



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών

Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών

«Παραγωγή και Διαχείριση Ενέργειας»

Ηρώων Πολυτεχνείου 9, 157 73, Ζωγράφου – 210-7723655 – erminfo@power.ece.ntua.gr

Δίκτυα Διανομής Μέσης Τάσης: Δομή & Τρόποι Επέκτασης τους

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
του φοιτητή

Γραμματικάκη-Κονταργύρη Ιωάννη

Επιβλέπων: Τσεκούρας Γεώργιος, Επ. Καθηγητής ΠΑΔΑ

Αθήνα, Φεβρουάριος 2023



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών

Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Παραγωγή και Διαχείριση Ενέργειας»

Ηρώων Πολυτεχνείου 9, 157 73, Ζωγράφου – 210-7723655 – epminfo@power.ece.ntua.gr

Δίκτυα Διανομής Μέσης Τάσης: Δομή & Τρόποι Επέκτασης τους

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
του φοιτητή

Γραμματικάκη-Κονταργύρη Ιωάννη

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 1...η Φεβρουαρίου 2023.

.....
Γ. Τσεκούρας
Επ. Καθηγητής ΠΑΔΑ

.....
Γ. Κορρές
Καθηγητής ΕΜΠ

.....
Ι. Προυσαλίδης
Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Φεβρουάριος 2023

.....
Γραμματικάκης-Κονταργύρης Ιωάννης

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

Copyright © Γραμματικάκης-Κονταργύρης Ιωάννης, 2023

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.

Δίκτυα Διανομής Μέσης Τάσης: Δόμη & Τρόποι Επέκτασης τους

Μεταπτυχιακή Εργασία

Γραμματικάκης-Κονταργύρης Ιωάννης

Επιβλέπων: Γ. Τσεκούρας, Επ. Καθηγητής ΠΑΔΑ

Ακαδημαϊκό έτος 2022-2023

Σύνοψη

Τα ηλεκτρικά δίκτυα αποτελούν σύνθετα οικοδομήματα, των οποίων η ορθή χρήση και λειτουργία είναι ζωτικής σημασίας στις σύγχρονες κοινωνίες. Η διασφάλιση της ποιότητας των υπηρεσιών του δικτύου (ποιότητα και αξιοπιστία προσφερόμενης ισχύος) είναι ένα όλο και δυσκολότερο καθήκον που έχει να αντιμετωπίσει ο διαχειριστής του. Συγκεκριμένα, τα δίκτυα του μέλλοντος οφείλουν να μπορούν να εξυπηρετήσουν απρόσκοπτα το συνεχώς αυξανόμενο φορτίο, σε όλες τις συνθήκες, και φυσικά να στηρίξουν την όλο και μεγαλύτερη ενσωμάτωση της διεσπαρμένης παραγωγής από ΑΠΕ όπως αυτή προκύπτει από τις ανάγκες μείωσης των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Στην παρούσα εργασία, αφού προσδιοριστούν τα συστατικά στοιχεία ενός σύγχρονου δικτύου MT και τα κριτήρια εκείνα που το καθιστούν αξιόπιστο, παρουσιάζονται οι τεχνικοί και οικονομικοί παράγοντες που διέπουν τη λειτουργία του. Υπό τους περιορισμούς που προκύπτουν από αυτούς, εξετάζονται τα διάφορα σενάρια επέκτασης του δικτύου, ώστε αυτό να μπορεί να εξυπηρετήσει την αυξανόμενη ζήτηση και παραγωγή, με το βέλτιστο τεχνικοοικονομικά τρόπο. Η βελτιστοποίηση της επέκτασης του δικτύου, πραγματοποιείται με αλγόριθμο εξαντλητικής αναζήτησης στο σύνολο του δειγματικού χώρου των λύσεων. Ο αλγόριθμος που υλοποιήθηκε αξιοποιείται για την εξέταση διαφόρων σεναρίων μεταβολής οικονομικών παραγόντων του προβλήματος. Πιο συγκεκριμένα εξετάστηκε η αύξηση στα κόστη κατασκευής και ενέργειας που εμπλέκονται στο πρόβλημα και προσδιορίστηκε η ευαισθησία της βέλτιστης λύσης ως προς τη μεταβολή των μεγεθών αυτών.

Περίληψη

Τα ηλεκτρικά δίκτυα αποτελούν σύνθετα οικοδομήματα, των οποίων η ορθή χρήση και λειτουργία είναι ζωτικής σημασίας στις σύγχρονες κοινωνίες. Η διασφάλιση της ποιότητας των υπηρεσιών του δικτύου (ποιότητα και αξιοπιστία προσφερόμενης ισχύος) είναι ένα όλο και δυσκολότερο καθήκον που έχει να αντιμετωπίσει ο διαχειριστής του. Συγκεκριμένα, τα δίκτυα του μέλλοντος, οφείλουν να μπορούν να εξυπηρετήσουν απρόσκοπτα το συνεχώς αυξανόμενο φορτίο (ηλεκτροκίνηση, βιομηχανία κ.λπ.), σε όλες τις συνθήκες, και φυσικά να στηρίξουν την όλο και μεγαλύτερη ενσωμάτωση της διεσπαρμένης παραγωγής από ΑΠΕ, όπως αυτή προκύπτει από τις ανάγκες μείωσης των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα.

Οι βέλτιστες πρακτικές επέκτασης του δικτύου πρέπει να ενσωματώνουν όλες αυτές τις παραμέτρους στη διαδικασία λήψης αποφάσεων. Στην παρούσα εργασία αναλύεται το πρόβλημα της επέκτασης δικτύου μέσης τάσης. Στην ουσία αναζητείται η βέλτιστη επέκταση του δικτύου, δηλαδή τα έργα εκείνα, που με την προσθήκη τους το δίκτυο θα εξασφαλίζει την απρόσκοπτη τροφοδότηση των καταναλωτών με ηλεκτρική ενέργεια και θα αποτελούν την πιο φθηνή λύση από όσες είναι τεχνικά εφικτές. Για τις ανάγκες της εργασίας αναλύονται οι τεχνικές και οικονομικές παράμετροι του προβλήματος, συστηματοποιείται και περιγράφεται η μεθοδολογία προσέγγισης του προβλήματος και αναπτύσσεται σχετικός αλγόριθμος για την επίλυση του σε πρότυπο δίκτυο μέσης τάσης.

Στο **Κεφάλαιο 1** της εργασίας αναλύονται τα συστατικά στοιχεία των δικτύων και οι τρόποι μελέτης των φορτίων. Εν ολίγοις παρουσιάζονται οι τεχνικές παράμετροι του προβλήματος. Συγκεκριμένα, αρχικά δίνονται κάποιες γενικές πληροφορίες για το Ελληνικό ΣΗΕ (δομή, επίπεδα τάσεων, διασυνδέσεις κ.λπ.). Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά των γραμμών διανομής ηλεκτρικής ενέργειας του ελληνικού ΣΗΕ και τα τεχνικά όρια στα οποία αυτές υπόκεινται. Παρουσιάζονται οι τύποι μετασχηματιστών που χρησιμοποιούνται ως επί το πλείστον στα δίκτυα διανομής και μεταφοράς, τα χαρακτηριστικά τους και τα βασικά μεγέθη που τους περιγράφουν. Στην επόμενη ενότητα παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά των προστασιών από υπερτάσεις και υπερεντάσεις τόσο για τους μετασχηματιστές, όσο και για τις γραμμές. Ακολουθεί η ανάλυση της μελέτης φορτίων. Παρουσιάζονται οι τρόποι μελέτης των φορτίων από τον διαχειριστή μέσω των καμπυλών φορτίου και τα χαρακτηριστικά τους μεγέθη, ενώ περιγράφονται και οι παράγοντες που έχουν τη σημαντικότερη επίδραση στο συνολικό φορτίο. Τέλος παρουσιάζεται περιγραφικά ο τρόπος σκέψης πίσω από την επέκταση των δικτύων διανομής.

Στο **Κεφάλαιο 2** αναλύονται οι οικονομικές παράμετροι του προβλήματος. Συγκεκριμένα, περιγράφονται οι οικονομικές έννοιες που είναι χρήσιμες για την οικονομική αποτύπωση των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων (κόστος χρήματος, καθαρά παρούσα αξία, υπολειπόμενη αξία κ.λπ.). Περιγράφονται οι μέθοδοι τιμολόγησης που χρησιμοποιούνται στην εργασία. Επίσης δίνεται η μεθοδολογία προσδιορισμού του κόστους απωλειών ενέργειας και ισχύος τόσο πάνω στις γραμμές, όσο και στους μετασχηματιστές, που είναι ένα από τα βασικά κόστη μιας τέτοιας μελέτης.

Το **Κεφάλαιο 3** αποτελεί το κύριο μέρος της εργασίας. Αρχικά δίνεται πρότυπο δίκτυο μέσης τάσης για την επίλυση της βέλτιστης επέκτασης του, υπό συγκεκριμένα δεδομένα οικονομικών παραγόντων και ανάπτυξης φορτίου. Η προαναφερθείσα μεθοδολογία εφαρμόζεται στο πρότυπο δίκτυο και περιγράφεται αναλυτικά ο υπολογισμός όλων των μεγεθών. Υπολογίζεται η ανάπτυξη φορτίου για όλα τα έτη της μελέτης (10), ενώ με χρήση των τεχνοοικονομικών περιορισμών των γραμμών διανομής περιορίζεται ο δειγματικός χώρος των

πιθανών λύσεων της επέκτασης. Αφού προσδιοριστεί ο δειγματικός χώρος των λύσεων, δίνεται αναλυτικά η περιγραφή του υπολογισμού των μεγεθών (ροή φορτίου στις γραμμές, απώλειες, κόστος κατασκευής, κόστος απωλειών κ.λπ.). Παρουσιάζεται επίσης ο τρόπος προσδιορισμού της υπολειπόμενης αξίας των αποξηλωμένων υλικών για τις διάφορες μεθόδους τιμολόγησης αυτής (γραμμική απόσβεση και απόσβεση τοκοχρεωλυτικής δόσης). Στη συνέχεια παρουσιάζεται ο αλγόριθμος που δημιουργήθηκε για τις ανάγκες των σχετικών υπολογισμών πάνω στο πρότυπο δίκτυο και την εύρεση της βέλτιστης λύσης επέκτασης του. Ο αλγόριθμος διενεργεί εξαντλητική αναζήτηση στο δειγματικό χώρο των λύσεων και συγκρίνει το κόστος όλων των τεχνικά εφικτών λύσεων μέχρι να βρει τη φθηνότερη. Το κύριο μέρος της μελέτης αφορά την τροποποίηση των επιμέρους οικονομικών μεγεθών του προβλήματος (κόστος κατασκευής, κόστος απωλειών, επιτόκιο) και την καταγραφή της μεταβολής της βέλτιστης λύσης και του συνολικού κόστους αυτής σε κάθε περίπτωση.

Τέλος στο **Κεφάλαιο 4** παρουσιάζονται τα συμπεράσματα για την ευαισθησία της βέλτιστης λύσης ως προς κάθε οικονομική παράμετρο, και γενικότερα συμπεράσματα από τη μελέτη του προβλήματος. Αναφέρονται επίσης πλευρές για περαιτέρω έρευνα πάνω στο πρόβλημα, εμπλουτισμό της δοθείσας λύσης και τροποποίησης του αλγορίθμου για πιο αποτελεσματική αναζήτηση στο δειγματικό χώρο του προβλήματος.

Λέξεις κλειδιά:

Μέση τάση, δίκτυα διανομής, βέλτιστη επέκταση δικτύου διανομής, αλγόριθμος εξαντλητικής αναζήτησης, γραμμές μεταφοράς, σχεδιασμός δικτύων διανομής, υπολειπόμενη αξία εγκατάστασης, κοστολόγηση απωλειών

Medium Voltage Distribution Networks: Structure and ways of expansion

Post-graduate thesis

Grammatikakis-Kontargyris Ioannis

Supervisor: G. Tsekouras, Assistant Professor UNIWA

Academic year 2022-2023

Abstract

Electric grids are complicated constructions. The correct use and operation of them is a vital issue in modern day societies. Ensuring the quality of power system services (reliability and compliance with standards of the offered electric power) is an increasingly difficult task for the distribution network operator to face. In particular, the networks of the future, must be able to seamlessly serve the ever-increasing demand of energy, in all conditions, and of course support the increasing integration of dispersed renewable energy production as it results from the need to reduce carbon dioxide emissions. In this thesis, after determining the components of a modern Medium Voltage network and the criteria that make it reliable, the technical and economic factors governing its operation are presented. Under the constraints resulting from them, the different scenarios of the network's expansion are examined, so it can serve the growing demand and production, in the optimal technical and economic way. The optimization of the network's expansion is carried out by an exhaustive search algorithm in the entire sample space of solutions. The implemented algorithm is used to examine various scenarios of changing economic factors of the problem. Specifically, the increase in construction and energy costs involved in the problem was examined as well as the sensitivity of the optimal solution to the change in these quantities.

Summary

Electrical networks are complex structures, whose correct use and operation are of vital importance in modern day societies. Ensuring the quality of power system services (reliability and compliance with standards of the offered electric power) is an increasingly difficult task for the network operator to face. In particular, the networks of the future, must be able to seamlessly serve the ever-increasing demand of energy (electric cars, industry etc.), in all conditions, and of course support the increasing integration of scattered renewable energy production as it results from the need to reduce carbon dioxide emissions.

Network expansion best practices must incorporate all of these parameters into the decision-making process. In this thesis, the problem of Medium Voltage network expansion is analyzed. In essence, the optimal expansion of the network is being sought, i.e. those projects, whose addition to the network will ensure the seamless supply of electricity to the consumers and will constitute the cheapest solution of those that are technically feasible. In order to achieve that, the technical and economic parameters of the problem are analyzed. The methodology of approaching the problem is systematized and described, and a relevant algorithm is developed to solve it in a standard Medium Voltage network.

In **Chapter 1** of the thesis, the components of the networks and the methods of studying the loads are analyzed. In short, the technical parameters of the problem are presented. Specifically, initially some general information about the Greek Power System is given (structure, voltage levels, interconnections etc.). Then the characteristics of the electricity distribution lines and the technical limits to which they are subject are presented. Also, the types of transformers mostly used in distribution and transmission networks, their characteristics and the basic quantities that describe them are presented. The next section, describes the characteristics of overvoltage and overcurrent protection for both transformers and lines. Following is the breakdown of load study. The ways of studying the loads by the operator through the load curves and their characteristic quantities are presented, while the factors that have the most significant effect on the total load are also described. Finally, the way of thinking behind the expansion of distribution networks is presented descriptively.

Chapter 2 analyzes the economic parameters of the problem. In particular, the financial concepts that are useful for the description of electrical installations are presented (cost of money, net present value, residual value etc.) The pricing methods used in the thesis are described. The methodology for determining the cost of energy and power losses both on the lines and on the transformers, which consist some of the fundamental costs in such a study is also presented.

Chapter 3 constitutes the main part of the thesis. Initially, a standard Medium Voltage Network is given in order to solve the problem of its optimal expansion, under specific data of economic factors and load development. The aforementioned methodology is applied to the standard network and the calculation of all quantities is described in detail. The load growth is calculated for all years of the study (10), while by using the techno-economic constraints of the distribution lines the sample space of the possible solutions of the extension is limited. After the sample space of the solutions is defined, the description of the calculation of the used quantities (load flow in the lines, losses construction costs, loss costs etc.) is given in detail. The calculation of residual value of the desiccated materials for the different pricing methods is presented. Then the algorithm created for the needs of the relevant calculations on the standard network and the finding of the optimal

solution for its expansion is presented. The algorithm performs an exhaustive search in the sample space of the solution and compares the costs of all technically feasible solutions until it finds the cheapest one. The main part of the study concerns the modification of the individual economic parameters of the problem (construction cost, cost of losses, interest rate) and the change this brings to the optimal solution and the total cost in each case.

Finally, **Chapter 4** presents the conclusions on the sensitivity of the optimal solution to each economic parameter, and more general conclusions from the study of the problem. Thoughts on the further research on the problem, the enrichment of the given solution and modification of algorithm for a more efficient search in the sample space of the problem are presented.

Key words:

Medium voltage, distribution networks, optimal distribution network expansion, exhaustive search algorithm, electric lines, distribution networks modeling, residual value of installation, cost of losses

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον επίκουρο καθηγητή κ. Γιώργο Τσεκούρα για την πολύτιμη βοήθεια που μου προσέφερε και την υπομονή που επέδειξε κατά την εκπόνηση της παρούσας εργασίας. Οφείλω ένα ευχαριστώ σε όλους αυτούς που συνυπάρξαμε και συνεργαστήκαμε αυτά τα χρόνια μέσα στο Πανεπιστήμιο, συμφοιτητές, καθηγητές και φίλους. Τέλος το μεγαλύτερο ευχαριστώ στους γονείς μου που με στήριξαν χωρίς όρους και προϋποθέσεις. Καλό σου ταξίδι μπαμπά.

Γραμματικάκης-Κονταργύρης Ιωάννης,

Αθήνα, Φεβρουάριος 2023

Περιεχόμενα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	1
1.1 Σκοπός εργασίας	1
1.2 Τι είναι τα ηλεκτρικά δίκτυα	1
1.3 Σύστημα Μεταφοράς και Δίκτυο Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας	2
1.3.1 Σύστημα Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας	2
1.3.2 Δίκτυο Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας	5
1.3.3 Δίκτυο Χαμηλής Τάσης	5
1.3.4 Διασυνδέσεις Ελληνικού Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας ^[3]	6
1.4 Γραμμές μεταφοράς και διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας	6
1.4.1 Εναέριες Γραμμές	7
1.4.2 Υπόγειες Γραμμές	9
1.5 Μετασχηματιστές	9
1.5.1 Μετασχηματιστές Ισχύος	10
1.5.1.1 Πραγματικός Μετασχηματιστής	11
1.5.1.2 Δοκιμή βραχυκύκλωσης	12
1.5.1.3 Δοκιμή ανοιχτοκύκλωσης	13
1.5.2 Μετασχηματιστής Τάσης	14
1.5.3 Μετασχηματιστής Έντασης	14
1.6 Προστασία Δικτύων Διανομής	15
1.6.1 Μέσα Ζεύξεως και Προστασίας	15
1.6.2 Προστασία Γραμμών από υπερεντάσεις	17
1.6.3 Προστασία μετασχηματιστών	18
1.6.4 Προστασία από υπερτάσεις	19
1.7 Ανάλυση φορτίου	19
1.7.1 Μελέτη φορτίων	20
1.7.2 Καμπύλες φορτίων	20
1.7.3 Πρόβλεψη φορτίου	22
1.8 Σχεδιασμός και ανάπτυξη Δικτύων Διανομής	23
1.8.1 Μελέτη επέκτασης δικτύου	23
Βιβλιογραφία-Πηγές 1 ^{ου} Κεφαλαίου	24
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	25
2.1 Σχεδιασμός Ανάπτυξης Δικτύων Διανομής	25
2.2 Οικονομικές έννοιες	25

2.2.1	Κόστος Χρήματος	25
2.2.2	Αναγωγή αξιών σε κοινό χρόνο	25
2.2.3	Τοκοχρεωλυτική δόση	26
2.2.4	Αξία εγκατάλειψης εγκατάστασης	27
2.2.5	Αξία χρήσης ή υπολειπόμενη αξία εγκατάστασης	28
2.2.6	Τελική Υπολειπόμενη Αξία Υλικού	28
2.2.7	Κοστολόγηση απωλειών	29
2.2.8	Απώλειες γραμμών	30
2.2.9	Απώλειες μετασηματιστών	31
	Βιβλιογραφία-Πηγές 2 ^{ου} Κεφαλαίου	32
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3		33
3.1	Πρόβλημα	33
3.2	Επίλυση προβλήματος	34
3.2.1	Έλεγχος Ορθής λειτουργίας κατά το έτος 0	34
3.2.2	Αύξηση φορτίου	36
3.2.3	Προσδιορισμός ελάχιστης αναγκαίας τεχνικής λύσης	36
3.2.3	Προσδιορισμός οικονομικών λύσεων δικτύου	37
3.2.4	Συνδυασμός ελάχιστης και μέγιστης λύσης επέκτασης δικτύου	39
3.2.5	Αλγόριθμος επίλυσης	39
3.3	Αποτελέσματα	44
3.3.1	Εκτέλεση χωρίς τις υπόγειες αναχωρήσεις	44
3.3.1.1	Χωρίς υπολειπόμενη αξία	44
3.3.1.2	Γραμμική απόσβεση	44
3.3.1.3	Τοκοχρεωλυτική δόση	44
3.3.1.4	Σχόλια	44
3.3.2	Εκτέλεση με συνυπολογισμό των υπόγειων αναχωρήσεων	48
3.3.2.1	Χωρίς υπολειπόμενη αξία	48
3.3.2.2	Γραμμική απόσβεση	48
3.3.2.3	Τοκοχρεωλυτική δόση	48
3.3.2.4	Σχόλια	48
3.3.3	Ευαισθησία λύσης ως προς οικονομικούς παράγοντες	53
3.3.3.1	Ευαισθησίας λύσης ως προς το κόστος κατασκευής	53
3.3.3.2	Ευαισθησία λύσης ως προς το κόστος απωλειών	60
3.3.3.3	Ευαισθησία λύσης ως προς το επιτόκιο	73
3.3.3.4	Σχόλια	79

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....	80
4.1 Συμπεράσματα.....	80
4.2 Περιοχές για περαιτέρω έρευνα.....	80
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	81
I. Ανάγνωση δεδομένων	81
II. Προπαρασκευαστικοί υπολογισμοί.....	82
III. Αναγραφή αποτελεσμάτων (χωρίς υπόγειες αναχωρήσεις).....	83
IV. Αναγραφή αποτελεσμάτων (με υπόγειες αναχωρήσεις).....	83
V. Υπολογισμός ροής ισχύος στις γραμμές.....	84
IV. Υπολογισμοί χωρίς υπολειπόμενη αξία, χωρίς υπόγειες αναχωρήσεις.....	85
VI. Υπολογισμοί χωρίς υπολειπόμενη αξία, με υπόγειες αναχωρήσεις	89
VII. Υπολογισμοί με γραμμική απόσβεση, με υπόγειες αναχωρήσεις.....	94
VIII. Υπολογισμοί με απόσβεση τοκοχρεωλυτικής δόσης, με υπόγειες αναχωρήσεις	99

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1 Σκοπός εργασίας

Ο σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η αποτύπωση της μεθοδολογίας και του τρόπου σκέψης πίσω από μια μελέτη έργων επέκτασης ενός δικτύου διανομής. Στα πλαίσια αυτά, αφού γίνει μια περιγραφή της δομής των ηλεκτρικών δικτύων και των χαρακτηριστικών των συστατικών τους στοιχείων (γραμμές μεταφοράς, μετασχηματιστές κ.λπ.) αναλύονται οι τεχνικοί παράγοντες του προβλήματος (τεχνικά όρια, μελέτη φορτίου, κατανομή ροής φορτίου στις γραμμές κ.λπ.). Επίσης προσδιορίζονται οι οικονομικές παράμετροι του προβλήματος (προσδιορισμός δαπανών, αναγωγή δαπανών σε κοινό χρόνο κ.ο.κ.). Τέλος διαμορφώνονται τα κριτήρια για την σύγκριση των διάφορων λύσεων επέκτασης του δικτύου, προκειμένου να προσδιορισθεί η βέλτιστη λύση επέκτασης του δικτύου.

Η προαναφερθείσα μεθοδολογία, εφαρμόζεται στα πλαίσια της εργασίας σε πρότυπο δίκτυο διανομής 20 kV με την υλοποίηση ενός αλγορίθμου εξαντλητικής αναζήτησης και την εφαρμογή του για διάφορα σενάρια μεταβολής οικονομικών παραγόντων του προβλήματος. Προσδιορίζεται έτσι η επίδραση των οικονομικών αυτών παραγόντων στην τελική λύση επέκτασης του δικτύου.

1.2 Τι είναι τα ηλεκτρικά δίκτυα

Τα ηλεκτρικά δίκτυα αποτελούν μια από τις κρισιμότερες υποδομές κάθε σύγχρονης κοινωνίας. Ο σύγχρονος τρόπος ζωής και η γενικότερη αλληλεπίδραση του ανθρώπου με τη φύση αξιοποιούν σε τεράστιο βαθμό τον ηλεκτρισμό και τις εφαρμογές του. Η κυριαρχία του ανθρώπου πάνω στην ηλεκτρική ενέργεια και η αξιοποίησή της σε μαζική κλίμακα σηματοδότησαν τη μεγάλη δεύτερη βιομηχανική επανάσταση που βίωσε η ανθρωπότητα στις αρχές του περασμένου αιώνα, αλλάζοντας για πάντα την ανθρώπινη κοινωνία.

