητή ροή  $t_{ij,k}$  με τη μεταβλητή που εκφράζει την κατάσταση του διακόπτη. Έτσι, αν ο διακόπτης είναι ανοιχτός τότε αναγκαστικά  $t_{ij,k}=g_{ij}=0$ , αλλιώς η σχέση (3.21) είναι αυτή που θα καθορίσει αν η μεταβλητή  $t_{ij,k}$  είναι διάφορη του μηδενός. Οι σχέσεις (3.23) και (3.24) αναγνωρίζουν ποιες ζώνες ανήκουν στην ελάχιστη όδευση μεταξύ κάθε κόμβου  $k$  και της τροφοδοσίας του. Έτσι, αν ο διακόπτης  $i-j$  ανήκει στην ελάχιστη όδευση, τότε  $t_{ij,k}=f_{z(i),k}=w_{z(j),k}=1$  [17]. Τέλος, οι σχέσεις (3.25) και (3.26) καθορίζουν σε ποια τροφοδοσία ανήκει ο κάθε κόμβος  $k$ .

Για παράδειγμα, έστω το δίκτυο του Σχήματος 3.2. Αν ο διακόπτης 5-6 είναι κλειστός, προκύπτει ότι  $w_{z(j),k} = w_{z(i),k}$ , καθώς  $g_{ij} = 1$ . Πράγματι αν κλείσει ο διακόπτης 5-6, τότε οι κόμβοι 5 και 6 θα ανήκουν στην ίδια τροφοδοσία.



Σχήμα 3.2 : Δίκτυο διανομής 43 κόμβων

Το Σχήμα 3.3 βοηθάει στη εξήγηση της σχέσης μεταξύ των μεταβλητών  $g_{ij}$ ,  $t_{ij,k}$  και  $f_{z(i),k}$  όταν το δίκτυο είναι ακτινικό και πλήρως συνδεδεμένο, όπου για τη συγκεκριμένη εικόνα θεωρείται:  $g_{ij}=y_{ij}$ ,  $t_{ij,k}=f_{ij,k}$  και  $f_{z(i),k}=w_{z(i),k}$ . Το δίκτυο του σχήματος αποτελείται από 8 ζώνες, όπου η ζώνη 0 θεωρείται η μοναδική πηγή τροφοδοσίας του δικτύου. Συνεπώς, κάθε κύκλος αντιπροσωπεύει μια ζώνη και κάθε γραμμή αντιπροσωπεύει έναν διακόπτη. Τα βέλη δείχνουν την κατεύθυνση του διακόπτη. Οι διακεκομμένες γραμμές υποδηλώνουν τους διακόπτες που είναι ανοικτοί, ενώ οι συνεχόμενες μαύρες γραμμές τους διακόπτες που μένουν κλειστοί. Υποθέτοντας ότι ο κόμβος  $k$  βρίσκεται στη ζώνη 6, η ελάχιστη όδευση από την πηγή τροφοδοσίας στον κόμβο  $k$  σημειώνεται με τις έντονα μαύρες γραμμές όπου  $|f_{ij,k}|=1$  για  $i-j \in \{(0,1),(1,2),(2,3),(6,3)\}$  λόγω των σχέσεων (3.21) και (3.22). Τέλος οι σχέσεις (3.23) και (3.24) έχουν ως αποτέλεσμα το  $zact_{z(i),k}$  να ισούται με ένα για  $z \in \{0,1,2,3,6\}$  [17].



Σχήμα 3.3 : Σχέση μεταξύ των μεταβλητών  $y_{ij}$ ,  $f_{ij,k}$  και  $zact_{z(i),k}$

**ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ  
ΕΠΑΝΑΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΔΙΚΤΥΩΝ ΔΙΑΝΟΜΗΣ  
ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗ ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΗΣ  
ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΤΟΥΣ**

#### 4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα τελευταία χρόνια, οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές γνωρίζουν τεράστια ανάπτυξη και βρίσκουν εφαρμογή σε πάρα πολλά καθημερινά και επιστημονικά ζητήματα. Ειδικότερα, όσον αφορά τα μαθηματικά, πολλά προγράμματα έχουν δημιουργηθεί για να αντιμετωπίζουν με ευκολία και σε σχετικά σύντομο χρονικό διάστημα προβλήματα, που θα απαιτούσαν πολλαπλάσιο κόπο και χρόνο, αν έπρεπε να λυθούν με το χέρι. Η βελτιστοποίηση, με την οποία ασχολείται η παρούσα εργασία, είναι σχεδόν αδύνατη να επιτευχθεί χωρίς τη βοήθεια κατάλληλου λογισμικού, κυρίως όταν εμπλέκονται δεκάδες ή και εκατοντάδες μεταβλητές και συναρτήσεις. Έτσι, είναι φανερό ότι οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές έχουν συμβάλει καθοριστικά στην ανάπτυξη του τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας.

Ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης μπορεί να πάρει την ακόλουθη γενική μορφή:

$$\begin{aligned} \text{Ελαχιστοποίηση της:} & \quad f(x, y) \\ \text{Υπό τους περιορισμούς:} & \quad g_i(x, y) \leq 0, \quad i = 1, \dots, k \\ & \quad h_i(x, y) = 0, \quad i = 1, \dots, l \\ & \quad x \in X \subseteq \mathbb{R}^n \\ & \quad y \in Y \subseteq \mathbb{Z}^m \end{aligned}$$

Τα μαθηματικά χαρακτηριστικά ενός τέτοιου προβλήματος εξαρτώνται από τα σύνολα  $x$ ,  $y$  των μεταβλητών που περιέχει και από τη μορφή των συναρτήσεων  $f$ ,  $g_i$ ,  $h_i$  που χρησιμοποιούνται στις εξισώσεις και τους περιορισμούς του. Με αυτά τα κριτήρια, γίνεται διάκριση των διαφόρων προβλημάτων βελτιστοποίησης σε κατηγορίες:

- Προβλήματα Γραμμικού (Linear) και Μη Γραμμικού (Non Linear) Προγραμματισμού (Programming). Στα πρώτα (LP), οι συναρτήσεις  $f$ ,  $g_i$ ,  $h_i$  είναι γραμμικές συναρτήσεις των μεταβλητών, ενώ στα δεύτερα (NLP) εμφανίζονται σε αυτά και μη γραμμικές εκφράσεις.
- Προβλήματα συνεχών και διακριτών μεταβλητών. Στα πρώτα όλες οι μεταβλητές που περιέχονται είναι πραγματικοί αριθμοί. Τα δεύτερα, που ονομάζονται αλλιώς και προβλήματα μικτών ακεραίων αριθμών (Mixed Integer Programming - MIP), συμπεριλαμβάνουν και μεταβλητές που είναι δυνατόν να λάβουν μόνο ακέραιες τιμές. Σε συνδυασμό με τον προηγούμενο χαρακτηρισμό βάσει γραμμικότητας, τα MIP διακρίνονται σε MILP και MINLP.

Είναι προφανές ότι η δυσκολία και ο χρόνος επίλυσης εξαρτώνται άμεσα τόσο από τη μορφολογία της αποδεκτής περιοχής κάθε προβλήματος όσο και από τις μεθόδους που επιλέγονται για την αναζήτηση της βέλτιστης λύσης. Η λύση αυτή μπορεί να είναι η καλύτερη δυνατή από το σύνολο της αποδεκτής περιοχής, οπότε ονομάζεται ολικό βέλτιστο, ή να είναι απλά καλύτερη από όλες τις άλλες λύσεις σε κάποια περιοχή κοντά σε αυτή, οπότε ονομάζεται τοπικό βέλτιστο. Σε ένα πρόβλημα υπάρχουν πολλά τοπικά βέλτιστα αλλά μόνο ένα ολικό βέλτιστο. Είναι επίσης δύσκολο να αποδειχθεί αν ένα τοπικό βέλτιστο είναι και ολικό βέλτιστο [6].

Από τις κατηγορίες προβλημάτων που προαναφέρθηκαν, μεγαλύτερη ευκολία στην επίλυση παρουσιάζουν τα LP προβλήματα, στα οποία είναι δυνατή η εύρεση του ολικού βέλτιστου εντός πολυωνυμικού χρόνου. Αντίθετα, στα NLP προβλήματα, οι σχετικοί αλγόριθμοι χρειάζονται περισσότερο χρόνο για την επίλυσή τους, ενώ η λύση στην οποία καταλήγουν δεν είναι συνήθως το ολικό αλλά ένα τοπικό βέλτιστο. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα QCP προβλήματα (Quadratically Constrained Problems), αφού μολονότι αποτελούν υποσύνολο των NLP, εμφανίζουν τους απλούστερους δυνατούς μη γραμμικούς περιορισμούς, με αποτέλεσμα να μπορούν να επιλυθούν σχετικά ευκολότερα σε σχέση με τα περισσότερα NLP, προσφέροντας έτσι λύσεις σε καλύτερο χρόνο. Η διαδικασία επίλυσης γίνεται πιο σύνθετη στην περίπτωση ένταξης ακέραιων μεταβλητών. Όλα τα MIP προβλήματα είναι σχετικά δυσκολότερα από τα ομόλογά τους με συνεχείς μεταβλητές.

## 4.2 ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ GAMS

Στην παρούσα εργασία αναπτύχθηκε αρχείο κώδικα στο λογισμικό GAMS (General Algebraic Modeling System), ένα υπολογιστικό περιβάλλον για τον προσδιορισμό, την ανάλυση και την επίλυση ποικίλων προβλημάτων βελτιστοποίησης. Είναι μια πολύ ισχυρή γλώσσα και έχει τη

δυνατότητα να λύσει όλα τα προβλήματα που μπορεί να λύσει ο μαθηματικός προγραμματισμός. Τα κυριότερα χαρακτηριστικά του προγράμματος είναι:

- Η ικανότητά του να επιλύει μικρά (δεκάδων μεταβλητών και περιορισμών) αλλά και μεγάλα προβλήματα (χιλιάδων μεταβλητών και περιορισμών) με τη χρήση της ίδιας έκτασης κώδικα. Μπορεί κάποιος να καθορίσει ένα πλήθος παρόμοιων περιορισμών, γράφοντας ουσιαστικά μόνο έναν που να ισχύει για όλες τις τιμές μιας παραμέτρου, εκτός των εξαιρέσεων που θα καθορίσει ρητά.
- Διαχωρίζει τη διαδικασία μοντελοποίησης του προβλήματος από τη μέθοδο επίλυσης που χρησιμοποιείται. Ο χρήστης φροντίζει να ορίσει με συνέπεια το πρόβλημα και, αφού το διατυπώσει στη γλώσσα του GAMS, ένας από τους πολλούς διαθέσιμους επιλυτές αναλαμβάνει την επίλυσή του. Ως αποτέλεσμα, ο χρήστης επικεντρώνεται αποκλειστικά στη μοντελοποίηση του προβλήματος χωρίς να ασχολείται με τις λεπτομέρειες των αλγοριθμικών τεχνικών επίλυσης.
- Μιμείται σε μεγάλο βαθμό τη μαθηματική περιγραφή ενός προβλήματος, αποτελώντας έτσι οικείο περιβάλλον για τους γνώστες του μαθηματικού προγραμματισμού.
- Παρέχει μηχανισμούς για την επίλυση συλλογών από δομημένα προβλήματα βελτιστοποίησης, όπως αυτά που προκύπτουν από τεχνικές αποδόμησης.
- Διευκολύνει την ανάλυση ευαισθησίας ενός προβλήματος. Ο χρήστης εύκολα μπορεί να προγραμματίσει την επίλυση ενός μοντέλου για διαφορετικές τιμές σταθερών και να δημιουργήσει μια αναφορά με τα χαρακτηριστικά λύσης της κάθε περίπτωσης [6].

### 4.3 ΣΥΝΤΑΞΗ ΚΩΔΙΚΑ ΣΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ GAMS

Το πρόβλημα της βέλτιστης επαναδιαμόρφωσης του Κεφαλαίου 3 μοντελοποιήθηκε σε ένα αρχείο το οποίο περιέχει στη γλώσσα GAMS το σύνολο των απαραίτητων μεταβλητών και εξισώσεων. Οι κυριότερες από τις εντολές του λογισμικού που χρησιμοποιήθηκαν κατά τη σύνταξή του είναι:

- Sets: Εισάγονται τα σύνολα δεικτών του προβλήματος και παρατίθενται οι τιμές που μπορούν να πάρουν.
- Scalars: Εισάγονται οι σταθερές του προβλήματος.

- **Parameters/Tables:** Χρησιμοποιούνται για τον ορισμό μονοδιάστατων παραμέτρων ή πινάκων με τουλάχιστον δύο διαστάσεις.
- **Variables:** Εισάγονται οι μεταβλητές ελέγχου, κατά τη δήλωση των οποίων θα πρέπει να συμπεριλαμβάνονται οι διαστάσεις των μεταβλητών. Υπάρχουν επιπλέον προθέματα που μπορούν να τοποθετηθούν στην εντολή για προσδιορισμό συγκεκριμένων τύπων μεταβλητών όπως Positive, Binary ή Integer που εισάγουν θετικές, δυαδικές και ακέραιες μεταβλητές, αντίστοιχα.
- **Equations:** Εισάγονται οι εξισώσεις και οι περιορισμοί του προβλήματος. Αρχικά δηλώνονται ονομαστικά όλες οι συνθήκες που ορίζουν το πρόβλημα και στη συνέχεια αντιστοιχείται από μία σχέση ισότητας ή ανισότητας σε κάθε όνομα.
- **Model:** Προσδιορίζονται οι εξισώσεις που θα συμπεριληφθούν στο προς επίλυση μοντέλο. Είναι δυνατόν ένα μοντέλο να μην περιέχει όλες τις δηλωμένες εξισώσεις της εντολής Equations.
- **Option:** Έχει τη δυνατότητα να αλλάζει προκαθορισμένες από το λογισμικό τιμές παραμέτρων επίλυσης των επιλυτών για τις ιδιαίτερες ανάγκες κάθε προβλήματος ή και να αναθέσει σε συγκεκριμένο επιλυτή την εκτέλεση διαφόρων ειδών προγραμματισμού.
- **Solve:** Εντολή επίλυσης του προβλήματος που έχει διατυπωθεί. Ακολουθείται από το είδος του προγραμματισμού που ο χρήστης επιθυμεί να εφαρμόσει και από τον προσδιορισμό του στόχου της επίλυσης, δηλαδή την ελαχιστοποίηση ή μεγιστοποίηση μιας μεταβλητής. Για τη μεταβλητή αυτή θα πρέπει να έχει συμπεριληφθεί στο μέρος Equations η σχέση που να την εξισώνει με την επιθυμητή αντικειμενική συνάρτηση.
- **Display:** Εμφανίζονται οι τελικές τιμές των επιθυμητών μεταβλητών στο περιβάλλον του λογισμικού, παρά τη δυνατότητα εξαγωγής τους και σε αρχείο διαφορετικής μορφής (Microsoft Excel) [6].

#### **4.4 Ο ΕΠΙΛΥΤΗΣ CPLEX**

Υπάρχουν αρκετά και διαφορετικά είδη αλγορίθμων για την επίλυση των γραμμικών και μη γραμμικών μοντέλων προγραμματισμού. Κάθε ένας από αυτούς έχει τα δικά του χαρακτηριστικά και



πλεονεκτήματα που τον καθιστούν τον καταλληλότερο, τόσο από πλευράς ακρίβειας αποτελεσμάτων όσο και χρόνου εκτέλεσης, για την επίλυση του εκάστοτε προβλήματος.

Το πρόβλημα της βέλτιστης επαναδιαμόρφωσης που μελετήθηκε στο Κεφάλαιο 3 ανήκει στην κατηγορία των προβλημάτων MIQCP (Mixed Integer Quadratically Constrained Problems). Για την επίλυσή του χρησιμοποιήθηκε ο επιλυτής CPLEX, ο οποίος είναι ένας από τους επιλυτές της GAMS που δίνει τη δυνατότητα στον χρήστη να συνδυάσει υψηλών δυνατοτήτων ικανότητες μοντελοποίησης προβλημάτων.

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για να λυθούν προβλήματα τύπου MIP (Mixed Integer Problems) απαιτούν δραματικά περισσότερο υπολογιστικό χρόνο από τα απλά γραμμικά προβλήματα. Ο αλγόριθμος που συνίσταται στην περίπτωση του μοντέλου που αναπτύχθηκε στο Κεφάλαιο 3 είναι ο Branch and Cut διότι διαθέτει πολλές επιλογές με τις οποίες μπορεί να βελτιωθεί η ποιότητα λύσεων που παρέχει, λύνοντας μια σειρά από γραμμικά υποπροβλήματα [29].

## 4.5 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Τα βήματα που ακολουθεί ο χρήστης για την επίλυση ενός προβλήματος βελτιστοποίησης είναι τα ακόλουθα:

- Καθορίζει το πλήρες μαθηματικό μοντέλο (δεδομένα, μεταβλητές, αντικειμενική συνάρτηση, περιορισμοί) και στη συνέχεια ανοίγει το πρόγραμμα gamside.exe.
- Εισάγει τα αριθμητικά δεδομένα σε μορφή παραμέτρων ή πινάκων (όπως φαίνεται στα Σχήματα 4.1 και 4.2). Τα δεδομένα που χρησιμοποιεί ένα μοντέλο GAMS είναι δυνατόν να περιέχονται σε μέρος του κώδικα ή να εισάγονται από εξωτερικές πηγές. Το GAMS έχει τη δυνατότητα να διαβάζει και να γράφει σε ένα συγκεκριμένο τύπο αρχείων, τα οποία ονομάζονται GDX (Gams Data eXchange files). Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η χρήση εντολών που διαβάζουν τα περιεχόμενα των κελιών αρχείων του Microsoft Excel και δημιουργούν GDX αρχεία για χρήση από τα μοντέλα του GAMS (Σχήμα 4.1).
- Καθορίζει τις μεταβλητές, όρια και ορισμένες σταθερές τιμές αυτών (Σχήμα 4.3 και 4.4).

```

SETS
I      index of buses      /1*69/
S(I)   buses with generators /1/
sw(I,I) branches with switches /1,2,6.14,8.32,15.34,21.29,21.34,27.30,29.45,33.37,
      38.50,39.42,40.61,44.64,48.64,53.56,55.59,60.62/
Z      index of all zones  /1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16/
load(Z) index of load zones /2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16/
source(Z) index of source zones /1/

A      /R,X/
B      /Vmin,Vmax,Pd,Qd,Cus,zk/
C      /lz,rz/
D      /fd/

ALIAS (I,J);
ALIAS (I,K);

TABLE GDATA(I,*) generator input data
      PMIN PMAX QMIN QMAX
1      -10  10  -10  10;

PARAMETER LINE (I,J,A)
      BUS (I,B)
      ZONE (Z,C)
      BZ (Z,I,D);

```

Σχήμα 4.1 : Μορφή δεδομένων εισόδου part 1

```

$call GDXXRW C:\Users\atsimtsili\Desktop\Diplo\kwdikas\new\69bus.xlsx par=line rng=Branch!A1 Rdim=2 Cdim=1
$GDGIN 69bus.gdx
$LOAD line
$GDGIN

$call GDXXRW C:\Users\atsimtsili\Desktop\Diplo\kwdikas\new\69bus.xlsx par=bus rng=Bus!A1
$GDGIN 69bus.gdx
$onUNDF
$LOAD bus
$GDGIN

$call GDXXRW C:\Users\atsimtsili\Desktop\Diplo\kwdikas\new\69bus.xlsx par=zone rng=Zone!A1
$GDGIN 69bus.gdx
$LOAD zone
$GDGIN

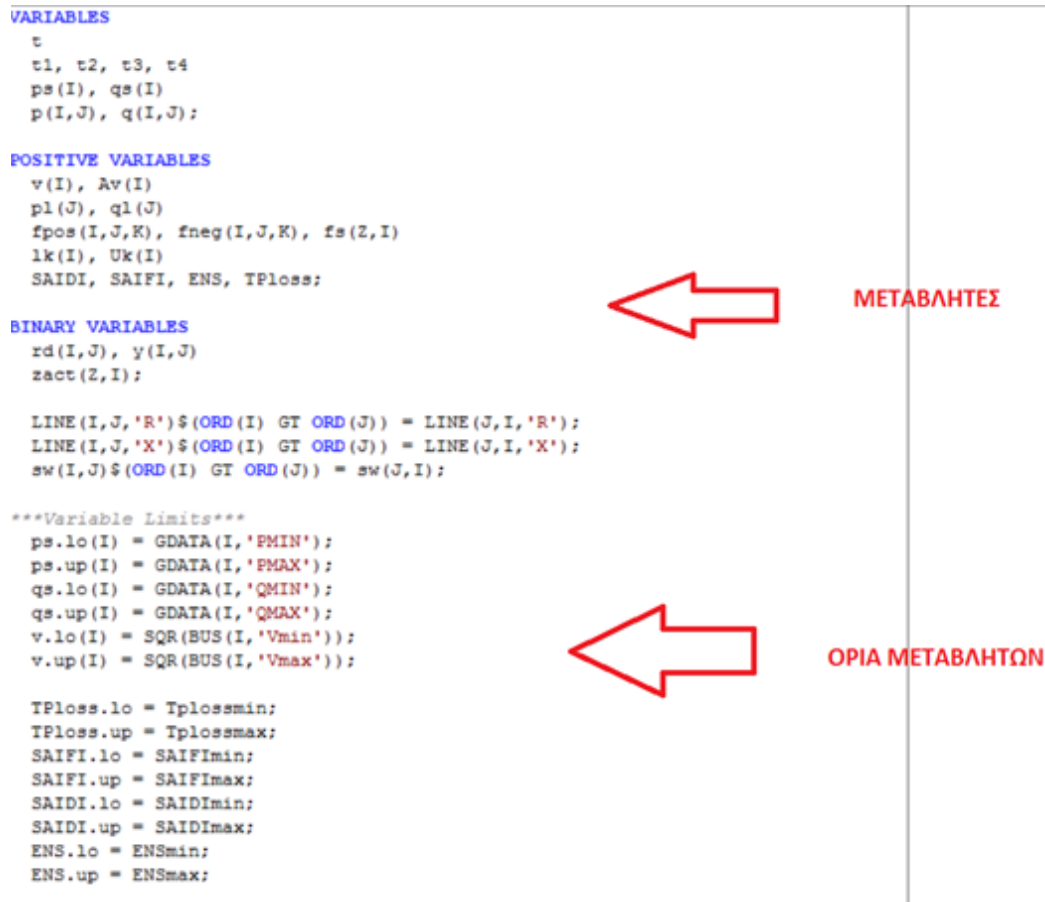
$call GDXXRW C:\Users\atsimtsili\Desktop\Diplo\kwdikas\new\69bus.xlsx par=bz rng=BZ!A1 Rdim=2 Cdim=1
$GDGIN 69bus.gdx
$LOAD bz
$GDGIN

SCALAR
M      /10/
SFmax  /1/
c1     /1/
c2     /1/
c3     /1/
c4     /1/

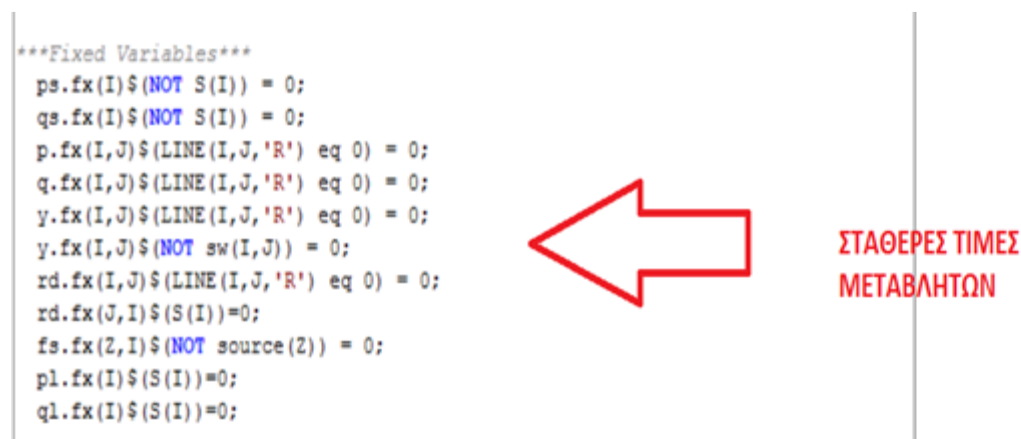
TFlossmin /0.018186/
TFlossmax /0.140196/
SAIFimin  /1.994803/
SAIFimax  /2.680044/
SAIDimin  /3.989607/
SAIDimax  /5.360087/
ENSmin    /1.769529/
ENSmax    /2.272092/ ;

```

Σχήμα 4.2 : Μορφή δεδομένων εισόδου part 2



Σχήμα 4.3 : Μεταβλητές και όρια των μεταβλητών αυτών



Σχήμα 4.4 : Τιμές των μεταβλητών

- Γράφει τις εξισώσεις του προβλήματος (Σχήμα 4.5 και 4.6).

```

EQUATIONS
OBJECTIVE
OBJ1, OBJ2, OBJ3, OBJ4
FBAL(J), QBAL(J)
ACHELP1(I,J), ACHELP2(I,J), REHELP1(I,J), REHELP2(I,J)
DROPDOWN1(I,J), DROPDOWN2(I,J)
AUXVOLT1(I,J), AUXVOLT2(I,J)
POWER1(I,J), POWER2(I,J)
POWERMAX(I,J), SWITCH(I,J)
RADIALITY1(I,J), RADIALITY2(I,J), RADIALITY3(I)
RELIABILITY1(Z,K), RELIABILITY2(I,J,K), RELIABILITY3(I,J,K)
RELIABILITY4(I,J,K), RELIABILITY5(Z,K)
FAILRATE(I), UNAVAILABILITY(I)
RELINDEX1, RELINDEX2, RELINDEX3, FLOSS:

OBJECTIVE..
t =e= c1*t1+c2*t2+c3*t3+c4*t4;

* OBJ1..
t1 =e= TPloss;
* OBJ2..
t2 =e= SAIFI;
* OBJ3..
t3 =e= SAIDI;
* OBJ4..
t4 =e= ENS;

OBJ1..
t1 =e= TPloss/TPlossmax;
OBJ2..
t2 =e= SAIFI/SAIFImax;
OBJ3..
t3 =e= SAIDI/SAIDImax;
OBJ4..
t4 =e= ENS/ENSmax;

FBAL(J)..
QBAL(J)..
ps(J)+SUM(I, p(I,J)-p(J,I)) =e= BUS(J,'Pd')+pl(J);
qs(J)+SUM(I, q(I,J)-q(J,I)) =e= BUS(J,'Qd')+ql(J);

ACHELP1(I,J)..
ACHELP2(I,J)..
p(I,J) =1= M*rd(I,J);
p(I,J) =g= (-M)*rd(I,J);

REHELP1(I,J)..
REHELP2(I,J)..
q(I,J) =1= M*rd(I,J);
q(I,J) =g= (-M)*rd(I,J);