Τα δίκτυα αυτά αποτελούν μεγάλα συστήματα, που απαρτίζονται από πολλά διαφορετικά συστατικά μέρη (γραμμές μεταφοράς, διακοπτικά μέσα, εξοπλισμό προστασίας, μετασχηματιστές κ.α.), τα οποία συναποτελούν τον δρόμο μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας από την παραγωγή στην κατανάλωση.

Τα πρώτα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΣΗΕ) εμφανίστηκαν στα τέλη της δεκαετίας του 1870, όταν χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας σε πελάτες για τον φωτισμό τους από τον G.Lane-Fox (1856-1932) και τον Thomas Edison (1847-1931). Το ηλεκτρικό ρεύμα που χρησιμοποιούσαν ήταν συνεχές (ΣΡ), χαμηλής τάσης και οι περιοχές που εξυπηρετούσαν οι πρώτοι σταθμοί ήταν αναγκαστικά περιορισμένες λόγω της μικρής απόστασης που μπορούσε να μεταφερθεί αποδοτικά το συνεχές ρεύμα χαμηλής τάσης.

Επαναστατική αλλαγή αποτέλεσε η εισαγωγή του εναλλασσόμενου ρεύματος (ΕΡ) στις αρχές της δεκαετίας του 1880, με την εφεύρεση και ανάπτυξη της γεννήτριας ΕΡ και του μετασχηματιστή (ΜΣ). Η πρώτη μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας στα 1200 m, στη Μασαχουσέτη του 1886, αποτέλεσε το εναρκτήριο λάκτισμα της εκμηδένισης των αποστάσεων για τα ηλεκτρικά δίκτυα. Ακολούθησε η εφεύρεση των πολυφασικών

συστημάτων και της διφασικής γεννήτριας (1893) με την καθοριστική συμβολή του Nikola Tesla (1856-1943). Η ανάπτυξη των ΣΗΕ που ακολούθησε, υπήρξε ραγδαία παγκοσμίως.

Έκτοτε, οι ανάγκες της ανθρωπότητας σε ηλεκτρική ενέργεια όλο και αυξάνουν. Ταυτόχρονα, η υιοθέτηση της ηλεκτροκίνησης αναμένεται να αυξήσει δυσανάλογα τη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας τα επόμενα χρόνια.

Τα σύγχρονα ΣΗΕ είναι ζωντανοί οργανισμοί που εξελίσσονται και μεταβάλλονται. Αποτελούν ζωτικής σημασίας εργαλείο για το συνολικό μετασχηματισμό της αξιοποίησης της ενέργειας από τον άνθρωπο. Η αξιοποίηση όλων των μορφών ενέργειας με την ωρίμανση των τεχνολογιών Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ), η ποιοτική και αδιάκοπη παροχή της προς τους καταναλωτές, η διασύνδεση των δικτύων των διαφόρων χωρών σε όλο και μεγαλύτερο βαθμό, εγείρουν σημαντικές προκλήσεις για τα ΣΗΕ.

1.3 Σύστημα Μεταφοράς και Δίκτυο Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας

Κάθε ΣΗΕ, αποτελείται από το Σύστημα Μεταφοράς και το Δίκτυο Διανομής, πέρα από τα συστήματα παραγωγής. Εκτός δηλαδή από το επίπεδο τάσης που χρησιμοποιούν οι τελικοί καταναλωτές, υπάρχουν τμήματα του συνολικού ΣΗΕ που βρίσκονται υπό **Υψηλή Τάση (>36 kV)** και **Μέση Τάση (>1 kV)**. Επίσης υπάρχουν και άλλα επίπεδα τάσης σε όλες τις κατηγορίες που χρησιμοποιούνται είτε σε ξεχωριστά δίκτυα (δίκτυο τρόλεϊ), είτε σε συμπληρωματικές λειτουργίες του δικτύου (πυκνωτές αντιστάθμισης κ.α.).

1.3.1 Σύστημα Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας

Η μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις, για παράδειγμα από την Πτολεμαΐδα που αποτελούσε μέχρι πρότινος το βασικό κέντρο ηλεκτροπαραγωγής για τη χώρα μας έως την Αθήνα που αποτελεί το βασικό κέντρο κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, είναι σημαντική δυνατότητα για κάθε ΣΗΕ. Το βασικό πρόβλημα που προκαλείται όμως κατά αυτήν τη μεταφορά έχει να κάνει με τις απώλειες ηλεκτρικής ενέργειας (ενεργές και άεργες) που οφείλονται στην ωμική και επαγωγική αντίσταση των γραμμών μεταφοράς, που δίνονται από τους παρακάτω τύπους ανά αγωγό:

$$P_{απ} = I^2 R_{γρ} \quad (1-1)$$

$$Q_{απ} = I^2 X_{γρ}$$

Η ανάγκη ελαχιστοποίησης των απωλειών αυτών ικανοποιείται με τη μεταφορά της ηλεκτρικής ισχύος υπό όσο το δυνατόν υψηλότερη τάση, προκειμένου να μεταβληθεί αντιστρόφως ανάλογα η ένταση του ρεύματος που διαπερνά τους αγωγούς, όπως απορρέει από τη γνωστή σχέση:

$$P = VI \quad (1-2)$$

Αυτός είναι ο κύριος λόγος ύπαρξης του Δικτύου Υψηλής (ΥΤ) και Υπερυψηλής Τάσης (ΥΥΤ). Τα χρησιμοποιούμενα επίπεδα τάσης (V_n) είναι πάνω από 36 kV για την ΥΤ και για την υπερυψηλή. Στην

περίπτωση της Ελλάδας, τη ραχοκοκαλιά του ελληνικού ΣΗΕ αποτελεί το Δίκτυο Υψηλής Τάσης των **150 kV / 50 Hz**, καθώς και το Δίκτυο Υπερυψηλής Τάσης των **400 kV/ 50 Hz**.

Διαχειριστής του Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας στη χώρα μας είναι ο **ΑΔΜΗΕ** (Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας). Στο Σύστημα μεταφοράς ανήκει πέρα από τα δίκτυα 150 kV και 400 kV και το υποδίκτυο των 66 kV. Στον παρακάτω χάρτη φαίνεται το Ελληνικό Διασυνδεδεμένο Σύστημα Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας, όπως αποτυπώνονταν τον Απρίλη του 2017, με πάνω από 11.000 χλμ εναέριων και 1000 χλμ υποβρύχια και υπόγεια καλώδια υψηλής τάσης.



Εικόνα 1.1: Ελληνικό Διασυνδεδεμένο Σύστημα Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας, όπως αποτυπώνονταν τον Απρίλη του 2017^[1]

1.3.2 Δίκτυο Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας

Στα κατάντι του Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας βρίσκεται το **Δίκτυο Διανομής (ΔΔ)**. Η λειτουργία αυτού αφορά τη μεταφορά της Ηλεκτρικής Ενέργειας σε αρκετά μικρότερες αποστάσεις από ό,τι το Σύστημα Μεταφοράς και το διαμοιρασμό της προς τους τελικούς καταναλωτές.

Το ΔΔ βρίσκεται υπό **Μέση Τάση ($1 \text{ kV} < V_n < 36 \text{ kV}$)**. Το επιλεγμένο επίπεδο τάσης για το Δίκτυο ΜΤ της Ελλάδας είναι τα **20 kV/ 50 Hz**. Είναι το μεγαλύτερο σε έκταση δίκτυο και οριοθετείται από τους Υποσταθμούς ΥΤ/ΜΤ (150 kV/20 kV) και τους Υποσταθμούς Διανομής ΜΤ/ΧΤ (20 kV/400 V).

Παρόλο που η πλειοψηφία των καταναλωτών είναι συνδεδεμένοι στη Χαμηλή Τάση, υπάρχουν και οι καταναλωτές ΜΤ. Είναι συνήθως βιομηχανικοί καταναλωτές ή μεγάλα καταστήματα (supermarket), οι οποίοι λόγω αυξημένων αναγκών σε ισχύ (>135 kVA ή σε ελάχιστες εξαιρέσεις >250 kVA) συνδέονται στο Δίκτυο ΜΤ μέσω ιδιωτικού υποσταθμού ΜΤ/ΧΤ. Επίσης στο Δίκτυο ΜΤ είναι συνδεδεμένοι και οι περισσότεροι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ (ισχύος 100kW έως 8 MW).

Η μελέτη των ΔΔ παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, διότι η κατασκευαστική τους διαμόρφωση συνδέεται άμεσα με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά δομήσεως των πόλεων και γενικότερα του τρόπου της χωροταξικής διαμόρφωσης κάθε χώρας.

Διαχειριστής του Δικτύου Διανομής για τη χώρα μας είναι ο **ΔΕΔΔΗΕ** (Διαχειριστής Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας).

1.3.3 Δίκτυο Χαμηλής Τάσης

Η πλειοψηφία των καταναλωτών εξυπηρετούνται από το δίκτυο **Χαμηλής Τάσης (ΧΤ)**. Πρόκειται για επίπεδα τάσης μικρότερα (**<1 kV**), ούτως ώστε να είναι ευκολότερος ο χειρισμός της (π.χ. ασφάλειες, ρελέ διαφυγής σε μια οικιακή εγκατάσταση), και αποτελεί την τάση τροφοδοσίας των ηλεκτρικών συσκευών. Τα επίπεδα χαμηλής τάσης διαφέρουν ανά τον κόσμο (120 V/60 Hz στη Β. Αμερική, 230 V/60 Hz σε τμήμα της Ν. Αμερικής, 230 V/50 Hz στην Ευρώπη και το μεγαλύτερο μέρος της Ασίας κ.α.). Στο ελληνικό και γενικότερα το ευρωπαϊκό δίκτυο η τιμή της είναι τα **400 V/ 50 Hz τριφασικό και 230 V/ 50 Hz μονοφασικό**.

Οι τυποποιημένες τιμές παροχών από τον ΔΕΔΔΗΕ προς τους καταναλωτές του ελληνικού δικτύου φαίνονται παρακάτω. Η παροχή Νο 7 είναι αρκετά σπάνια και αντί αυτής προτιμάται, όπου είναι εφικτό η σύνδεση στη Μέση Τάση.

Είδος Παροχής	Μέγεθος παροχής	Συμφωνημένη ισχύς (kVA)
Μονοφασική	No 03	8
	No 05	12
Τριφασική	No 1	15
	No 2	25
	No 3	35
	No 4	55
	No 5	85
	No 6	135
	No 7	250

Πίνακας 1.1: Τυποποιημένες Παροχές Μέσης Τάσης στο ελληνικό Δίκτυο^[2]

1.3.4 Διασυνδέσεις Ελληνικού Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας^[3]

Το ελληνικό ΣΗΕ, ως κομμάτι του ευρωπαϊκού, έχει γραμμές διασυνδέσεων με γειτονικές χώρες, στα πλαίσια της ευρωπαϊκής στρατηγικής για τη δημιουργία ενός ενιαίου ευρωπαϊκού ΣΗΕ. Συγκεκριμένα η χώρα συνδέεται μέσω των παρακάτω γραμμών:

- Με την **Ιταλία** μέσω υποβρύχιας γραμμής DC, ονομαστικής τάσης 400 kV μεταξύ ΚΥΤ Αράχθου και Υ/Σ Galatina ονομαστικής ικανότητας μεταφοράς 500 MW
- Με την **Αλβανία** μέσω εναέριας γραμμής ΕΡ, ονομαστικής τάσης 400 kV, απλού κυκλώματος μεταξύ ΚΥΤ Καρδιάς και Zemblak, ονομαστικής ικανότητας μεταφοράς 1400 MVA και εναέριας γραμμής 150 kV ελαφρού τύπου μεταξύ Υ/Σ Μούρτου και ΥΗΣ Bistrica ονομαστικής ικανότητας μεταφοράς 138 MVA
- Με τη **Βόρεια Μακεδονία** μέσω δύο εναέριων γραμμών ΕΡ, τάσης 400 kV απλού κυκλώματος με δίδυμο κύκλωμα μεταξύ ΚΥΤ Θεσσαλονίκης και του Dubrono και ΚΥΤ Μελίτης και της Bitola ονομαστικής ικανότητας 1400 MVA έκαστη
- Με τη **Βουλγαρία** μέσω εναέριας γραμμής ΕΡ, ονομαστικής τάσης 400 kV (τύπου Β'Β') μεταξύ ΚΥΤ Θεσσαλονίκης και του Blagoevgrad, ονομαστικής ικανότητας 1400 MVA. Ταυτόχρονα έχει προβλεφθεί η κατασκευή νέας εναέριας γραμμής μήκους 151 km, ονομαστικής τάσης 400 kV, μεταξύ ΚΥΤ Ν. Σάντας και του Υποσταθμού Maritsa East 1, ονομαστικής ικανότητας μεταφοράς 2000 MVA
- Με την **Τουρκία** μέσω εναέριας γραμμής ΕΡ, ονομαστικής τάσης 400 kV, μονού κυκλώματος και ονομαστικής ικανότητας μεταφοράς 2000 MVA, μεταξύ ΚΥΤ Νέας Σάντας και του Υ/Σ Babaeski

Τις γραμμές αυτές διαχειρίζονται από κοινού οι διαχειριστές των χωρών ενώ, υπεύθυνος συνολικά για τη διασύνδεση του ευρωπαϊκού ΣΗΕ είναι ο Ευρωπαϊός διαχειριστής **ENTO-E** (European Network of Transmission System Operators for Electricity).

1.4 Γραμμές μεταφοράς και διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας

Οι γραμμές μεταφοράς και διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας είναι τα βασικά στοιχεία που συνθέτουν ένα ΣΗΕ. Λειτουργούν υπό πολύ επικίνδυνα επίπεδα τάσης για την ανθρώπινη ζωή, συνεπώς η κατασκευή τους πρέπει να διέπεται από πολύ αυστηρούς κανόνες ασφαλείας και μέτρα προφύλαξης. Επίσης είναι απαραίτητο

να εγκαθίστανται με τέτοιο τρόπο, ώστε να επηρεάζουν όσο το δυνατό λιγότερο τις υπόλοιπες ανθρώπινες δραστηριότητες στον περιβάλλοντα χώρο (γεωργικές, εμπορικές, αναψυχής κλπ). Για τους λόγους αυτούς υπάρχουν δύο διαφορετικοί τύποι γραμμών, οι **εναέριες** γραμμές μεταφοράς και οι **υπόγειες**. Οι υπόγειες γραμμές είναι πολύ περισσότερο δαπανηρές και ως εκ τούτου επιλέγονται για λύσεις μέσα στον αστικό ιστό, όπου η αξία της γης είναι μεγάλη, ο χώρος περιορισμένος και επιδρούν αισθητικοί περιορισμοί.

1.4.1 Εναέριες Γραμμές

Οι εναέριες γραμμές μεταφοράς αποτελούν οικονομική, αλλά με περισσότερους αισθητικούς, λειτουργικούς περιορισμούς λύση. Χρησιμοποιούνται κατά κόρο στις αγροτικές περιοχές, όπου δεν υφίστανται έντονες δυσκολίες για την τήρηση ελαχίστων αποστάσεων ή την όχληση. Τα εναέρια δίκτυα MT δομούνται κατά κύριο λόγο **ακτινικά** (ανοιχτά), δηλαδή όλες οι γραμμές από τις οποίες αποτελείται το δίκτυο τροφοδοτούνται από το ένα μόνο άκρο τους. Γι' αυτό το λόγο ακολουθούν και τη **δενδροειδή μορφή**. Αποτελούνται δηλαδή από μια κεντρική γραμμή, από αγωγούς μεγάλης διατομής (κορμός) που διακλαδώνεται σε άλλες μικρότερης διατομής, όπου συνδέονται κατά κανόνα οι υποσταθμοί MT/ΧΤ.

Το υλικό κατασκευής των αγωγών των εναέριων γραμμών μεταφοράς είναι το **αλουμίνιο**. Το βασικό του πλεονέκτημα έναντι του χαλκού είναι ότι είναι πολύ ελαφρύτερο και συνεπώς κάνει πολύ ευκολότερη την ανάρτηση του αγωγού, ενώ πλεονεκτεί και από απόψεως απωλειών corona^[1]. Επίσης είναι φθηνότερο και πιο εύκολα διαθέσιμο. Από την άλλη βέβαια, παρουσιάζει μεγαλύτερη ειδική αντίσταση από το χαλκό, άρα μικρότερη αγωγιμότητα και μικρότερη μηχανική αντοχή. Για την ενίσχυση της μηχανικής του αντοχής, εφαρμόζεται η τεχνική των συνεστραμμένων κλώνων, με την ενσωμάτωση μέσα στον αγωγό αλουμινίου συρμάτων χάλυβα. Έτσι προκύπτει ο αγωγός αλουμινίου με **ενίσχυση χάλυβα** (Aluminium Conductor Steel Reinforced – ACSR), ο οποίος χρησιμοποιείται ευρύτατα.

Οι αγωγοί ACSR αποτελούνται από 1-3 στρώματα χαλύβδινων συρμάτων και 1-3 στρώματα αλουμινίου το ένα πάνω από το άλλο. Κάθε στρώμα έχει αντίθετη διεύθυνση συστροφής από το γειτονικό του για λόγους συνοχής και ενίσχυσης της μηχανικής αντοχής του συρματόσχοινου. Ο χαρακτηρισμός των αγωγών γίνεται συνήθως με την **ισοδύναμη διατομή χαλκού** (mm^2), που δείχνει τη διατομή που θα είχε αγωγός ισοδύναμης αντίστασης αν κατασκευάζονταν από χαλκό.

Χαρακτηριστικά μεγέθη των αγωγών των γραμμών μεταφοράς είναι, η ισοδύναμη διατομή τους (mm^2), η ωμική αντίσταση, η επαγωγική αντίδραση ανά χιλιόμετρο (Ω/km) και η εγκάρσια χωρητική αγωγιμότητα τους ανά χιλιόμετρο (S/km) που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των απωλειών ισχύος, η ονομαστική τους τάση και το **θερμικό τους όριο** (W). Το όριο αυτό αφορά κατά κύριο λόγο μηχανικές ιδιότητες του υλικού. Με την αύξηση της μεταφερόμενης ισχύος από τον αγωγό, αυξάνονται και οι απώλειες Joule που διαφεύγουν από την επιφάνεια του με τη μορφή ακτινοβολούμενης θερμότητας. Η αναπτυσσόμενη θερμοκρασία που προκύπτει από τη θερμική ισορροπία του αγωγού με το περιβάλλον οφείλει να παραμένει εντός συγκεκριμένων ορίων κατά τη μόνιμη κατάσταση, πέραν των οποίων η μηχανική αντοχή του αγωγού τίθεται σε κίνδυνο.

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι τυποποιημένες διατομές αγωγών που χρησιμοποιούνται στο ελληνικό δίκτυο, καθώς και τα χαρακτηριστικά τους.

Τύπος	Ωμική αντίσταση (Ω/km)	Επαγωγική αντίδραση (Ω/km)
ACSR-16 mm ²	1,268	0,422
ACSR-35 mm ²	0,567	0,397
ACSR-95 mm ²	0,215	0,334
ACSR-240 mm ²	0,162	0,115

Πίνακας 1.2: Χαρακτηριστικά τυποποιημένων αγωγών εναέριου ελληνικού δικτύου

Επίσης, όπως είναι λογικό, ο διαχειριστής εφαρμόζει στις γραμμές μεταφοράς όριο για την **πτώση τάσης**. Συγκεκριμένα η πτώση τάσης στα άκρα μιας γραμμής (αναχώρηση-άφιξη) οφείλει για λόγους ποιοτικής εξυπηρέτησης των καταναλωτών να είναι μικρότερη του ορίου που προσδιορίζει ο διαχειριστής (ε). Η τιμή της πτώσης τάσης επί τοις εκατό υπολογίζεται από τον ακόλουθο τύπο, όπου V_1, V_2 οι τάσεις στα άκρα της γραμμής.

$$\varepsilon(\%) = \frac{||V_1| - |V_2||}{V_2} \cdot 100 \quad (1-3)$$

Συνεπώς, για γραμμή μήκους L και ωμικής και επαγωγικής αντίστασης ανά χιλιόμετρο R_0 και X_0 , που τροφοδοτεί στην άφιξή της φορτίο S με επαγωγικό συντελεστή ισχύος $\cos\varphi$, ισχύει:

$$\vec{V}_1 = V_2 \angle 0^\circ + I \cdot (\cos\varphi - j\sin\varphi) \cdot (R_0 L + jX_0 L) \quad (1-4)$$

$$\Rightarrow V_1 = ((V_2)^2 + LI(R_0 \cos\varphi + X_0 \sin\varphi)^2 + (X_0 \cos\varphi - R_0 \sin\varphi)^2)^{1/2}$$

Με απαλοιφή του αμελητέου όρου $(X_0 \cos\varphi - R_0 \sin\varphi)^2$ και χρήση της σχέσης $S = V_2 \cdot I$ προκύπτει ότι:

$$\varepsilon(\%) = \frac{100}{V_2^2} \cdot S \cdot L \cdot (R_0 \cos\varphi + X_0 \sin\varphi) \quad (1-5)$$

Η αλλιώς προκειμένου να προσδιοριστεί ένα άνω όριο για τη μεταφερόμενη ισχύ, λόγω πτώσης τάσης:

$$S_{\Delta V} = K \frac{\varepsilon(\%)}{L} \quad (1-6)$$

$$\text{Όπου } K = \frac{V_2^2}{100(R_0 \cos\varphi + X_0 \sin\varphi)}$$

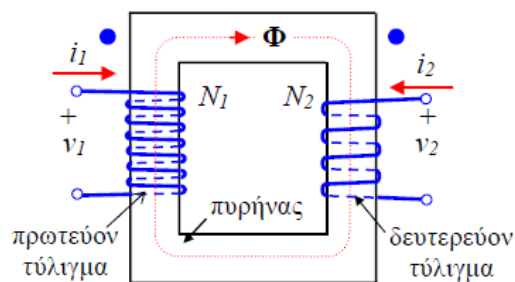
1.4.2 Υπόγειες Γραμμές

Τα υπόγεια δίκτυα χαρακτηρίζονται από πολύ μεγαλύτερη δυσκολία, σε σχέση με τα εναέρια, ως προς την ανεύρεση και επισκευή μιας βλάβης. Η αποκατάσταση βλαβών μπορεί να διαρκέσει και μέρες, όμως αν ληφθεί υπόψη ότι τα υπόγεια δίκτυα τροφοδοτούν πυκνοκατοικημένες περιοχές με μεγάλη ζήτηση ηλεκτρικής ισχύος, γίνεται κατανοητό ότι κάτι τέτοιο δεν είναι αποδεκτό. Ως εκ τούτου, δομούνται κατά κύριο λόγο **βροχοειδώς** (οι γραμμές MT αρχίζουν και τελειώνουν στον ίδιο υποσταθμό ΥΤ/ΜΤ) ή **ατρακτοειδώς** (οι γραμμές MT αρχίζουν από έναν υποσταθμό και καταλήγουν σε άλλον ή σε υποσταθμό ζεύξης).

Στις υπόγειες γραμμές χρησιμοποιούνται διάφορων ειδών αγωγοί, με βασικά υλικά το χαλκό και το **αλουμίνιο**. Το μικρό βάρος του αλουμινίου δεν προσφέρει σε αυτήν την περίπτωση κάποιο πλεονέκτημα για τα καλώδια, όπως στις εναέρια γραμμές που οι αγωγοί καταπονούνται μηχανικά από το ίδιο τους το βάρος, παρόλα αυτά λόγω οικονομικών και εμπορικών πλεονεκτημάτων του το αλουμίνιο έχει επικρατήσει. Ο ευρύτερα χρησιμοποιούμενος τύπος είναι ο XLPE 3x240 mm² +25 mm² Al (με μόνωση πολυαιθυλενίου).

1.5 Μετασχηματιστές

Ο μετασχηματιστής είναι ηλεκτρική μηχανή που μετατρέπει την εναλλασσόμενη ηλεκτρική ενέργεια ενός επιπέδου τάσης, σε εναλλασσόμενη ηλεκτρική ενέργεια διαφορετικού επιπέδου τάσης (μικρότερου ή μεγαλύτερου), μέσω της επίδρασης ενός μαγνητικού πεδίου. Η ροή της ενέργειας στο εσωτερικό του ακολουθεί την εξής πορεία: ηλεκτρική, μαγνητική, ηλεκτρική. Αποτελείται από δύο (μονοφασικός) ή περισσότερα (για παράδειγμα έξι για τον τριφασικό) πηνία που τυλίγονται γύρω από έναν κοινό σιδηρομαγνητικό πυρήνα. Τα τυλίγματα της μίας πλευράς αποτελούν το πρωτεύον του μετασχηματιστή, ενώ της άλλης το δευτερεύον.