```

Σχήμα 4.5 : Εξισώσεις προβλήματος part 1

```

DROPDOWN1(I,J)$(LINE(I,J,'R') ne 0)..
DROPDOWN2(I,J)$(LINE(I,J,'R') ne 0)..
v(J)-v(I) =g= (-2)*(LINE(I,J,'R')*p(I,J)+LINE(I,J,'X')*q(I,J))-M*(1-rd(I,J));
v(J)-v(I) =1= (-2)*(LINE(I,J,'R')*p(I,J)+LINE(I,J,'X')*q(I,J))+M*(1-rd(I,J));

AUXVOLT1(I,J)$(LINE(I,J,'R') ne 0)..
AUXVOLT2(I,J)$(LINE(I,J,'R') ne 0)..
Av(J) =g= v(I)-M*(1-rd(I,J));
Av(J) =1= v(I)+M*(1-rd(I,J));

POWER1(I,J)$(LINE(I,J,'R') ne 0)..
POWER2(I,J)$(LINE(I,J,'R') ne 0)..
LINE(I,J,'R')*(sqr(p(I,J))+sqr(q(I,J))) =1= Av(J)*pl(J);
LINE(I,J,'X')*(sqr(p(I,J))+sqr(q(I,J))) =1= Av(J)*ql(J);

POWERMAX(I,J)..
sqr(p(I,J))+sqr(q(I,J)) =1= sqr(SPmax);

SWITCH(I,J)$sw(I,J)..
y(I,J) =e= y(J,I);

RADIALITY1(I,J)$(LINE(I,J,'R') ne 0) AND (NOT sw(I,J))..
RADIALITY2(I,J)$sw(I,J)..
RADIALITY3(I)$(NOT S(I))..
rd(I,J)+rd(J,I) =e= 1;
rd(I,J)+rd(J,I) =e= y(I,J);
SUM(J, rd(J,I)) =e= 1;

RELIABILITY1(Z,K)..
SUM((J,I)$(sw(J,I) AND (BUS(I,'zk') eq ORD(Z))),fpos(J,I,K)-fneg(J,I,K))-BZ(Z,K,'fd')-
SUM((I,J)$(sw(I,J) AND (BUS(I,'zk') eq ORD(Z))),fpos(I,J,K)-fneg(I,J,K))+fs(Z,K) =e= 0;
fpos(I,J,K)+fneg(I,J,K) =1= y(I,J);
SUM(Z$(BUS(J,'zk') eq ORD(Z)),zact(Z,K)) =g= fpos(I,J,K)+fneg(I,J,K);
SUM(Z$(BUS(I,'zk') eq ORD(Z)),zact(Z,K)) =g= fpos(I,J,K)+fneg(I,J,K);
zact(Z,K) =1= SUM((I,J)$(sw(I,J) AND (BUS(I,'zk') eq ORD(Z))),fpos(I,J,K)+fneg(I,J,K))+
SUM((J,I)$(sw(J,I) AND (BUS(I,'zk') eq ORD(Z))),fpos(J,I,K)+fneg(J,I,K));

FAILRATE(K)$(NOT S(K))..
UNAVAILABILITY(K)$(NOT S(K))..
lk(K) =e= SUM(Z$(load(Z)),zact(Z,K)*ZONE(Z,'lz'));
Uk(K) =e= SUM(Z$(load(Z)),zact(Z,K)*ZONE(Z,'lz')*ZONE(Z,'rz'));

RELINDEX1..
RELINDEX2..
RELINDEX3..
SAIFI =e= (SUM(K,BUS(K,'Cus')*lk(K)))/(SUM(K,BUS(K,'Cus')));
SAIDI =e= (SUM(K,BUS(K,'Cus')*Uk(K)))/(SUM(K,BUS(K,'Cus')));
ENS =e= SUM(K, BUS(K,'Pd')*Uk(K));

FLOSS..
TPloss =e= SUM(J,pl(J));

```

Σχήμα 4.6 : Εξισώσεις προβλήματος part 2

- Καθορίζει τον ή τους επιλυτές που θα χρησιμοποιηθούν για την επίλυση του προβλήματος. Στο συγκεκριμένο αρχείο κώδικα χρησιμοποιήθηκε ο επιλυτής cplex (Σχήμα 4.7). Δίνει ενδεχομένως εντολή να διαβαστεί ένα option file, δηλαδή ένα ξεχωριστό αρχείο που περιέχει

κάποιες ειδικές ρυθμίσεις (Σχήμα 4.7). Καθορίζει ποια είναι η αντικειμενική συνάρτηση και αν πρέπει να ελαχιστοποιηθεί ή να μεγιστοποιηθεί (Σχήμα 4.7).

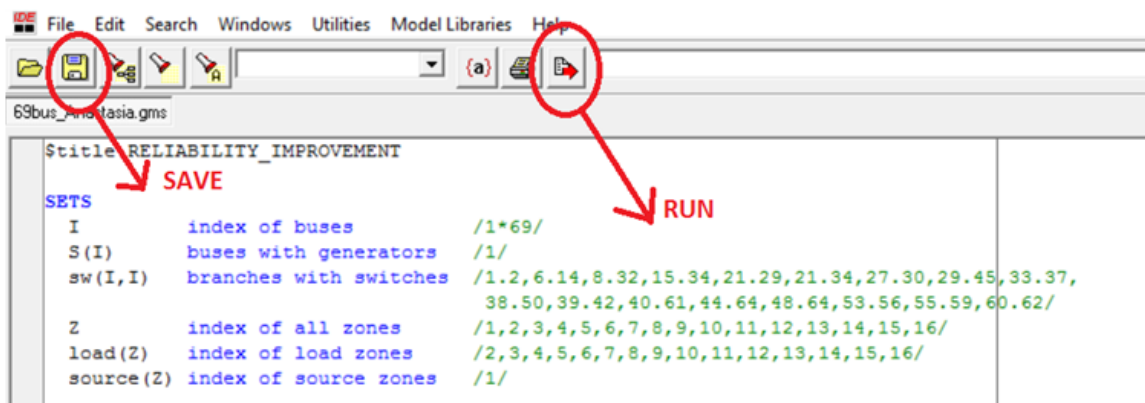
```
MODEL RRI /all/;
OPTION miqcp = cplex ;
SOLVE RRI USING miqcp MINIMIZING t;
DISPLAY 'all';
```

ΕΠΙΛΥΤΗΣ ΚΑΙ ΑΚΡΙΒΕΙΑ

ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΙΚΗ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ

Σχήμα 4.7 : Επιλογή επιλυτή και αντικειμενικής συνάρτησης

- Αποθηκεύει το αρχείο κώδικα ως filename.gms και πατάει το κουμπί εκτέλεσης Run GAMS, επιλέγοντας τα αντίστοιχα εικονίδια όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.8.



Σχήμα 4.8 : Αποθήκευση και εκτέλεση του αρχείου GAMS

## 4.6 ΕΞΑΓΩΓΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Αφού πραγματοποιηθεί η επίλυση ενός προβλήματος εντός του περιβάλλοντος GAMS γίνεται προβολή αναφοράς της διαδικασίας που ακολουθήθηκε από τον εκάστοτε επιλυτή και καταγράφονται οι τελικές τιμές των μεταβλητών. Στο σχήμα δίνεται το παράθυρο στο οποίο προβάλλονται οι τιμές των μεταβλητών εντός του λογισμικού. Οι τελείες υποδηλώνουν την τιμή μηδέν, το EPS πολύ μικρή τιμή, ενώ το INF το άπειρο. Για κάθε μεταβλητή παρατηρούνται τέσσερις τιμές. Τα LOWER και UPPER δίνουν το κάτω και άνω όριο της, το LEVEL τη βέλτιστη τιμή της και το MARGINAL δείχνει πόσο μια χαλάρωση των ορίων της μεταβλητής επηρεάζει την αντικειμενική συνάρτηση (Σχήμα 4.9).

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL	
11.41	-INF	1.000	+INF	NA	
11.42	-INF	1.000	+INF	NA	
11.43	-INF	.	+INF	NA	
SOLUTION					
----	VAR SAIDI	-INF	2.065	2.550	NA
----	VAR SAIFI	-INF	1.337	1.750	NA
----	VAR ENS	-INF	3305.037	+INF	NA
----	VAR Y				
	1.2	.	1.000	1.000	NA
	4.16	.	.	1.000	NA
	5.6	.	1.000	1.000	NA
	8.10	.	1.000	1.000	NA
	9.23	.	.	1.000	NA
	12.27	.	1.000	1.000	NA
	17.32	.	1.000	1.000	NA
	18.20	.	1.000	1.000	NA
	19.34	.	.	1.000	NA
	21.24	.	.	1.000	NA
	22.37	.	.	1.000	NA
	26.40	.	.	1.000	NA
	31.43	.	1.000	1.000	NA
	33.35	.	1.000	1.000	NA
	36.38	.	1.000	1.000	NA
----	VAR Isq				

Σχήμα 4.9 : Αρχείο εξόδου

## ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

### 5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το μοντέλο βελτιστοποίησης που ορίστηκε στο Κεφάλαιο 3 θα εφαρμοστεί σε ποικίλα σενάρια και θα παρουσιαστούν τα αντίστοιχα αποτελέσματα. Η εφαρμογή του μοντέλου βέλτιστης επαναδιαμόρφωσης δικτύων διανομής ηλεκτρικής ενέργειας για τη βελτίωση της αξιοπιστίας τους πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας τα δίκτυα διανομής 43 και 69 κόμβων. Πιο συγκεκριμένα, η συνολική μελέτη έγινε υπό το πρίσμα της ευαισθησίας των αποτελεσμάτων ως προς κάθε συντελεστή κόστους με σκοπό να παρατηρηθεί για ποιες τιμές επιτυγχάνεται η βέλτιστη αξιοπιστία.

Σε κάθε ένα από τα δίκτυα, πραγματοποιήθηκαν οι ακόλουθες δοκιμές:

- Επαναδιαμόρφωση του δικτύου για βελτίωση της αξιοπιστίας μελετώντας τα αποτελέσματα ως προς τον συντελεστή κόστους  $c^{ISS}$
- Επαναδιαμόρφωση του δικτύου για βελτίωση της αξιοπιστίας μελετώντας τα αποτελέσματα ως προς τον συντελεστή κόστους  $c^{ENS}$
- Επαναδιαμόρφωση του δικτύου για βελτίωση της αξιοπιστίας μελετώντας τα αποτελέσματα ως προς τον συντελεστή κόστους  $c^{SAIFI}$
- Επαναδιαμόρφωση του δικτύου για βελτίωση της αξιοπιστίας μελετώντας τα αποτελέσματα ως προς τον συντελεστή κόστους  $c^{SAIDI}$

Όλες οι εφαρμογές του μοντέλου πραγματοποιήθηκαν σε ηλεκτρονικό υπολογιστή (H/Y) με τα ακόλουθα τεχνικά χαρακτηριστικά:

- Επεξεργαστής Intel Core i7-3632QM @ 2.2 GHz
- Μνήμη RAM 4 GB
- Λειτουργικό Σύστημα Windows 10

## 5.2 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΤΩΝ 43 ΚΟΜΒΩΝ

Το δίκτυο των 43 κόμβων που εμφανίζεται στο Σχήμα 5.1 είναι ένα ακτινικό δίκτυο διανομής με δύο υποσταθμούς, 32 κλάδους, 15 διακοπτικά στοιχεία και 9 ζώνες φόρτισης (και 2 ζώνες όπου περιλαμβάνουν μόνο τους υποσταθμούς 1 και 43). Είναι ονομαστικής τάσης 7.967 kV, ενώ τα όρια τάσεων στους κόμβους είναι  $\pm 1\%$  της ονομαστικής. Τα δεδομένα των φορτίων και των γραμμών του δικτύου φαίνονται στην [17]. Στον Πίνακα 5.1 φαίνονται οι διακόπτες που υπάρχουν στο δίκτυο, οι κλάδοι, οι ασφάλειες καθώς και οι υποσταθμοί του δικτύου.

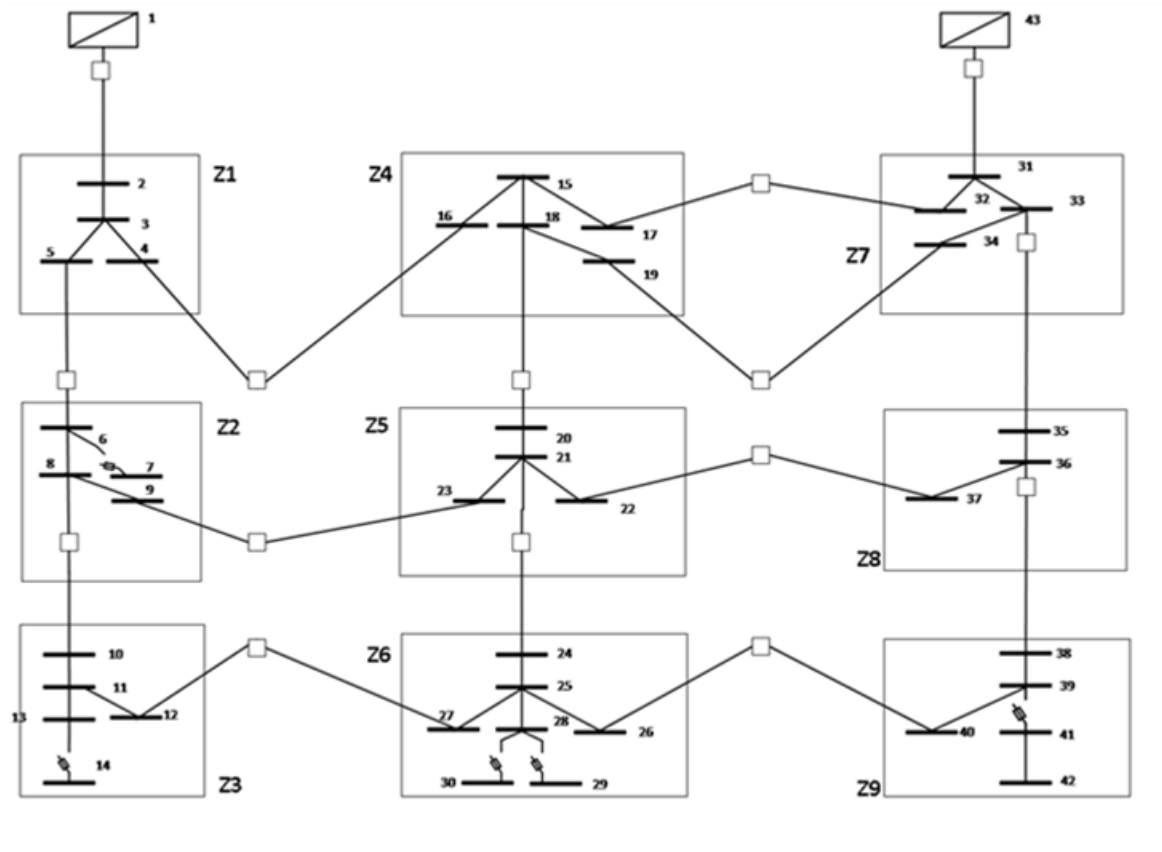
**Πίνακας 5.1** Στοιχεία του δικτύου 43 κόμβων

<b>ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ</b>	1-2, 5-6, 8-10, 4-16, 9-23, 12-27, 18-20, 21-24, 17-32, 19-34, 22-37, 26-40, 43-31, 33-35, 36-38
<b>ΚΛΑΔΟΙ (χωρισμένοι ανά ζώνη)</b>	Z0: υποσταθμός 1 Z1: 2-3, 3-4, 3-5 Z2: 6-7, 6-8, 8-9 Z3: 10-11, 11-12, 11-13, 13-14 Z4: 16-15, 15-17, 15-18, 18-19 Z5: 20-21, 21-22, 21-23 Z6: 24-25, 25-26, 25-27, 25-28, 28-29, 28-30 Z7: 32-31, 31-33, 33-34 Z8: 35-36, 36-37 Z9: 38-39, 39-40, 39-41, 41-42 Z10: υποσταθμός 43
<b>ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΙ</b>	1, 43
<b>ΑΣΦΑΛΕΙΕΣ</b>	6-7, 28-30, 28-29, 39-41

### 5.2.1 ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ $c^{lss}$

Κατά τη διάρκεια της μελέτης των αποτελεσμάτων ως προς τον συντελεστή κόστους  $c^{lss}$  θα πραγματοποιηθούν σενάρια κατά τα οποία θα αυξομειώνεται ο συντελεστής αυτός, ενώ παράλληλα οι υπόλοιποι συντελεστές κόστους ( $c^{ENS}$ ,  $c^{SAIFI}$ ,  $c^{SAIDI}$ ) θα παραμένουν σταθεροί. Στο τέλος της κάθε περίπτωσης, θα παρουσιάζονται τα αντίστοιχα αποτελέσματα. Στον Πίνακα 5.2 παρουσιάζονται τα στοιχεία που θα είναι σταθερά σε όλες τις περιπτώσεις.





Σχήμα 5.1 Δίκτυο 43 κόμβων

Πίνακας 5.2 Σταθερές για μελέτη του  $c^{lss}$ 

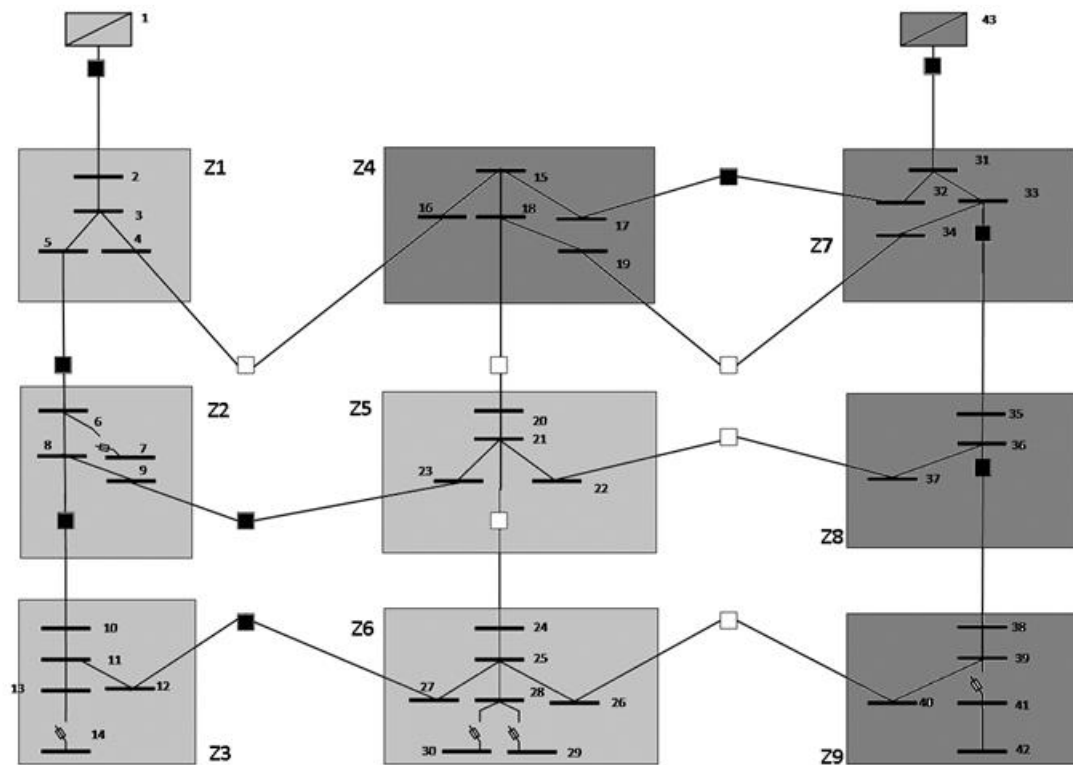
$c^{ENS}$ (\$/kWh/έτος)	$c^{SAIFI}$ (\$/βλάβες/έτος)	$c^{SAIDI}$ (\$/ώρες/έτος)	$SAIFI_{max}$ (βλάβες/έτος)	$SAIDI_{max}$ (ώρες/έτος)
1	1	1	1.25	1.95

Συνοπτικά, τα σενάρια που θα μελετηθούν είναι τα ακόλουθα:

- ΣΕΝΑΡΙΟ 1 (σενάριο αναφοράς):  $c^{lss} = 1$  \$/kW
- ΣΕΝΑΡΙΟ 2:  $c^{lss} = 30$  \$/kW
- ΣΕΝΑΡΙΟ 3:  $c^{lss} = 60$  \$/kW
- ΣΕΝΑΡΙΟ 4:  $c^{lss} = 80$  \$/kW
- ΣΕΝΑΡΙΟ 5:  $c^{lss} = 100$  \$/kW

**ΣΕΝΑΡΙΟ 1** (σενάριο αναφοράς):  $c^{lss} = 1 \text{ \$/kW}$ 

Κατά την εκτέλεση του Σεναρίου 1, προκύπτει η τοπολογία του δικτύου που φαίνεται στο Σχήμα 5.2, το οποίο είναι ακτινικό όπως ήταν αναμενόμενο. Με ανοιχτό γκρι χρώμα εμφανίζονται οι κλάδοι που τροφοδοτούνται από τον υποσταθμό 1 και με σκούρο γκρι οι κλάδοι που τροφοδοτούνται από τον υποσταθμό 43. Στους Πίνακες 5.3 και 5.4 εμφανίζονται οι διακόπτες που έκλεισαν, καθώς και αυτοί που παρέμειναν ανοιχτοί, η ετήσια ενέργεια που δεν τροφοδοτήθηκε (ENS), οι απώλειες ενεργού ισχύος, ο δείκτης αξιοπιστίας SAIFI, ο δείκτης αξιοπιστίας SAIDI και το συνολικό κόστος που προέκυψε. Τέλος, στον Πίνακα 5.5 παρατίθενται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από πλευράς λογισμικού, δηλαδή ο αριθμός των μεταβλητών και εξισώσεων που χρησιμοποιήθηκαν, ο χρόνος επίλυσης που χρειάστηκε το μοντέλο για να προκύψει το βέλτιστο αποτέλεσμα, καθώς και το πλήθος των επαναλήψεων.



**Σχήμα 5.2** Χαρακτηριστική τοπολογία 1 του δικτύου 43 κόμβων

**Πίνακας 5.3** Κατάσταση Διακοπών Σεναρίου 1

ΚΛΕΙΣΤΟΙ ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ	ΑΝΟΙΧΤΟΙ ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ
1-2, 5-6, 8-10, 9-23, 12-27, 17-32, 43-31, 33-35, 36-38	4-16, 18-20, 21-24, 19-34, 22-37, 26-40

**Πίνακας 5.4** Αποτελέσματα Σεναρίου 1

ENS (kWh)	ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΙΣΧΥΟΣ (kW)	SAIFI (βλάβες/έτος)	SAIDI (ώρες/έτος)
3235	40.297	1.325	2.021

**Πίνακας 5.5** Αποτελέσματα λογισμικού Σεναρίου 1

ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ	ΧΡΟΝΟΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ (seconds)	ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΠΑΝΑΛΗΨΕΩΝ
25	33	53.545	10367

**ΣΕΝΑΡΙΟ 2:  $c^{Jss} = 30$  \$/kW**

Κατά την εκτέλεση του Σεναρίου 2, προκύπτει η τοπολογία του δικτύου που φαίνεται στο Σχήμα 5.2, το οποίο είναι ακτινικό όπως ήταν αναμενόμενο. Με ανοιχτό γκρι χρώμα εμφανίζονται οι κλάδοι που τροφοδοτούνται από τον υποσταθμό 1 και με σκούρο γκρι οι κλάδοι που τροφοδοτούνται από τον υποσταθμό 43. Στους Πίνακες 5.6 και 5.7 εμφανίζονται οι διακόπτες που έκλεισαν, καθώς και αυτοί που παρέμειναν ανοιχτοί, η ετήσια ενέργεια που δεν τροφοδοτήθηκε (ENS), οι απώλειες ενεργού ισχύος, ο δείκτης αξιοπιστίας SAIFI, ο δείκτης αξιοπιστίας SAIDI και το συνολικό κόστος που προέκυψε. Τέλος, στον Πίνακα 5.8 παρατίθενται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από πλευράς λογισμικού, δηλαδή ο αριθμός των μεταβλητών και εξισώσεων που χρησιμοποιήθηκαν, ο χρόνος επίλυσης που χρειάστηκε το μοντέλο για να προκύψει το βέλτιστο αποτέλεσμα, καθώς και το πλήθος των επαναλήψεων.