Σχήμα 1.1: Σχηματική αναπαράσταση μονοφασικού μετασχηματιστή^[2]

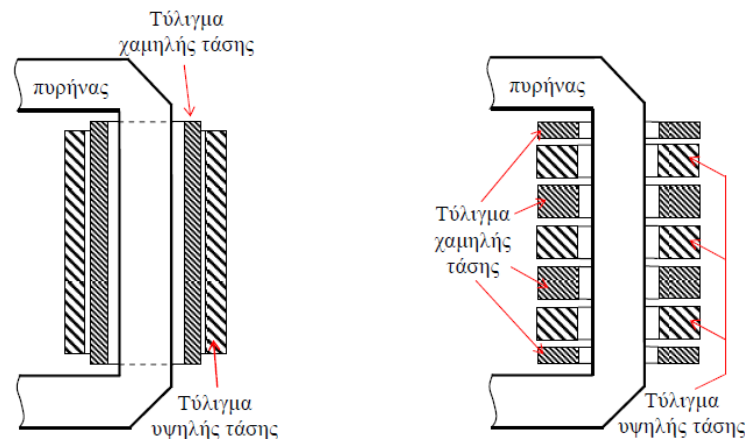
Η αρχή λειτουργίας του εδράζεται στο νόμο του Faraday:

$$e_{ind} = N \frac{d\Phi}{dt} \quad (1-7)$$

Όπου N ο αριθμός των σπειρών του τυλίγματος και Φ η μαγνητική ροή που τις διαπερνά.

Τα **τυλίγματα** είναι κατασκευασμένα ως επί το πλείστον από αλουμίνιο, ενώ σε λιγότερες περιπτώσεις μπορεί να χρησιμοποιηθεί και χαλκός. Το σχήμα διαμόρφωσής τους είναι κυλινδρικό ή δισκοειδές. Η μεταξύ

τους **μόνωση** εξαρτάται από τη διάμετρο και τις μεταφερόμενες ισχύες, ωστόσο ευρέως χρησιμοποιούμενα υλικά είναι το καπρόν (μετάξι) και το τέλερεν για διαμέτρους ως 0,35mm, το βαμβάκι ως 1,3mm και το χαρτί για μεγαλύτερες διαμέτρους. Τέλος ο μετασχηματιστής ως προς την **ψύξη** μπορεί να είναι είτε **ξηρού τύπου** (dry), είτε λαδιού (oil-immersed). Στην πρώτη περίπτωση, η ψύξη γίνεται με ανεμιστήρα ή με ακτινοβολία και φυσική έλξη, ενώ στη δεύτερη η μεγαλύτερη ειδική θερμοχωρητικότητα και θερμική αγωγιμότητα του λαδιού έχουν σαν αποτέλεσμα την καλύτερη απαγωγή της θερμότητας. Το μονωτικό λάδι παρουσιάζει επίσης το πλεονέκτημα της καλύτερης διηλεκτρικής αντοχής έναντι του αέρα (περίπου έξι φορές μεγαλύτερη), μειονεκτεί όμως ως προς τις ανάγκες συντήρησης που γεννά για τον μετασχηματιστή (έναντι της υγρασίας και του αέρα που τυχόν συσσωρεύονται στο εσωτερικό και μπορούν να μειώσουν τη διηλεκτρική αντοχή του).



Σχήμα 1.2: Αριστερά: κυλινδρική διαμόρφωση τυλιγμάτων μετασχηματιστή. Δεξιά δισκοειδής διαμόρφωση τυλιγμάτων μετασχηματιστή [2]

Η σημασία των μετασχηματιστών σε ένα ΣΗΕ είναι πολύ μεγάλη. Η εφεύρεση του και η ταυτόχρονη ανάπτυξη των πηγών εναλλασσόμενης τάσης παραμέρισαν όλους τους προηγούμενους περιορισμούς στο επίπεδο ισχύος και το μέγεθος των συστημάτων ισχύος. Η ευκολία μετασχηματισμού του επιπέδου τάσης σε συνδυασμό με τον πολύ καλό βαθμό απόδοσης που τους χαρακτηρίζει (άνω του 95% ακόμα και σε μικρές φορτίσεις σε σχέση με την ονομαστική), έπαιξαν καταλυτικό ρόλο για την ταχύτερη ανάπτυξη του ηλεκτρικού δικτύου. Παρακάτω παρουσιάζονται οι κύριοι τύποι μετασχηματιστών σε ένα σύγχρονο ΣΗΕ.

1.5.1 Μετασχηματιστές Ισχύος

Ο μετασχηματιστής ισχύος είναι ο ευρύτερα χρησιμοποιούμενος τύπος μετασχηματιστή. Αποτελεί το συνδετικό κρίκο ανάμεσα στις γραμμές των διαφόρων επιπέδων τάσης του ΣΗΕ και είναι η καρδιά του υποσταθμού. Η τοπολογία του φαίνεται στο *Σχήμα 1.3*. Τα τυλίγματα του συνδέονται παράλληλα με τα σχετιζόμενα συστήματα. Η μεταφορά ισχύος από την πλευρά του πρωτεύοντος προς αυτή του δευτερεύοντος γίνεται εξ ολοκλήρου μέσω επαγωγής, καθώς δεν υπάρχει καμία ηλεκτρική σύζευξη των τυλιγμάτων των δύο πλευρών. Αυτό οδηγεί και σε μια επιπλέον σημαντική υπηρεσία του μετασχηματιστή, τη **γαλβανική απομόνωση** των συστημάτων.

Χαρακτηριστικό μέγεθος του μετασχηματιστή αποτελεί ο **λόγος μετασχηματισμού** α , ο οποίος ορίζεται ως ο λόγος των σπειρών του πρωτεύοντος (N_1) προς τις σπείρες του δευτερεύοντος (N_2).

$$a = \frac{N_1}{N_2} \quad (1-8)$$

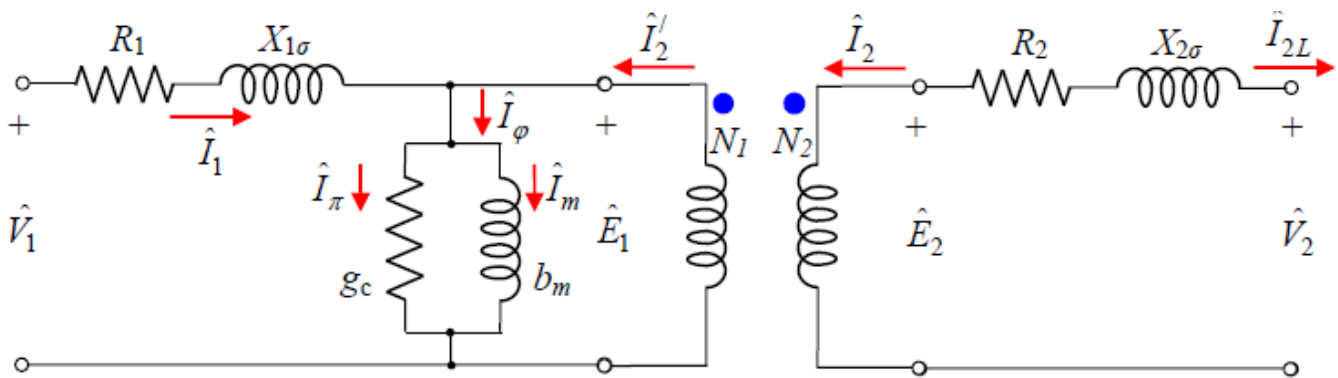
Μέσω αυτού μπορεί να χαρακτηριστεί πλήρως η λειτουργία του **ιδανικού** μετασχηματιστή από τις ακόλουθες σχέσεις:

$$a = \frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1} \quad (1-9)$$

Τα ευρέως χρησιμοποιούμενα επίπεδα τάσης μετασχηματιστών ισχύος στο ελληνικό ΣΗΕ είναι όπως είναι λογικό 150/20 kV, 20/0,4 kV.

1.5.1.1 Πραγματικός Μετασχηματιστής

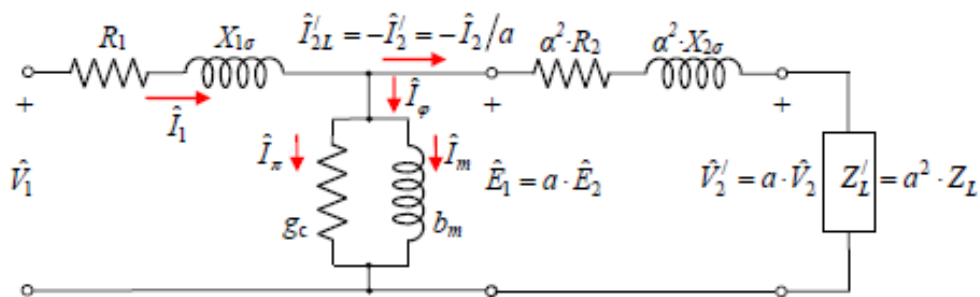
Το ανά φάση **ισοδύναμο κύκλωμα** του **πραγματικού** μετασχηματιστή ισχύος φαίνεται παρακάτω.



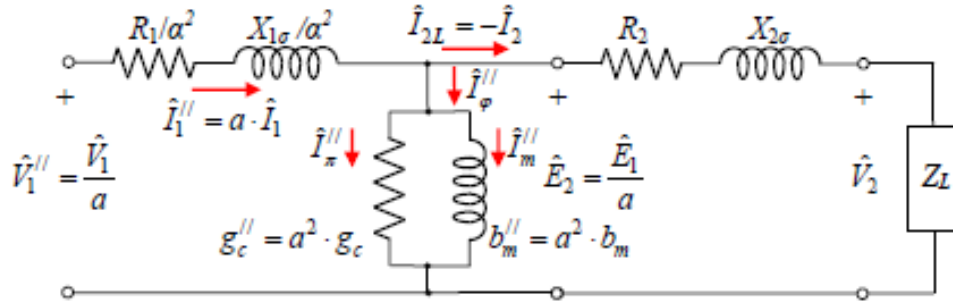
Σχήμα 1.3: Ισοδύναμο κύκλωμα μετασχηματιστή ισχύος^[2]

Τα τυλίγματα προσομοιώνονται με την ωμική τους αντίσταση (R_1 , R_2) και την επαγωγική τους αντίδραση ($X_{1\sigma}$, $X_{2\sigma}$), ενώ ο εγκάρσιος κλάδος αντιπροσωπεύει τον πυρήνα μέσω του ρεύματος μαγνήτισης (που διαρρέει την b_m) και των απωλειών δινορρευμάτων του υλικού (απώλειες πάνω στην g_c).

Για την αποφυγή της χρήσης του ιδανικού μετασχηματιστή στο ισοδύναμο κύκλωμα, χρησιμοποιείται η τεχνική της **αναγωγής των μεγεθών** στο πρωτεύον ή στο δευτερεύον του μετασχηματιστή. Κατά αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η αναπαράσταση με ένα εκ των παρακάτω ισοδύναμων κυκλωμάτων. Η αναπαράσταση αυτή απαιτεί στο τέλος των υπολογισμών, την επαναφορά των ανηγμένων μεγεθών στην κανονική πλευρά τους.



Σχήμα 1.4: Ισοδύναμο κύκλωμα μετασχηματιστή ισχύος ανηγμένο στο πρωτεύον^[2]

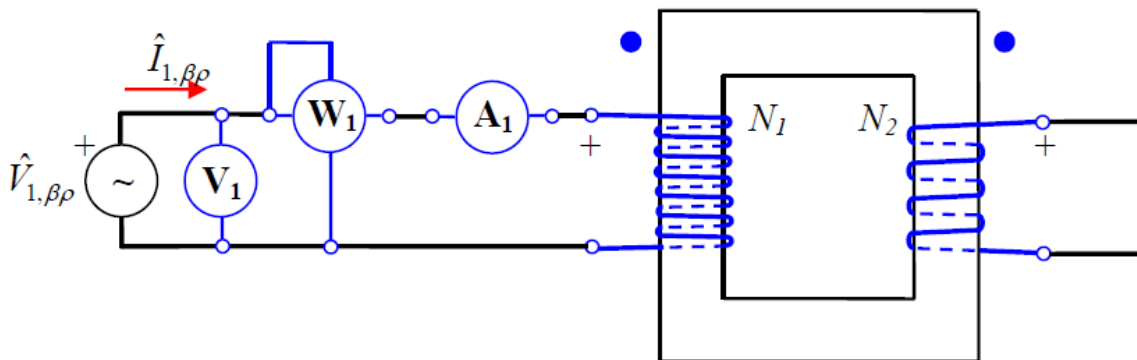


Σχήμα 1.5: Ισοδύναμο κύκλωμα μετασχηματιστή ισχύος ανηγμένο στο δευτερεύον^[7]

Ο προσδιορισμός των παραμέτρων του μετασχηματιστή που φαίνονται στο ισοδύναμο ανά φάση κύκλωμα του γίνεται με πειραματικές δοκιμές.

1.5.1.2 Δοκιμή βραχυκύκλωσης

Αρχικά με τη **δοκιμή βραχυκύκλωσης** προσδιορίζονται η ισοδύναμη ωμική αντίσταση και η ισοδύναμη επαγωγική αντίδραση του μετασχηματιστή. Η εκτέλεσή της γίνεται με τη βραχυκύκλωση του δευτερεύοντος και την επιβολή χαμηλής τάσης στο πρωτεύον, τέτοιας ώστε το ρεύμα βραχυκυκλώσεως να είναι ίσο με το ονομαστικό.



Σχήμα 1.6: Πειραματική διάταξη δοκιμής βραχυκύκλωσης^[7]

Λόγω της πολύ μικρής επιβαλλόμενης τάσης, το ρεύμα μαγνήτισης είναι πολύ μικρό, συνεπώς ο εγκάρσιος κλάδος του ισοδυναμού κυκλώματος μπορεί να αγνοηθεί με ασφάλεια. Από τη μετρούμενη τάση ($\tilde{V}_{1,\beta\rho}$) και ένταση ($\tilde{I}_{1,\beta\rho}$) προκύπτει η ισοδύναμη αντίσταση των τυλιγμάτων.

$$|Z'_{\sigma}| = \frac{\tilde{V}_{1,\beta\rho}}{\tilde{I}_{1,\beta\rho}} \quad (1-10)$$

Από τη μετρούμενη ενεργό ισχύ και θεωρώντας ότι αυτή αντιπροσωπεύει αποκλειστικά τις απώλειες χαλκού των τυλιγμάτων, προκύπτουν η ωμική αντίσταση και η επαγωγική αντίδραση των τυλιγμάτων του μετασχηματιστή. Οι προκύπτουσες τιμές θεωρούνται προσεγγιστικά μοιρασμένες κατά το ήμισυ σε πρωτεύον και δευτερεύον:

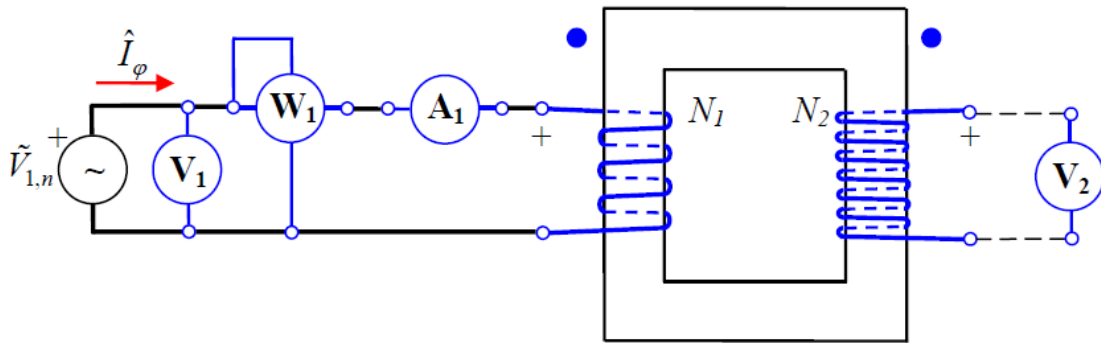
$$R'_{i\sigma} = \frac{P_{1,\beta\rho}}{\tilde{I}_{1,\beta\rho}^2} \quad (1-11)$$

$$X'_{i\sigma} = \sqrt{|Z'_{i\sigma}|^2 - R'_{i\sigma}{}^2}$$

Η $z_{i\sigma}$ ανά μονάδα, ταυτίζεται με ένα άλλο σημαντικό μέγεθος του μετασχηματιστή, την **τάση βραχυκύκλωσης** του ανά μονάδα (u_k). Αυτή στην ουσία συνιστά την τάση με την οποία πρέπει να τροφοδοτηθεί ο μετασχηματιστής στο πρωτεύον τύλιγμα, ούτως ώστε να διαρρέεται με την ονομαστική ένταση ρεύματος, ενώ το δευτερεύον είναι βραχυκυκλωμένο.

1.5.1.3 Δοκιμή ανοιχτοκύκλωσης

Για τον προσδιορισμό των μεγεθών του εγκάρσιου κλάδου εφαρμόζεται η **δοκιμή ανοιχτοκύκλωσης**. Σε αυτήν το δευτερεύον αφήνεται ανοιχτοκυκλωμένο, ενώ το πρωτεύον τίθεται υπό ονομαστική τάση. Η πειραματική διάταξη της δοκιμής φαίνεται παρακάτω.



Σχήμα 1.7: Πειραματική διάταξη δοκιμής ανοιχτοκύκλωσης^[6]

Η μετρούμενη τάση ($\tilde{V}_{1,n}$) και ένταση (\tilde{I}_ϕ) δίνουν την αγωγιμότητα του εγκάρσιου κλάδου (η αντίσταση του τυλιγματος πρωτεύοντος αμελείται), ενώ από τη μετρούμενη ισχύ (P_1), προκύπτουν οι επιμέρους συνιστώσες της (g_c , b_m).

$$|Y_\phi| = \frac{\tilde{I}_\phi}{\tilde{V}_{1,n}}$$

$$g_c = \frac{P_1}{\tilde{V}_{1,n}^2}$$

$$b_m = \sqrt{|Y_\varphi|^2 - g_c^2} \quad (1-12)$$

Τέλος, με χρήση της μέτρησης της τάσης δευτερεύοντος (\tilde{V}_2), μπορεί να υπολογιστεί ο λόγος μετασχηματισμού:

$$\alpha = \frac{\tilde{V}_1}{\tilde{V}_2} \quad (1-13)$$

1.5.2 Μετασχηματιστής Τάσης

Ο μετασχηματιστής τάσης είναι στην ουσία ένας απλός μονοφασικός μετασχηματιστής ειδική κατασκευής, καθώς χρησιμοποιείται σε δίκτυα και μηχανές υψηλής τάσης με σκοπό τη μέτρηση, την επιτήρηση, την προστασία και τον έλεγχο αυτών. Στην ουσία δε μεταφέρει ισχύ (παρά μόνο όση χρειάζονται τα όργανα μέτρησης στο δευτερεύον του) και αποτελεί ένα μετασχηματιστή υποβιβασμού τάσης με την ονομαστική τάση του δευτερεύοντος να είναι ορισμένη στα 100 V (με βάση διεθνή πρότυπα). Το ισοδύναμο κύκλωμά του είναι ίδιο με αυτό του μετασχηματιστή ισχύος και έχει την ιδιαιτερότητα ότι το ρεύμα μαγνήτισης είναι παρόμοιας τάξης μεγέθους με το ονομαστικό του.

Το πρωτεύον τύλιγμα αποτελείται από πολλές σπείρες μικρής διατομής, ενώ το δευτερεύον από λιγότερες σπείρες μεγαλύτερης διατομής. Είναι μεταξύ τους ηλεκτρικά απομονωμένα και για λόγους απόλυτης προστασίας τυλίγονται σε διαφορετικούς κορμούς του πυρήνα. Το δευτερεύον απαγορεύεται να βραχυκυκλωθεί, ενώ είναι πάντα γειωμένο, προκειμένου να εμφανιστεί βραχυκύκλωμα προς γη σε περίπτωση υπερπήδησης τάσης στην έξοδο.

Τεχνικά χαρακτηριστικά των μετασχηματιστών τάσης είναι η ονομαστική τάση πρωτεύοντος (V), ο λόγος μετασχηματισμού, η φαινόμενη ισχύς του μετασχηματιστή, ο παράγων ονομαστικής τάσης (συντελεστής που δείχνει το λόγο της μέγιστης τάσης υπό την οποία μπορεί να βρεθεί το πρωτεύον του μετασχηματιστή για δοσμένο χρονικό διάστημα προς την ονομαστική του τάση) και η κλάση που αποτυπώνει το σφάλμα μέτρησης τάσης (σε μέτρο και γωνία).

1.5.3 Μετασχηματιστής Έντασης

Ο μετασχηματιστής έντασης χρησιμοποιείται για τη μέτρηση υψηλών ρευμάτων, τα οποία δεν μπορούν να μετρηθούν με κοινά όργανα. Η ένταση δευτερεύοντος είναι 1 ή 5 A (με βάση διεθνή πρότυπα). Όπως είναι λογικό, για να είναι όσο το δυνατόν ακριβέστερη η μέτρηση του ρεύματος του πρωτεύοντος του μετασχηματιστή, μέσω του ρεύματος δευτερεύοντος, είναι απαραίτητο το ρεύμα της εν κενώ λειτουργίας του μετασχηματιστή να είναι όσο το δυνατόν μικρότερο. Για τον σκοπό αυτό οι μετασχηματιστές έντασης σχεδιάζονται, ώστε να λειτουργούν με όσο το δυνατό μικρότερη μαγνητική επαγωγή στον πυρήνα. Αυτό

επιτυγχάνεται με αύξηση της διατομής του πυρήνα και χρήση χαλυβδοελασμάτων με χαμηλότερο συντελεστή ειδικών απωλειών.

Οι ακροδέκτες του δευτερεύοντος είναι βραχυκυκλωμένοι (συνεδεδέμενο αμπερόμετρο αμελητέας αντίστασης) και γειωμένοι για λόγους προστασίας από υπερπήδηση τάσεως από το πρωτεύον στο δευτερεύον.

1.6 Προστασία Δικτύων Διανομής

Με τον όρο προστασία των δικτύων διανομής εννοείται η καταστολή σφαλμάτων που οδηγούν τα στοιχεία του δικτύου σε επικίνδυνες, εκτός των ονομαστικών τους μεγεθών περιοχές λειτουργίας. Η μη αντιμετώπιση αυτών των σφαλμάτων εμπεριέχει σοβαρούς κινδύνους για τον εξοπλισμό, οδηγώντας σε μεγάλα κόστη αντικατάστασης και συντήρησης διατάξεων και την ομαλή εξυπηρέτηση των αναγκών ηλεκτρικής ισχύος των καταναλωτών. Ταυτόχρονα συνεπάγεται και σοβαρούς κινδύνους για την ίδια την ανθρώπινη ζωή, τόσο για εργαζόμενους πάνω στο δίκτυο, όσο και για καταναλωτές.

Τα σφάλματα αφορούν υπερτάσεις και υπερεντάσεις που μπορεί να εμφανιστούν στο δίκτυο και έχουν ως αποτέλεσμα σημαντικές **θερμικές και μηχανικές καταπονίσεις** του εξοπλισμού (π.χ. στα τυλίγματα των μετασχηματιστών και στις μονώσεις τους, στις μονώσεις των γραμμών διανομής κ.λπ.) που μπορούν να οδηγήσουν σε μόνιμες βλάβες (καταστροφή γραμμών, μεταβολή των χαρακτηριστικών μεγεθών ενός μετασχηματιστή, όπως η u_k κ.α.).

Τα περισσότερα σφάλματα οφείλονται σε **απώλεια μονώσεως** μεταξύ φάσεων ή προς τη γη οδηγώντας σε βραχυκυκλώματα. Η απώλεια μονώσεως μπορεί να προκληθεί από υπερτάσεις που οφείλονται σε εσωτερικά (βραχυκυκλώματα) ή εξωτερικά αίτια (κεραυνοί). Επίσης σε σφάλματα μπορεί να οδηγήσουν και καθαρά εξωγενείς παράγοντες, όπως η ρύπανση των μονωτήρων, η πτώση δέντρων στις γραμμές κ.α.. Τέλος κάθε απότομη αλλαγή της κατάστασης λειτουργίας του δικτύου (άνοιγμα, κλείσιμο διακόπτη, ζεύξη σταθμών παράγωγης κ.α.) μπορεί να οδηγήσει σε μεγαλύτερης ή μικρότερης έκτασης υπερτάσεις και υπερεντάσεις.