**Πίνακας 5.6** Κατάσταση Διακοπών Σεναρίου 2

ΚΛΕΙΣΤΟΙ ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ	ΑΝΟΙΧΤΟΙ ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ
1-2, 5-6, 8-10, 9-23, 12-27, 17-32, 43-31, 33-35, 36-38	4-16, 18-20, 21-24, 19-34, 22-37, 26-40

**Πίνακας 5.7** Αποτελέσματα Σεναρίου 2

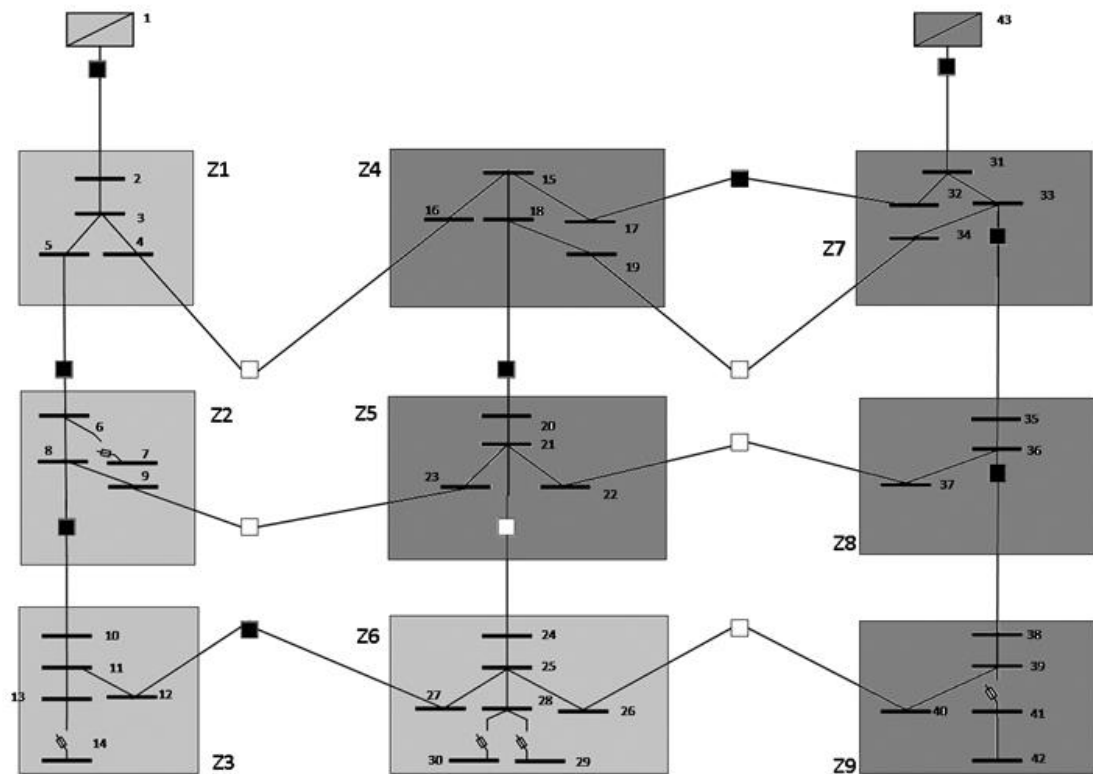
ENS (kWh)	ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΙΣΧΥΟΣ (kW)	SAIFI (βλάβες/έτος)	SAIDI (ώρες/έτος)
3235	36.956	1.325	2.021

**Πίνακας 5.8** Αποτελέσματα λογισμικού Σεναρίου 2

ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ	ΧΡΟΝΟΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ (seconds)	ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΠΑΝΑΛΗΨΕΩΝ
25	33	12.377	32816

**ΣΕΝΑΡΙΟ 3:  $c^{lss} = 60$  \$/kW**

Κατά την εκτέλεση του Σεναρίου 3, προκύπτει η τοπολογία του δικτύου που φαίνεται στο Σχήμα 5.3, το οποίο είναι ακτινικό όπως ήταν αναμενόμενο. Με ανοιχτό γκρι χρώμα εμφανίζονται οι κλάδοι που τροφοδοτούνται από τον υποσταθμό 1 και με σκούρο γκρι οι κλάδοι που τροφοδοτούνται από τον υποσταθμό 43. Στους Πίνακες 5.9 και 5.10 εμφανίζονται οι διακόπτες που έκλεισαν καθώς και αυτοί που παρέμειναν ανοιχτοί, η ετήσια ενέργεια που δεν τροφοδοτήθηκε (ENS), οι απώλειες ενεργού ισχύος, ο δείκτης αξιοπιστίας SAIFI, ο δείκτης αξιοπιστίας SAIDI και το συνολικό κόστος που προέκυψε. Τέλος στον Πίνακα 5.11 παρατίθενται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από πλευράς λογισμικού, δηλαδή ο αριθμός των μεταβλητών και εξισώσεων που χρησιμοποιήθηκαν, ο χρόνος επίλυσης που χρειάστηκε το μοντέλο για να προκύψει το βέλτιστο αποτέλεσμα καθώς και το πλήθος των επαναλήψεων.



**Σχήμα 5.3** Χαρακτηριστική τοπολογία 2 του δικτύου 43 κόμβων

**Πίνακας 5.9** Κατάσταση Διακοπών Σεναρίου 3

ΚΛΕΙΣΤΟΙ ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ	ΑΝΟΙΧΤΟΙ ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ
1-2, 5-6, 8-10, 12-27, 18-20, 17-32, 43-31, 33-35, 36-38	4-16, 9-23, 21-24, 19-34, 22-37, 26-40

**Πίνακας 5.10** Αποτελέσματα Σεναρίου 3

ENS (kWh)	ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΙΣΧΥΟΣ (kW)	SAIFI (βλάβες/έτος)	SAIDI (ώρες/έτος)
3305	31.962	1.337	2.064

**Πίνακας 5.11** Αποτελέσματα λογισμικού Σεναρίου 3

ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ	ΧΡΟΝΟΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ (seconds)	ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΠΑΝΑΛΗΨΕΩΝ
25	33	7.01	37936

**ΣΕΝΑΡΙΟ 4:  $c^{Jss} = 80$  \$/kW**

Κατά την εκτέλεση του Σεναρίου 4, προκύπτει η τοπολογία του δικτύου που φαίνεται στο Σχήμα 5.4, το οποίο είναι ακτινικό όπως ήταν αναμενόμενο. Με ανοιχτό γκρι χρώμα εμφανίζονται οι κλάδοι που τροφοδοτούνται από τον υποσταθμό 1 και με σκούρο γκρι οι κλάδοι που τροφοδοτούνται από τον υποσταθμό 43. Στους Πίνακες 5.12 και 5.13 εμφανίζονται οι διακόπτες που έκλεισαν καθώς και αυτοί που παρέμειναν ανοιχτοί, η ετήσια ενέργεια που δεν τροφοδοτήθηκε (ENS), οι απώλειες ενεργού ισχύος, ο δείκτης αξιοπιστίας SAIFI, ο δείκτης αξιοπιστίας SAIDI και το συνολικό κόστος που προέκυψε. Τέλος στον Πίνακα 5.14 παρατίθενται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από πλευράς λογισμικού, δηλαδή ο αριθμός των μεταβλητών και εξισώσεων που χρησιμοποιήθηκαν, ο χρόνος επίλυσης που χρειάστηκε το μοντέλο για να προκύψει το βέλτιστο αποτέλεσμα καθώς και το πλήθος των επαναλήψεων.

**Πίνακας 5.12** Κατάσταση Διακοπών Σεναρίου 4

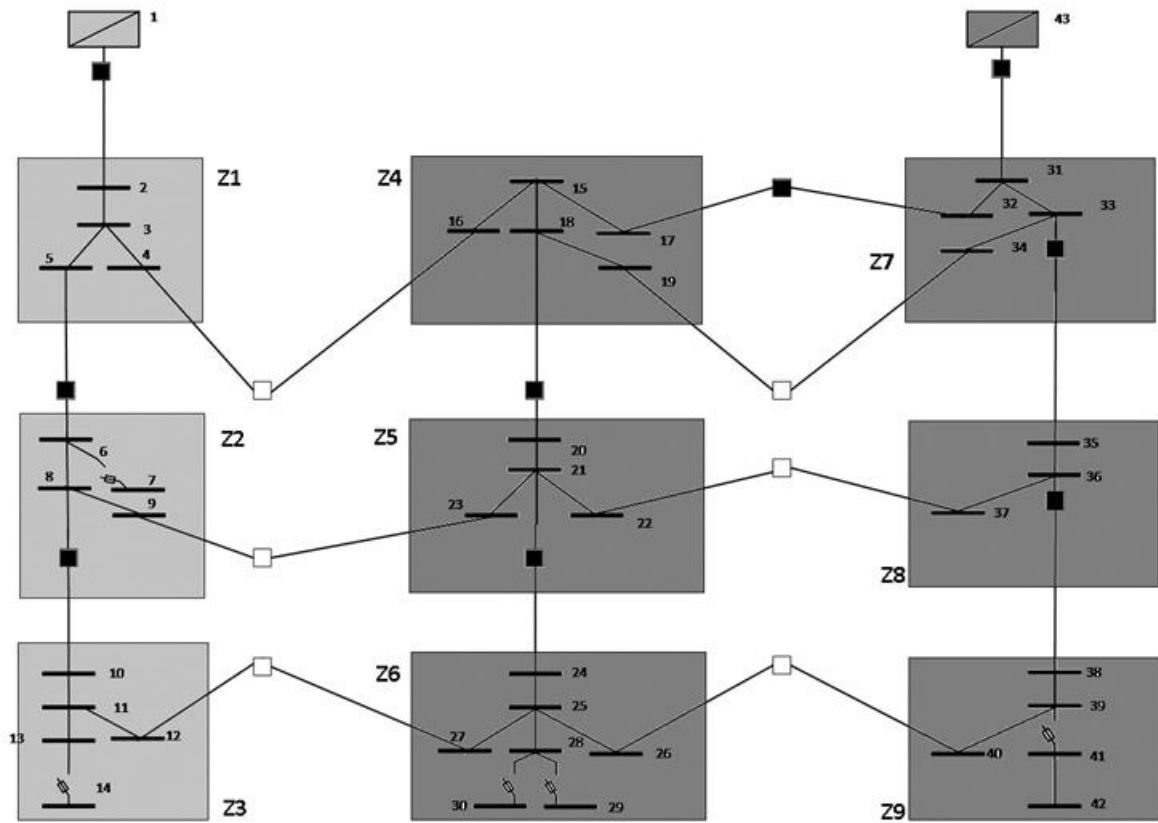
ΚΛΕΙΣΤΟΙ ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ	ΑΝΟΙΧΤΟΙ ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ
1-2, 5-6, 8-10, 18-20, 21-24, 17-32, 43-31, 33-35, 36-38	4-16, 9-23, 12-27, 19-34, 22-37, 26-40

**Πίνακας 5.13** Αποτελέσματα Σεναρίου 4

ENS (kWh)	ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΙΣΧΥΟΣ (kW)	SAIFI (βλάβες/έτος)	SAIDI (ώρες/έτος)
3565	26.795	1.513	2.228

**Πίνακας 5.14** Αποτελέσματα λογισμικού Σεναρίου 4

ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ	ΧΡΟΝΟΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ (seconds)	ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΠΑΝΑΛΗΨΕΩΝ
25	33	13.384	29229



Σχήμα 5.4 Χαρακτηριστική τοπολογία 3 του δικτύου 43 κόμβων

#### ΣΕΝΑΡΙΟ 5: $c^{lss} = 100 \text{ \$/kW}$

Κατά την εκτέλεση του Σεναρίου 5, προκύπτει η τοπολογία του δικτύου που φαίνεται στο Σχήμα 5.4, το οποίο είναι ακτινικό όπως ήταν αναμενόμενο. Με ανοιχτό γκρι χρώμα εμφανίζονται οι κλάδοι που τροφοδοτούνται από τον υποσταθμό 1 και με σκούρο γκρι οι κλάδοι που τροφοδοτούνται από τον υποσταθμό 43. Στους Πίνακες 5.15 και 5.16 εμφανίζονται οι διακόπτες που έκλεισαν καθώς και αυτοί που παρέμειναν ανοιχτοί, η ετήσια ενέργεια που δεν τροφοδοτήθηκε (ENS), οι απώλειες ενεργού ισχύος, ο δείκτης αξιοπιστίας SAIFI, ο δείκτης αξιοπιστίας SAIDI και το συνολικό κόστος που προέκυψε. Τέλος στον Πίνακα 5.17 παρατίθενται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από πλευράς λογισμικού, δηλαδή ο αριθμός των μεταβλητών και εξισώσεων που χρησιμοποιήθηκαν, ο χρόνος επίλυσης που χρειάστηκε το μοντέλο για να προκύψει το βέλτιστο αποτέλεσμα καθώς και το πλήθος των επαναλήψεων.

Πίνακας 5.15 Κατάσταση Διακοπών Σεναρίου 5

ΚΛΕΙΣΤΟΙ ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ	ΑΝΟΙΧΤΟΙ ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ
1-2, 5-6, 8-10, 18-20, 21-24, 17-32, 43-31, 33-35, 36-38	4-16, 9-23, 12-27, 19-34, 22-37, 26-40

**Πίνακας 5.16** Αποτελέσματα Σεναρίου 5

ENS (kWh)	ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΙΣΧΥΟΣ (kW)	SAIFI (βλάβες/έτος)	SAIDI (ώρες/έτος)
3574	26.785	1.534	2.25

**Πίνακας 5.17** Αποτελέσματα λογισμικού Σεναρίου 5

ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ	ΧΡΟΝΟΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ (seconds)	ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΠΑΝΑΛΗΨΕΩΝ
25	33	11.687	24440

Στον Πίνακα 5.18 παρατίθεται μια πιο συνοπτική εικόνα των αποτελεσμάτων.

**Πίνακας 5.18** Συνοπτικά αποτελέσματα

	$c^{lss}$ (\$/kW)	ENS (kWh)	ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΙΣΧΥΟΣ (kW)	SAIFI (βλάβες /έτος)	SAIDI (ώρες /έτος)
<b>ΣΕΝΑΡΙΟ 1</b>	1	3235	40.297	1.325	2.021
<b>ΣΕΝΑΡΙΟ 2</b>	30	3235	36.956	1.325	2.021
<b>ΣΕΝΑΡΙΟ 3</b>	60	3305	31.962	1.337	2.064
<b>ΣΕΝΑΡΙΟ 4</b>	80	3565	26.795	1.513	2.228
<b>ΣΕΝΑΡΙΟ 5</b>	100	3574	26.785	1.534	2.25

## 5.2.2 ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ $c^{ENS}$

Κατά τη διάρκεια της μελέτης των αποτελεσμάτων ως προς τον συντελεστή κόστους  $c^{ENS}$  θα πραγματοποιηθούν σενάρια κατά τα οποία θα αυξομειώνεται ο συντελεστής αυτός, ενώ παράλληλα οι υπόλοιποι συντελεστές κόστους ( $c^{lss}$ ,  $c^{SAIFI}$ ,  $c^{SAIDI}$ ) θα παραμένουν σταθεροί, και στο τέλος της κάθε περίπτωσης που θα μελετάται, θα γίνεται παρουσίαση των αποτελεσμάτων που θα προκύπτουν. Στον Πίνακα 5.19 παρουσιάζονται τα στοιχεία που θα είναι σταθερά σε όλες τις περιπτώσεις.

**Πίνακας 5.19** Σταθερές για μελέτη του  $c^{ENS}$ 

$c^{lss}$ (\$/kW)	$c^{SAIFI}$ (\$/βλάβες/έτος)	$c^{SAIDI}$ (\$/ώρες/έτος)	SAIFI <sub>min</sub> (βλάβες/έτος)	SAIDI <sub>min</sub> (ώρες/έτος)
1	1	1	1.25	1.95

Συνοπτικά, τα σενάρια που θα μελετηθούν είναι τα ακόλουθα:

- ΣΕΝΑΡΙΟ 1 (σενάριο αναφοράς):  $c^{\text{ENS}} = 1 \text{ \$/kWh/έτος}$
- ΣΕΝΑΡΙΟ 2:  $c^{\text{ENS}} = 30 \text{ \$/kWh/έτος}$
- ΣΕΝΑΡΙΟ 3:  $c^{\text{ENS}} = 60 \text{ \$/kWh/έτος}$
- ΣΕΝΑΡΙΟ 4:  $c^{\text{ENS}} = 80 \text{ \$/kWh/έτος}$
- ΣΕΝΑΡΙΟ 5:  $c^{\text{ENS}} = 100 \text{ \$/kWh/έτος}$

#### ΣΕΝΑΡΙΟ 1 (σενάριο αναφοράς): $c^{\text{ENS}} = 1 \text{ \$/kWh/έτος}$

Κατά την εκτέλεση του Σεναρίου 1, προκύπτει η τοπολογία του δικτύου που φαίνεται στο Σχήμα 5.3, το οποίο είναι ακτινικό όπως ήταν αναμενόμενο. Με ανοιχτό γκρι χρώμα εμφανίζονται οι κλάδοι που τροφοδοτούνται από τον υποσταθμό 1 και με σκούρο γκρι οι κλάδοι που τροφοδοτούνται από τον υποσταθμό 43. Στους Πίνακες 5.20 και 5.21 εμφανίζονται οι διακόπτες που έκλεισαν καθώς και αυτοί που παρέμειναν ανοιχτοί, η ετήσια ενέργεια που δεν τροφοδοτήθηκε (ENS), οι απώλειες ενεργού ισχύος, ο δείκτης αξιοπιστίας SAIFI, ο δείκτης αξιοπιστίας SAIDI και το συνολικό κόστος που προέκυψε. Τέλος στον Πίνακα 5.22 παρατίθενται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από πλευράς λογισμικού, δηλαδή ο αριθμός των μεταβλητών και εξισώσεων που χρησιμοποιήθηκαν, ο χρόνος επίλυσης που χρειάστηκε το μοντέλο για να προκύψει το βέλτιστο αποτέλεσμα καθώς και το πλήθος των επαναλήψεων.

**Πίνακας 5.20** Κατάσταση Διακοπών Σεναρίου 1

ΚΛΕΙΣΤΟΙ ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ	ΑΝΟΙΧΤΟΙ ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ
1-2, 5-6, 8-10, 12-27, 18-20, 17-32, 43-31, 33-35, 36-38	4-16, 9-23, 21-24, 19-34, 22-37, 26-40

**Πίνακας 5.21** Αποτελέσματα Σεναρίου 1

ENS (kWh)	ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΙΣΧΥΟΣ (kW)	SAIFI (βλάβες/έτος)	SAIDI (ώρες/έτος)
3305.005	31.950	1.337	2.064

**Πίνακας 5.22** Αποτελέσματα λογισμικού Σεναρίου 1

ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ	ΧΡΟΝΟΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ (seconds)	ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΠΑΝΑΛΗΨΕΩΝ
25	33	11.963	32976



**ΣΕΝΑΡΙΟ 2:  $c^{ENS} = 30 \text{ \$/kWh/έτος}$** 

Κατά την εκτέλεση του Σεναρίου 2, προκύπτει η τοπολογία του δικτύου που φαίνεται στο Σχήμα 5.3, το οποίο είναι ακτινικό όπως ήταν αναμενόμενο. Με ανοιχτό γκρι χρώμα εμφανίζονται οι κλάδοι που τροφοδοτούνται από τον υποσταθμό 1 και με σκούρο γκρι οι κλάδοι που τροφοδοτούνται από τον υποσταθμό 43. Στους Πίνακες 5.23 και 5.24 εμφανίζονται οι διακόπτες που έκλεισαν καθώς και αυτοί που παρέμειναν ανοιχτοί, η ετήσια ενέργεια που δεν τροφοδοτήθηκε (ENS), οι απώλειες ενεργού ισχύος, ο δείκτης αξιοπιστίας SAIFI, ο δείκτης αξιοπιστίας SAIDI και το συνολικό κόστος που προέκυψε. Τέλος στον Πίνακα 5.25 παρατίθενται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από πλευράς λογισμικού δηλαδή ο αριθμός των μεταβλητών και εξισώσεων που χρησιμοποιήθηκαν, ο χρόνος επίλυσης που χρειάστηκε το μοντέλο για να προκύψει το βέλτιστο αποτέλεσμα καθώς και το πλήθος των επαναλήψεων.

**Πίνακας 5.23** Κατάσταση Διακοπών Σεναρίου 2

ΚΛΕΙΣΤΟΙ ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ	ΑΝΟΙΧΤΟΙ ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ
1-2, 5-6, 8-10, 12-27, 18-20, 17-32, 43-31, 33-35, 36-38	4-16, 9-23, 21-24, 19-34, 22-37, 26-40

**Πίνακας 5.24** Αποτελέσματα Σεναρίου 2

ENS (kWh)	ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΙΣΧΥΟΣ (kW)	SAIFI (βλάβες/έτος)	SAIDI (ώρες/έτος)
3305.02	31.962	1.337	2.064

**Πίνακας 5.25** Αποτελέσματα λογισμικού Σεναρίου 2

ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ	ΧΡΟΝΟΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ (seconds)	ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΠΑΝΑΛΗΨΕΩΝ
25	33	13.021	37936

**ΣΕΝΑΡΙΟ 3:  $c^{ENS} = 60 \text{ \$/kWh/έτος}$** 

Κατά την εκτέλεση του Σεναρίου 3, προκύπτει η τοπολογία του δικτύου που φαίνεται στο Σχήμα 5.3, το οποίο είναι ακτινικό όπως ήταν αναμενόμενο. Με ανοιχτό γκρι χρώμα εμφανίζονται οι κλάδοι που τροφοδοτούνται από τον υποσταθμό 1 και με σκούρο γκρι οι κλάδοι που τροφοδοτούνται από τον υποσταθμό 43. Στους Πίνακες 5.26 και 5.27 εμφανίζονται οι διακόπτες που έκλεισαν καθώς και αυτοί που παρέμειναν ανοιχτοί, η ετήσια ενέργεια που δεν τροφοδοτήθηκε (ENS), οι απώλειες ενεργού ισχύος, ο δείκτης αξιοπιστίας SAIFI, ο δείκτης αξιοπιστίας SAIDI και το συνολικό κόστος που προέκυψε. Τέλος στον Πίνακα 5.28 παρατίθενται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από πλευράς

λογισμικού, δηλαδή ο αριθμός των μεταβλητών και εξισώσεων που χρησιμοποιήθηκαν, ο χρόνος επίλυσης που χρειάστηκε το μοντέλο για να προκύψει το βέλτιστο αποτέλεσμα καθώς και το πλήθος των επαναλήψεων.

**Πίνακας 5.26** Κατάσταση Διακοπών Σεναρίου 3

ΚΛΕΙΣΤΟΙ ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ	ΑΝΟΙΧΤΟΙ ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ
1-2, 5-6, 8-10, 12-27, 18-20, 17-32, 43-31, 33-35, 36-38	4-16, 9-23, 21-24, 19-34, 22-37, 26-40

**Πίνακας 5.27** Αποτελέσματα Σεναρίου 3

ENS (kWh)	ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΙΣΧΥΟΣ (kW)	SAIFI (βλάβες/έτος)	SAIDI (ώρες/έτος)
3305.005	32.070	1.337	2.064

**Πίνακας 5.28** Αποτελέσματα λογισμικού Σεναρίου 3

ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ	ΧΡΟΝΟΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ (seconds)	ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΠΑΝΑΛΗΨΕΩΝ
25	33	8.55	32774

**ΣΕΝΑΡΙΟ 4:**  $c^{ENS} = 80 \text{ \$/kWh/έτος}$

Κατά την εκτέλεση του Σεναρίου 4, προκύπτει η τοπολογία του δικτύου που φαίνεται στο Σχήμα 5.2, το οποίο είναι ακτινικό όπως ήταν αναμενόμενο. Με ανοιχτό γκρι χρώμα εμφανίζονται οι κλάδοι που τροφοδοτούνται από τον υποσταθμό 1 και με σκούρο γκρι οι κλάδοι που τροφοδοτούνται από τον υποσταθμό 43. Στους Πίνακες 5.29 και 5.30 εμφανίζονται οι διακόπτες που έκλεισαν καθώς και αυτοί που παρέμειναν ανοιχτοί, η ετήσια ενέργεια που δεν τροφοδοτήθηκε (ENS), οι απώλειες ενεργού ισχύος, ο δείκτης αξιοπιστίας SAIFI, ο δείκτης αξιοπιστίας SAIDI και το συνολικό κόστος που προέκυψε. Τέλος στον Πίνακα 5.31 παρατίθενται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από πλευράς λογισμικού, δηλαδή ο αριθμός των μεταβλητών και εξισώσεων που χρησιμοποιήθηκαν, ο χρόνος επίλυσης που χρειάστηκε το μοντέλο για να προκύψει το βέλτιστο αποτέλεσμα καθώς και το πλήθος των επαναλήψεων.

**Πίνακας 5.29** Κατάσταση Διακοπών Σεναρίου 4

ΑΝΟΙΧΤΟΙ ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ	ΚΛΕΙΣΤΟΙ ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ
1-2, 5-6, 8-10, 9-23, 12-27, 17-32, 43-31, 33-35, 36-38	4-16, 18-20, 21-24, 19-34, 22-37, 26-4

**Πίνακας 5.30** Αποτελέσματα Σεναρίου 4

ENS (kWh)	ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΙΣΧΥΟΣ (kW)	SAIFI (βλάβες/έτος)	SAIDI (ώρες/έτος)
3235	36.947	1.325	2.021

**Πίνακας 5.31** Αποτελέσματα λογισμικού Σεναρίου 4

ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ	ΧΡΟΝΟΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ (seconds)	ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΠΑΝΑΛΗΨΕΩΝ
25	33	9.703	15309

**ΣΕΝΑΡΙΟ 5:  $c^{ENS} = 100$  \$/kWh/έτος**

Κατά την εκτέλεση του Σεναρίου 5, προκύπτει η τοπολογία του δικτύου που φαίνεται στο Σχήμα 5.5, το οποίο είναι ακτινικό όπως ήταν αναμενόμενο. Με ανοιχτό γκρι χρώμα εμφανίζονται οι κλάδοι που τροφοδοτούνται από τον υποσταθμό 1 και με σκούρο γκρι οι κλάδοι που τροφοδοτούνται από τον υποσταθμό 43. Στους Πίνακες 5.32 και 5.33 εμφανίζονται οι διακόπτες που έκλεισαν καθώς και αυτοί που παρέμειναν ανοιχτοί, η ετήσια ενέργεια που δεν τροφοδοτήθηκε (ENS), οι απώλειες ενεργού ισχύος, ο δείκτης αξιοπιστίας SAIFI, ο δείκτης αξιοπιστίας SAIDI και το συνολικό κόστος που προέκυψε. Τέλος στον Πίνακα 5.34 παρατίθενται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από πλευράς λογισμικού, δηλαδή ο αριθμός των μεταβλητών και εξισώσεων που χρησιμοποιήθηκαν, ο χρόνος επίλυσης που χρειάστηκε το μοντέλο για να προκύψει το βέλτιστο αποτέλεσμα καθώς και το πλήθος των επαναλήψεων.