1.6.1 Μέσα Ζεύξεως και Προστασίας

Τα μέσα ζεύξεως και προστασίας χρησιμοποιούνται τόσο για τον χειρισμό των διατάξεων (ζεύξη-απόζευξη τμημάτων του δικτύου, σταθμών παραγωγής και εγκαταστάσεων κατανάλωσης), όσο και για την καταστολή σφαλμάτων (όταν ελέγχονται από κατάλληλους ηλεκτρονόμους). Τα μέσα αυτά διαφέρουν ως προς τα ονομαστικά μεγέθη τους και την ικανότητα αποκοπής τάσεων και εντάσεων που διαθέτουν. Η συναρμολόγηση των πινάκων (switchgears) που εμπεριέχουν αυτά τα στοιχεία έχει επικρατήσει να γίνεται στο εργοστάσιο και όχι στο πεδίο του έργου. Τα μέσα αυτά είναι:

Αποζεύκτες (A/Z): Χρησιμοποιούνται για το άνοιγμα και κλείσιμο κυκλωμάτων, όταν το ρεύμα που διακόπτεται ή αποκαθίσταται είναι αμελητέο (χωρητικά ρεύματα μονωτήρων, ζυγών, μετασχηματιστών τάσεως κ.λπ.) και δεν προκαλείται ουσιαστική μεταβολή του κατά το άνοιγμα των πόλων. Η έκθεση τους σε ρεύματα βραχυκυκλώσεως για μεγαλύτερη διάρκεια από αυτή που έχουν προδιαγραφεί επιφέρει την καταστροφή τους, ενώ μπορούν να διαρρέονται συνεχώς από το ονομαστικό τους ρεύμα.

Διακόπτες Φορτίου (Δ/Φ): Έχουν ικανότητα διακοπής ή αποκατάστασης εντάσεων υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας του κυκλώματος. Ωστόσο δεν μπορούν να αποκόψουν ρεύματα βραχυκυκλώσεως και η έκθεσή τους σε αυτά για μεγαλύτερη διάρκεια από αυτή που έχουν προδιαγραφεί επιφέρει την καταστροφή τους. Προφανώς μπορούν να διαρρέονται συνεχώς από το ρεύμα ονομαστικής έντασης.

Διακόπτες Ισχύος (Δ/Ι): Έχουν ικανότητα αποκοπής και αποκατάστασης εντάσεων υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας του κυκλώματος, αλλά κυρίως μπορούν, όταν ελέγχονται από ηλεκτρονόμο, να αποκόπτουν υπερεντάσεις υπό μη κανονικές συνθήκες του κυκλώματος. Μπορούν να διαρρέονται αδιάλειπτα από το ονομαστικό τους ρεύμα κατά την ομαλή λειτουργία του κυκλώματος.

Οι **ηλεκτρονόμοι υπερέντασης** κατασκευάζονται για διάφορες καμπύλες λειτουργίας, ώστε να μπορούν να ρυθμιστούν ανάλογα με τις απαιτήσεις των γραμμών ή μηχανημάτων που προορίζονται να προστατεύσουν. Οι καμπύλες λειτουργίας στο διάγραμμα έντασης-χρόνου περιγράφονται από τη σχέση:

$$t = \frac{\beta}{\left(\frac{I}{I_p}\right)^\alpha - 1} T_p \quad (1-14)$$

Όπου

t : χρόνος επέμβασης(s)

T_p : ρυθμιζόμενος συντελεστής χρόνου

I : τιμή ρεύματος βραχυκύκλωσης

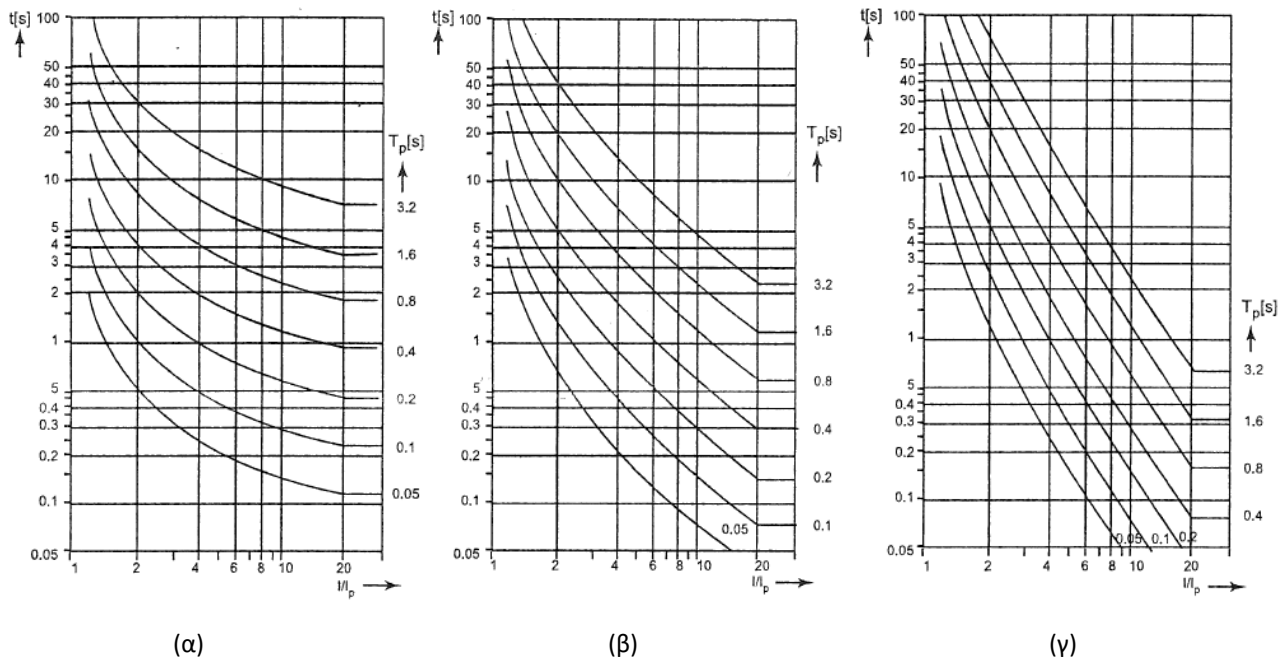
I_p : τιμή ρυθμίσεως του ρεύματος ηλεκτρονόμου

Όπως είναι εμφανές, ο χρόνος επέμβασης του ηλεκτρονόμου μειώνεται με την αύξηση του ρεύματος βραχυκύκλωσης. Το πόσο γρήγορα επέρχεται αυτή η μείωση καθορίζεται από τους συντελεστές α, β με τον προσδιορισμό των οποίων κατασκευάζεται και η χαρακτηριστική καμπύλη λειτουργίας του ηλεκτρονόμου.

Οι τιμές των συντελεστών α και β και ο τύπος της καμπύλης λειτουργίας που αυτοί προσδιορίζουν φαίνονται στον Πίνακα 1.3. Στο Διάγραμμα 1.1 φαίνονται διάφορες καμπύλες λειτουργίας.

Χαρακτηριστική Καμπύλη Λειτουργίας	α	β
Αντίστροφου χρόνου	0,02	0,14
Λίαν αντίστροφου χρόνου	1,00	13,50
Εξαιρετικά αντίστροφου χρόνου	2,00	80,00

Πίνακας 1.3: Τιμές συντελεστών ηλεκτρονόμου βάσει κανονισμού IEC 255-4^[2]



Διάγραμμα 1.1: Χαρακτηριστικές Καμπύλες Λειτουργίας Ηλεκτρονόμου (α) Αντίστροφου χρόνου (β) λίαν αντίστροφου χρόνου (γ) εξαιρετικά αντίστροφου χρόνου^[7]

Ασφάλειες (ΑΣΦ): Χρησιμοποιούνται για την αποκοπή εντάσεων βραχυκύκλωσης. Η αρχή λειτουργίας τους εδράζεται στην τήξη αγώγιμου νήματος από τις υπέρμετρες απώλειες Joule που προκαλούν οι υπερεντάσεις, και τη διακοπή του κυκλώματος που αυτή επιφέρει. Χαρακτηρίζονται από την ονομαστική τάση και ένταση τους και τους χρόνους απόκρισης τους στις διάφορες εντάσεις που δίνονται υπό τη μορφή χαρακτηριστικών καμπυλών, όπως αυτές των ηλεκτρονόμων υπερεντάσεως.

Γενικότερα η προστασία με ασφάλειες είναι πιο οικονομική λύση από την προστασία με διακόπτες ισχύος ελεγχόμενους από ηλεκτρονόμο, με τη δεύτερη όμως να δίνει περισσότερες δυνατότητες παρέμβασης και διαμόρφωσης της επιλογικής συνεργασίας των μέσων.

1.6.2 Προστασία Γραμμών από υπερεντάσεις

Η προστασία των γραμμών παρουσιάζει συγκεκριμένες τεχνικές απαιτήσεις που πρέπει να πληρούνται για την ομαλή λειτουργία του δικτύου.

Οι γραμμές προστατεύονται συνήθως από Δ/I ελεγχόμενους από ηλεκτρονόμους. Η μελέτη επιλογής των προστασιών ενός δικτύου περιλαμβάνει:

- α) την επιλογή της **θέσης** και του είδους του μέσου, προκειμένου να χωριστούν αποτελεσματικά οι ζώνες προστασίας του δικτύου,
- β) τον προσδιορισμό του **πλάτους** των εντάσεων βραχυκυκλώσεως, που αναμένεται να ρεύσουν σε κάθε ζώνη προστασίας του δικτύου,

γ) την κατάλληλη ρύθμιση των Η/Ν ή των μεγεθών των ασφαλειών, προκειμένου να επιτυγχάνεται η επιλογική συνεργασία των γειτονικών μέσων προστασίας.

Η **επιλογική συνεργασία** των προστασιών έχει να κάνει με την ανάγκη ρύθμισης των παραμέτρων τους με τέτοιο τρόπο, ώστε κατά την εκκαθάριση ενός σφάλματος να αποσυνδέεται όσο το δυνατό μικρότερο κόμματα του δικτύου είναι απαραίτητο, προκειμένου να επηρεάζονται το δυνατό λιγότεροι χρήστες του.

1.6.3 Προστασία μετασχηματιστών

Οι μετασχηματιστές διανομής προστατεύονται και στις δύο πλευρές τους από υπερτάσεις και υπερεντάσεις. Η προστασία τους περιλαμβάνει ασφάλειες ή διακόπτη ισχύος ελεγχόμενο από ηλεκτρονόμο, σε συνδυασμό με διακόπτη φορτίου. Όπως είναι λογικό, τα πιο επικίνδυνα σφάλματα είναι αυτά που αφορούν βραχυκυκλώματα στην πλευρά χαμηλής τάσης, καθώς έχουν τη μικρότερη αντίσταση προς τη γη. Γενικά είναι απαραίτητη η επιλογική συνεργασία τόσο των προστασιών του μετασχηματιστή μεταξύ τους, όσο και με τις προστασίες του δικτύου στα ανάντι και τα κατάντι του.

Η διαμόρφωση των προστασιών πρέπει να λαμβάνει υπόψη την επίδραση του **ρεύματος ζεύξης** του μετασχηματιστή που εμφανίζεται κατά την ηλέκτρισή του. Το ρεύμα αυτό παίρνει τιμές έως και 12 φορές μεγαλύτερες του ονομαστικού ρεύματος του μετασχηματιστή (για μικρής ισχύος μετασχηματιστές λαδιού έως και 18 φορές)^[7] με διάρκεια μικρότερη του 0,5 s και ανάλογη των ονομαστικών μεγεθών του μετασχηματιστή. Το ρεύμα αυτό μπορεί να ενεργοποιήσει τις προστασίες και να οδηγήσει σε προβληματική λειτουργία του δικτύου, αν δεν έχει ληφθεί υπόψη κατά τη μελέτη των ονομαστικών τιμών και των χρονικών σταθερών τους.

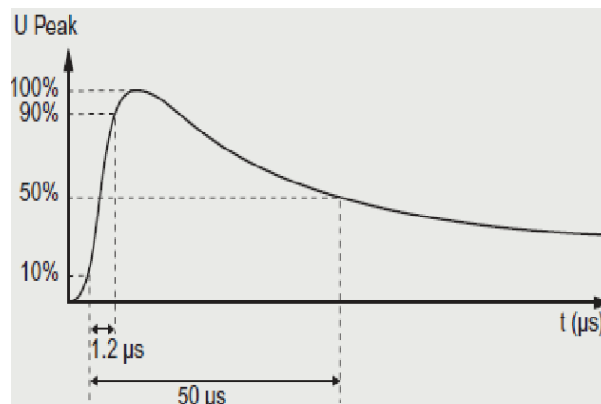
Επίσης υπάρχει προστασία για ενδεχόμενα εσωτερικά σφάλματα στον μετασχηματιστή και την καταστολή αυτών. Ο εντοπισμός τέτοιων σφαλμάτων μπορεί να γίνει με την επιτήρηση της πίεσης εντός του δοχείου του μετασχηματιστή και την παρακολούθηση της ροής αερίων που παράγονται από τυχούσα διάσπαση του μονωτικού λαδιού. Συνηθέστερος τρόπος προστασίας είναι ο ηλεκτρονόμος Buchholtz, ο οποίος παρακολουθεί την ταχύτητα των αερίων ανάμεσα στο δοχείο του μετασχηματιστή και το δοχείο διαστολής του μονωτικού λαδιού, έχοντας τη δυνατότητα να αποσυνδέσει το μετασχηματιστή σε περίπτωση που η ταχυτητά τους ξεπεράσει ένα συγκεκριμένο όριο, καθώς αυτό αποτελεί ένδειξη εσωτερικού σφάλματος.

Τέλος οι μετασχηματιστές οφείλουν να προστατεύονται και από **υπερφορτίσεις**. Αυτές αφορούν φόρτιση του μετασχηματιστή πάνω από την ονομαστική του ικανότητα για εκτενή χρονικά διαστήματα. Ο κατασκευαστής έχει συγκεκριμένα χρονικά όρια για τη διάρκεια υπερφόρτισης του μετασχηματιστή ανάλογα με το μέγεθος της υπερφόρτισης αυτής (% της ονομαστικής ικανότητας ισχύος). Η υπέρβαση των χρονικών αυτών ορίων προκαλεί σημαντική θερμική καταπόνηση των μονώσεων των τυλιγμάτων του μετασχηματιστή (μέγιστη επιτρεπτή θερμοκρασία τυλιγμάτων μετασχηματιστή είναι 65-70 °C) και μπορεί να οδηγήσει σε βραχυκυκλώματα. Η προστασία συνίσταται στην επιτήρηση της εσωτερικής θερμοκρασίας του μετασχηματιστή με θερμόμετρο ή για μετασχηματιστές μεγάλης ισχύος (άνω των 5 MVA) στη χρήση θερμικού ηλεκτρονόμου.

1.6.4 Προστασία από υπερτάσεις

Οι υπερτάσεις έχουν τις αιτίες τους σε εσωτερικά (βραχυκυκλώματα) ή εξωτερικά αίτια (ατμοσφαιρικές υπερτάσεις), με τις εξωγενείς, να συνιστούν το μεγαλύτερο κίνδυνο. Αυτές έχουν μικρή διάρκεια (τάξης μs) και εμφανίζονται επί των εναερίων γραμμών υπό τη μορφή οδεύοντων κυμάτων (κρουστικές υπερτάσεις). Η προστασία από υπερτάσεις αποσκοπεί πρώτα και κύρια στην πρόληψη της εμφάνισής τους ή τουλάχιστον στον περιορισμό της συχνότητας εμφάνισης. Σε περίπτωση που χρειαστεί όμως, επιδιώκεται η καταστολή τους με τον κατάλληλο σχεδιασμό του δικτύου και την εγκατάσταση των κατάλληλων μέσων προστασίας.

Για τη αποτροπή της εμφάνισης των υπερτάσεων, χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο **μονωτήρες**. Έχουν το χαρακτηριστικό σχήμα κώδωνα και είναι διαφόρων τύπων ανάλογα με τον τρόπο σύνδεσης (μονωτήρες ανάρτησης, στήριξης κ.α.). Φτιάχνονται συνήθως από πορσελάνη και χαρακτηριστικό γεωμετρικό τους μέγεθος είναι το λεγόμενο **μήκος ερπυσμού** που ορίζεται ως το μήκος της διαδρομής του ηλεκτρικού ρεύματος για να κάνει υπερπήδηση του μονωτήρα. Ο υπολογισμός της ονομαστικής αντοχής του μονωτήρα γίνεται από εργαστηριακές δοκιμές κατά τις οποίες ο μονωτήρας υποβάλλεται σε κρουστικές τάσεις στα άκρα του και καταγράφεται με στατιστικά δεδομένα η πιθανότητα υπερπήδησης που παρουσιάζει για κάθε πλάτος κρουστικής τάσης σε δοσμένες συνθήκες. Η τυποποιημένη **κρουστική τάση** που χρησιμοποιείται για την πιστοποίηση των μεγεθών φαίνεται στο **Διάγραμμα 1.2**. Τα χαρακτηριστικά της είναι μέτωπο διάρκειας $T_1=1,2 \mu\text{s}$ (0-100% της μέγιστης τιμής της τάσης) και ουρά διάρκειας $T_2=50 \mu\text{s}$ (η διάρκεια από την αρχή του κύματος μέχρι την επαναφορά του στο 50% της μεγιστής τιμής του κατά την απόσβεσή του)



Διάγραμμα 1.2: Κρουστική τάση δοκιμών μονωτήρων^[8]

Τα κύρια **μέσα προστασίας** από υπερτάσεις είναι ο αγωγός προστασίας και οι απαγωγείς υπερτάσεων. Ο αγωγός προστασίας εγκαθίσταται παράλληλα και ψηλότερα από τους αγωγούς των γραμμών (ή άλλων ενεργών στοιχείων) ώστε να πληγεί αυτός από τους κεραυνούς και να τους διοχετεύσει προς τη γη προστατεύοντας τον εξοπλισμό. Οι απαγωγείς υπερτάσεων αποτελούν μεταβαλλόμενες αντιστάσεις εγκάρσια συνδεδεμένες με γραμμές, μέσω διακένου, και τη γη. Το πέρασμα του οδεύοντος κύματος τους οδηγεί σε διάσπαση του διακένου και απόσβεση της υπέρτασης.

1.7 Ανάλυση φορτίου

Η ομαλή λειτουργία του ηλεκτρικού δικτύου έχει ως προϋπόθεση τη μελέτη της ηλεκτρικής ζήτησης (φορτίο) τόσο στο παρόν, όσο και στο μεσοπρόθεσμο και μακροπρόθεσμο μέλλον (πρόβλεψη φορτίου). Το συνολικό φορτίο ενός συστήματος μελετάται με τη βοήθεια διάφορων μακροσκοπικών μεγεθών και στατιστικών μεθόδων και καλείται φορτίο ή ζήτηση του συστήματος. Η σημασία του προσδιορισμού του φορτίου συστήματος είναι καθοριστική αν αναλογιστεί κανείς ότι η ηλεκτρική ενέργεια έχει την ιδιαιτερότητα να είναι ένα αγαθό χωρίς τη δυνατότητα αποθήκευσης (ή τουλάχιστον αποδοτικής αποθήκευσης), επομένως η παραγωγή οφείλει να εξυπηρετεί τη ζήτηση σε πραγματικό χρόνο.

Ταυτόχρονα, το σύστημα, χρειάζεται τη δυνατότητα κάλυψης τόσο της μέγιστης ζήτησης, όσο και έκτακτων καταστάσεων με δυσανάλογες μεταβολές αύξησης ζήτησης ισχύος, απώλειες μονάδων παραγωγής και προγραμματισμένες και μη συντηρήσεις στοιχείων του δικτύου. Για τον λόγο αυτό ο διαχειριστής διατηρεί αρκετή εφεδρεία με ανάλογους χρόνους απόκρισης στα διάφορα τέτοια συμβάντα.

Οι καταναλωτές ενός συστήματος κατηγοριοποιούνται ανάλογα με το προφίλ ηλεκτρικής ζήτησης τους. Τέτοιες κατηγορίες είναι οι οικιακοί, βιομηχανικοί, αγροτικοί, εμπορικοί καταναλωτές κ.α.

1.7.1 Μελέτη φορτίων

Το φορτίο, προφανώς, αφορά τη στιγμιαία τιμή ηλεκτρικής ισχύος που απορροφάται από το δίκτυο ($L(t)$). Ωστόσο, όπως είναι λογικό ένα τέτοιο μέγεθος είναι πολύ ευμετάβλητο και δύσκολο να μελετηθεί σε πραγματικό χρόνο. Ως εκ τούτου φορτίο ενός καταναλωτή θεωρείται η μέση ηλεκτρική ισχύς του κατά το διάστημα μιας χρονικής περιόδου ολοκλήρωσης (ΔT):

$$P(t) = \frac{1}{\Delta T} \int_t^{t+\Delta T} L(\tau) d\tau \quad (1-15)$$

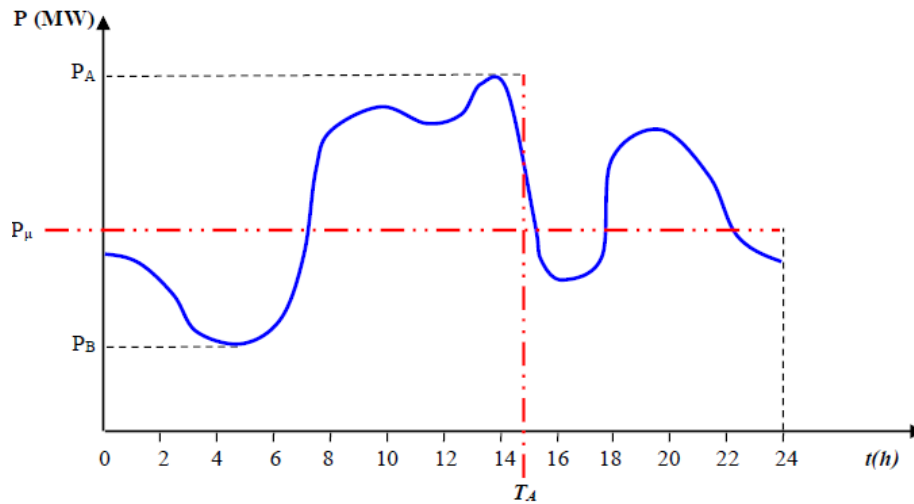
Η εξομάλυνση που επιφέρει η ολοκλήρωση έχει ως αποτέλεσμα την απαλοιφή υψίσυχνων διακυμάνσεων του στιγμιαίου φορτίου. Το διάστημα ολοκλήρωσης ΔT κυμαίνεται από λεπτά για περιπτώσεις μελέτης ροών φορτίου μέχρι και στη μία ώρα για μελέτες φορτίου του συστήματος υψηλής τάσης.

Το φορτίο κάθε στιγμή ισούται με το άθροισμα των καταναλώσεων όλων των συσκευών και μετράται ως η αντίστοιχη ενεργός καταναλισκόμενη ισχύς (kW ή MW). Παράγοντες που το επηρεάζουν είναι οι καιρικές συνθήκες, η μέρα, η ώρα, η εποχή κ.λπ. Επίσης το προφίλ των εξυπηρετούμενων καταναλωτών έχει τη δικιά του επίδραση. Για παράδειγμα το φορτίο βιομηχανικών ή εμπορικών καταναλωτών είναι πολύ μεγαλύτερο κατά τις εργάσιμες ημέρες, ενώ οι τουριστικές περιοχές των νησιών παρουσιάζουν μέγιστη ζήτηση κατά τους καλοκαιρινούς μήνες.

1.7.2 Καμπύλες φορτίων

Οι καμπύλες φορτίου αποτελούν το συνηθέστερο εργαλείο αποτύπωσης του φορτίου για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα (μέρας, βδομάδας, μήνα, έτους κ.λπ.), είτε αυτή αφορά την πρόβλεψη φορτίου, είτε την καταγραφή του φορτίου της περιόδου αυτής.

Η χρονολογική καμπύλη φορτίου είναι η γραφική παράσταση της ζητούμενης ισχύος (τεταγμένη) σε συνάρτηση με το χρόνο (τετμημένη) στον οποίο ζητήθηκε η αντίστοιχη ισχύς. Στο ακόλουθο διάγραμμα παρουσιάζεται μια ημερήσια χρονολογική καμπύλη φορτίου (24 ώρες).



Διάγραμμα 1.3: Ημερήσια χρονολογική καμπύλη διάρκειας φορτίου^[12]

Χαρακτηριστικά μεγέθη για την περιγραφή της καμπύλης είναι:

- Περίοδος φορτίου T : Η περίοδος μελέτης στην οποία αναφέρεται η καμπύλη φορτίου.
- Αιχμή ή μέγιστο φορτίο P_A (kW ή MW): Το μεγαλύτερο φορτίο που παρατηρείται κατά την περίοδο μελέτης T .
- Φορτίο βάσης ή ελάχιστο φορτίο P_B (kW ή MW): Το μικρότερο φορτίο που παρατηρείται κατά την περίοδο μελέτης T .
- Κατανάλωση ενέργειας E (kWh ή MWh): Η καταναλισκόμενη ενέργεια κατά την περίοδο T . Προφανώς δίνεται από το εμβαδόν που περικλείει η χρονολογική καμπύλη φορτίου.

$$E = \int_0^T P(t)dt \quad (1-16)$$

- Μέσο φορτίο P_M (kW ή MW): Το σταθερό φορτίο που αν διαρκούσε για χρονική διάρκεια T θα οδηγούσε σε κατανάλωση ενέργειας E .

$$P_M = \frac{E}{T} \quad (1-17)$$

- Ιδεατή διάρκεια αιχμής T_A : Ο χρόνος που θα χρειάζονταν σταθερό φορτίο ισχύος P_A ώστε να καταναλωθεί ενέργεια E .

$$T_A = \frac{E}{P_A} \quad (1-18)$$

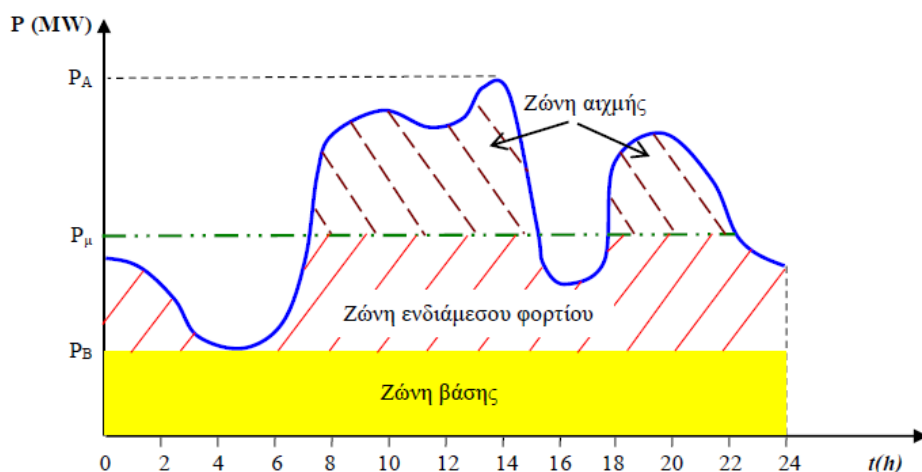
- Συντελεστής φόρτισης m (%): Το πηλίκο του μέσου φορτίου προς το φορτίο αιχμής. Πρακτικά αποτελεί ένα μέτρο της διακύμανσης της χρονολογικής καμπύλης φορτίου.

$$m = \frac{P_M}{P_A} \quad (1-19)$$

Το φορτίο καθαυτό χωρίζεται σε τρεις ζώνες:

- Ζώνη βάσης: η περιοχή φορτίων από το μηδέν ως το φορτίο βάσης.
- Ζώνη αιχμής: η περιοχή φορτίων από το μέσο φορτίο (ή από τα 2/3 της αιχμής) έως την αιχμή. Στη ζώνη αυτή βρίσκονται οι πιο απότομες αλλαγές του φορτίου.
- Ζώνη ενδιάμεσου φορτίου: περιλαμβάνει τα φορτία ανάμεσα στις δύο προαναφερθείσες ζώνες. Δηλαδή φορτία μεγαλύτερα από το φορτίο βάσης και μικρότερα από το μέσο φορτίο (ή από τα 2/3 της αιχμής).

Οι ζώνες αποτυπώνονται στο Διάγραμμα 1.4



Διάγραμμα 1.4: Αποτύπωση ζωνών φορτίου ημερήσιας χρονολογικής καμπύλης διάρκειας φορτίου^[12]

1.7.3 Πρόβλεψη φορτίου

Η πρόβλεψη φορτίου είναι μια διαδικασία που εκτελείται σε διάφορους χρονικούς ορίζοντες για τις ανάγκες του συστήματος:

- **Πολύ βραχυπρόθεσμη:** πρόβλεψη ζήτησης φορτίου για τα επόμενα 30 λεπτά έως μια ώρα, με βήμα δευτερολέπτου έως και λεπτού. Έχει ως στόχο την τροφοδότηση με δεδομένα των συστημάτων αυτομάτου ελέγχου των γεννητριών, ώστε να γίνει ο έλεγχος της τάσης στην έξοδό τους, και οι απαραίτητοι χειρισμοί για τη σχέση φορτίου-συχνότητας.
- **Βραχυπρόθεσμη:** πρόβλεψη φορτίου για το επόμενο εικοσιτετράωρο ως μια εβδομάδα με βήμα μισής έως μίας ώρας. Ως στόχο έχει τη ρύθμιση των βασικών επιπέδων λειτουργίας των μονάδων και παίζει ρόλο στη σειρά ένταξης τους με βάση την οικονομική κατανομή φορτίου.
- **Μεσοπρόθεσμη:** για ένα έτος με χρονικό βήμα βδομάδας. Αφορά κυρίως τον προγραμματισμό της συντήρησης μονάδων παραγωγής, της αγοράς καυσίμων και της αξιοποίησης των διαθέσιμων υδάτινων πόρων, ώστε να εξασφαλίζεται αξιόπιστη κάλυψη του φορτίου με τις ήδη εγκατεστημένες μονάδες.

- **Μακροπρόθεσμη:** με χρονικό ορίζοντα ετών (10-20) και χρονικό βήμα έτους. Αφορά κυρίως τον προσδιορισμό της ετήσιας αιχμής φορτίου και τη συνολική ενέργεια για τον χρονικό ορίζοντα που διενεργείται. Είναι χρήσιμη για τη λήψη αποφάσεων σχετικών με έργα υποδομής του δικτύου, όπως νέες γραμμές μεταφοράς, αναδιαμόρφωση δικτύων διανομής μεγάλων περιοχών κ.λπ.

1.8 Σχεδιασμός και ανάπτυξη Δικτύων Διανομής

Ο σχεδιασμός του δικτύου είναι μια σύνθετη διαδικασία. Αφορά τόσο την παρούσα λειτουργία του δικτύου, όσο και κάθε μελλοντικό στιγμιότυπο της λειτουργίας του. Ο προσδιορισμός της βέλτιστης επέκτασης του δικτύου υπόκειται σε τεchnοοικονομικά κριτήρια. Αφ' ενός υπάρχει μια ελάχιστη επέκταση του δικτύου, προκειμένου αυτό να μπορεί να επιτελέσει το ρόλο του, δηλαδή την ανεμπόδιστη ροή της ισχύος. Αυτό το κάτω όριο, προφανώς διαμορφώνεται από τα τεχνικά όρια των γραμμών. Αφ' ετέρου, η επέκταση αυτή οφείλει να «βγάζει νόημα» από οικονομικής άποψης, αφού ληφθούν υπόψη τα κόστη κατασκευής γραμμών και υποδομών αλλά και τα κόστη των απωλειών των γραμμών. Επομένως από οικονομικής άποψης διαμορφώνεται ένα άνω όριο της πιθανής λύσης. Τα δύο αυτά όρια, συνδιαμορφώνουν τον χώρο των πιθανών λύσεων, που περικλείει την βέλτιστη τεchnοοικονομικά λύση.

1.8.1 Μελέτη επέκτασης δικτύου

Κατά τον σχεδιασμό της ανάπτυξης του δικτύου εκτελούνται τα ακόλουθα βήματα^[4]:

- **Ανάλυση υφιστάμενης κατάστασης δικτύου:**
Γίνεται ανάλυση της ικανότητας του δικτύου στην υφιστάμενη μορφή του να εξυπηρετήσει, από τεχνικής άποψης (θερμικά όρια, όρια πτώσης τάσης γραμμών κ.λπ.) τις ανάγκες κατανάλωσης. Επίσης εξετάζεται και η οικονομική λειτουργία του δικτύου (απώλειες γραμμών).
- **Προσδιορισμός αναμενόμενης εξέλιξης φορτίων:**
Σε αυτό το στάδιο υπολογίζεται το φορτίο για όλη την εξεταζόμενη περίοδο, ανάλογα με τη μέθοδο που έχει επιλεγεί (προεκβολή εξέλιξης φορτίων προηγούμενων ετών, συσχέτιση με οικονομικά, δημογραφικά στοιχεία κ.λπ.).
- **Προσδιορισμός δυνατών τεχνικών λύσεων:**
Καθορίζονται οι δυνατές τεχνικές λύσεις επέκτασης του δικτύου. Επί της ουσίας προσδιορίζονται, τα έργα που πρέπει να υλοποιηθούν κατ' ελάχιστον, προκειμένου να μπορεί το δίκτυο να εξυπηρετήσει το φορτίο.
- **Επιλογή βέλτιστης τεχνικοοικονομικής λύσης:**
Επιλέγεται η τεχνικά άρτια λύση που συνεπάγεται το μικρότερο συνολικό κόστος. Το κόστος προφανώς αποτελείται από τα κόστη επένδυσης και συντήρησης εξοπλισμού, καθώς και απωλειών δικτύου διανομής.

Οι βασικές αυτές αρχές ισχύουν τόσο για τα δίκτυα Μέσης, αλλά και Χαμηλής και Υψηλής τάσης. Ανάλογα με το χρονικό ορίζοντα της μελέτης, αυτή μπορεί να χαρακτηριστεί ως βραχυπρόθεσμη (για τα επόμενα 1-5 χρόνια περίπου), μεσοπρόθεσμη (για τα επόμενα 5-10 χρόνια) και μακροπρόθεσμη (έως και 30 έτη)

[1] <https://www.admie.gr/systima/perigrifi/hartis-grammon>

[2]

<https://deddie.gr/Documents2/syndesi%20sto%20diktio/%CE%A3%CE%A5%CE%A3%CE%A4%CE%97%CE%9C%CE%91%20%CE%A3%CE%A5%CE%9C%CE%9C%CE%95%CE%A4%CE%9F%CE%A7%CE%A9%CE%9D%20%CE%A7%CE%A4%20%CE%93%CE%99%CE%91%20%CE%A4%CE%9F%20SITE%20%CE%A4%CE%9F%CE%A5%20%CE%94%CE%95%CE%94%CE%94%CE%97%CE%95%20230513.pdf>

[3] Δεκαετές πρόγραμμα ανάπτυξης Συστήματος Μεταφοράς 2022-2031, Αθήνα Μάρτιος 2021,

<https://www.admie.gr/systima/anaptyxi/dekaetes-programma-anaptyxis>

[4] Βασ. Κ. Παπαδιάς, *Γραμμές Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας, Τόμος 1*, Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

[5] Π. Γεωργιλάκης, *Σύγχρονα συστήματα μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας*, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

[6] Stephen J. Charman, *Ηλεκτρικές Μηχανές*, Εκδόσεις Τζιόλα, 4η έκδοση, σελ 900

[7] Γ.Ι. Τσεκούρας, Ι. Κ. Χατζηλάου, «Κεφάλαιο 2: Μετασχηματιστές», *Σημειώσεις στο γνωστικό αντικείμενο των ηλεκτρικών μηχανών*, Σ.Ν.Δ., 2015, σελ 130

[8] Κώστας Νικόδ. Κριτσωτάκης, *Εισαγωγή στην προστασία των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων*, Εκδόσεις Τζιόλα, σελ 287

[9] Μιχ. Π. Παπαδόπουλος, *Δίκτυα Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας, Τόμος 1*, Αθήνα 1994: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, σελ 365

[10] Ιωάννης Αθ. Σταθόπουλος, *Υψηλές Τάσεις Ι*, Εκδόσεις Συμεών, σελ 349

[11] Πέτρος Ντουκόπουλος, *Εισαγωγή στα ΣΗΕ, τόμος 2*, Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Παρατηρητής, σελ 456

[12] Γ.Ι. Τσεκούρας, *Ηλεκτρική Οικονομία, Μέρος Ε, Κεφάλαιο 1: Μελέτη Φορτίων*

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2.1 Σχεδιασμός Ανάπτυξης Δικτύων Διανομής

Η εκπόνηση νέων έργων στο Δίκτυο Διανομής είναι μια σύνθετη διαδικασία που επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες. Τα νέα αυτά έργα σχετίζονται άμεσα με την ικανοποιητική εξυπηρέτηση των καταναλωτών, την αδιάκοπη δηλαδή εξυπηρέτηση του όλο και αυξανόμενου φορτίου. Τα έργα επέκτασης δικτύου, υλοποιούνται σταδιακά και συνήθως έχουν σημαντικά χρονικά διαστήματα υλοποίησης αλλά και μεγάλους χρόνους ζωής (25-30 χρόνια). Για τον λόγο αυτό πριν την υλοποίησή τους, λαμβάνονται υπόψη οι μελλοντικές ανάγκες του δικτύου και ο βαθμός εξυπηρέτησης που προκύπτει από τα προς υλοποίηση έργα.

Είναι φανερό ότι η λήψη αποφάσεων για το σχεδιασμό της ανάπτυξης των Δικτύων Διανομής βασίζεται στο συνολικό κόστος που απορρέει από τα διάφορα σενάρια κατά την εξέταση του θέματος για μια συγκεκριμένη χρονικά περίοδο (10-20 έτη). Τέτοιες είναι όχι μόνο οι δαπάνες κατασκευής του έργου, αλλά και οι δαπάνες εκμετάλλευσής του (για τη λειτουργία και συντήρησή του). Τέλος κάθε έργο οδηγεί σε διαφορετικές απώλειες ενέργειας και ισχύος, ενώ εξυπηρετεί σε διαφορετικό βαθμό τις ανάγκες των καταναλωτών.

2.2 Οικονομικές έννοιες

2.2.1 Κόστος Χρήματος

Το **κόστος χρήματος** (*i*) είναι το **επιτόκιο** με το οποίο ο δανειστής παραχωρεί στον δανειζόμενο χρηματικό ποσό, γνωστό ως κεφάλαιο. Το επιτόκιο εκφράζεται ως ποσοστό του ποσού του δανείου και καταβάλλεται υπό τη μορφή **τόκων** ή μερισμάτων. Στο τέλος της περιόδου διάρκειας του δανείου, ο δανειζόμενος είναι υποχρεωμένος να καταβάλει στον δανειστή το αρχικό ποσό προσαυξημένο κατά το ποσοστό του επιτοκίου. Τα ποσά που αφορούν την πληρωμή του αρχικού κεφαλαίου ονομάζονται **χρεωλύσια**. Το άθροισμα χρεωλύσιων και τόκων ονομάζεται **τοκοχρεωλύσιο**. Ο τόκος στην ουσία αποτελεί την αμοιβή του δανειστή για την παραχώρηση της δυνατότητας χρήσης του ποσού από τον δανειζόμενο.

Το επιτόκιο περιέχει στην ουσία το κόστος του χρήματος. Στην ουσία αντανακλά το ρίσκο που εμπεριέχει ο δανεισμός του κεφαλαίου για τον δανειστή, ενώ επηρεάζεται και από την τιμή του πληθωρισμού. Η αξία του χρήματος, όπως και κάθε άλλου προϊόντος, διαμορφώνεται στην αγορά από τη διελκυστίνδα προσφοράς και ζήτησης.

2.2.2 Αναγωγή αξιών σε κοινό χρόνο

Η αξιολόγηση πιθανών επενδύσεων σίγουρα φέρνει ως ανάγκη τη σύγκριση αξιών (εισπράξεων ή δαπανών) που συμβαίνουν σε διαφορετικές χρονικές στιγμές της ζωής ενός έργου. Η αξία αυτών των ποσών έχει και τη χρονική της διάσταση, καθώς όπως είναι λογικό η αξία ενός χρηματικού ποσού στο χρόνο αλλάζει (πληθωρισμός). Πέραν της αξίας αυτής καθαυτής όμως, υπεισέρχονται και οι παράγοντες του ρίσκου μιας

μελλοντικής είσπραξης, της οικονομικής πολιτικής μιας εταιρείας, της μελλοντικής αξίας των επιτοκίων κ.α. Προκύπτει το εξής ερώτημα: Πως είναι δυνατό να συγκριθούν χρηματοροές και δαπάνες που θα λάβουν χώρα σε διαφορετικές χρονικές στιγμές, δηλαδή σε διαφορετικά οικονομικά περιβάλλοντα;

Το σύνολο των παραγόντων που περιεγράφηκαν παραπάνω περικλείονται σε ένα σύνθετο οικονομικό μέγεθος, τον λεγόμενο **συντελεστή αναγωγής σε παρούσα αξία**. Μέσω αυτού του συντελεστή επιτυγχάνεται η αναγωγή των χρηματικών ποσών διαφορετικών χρονικών περιόδων σε κοινό χρόνο (συνήθως στην έναρξη της πιθανής επένδυσης), και ως εκ τούτου η δυνατότητα άμεσης σύγκρισής τους.

Έτσι ένα κεφάλαιο C_t που δαπανάται για μια επένδυση στο τέλος του έτους t μιας χρονικής περιόδου $1, 2, \dots, N$ ετών έχει **παρούσα αξία** (επιλέγοντας για χρόνο αναγωγής το τέλος του έτους 0 της επένδυσης):

$$C_0 = \frac{C_t}{(1+i)^t} \quad (2-1)$$

Αντίστοιχα, μπορεί να γίνει και η ανάποδη θεώρηση. Δηλαδή ένα κεφάλαιο C_0 που δαπανάται για μια επένδυση στο τέλος του έτους 0 μια χρονικής περιόδου $1, 2, \dots, N$ ετών, έχει **μελλοντική αξία** στο τέλος του έτους t της χρονικής αυτής περιόδου:

$$C_t = C_0 \cdot (1+i)^t \quad (2-2)$$

Ανάλογα με την επιλογή του κοινού χρόνου στον οποίο ανάγονται τα ποσά επιλέγεται και ο αντίστοιχος τύπος. Συνηθέστερη είναι η αναγωγή σε παρούσα αξία.

2.2.3 Τοκοχρεωλυτική δόση

Έστω ότι η υλοποίηση μιας επένδυσης απαιτεί την εκτέλεση πληρωμών (C_t) στο τέλος κάθε έτους (t) της περιόδου $1, 2, \dots, N$ ετών. Η συνολική δαπάνη ανηγμένη στο τέλος του έτους 0 είναι:

$$C_{0,total} = \frac{C_{t_1}}{(1+i)^{t_1}} + \frac{C_{t_2}}{(1+i)^{t_2}} + \dots + \frac{C_{t_N}}{(1+i)^{t_N}} \quad (2-3)$$

Αν τα έτη είναι διαδοχικά και οι πληρωμές ισόποσες ($C_{t_1} = C_{t_2} = \dots = C_{t_N} = R$) τότε η 2-3 γίνεται:

$$C_{0,total} = R \cdot \sum_{k=1}^N \frac{1}{(1+i)^k} = R \cdot \frac{1}{i} \cdot \left(1 - \frac{1}{(1+i)^N}\right) \quad (2-4)$$

Με λίγα λόγια, η εκτέλεση του έργου απαιτεί είτε N διαδοχικές πληρωμές ύψους R στο τέλος κάθε έτους, είτε ισοδύναμα την πληρωμή ποσού $C_{0,total}$ στο τέλος του έτους 0. Το ποσό R καλείται **σταθερή τοκοχρεωλυτική δόση**.

$$R = C_{0,total} \cdot \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \quad (2-5)$$

Η παραπάνω συλλογιστική μπορεί να εφαρμοστεί για οποιαδήποτε αλληλουχία χρηματοροών (πχ εξόφληση δανείου).

Τίθεται:

$$A(i, N) = \frac{1}{i} \cdot \left(1 - \frac{1}{(1+i)^N}\right) = \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \quad (2-6)$$

Είναι προφανές ότι για $N \rightarrow \infty$, βάσει της (2-5) ότι $A \rightarrow \frac{1}{i}$. Πρακτικά αυτό σημαίνει ότι για απόσβεση της επένδυσης σε άπειρα χρόνια η τοκοχρεωλυτική δόση είναι $R_\infty \rightarrow \frac{C_{0,total}}{i}$.

Μια άλλη έκφραση για την τοκοχρεωλυτική δόση είναι αυτή που προκύπτει από τη **γραμμική απόσβεση** της επένδυσης. Τότε η τοκοχρεωλυτική δόση είναι διαφορετική κάθε χρόνο και προκύπτει από τη θεώρηση ότι αποσβάζεται ίδιο ποσοστό της επένδυσης κάθε χρόνο. Τελικά το ποσό της απόσβεσης προκύπτει για κάθε έτος t :

$$C(t) = C_{0,total} \cdot \frac{1}{N} \cdot (1+i)^t \quad (2-7)$$

Ή ανηγμένη στο τέλος του έτους 0 της επένδυσης

$$C_0(t) = C_{0,total} \cdot \frac{1}{N} \quad (2-8)$$

2.2.4 Αξία εγκατάλειψης εγκατάστασης

Έστω ότι η διάρκεια ζωής μιας εγκατάστασης αρχικής δαπάνης C_0 , είναι N έτη. Με το πέρας των N ετών, η εγκατάσταση είναι πλέον ακατάλληλη προς εκμετάλλευση, αλλά συνεχίζει να έχει ένα μέρος της αξίας της (ανακύκλωση υλικών, χρήση τμημάτων της ως μεταχειρισμένες εφεδρείες κλπ). Η αξία αυτή καλείται **αξία εγκατάλειψης (C_N)** και δίνεται ως ποσοστό επί της αρχικής αξίας της εγκατάστασης.

2.2.5 Αξία χρήσης ή υπολειπόμενη αξία εγκατάστασης

Η εγκατάσταση έχει ανά πάσα στιγμή (έτος t) μια **αξία χρήσης ή υπολειπόμενη αξία (YA_t)**. Η αξία αυτή αντιπροσωπεύει την αξία του έργου σε περίπτωση που εγκαταλείπονταν (πώληση ή αντικατάσταση του) στο τέλος του έτους για το οποίο υπολογίζεται. Η τιμή της αξίας αυτής είναι όπως είναι λογικό το άθροισμα των εναπομενουσών τοκοχρεωλυτικών δόσεων κατά το έτος t , αφού έχει αφαιρεθεί η αναμενόμενη αξία εγκατάλειψης. Ανηγγεμένη στην αρχή του έτους t και με τη θεώρηση απόσβεσης της εγκατάστασης με σταθερές τοκοχρεωλυτικές δόσεις, η υπολειπόμενη αξία δίνεται από τη σχέση:

$$YA(t) = R \cdot A(i, N - t) + \frac{C_N}{(1+i)^{N-t}} \quad (2-9)$$

Όπου

$$R = (C_{0,total} - \frac{C_N}{(1+i)^N}) \cdot \frac{1}{A(i,N)} \quad (2-10)$$

Η τοκοχρεωλυτική δόση για την απόσβεση της εγκατάστασης

$$YA(t) = C_0 - (C_0 - C_N) \cdot \frac{(1+i)^t - 1}{(1+i)^N - 1} \quad (2-11)$$

ή με αναγωγή στο τέλος τους έτους 0

$$YA_0(t) = \frac{C_0}{(1+i)^t} - (C_0 - C_N) \cdot \frac{(1+i)^t - 1}{(1+i)^N - 1} \cdot \frac{1}{(1+i)^t} \quad (2-12)$$

Παρόμοια μπορεί να προσδιοριστεί η αξία χρήσης εγκατάστασης με τη θεώρηση γραμμικής απόσβεσης της επένδυσης.