**Πίνακας 5.32** Κατάσταση Διακοπών Σεναρίου 5

ΚΛΕΙΣΤΟΙ ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ	ΑΝΟΙΧΤΟΙ ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ
1-2, 5-6, 8-10, 9-23, 21-24, 17-32, 43-31, 33-35, 36-38	4-16, 12-27, 18-20, 19-34, 22-37, 26-40

**Πίνακας 5.33** Αποτελέσματα Σεναρίου 5

ENS (kWh)	ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΙΣΧΥΟΣ (kW)	SAIFI (βλάβες/έτος)	SAIDI (ώρες/έτος)
3235	40.040	1.325	2.021

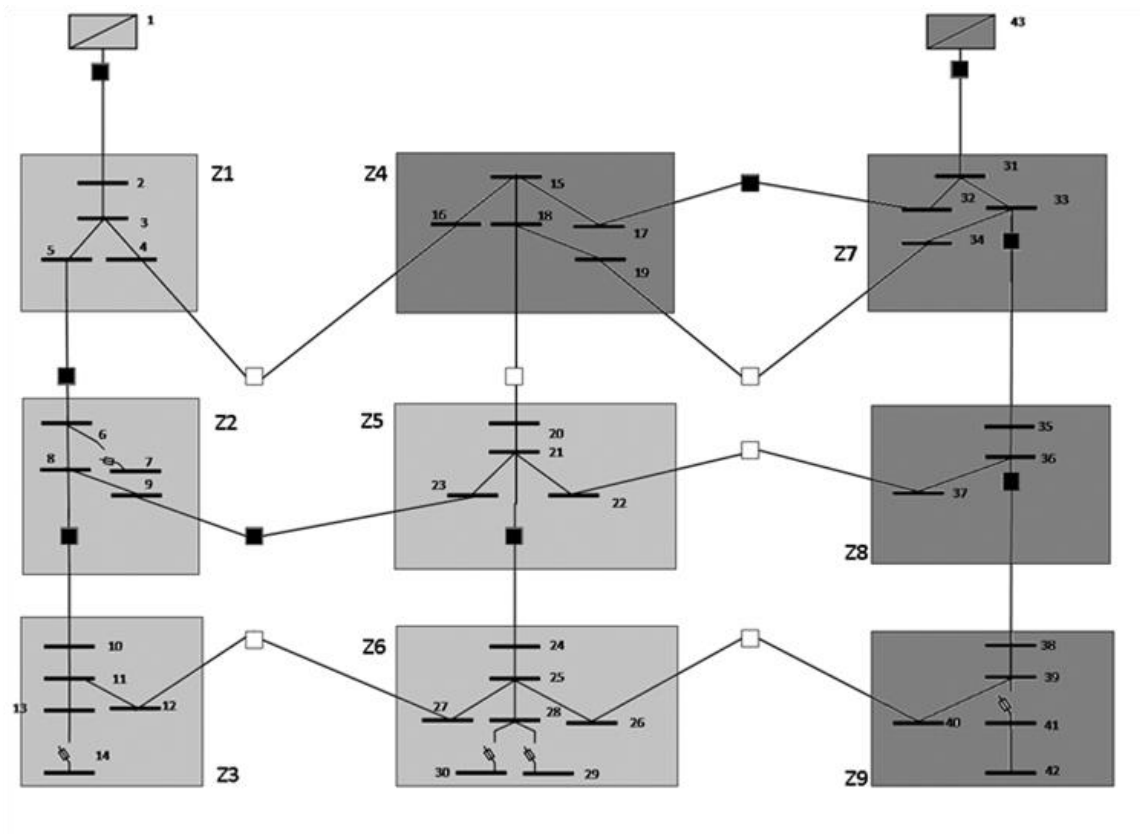
**Πίνακας 5.34** Αποτελέσματα λογισμικού Σεναρίου 5

ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ	ΧΡΟΝΟΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ (seconds)	ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΠΑΝΑΛΗΨΕΩΝ
25	33	8.938	12959

Στον Πίνακα 5.35 παρατίθεται μια πιο συνοπτική εικόνα των αποτελεσμάτων.

**Πίνακας 5.35** Συνοπτικά αποτελέσματα

	$c^{ENS}$ (\$/kWh/έτος)	ENS (kWh)	ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΙΣΧΥΟΣ (kW)	SAIFI (βλάβες /έτος)	SAIDI (ώρες /έτος)
<b>ΣΕΝΑΡΙΟ 1</b>	1	3305.005	31.950	1.337	2.064
<b>ΣΕΝΑΡΙΟ 2</b>	30	3305.002	31.962	1.337	2.064
<b>ΣΕΝΑΡΙΟ 3</b>	60	3305.002	32.070	1.337	2.064
<b>ΣΕΝΑΡΙΟ 4</b>	80	3235	36.947	1.325	2.021
<b>ΣΕΝΑΡΙΟ 5</b>	100	3235	40.040	1.325	2.021



**Σχήμα 5.5** Χαρακτηριστική τοπολογία 4 του δικτύου 43 κόμβων

### 5.2.3 ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ $c^{SAIFI}$

Κατά τη διάρκεια της μελέτης των αποτελεσμάτων ως προς τον συντελεστή κόστους  $c^{SAIFI}$  θα πραγματοποιηθούν σενάρια κατά τα οποία θα αυξομειώνεται ο συντελεστής αυτός, ενώ παράλληλα οι υπόλοιποι συντελεστές κόστους ( $c^{lss}$ ,  $c^{ENS}$ ,  $c^{SAIDI}$ ) θα παραμένουν σταθεροί, και στο τέλος της κάθε περίπτωσης που θα μελετάται, θα γίνεται παρουσίαση των αποτελεσμάτων που θα προκύπτουν. Στον Πίνακα 5.36 παρουσιάζονται τα στοιχεία που θα είναι σταθερά σε όλες τις περιπτώσεις.

**Πίνακας 5.36** Σταθερές για μελέτη του  $c^{SAIFI}$

$c^{lss}$ (\$/kW)	$c^{ENS}$ (\$/kWh/έτος)	$c^{SAIDI}$ (\$/ώρας/έτος)	$SAIFI_{max}$ (βλάβες/έτος)	$SAIDI_{max}$ (ώρας/έτος)
1	1	1	1.25	1.95

Συνοπτικά, τα σενάρια που θα μελετηθούν είναι τα ακόλουθα:

- ΣΕΝΑΡΙΟ 1 (σενάριο αναφοράς):  $c^{SAIFI} = 1$  \$/βλάβες/έτος
- ΣΕΝΑΡΙΟ 2:  $c^{SAIFI} = 30$  \$/βλάβες/έτος
- ΣΕΝΑΡΙΟ 3:  $c^{SAIFI} = 60$  \$/βλάβες/έτος
- ΣΕΝΑΡΙΟ 4:  $c^{SAIFI} = 80$  \$/βλάβες/έτος
- ΣΕΝΑΡΙΟ 5:  $c^{SAIFI} = 100$  \$/βλάβες/έτος

#### **ΣΕΝΑΡΙΟ 1 (σενάριο αναφοράς): $c^{SAIFI} = 1$ \$/βλάβες/έτος**

Κατά την εκτέλεση του Σεναρίου 1, προκύπτει η τοπολογία του δικτύου που φαίνεται στο Σχήμα 5.3, το οποίο είναι ακτινικό όπως ήταν αναμενόμενο. Με ανοιχτό γκρι χρώμα εμφανίζονται οι κλάδοι που τροφοδοτούνται από τον υποσταθμό 1 και με σκούρο γκρι οι κλάδοι που τροφοδοτούνται από τον υποσταθμό 43. Στους Πίνακες 5.37 και 5.38 εμφανίζονται οι διακόπτες που έκλεισαν καθώς και αυτοί που παρέμειναν ανοιχτοί, η ετήσια ενέργεια που δεν τροφοδοτήθηκε (ENS), οι απώλειες ενεργού ισχύος, ο δείκτης αξιοπιστίας SAIFI, ο συντ δείκτης αξιοπιστίας ελεστής SAIDI και το συνολικό κόστος που προέκυψε. Τέλος στον Πίνακα 5.39 παρατίθενται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από πλευράς λογισμικού, δηλαδή ο αριθμός των μεταβλητών και εξισώσεων που χρησιμοποιήθηκαν, ο χρόνος επίλυσης που χρειάστηκε το μοντέλο για να προκύψει το βέλτιστο αποτέλεσμα καθώς και το πλήθος των επαναλήψεων.

**Πίνακας 5.37** Κατάσταση Διακοπών Σεναρίου 1

ΚΛΕΙΣΤΟΙ ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ	ΑΝΟΙΧΤΟΙ ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ
1-2, 5-6, 8-10, 12-27, 18-20, 17-32, 43-31, 33-35, 36-38	4-16, 9-23, 21-24, 19-34, 22-37, 26-40

**Πίνακας 5.38** Αποτελέσματα Σεναρίου 1

ENS (kWh)	ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΙΣΧΥΟΣ (kW)	SAIFI (βλάβες/έτος)	SAIDI (ώρες/έτος)
3305.003	31.854	1.337	2.064

**Πίνακας 5.39** Αποτελέσματα λογισμικού Σεναρίου 1

ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ	ΧΡΟΝΟΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ (seconds)	ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΠΑΝΑΛΗΨΕΩΝ
25	33	11.839	28961

**ΣΕΝΑΡΙΟ 2:**  $c^{SAIFI} = 30$  \$/βλάβες/έτος

Κατά την εκτέλεση του Σεναρίου 2, προκύπτει η τοπολογία του δικτύου που φαίνεται στο Σχήμα 5.3, το οποίο είναι ακτινικό όπως ήταν αναμενόμενο. Με ανοιχτό γκρι χρώμα εμφανίζονται οι κλάδοι που τροφοδοτούνται από τον υποσταθμό 1 και με σκούρο γκρι οι κλάδοι που τροφοδοτούνται από τον υποσταθμό 43. Στους Πίνακες 5.40 και 5.41 εμφανίζονται οι διακόπτες που έκλεισαν καθώς και αυτοί που παρέμειναν ανοιχτοί, η ετήσια ενέργεια που δεν τροφοδοτήθηκε (ENS), οι απώλειες ενεργού ισχύος, ο δείκτης αξιοπιστίας SAIFI, ο δείκτης αξιοπιστίας SAIDI και το συνολικό κόστος που προέκυψε. Τέλος στον Πίνακα 5.42 παρατίθενται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από πλευράς λογισμικού, δηλαδή ο αριθμός των μεταβλητών και εξισώσεων που χρησιμοποιήθηκαν, ο χρόνος επίλυσης που χρειάστηκε το μοντέλο για να προκύψει το βέλτιστο αποτέλεσμα καθώς και το πλήθος των επαναλήψεων.

**Πίνακας 5.40** Κατάσταση Διακοπών Σεναρίου 2

ΚΛΕΙΣΤΟΙ ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ	ΑΝΟΙΧΤΟΙ ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ
1-2, 5-6, 8-10, 12-27, 18-20, 17-32, 43-31, 33-35, 36-38	4-16, 9-23, 21-24, 19-34, 22-37, 26-40

**Πίνακας 5.41** Αποτελέσματα Σεναρίου 2

ENS (kWh)	ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΙΣΧΥΟΣ (kW)	SAIFI (βλάβες/έτος)	SAIDI (ώρες/έτος)
3305.003	31.856	1.337	2.064

**Πίνακας 5.42** Αποτελέσματα λογισμικού Σεναρίου 2

ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ	ΧΡΟΝΟΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ (seconds)	ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΠΑΝΑΛΗΨΕΩΝ
25	33	12.570	35044

**ΣΕΝΑΡΙΟ 3:**  $c^{SAIFI} = 60$  \$/βλάβες/έτος

Κατά την εκτέλεση του Σεναρίου 3, προκύπτει η τοπολογία του δικτύου που φαίνεται στο Σχήμα 5.3, το οποίο είναι ακτινικό όπως ήταν αναμενόμενο. Με ανοιχτό γκρι χρώμα εμφανίζονται οι κλάδοι που τροφοδοτούνται από τον υποσταθμό 1 και με σκούρο γκρι οι κλάδοι που τροφοδοτούνται από τον υποσταθμό 43. Στους Πίνακες 5.43 και 5.44 εμφανίζονται οι διακοπές που έκλεισαν καθώς και αυτοί που παρέμειναν ανοιχτοί, η ετήσια ενέργεια που δεν τροφοδοτήθηκε (ENS), οι απώλειες ενεργού ισχύος, ο δείκτης αξιοπιστίας SAIFI, ο δείκτης αξιοπιστίας SAIDI και το συνολικό κόστος που προέκυψε. Τέλος στον Πίνακα 5.45 παρατίθενται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από πλευράς λογισμικού, δηλαδή ο αριθμός των μεταβλητών και εξισώσεων που χρησιμοποιήθηκαν, ο χρόνος επίλυσης που χρειάστηκε το μοντέλο για να προκύψει το βέλτιστο αποτέλεσμα καθώς και το πλήθος των επαναλήψεων.

**Πίνακας 5.43** Κατάσταση Διακοπών Σεναρίου 3

ΚΛΕΙΣΤΟΙ ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ	ΑΝΟΙΧΤΟΙ ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ
1-2, 5-6, 8-10, 12-27, 18-20, 17-32, 43-31, 33-35, 36-38	4-16, 9-23, 21-24, 19-34, 22-37, 26-40

**Πίνακας 5.44** Αποτελέσματα Σεναρίου 3

ENS (kWh)	ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΙΣΧΥΟΣ (kW)	SAIFI (βλάβες/έτος)	SAIDI (ώρες/έτος)
3305.002	31.962	1.337	2.064

**Πίνακας 5.45** Αποτελέσματα λογισμικού Σεναρίου 3

ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ	ΧΡΟΝΟΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ (seconds)	ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΠΑΝΑΛΗΨΕΩΝ
25	33	13.053	37936

**ΣΕΝΑΡΙΟ 4:  $c^{SAIFI} = 80$  \$/βλάβες/έτος**

Κατά την εκτέλεση του Σεναρίου 4, προκύπτει η τοπολογία του δικτύου που φαίνεται στο Σχήμα 5.6, το οποίο είναι ακτινικό όπως ήταν αναμενόμενο. Με ανοιχτό γκρι χρώμα εμφανίζονται οι κλάδοι που τροφοδοτούνται από τον υποσταθμό 1 και με σκούρο γκρι οι κλάδοι που τροφοδοτούνται από τον υποσταθμό 43. Στους Πίνακες 5.46 και 5.47 εμφανίζονται οι διακοπές που έκλεισαν καθώς και αυτοί που παρέμειναν ανοιχτοί, η ετήσια ενέργεια που δεν τροφοδοτήθηκε (ENS), οι απώλειες ενεργού ισχύος, ο δείκτης αξιοπιστίας SAIFI, ο δείκτης αξιοπιστίας SAIDI και το συνολικό κόστος που προέκυψε. Τέλος στον Πίνακα 5.48 παρατίθενται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από πλευράς λογισμικού, δηλαδή ο αριθμός των μεταβλητών και εξισώσεων που χρησιμοποιήθηκαν, ο χρόνος επίλυσης που χρειάστηκε το μοντέλο για να προκύψει το βέλτιστο αποτέλεσμα καθώς και το πλήθος των επαναλήψεων.

**Πίνακας 5.46** Κατάσταση Διακοπών Σεναρίου 4

ΚΛΕΙΣΤΟΙ ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ	ΑΝΟΙΧΤΟΙ ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ
1-2, 5-6, 8-10, 4-16, 18-20, 26-40, 43-31, 33-35, 36-38	9-23, 12-27, 21-24, 17-32, 19-34, 22-37,

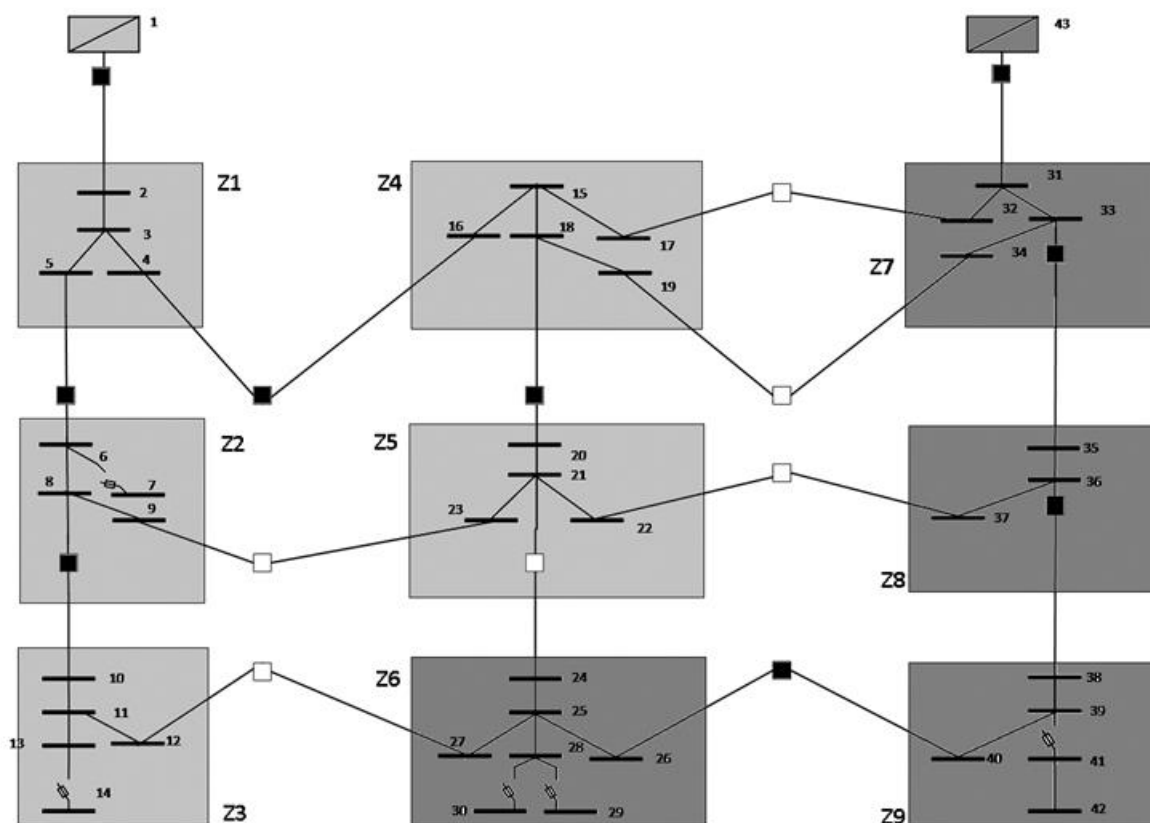
**Πίνακας 5.47** Αποτελέσματα Σεναρίου 4

ENS (kWh)	ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΙΣΧΥΟΣ (kW)	SAIFI (βλάβες/έτος)	SAIDI (ώρες/έτος)
3235.005	35.892	1.301	2.077

**Πίνακας 5.48** Αποτελέσματα λογισμικού Σεναρίου 4

ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ	ΧΡΟΝΟΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ (seconds)	ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΠΑΝΑΛΗΨΕΩΝ
25	33	13.498	53613





Σχήμα 5.6 Χαρακτηριστική τοπολογία 5 του δικτύου 43 κόμβων

**ΣΕΝΑΡΙΟ 5:**  $c^{SAIFI} = 100$  \$/βλάβες/έτος

Κατά την εκτέλεση του Σεναρίου 5, προκύπτει η τοπολογία του δικτύου που φαίνεται στο Σχήμα 5.6, το οποίο είναι ακτινικό όπως ήταν αναμενόμενο. Με ανοιχτό γκρι χρώμα εμφανίζονται οι κλάδοι που τροφοδοτούνται από τον υποσταθμό 1 και με σκούρο γκρι οι κλάδοι που τροφοδοτούνται από τον υποσταθμό 43. Στους Πίνακες 5.49 και 5.50 εμφανίζονται οι διακόπτες που έκλεισαν καθώς και αυτοί που παρέμειναν ανοιχτοί, η ετήσια ενέργεια που δεν τροφοδοτήθηκε (ENS), οι απώλειες ενεργού ισχύος, ο δείκτης αξιοπιστίας SAIFI, ο δείκτης αξιοπιστίας SAIDI και το συνολικό κόστος που προέκυψε. Τέλος στον Πίνακα 5.51 παρατίθενται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από πλευράς λογισμικού, δηλαδή ο αριθμός των μεταβλητών και εξισώσεων που χρησιμοποιήθηκαν, ο χρόνος επίλυσης που χρειάστηκε το μοντέλο για να προκύψει το βέλτιστο αποτέλεσμα καθώς και το πλήθος των επαναλήψεων.

**Πίνακας 5.49** Κατάσταση Διακοπών Σεναρίου 5

ΑΝΟΙΧΤΟΙ ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ	ΚΛΕΙΣΤΟΙ ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ
1-2, 5-6, 8-10, 4-16, 18-20, 26-40, 43-31, 33-35, 36-38	9-23, 12-27, 21-24, 17-32, 19-34, 22-37

**Πίνακας 5.50** Αποτελέσματα Σεναρίου 5

ENS (kWh)	ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΙΣΧΥΟΣ (kW)	SAIFI (βλάβες/έτος)	SAIDI (ώρες/έτος)
3235	44.230	1.301	2.077

**Πίνακας 5.51** Αποτελέσματα λογισμικού Σεναρίου 5

ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ	ΧΡΟΝΟΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ (seconds)	ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΠΑΝΑΛΗΨΕΩΝ
25	33	12.330	48852

Στον Πίνακα 5.52 παρατίθεται μια πιο συνοπτική εικόνα των αποτελεσμάτων.

**Πίνακας 5.52** Συνοπτικά αποτελέσματα

	$c^{SAIFI}$ (\$/βλάβες/ έτος)	ENS (kWh)	ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΙΣΧΥΟΣ (kW)	SAIFI (βλάβες /έτος)	SAIDI (ώρες /έτος)
<b>ΣΕΝΑΡΙΟ 1</b>	1	3305.003	31.854	1.337	2.064
<b>ΣΕΝΑΡΙΟ 2</b>	30	3305.003	31.856	1.337	2.064
<b>ΣΕΝΑΡΙΟ 3</b>	60	3305.002	31.962	1.337	2.064
<b>ΣΕΝΑΡΙΟ 4</b>	80	3235.005	35.892	1.301	2.077
<b>ΣΕΝΑΡΙΟ 5</b>	100	3235	44.230	1.301	2.077

#### 5.2.4 ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ $c^{SAIDI}$

Κατά τη διάρκεια της μελέτης των αποτελεσμάτων ως προς τον συντελεστή κόστους  $c^{SAIDI}$  θα πραγματοποιηθούν σενάρια κατά τα οποία θα αυξομειώνεται ο συντελεστής αυτός, ενώ παράλληλα οι υπόλοιποι συντελεστές κόστους ( $c^{ISS}$ ,  $c^{ENS}$ ,  $c^{SAIFI}$ ) θα παραμένουν σταθεροί, και στο τέλος της κάθε περίπτωσης που θα μελετάται, θα γίνεται παρουσίαση των αποτελεσμάτων που θα προκύπτουν. Στον Πίνακα 5.53 παρουσιάζονται τα στοιχεία που θα είναι σταθερά σε όλες τις περιπτώσεις.

**Πίνακας 5.53** Σταθερές για μελέτη του  $c^{SAIDI}$ 

$c^{ISS}$ (\$/kW)	$c^{ENS}$ (\$/kWh/έτος)	$c^{SAIFI}$ (\$/βλάβες/έτος)	$SAIFI_{max}$ (βλάβες/έτος)	$SAIDI_{max}$ (ώρες/έτος)
1	1	1	1.25	1.95

Συνοπτικά, τα σενάρια που θα μελετηθούν είναι τα ακόλουθα:

- ΣΕΝΑΡΙΟ 1 (σενάριο αναφοράς):  $c^{SAIDI} = 1$  \$/ώρες/έτος
- ΣΕΝΑΡΙΟ 2:  $c^{SAIDI} = 30$  \$/ώρες/έτος
- ΣΕΝΑΡΙΟ 3:  $c^{SAIDI} = 60$  \$/ώρες/έτος
- ΣΕΝΑΡΙΟ 4:  $c^{SAIDI} = 80$  \$/ώρες/έτος
- ΣΕΝΑΡΙΟ 5:  $c^{SAIDI} = 100$  \$/ώρες/έτος

#### ΣΕΝΑΡΙΟ 1 (σενάριο αναφοράς): $c^{SAIDI} = 1$ \$/ώρες/έτος

Κατά την εκτέλεση του Σεναρίου 1, προκύπτει η τοπολογία του δικτύου που φαίνεται στο Σχήμα 5.3, το οποίο είναι ακτινικό όπως ήταν αναμενόμενο. Με ανοιχτό γκρι χρώμα εμφανίζονται οι κλάδοι που τροφοδοτούνται από τον υποσταθμό 1 και με σκούρο γκρι οι κλάδοι που τροφοδοτούνται από τον υποσταθμό 43. Στους Πίνακες 5.54 και 5.55 εμφανίζονται οι διακόπτες που έκλεισαν καθώς και αυτοί που παρέμειναν ανοιχτοί, η ετήσια ενέργεια που δεν τροφοδοτήθηκε (ENS), οι απώλειες ενεργού ισχύος, ο δείκτης αξιοπιστίας SAIFI, ο δείκτης αξιοπιστίας SAIDI και το συνολικό κόστος που προέκυψε. Τέλος στον Πίνακα 5.56 παρατίθενται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από πλευράς λογισμικού, δηλαδή ο αριθμός των μεταβλητών και εξισώσεων που χρησιμοποιήθηκαν, ο χρόνος επίλυσης που χρειάστηκε το μοντέλο για να προκύψει το βέλτιστο αποτέλεσμα καθώς και το πλήθος των επαναλήψεων.