Τότε

$$YA_t = C_0 - (C_0 - C_N) \cdot \frac{t}{N} \quad (2-13)$$

2.2.6 Τελική Υπολειπόμενη Αξία Υλικού

Με την ίδια λογική προσδιορίζεται και η Τελική Υπολειπόμενη Αξία ενός εγκατεστημένου υλικού. Αυτή προσδιορίζεται κατά το έτος K , που σηματοδοτεί το τέλος της διενεργούμενης μελέτης. Για υλικό κόστους C_{mat} που έχει εγκατασταθεί στην αρχή του χρόνου n , σε εγκατάσταση χρόνου ζωής N ετών, ο χρόνος ζωής του

στο τέλος της μελέτης είναι $N - (K - n + 1)$. Επομένως για θεώρηση **γραμμικής απόσβεσης** της αξίας του υλικού:

$$TYA_{\gamma} = C_{mat} \frac{N-(K-n+1)}{N} \quad (2-14)$$

Με τον συνυπολογισμό της αναγωγής στον κοινό χρόνο του ποσού C_{mat} και του γεγονότος της φθοράς υλικού (ποσοστό αξιοποίησης αποξηλωμένου υλικού a_j):

$$TYA_{\gamma} = a_j \frac{C_{mat} \frac{N-(K-n+1)}{N}}{(1+i)^n} \quad (2-15)$$

Στην περίπτωση **απόσβεσης τοκοχρεωλυτικής δόσης**, για επένδυση ύψους C_{mat} στην αρχή του χρόνου n , σε εγκατάσταση χρόνου ζωής N ετών ισχύουν και μετά από δ χρόνια λειτουργίας:

Η αξία που έχει αποσβεστεί είναι (R η τοκοχρεωλυτική δόση):

$$D = \frac{R}{1+i} + \frac{R}{(1+i)^2} + \dots + \frac{R}{(1+i)^{\delta}} = R \frac{(1+i)^{\delta}-1}{(1+i)^{\delta}i} \quad (2-16)$$

Βάσει των σχέσεων (2-5) και (2-15) η Εναπομείνουσα Αξία κατά το έτος δ θα είναι:

$$EA = C_{mat} \frac{(1+i)^N - (1+i)^{\delta}}{((1+i)^N - 1)(1+i)^{\delta}} \quad (2-17)$$

Συνεπώς η Τελική Υπολειπόμενη Αξία στο τέλος της μελέτης (έτος K , δηλ $\delta=K-n+1$) είναι:

$$TYA_{\text{τοκ}} = C_{mat} \frac{(1+i)^N - (1+i)^{K-n+1}}{((1+i)^N - 1)(1+i)^{K-n+1}} \quad (2-18)$$

Με τον συνυπολογισμό της αναγωγής στον κοινό χρόνο του ποσού C_{mat} και του γεγονότος της φθοράς υλικού (ποσοστό αξιοποίησης αποξηλωμένου υλικού a_j):

$$TYA_{\text{τοκ}} = a_j C_{mat} \frac{(1+i)^N - (1+i)^{K-n+1}}{((1+i)^N - 1)(1+i)^{K-n+1}} \quad (2-19)$$

Το πηλίκο $\frac{TYA}{a_j C_{mat}}$, μας δίνει τον Συντελεστή Υπολειπόμενης αξίας (ΣΥΑ).

2.2.7 Κοστολόγηση απωλειών

Το κόστος απωλειών (C_{loss}) περιλαμβάνει το κόστος ισχύος και το κόστος ενέργειας. Η εκτίμηση τους γίνεται με βάση το μακροχρόνιο οριακό κόστος της ενέργειας. Ειδικότερα, χρησιμοποιείται η σχέση:

$$C_{loss} = a \cdot P_A + b \cdot E_A \quad (2-20)$$

Όπου:

P_A : η αιχμή ισχύος (μέγιστη ζήτηση) κατά το θεωρούμενο χρονικό διάστημα

E_A : η καταναλισκόμενη ενέργεια κατά το θεωρούμενο χρονικό διάστημα

a, b : συντελεστές χρεώσεως ισχύος (€/W) και ενέργειας (€/kWh) αντίστοιχα

2.2.8 Απώλειες γραμμών

Έστω τριφασική γραμμή ωμικής αντίστασης R (Ω/km) και μήκους L (km) η οποία τροφοδοτεί στο άκρο της φορτίο με καμπύλη ζήτησης ρεύματος $I(t)$, αιχμής I_A και συντελεστή απωλειών ΣA κατά το θεωρούμενο χρονικό διάστημα του ενός έτους ($T=8760$ h). Οι απώλειες ισχύος (kW) και ενέργειας (kWh) πάνω στη γραμμή είναι:

$$P_{loss} = 3 \cdot R \cdot L \cdot I_A^2 \cdot 10^{-3} \quad (2-21)$$

$$E_{loss} = P_{AF} \cdot T \cdot \Sigma A \quad (2-22)$$

Επομένως, αν πρόκειται για γραμμή το **κόστος απωλειών** για ένα έτος χωρίς αυτό να έχει αναχθεί στην αρχή του έτους 0 είναι:

$$C_{loss} = 3 \cdot R \cdot L \cdot I_A^2 \cdot (a + b \cdot 8760 \cdot \Sigma A) \cdot 10^{-3} \quad (2-23)$$

Επίσης για n παραλληλισμένες όμοιες γραμμές το κόστος απωλειών είναι ίσο με:

$$C_{loss,n} = 3 \cdot \frac{1}{n} \cdot R \cdot L \cdot I_A^2 \cdot (a + b \cdot 8760 \cdot \Sigma A) \cdot 10^{-3} \quad (2-24)$$

Λαμβάνοντας υπόψη ότι η φαινόμενη τριφασική ισχύς του φορτίου (S_{max}) συνδέεται με το ρεύμα και την τάση του σύμφωνα με τη σχέση:

$$S_{max} = \sqrt{3}V_N I_{max} \quad (2-25)$$

το κόστος απωλειών γραμμής κατά τη διάρκεια ενός έτους (χωρίς αναγωγή της χρηματικής αξίας σε κοινό χρόνο) είναι:

$$C_{loss} = Par \cdot S_{max}^2 \quad (2-26)$$

(S_{max} σε MVA)

$$\text{Όπου } Par = \frac{RL}{V_N^2} (a + b \cdot 8760 \cdot \Sigma A) \cdot 10^3$$

Ομοίως για n παραλληλισμένες γραμμές ίδιου τύπου:

$$C_{loss} = \frac{1}{v} Par \cdot S_{max}^2 \quad (2-27)$$

2.2.9 Απώλειες μετασχηματιστών

Οι απώλειες ενεργού ισχύος των μετασχηματιστών διακρίνονται σε απώλειες σιδήρου ή πυρήνα (W_π) και χαλκού ή φορτίου (W_φ). Οι απώλειες πυρήνα είναι σταθερές, ενώ οι απώλειες χαλκού μεταβάλλονται με το τετράγωνο του φορτίου. Η ενεργός ισχύς απωλειών για μετασχηματιστή ονομαστικής ισχύος (S_n), που λειτουργεί σε φορτίο S δίνονται από τη σχέση:

$$P_{AM} = W_\pi + W_\varphi \cdot \left(\frac{S}{S_n}\right)^2 \quad (2-28)$$

Κατά αντιστοιχία όσων εφαρμόστηκαν για την κοστολόγηση των απωλειών γραμμών προσδιορίζεται η αιχμή της ισχύος απωλειών, οι απώλειες ενέργειας και το συνολικό τους κόστος για ένα έτος χωρίς αυτό να έχει αναχθεί στην αρχή του έτους 0:

$$E_{AM} = W_\pi \cdot 8760 + W_\varphi \cdot \left(\frac{S_{max}}{S_n}\right)^2 \cdot 8760 \cdot \Sigma A \quad (2-29)$$

$$C_{AM} = W_\pi \cdot (8760 \cdot b) + W_\varphi \cdot \left(\frac{S_{max}}{S_n}\right)^2 (a + 8760 \cdot b \cdot \Sigma A) \quad (2-30)$$

Βιβλιογραφία-Πηγές 2^{ου} Κεφαλαίου

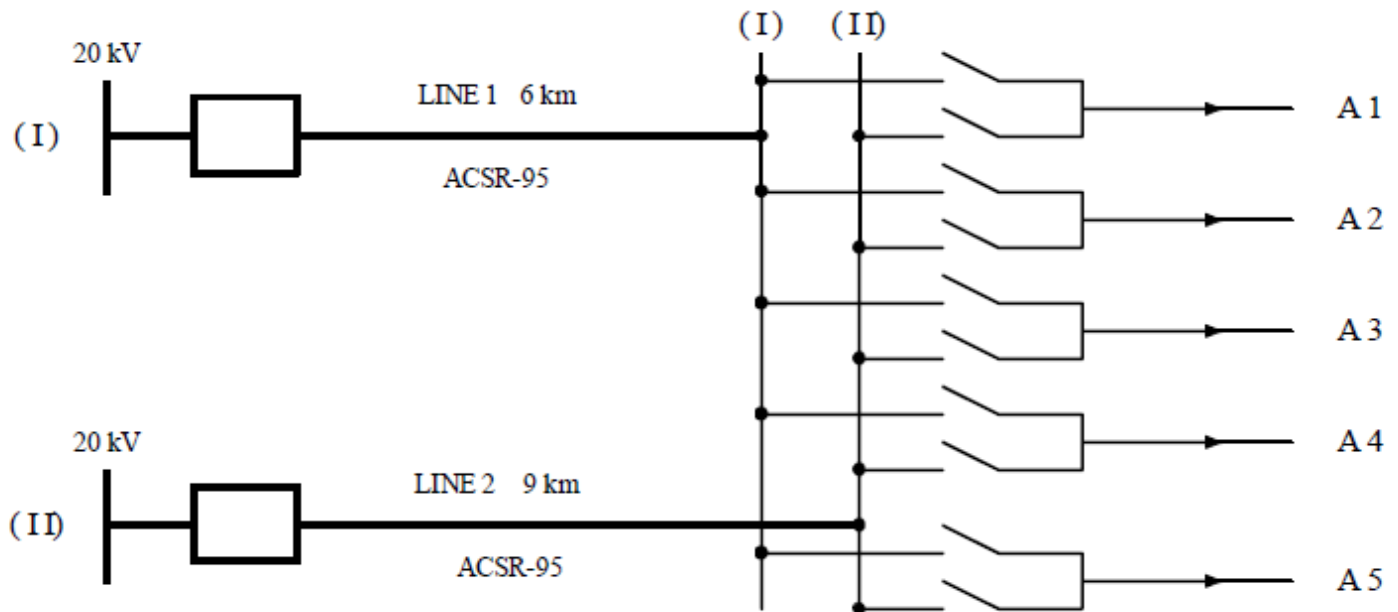
[1] Μιχ. Π. Παπαδόπουλος, *Δίκτυα Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας, Τόμος 1*, Αθήνα 1994: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, σελ 365

[2] Γ. Τσεκούρας, *Εισαγωγή σε οικονομικές έννοιες, σημειώσεις πανεπιστημιακού μαθήματος*

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1 Πρόβλημα

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η επίλυση της βέλτιστης επέκτασης του εικονιζόμενου δικτύου (Σχήμα 3.1). Η μελέτη αφορά περίοδο 10 ετών.



Σχήμα 3.1: Τυπικό ακτινικό δίκτυο μέσης τάσης

Το δίκτυο αποτελείται από δύο εναέριες τριφασικές γραμμές ACSR-95, δύο ζυγούς άφιξης των γραμμών, καθώς και υπόγειες αναχωρήσεις από τους ζυγούς για την τροφοδοσία. Στο άκρο εκκίνησης των εναέριων γραμμών θεωρείται συνδεδεμένο άπειρο ΣΗΕ.

Τα δεδομένα του προβλήματος δίνονται στον Πίνακα 3.1.

Δεδομένα	
Μεγέθη γραμμών	
Σύνθετη αντίσταση γραμμών (Z)	0,22 + j0,37 Ω/km
Μήκος γραμμής 1 (L ₁)	6 km
Μήκος γραμμής 2 (L ₂)	9 km
Θερμικό όριο φόρτισης γραμμών (S _{th})	10 MVA
Όριο πτώσης τάσης (ε)	6 %
Οικονομικά μεγέθη	
Κόστος κατασκευής	22.700 €/km
Κόστος αναχώρησης 20 kV	56.700 €
Κόστος απωλειών	α = 150 €/kW, b = 0,04 €/kWh
Φορτίο	
Αρχικά δεδομένα δικτύου (έτος 0)	15 MVA, cosφ = 0,8 επαγ
Ετήσιος ρυθμός αύξησης φορτίου (ρ)	7 %
Ετήσιος συντελεστής φορτίου	ΣΦ = 0,4
Συντελεστής απωλειών	ΣΑ = 0,232
Γενικά Στοιχεία	
Περίοδος μελέτης	10 έτη
Επιτόκιο	6 %
Τεχνική διάρκεια ζωής	10 έτη
Ποσοστό αποξήλωσης	aj = 25 %

Πίνακας 3.1: Πίνακας δεδομένων

3.2 Επίλυση προβλήματος

3.2.1 Έλεγχος Ορθής λειτουργίας κατά το έτος 0

Κατά το έτος 0 το δίκτυο είναι αυτό της *Εικόνας 3.1*. Το φορτίο είναι ίσο με 15 MVA και κατανέμεται στους ζυγούς με βέλτιστο τρόπο, δηλαδή με τρόπο ώστε να επιτευχθεί ελαχιστοποίηση των απωλειών. Αυτό φυσικά, υπό τον περιορισμό των τεχνικών ορίων που ισχύουν για τις γραμμές. Οι γραμμές όπως αναφέρθηκε και στο *Κεφάλαιο 1* υπόκεινται σε τρία τεχνικά όρια το θερμικό (S_{th}), το όριο πτώσης τάσης (S_{ΔV}) και το όριο βραχυκύκλωσης. Στην παρούσα εργασία λαμβάνονται υπόψιν τα δύο πρώτα

Συγκεκριμένα είναι διαθέσιμες δυο γραμμές ACSR-95 με μήκη L₁ = 6 km και L₂ = 9 km, οι οποίες καλούνται Τύπου I και Τύπου II αντίστοιχα. Έστω I₁ και I₂ τα ρεύματα που διαρρέουν τις γραμμές, και I το συνολικό ρεύμα του φορτίου. Οι απώλειες από τη σχέση (2-10) είναι:

$$P_{loss} = 3 \cdot R_0 \cdot L_1 \cdot I_1^2 + 3 \cdot R_0 \cdot L_2 \cdot I_2^2 \quad (3.2-1)$$

Προφανώς για τα ρεύματα ισχύει η σχέση I₂ = I – I₁. Συνεπώς

$$P_{loss} = 3 \cdot R_0 \cdot L_1 \cdot I_1^2 + 3 \cdot R_0 \cdot L_2 \cdot (I - I_1)^2 \quad (3.2-2)$$

Για την ελαχιστοποίηση των απωλειών εξετάζεται το κριτήριο της δεύτερης παραγώγου:

$$\frac{dP_A}{dI_1} = 6R_0[(L_1 + L_2)I_1 - L_2I] \quad (3.2-3)$$

$$\frac{d^2P_A}{dI_1^2} = 6R_0(L_1 + L_2) \quad (3.2-4)$$

Η δεύτερη παράγωγος είναι θετική επομένως το σημείο που $\frac{dP_A}{dI_1} = 0$ είναι ελάχιστο της συνάρτησης.

$$I_1 = \frac{L_2}{(L_1 + L_2)} I \quad (3.2-5)$$

Ή αλλιώς

$$S_1 = \frac{L_2}{(L_1 + L_2)} S \quad (3.2-6)$$

Ως εκ τούτου οι ροές ισχύος πάνω σε κάθε γραμμή είναι $S_1 = 9 \text{ MVA}$ και $S_2 = 6 \text{ MVA}$. Το θερμικό όριο των γραμμών ($P_{th} = 10 \text{ MVA}$) προφανώς δεν παραβιάζεται. Σε ότι αφορά την πτώση τάσης στα άκρα των γραμμών αυτή είναι βάση της σχέσης (1-5)

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 5,4 \%$$

Εντός ορίων.

Σε ότι αφορά τις υπόγειες αναχωρήσεις 3 συνδέονται με τη γραμμή 1 και 2 με τη γραμμή 2.

Επομένως το έτος 0 το δίκτυο λειτουργεί χωρίς κανένα πρόβλημα.

Προς γενίκευση της μεθόδου εύρεσης της βέλτιστης ροής ισχύος, στην περίπτωση που προστεθούν γραμμές είτε τύπου I είτε τύπου ισχύουν τα εξής. Η ωμική αντίσταση των n_1 παράλληλων γραμμών Τύπου I είναι $\frac{L_1 R_0}{n_1}$ και των n_2 παράλληλων γραμμών Τύπου II $\frac{L_2 R_0}{n_2}$. Επομένως αντικαθιστώντας στις παραπάνω σχέσεις και ακολουθώντας την ίδια συλλογιστική προκύπτουν οι σχέσεις για τη βέλτιστη ροή ως προς τις απώλειες των γραμμών:

$$S_1 = \frac{\frac{L_2}{n_2}}{\frac{L_1}{n_1} + \frac{L_2}{n_2}} S \quad (3.2-7)$$

$$S_2 = S - S_1$$

3.2.2 Αύξηση φορτίου

Το φορτίο του συστήματος κατά το έτος 0 είναι $S_0 = 15 \text{ MVA}$. Ο ρυθμός αύξησης του κάθε έτος είναι σταθερός και ίσος με $p = 7\%$ επομένως κατά το έτος t το φορτίο S_t υπολογίζεται ως:

$$S_t = S_0(1 + p)^t \quad (3.2-8)$$

Η εξέλιξη του φορτίου έως και το δέκατο έτος φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

Έτος	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Φορτίο (MVA)	15,00	16,05	17,17	18,38	19,66	21,04	22,51	24,09	25,77	27,58	29,51

Πίνακας 3.2: Συνολικό φορτίο κάθε έτος

Πρακτικά μέσα σε μία δεκαετία το φορτίο διπλασιάζεται.

3.2.3 Προσδιορισμός ελάχιστης αναγκαίας τεχνικής λύσης

Σε αυτό το σημείο είναι απαραίτητο να προσδιοριστεί το περιοριστικό τεχνικό όριο των γραμμών Τύπου I και II. Επί της ουσίας, κρίνεται το ποιο από τα δύο εφαρμοζόμενα τεχνικά όρια (θερμικό ή όριο πτώσης τάσης) είναι μικρότερο και περιορίζει τη δυνατότητα ροής ισχύος πάνω στη γραμμή.

Και για τους δύο τύπους γραμμών ισχύει $S_{th} = 10 \text{ MVA}$. Μέσω της σχέσης (1-6) προκύπτουν:

$$S_{\Delta V_1} = 10 \text{ MVA}$$

$$S_{\Delta V_2} = 6,67 \text{ MVA}$$

Επομένως για τις γραμμές τύπου I είναι τα δύο όρια ταυτίζονται, ενώ για τις γραμμές τύπου II το πιο περιοριστικό όριο είναι το όριο πτώσης τάσης.

$$S_{max1} = 10 \text{ MVA}$$

$$S_{max2} = 6,67 \text{ MVA}$$

Ως εκ τούτου οι τεχνικά ελάχιστες λύσεις προκειμένου να καλυφθεί το φορτίο του δέκατου έτους (29,51 MVA) είναι:

Γραμμές Τύπου I	Γραμμές Τύπου II	Συνολική Ισχύς (MVA)
3	1	36,67
2	2	33,34
1	3	30,01

Πίνακας 3.3: Τεχνικά ελάχιστες λύσεις κατά το έτος 10

3.2.3 Προσδιορισμός οικονομικών λύσεων δικτύου

Στην παρούσα παράγραφο προσδιορίζονται εκείνες οι μορφές του δικτύου που οδηγούν σε οικονομικότερες συνθήκες λειτουργίας του.

Αν αρχικά υπήρχαν n_o γραμμές (ενός τύπου από τους δύο) και προστίθενται στην αρχή του έτους n_n νέες γραμμές, θα σημειώνονταν μείωση των απωλειών ενέργειας, υπό την προϋπόθεση σταθερής συνολικής ροής ισχύος πάνω στις γραμμές. Το κέρδος απωλειών λόγω της προσθήκης γραμμών ισούται με:

$$KAD = Par \left[\frac{S^2}{n_o} - \frac{S^2}{n_o+n_n} \right] = Par \frac{n_n}{n_o(n_o+n_n)} S^2 \quad (3.2-9)$$

$$\text{Όπου } Par = \frac{R_o L}{V_N^2} (a + b \cdot 8760 \cdot \Sigma A) \cdot 10^3$$

$$(a \text{ σε } \frac{\text{€}}{\text{kWh}}, b \text{ σε } \frac{\text{€}}{\text{kWh}}, S \text{ σε MVA και } V_N \text{ σε kV, KAD σε €)}$$

Θεωρώντας άπειρο χρόνο απόσβεσης για τα έργα νέων γραμμών, η ετήσια επιβάρυνση του προϋπολογισμού (€) λόγω αυτών είναι:

$$CAD = n_n \cdot KK \cdot i \quad (3.2-10)$$

KK : κόστος κατασκευής νέας γραμμής

i : αποπληθωρισμένος συντελεστής αναγωγής

Προκειμένου να έχει οικονομικό νόημα η προσθήκη νέων γραμμών πρέπει το κέρδος απωλειών να είναι μεγαλύτερο από την επιβάρυνση του προϋπολογισμού. Αν συμβαίνει το αντίθετο, δεν έχει οικονομικά νόημα να προχωρήσουμε στην προσθήκη νέων γραμμών και αυτή θα πραγματοποιούνταν μόνο για τεχνικούς λόγους, δηλαδή σε περίπτωση που το φορτίο δεν εξυπηρετούνταν.

$$KAD \geq CAD \Rightarrow S_{lim} \geq \sqrt{n_o(n_o + n_n) \frac{KK}{Par} i} \quad (3.2-11)$$

Η σχέση (3.2-11) δίνει επί της ουσίας ένα κάτω όριο για την ισχύ που διαρρέει τις γραμμές. Πρακτικά σημαίνει ότι εάν οι νέες γραμμές (n_n) διαρρέονται από ισχύ μικρότερη από την S_{lim} τότε δεν έχει νόημα από οικονομικής άποψης η κατασκευή τους, και θα προχωράγαμε σε αυτήν μόνο για τεχνικούς λόγους. Αντίστοιχα σε περίπτωση που οι νέες γραμμές διαρρέονταν από ισχύ μεγαλύτερη από την S_{lim} η εγκατάστασή τους θα είχε νόημα, ακόμη και αν δεν επιβάλλονταν από τεχνικούς λόγους.

Το κόστος μιας γραμμής τύπου I είναι:

$$KK_1 = 6 \cdot 22.700 + 56.700 = 192.900 \text{ €}$$

Επίσης:

$$Par_1 = 766,57 \text{ €/MVA}^2$$

Με βάση τους παραπάνω υπολογισμούς προκύπτει ο ακόλουθος πίνακας (Πίνακας 3.4) με το S_{lim} για κάθε πιθανό αριθμό νέων γραμμών Τύπου I. Το τεχνικό όριο αυτών είναι 10 MVA επομένως γίνεται φανερό ότι μπορούν να προστεθούν μέχρι 5 νέες γραμμές Τύπου I.

Νέες γραμμές Τύπου I	S_{lim} (MVA)
1	5,50
2	6,73
3	7,77
4	8,69
5	9,52
6	10,28

Πίνακας 3.4: Ελάχιστη ροή ισχύος ανά γραμμή προκειμένου να έχει οικονομικό νόημα η εγκατάσταση νέων γραμμών Τύπου I

Αντίστοιχα, το κόστος μιας γραμμής τύπου II είναι:

$$KK_2 = 9 \cdot 22.700 + 56.700 = 261.000 \text{ €}$$

Επίσης:

$$Par_2 = 1149,8 \text{ €/MVA}^2$$

Με βάση τους παραπάνω υπολογισμούς προκύπτει ο ακόλουθος πίνακας (Πίνακας 3.5) με το S_{lim} για κάθε πιθανό αριθμό νέων γραμμών Τύπου II. Το τεχνικό όριο αυτών είναι 6,67 MVA επομένως γίνεται φανερό ότι μπορούν να προστεθούν μέχρι 2 νέες γραμμές τύπου I.

Νέες γραμμές Τύπου I	S_{lim} (MVA)
1	5,22
2	6,39
3	7,38

Πίνακας 3.5: Ελάχιστη ροή ισχύος ανά γραμμή προκειμένου να έχει οικονομικό νόημα η εγκατάσταση νέων γραμμών Τύπου II

Ένας άλλος τρόπος ανάγνωσης των δύο πινάκων είναι ο εξής. Η προσθήκη μιας νέας γραμμής Τύπου I έχει νόημα, εφόσον το φορτίο είναι μεγαλύτερο από $2 \cdot 5,50 = 11 \text{ MVA}$ και μικρότερο από $3 \cdot 6,73 = 20,19 \text{ MVA}$.

Αν για παράδειγμα το φορτίο ξεπερνούσε τα 20,19 MVA, θα είχε οικονομικό νόημα η προσθήκη δύο νέων γραμμών. Αντίστοιχα λοιπόν, η προσθήκη δύο νέων γραμμών Τύπου I, θα απαιτούσε το φορτίο να είναι μεγαλύτερο από $3 \cdot 6,73 = 20,19 \text{ MVA}$ και μικρότερο από $4 \cdot 7,77 = 31,08 \text{ MVA}$.

3.2.4 Συνδυασμός ελάχιστης και μέγιστης λύσης επέκτασης δικτύου

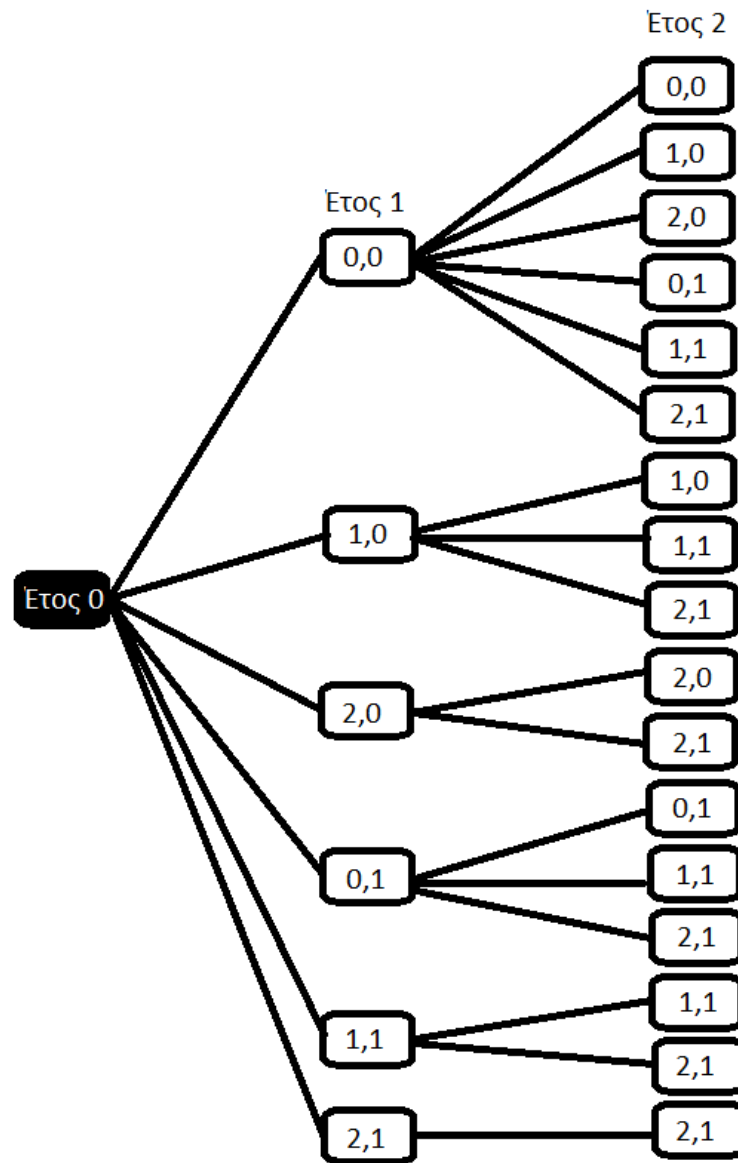
Στις δύο προηγούμενες παραγράφους, προσδιορίστηκαν η ελάχιστη και μέγιστη λύση επέκτασης του δικτύου. Βάσει αυτών, οριοθετείται ένας χώρος πιθανών λύσεων επέκτασης, που σίγουρα εμπεριέχει και τη βέλτιστη. Ως βέλτιστη λύση λογίζεται αυτή με το μικρότερο κόστος (άθροισμα κόστους κατασκευής νέων έργων και κόστους απωλειών). Συνεπώς πρέπει να εξεταστεί το σύνολο των πιθανών λύσεων με τη μεγαλύτερη δυνατή επέκταση να είναι έως 5 νέες γραμμές Τύπου I και έως 2 νέες γραμμές Τύπου II. Το πλήθος των νέων γραμμών, η σειρά ένταξης και η χρονική στιγμή (έτη 0 έως 10) κατασκευής τους είναι ζητούμενα του προβλήματος.

3.2.5 Αλγόριθμος επίλυσης

Η επιλεγμένη μέθοδος επίλυσης είναι αυτή του αλγόριθμου εξαντλητικής αναζήτησης (brute force algorithm). Στην ουσία παράγονται και εξετάζονται όλες οι πιθανές λύσεις της επέκτασης του δικτύου. Εξετάζεται η τεχνική αρτιότητα και το κόστος τους. Η φθηνότερη τεχνικά αποδεκτή λύση είναι και η ζητούμενη.

Είναι κατανοητό ότι ο δειγματικός χώρος του προβλήματος είναι αρκετά πολύπλοκος, εφόσον κιόλας το έτος ένταξης των γραμμών διαφοροποιεί τις λύσεις. Δηλαδή για παράδειγμα, η λύση κατά την οποία έχουμε ένταξη 2 γραμμών Τύπου I που τοποθετούνται κατά τα έτη 2 και 4, είναι διαφορετική από αυτήν που η ένταξη γίνεται κατά τα έτη 3 και 5.

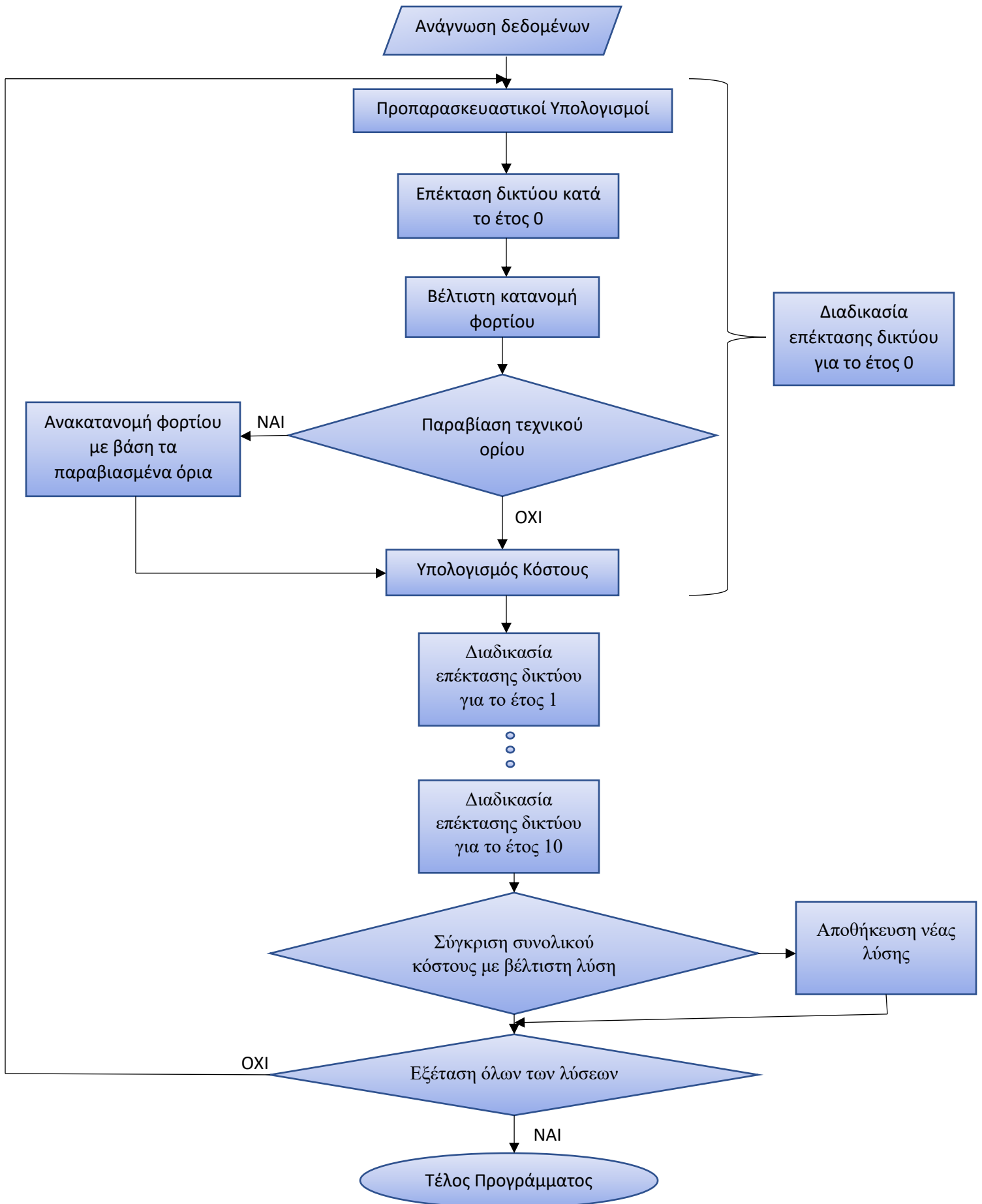
Ειδικότερα, αν το πρόβλημα περιοριζόταν σε επέκταση δύο ετών (0 και 1) με δυνατότητα επέκτασης 2 γραμμών Τύπου I και 1 Τύπου II, το αντίστοιχο δέντρο αποφάσεων θα είχε την παρακάτω μορφή.



Σχήμα 3.2: Δέντρο αποφάσεων για μελέτη 2 ετών, με δυνατότητα επέκτασης μέχρι 2 γραμμές Τύπου I και μέχρι 1 Τύπου II

Εν προκειμένω ο χρονικός ορίζοντας της μελέτης αφορά τα 11 έτη (0 έως 10), και οι δυνατότητες επέκτασης, όπως προσδιορίστηκαν στην παράγραφο 3.2.4 είναι 5 γραμμές Τύπου I και 2 Τύπου II.

Στο Σχήμα 3.3 φαίνεται το διάγραμμα ροής με τις βασικές ενέργειες του υλοποιημένου αλγορίθμου.



Σχήμα 3.3: Διάγραμμα ροής αλγορίθμου επίλυσης προβλήματος βέλτιστης επέκτασης δικτύου

Ο αλγόριθμος έχει τα εξής βασικά σημεία:

1. **Ανάγνωση** βασικών δεδομένων και σταθερών. Αυτά είναι τα κόστη κατασκευής γραμμών και αναχωρήσεων, τα μήκη των γραμμών, τα θερμικά όρια, το όριο πτώσης τάσης, ο μέγιστος αριθμός νέων γραμμών (όπως υπολογίστηκε από τη σχετική μελέτη της προηγούμενης παραγράφου), ο χρόνος ζωής των στοιχείων, το επιτόκιο αναγωγής, το αρχικό φορτίο και ο ρυθμός αύξησης αυτού.
2. Στη συνέχεια διενεργούνται **προπαρασκευαστικοί υπολογισμοί** για μεγέθη που χρησιμοποιούνται σε διάφορα στάδια της εκτέλεσης του αλγορίθμου. Τέτοια είναι το κόστος κατασκευής γραμμής οποιουδήποτε τύπου, ο οικονομικός παράγοντας των απωλειών, το όριο μεταφοράς ισχύος λόγω πτώσης τάσης των γραμμών, το επικρατέστερο τεχνικό όριο για κάθε γραμμή κ.α.
3. Υπολογισμός **εξέλιξης φορτίου** από το έτος 0 ως το δέκατο με χρήση της αρχικής τιμής κατά το έτος 0 (15 MVA), του ετήσιου ρυθμού ανάπτυξης (7%) και της σχέσης 3.2-8
4. Διαδικασία **επέκτασης δικτύου** για κάθε έτος. Έστω ότι μετά την επέκταση του έτους t το δίκτυο διαθέτει $n_{1t} = n_{1new_t} + n_{old_t}$ γραμμές Τύπου I και $n_{2t} = n_{2new_t} + n_{2old}$ γραμμές Τύπου II. Τότε για σταθερή τάση κατά μήκος των γραμμών προκύπτει:

$$P_A = \frac{R_0 L_1}{V_N^2 n_{1t}} S_{1t}^2 + \frac{R_0 L_2}{V_N^2 n_{2t}} S_{2t}^2 \quad (3.2-12)$$

$$S_{tot_t} = S_{1t} + S_{2t} \quad (3.2-13)$$

Με βάση τη σχέση (3.2-7) λαμβάνεται για τη βέλτιστη κατανομή φορτίου ανά ζυγό:

$$S_{1t} = \frac{1}{1 + \frac{L_1 n_{2t}}{L_2 n_{1t}}} S_{tot_t} \quad (3.2 - 14)$$

Η ροή που προκύπτει, ελέγχεται ως προς την παραβίαση των τεχνικών ορίων των γραμμών. Αν υπάρχει παραβίαση κάποιου ορίου, τότε η ροή στη συγκεκριμένη γραμμή τίθεται ίση με το όριο προκειμένου η λύση να καταστεί τεχνικά εφικτή. Στη συνέχεια, υπό τον νέο περιορισμό της ισότητας της ροής στην προαναφερθείσα γραμμή, επανυπολογίζεται η κατανομή ισχύος για τις υπόλοιπες γραμμές. Έπειτα ελέγχεται αν η διακινούμενη ροή μπορεί να καλύψει το φορτίο του έτους. Αν κάτι τέτοιο δεν είναι εφικτό, η λύση θεωρείται τεχνικά μη εφικτή και ο έλεγχος συνεχίζεται με την επόμενη λύση.

5. Στην περίπτωση που η λύση είναι τεχνικά εφικτή προσδιορίζονται τα **οικονομικά κόστη των γραμμών**:

$$\text{Κόστος κατασκευής νέων γραμμών: } C_{Blt} = n_{1new_t} K K_1 + n_{2new_t} K K_2 \quad (3.2 - 15)$$

$$\text{Κόστος απωλειών: } C_{Loss} = \frac{Par_1 S_{1t}^2}{1+i n_{1t}} + \frac{Par_2 S_{2t}^2}{1+i n_{2t}} \quad (3.2 - 16)$$

$$\text{Υπολειπόμενη αξία: } RV = n_{1new} C_{IL} \cdot aj \cdot \Sigma YA_{1t} + n_{2new} C_{ILL} \cdot aj \cdot \Sigma YA_{2t} \quad (3.2 - 17)$$

Σχόλια:

A) **ΣΥΑ** ο συντελεστής Υπολειπόμενης αξίας. Οι τιμές του για τους διαφορετικούς τρόπους τιμολόγησης είναι (χωρίς αναγωγή στον κοινό χρόνο):

$$\text{Γραμμική απόσβεση: } \frac{19+t}{30} \quad (3.2 - 18)$$

$$\text{Τοκοχρεωλυτική απόσβεση: } \frac{(1+i)^{30} - (1+i)^{11-t}}{(1+i)^{11-t}((1+i)^{30} - 1)} \quad (3.2 - 19)$$

B) Η διαίρεση με $1 + i$ στα κόστη απωλειών γίνεται για να αναχθεί το κόστος απωλειών στην αρχή του έτους t , καθώς θεωρείται ότι αυτό προσδιορίζεται στο τέλος του έτους.

6. Τέλος προσδιορίζονται οι **αναχωρήσεις νέων υπόγειων γραμμών** που χρειάζεται να συνδεθούν σε κάθε ζυγό. Ανάλογα με την κατανομή φορτίου στους ζυγούς γίνεται και ο υπολογισμός των νέων αναχωρήσεων εφόσον κάθε υπόγεια αναχώρηση έχει τεχνικό όριο τα 3 MVA . Αν το φορτίο ζυγών S_{1t} και S_{2t} δεν μπορεί να εξυπηρετηθεί, προστίθενται υπόγειες αναχωρήσεις (κόστος $C_{αναχ_t}$). Το κόστος τους προστίθεται στο κόστος κατασκευής. Η χρησιμοποιούμενη σχέση είναι:

$$Αναχ = S_{ζυγου} \text{div}3 + (S_{ζυγου} \text{mod}3 > 0) \quad (3.2 - 20)$$

7. Τα κόστη αυτά δεν είναι ανηγμένα σε κοινό χρόνο αλλά αναφέρονται στο έτος t . Για την εύρεση του συνολικού κόστους για το έτος t , ανηγμένο στον κοινό χρόνο (δηλαδή την αρχή του έτους 0) ισχύει:

$$C_t = (C_{Blt} + C_{αναχ_t} + C_{Loss} - RV) \frac{1}{(1+i)^t} \quad (3.2 - 21)$$

Το κόστος αυτό συγκρίνεται με το ελάχιστο κόστος που έχει προσδιοριστεί μέχρι εκείνη τη στιγμή (C_{min}). Αν είναι μικρότερο αποθηκεύεται αυτό ως ελάχιστο κόστος μέχρι στιγμής και δίνεται συνέχεια με την επόμενη πιθανή λύση της επέκτασης του δικτύου. Αν είναι μεγαλύτερο, απλώς προχωρά στην επόμενη πιθανή λύση. Όλες οι πιθανές λύσεις επέκτασης του δικτύου παράγονται, χάρη στη χρήση εμφωλευμένων for loops.

Ακολουθούν τα αποτελέσματα της εκτέλεσης του αλγόριθμου για τα διάφορα σενάρια τιμολόγησης και παραμέτρων του προβλήματος.

Σημειώνεται ότι οι αρχικές γραμμές του προβλήματος είναι μια γραμμή Τύπου I και μια γραμμή Τύπου II (Σχήμα 3.1). Στις στήλες Γραμμές 1, Γραμμές 2 φαίνονται οι συνολικές γραμμές που είναι εγκατεστημένες στην αρχή του έτους. Στις στήλες Νέες Γραμμές 1, Νέες Γραμμές 2 φαίνονται οι γραμμές που εγκαθίστανται στην αρχή του έτους. Τα ίδια ισχύει και για τις στήλες των αναχωρήσεων (εμφανίζονται από την παράγραφο 3.3.2 και μετά). Τέλος, τα κόστη που εμφανίζονται στις αντίστοιχες στήλες (πλην του συνολικού ανηγμένου ετήσιου κόστους) δεν είναι ανηγμένα στον κοινό χρόνο. Σε ότι αφορά την υπολειπόμενη αξία, αυτή αναγράφεται στο έτος που έγινε η εγκατάσταση των στοιχείων που αντιπροσωπεύει, παρότι, επί της ουσίας, αντιπροσωπεύει αξία που εμφανίζεται κατά το έτος 10 (τέλος μελέτης).

3.3 Αποτελέσματα

Ο αλγόριθμος εκτελέστηκε, με παραμέτρους τη μέθοδο τιμολόγησης της υπολειπόμενης αξίας, το επιτόκιο δανεισμού, το κόστος αναχωρήσεων υπογείων γραμμών.

3.3.1 Εκτέλεση χωρίς τις υπόγειες αναχωρήσεις

Αρχικά εκτελέστηκε μια απλή έκδοση του αλγορίθμου, χωρίς να λαμβάνεται υπόψιν το κόστος των αναχωρήσεων του υπόγειου δικτύου.

3.3.1.1 Χωρίς υπολειπόμενη αξία

Αρχικά εκτελέστηκε ο αλγόριθμος, χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η υπολειπόμενη αξία και χωρίς τον υπολογισμό του κόστους των υπόγειων αναχωρήσεων. Η φθηνότερη τεχνικά αποδεκτή λύση φαίνεται στον *Πίνακα 3.3.1*. Αυτή αφορά την προσθήκη δύο γραμμών Τύπου I κατά το έτος 0. Το συνολικό προκύπτον κόστος κατά το 10^ο έτος είναι **1.121.662,00 €**.

3.3.1.2 Γραμμική απόσβεση

Εν συνεχεία εκτελέστηκε ο αλγόριθμος, με τη συμπερίληψη της υπολειπόμενης αξίας των αποξηλωμένων υλικών, και συγκεκριμένα με τη μέθοδο της γραμμικής απόσβεσης, αλλά χωρίς τον υπολογισμό του κόστους των υπόγειων αναχωρήσεων. Η φθηνότερη τεχνικά αποδεκτή λύση φαίνεται στον *Πίνακα 3.3.2*. Αυτή αφορά την προσθήκη δύο γραμμών Τύπου I κατά το έτος 0. Το συνολικό προκύπτον κόστος κατά το 10^ο έτος είναι **1.060.577,00 €**.

3.3.1.3 Τοκοχρεωλυτική δόση

Τέλος εκτελέστηκε ο αλγόριθμος, με τη συμπερίληψη της υπολειπόμενης αξίας των αποξηλωμένων υλικών, και συγκεκριμένα με τη μέθοδο της απόσβεσης τοκοχρεωλυτικής δόσης, αλλά χωρίς τον υπολογισμό του κόστους των υπόγειων αναχωρήσεων. Η φθηνότερη τεχνικά αποδεκτή λύση φαίνεται στον *Πίνακα 3.3.3*. Αυτή αφορά την προσθήκη δύο γραμμών Τύπου I κατά το έτος 0. Το συνολικό προκύπτον κόστος κατά το 10^ο έτος είναι **1.084.211,00 €**.

3.3.1.4 Σχόλια

Το βασικότερο συμπέρασμα που προκύπτει από τα παραπάνω αποτελέσματα είναι πως στην παρούσα περίπτωση η μέθοδος τιμολόγησης της υπολειπόμενης αξίας δεν φαίνεται να επηρεάζει την τελική λύση, τόσο

ως προς το πλήθος των νέων γραμμών, όσο και ως προς το έτος ένταξής τους. Η βέλτιστη λύση και στις τρείς περιπτώσεις, αφορούσε την ένταξη δύο νέων γραμμών Τύπου Ι κατά το έτος 0.

Όπως ήταν λογικό, οι τρεις διαφορετικές μέθοδοι τιμολόγησης, είχαν ως αποτέλεσμα διαφορετικό συνολικό κόστος. Συγκεκριμένα, ο συνυπολογισμός της υπολειπόμενης αξίας των αποξηλωμένων υλικών, ελάττωσε το συνολικό κόστος της λύσης, επηρεάζοντας το κόστος κατασκευής. Την μικρότερη εκτίμηση κόστους έδωσε η μέθοδος της γραμμικής απόσβεσης.

Ετος	Γραμμές 1	Γραμμές 2	Νέες γραμμές 1	Νέες Γραμμές 2	Φορτίο	Ζυγός 1	Ζυγός 2	Κόστος Κατασκευής	Κόστος Απωλειών	Υπολειπόμενη αξία	Συνολικό ανηγμένο ετήσιο κόστος
0	3	1	2	0	15,00	12,27	2,73	385.800,00 €	44.185,65 €	0,00 €	429.985,70 €
1	3	1	0	0	16,05	13,13	2,92	0,00 €	50.588,15 €	0,00 €	477.710,30 €
2	3	1	0	0	17,17	14,05	3,12	0,00 €	57.918,38 €	0,00 €	529.257,50 €
3	3	1	0	0	18,38	15,03	3,34	0,00 €	66.310,75 €	0,00 €	584.933,30 €
4	3	1	0	0	19,66	16,09	3,57	0,00 €	75.919,18 €	0,00 €	645.068,40 €
5	3	1	0	0	21,04	17,21	3,83	0,00 €	86.919,87 €	0,00 €	710.019,90 €
6	3	1	0	0	22,51	18,42	4,09	0,00 €	99.514,56 €	0,00 €	780.173,80 €
7	3	1	0	0	24,09	19,71	4,38	0,00 €	113.934,20 €	0,00 €	855.946,50 €
8	3	1	0	0	25,77	21,09	4,69	0,00 €	130.443,30 €	0,00 €	937.788,30 €
9	3	1	0	0	27,58	22,56	5,01	0,00 €	149.344,50 €	0,00 €	1.026.185,00 €
10	3	1	0	0	29,51	24,14	5,36	0,00 €	170.984,50 €	0,00 €	1.121.662,00 €

Πίνακας 3.3.1:Εκτέλεση χωρίς υπολειπόμενη αξία και χωρίς υπόγειες αναχωρήσεις

Ετος	Γραμμές 1	Γραμμές 2	Νέες γραμμές 1	Νέες Γραμμές 2	Φορτίο	Ζυγός 1	Ζυγός 2	Κόστος Κατασκευής	Κόστος Απωλειών	Υπολειπόμενη αξία	Συνολικό κόστος
0	3	1	2	0	15,00	12,27	2,73	385.800,00 €	44.185,65 €	61.085,00 €	368.900,70 €
1	3	1	0	0	16,05	13,13	2,92	0,00 €	50.588,15 €	0,00 €	416.625,30 €
2	3	1	0	0	17,17	14,05	3,12	0,00 €	57.918,38 €	0,00 €	468.172,50 €
3	3	1	0	0	18,38	15,03	3,34	0,00 €	66.310,75 €	0,00 €	523.848,30 €
4	3	1	0	0	19,66	16,09	3,57	0,00 €	75.919,18 €	0,00 €	583.983,40 €
5	3	1	0	0	21,04	17,21	3,83	0,00 €	86.919,87 €	0,00 €	648.934,90 €
6	3	1	0	0	22,51	18,42	4,09	0,00 €	99.514,56 €	0,00 €	719.088,80 €
7	3	1	0	0	24,09	19,71	4,38	0,00 €	113.934,20 €	0,00 €	794.861,50 €
8	3	1	0	0	25,77	21,09	4,69	0,00 €	130.443,30 €	0,00 €	876.703,30 €
9	3	1	0	0	27,58	22,56	5,01	0,00 €	149.344,50 €	0,00 €	965.100,10 €
10	3	1	0	0	29,51	24,14	5,36	0,00 €	170.984,50 €	0,00 €	1.060.577,00 €

Πίνακας 3.3.2:Εκτέλεση με γραμμική απόσβεση και χωρίς υπόγειες αναχωρήσεις

Ετος	Γραμμές 1	Γραμμές 2	Νέες γραμμές 1	Νέες Γραμμές 2	Φορτίο	Ζυγός 1	Ζυγός 2	Κόστος Κατασκευής	Κόστος Απωλειών	Υπολειπόμενη αξία	Συνολικό κόστος
0	3	1	2	0	15,00	12,27	2,73	385.800,00 €	44.185,65 €	37.450,67 €	392.535,00 €
1	3	1	0	0	16,05	13,13	2,92	0,00 €	50.588,15 €	0,00 €	440.259,70 €
2	3	1	0	0	17,17	14,05	3,12	0,00 €	57.918,38 €	0,00 €	491.806,80 €
3	3	1	0	0	18,38	15,03	3,34	0,00 €	66.310,75 €	0,00 €	547.482,60 €
4	3	1	0	0	19,66	16,09	3,57	0,00 €	75.919,18 €	0,00 €	607.617,70 €
5	3	1	0	0	21,04	17,21	3,83	0,00 €	86.919,87 €	0,00 €	672.569,30 €
6	3	1	0	0	22,51	18,42	4,09	0,00 €	99.514,56 €	0,00 €	742.723,10 €
7	3	1	0	0	24,09	19,71	4,38	0,00 €	113.934,20 €	0,00 €	818.495,90 €
8	3	1	0	0	25,77	21,09	4,69	0,00 €	130.443,30 €	0,00 €	900.337,60 €
9	3	1	0	0	27,58	22,56	5,01	0,00 €	149.344,50 €	0,00 €	988.734,40 €
10	3	1	0	0	29,51	24,14	5,36	0,00 €	170.984,50 €	0,00 €	1.084.211,00 €

Πίνακας 3.3.3:Εκτέλεση με τοκοχρεωλυτική απόσβεση και χωρίς υπόγειες αναχωρήσεις

3.3.2 Εκτέλεση με συνυπολογισμό των υπόγειων αναχωρήσεων

3.3.2.1 Χωρίς υπολειπόμενη αξία

Όμοια, εκτελέστηκε ο αλγόριθμος, χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η υπολειπόμενη αξία αλλά με τον υπολογισμό του κόστους των υπόγειων αναχωρήσεων. Η φθηνότερη τεχνικά αποδεκτή λύση φαίνεται στον Πίνακα 3.3.4. Αυτή αφορά την προσθήκη δύο γραμμών Τύπου Ι κατά το έτος 0. Το συνολικό προκύπτον κόστος κατά το 10^ο έτος (ανηγμένο στην αρχή του έτους 0) είναι **1.383.638,00 €**.