**Πίνακας 5.54** Κατάσταση Διακοπών Σεναρίου 1

ΚΛΕΙΣΤΟΙ ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ	ΑΝΟΙΧΤΟΙ ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ
1-2, 5-6, 8-10, 12-27, 18-20, 17-32, 43-31, 33-35, 36-38	4-16, 9-23, 21-24, 19-34, 22-37, 26-40

**Πίνακας 5.55** Αποτελέσματα Σεναρίου 1

ENS (kWh)	ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΙΣΧΥΟΣ (kW)	SAIFI (βλάβες/έτος)	SAIDI (ώρες/έτος)
3305.037	31.832	1.337	2.065

Πίνακας 5.56 Αποτελέσματα λογισμικού Σεναρίου 1

ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ	ΧΡΟΝΟΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ (seconds)	ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΠΑΝΑΛΗΨΕΩΝ
25	33	14.071	57098

ΣΕΝΑΡΙΟ 2:  $c^{SAIDI} = 30$  \$/ώρας/έτος

Κατά την εκτέλεση του Σεναρίου 2, προκύπτει η τοπολογία του δικτύου που φαίνεται στο Σχήμα 5.3, το οποίο είναι ακτινικό όπως ήταν αναμενόμενο. Με ανοιχτό γκρι χρώμα εμφανίζονται οι κλάδοι που τροφοδοτούνται από τον υποσταθμό 1 και με σκούρο γκρι οι κλάδοι που τροφοδοτούνται από τον υποσταθμό 43. Στους Πίνακες 5.57 και 5.58 εμφανίζονται οι διακόπτες που έκλεισαν καθώς και αυτοί που παρέμειναν ανοιχτοί, η ετήσια ενέργεια που δεν τροφοδοτήθηκε (ENS), οι απώλειες ενεργού ισχύος, ο δείκτης αξιοπιστίας SAIFI, ο δείκτης αξιοπιστίας SAIDI και το συνολικό κόστος που προέκυψε. Τέλος στον Πίνακα 5.59 παρατίθενται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από πλευράς λογισμικού, δηλαδή ο αριθμός των μεταβλητών και εξισώσεων που χρησιμοποιήθηκαν, ο χρόνος επίλυσης που χρειάστηκε το μοντέλο για να προκύψει το βέλτιστο αποτέλεσμα καθώς και το πλήθος των επαναλήψεων.

Πίνακας 5.57 Κατάσταση Διακοπών Σεναρίου 2

ΚΛΕΙΣΤΟΙ ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ	ΑΝΟΙΧΤΟΙ ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ
1-2, 5-6, 8-10, 12-27, 18-20, 17-32, 43-31, 33-35, 36-38	4-16, 9-23, 21-24, 19-34, 22-37, 26-40

Πίνακας 5.58 Αποτελέσματα Σεναρίου 2

ENS (kWh)	ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΙΣΧΥΟΣ (kW)	SAIFI (βλάβες/έτος)	SAIDI (ώρες/έτος)
3305.033	31.855	1.337	2.065

Πίνακας 5.59 Αποτελέσματα λογισμικού Σεναρίου 2

ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ	ΧΡΟΝΟΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ (seconds)	ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΠΑΝΑΛΗΨΕΩΝ
25	33	13.963	55449

ΣΕΝΑΡΙΟ 3:  $c^{SAIDI} = 60$  \$/ώρας/έτος

Κατά την εκτέλεση του Σεναρίου 3, προκύπτει η τοπολογία του δικτύου που φαίνεται στο Σχήμα 5.2, το οποίο είναι ακτινικό όπως ήταν αναμενόμενο. Με ανοιχτό γκρι χρώμα εμφανίζονται οι

κλάδοι που τροφοδοτούνται από τον υποσταθμό 1 και με σκούρο γκρι οι κλάδοι που τροφοδοτούνται από τον υποσταθμό 43. Στους Πίνακες 5.60 και 5.61 εμφανίζονται οι διακόπτες που έκλεισαν καθώς και αυτοί που παρέμειναν ανοιχτοί, η ετήσια ενέργεια που δεν τροφοδοτήθηκε (ENS), οι απώλειες ενεργού ισχύος, ο δείκτης αξιοπιστίας SAIFI, ο δείκτης αξιοπιστίας SAIDI και το συνολικό κόστος που προέκυψε. Τέλος στον Πίνακα 5.62 παρατίθενται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από πλευράς λογισμικού, δηλαδή ο αριθμός των μεταβλητών και εξισώσεων που χρησιμοποιήθηκαν, ο χρόνος επίλυσης που χρειάστηκε το μοντέλο για να προκύψει το βέλτιστο αποτέλεσμα καθώς και το πλήθος των επαναλήψεων.

**Πίνακας 5.60** Κατάσταση Διακοπών Σεναρίου 3

ΚΛΕΙΣΤΟΙ ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ	ΑΝΟΙΧΤΟΙ ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ
1-2, 5-6, 8-10, 9-23, 12-27, 17-32, 43-31, 33-35, 36-38	4-16, 18-20, 21-24, 19-34, 22-37, 26-40

**Πίνακας 5.61** Αποτελέσματα Σεναρίου 3

ENS (kWh)	ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΙΣΧΥΟΣ (kW)	SAIFI (βλάβες/έτος)	SAIDI (ώρες/έτος)
3235	36.905	1.325	2.021

**Πίνακας 5.62** Αποτελέσματα λογισμικού Σεναρίου 3

ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ	ΧΡΟΝΟΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ (seconds)	ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΠΑΝΑΛΗΨΕΩΝ
25	33	10.275	18298

**ΣΕΝΑΡΙΟ 4:**  $c^{SAIDI} = 80 \text{ \$/ώρας/έτος}$

Κατά την εκτέλεση του Σεναρίου 4, προκύπτει η τοπολογία του δικτύου που φαίνεται στο Σχήμα 5.3, το οποίο είναι ακτινικό όπως ήταν αναμενόμενο. Με ανοιχτό γκρι χρώμα εμφανίζονται οι κλάδοι που τροφοδοτούνται από τον υποσταθμό 1 και με σκούρο γκρι οι κλάδοι που τροφοδοτούνται από τον υποσταθμό 43. Στους Πίνακες 5.63 και 5.64 εμφανίζονται οι διακόπτες που έκλεισαν καθώς και αυτοί που παρέμειναν ανοιχτοί, η ετήσια ενέργεια που δεν τροφοδοτήθηκε (ENS), οι απώλειες ενεργού ισχύος, ο δείκτης αξιοπιστίας SAIFI, ο δείκτης αξιοπιστίας SAIDI και το συνολικό κόστος που προέκυψε. Τέλος στον Πίνακα 5.65 παρατίθενται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από πλευράς λογισμικού, δηλαδή ο αριθμός των μεταβλητών και εξισώσεων που χρησιμοποιήθηκαν, ο χρόνος επίλυσης που χρειάστηκε το μοντέλο για να προκύψει το βέλτιστο αποτέλεσμα καθώς και το πλήθος των επαναλήψεων.

**Πίνακας 5.63** Κατάσταση Διακοπών Σεναρίου 4

ΚΛΕΙΣΤΟΙ ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ	ΑΝΟΙΧΤΟΙ ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ
1-2, 5-6, 8-10, 12-27, 18-20, 17-32, 43-31, 33-35, 36-38	4-16, 9-23, 21-24, 19-34, 22-37, 26-40

**Πίνακας 5.64** Αποτελέσματα Σεναρίου 4

ENS (kWh)	ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΙΣΧΥΟΣ (kW)	SAIFI (βλάβες/έτος)	SAIDI (ώρες/έτος)
3235	37.893	1.325	2.021

**Πίνακας 5.65** Αποτελέσματα λογισμικού Σεναρίου 4

ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ	ΧΡΟΝΟΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ (seconds)	ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΠΑΝΑΛΗΨΕΩΝ
25	33	10.213	18331

**ΣΕΝΑΡΙΟ 5:**  $c^{SAIDI} = 100$  \$/ώρες/έτος

Κατά την εκτέλεση του Σεναρίου 5, προκύπτει η τοπολογία του δικτύου που φαίνεται στο Σχήμα 5.5, το οποίο είναι ακτινικό όπως ήταν αναμενόμενο. Με ανοιχτό γκρι χρώμα εμφανίζονται οι κλάδοι που τροφοδοτούνται από τον υποσταθμό 1 και με σκούρο γκρι οι κλάδοι που τροφοδοτούνται από τον υποσταθμό 43. Στους Πίνακες 5.66 και 5.67 εμφανίζονται οι διακόπτες που έκλεισαν καθώς και αυτοί που παρέμειναν ανοιχτοί, η ετήσια ενέργεια που δεν τροφοδοτήθηκε (ENS), οι απώλειες ενεργού ισχύος, ο δείκτης αξιοπιστίας SAIFI, ο δείκτης αξιοπιστίας SAIDI και το συνολικό κόστος που προέκυψε. Τέλος στον Πίνακα 5.68 παρατίθενται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από πλευράς λογισμικού, δηλαδή ο αριθμός των μεταβλητών και εξισώσεων που χρησιμοποιήθηκαν, ο χρόνος επίλυσης που χρειάστηκε το μοντέλο για να προκύψει το βέλτιστο αποτέλεσμα καθώς και το πλήθος των επαναλήψεων.

**Πίνακας 5.66** Κατάσταση Διακοπών Σεναρίου 5

ΚΛΕΙΣΤΟΙ ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ	ΑΝΟΙΧΤΟΙ ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ
1-2, 5-6, 8-10, 9-23, 21-24, 17-32, 43-31, 33-35, 36-38	4-16, 12-27, 18-20, 19-34, 22-37, 26-40

**Πίνακας 5.67** Αποτελέσματα Σεναρίου 5

ENS (kWh)	ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΙΣΧΥΟΣ (kW)	SAIFI (βλάβες/έτος)	SAIDI (ώρες/έτος)
3235	41.080	1.325	2.021

**Πίνακας 5.68** Αποτελέσματα λογισμικού Σεναρίου 5

ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ	ΧΡΟΝΟΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ (seconds)	ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΠΑΝΑΛΗΨΕΩΝ
17	29	10.370	19316

Στον Πίνακα 5.69 παρατίθεται μια πιο συνοπτική εικόνα των αποτελεσμάτων.

**Πίνακας 5.69** Συνοπτικά αποτελέσματα

	$c^{SAIDI}$ (\$/ώρας/έτος)	ENS (kWh)	ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΙΣΧΥΟΣ (kW)	SAIFI (βλάβες /έτος)	SAIDI (ώρας /έτος)
<b>ΣΕΝΑΡΙΟ 1</b>	1	3305.033	31.832	1.337	2.065
<b>ΣΕΝΑΡΙΟ 2</b>	30	3305.037	31.855	1.337	2.065
<b>ΣΕΝΑΡΙΟ 3</b>	60	3235	36.905	1.325	2.021
<b>ΣΕΝΑΡΙΟ 4</b>	80	3235	37.893	1.325	2.021
<b>ΣΕΝΑΡΙΟ 5</b>	100	3235	41.080	1.325	2.021

### 5.2.5 Σχολιασμός των Αποτελεσμάτων

Αξιολογώντας τα αποτελέσματα που προέκυψαν κατά τη μελέτη των παραπάνω σεναρίων για το δίκτυο των 43 κόμβων, προκύπτουν οι παρακάτω παρατηρήσεις και συμπεράσματα:

- Στο δίκτυο υπάρχουν 15 διακόπτες, εκ των οποίων κάθε φορά κλείνουν οι 9. Από αυτούς τους 9, οι 6 είναι κάθε φορά κοινοί και είναι οι εξής: 1-2, 5-6, 8-10, 33-35, 36-38, 31-43.
- Αναλόγως του που αποφάσιζε ο διαχειριστής του δικτύου να δώσει μεγαλύτερη βαρύτητα, προέκυπτε και διαφορετική τοπολογία, καθώς και διαφορετικά αποτελέσματα, τόσο για τις απώλειες ενεργού ισχύος, όσο και για τους δείκτες αξιοπιστίας.
- Το μέγεθος το οποίο φαίνεται να ήταν το πιο ευαίσθητο σε μεταβολές και είχε τη μεγαλύτερη επιρροή στα αποτελέσματα της βελτιστοποίησης και στη βέλτιστη τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης ήταν οι απώλειες ενεργού ισχύος.
- Παρατηρήθηκε στην περίπτωση της μελέτης του συντελεστή κόστους  $csaifi$  το εξής: καθώς η τιμή του  $csaifi$  αυξανόταν, ενώ θα έπρεπε να μειωθεί ο δείκτης SAIDI όπως ήταν αναμενόμενο, σε κάποιες περιπτώσεις αυτός αυξήθηκε.

Συνοψίζοντας, τα συμπεράσματα που προέκυψαν είναι τα εξής:

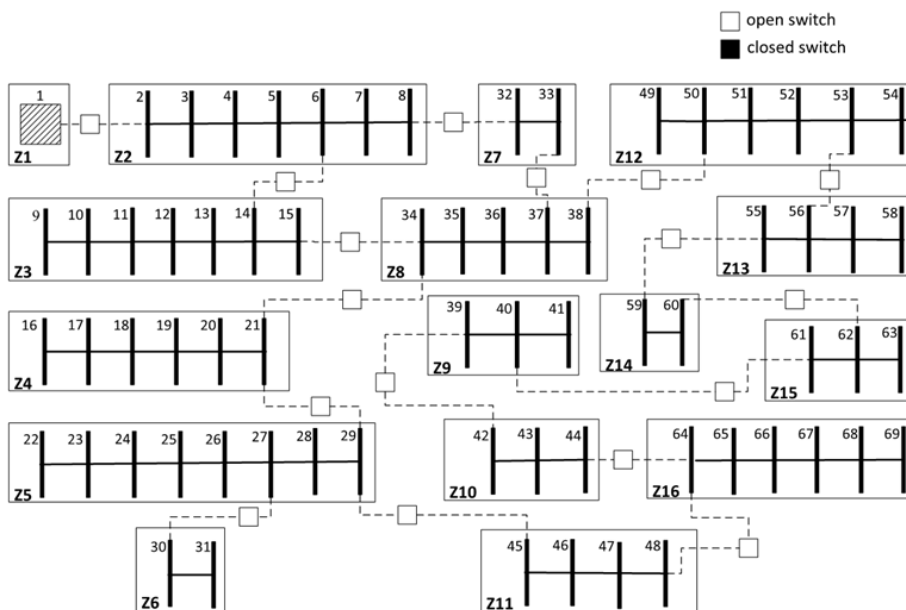
1. Οι απώλειες ενεργού ισχύος παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη ευαισθησία από όλα τα μεγέθη.
2. Κατά τη μείωση των απωλειών ενεργού ισχύος, παρατηρήθηκε αύξηση στους ENS, SAIFI και SAIDI.
3. Κατά τη μείωση των δεικτών αξιοπιστίας ENS, SAIFI και SAIDI, σημειώθηκε αύξηση των απωλειών ενεργού ισχύος.

### 5.3 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΤΩΝ 69 ΚΟΜΒΩΝ

Το δίκτυο των 69 κόμβων που εμφανίζεται στο σχήμα 5.7 είναι ένα ακτινικό δίκτυο διανομής με δύο υποσταθμούς, 53 κλάδους, 17 διακοπτικά στοιχεία και 16 ζώνες φόρτισης (εκ των οποίων η 1<sup>η</sup> περιλαμβάνει μόνο τον υποσταθμό). Είναι ονομαστικής τάσης 7.967 kV, ενώ τα όρια τάσεων στους κόμβους είναι  $\pm 1\%$  της ονομαστικής. Στον Πίνακα 5.70 φαίνονται οι διακόπτες που υπάρχουν στο δίκτυο, οι κλάδοι, οι ασφάλειες καθώς και οι υποσταθμοί του δικτύου.

#### 5.3.1 ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ $c^{lss}$

Κατά τη διάρκεια της μελέτης των αποτελεσμάτων ως προς τον συντελεστή κόστους  $c^{lss}$  θα πραγματοποιηθούν σενάρια κατά τα οποία θα αυξομειώνεται ο συντελεστής αυτός, ενώ παράλληλα οι υπόλοιποι συντελεστές κόστους ( $c^{ENS}$ ,  $c^{SAIFI}$ ,  $c^{SAIDI}$ ) θα παραμένουν σταθεροί. Στο τέλος της κάθε περίπτωσης, θα παρουσιάζονται τα αντίστοιχα αποτελέσματα. Στον Πίνακα 5.71 παρουσιάζονται τα στοιχεία που θα είναι σταθερά σε όλες τις περιπτώσεις.



Σχήμα 5.7 Δίκτυο 69 κόμβων



**Πίνακας 5.70:** Στοιχεία του δικτύου 69 κόμβων

<b>ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ</b>	1-2, 8-32, 6-14, 33-37, 38-50, 53-56, 15-34, 55-59, 21-34, 60-62, 21-29, 39-42, 40-61, 44-64, 27-30, 29-45, 48-64
<b>ΚΛΑΔΟΙ (χωρισμένοι ανά ζώνη)</b>	Z1: Ο υποσταθμός 1 Z2: 2-3, 3-4, 4-5, 5-6, 6-7, 7-8 Z3: 9-10, 10-11, 11-12, 12-13, 13-14, 14-15 Z4: 16-17, 17-18, 18-19, 19-20, 20-21 Z5: 22-23, 23-24, 24-25, 25-26, 26-27, 27-28, 28-29 Z6: 30-31 Z7: 32-33 Z8: 34-35, 35-36, 36-37, 37-38 Z9: 39-40, 40-41 Z10: 42-43, 43-44 Z11: 45-46, 46-47, 47-48 Z12: 49-50, 50-51, 51-52, 52-53, 53-54 Z13: 55-56, 56-57, 57-58 Z14: 59-60 Z15: 61-62, 62-63 Z16: 64-65, 65-66, 66-67, 67-68, 68-69
<b>ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΙ</b>	1

**Πίνακας 5.71:** Σταθερές για μελέτη του  $c^{lss}$ 

$c^{ENS}$ (\$/kWh/έτος)	$c^{SAIFI}$ (\$/βλάβες/έτος)	$c^{SAIDI}$ (\$/ώρες/έτος)	$SAIFI_{max}$ (βλάβες/έτος)	$SAIDI_{max}$ (ώρες/έτος)
1	1	1	2.68	5.36

Συνοπτικά, τα σενάρια που θα μελετηθούν είναι τα ακόλουθα:

- ΣΕΝΑΡΙΟ 1(σενάριο αναφοράς):  $c^{lss} = 1$  \$/kW
- ΣΕΝΑΡΙΟ 2:  $c^{lss} = 30$  \$/kW
- ΣΕΝΑΡΙΟ 3:  $c^{lss} = 60$  \$/kW
- ΣΕΝΑΡΙΟ 4:  $c^{lss} = 80$  \$/kW
- ΣΕΝΑΡΙΟ 5:  $c^{lss} = 100$  \$/kW

**ΣΕΝΑΡΙΟ 1** (σενάριο αναφοράς):  $c^{lss} = 1$  \$/kW

Κατά την εκτέλεση του Σεναρίου 1, προκύπτει η τοπολογία του δικτύου που φαίνεται στο Σχήμα 5.8, το οποίο είναι ακτινικό όπως ήταν αναμενόμενο. Στους Πίνακες 5.72 και 5.73 εμφανίζονται οι διακόπτες που έκλεισαν, καθώς και αυτοί που παρέμειναν ανοιχτοί, η ετήσια ενέργεια που δεν

τροφοδοτήθηκε (ENS), οι απώλειες ενεργού ισχύος, ο δείκτης αξιοπιστίας SAIFI, ο δείκτης αξιοπιστίας SAIDI και το συνολικό κόστος που προέκυψε. Τέλος, στον Πίνακα 5.74 παρατίθενται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από πλευράς λογισμικού, δηλαδή ο αριθμός των μεταβλητών και εξισώσεων που χρησιμοποιήθηκαν, ο χρόνος επίλυσης που χρειάστηκε το μοντέλο για να προκύψει το βέλτιστο αποτέλεσμα, καθώς και το πλήθος των επαναλήψεων.

**Πίνακας 5.72** Κατάσταση Διακοπών Σεναρίου 1

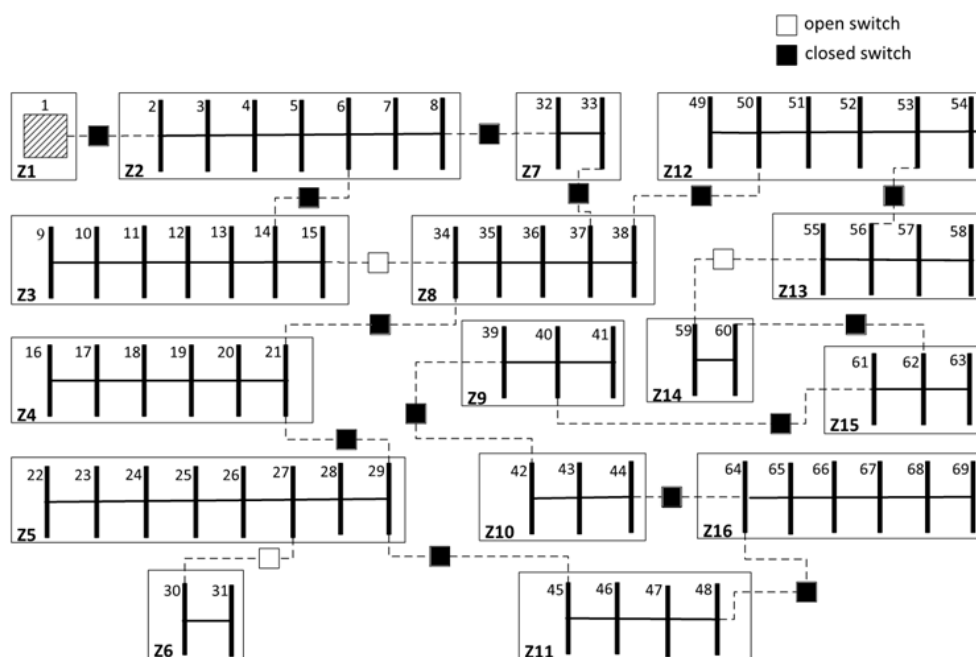
ΚΛΕΙΣΤΟΙ ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ	ΑΝΟΙΧΤΟΙ ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ
1-2, 8-32, 6-14, 33-37, 38-50, 53-56, 21-34, 60-62, 21-29, 39-42, 40-61, 44-64, 27-30, 29-45, 48-64	15-34, 55-59

**Πίνακας 5.73** Αποτελέσματα Σεναρίου 1

ENS (kWh)	ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΙΣΧΥΟΣ (kW)	SAIFI (βλάβες/έτος)	SAIDI (ώρες/έτος)
1829	23	2.18	4.37

**Πίνακας 5.74** Αποτελέσματα λογισμικού Σεναρίου 1

ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ	ΧΡΟΝΟΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ (seconds)	ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΠΑΝΑΛΗΨΕΩΝ
25	33	79.8	173559



**Σχήμα 5.8** Χαρακτηριστική τοπολογία 1 του δικτύου 69 κόμβων

**ΣΕΝΑΡΙΟ 2:  $c^{lss} = 30$  \$/kW**

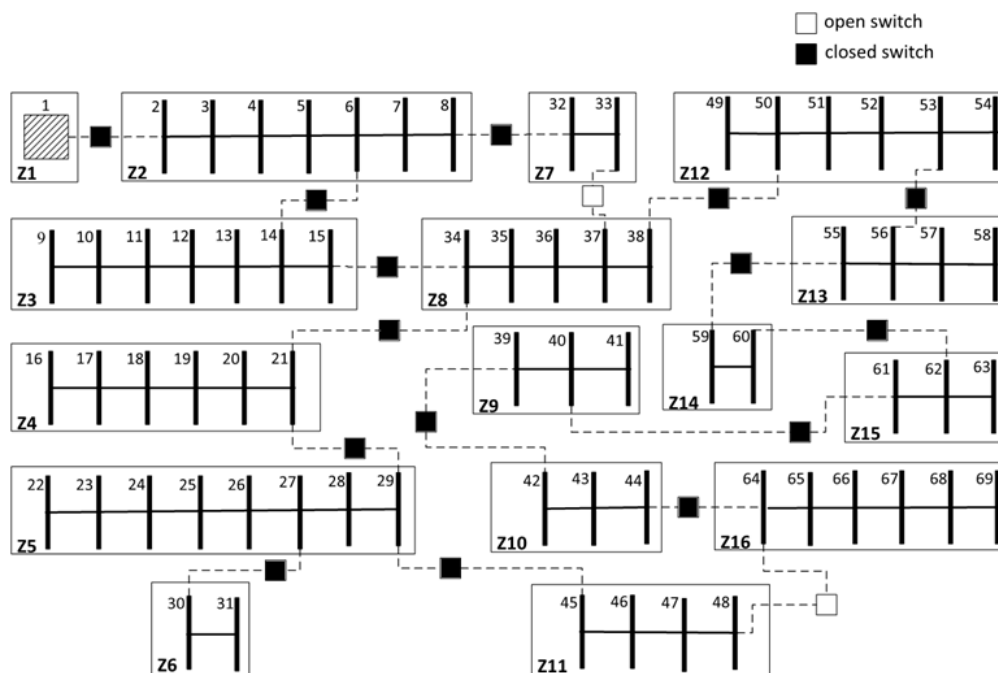
Κατά την εκτέλεση του Σεναρίου 2, προκύπτει η τοπολογία του δικτύου που φαίνεται στο Σχήμα 5.9, το οποίο είναι ακτινικό όπως ήταν αναμενόμενο. Στους Πίνακες 5.75 και 5.76 εμφανίζονται οι διακόπτες που έκλεισαν, καθώς και αυτοί που παρέμειναν ανοιχτοί, η ετήσια ενέργεια που δεν τροφοδοτήθηκε (ENS), οι απώλειες ενεργού ισχύος, ο δείκτης αξιοπιστίας SAIFI, ο συντελες δείκτης αξιοπιστίας στής SAIDI και το συνολικό κόστος που προέκυψε. Τέλος, στον Πίνακα 5.77 παρατίθενται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από πλευράς λογισμικού, δηλαδή ο αριθμός των μεταβλητών και εξισώσεων που χρησιμοποιήθηκαν, ο χρόνος επίλυσης που χρειάστηκε το μοντέλο για να προκύψει το βέλτιστο αποτέλεσμα, καθώς και το πλήθος των επαναλήψεων.

**Πίνακας 5.75** Κατάσταση Διακοπών Σεναρίου 2

ΚΛΕΙΣΤΟΙ ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ	ΑΝΟΙΧΤΟΙ ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ
1-2, 8-32, 6-14, 38-50, 53-56, 15-34, 55-59, 21-34, 60-62, 21-29, 39-42, 40-61, 44-64, 27-30, 29-45	33-37, 48-64

**Πίνακας 5.76** Αποτελέσματα Σεναρίου 2

ENS (kWh)	ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΙΣΧΥΟΣ (kW)	SAIFI (βλάβες/έτος)	SAIDI (ώρες/έτος)
1968	20	2.26	2.021

**Σχήμα 5.9** Χαρακτηριστική τοπολογία 2 του δικτύου 69 κόμβων

Πίνακας 5.77 Αποτελέσματα λογισμικού Σεναρίου 2

ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ	ΧΡΟΝΟΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ (seconds)	ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΠΑΝΑΛΗΨΕΩΝ
25	33	24.41	51718

**ΣΕΝΑΡΙΟ 3:  $c^{lss} = 60$  \$/kW**

Κατά την εκτέλεση του Σεναρίου 3, προκύπτει η τοπολογία του δικτύου που φαίνεται στο Σχήμα 5.10, το οποίο είναι ακτινικό όπως ήταν αναμενόμενο. Στους Πίνακες 5.78 και 5.79 εμφανίζονται οι διακόπτες που έκλεισαν καθώς και αυτοί που παρέμειναν ανοιχτοί, η ετήσια ενέργεια που δεν τροφοδοτήθηκε (ENS), οι απώλειες ενεργού ισχύος, ο δείκτης αξιοπιστίας SAIFI, ο δείκτης αξιοπιστίας SAIDI και το συνολικό κόστος που προέκυψε. Τέλος στον Πίνακα 5.80 παρατίθενται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από πλευράς λογισμικού, δηλαδή ο αριθμός των μεταβλητών και εξισώσεων που χρησιμοποιήθηκαν, ο χρόνος επίλυσης που χρειάστηκε το μοντέλο για να προκύψει το βέλτιστο αποτέλεσμα καθώς και το πλήθος των επαναλήψεων.

Πίνακας 5.78 Κατάσταση Διακοπών Σεναρίου 3

ΚΛΕΙΣΤΟΙ ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ	ΑΝΟΙΧΤΟΙ ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ
1-2, 6-14, 33-37, 38-50, 53-56, 15-34, 55-59, 21-34, 60-62, 21-29, 40-61, 44-64, 27-30, 29-45, 48-64	8-32, 39-42

Πίνακας 5.79 Αποτελέσματα Σεναρίου 3

ENS (kWh)	ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΙΣΧΥΟΣ (kW)	SAIFI (βλάβες/έτος)	SAIDI (ώρες/έτος)
2095	19	2.39	4.78

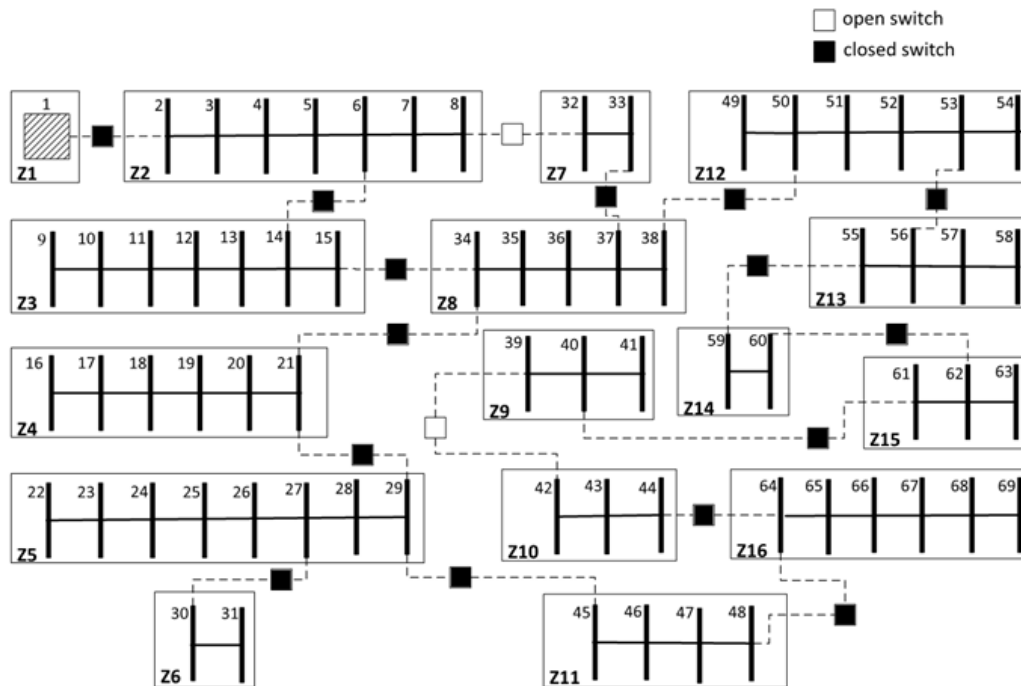
Πίνακας 5.80 Αποτελέσματα λογισμικού Σεναρίου 3

ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ	ΧΡΟΝΟΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ (seconds)	ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΠΑΝΑΛΗΨΕΩΝ
25	33	22.78	38887

**ΣΕΝΑΡΙΟ 4:  $c^{lss} = 80$  \$/kW**

Κατά την εκτέλεση του Σεναρίου 4, προκύπτει η τοπολογία του δικτύου που φαίνεται στο Σχήμα 5.11, το οποίο είναι ακτινικό όπως ήταν αναμενόμενο. Στους Πίνακες 5.81 και 5.82

εμφανίζονται οι διακόπτες που έκλεισαν καθώς και αυτοί που παρέμειναν ανοιχτοί, η ετήσια ενέργεια που δεν τροφοδοτήθηκε (ENS), οι απώλειες ενεργού ισχύος, ο δείκτης αξιοπιστίας SAIFI, ο δείκτης αξιοπιστίας SAIDI και το συνολικό κόστος που προέκυψε. Τέλος στον Πίνακα 5.83 παρατίθενται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από πλευράς λογισμικού, δηλαδή ο αριθμός των μεταβλητών και εξισώσεων που χρησιμοποιήθηκαν, ο χρόνος επίλυσης που χρειάστηκε το μοντέλο για να προκύψει το βέλτιστο αποτέλεσμα καθώς και το πλήθος των επαναλήψεων.



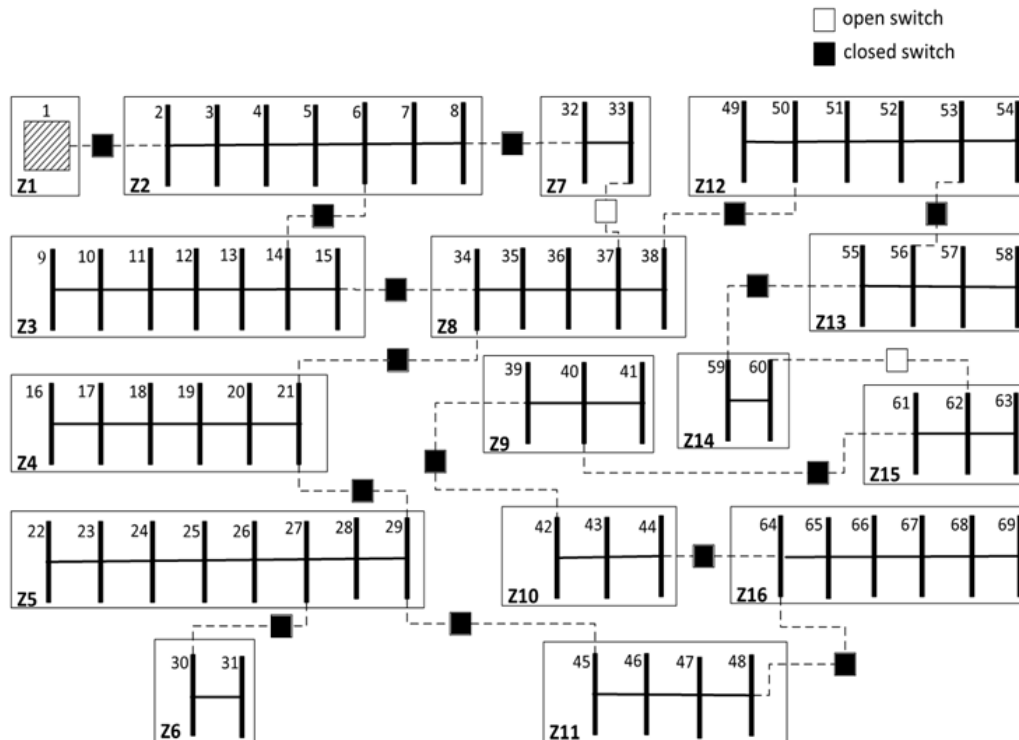
Σχήμα 5.10 Χαρακτηριστική τοπολογία 3 του δικτύου 69 κόμβων

Πίνακας 5.81 Κατάσταση Διακοπών Σεναρίου 4

ΚΛΕΙΣΤΟΙ ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ	ΑΝΟΙΧΤΟΙ ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ
1-2, 8-32, 6-14, 38-50, 53-56, 15-34, 55-59, 21-34, 21-29, 39-42, 40-61, 44-64, 27-30, 29-45, 48-64	33-37, 60-62

Πίνακας 5.82 Αποτελέσματα Σεναρίου 4

ENS (kWh)	ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΙΣΧΥΟΣ (kW)	SAIFI (βλάβες/έτος)	SAIDI (ώρες/έτος)
2124	18.2	2.42	4.48



Σχήμα 5.11 Χαρακτηριστική τοπολογία 4 του δικτύου 69 κόμβων

Πίνακας 5.83 Αποτελέσματα λογισμικού Σεναρίου 4

ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ	ΧΡΟΝΟΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ (seconds)	ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΠΑΝΑΛΗΨΕΩΝ
25	33	26.81	62992

ΣΕΝΑΡΙΟ 5:  $c^{lss} = 100 \text{ \$/kW}$

Κατά την εκτέλεση του Σεναρίου 5, προκύπτει η τοπολογία του δικτύου που φαίνεται στο Σχήμα 5.12, το οποίο είναι ακτινικό όπως ήταν αναμενόμενο. Στους Πίνακες 5.84 και 5.85 εμφανίζονται οι διακόπτες που έκλεισαν καθώς και αυτοί που παρέμειναν ανοιχτοί, η ετήσια ενέργεια που δεν τροφοδοτήθηκε (ENS), οι απώλειες ενεργού ισχύος, ο δείκτης αξιοπιστίας SAIFI, ο δείκτης αξιοπιστίας SAIDI και το συνολικό κόστος που προέκυψε. Τέλος στον Πίνακα 5.86 παρατίθενται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από πλευράς λογισμικού, δηλαδή ο αριθμός των μεταβλητών και εξισώσεων που χρησιμοποιήθηκαν, ο χρόνος επίλυσης που χρειάστηκε το μοντέλο για να προκύψει το βέλτιστο αποτέλεσμα καθώς και το πλήθος των επαναλήψεων.

Πίνακας 5.84 Κατάσταση Διακοπών Σεναρίου 5

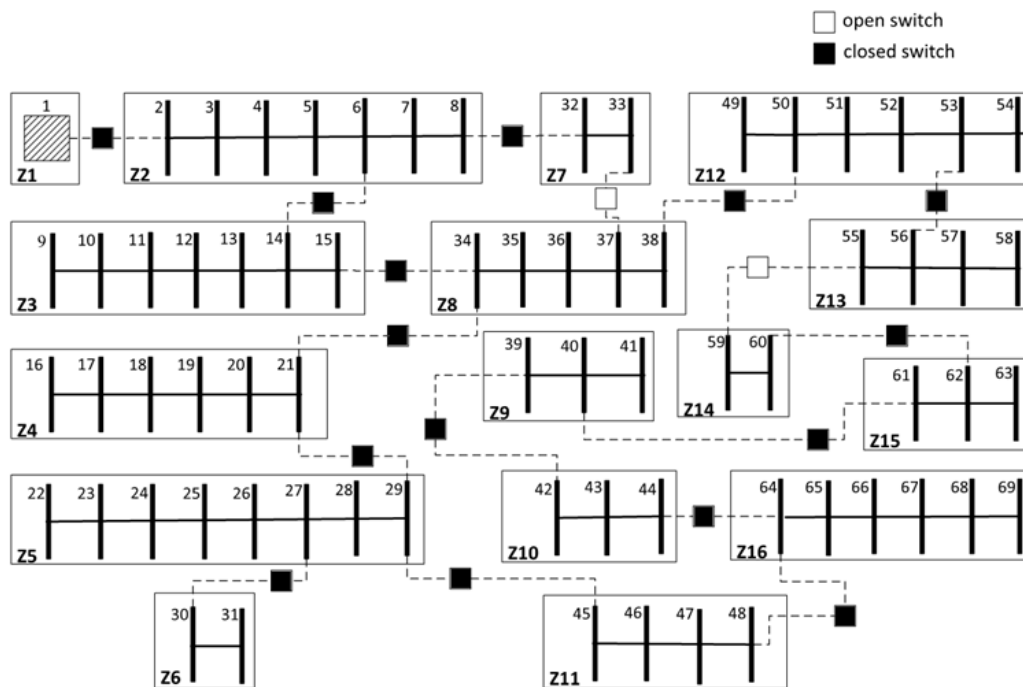
ΚΛΕΙΣΤΟΙ ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ	ΑΝΟΙΧΤΟΙ ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ
1-2, 8-32, 6-14, 38-50, 53-56, 15-34, 21-34, 60-62, 21-29, 39-42, 40-61, 44-64, 27-30, 29-45, 48-64	33-37, 55-59

Πίνακας 5.85 Αποτελέσματα Σεναρίου 5

ENS (kWh)	ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΙΣΧΥΟΣ (kW)	SAIFI (βλάβες/έτος)	SAIDI (ώρες/έτος)
2214	18	2.58	5.16

Πίνακας 5.86 Αποτελέσματα λογισμικού Σεναρίου 5

ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ	ΧΡΟΝΟΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ (seconds)	ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΠΑΝΑΛΗΨΕΩΝ
25	33	22.59	43055



Σχήμα 5.12 Χαρακτηριστική τοπολογία 5 του δικτύου 69 κόμβων

Στον Πίνακα 5.87 παρατίθεται μια πιο συνοπτική εικόνα των αποτελεσμάτων:

Πίνακας 5.87 Συνοπτικά αποτελέσματα

	$c^{lss}$ (\$/kW)	ENS (kWh)	ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΙΣΧΥΟΣ (kW)	SAIFI (βλάβες /έτος)	SAIDI (ώρες /έτος)
<b>ΣΕΝΑΡΙΟ 1</b>	1	1829	23	2.18	4.37
<b>ΣΕΝΑΡΙΟ 2</b>	30	1968	20	2.26	4.52
<b>ΣΕΝΑΡΙΟ 3</b>	60	2095	19	2.39	4.78
<b>ΣΕΝΑΡΙΟ 4</b>	80	2124	18.2	2.42	4.84
<b>ΣΕΝΑΡΙΟ 5</b>	100	2214	18	2.58	5.16

### 5.3.2 ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ $c^{ENS}$

Κατά τη διάρκεια της μελέτης των αποτελεσμάτων ως προς τον συντελεστή κόστους  $c^{ENS}$  θα πραγματοποιηθούν σενάρια κατά τα οποία θα αυξομειώνεται ο συντελεστής αυτός, ενώ παράλληλα οι υπόλοιποι συντελεστές κόστους ( $c^{lss}$ ,  $c^{SAIFI}$ ,  $c^{SAIDI}$ ) θα παραμένουν σταθεροί. Στο τέλος της κάθε περίπτωσης, θα παρουσιάζονται τα αντίστοιχα αποτελέσματα. Στον Πίνακα 5.90 παρουσιάζονται τα στοιχεία που θα είναι σταθερά σε όλες τις περιπτώσεις.

Πίνακας 5.90 Σταθερές για μελέτη του  $c^{ENS}$ 

$c^{lss}$ (\$/kW)	$c^{SAIFI}$ (\$/βλάβες/έτος)	$c^{SAIDI}$ (\$/ώρες/έτος)	SAIFI <sub>min</sub> (βλάβες/έτος)	SAIDI <sub>min</sub> (ώρες/έτος)
1	1	1	2.68	5.36

Συνοπτικά, τα σενάρια που θα μελετηθούν είναι τα ακόλουθα:

- ΣΕΝΑΡΙΟ 1 (σενάριο αναφοράς):  $c^{ENS} = 1$  \$/kWh/έτος
- ΣΕΝΑΡΙΟ 2:  $c^{ENS} = 20$  \$/kWh/έτος
- ΣΕΝΑΡΙΟ 3:  $c^{ENS} = 40$  \$/kWh/έτος
- ΣΕΝΑΡΙΟ 4:  $c^{ENS} = 70$  \$/kWh/έτος
- ΣΕΝΑΡΙΟ 5:  $c^{ENS} = 100$  \$/kWh/έτος



**ΣΕΝΑΡΙΟ 1** (σενάριο αναφοράς):  $c^{ENS} = 1 \text{ \$/kWh/έτος}$ 

Κατά την εκτέλεση του Σεναρίου 1, προκύπτει η τοπολογία του δικτύου που φαίνεται στο Σχήμα 5.8, το οποίο είναι ακτινικό όπως ήταν αναμενόμενο. Στους Πίνακες 5.91 και 5.92 εμφανίζονται οι διακόπτες που έκλεισαν καθώς και αυτοί που παρέμειναν ανοιχτοί, η ετήσια ενέργεια που δεν τροφοδοτήθηκε (ENS), οι απώλειες ενεργού ισχύος, ο δείκτης αξιοπιστίας SAIFI, ο δείκτης αξιοπιστίας SAIDI και το συνολικό κόστος που προέκυψε. Τέλος στον Πίνακα 5.93 παρατίθενται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από πλευράς λογισμικού, δηλαδή ο αριθμός των μεταβλητών και εξισώσεων που χρησιμοποιήθηκαν, ο χρόνος επίλυσης που χρειάστηκε το μοντέλο για να προκύψει το βέλτιστο αποτέλεσμα καθώς και το πλήθος των επαναλήψεων.

**Πίνακας 5.91** Κατάσταση Διακοπών Σεναρίου 1

ΚΛΕΙΣΤΟΙ ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ	ΑΝΟΙΧΤΟΙ ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ
1-2, 8-32, 6-14, 33-37, 38-50, 53-56, 21-34, 60-62, 21-29, 39-42, 40-61, 44-64, 27-30, 29-45, 48-64	15-34, 55-59

**Πίνακας 5.92** Αποτελέσματα Σεναρίου 1

ENS (kWh)	ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΙΣΧΥΟΣ (kW)	SAIFI (βλάβες/έτος)	SAIDI (ώρες/έτος)
1829	23	2.18	4.37

**Πίνακας 5.93** Αποτελέσματα λογισμικού Σεναρίου 1

ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ	ΧΡΟΝΟΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ (seconds)	ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΠΑΝΑΛΗΨΕΩΝ
25	33	88.23	173559

**ΣΕΝΑΡΙΟ 2:**  $c^{ENS} = 20 \text{ \$/kWh/έτος}$ 

Κατά την εκτέλεση του Σεναρίου 2, προκύπτει η τοπολογία του δικτύου που φαίνεται στο Σχήμα 5.13, το οποίο είναι ακτινικό όπως ήταν αναμενόμενο. Στους Πίνακες 5.94 και 5.95 εμφανίζονται οι διακόπτες που έκλεισαν καθώς και αυτοί που παρέμειναν ανοιχτοί, η ετήσια ενέργεια που δεν τροφοδοτήθηκε (ENS), οι απώλειες ενεργού ισχύος, ο δείκτης αξιοπιστίας SAIFI, ο δείκτης αξιοπιστίας SAIDI και το συνολικό κόστος που προέκυψε. Τέλος στον Πίνακα 5.96 παρατίθενται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από πλευράς λογισμικού δηλαδή ο αριθμός των μεταβλητών και εξισώσεων που χρησιμοποιήθηκαν, ο χρόνος επίλυσης που χρειάστηκε το μοντέλο για να προκύψει το βέλτιστο αποτέλεσμα καθώς και το πλήθος των επαναλήψεων.

**Πίνακας 5.94** Κατάσταση Διακοπών Σεναρίου 2

ΚΛΕΙΣΤΟΙ ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ	ΑΝΟΙΧΤΟΙ ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ
1-2, 8-32, 6-14, 33-37, 38-50, 53-56, 55-59, 21-34, 60-62, 21-29, 40-61, 44-64, 27-30, 29-45, 48-64	15-34, 39-42

**Πίνακας 5.95** Αποτελέσματα Σεναρίου 2

ENS (kWh)	ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΙΣΧΥΟΣ (kW)	SAIFI (βλάβες/έτος)	SAIDI (ώρες/έτος)
1788	23	2.09	4.12

**Πίνακας 5.96** Αποτελέσματα λογισμικού Σεναρίου 2

ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ	ΧΡΟΝΟΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ (seconds)	ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΠΑΝΑΛΗΨΕΩΝ
25	33	10.11	10094

**ΣΕΝΑΡΙΟ 3:**  $c^{ENS} = 40 \text{ \$/kWh/έτος}$

Κατά την εκτέλεση του Σεναρίου 3, προκύπτει η τοπολογία του δικτύου που φαίνεται στο Σχήμα 5.13, το οποίο είναι ακτινικό όπως ήταν αναμενόμενο. Στους Πίνακες 5.97 και 5.98 εμφανίζονται οι διακόπτες που έκλεισαν καθώς και αυτοί που παρέμειναν ανοιχτοί, η ετήσια ενέργεια που δεν τροφοδοτήθηκε (ENS), οι απώλειες ενεργού ισχύος, ο δείκτης αξιοπιστίας SAIFI, ο δείκτης αξιοπιστίας SAIDI και το συνολικό κόστος που προέκυψε. Τέλος στον Πίνακα 5.99 παρατίθενται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από πλευράς λογισμικού, δηλαδή ο αριθμός των μεταβλητών και εξισώσεων που χρησιμοποιήθηκαν, ο χρόνος επίλυσης που χρειάστηκε το μοντέλο για να προκύψει το βέλτιστο αποτέλεσμα καθώς και το πλήθος των επαναλήψεων.

**Πίνακας 5.97** Κατάσταση Διακοπών Σεναρίου 3

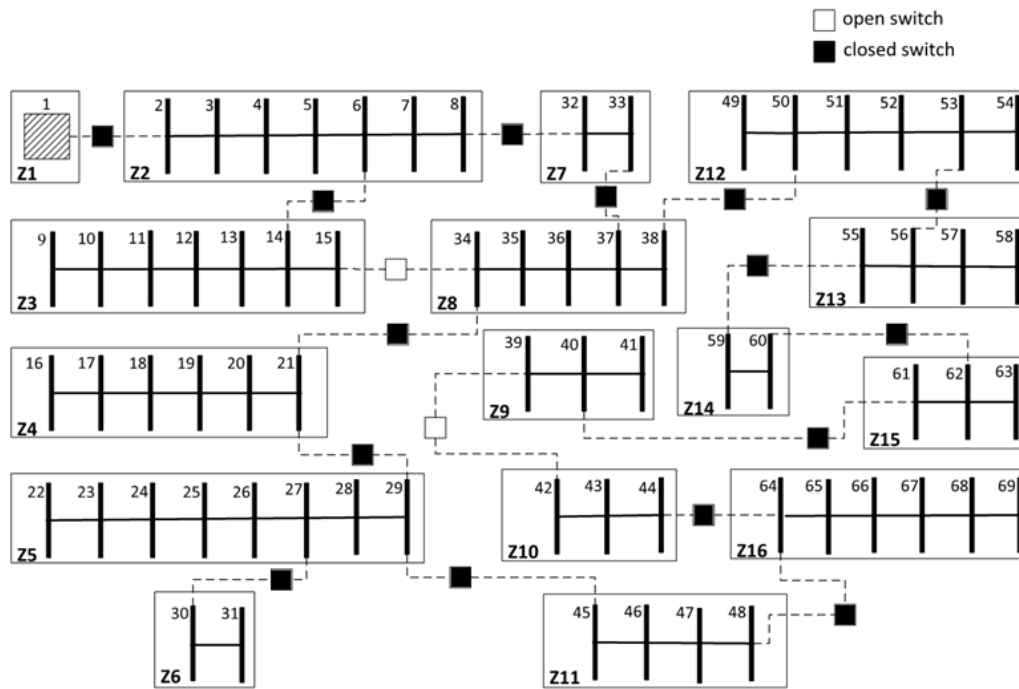
ΚΛΕΙΣΤΟΙ ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ	ΑΝΟΙΧΤΟΙ ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ
1-2, 8-32, 6-14, 33-37, 38-50, 53-56, 55-59, 21-34, 60-62, 21-29, 40-61, 44-64, 27-30, 29-45, 48-64	15-34, 39-42

**Πίνακας 5.98** Αποτελέσματα Σεναρίου 3

ENS (kWh)	ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΙΣΧΥΟΣ (kW)	SAIFI (βλάβες/έτος)	SAIDI (ώρες/έτος)
1771	22	2.06	4.012

Πίνακας 5.99 Αποτελέσματα λογισμικού Σεναρίου 3

ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ	ΧΡΟΝΟΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ (seconds)	ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΠΑΝΑΛΗΨΕΩΝ
25	33	95.98	262004



Σχήμα 5.13 Χαρακτηριστική τοπολογία 6 του δικτύου 69 κόμβων

**ΣΕΝΑΡΙΟ 4:**  $c^{ENS} = 70 \text{ \$/kWh/έτος}$

Κατά την εκτέλεση του Σεναρίου 4, προκύπτει η τοπολογία του δικτύου που φαίνεται στο Σχήμα 5.13, το οποίο είναι ακτινικό όπως ήταν αναμενόμενο. Στους Πίνακες 5.100 και 5.101 εμφανίζονται οι διακόπτες που έκλεισαν καθώς και αυτοί που παρέμειναν ανοιχτοί, η ετήσια ενέργεια που δεν τροφοδοτήθηκε (ENS), οι απώλειες ενεργού ισχύος, ο δείκτης αξιοπιστίας SAIFI, ο δείκτης αξιοπιστίας SAIDI και το συνολικό κόστος που προέκυψε. Τέλος στον Πίνακα 5.102 παρατίθενται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από πλευράς λογισμικού, δηλαδή ο αριθμός των μεταβλητών και εξισώσεων που χρησιμοποιήθηκαν, ο χρόνος επίλυσης που χρειάστηκε το μοντέλο για να προκύψει το βέλτιστο αποτέλεσμα καθώς και το πλήθος των επαναλήψεων.