3.3.2.2 Γραμμική απόσβεση

Εν συνεχεία εκτελέστηκε ο αλγόριθμος, με τη συμπερίληψη της η υπολειπόμενης αξίας των αποξηλωμένων υλικών, και συγκεκριμένη με τη μέθοδο της γραμμικής απόσβεσης. Η φθηνότερη τεχνικά αποδεκτή λύση φαίνεται στον Πίνακα 3.3.4. Αυτή αφορά την προσθήκη 2 νέων γραμμών Τύπου Ι κατά το έτος 0 και μίας κατά το έτος 1. Το συνολικό προκύπτον κόστος κατά το 10^ο έτος (ανηγμένο στην αρχή του έτους 0) είναι **1.269.984,00 €**.

3.3.2.3 Τοκοχρεωλυτική δόση

Εν συνεχεία εκτελέστηκε ο αλγόριθμος, με τη συμπερίληψη της η υπολειπόμενης αξίας των αποξηλωμένων υλικών, και συγκεκριμένη με τη μέθοδο της γραμμικής απόσβεσης. Η φθηνότερη τεχνικά αποδεκτή λύση φαίνεται στον Πίνακα 3.3.5. Αυτή αφορά στην προσθήκη 2 νέων γραμμών Τύπου Ι κατά το έτος 0. Το συνολικό προκύπτον κόστος κατά το 10^ο έτος (ανηγμένο στην αρχή του έτους 0) είναι **1.302.009,49 €**.

3.3.2.4 Σχόλια

Τα αποτελέσματα της παρούσας παραγράφου, ανέδειξαν μια ευαισθησία της λύσης ως προς τη μέθοδο τιμολόγησης της υπολειπόμενης αξίας. Συγκεκριμένα κατά την τιμολόγηση με γραμμική απόσβεση προκρίθηκε η επιπλέον προσθήκη μιας γραμμής Τύπου 1 κατά το έτος 1.

Για λόγους σύγκρισης, παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.3.6 η βέλτιστη λύση που προσδιορίστηκε από τις άλλες δύο μεθόδους (προσθήκη 2 γραμμών Τύπου 1 κατά το έτος 0), αλλά με τιμολόγηση γραμμικής απόσβεσης. Το συνολικό κόστος σε αυτήν την περίπτωση (ανηγμένο στην αρχή του έτους 0) είναι **1.272.033,34 €**, μεγαλύτερο κατά 2.049,34 € από το συνολικό κόστος της βέλτιστης λύσης.

Η κύρια διαφορά των λύσεων έγκειται στο κόστος απωλειών (587.645,6 € -ανηγμένο στην αρχή του έτους 0- στη βέλτιστη λύση, 735.861,9 € -ανηγμένο στην αρχή του έτους 0- στην άλλη) και στην καθυστέρηση ένταξης της δεύτερης και τρίτης αναχώρησης υπογείου δικτύου, οι οποίες κατά τη βέλτιστη λύση εγκαθίστανται στο έτος 3 και 5 αντίστοιχα, ενώ στην προηγούμενη βέλτιστη στο έτος 2 και 3. Με βάση την προηγούμενη παρατήρηση, φαίνεται και ο καθοριστικός ρόλος της συμπερίληψης των υπόγειων αναχωρήσεων στους υπολογισμούς. Ο συνολικός αριθμός των υπόγειων αναχωρήσεων παραμένει σταθερός σε όλα τα εξεταζόμενα ενδεχόμενα.

Όπως ήταν λογικό και πάλι οι τρεις διαφορετικές μέθοδοι τιμολόγησης, είχαν ως αποτέλεσμα διαφορετικό συνολικό κόστος. Συγκεκριμένα, ο συνυπολογισμός της υπολειπόμενης αξίας των αποξηλωμένων υλικών ελάττωσε το συνολικό κόστος της λύσης, επηρεάζοντας το κόστος κατασκευής. Τη μικρότερη εκτίμηση κόστους έδωσε η μέθοδος της γραμμικής απόσβεσης, που βέβαια εν προκειμένω παρουσιάζει και μικρότερο κόστος απωλειών λόγω της επιπλέον γραμμής.

Ετος	Γραμμές 1	Γραμμές 2	Νέες Γραμμές 1	Νέες Γραμμές 2	Αναχωρή σεις 1	Αναχωρή σεις 2	Νέες Αναχωρήσ εις	Φορτίο (MVA)	Ζυγός 1 (MVA)	Ζυγός 2 (MVA)	Κόστος Κατασκευής (€)	Κόστος Απωλειών (€)	Υπολειπόμενη αξία (€)	Συνολικό κόστος (€)
0	3	1	2	0	5	1	1	15,00	12,27	2,73	442.500,00	44.185,65	0,00	486.685,70
1	3	1	0	0	5	1	0	16,05	13,13	2,92	0,00	50.588,15	0,00	534.410,30
2	3	1	0	0	5	2	1	17,17	14,05	3,12	56.700,00	57.918,38	0,00	636.420,30
3	3	1	0	0	6	2	1	18,38	15,03	3,34	56.700,00	66.310,75	0,00	739.702,50
4	3	1	0	0	6	2	0	19,66	16,09	3,57	0,00	75.919,18	0,00	799.837,60
5	3	1	0	0	6	2	0	21,04	17,21	3,83	0,00	86.919,87	0,00	864.789,20
6	3	1	0	0	7	2	1	22,51	18,42	4,09	56.700,00	99.514,56	0,00	974.914,30
7	3	1	0	0	7	2	0	24,09	19,71	4,38	0,00	113.934,20	0,00	1.050.687,00
8	3	1	0	0	8	2	1	25,77	21,09	4,69	56.700,00	130.443,30	0,00	1.168.103,00
9	3	1	0	0	8	2	0	27,58	22,56	5,01	0,00	149.344,50	0,00	1.256.500,00
10	3	1	0	0	9	2	1	29,51	24,14	5,36	56.700,00	170.984,50	0,00	1.383.638,00

Πίνακας 3.3.4:Εκτέλεση, με συνυπολογισμό του κόστους υπόγειων αναχωρήσεων χωρίς υπολειπόμενη αξία

Ετος	Γραμμές 1	Γραμμές 2	Νέες Γραμμές 1	Νέες Γραμμές 2	Αναχωρήσεις 1	Αναχωρήσεις 2	Νέες Αναχωρήσ εις	Φορτίο (MVA)	Ζυγός 1 (MVA)	Ζυγός 2 (MVA)	Κόστος Κατασκευής (€)	Κόστος Απωλειών (€)	Υπολειπόμενη αξία (€)	Συνολικό κόστος (€)
0	3	1	2	0	5	1	1	15,00	12,27	2,73	442.500,00	44.185,65	70.062,50	416.623,20
1	4	1	1	0	5	1	0	16,05	13,76	2,29	192.900,00	39.747,84	32.150,00	605.772,10
2	4	1	0	0	5	1	0	17,17	14,72	2,45	0,00	45.507,30	0,00	646.273,40
3	4	1	0	0	6	1	1	18,38	15,75	2,63	56.700,00	52.101,30	10.395,00	728.897,20
4	4	1	0	0	6	1	0	19,66	16,85	2,81	0,00	59.650,78	0,00	776.146,20
5	4	1	0	0	7	2	2	21,04	18,03	3,01	113.400,00	68.294,18	22.680,00	894.970,90
6	4	1	0	0	7	2	0	22,51	19,30	3,22	0,00	78.190,01	0,00	950.091,70
7	4	1	0	0	7	2	0	24,09	20,65	3,44	0,00	89.519,74	0,00	1.009.627,00
8	4	1	0	0	8	2	1	25,77	22,09	3,68	56.700,00	102.491,20	12.757,50	1.101.502,00
9	4	1	0	0	8	2	0	27,58	23,64	3,94	0,00	117.342,10	0,00	1.170.956,00
10	4	1	0	0	9	2	1	29,51	25,29	4,22	56.700,00	134.345,00	13.702,50	1.269.984,00

Πίνακας 3.3.5:Εκτέλεση, με συνυπολογισμό του κόστους υπόγειων αναχωρήσεων και γραμμική απόσβεση

Ετος	Γραμμές 1	Γραμμές 2	Νέες γραμμές 1	Νέες Γραμμές 2	Αναχωρήσεις 1	Αναχωρήσεις 2	Νέες Αναχωρήσεις	Φορτίο (MVA)	Ζυγός 1 (MVA)	Ζυγός 2 (MVA)	Κόστος Κατασκευής (€)	Κόστος Απωλειών (€)	Υπολειπόμενη αξία (€)	Συνολικό κόστος (€)
0	3	1	2	0	5	1	1	15	12,27273	2,727273	442.500,00	44.185,65	47.239,88	439.445,77
1	3	1	0	0	5	1	0	16,05	13,13182	2,918182	0,00	50.588,15	0,00	487.170,44
2	3	1	0	0	5	2	1	17,1735	14,05105	3,122455	56.700,00	57.918,37	7.170,63	582.798,56
3	3	1	0	0	6	2	1	18,37565	15,03462	3,341026	56.700,00	66.310,75	7.780,16	679.548,38
4	3	1	0	0	6	2	0	19,66194	16,08704	3,574898	0,00	75.919,17	0,00	739.683,47
5	3	1	0	0	6	2	0	21,03828	17,21313	3,825141	0,00	86.919,86	0,00	804.635,05
6	3	1	0	0	7	2	1	22,51096	18,41805	4,092901	56.700,00	99.514,55	9.837,11	907.825,37
7	3	1	0	0	7	2	0	24,08672	19,70732	4,379404	0,00	113.934,21	0,00	983.598,12
8	3	1	0	0	8	2	1	25,77279	21,08683	4,685962	56.700,00	130.443,28	11.422,34	1.093.847,62
9	3	1	0	0	8	2	0	27,57689	22,56291	5,01398	0,00	149.344,51	0,00	1.182.244,40
10	3	1	0	0	9	2	1	29,50727	24,14231	5,364958	56.700,00	170.984,53	13.203,49	1.302.009,49

Πίνακας 3.3.6:Εκτέλεση, με συνυπολογισμό του κόστους υπόγειων αναχωρήσεων και απόσβεση τοκοχρεωλυτικής δόσης

Ετος	Γραμμές 1	Γραμμές 2	Νέες γραμμές 1	Νέες Γραμμές 2	Αναχωρή σεις 1	Αναχωρή σεις 2	Νέες Αναχωρή σεις	Φορτίο (MVA)	Ζυγός 1 (MVA)	Ζυγός 2 (MVA)	Κόστος Κατασκευής (€)	Κόστος Απωλειών (€)	Υπολειπόμε νη αξία (€)	Συνολικό κόστος (€)
0	3	1	2	0	5	1	1	15	12,27273	2,727273	442.500,00	44.185,65	70.062,50	416.623,15
1	3	1	0	0	5	1	0	16,05	13,13182	2,918182	0,00	50.588,15	0,00	464.347,82
2	3	1	0	0	5	2	1	17,1735	14,05105	3,122455	56.700,00	57.918,37	9.922,50	557.526,78
3	3	1	0	0	6	2	1	18,37565	15,03462	3,341026	56.700,00	66.310,75	10.395,00	652.081,13
4	3	1	0	0	6	2	0	19,66194	16,08704	3,574898	0,00	75.919,17	0,00	712.216,23
5	3	1	0	0	6	2	0	21,03828	17,21313	3,825141	0,00	86.919,86	0,00	777.167,81
6	3	1	0	0	7	2	1	22,51096	18,41805	4,092901	56.700,00	99.514,55	11.812,50	878.965,56
7	3	1	0	0	7	2	0	24,08672	19,70732	4,379404	0,00	113.934,21	0,00	954.738,31
8	3	1	0	0	8	2	1	25,77279	21,08683	4,685962	56.700,00	130.443,28	12.757,50	1.064.150,11
9	3	1	0	0	8	2	0	27,57689	22,56291	5,01398	0,00	149.344,51	0,00	1.152.546,89
10	3	1	0	0	9	2	1	29,50727	24,14231	5,364958	56.700,00	170.984,53	13.702,50	1.272.033,34

Πίνακας 3.3.7: Παρουσίαση μη βέλτιστης λύσης με γραμμική απόσβεση για λόγους σύγκρισης

3.3.3 Ευαισθησία λύσης ως προς οικονομικούς παράγοντες

Στο παρόν κεφάλαιο εξετάζεται το κατά πόσον επηρεάζεται η λύση από τους οικονομικούς παράγοντες του προβλήματος. Μεταβάλλονται διαδοχικά οι συντελεστές του κόστους κατασκευής, του κόστους απωλειών και το επιτόκιο. Φυσικά ένα οικονομικό περιβάλλον, όπου μόνο ένα από τα συστατικά μέρη του συνολικού κόστους μεταβάλλεται δεν αποτελεί ρεαλιστικό σενάριο, ωστόσο ο προσδιορισμός της ευαισθησίας ως προς τον κάθε παράγοντα χωριστά παρέχει αρκετές πληροφορίες για τη συμπεριφορά του αλγορίθμου.

3.3.3.1 Ευαισθησίας λύσης ως προς το κόστος κατασκευής

Η μεταβολή του κόστους υλικών μπορεί συχνά να εκτροχιάσει υπολογισμούς και ειλημμένες αποφάσεις. Δεδομένου μάλιστα του ότι έργα επέκτασης του δικτύου παίρνουν χρόνια μελετών και αδειοδοτικών διαδικασιών πριν την υλοποίησή τους, η πιθανότητα μεταβολής του κόστους υλικών είναι σημαντική, όπως και το εύρος αυτής.

Το σενάριο που εξετάστηκε εν προκειμένω αφορά την αύξηση του κόστους κατασκευής (κόστος γραμμής ανά χιλιόμετρο και κόστος αναχώρησης) κατά 10%. Συνεπώς το κόστος γραμμής θεωρήθηκε 24.970 €/km και το κόστος αναχώρησης 62.370 €.

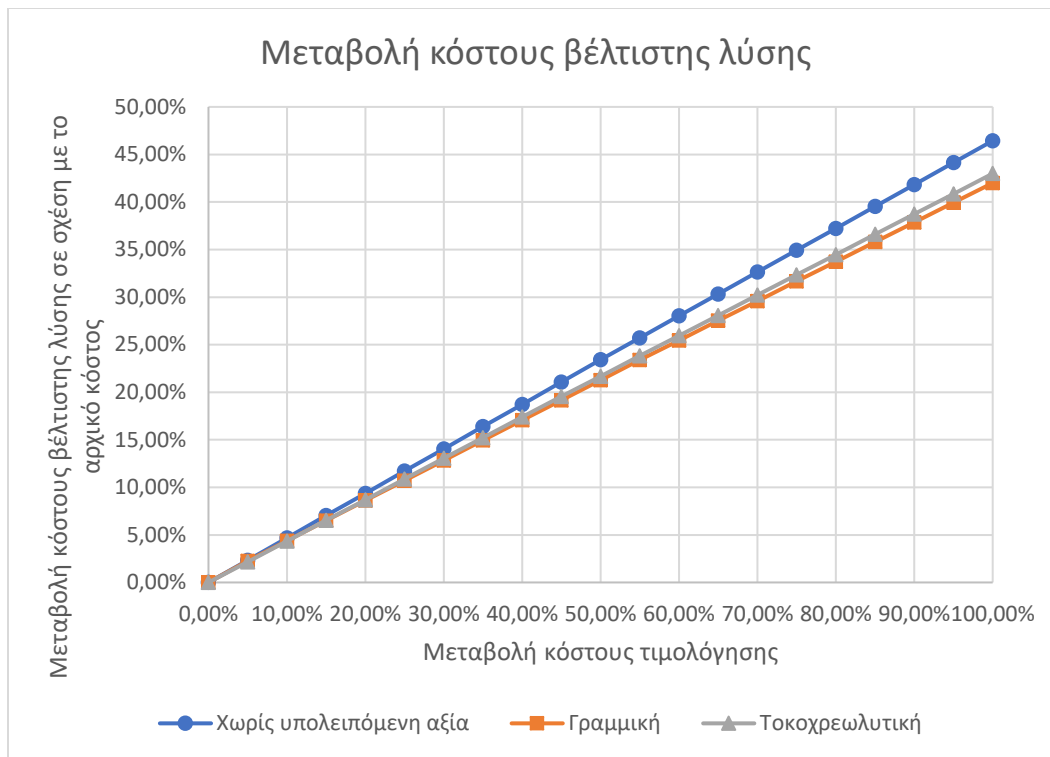
Οι παρακάτω πίνακες (3.3.8-3.3.10) παρουσιάζουν τα αποτελέσματα για τις διαφορετικές μεθόδους τιμολόγησης.

Όπως γίνεται κατανοητό και από τους πίνακες η βέλτιστη λύση δεν αλλάζει από μια τέτοιας τάξης αύξηση του κόστους κατασκευής. Το συνολικό προκύπτον κόστος κατά το έτος 10, ανηγμένο στον κοινό χρόνο (αρχή έτους 0) και η μεταβολή του φαίνεται στον Πίνακα 3.6.

Μέθοδος	Συνολικό κόστος	Μεταβολή συνολικού κόστους μετά την αύξηση του κόστους κατασκευής 10%
Χωρίς υπολειπόμενη αξία	1.448.415 €	4,68%
Γραμμική απόσβεση	1.325.651 €	4,38%
Τοκοχρεωλυτική δόση	1.358.624 €	4,35%

Πίνακας 3.6: Μεταβολή συνολικού κόστους μετά την αύξηση του κόστους κατασκευής κατά 10%

Η ποσοστιαία μεταβολή του συνολικού (ανηγμένου στον κοινό χρόνο) κόστους κατά το έτος 10 της βέλτιστης λύσης για τις διαφορετικές μεθόδους τιμολόγησης φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα. Σε αυτό αποτυπώνεται μια γραμμική σχεδόν σχέση ανάμεσα στο ποσοστό αύξησης του κόστους των υλικών και του συνολικού κόστους. Συγκεκριμένα με χρήση της μεθόδου ελαχίστων τετραγώνων οι σχετικές ευθείες παρουσιάζουν κλίση 0,464 για τιμολόγηση χωρίς την υπολειπόμενη αξία, 0,419 για τιμολόγηση με γραμμική απόσβεση και 0,43 για τιμολόγηση με τοκοχρεωλυτική απόσβεση.



Διάγραμμα 3.1: Ποσοστιαία μεταβολή συνολικού κόστους βέλτιστης λύσης σε συνάρτηση με τη μεταβολή του κόστους υλικών

Σημειώνεται ότι για αύξηση του κόστους υλικών μεγαλύτερη από 55% η βέλτιστη λύση αλλάζει ελαφρώς και αφορά στην προσθήκη μίας γραμμής Τύπου Ι κατά το έτος 0 και μιας κατά το έτος 1. Για την τιμολόγηση με τη μέθοδο της τοκοχρεωλυτικής απόσβεσης η αλλαγή αυτή επέρχεται για 45% αύξηση του κόστους υλικών. Για λόγους πληρότητας παρουσιάζονται οι πίνακες με τις βέλτιστες λύσεις και την προηγούμενη βέλτιστη λύση (2 γραμμές στην αρχή του έτους 0) (Πίνακες 3.3.11-3.3.16) για ποσοστό αύξησης του κόστους υλικών 55% για τις μεθόδους χωρίς υπολειπόμενη αξία και με γραμμική απόσβεση, και για ποσοστό αύξησης 45% για τη μέθοδο της τοκοχρεωλυτικής απόσβεσης.

Ετος	Γραμμές 1	Γραμμές 2	Νέες γραμμές 1	Νέες Γραμμές 2	Αναχωρή σεις 1	Αναχωρή σεις 2	Νέες Αναχωρή σεις	Φορτίο (MVA)	Ζυγός 1 (MVA)	Ζυγός 2 (MVA)	Κόστος Κατασκευής (€)	Κόστος Απωλειών (€)	Υπολειπόμ ενη αξία (€)	Συνολικό κόστος (€)
0	3	1	2	0	5	1	1	15,00	12,27	2,73	486.750,00	44.185,65	0,00	530.935,70
1	3	1	0	0	5	1	0	16,05	13,13	2,92	0,00	50.588,15	0,00	578.660,30
2	3	1	0	0	5	2	1	17,17	14,05	3,12	62.370,00	57.918,38	0,00	685.716,60
3	3	1	0	0	6	2	1	18,38	15,03	3,34	62.370,00	66.310,75	0,00	793.759,40
4	3	1	0	0	6	2	0	19,66	16,09	3,57	0,00	75.919,18	0,00	853.894,50
5	3	1	0	0	6	2	0	21,04	17,21	3,83	0,00	86.919,87	0,00	918.846,10
6	3	1	0	0	7	2	1	22,51	18,42	4,09	62.370,00	99.514,56	0,00	1.032.968,00
7	3	1	0	0	7	2	0	24,09	19,71	4,38	0,00	113.934,20	0,00	1.108.741,00
8	3	1	0	0	8	2	1	25,77	21,09	4,69	62.370,00	130.443,30	0,00	1.229.714,00
9	3	1	0	0	8	2	0	27,58	22,56	5,01	0,00	149.344,50	0,00	1.318.111,00
10	3	1	0	0	9	2	1	29,51	24,14	5,36	62.370,00	170.984,50	0,00	1.448.415,00

Πίνακας 3.3.8: Βέλτιστη λύση χωρίς συνυπολογισμό της υπολειπόμενης αξίας των αποξηλωμένων υλικών και με αύξηση στα κόστη κατασκευής 10%.

Ετος	Γραμμές 1	Γραμμές 2	Νέες γραμμές 1	Νέες Γραμμές 2	Αναχωρή σεις 1	Αναχωρή σεις 2	Νέες Αναχωρή σεις	Φορτίο	Ζυγός 1	Ζυγός 2	Κόστος Κατασκευής	Κόστος Απωλειών	Υπολειπόμ ενη αξία	Συνολικό κόστος
0	3	1	2	0	5	1	1	15,00	12,27	2,73	486.750,00	44.185,65	77.068,75	453.866,90
1	3	1	0	0	5	1	0	16,05	13,13	2,92	0,00	50.588,15	0,00	501.591,60
2	3	1	0	0	5	2	1	17,17	14,05	3,12	62.370,00	57.918,38	10.914,75	598.933,70
3	3	1	0	0	6	2	1	18,38	15,03	3,34	62.370,00	66.310,75