**Πίνακας 5.100** Κατάσταση Διακοπών Σεναρίου 4

ΑΝΟΙΧΤΟΙ ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ	ΚΛΕΙΣΤΟΙ ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ
1-2, 8-32, 6-14, 33-37, 38-50, 53-56, 55-59, 21-34, 60-62, 21-29, 40-61, 44-64, 27-30, 29-45, 48-64	15-34, 39-42

**Πίνακας 5.101** Αποτελέσματα Σεναρίου 4

ENS (kWh)	ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΙΣΧΥΟΣ (kW)	SAIFI (βλάβες/έτος)	SAIDI (ώρες/έτος)
1788	22	2.05	4.11

**Πίνακας 5.102** Αποτελέσματα λογισμικού Σεναρίου 4

ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ	ΧΡΟΝΟΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ (seconds)	ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΠΑΝΑΛΗΨΕΩΝ
25	33	63.08	146824

**ΣΕΝΑΡΙΟ 5:**  $c^{ENS} = 100 \text{ \$/kWh/έτος}$

Κατά την εκτέλεση του Σεναρίου 5, προκύπτει η τοπολογία του δικτύου που φαίνεται στο Σχήμα 5.14, το οποίο είναι ακτινικό όπως ήταν αναμενόμενο. Στους Πίνακες 5.103 και 5.104 εμφανίζονται οι διακόπτες που έκλεισαν καθώς και αυτοί που παρέμειναν ανοιχτοί, η ετήσια ενέργεια που δεν τροφοδοτήθηκε (ENS), οι απώλειες ενεργού ισχύος, ο δείκτης αξιοπιστίας SAIFI, ο δείκτης αξιοπιστίας SAIDI και το συνολικό κόστος που προέκυψε. Τέλος στον Πίνακα 5.105 παρατίθενται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από πλευράς λογισμικού, δηλαδή ο αριθμός των μεταβλητών και εξισώσεων που χρησιμοποιήθηκαν, ο χρόνος επίλυσης που χρειάστηκε το μοντέλο για να προκύψει το βέλτιστο αποτέλεσμα καθώς και το πλήθος των επαναλήψεων.

**Πίνακας 5.103** Κατάσταση Διακοπών Σεναρίου 5

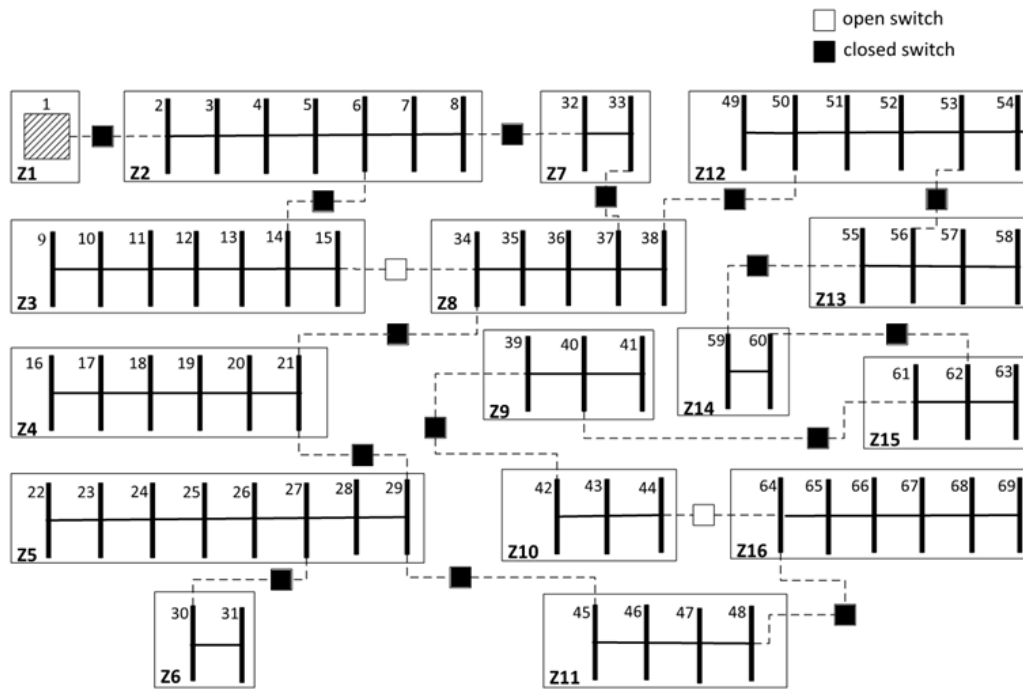
ΚΛΕΙΣΤΟΙ ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ	ΑΝΟΙΧΤΟΙ ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ
1-2, 8-32, 6-14, 33-37, 38-50, 53-56, 55-59, 21-34, 60-62, 21-29, 39-42, 40-61, 27-30, 29-45, 48-64	15-34, 44-64

**Πίνακας 5.104** Αποτελέσματα Σεναρίου 5

ENS (kWh)	ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΙΣΧΥΟΣ (kW)	SAIFI (βλάβες/έτος)	SAIDI (ώρες/έτος)
1788	21	2.05	4.007

Πίνακας 5.105 Αποτελέσματα λογισμικού Σεναρίου 5

ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ	ΧΡΟΝΟΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ (seconds)	ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΠΑΝΑΛΗΨΕΩΝ
25	33	10.81	10102



Σχήμα 5.14 Χαρακτηριστική τοπολογία 7 του δικτύου 69 κόμβων

Στον Πίνακα 5.106 παρατίθεται μια πιο συνοπτική εικόνα των αποτελεσμάτων:

Πίνακας 5.106 Συνοπτικά αποτελέσματα

	$c^{ENS}$ (\$/kWh/έτος)	ENS (kWh)	ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΙΣΧΥΟΣ (kW)	SAIFI (βλάβες /έτος)	SAIDI (ώρες /έτος)
ΣΕΝΑΡΙΟ 1	1	1829	23	2.18	4.37
ΣΕΝΑΡΙΟ 2	20	1788	23	2.09	4.12
ΣΕΝΑΡΙΟ 3	40	1771	22	2.06	4.012
ΣΕΝΑΡΙΟ 4	70	1788	22	2.05	4.11
ΣΕΝΑΡΙΟ 5	100	1786	21	2.009	4.007

### 5.3.3 ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ $c^{SAIFI}$

Κατά τη διάρκεια της μελέτης των αποτελεσμάτων ως προς τον συντελεστή κόστους  $c^{SAIFI}$  θα πραγματοποιηθούν σενάρια κατά τα οποία θα αυξομειώνεται ο συντελεστής αυτός, ενώ παράλληλα οι υπόλοιποι συντελεστές κόστους ( $c^{lss}$ ,  $c^{ENS}$ ,  $c^{SAIDI}$ ) θα παραμένουν σταθεροί. Στο τέλος της κάθε περίπτωσης, θα παρουσιάζονται τα αντίστοιχα αποτελέσματα. Στον Πίνακα 5.107 παρουσιάζονται τα στοιχεία που θα είναι σταθερά σε όλες τις περιπτώσεις.

**Πίνακας 5.107** Σταθερές για μελέτη του  $c^{SAIFI}$

$c^{lss}$ (\$/kW)	$c^{ENS}$ (\$/kWh/έτος)	$c^{SAIDI}$ (\$/ώρας/έτος)	$SAIFI_{max}$ (βλάβες/έτος)	$SAIDI_{max}$ (ώρας/έτος)
1	1	1	2.68	5.36

Συνοπτικά, τα σενάρια που θα μελετηθούν είναι τα ακόλουθα:

- ΣΕΝΑΡΙΟ 1 (σενάριο αναφοράς):  $c^{SAIFI} = 1$  \$/βλάβες/έτος
- ΣΕΝΑΡΙΟ 2:  $c^{SAIFI} = 30$  \$/βλάβες/έτος
- ΣΕΝΑΡΙΟ 3:  $c^{SAIFI} = 60$  \$/βλάβες/έτος
- ΣΕΝΑΡΙΟ 4:  $c^{SAIFI} = 80$  \$/βλάβες/έτος
- ΣΕΝΑΡΙΟ 5:  $c^{SAIFI} = 100$  \$/βλάβες/έτος

#### **ΣΕΝΑΡΙΟ 1 (σενάριο αναφοράς): $c^{SAIFI} = 1$ \$/βλάβες/έτος**

Κατά την εκτέλεση του Σεναρίου 1, προκύπτει η τοπολογία του δικτύου που φαίνεται στο Σχήμα 5.8, το οποίο είναι ακτινικό όπως ήταν αναμενόμενο. Στους Πίνακες 5.108 και 5.109 εμφανίζονται οι διακόπτες που έκλεισαν καθώς και αυτοί που παρέμειναν ανοιχτοί, η ετήσια ενέργεια που δεν τροφοδοτήθηκε (ENS), οι απώλειες ενεργού ισχύος, ο δείκτης αξιοπιστίας SAIFI, ο δείκτης αξιοπιστίας SAIDI και το συνολικό κόστος που προέκυψε. Τέλος στον Πίνακα 5.110 παρατίθενται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από πλευράς λογισμικού, δηλαδή ο αριθμός των μεταβλητών και εξισώσεων που χρησιμοποιήθηκαν, ο χρόνος επίλυσης που χρειάστηκε το μοντέλο για να προκύψει το βέλτιστο αποτέλεσμα καθώς και το πλήθος των επαναλήψεων.

**Πίνακας 5.108** Κατάσταση Διακοπών Σεναρίου 1

ΚΛΕΙΣΤΟΙ ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ	ΑΝΟΙΧΤΟΙ ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ
1-2, 8-32, 6-14, 33-37, 38-50, 53-56, 21-34, 60-62, 21-29, 39-42, 40-61, 44-64, 27-30, 29-45, 48-64	15-34, 55-59

**Πίνακας 5.109** Αποτελέσματα Σεναρίου 1

ENS (kWh)	ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΙΣΧΥΟΣ (kW)	SAIFI (βλάβες/έτος)	SAIDI (ώρες/έτος)
1829	22	2.18	4.37

**Πίνακας 5.110** Αποτελέσματα λογισμικού Σεναρίου 1

ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ	ΧΡΟΝΟΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ (seconds)	ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΠΑΝΑΛΗΨΕΩΝ
25	33	88.23	173559

**ΣΕΝΑΡΙΟ 2:**  $c^{SAIFI} = 30$  \$/βλάβες/έτος

Κατά την εκτέλεση του Σεναρίου 2, προκύπτει η τοπολογία του δικτύου που φαίνεται στο Σχήμα 5.13, το οποίο είναι ακτινικό όπως ήταν αναμενόμενο. Με ανοιχτό γκρι χρώμα εμφανίζονται οι κλάδοι που τροφοδοτούνται από τον υποσταθμό 1 και με σκούρο γκρι οι κλάδοι που τροφοδοτούνται από τον υποσταθμό 43. Στους Πίνακες 5.111 και 5.112 εμφανίζονται οι διακόπτες που έκλεισαν καθώς και αυτοί που παρέμειναν ανοιχτοί, η ετήσια ενέργεια που δεν τροφοδοτήθηκε (ENS), οι απώλειες ενεργού ισχύος, ο δείκτης αξιοπιστίας SAIFI, ο δείκτης αξιοπιστίας SAIDI και το συνολικό κόστος που προέκυψε. Τέλος στον Πίνακα 5.113 παρατίθενται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από πλευράς λογισμικού, δηλαδή ο αριθμός των μεταβλητών και εξισώσεων που χρησιμοποιήθηκαν, ο χρόνος επίλυσης που χρειάστηκε το μοντέλο για να προκύψει το βέλτιστο αποτέλεσμα καθώς και το πλήθος των επαναλήψεων.

**Πίνακας 5.111** Κατάσταση Διακοπών Σεναρίου 2

ΚΛΕΙΣΤΟΙ ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ	ΑΝΟΙΧΤΟΙ ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ
1-2, 8-32, 6-14, 38-50, 53-56, 15-34, 21-34, 60-62, 21-29, 39-42, 40-61, 44-64, 27-30, 29-45, 48-64	33-37, 55-59

Πίνακας 5.112 Αποτελέσματα Σεναρίου 2

ENS (kWh)	ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΙΣΧΥΟΣ (kW)	SAIFI (βλάβες/έτος)	SAIDI (ώρες/έτος)
1809	22	2.06	4.12

Πίνακας 5.113 Αποτελέσματα λογισμικού Σεναρίου 2

ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ	ΧΡΟΝΟΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ (seconds)	ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΠΑΝΑΛΗΨΕΩΝ
25	33	57.75	156340

### ΣΕΝΑΡΙΟ 3: $c^{SAIFI} = 60$ \$/βλάβες/έτος

Κατά την εκτέλεση του Σεναρίου 3, προκύπτει η τοπολογία του δικτύου που φαίνεται στο Σχήμα 5.15, το οποίο είναι ακτινικό όπως ήταν αναμενόμενο. Με ανοιχτό γκρι χρώμα εμφανίζονται οι κλάδοι που τροφοδοτούνται από τον υποσταθμό 1 και με σκούρο γκρι οι κλάδοι που τροφοδοτούνται από τον υποσταθμό 43. Στους Πίνακες 5.114 και 5.115 εμφανίζονται οι διακόπτες που έκλεισαν καθώς και αυτοί που παρέμειναν ανοιχτοί, η ετήσια ενέργεια που δεν τροφοδοτήθηκε (ENS), οι απώλειες ενεργού ισχύος, ο δείκτης αξιοπιστίας SAIFI, ο δείκτης αξιοπιστίας SAIDI και το συνολικό κόστος που προέκυψε. Τέλος στον Πίνακα 5.116 παρατίθενται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από πλευράς λογισμικού, δηλαδή ο αριθμός των μεταβλητών και εξισώσεων που χρησιμοποιήθηκαν, ο χρόνος επίλυσης που χρειάστηκε το μοντέλο για να προκύψει το βέλτιστο αποτέλεσμα καθώς και το πλήθος των επαναλήψεων.

Πίνακας 5.114 Κατάσταση Διακοπών Σεναρίου 3

ΚΛΕΙΣΤΟΙ ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ	ΑΝΟΙΧΤΟΙ ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ
1-2, 8-32, 6-14, 33-37, 38-50, 53-56, 55-59, 21-34, 60-62, 21-29, 39-42, 40-61, 44-64, 27-30, 48-64	15-34, 29-45

Πίνακας 5.115 Αποτελέσματα Σεναρίου 3

ENS (kWh)	ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΙΣΧΥΟΣ (kW)	SAIFI (βλάβες/έτος)	SAIDI (ώρες/έτος)
1850	23	2.05	4.05



**Πίνακας 5.116** Αποτελέσματα λογισμικού Σεναρίου 3

ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ	ΧΡΟΝΟΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ (seconds)	ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΠΑΝΑΛΗΨΕΩΝ
25	33	101.05	256062

**ΣΕΝΑΡΙΟ 4:**  $c^{SAIFI} = 80$  \$/βλάβες/έτος

Κατά την εκτέλεση του Σεναρίου 4, προκύπτει η τοπολογία του δικτύου που φαίνεται στο Σχήμα 5.13, το οποίο είναι ακτινικό όπως ήταν αναμενόμενο. Στους Πίνακες 5.117 και 5.118 εμφανίζονται οι διακόπτες που έκλεισαν καθώς και αυτοί που παρέμειναν ανοιχτοί, η ετήσια ενέργεια που δεν τροφοδοτήθηκε (ENS), οι απώλειες ενεργού ισχύος, ο δείκτης αξιοπιστίας SAIFI, ο δείκτης αξιοπιστίας SAIDI και το συνολικό κόστος που προέκυψε. Τέλος στον Πίνακα 5.119 παρατίθενται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από πλευράς λογισμικού, δηλαδή ο αριθμός των μεταβλητών και εξισώσεων που χρησιμοποιήθηκαν, ο χρόνος επίλυσης που χρειάστηκε το μοντέλο για να προκύψει το βέλτιστο αποτέλεσμα καθώς και το πλήθος των επαναλήψεων.

**Πίνακας 5.117** Κατάσταση Διακοπών Σεναρίου 4

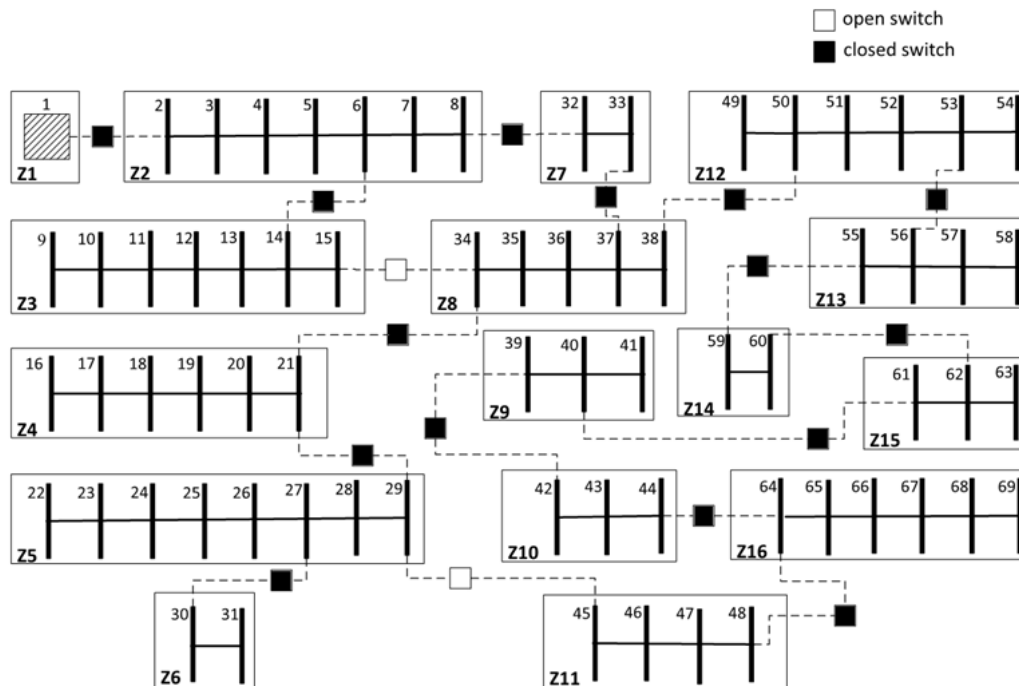
ΚΛΕΙΣΤΟΙ ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ	ΑΝΟΙΧΤΟΙ ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ
1-2, 8-32, 6-14, 38-50, 53-56, 15-34, 21-34, 60-62, 21-29, 39-42, 40-61, 44-64, 27-30, 29-45, 48-64	33-37, 55-59

**Πίνακας 5.118** Αποτελέσματα Σεναρίου 4

ENS (kWh)	ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΙΣΧΥΟΣ (kW)	SAIFI (βλάβες/έτος)	SAIDI (ώρες/έτος)
1790	23.5	2.03	4.11

**Πίνακας 5.119** Αποτελέσματα λογισμικού Σεναρίου 4

ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ	ΧΡΟΝΟΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ (seconds)	ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΠΑΝΑΛΗΨΕΩΝ
25	33	57.78	15691888



Σχήμα 5.15 Χαρακτηριστική τοπολογία 8 του δικτύου 69 κόμβων

ΣΕΝΑΡΙΟ 5:  $c^{SAIFI} = 100$  \$/βλάβες/έτος

Κατά την εκτέλεση του Σεναρίου 5, προκύπτει η τοπολογία του δικτύου που φαίνεται στο Σχήμα 5.13, το οποίο είναι ακτινικό όπως ήταν αναμενόμενο. Στους Πίνακες 5.120 και 5.121 εμφανίζονται οι διακόπτες που έκλεισαν καθώς και αυτοί που παρέμειναν ανοιχτοί, η ετήσια ενέργεια που δεν τροφοδοτήθηκε (ENS), οι απώλειες ενεργού ισχύος, ο δείκτης αξιοπιστίας SAIFI, ο δείκτης αξιοπιστίας SAIDI και το συνολικό κόστος που προέκυψε. Τέλος στον Πίνακα 5.122 παρατίθενται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από πλευράς λογισμικού, δηλαδή ο αριθμός των μεταβλητών και εξισώσεων που χρησιμοποιήθηκαν, ο χρόνος επίλυσης που χρειάστηκε το μοντέλο για να προκύψει το βέλτιστο αποτέλεσμα καθώς και το πλήθος των επαναλήψεων.

Πίνακας 5.120 Κατάσταση Διακοπών Σεναρίου 5

ΑΝΟΙΧΤΟΙ ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ	ΚΛΕΙΣΤΟΙ ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ
1-2, 8-32, 6-14, 38-50, 53-56, 15-34, 21-34, 60-62, 21-29, 39-42, 40-61, 44-64, 27-30, 29-45, 48-64	33-37, 55-59

**Πίνακας 5.121** Αποτελέσματα Σεναρίου 5

ENS (kWh)	ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΙΣΧΥΟΣ (kW)	SAIFI (βλάβες/έτος)	SAIDI (ώρες/έτος)
1788	25	2.005	4.11

**Πίνακας 5.122** Αποτελέσματα λογισμικού Σεναρίου 5

ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ	ΧΡΟΝΟΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ (seconds)	ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΠΑΝΑΛΗΨΕΩΝ
25	33	138.44	195268

Στον Πίνακα 5.123 παρατίθεται μια πιο συνοπτική εικόνα των αποτελεσμάτων:

**Πίνακας 5.123** Συνοπτικά αποτελέσματα

	$c^{SAIFI}$ (\$/βλάβες/ έτος)	ENS (kWh)	ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΙΣΧΥΟΣ (kW)	SAIFI (βλάβες /έτος)	SAIDI (ώρες /έτος)
<b>ΣΕΝΑΡΙΟ 1</b>	1	1829	22	2.18	4.37
<b>ΣΕΝΑΡΙΟ 2</b>	30	1809	22	2.06	4.11
<b>ΣΕΝΑΡΙΟ 3</b>	60	1850	23	2.05	4.05
<b>ΣΕΝΑΡΙΟ 4</b>	80	1790	23.5	2.03	4.11
<b>ΣΕΝΑΡΙΟ 5</b>	100	1788	25	2.005	4.11

#### 5.3.4 ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ $c^{SAIDI}$

Κατά τη διάρκεια της μελέτης των αποτελεσμάτων ως προς τον συντελεστή κόστους  $c^{SAIDI}$  θα πραγματοποιηθούν σενάρια κατά τα οποία θα αυξομειώνεται ο συντελεστής αυτός, ενώ παράλληλα οι υπόλοιποι συντελεστές κόστους ( $c^{lss}$ ,  $c^{ENS}$ ,  $c^{SAIFI}$ ) θα παραμένουν σταθεροί. Στο τέλος της κάθε περίπτωσης, θα παρουσιάζονται τα αντίστοιχα αποτελέσματα. Στον Πίνακα 5.124 παρουσιάζονται τα στοιχεία που θα είναι σταθερά σε όλες τις περιπτώσεις.

**Πίνακας 5.124** Σταθερές για μελέτη του  $c^{SAIDI}$ 

$c^{ISS}$ (\$/kW)	$c^{ENS}$ (\$/kWh/έτος)	$c^{SAIFI}$ (\$/βλάβες/έτος)	$SAIFI_{max}$ (βλάβες/έτος)	$SAIDI_{max}$ (ώρες/έτος)
1	1	1	2.68	5.36

Συνοπτικά, τα σενάρια που θα μελετηθούν είναι τα ακόλουθα:

- ΣΕΝΑΡΙΟ 1 (σενάριο αναφοράς):  $c^{SAIDI} = 1$  \$/ώρες/έτος
- ΣΕΝΑΡΙΟ 2:  $c^{SAIDI} = 20$  \$/ώρες/έτος
- ΣΕΝΑΡΙΟ 3:  $c^{SAIDI} = 40$  \$/ώρες/έτος
- ΣΕΝΑΡΙΟ 4:  $c^{SAIDI} = 70$  \$/ώρες/έτος
- ΣΕΝΑΡΙΟ 5:  $c^{SAIDI} = 100$  \$/ώρες/έτος

**ΣΕΝΑΡΙΟ 1** (σενάριο αναφοράς):  $c^{SAIDI} = 1$  \$/ώρες/έτος

Κατά την εκτέλεση του Σεναρίου 1, προκύπτει η τοπολογία του δικτύου που φαίνεται στο Σχήμα 5.8, το οποίο είναι ακτινικό όπως ήταν αναμενόμενο. Στους Πίνακες 5.125 και 5.126 εμφανίζονται οι διακόπτες που έκλεισαν καθώς και αυτοί που παρέμειναν ανοιχτοί, η ετήσια ενέργεια που δεν τροφοδοτήθηκε (ENS), οι απώλειες ενεργού ισχύος, ο δείκτης αξιοπιστίας SAIFI, ο δείκτης αξιοπιστίας SAIDI και το συνολικό κόστος που προέκυψε. Τέλος στον Πίνακα 5.127 παρατίθενται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από πλευράς λογισμικού, δηλαδή ο αριθμός των μεταβλητών και εξισώσεων που χρησιμοποιήθηκαν, ο χρόνος επίλυσης που χρειάστηκε το μοντέλο για να προκύψει το βέλτιστο αποτέλεσμα καθώς και το πλήθος των επαναλήψεων.

**Πίνακας 5.125** Κατάσταση Διακοπών Σεναρίου 1

ΚΛΕΙΣΤΟΙ ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ	ΑΝΟΙΧΤΟΙ ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ
1-2, 8-32, 6-14, 33-37, 38-50, 53-56, 21-34, 60-62, 21-29, 39-42, 40-61, 44-64, 27-30, 29-45, 48-64	15-34, 55-59

**Πίνακας 5.126** Αποτελέσματα Σεναρίου 1

ENS (kWh)	ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΕΝΕΡΓΟΥΙΣΧΥΟΣ (kW)	SAIFI (βλάβες/έτος)	SAIDI (ώρες/έτος)
1829	23	2.18	4.37

**Πίνακας 5.127** Αποτελέσματα λογισμικού Σεναρίου 1

ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ	ΧΡΟΝΟΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ (seconds)	ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΠΑΝΑΛΗΨΕΩΝ
25	33	88.23	173559

**ΣΕΝΑΡΙΟ 2:**  $c^{\text{SAIDI}} = 20 \text{ \$/ώρας/έτος}$ 

Κατά την εκτέλεση του Σεναρίου 2, προκύπτει η τοπολογία του δικτύου που φαίνεται στο Σχήμα 5.13, το οποίο είναι ακτινικό όπως ήταν αναμενόμενο. Στους Πίνακες 5.128 και 5.129 εμφανίζονται οι διακόπτες που έκλεισαν καθώς και αυτοί που παρέμειναν ανοιχτοί, η ετήσια ενέργεια που δεν τροφοδοτήθηκε (ENS), οι απώλειες ενεργού ισχύος, ο δείκτης αξιοπιστίας SAIFI, ο δείκτης αξιοπιστίας SAIDI και το συνολικό κόστος που προέκυψε. Τέλος στον Πίνακα 5.130 παρατίθενται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από πλευράς λογισμικού, δηλαδή ο αριθμός των μεταβλητών και εξισώσεων που χρησιμοποιήθηκαν, ο χρόνος επίλυσης που χρειάστηκε το μοντέλο για να προκύψει το βέλτιστο αποτέλεσμα καθώς και το πλήθος των επαναλήψεων.

**Πίνακας 5.128** Κατάσταση Διακοπών Σεναρίου 2

ΚΛΕΙΣΤΟΙ ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ	ΑΝΟΙΧΤΟΙ ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ
1-2, 8-32, 6-14, 38-50, 53-56, 15-34, 21-34, 60-62, 21-29, 39-42, 40-61, 44-64, 27-30, 29-45, 48-64	33-37, 55-59

**Πίνακας 5.129** Αποτελέσματα Σεναρίου 2

ENS (kWh)	ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΙΣΧΥΟΣ (kW)	SAIFI (βλάβες/έτος)	SAIDI (ώρες/έτος)
1814	23	2.08	4.26

**Πίνακας 5.130** Αποτελέσματα λογισμικού Σεναρίου 2

ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ	ΧΡΟΝΟΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ (seconds)	ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΠΑΝΑΛΗΨΕΩΝ
25	33	11.27	10409

**ΣΕΝΑΡΙΟ 3:**  $c^{\text{SAIDI}} = 40 \text{ \$/ώρας/έτος}$ 

Κατά την εκτέλεση του Σεναρίου 3, προκύπτει η τοπολογία του δικτύου που φαίνεται στο Σχήμα 5.14, το οποίο είναι ακτινικό όπως ήταν αναμενόμενο. Στους Πίνακες 5.131 και 5.132 εμφανίζονται οι διακόπτες που έκλεισαν καθώς και αυτοί που παρέμειναν ανοιχτοί, η ετήσια ενέργεια

που δεν τροφοδοτήθηκε (ENS), οι απώλειες ενεργού ισχύος, ο δείκτης αξιοπιστίας SAIFI, ο δείκτης αξιοπιστίας SAIDI και το συνολικό κόστος που προέκυψε. Τέλος στον Πίνακα 5.133 παρατίθενται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από πλευράς λογισμικού, δηλαδή ο αριθμός των μεταβλητών και εξισώσεων που χρησιμοποιήθηκαν, ο χρόνος επίλυσης που χρειάστηκε το μοντέλο για να προκύψει το βέλτιστο αποτέλεσμα καθώς και το πλήθος των επαναλήψεων.

**Πίνακας 5.131** Κατάσταση Διακοπών Σεναρίου 3

ΚΛΕΙΣΤΟΙ ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ	ΑΝΟΙΧΤΟΙ ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ
1-2, 8-32, 6-14, 33-37, 38-50, 53-56, 55-59, 21-34, 60-62, 21-29, 39-42, 40-61, 27-30, 29-45, 48-64	15-34, 44-64

**Πίνακας 5.132** Αποτελέσματα Σεναρίου 3

ENS (kWh)	ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΙΣΧΥΟΣ (kW)	SAIFI (βλάβες/έτος)	SAIDI (ώρες/έτος)
1805	23	2.05	4.11

**Πίνακας 5.133** Αποτελέσματα λογισμικού Σεναρίου 3

ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ	ΧΡΟΝΟΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ (seconds)	ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΠΑΝΑΛΗΨΕΩΝ
25	33	148.84	192591

**ΣΕΝΑΡΙΟ 4:**  $c^{\text{SAIDI}} = 70 \text{ \$/ώρας/έτος}$

Κατά την εκτέλεση του Σεναρίου 4, προκύπτει η τοπολογία του δικτύου που φαίνεται στο Σχήμα 5.13, το οποίο είναι ακτινικό όπως ήταν αναμενόμενο. Στους Πίνακες 5.134 και 5.135 εμφανίζονται οι διακόπτες που έκλεισαν καθώς και αυτοί που παρέμειναν ανοιχτοί, η ετήσια ενέργεια που δεν τροφοδοτήθηκε (ENS), οι απώλειες ενεργού ισχύος, ο δείκτης αξιοπιστίας SAIFI, ο δείκτης αξιοπιστίας SAIDI και το συνολικό κόστος που προέκυψε. Τέλος στον Πίνακα 5.136 παρατίθενται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από πλευράς λογισμικού, δηλαδή ο αριθμός των μεταβλητών και εξισώσεων που χρησιμοποιήθηκαν, ο χρόνος επίλυσης που χρειάστηκε το μοντέλο για να προκύψει το βέλτιστο αποτέλεσμα καθώς και το πλήθος των επαναλήψεων.

**Πίνακας 5.134** Κατάσταση Διακοπών Σεναρίου 4

ΚΛΕΙΣΤΟΙ ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ	ΑΝΟΙΧΤΟΙ ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ
1-2, 8-32, 6-14, 38-50, 53-56, 15-34, 21-34, 60-62, 21-29, 39-42, 40-61, 44-64, 27-30, 29-45, 48-64	33-37, 55-59

**Πίνακας 5.135** Αποτελέσματα Σεναρίου 4

ENS (kWh)	ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΙΣΧΥΟΣ (kW)	SAIFI (βλάβες/έτος)	SAIDI (ώρες/έτος)
1794	23	2.03	4.07

**Πίνακας 5.136** Αποτελέσματα λογισμικού Σεναρίου 4

ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ	ΧΡΟΝΟΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ (seconds)	ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΠΑΝΑΛΗΨΕΩΝ
25	33	19.97	10147

**ΣΕΝΑΡΙΟ 5:**  $c^{SAIDI} = 100$  \$/ώρες/έτος

Κατά την εκτέλεση του Σεναρίου 5, προκύπτει η τοπολογία του δικτύου που φαίνεται στο Σχήμα 5.9, το οποίο είναι ακτινικό όπως ήταν αναμενόμενο. Στους Πίνακες 5.137 και 5.138 εμφανίζονται οι διακόπτες που έκλεισαν καθώς και αυτοί που παρέμειναν ανοιχτοί, η ετήσια ενέργεια που δεν τροφοδοτήθηκε (ENS), οι απώλειες ενεργού ισχύος, ο δείκτης αξιοπιστίας SAIFI, ο δείκτης αξιοπιστίας SAIDI και το συνολικό κόστος που προέκυψε. Τέλος στον Πίνακα 5.139 παρατίθενται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από πλευράς λογισμικού, δηλαδή ο αριθμός των μεταβλητών και εξισώσεων που χρησιμοποιήθηκαν, ο χρόνος επίλυσης που χρειάστηκε το μοντέλο για να προκύψει το βέλτιστο αποτέλεσμα καθώς και το πλήθος των επαναλήψεων.

**Πίνακας 5.137** Κατάσταση Διακοπών Σεναρίου 5

ΚΛΕΙΣΤΟΙ ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ	ΑΝΟΙΧΤΟΙ ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ
1-2, 8-32, 6-14, 38-50, 53-56, 15-34, 55-59, 21-34, 60-62, 21-29, 39-42, 40-61, 44-64, 27-30, 29-45	33-37, 48-64

**Πίνακας 5.138** Αποτελέσματα Σεναρίου 5

ENS (kWh)	ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΙΣΧΥΟΣ (kW)	SAIFI (βλάβες/έτος)	SAIDI (ώρες/έτος)
1788	23	2.03	4.059

**Πίνακας 5.139** Αποτελέσματα λογισμικού Σεναρίου 5

ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΙΣΩΣΕΩΝ	ΧΡΟΝΟΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ (seconds)	ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΠΑΝΑΛΗΨΕΩΝ
25	33	134.05	180096

Στον Πίνακα 5.140 παρατίθεται μια πιο συνοπτική εικόνα των αποτελεσμάτων:

**Πίνακας 5.140** Συνοπτικά αποτελέσματα

	$c^{SAIDI}$ (\$/ώρας/έτος)	ENS (kWh)	ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΙΣΧΥΟΣ (kW)	SAIFI (βλάβες /έτος)	SAIDI (ώρες /έτος)
<b>ΣΕΝΑΡΙΟ 1</b>	1	1829	23	2.18	4.37
<b>ΣΕΝΑΡΙΟ 2</b>	20	1814	23	2.08	4.26
<b>ΣΕΝΑΡΙΟ 3</b>	40	1805	23	2.05	4.11
<b>ΣΕΝΑΡΙΟ 4</b>	70	1794	23	2.03	4.07
<b>ΣΕΝΑΡΙΟ 5</b>	100	1788	23	2.03	4.059

### 5.3.5 Σχολιασμός Αποτελεσμάτων

Το μαθηματικό μοντέλο το οποίο αναπτύχθηκε στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, παρουσιάζει παρόμοια αποτελέσματα για τα δύο δίκτυα (43 και 69 κόμβων). Αξιολογώντας λοιπόν τα αποτελέσματα που προέκυψαν σε κάθε σενάριο κατά τη μελέτη του εκάστοτε συντελεστή κόστους, προέκυψαν οι εξής παρατηρήσεις και συμπεράσματα:

- Στο δίκτυο υπάρχουν 17 διακόπτες, εκ των οποίων κάθε φορά κλείνουν οι 15. Από αυτούς τους 15, οι 10 είναι κάθε φορά είναι κοινοί και είναι οι εξής: 1-2, 8-32, 6-14, 38-50, 53-56, 21-34, 21-29, 40-61, 44-64, 29-45.
- Ανάλογα με το που αποφασίζει ο διαχειριστής του δικτύου να δώσει μεγαλύτερη βαρύτητα, προκύπτει και διαφορετική τοπολογία, καθώς και διαφορετικά αποτελέσματα, τόσο για τις απώλειες ενεργού ισχύος, όσο και για τους δείκτες αξιοπιστίας.
- Οι απώλειες ενεργού ισχύος παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη ευαισθησία σε μεταβολές και είχαν τη μεγαλύτερη επιρροή στα αποτελέσματα της βελτιστοποίησης και στη βέλτιστη τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης.



- Οι 3 δείκτες αξιοπιστίας φαίνεται να επηρεάζονται λιγότερο από μεταβολές των συντελεστών κόστους. Όπως φαίνεται και στους συγκεντρωτικούς πίνακες, οι δείκτες αυτοί έχουν πολύ μικρές μεταβολές από σενάριο σε σενάριο.
- Οι απώλειες ενεργού ισχύος, καθώς και οι δείκτες αξιοπιστίας παρουσιάζουν μικρότερες μεταβολές από σενάριο σε σενάριο σε σχέση με το δίκτυο των 43 κόμβων.
- Παρατηρήθηκε στην περίπτωση της μελέτης του συντελεστή κόστους cens το εξής: καθώς η τιμή του cens αυξανόταν, ενώ θα έπρεπε να μειωθεί ο δείκτης SAIDI όπως ήταν αναμενόμενο, αυξήθηκε στο Σενάριο 4 και μειώθηκε πάλι στο Σενάριο 5.

Συνοψίζοντας, τα συμπεράσματα που προέκυψαν είναι τα εξής:

1. Οι απώλειες ενεργού ισχύος παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη ευαισθησία από όλες τις μεταβλητές.
2. Στην προσπάθεια να ελαχιστοποιηθούν οι απώλειες ενεργού ισχύος, παρατηρήθηκε αύξηση στους ENS, SAIFI και SAIDI.
3. Στην προσπάθεια να μειωθούν οι δείκτες αξιοπιστίας ENS, SAIFI και SAIDI, σημειώθηκε αύξηση των απωλειών ενεργού ισχύος.

### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

#### 6.1 ΣΥΝΟΨΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΗΣ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετήθηκε το πρόβλημα της βέλτιστης επαναδιαμόρφωσης δικτύων διανομής ηλεκτρικής ενέργειας (Optimal Network Reconfiguration Problem) για την βελτίωση της αξιοπιστίας τους. Η αντικειμενική συνάρτηση που επιλέχθηκε στη συγκεκριμένη περίπτωση σχεδιάστηκε με σκοπό την ελαχιστοποίηση αφενός του κόστους λόγω των απωλειών ενεργού ισχύος των δικτύων διανομής και αφετέρου την ελαχιστοποίηση του κόστους της αξιοπιστίας. Παράλληλα πραγματοποιήθηκε και ανάλυση ευαισθησίας, η οποία επικεντρώθηκε στους συντελεστές κόστους της αντικειμενικής συνάρτησης του μαθηματικού μοντέλου που χρησιμοποιήθηκε, μελετώντας τα αποτελέσματα που προέκυπτan και τις αλλαγές που παρατηρήθηκαν στα αποτελέσματα ανάλογα με τις μεταβολές που λάμβαναν χώρα σε κάθε συντελεστή κόστους.

Κατά την κανονική λειτουργία των δικτύων διανομής ηλεκτρικής ενέργειας είναι λογικό ότι προκύπτουν κόστη τα οποία οφείλονται στις απώλειες ενεργού ισχύος, στη μη τροφοδοτούμενη ενέργεια στους καταναλωτές, στη διάρκεια των διακοπών λειτουργίας, και στη συχνότητα των διακοπών λειτουργίας. Συνεπώς, αντικείμενο μελέτης αποτέλεσε η ελαχιστοποίηση αυτών των στοιχείων κόστους και η εύρεση της τοπολογίας του δικτύου που θα προσφέρει τη βέλτιστη αξιοπιστία του. Η μεταβολή της τοπολογίας του δικτύου επιτυγχάνεται μέσω της σύνδεσης και απόζευξης γραμμών του δικτύου με τη βοήθεια των διακοπτικών μέσων που διαθέτει το εκάστοτε δίκτυο. Ίσης σημασίας αντικείμενο μελέτης αποτέλεσε και η ανάλυση ευαισθησίας που πραγματοποιήθηκε, η οποία αποτελεί ένα από τα κύρια εργαλεία για τη λήψη αποφάσεων στη προσπάθεια εύρεσης λύσης σε ένα πρόβλημα. Παρέχεται η απαραίτητη γνώση που συσχετίζεται με το μοντέλο και τη συμπεριφορά του, δίνοντας μια επαρκή εικόνα για το πόσο ευαίσθητη είναι η βέλτιστη λύση η οποία επιλέχθηκε σε κάθε αλλαγή των τιμών των παραμέτρων.

Με αυτό τον τρόπο προέκυψε το πρόβλημα βέλτιστης επαναδιαμόρφωσης των δικτύων που μελετάται στη παρούσα διπλωματική. Η διατύπωσή του βασίστηκε στο μοντέλο της ροής ισχύος το

οποίο υπέστη διάφορες τροποποιήσεις (αντικατάσταση των μη γραμμικών περιορισμών με γραμμικούς) και έγινε χρήση τετραγωνικών περιορισμών μετατρέποντας έτσι το μικτό ακέραιο μη γραμμικό πρόβλημα βελτιστοποίησης σε ένα πρόβλημα μικτού ακέραιου προγραμματισμού με τετραγωνικούς περιορισμούς (MIQCP : Mixed Integer Quadratically Constrained Problem).

Το διατυπωθέν πρόβλημα της βέλτιστης επαναδιαμόρφωσης των δικτύων διανομής ηλεκτρικής ενέργειας υλοποιήθηκε στο λογισμικό GAMS και η επίλυσή του έγινε με τη χρήση του επιλυτή CPLEX. Για την εισαγωγή δεδομένων στο λογισμικό χρησιμοποιήθηκαν αρχεία Excel, τα οποία διευκόλυναν την επεξεργασία των πληροφοριών.

Στη συνέχεια, το προτεινόμενο μοντέλο εφαρμόστηκε σε δίκτυα 43 και 69 κόμβων επιλέγοντας διάφορες τιμές για τους συντελεστές κόστους. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, αυτό που παρατηρήθηκε είναι ότι ανάλογα με το που δινόταν περισσότερη βαρύτητα, προέκυπτε και διαφορετική τοπολογία και αποτελέσματα, τόσο στις απώλειες ενεργού ισχύος, όσο και στους δείκτες αξιοπιστίας. Κατά τη διάρκεια μάλιστα της ανάλυσης ευαισθησίας παρατηρήθηκε ότι η μεταβλητή που είχε την μεγαλύτερη επιρροή στα αποτελέσματα της βελτιστοποίησης και στη βέλτιστη τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης ήταν οι απώλειες ενεργού ισχύος, ακολουθούμενη από τη μη τροφοδοτούμενη ενέργεια, ενώ οι άλλοι δύο δείκτες αξιοπιστίας δεν προκαλούσαν μεγάλες αλλαγές στη βέλτιστη λύση. Και όπως ήταν αναμενόμενο, λόγω της σύγκρουσης που υπήρξε στην προσπάθεια να ελαχιστοποιηθούν τα κόστη του πρώτου όρου ταυτόχρονα με τους τρεις υπόλοιπους, η αύξηση του πρώτου ( $c^{lss}$ ) οδηγούσε σε μείωση της τιμής της μεταβλητής που αντιπροσωπεύει τις απώλειες ενεργού ισχύος, ενώ παράλληλα αυξάνονταν οι τιμές των μεταβλητών ENS, SAIFI και SAIDI. Το αντίστροφο ακριβώς φαινόμενο παρατηρήθηκε κατά την μείωση του πρώτου συντελεστή. Όσον αφορά τους τρεις τελευταίους συντελεστές ( $c^{ENS}$ ,  $c^{SAIFI}$ ,  $c^{SAIDI}$ ), η αύξησή τους επέφερε μείωση στις ENS, SAIFI και SAIDI και αύξηση στις απώλειες ενεργού ισχύος. Το αντίστροφο ακριβώς φαινόμενο παρατηρήθηκε κατά την μείωση των τριών αυτών συντελεστών.

## 6.2 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετήθηκαν τα δίκτυα των 43 και 69 κόμβων. Σε μελλοντική έρευνα, το προτεινόμενο μοντέλο θα μπορούσε να εφαρμοστεί και στο δίκτυο των 136 κόμβων για να εξεταστεί η αποδοτικότητά του. Η εξέταση και η μελέτη δικτύων διανομής ηλεκτρικής ενέργειας που διαθέτουν πιο εκτενή και περίπλοκη δομή, όπου ο κίνδυνος σφαλμάτων και οι πιθανότητες να μην υπάρξει η βέλτιστη επαναδιαμόρφωση θα ήταν πιο υψηλές θα παρουσίαζε ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Έτσι θα δοκιμαστεί η αποτελεσματικότητα του προτεινόμενου μοντέλου σε πιο απαιτητικές περιπτώσεις.

Οι μονάδες διανεμημένης παραγωγής θα μπορούσαν να συμβάλουν σημαντικά στη βέλτιστη δυνατή επαναδιαμόρφωση του δικτύου, επηρεάζοντας σημαντικά τις τιμές των τάσεων στους κόμβους του δικτύου. Έτσι η ενσωμάτωση και συμμετοχή των μονάδων αυτών θα μπορούσε να αποτελέσει αντικείμενο μελέτης για την επέκταση της παρούσα εργασία.

Η θεώρηση τηλεχειριζόμενων και χειροκίνητων διακοπών μέσα στο δίκτυο καθώς και η τοποθέτηση των διακοπτικών στοιχείων του δικτύου σε διαφορετικές θέσεις με στόχο τη μελέτη διαφορετικών σεναρίων είναι άλλη μια πιθανή επέκταση της παρούσας διπλωματικής. Αυτό έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, αν μελετηθούν και σενάρια που να συνδυάζουν διαφορετικές τιμές για τους αντίστοιχους δύο συντελεστές κόστους. Έτσι, το προτεινόμενο μοντέλο θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για τη μελέτη της τοποθέτησης των κατάλληλων διακοπτικών μέσων στις πιο κατάλληλες θέσεις κατά τη σχεδίαση και την ανάπτυξη πραγματικών δικτύων διανομής ηλεκτρικής ενέργειας.



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Dale R. Patrick, Stephen W. Fardo, *Electrical Distribution Systems, 2<sup>nd</sup> edition*, Lilburn, GA: The Fairmont Press, Inc, 2009
- [2] Β. Κ. Παπαδιάς, *Ανάλυση Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας, τόμ. Ι, Μόνιμη Κατάσταση Λειτουργίας*. Αθήνα: Εκδόσεις Ε.Μ.Π., 1985
- [3] Κ. Βουρνάς, Γ. Κονταξής, *Εισαγωγή στα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2006
- [4] Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας, *Μεταφορά και Διανομή Ηλεκτρικής Ενέργειας*, [Online].  
[Διαθέσιμο]: <http://www.rae.gr>
- [5] Αθανάσιος Δ. Αναστασίου, *Βέλτιστη Επαναδιαμόρφωση Έξυπνων Δικτύων Διανομής με Εφαρμογές σε Προβλήματα Αποκατάστασης της Λειτουργίας τους*, διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Οκτώβριος 2017
- [6] Παναγιώτης Α. Καραφώτης, *Βέλτιστη Επαναδιαμόρφωση Ακτινικών Δικτύων Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας για Αποκατάσταση της Λειτουργίας*, διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Οκτώβριος 2016
- [7] Σπυρίδων Χ. Παπαδόπουλος, *Ανάλυση Ροής Φορτίου σε Ασύμμετρα Ακτινικά Δίκτυα Διανομής*, διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Οκτώβριος 2011
- [8] S. S. Čurčić, C. S. Ozveren, L. Crowe, and P. K. L. Lo, “Electric power distribution network restoration: A survey of papers and a review of the restoration problem,” *Elect. Power Syst. Res.*, vol. 35, pp. 73–86, 1996
- [9] H. Lee Willis, *Power Distribution Planning Reference Book*, New York 1997
- [10] Turan Gönen, *Electric power distribution system engineering*, 3rd edition, CRC Press, 6 Jan. 2014

- [11] Π. Σ. Γεωργιλάκης, *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>
- [12] M. E. Baran and F. F Wu, "Network reconfiguration in distribution systems for loss reduction and load balancing," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 4, no. 2, pp. 1401-1497, Apr. 1989
- [13] H. Lee Willis, *Power Distribution Planning Reference Book*, Second Edition, CRC Press, 1 March 2004
- [14] Δημήτριος Ο. Σιάγκας, *Βέλτιστη Επαναδιαμόρφωση Τοπολογίας Ενεργών Ακτινικών Δικτύων Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας με Διεσπαρμένη Παραγωγή*, διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Μάρτιος 2016
- [15] 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 Trans. Power Syst.*, vol. 27, no. 2, pp. 790–799, Jan. 2012
- [16] 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 Trans. Smart Grid*, vol. 4, no. 2, pp. 798–805, Mar. 2013
- [17] López JC, Lavorato M, Rider MJ., "Optimal reconfiguration of electrical distribution systems considering reliability indices improvement," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 78, pp. 837-845, 2016
- [18] Jizhung Zhu, *Optimization of power system operation*, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2009
- [19] Leonardo W. de Oliveira, Sandoval Carneiro Jr., Edimar J. de Oliveira, J.L.R. Pereira, Ivo C. Silva Jr., Jeferson S. Costa, "Optimal reconfiguration and capacitor allocation in radial distribution systems for energy losses minimization" *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 32, no. 8, pp. 840-848, Oct. 2010
- [20] Bogdan Tomoiaga, Mircea Chindris, Andreas Sumper, Roberto Villafafila-Robles, Antoni Sudria-Andreu, "Distribution system reconfiguration using genetic algorithm based on connected graphs" *Elect. Power Syst. Res.*, vol. 104, pp. 216-225, 2013

- [21] Qiuyu Peng and Steven H. Low Engr. & App. Sci., Caltech, CA, “Optimal Branch Exchange for Feeder Reconfiguration in Distribution Networks,” in Proc. 52nd IEEE Conference on Decision and Control, December 2013
- [22] S. Naveen, K. Sathish Kumar, K. Rajalakshmi, “Distribution system reconfiguration for loss minimization using modified bacterial foraging optimization algorithm,” *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 69, no. 11, pp. 90-97, July 2015
- [23] Esmailian, H.R., Fadaeinedjad, R., Attari, S.M.: ‘Distribution network reconfiguration to reduce losses and enhance reliability using binary gravitational search algorithm’. *Proc. of the 22nd Int. Conf. and Exhibition on Electricity Distribution, Stockholm, 2013*, pp. 1–4
- [24] A. Kavousi-Fard and T. Niknam, “Optimal distribution feeder reconfiguration for reliability improvement considering uncertainty,” *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 29, no. 3, pp. 1344–1353, Jul. 2014
- [25] Mendoza JE, Lopez ME, Coello CAC, Lopez EA. “Microgenetic multiobjective reconfiguration algorithm considering power losses and reliability indices for medium voltage distribution network,” *Gener. Transm. Distrib. IET*, vol. 3, no. 9, pp. 825-840, Sept. 2009
- [26] B. Amanulla, S. Chakrabarti, and S. N. Singh, “Reconfiguration of power distribution systems considering reliability and power loss,” *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 27, no. 2, pp. 918–926, Apr. 2012
- [27] Narimani MR, et al. “Enhanced gravitational search algorithm for multi-objective distribution feeder reconfiguration considering reliability, loss and operational cost,” *Gener. Transm. Distrib. IET*, vol. 8, no. 1, pp. 55-69, Jan. 2014
- [28] Zhang P, Li W, Wang S. “Reliability-oriented distribution network reconfiguration considering uncertainties of data by interval analysis,” *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 34, no. 1, pp. 138-144, Jan 2012
- [29] GAMS Documentation 25.1, CPLEX12, [Online]

[Διαθέσιμο]: [https://www.gams.com/latest/docs/S\\_CPLEX.html](https://www.gams.com/latest/docs/S_CPLEX.html)



«Υλοποιήθηκε στο πλαίσιο της Δράσης ΕΡΕΥΝΩ – ΔΗΜΙΟΥΡΓΩ - ΚΑΙΝΟΤΟΜΩ και συγχρηματοδοτήθηκε από την Ευρωπαϊκή Ένωση και εθνικούς πόρους μέσω του Ε.Π. Ανταγωνιστικότητα, Επιχειρηματικότητα & Καινοτομία (ΕΠΑνΕΚ) (κωδικός έργου: Τ1ΕΔΚ-00450)»



**ΕΠΑνΕΚ 2014-2020**  
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ  
ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑ  
ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ  
ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης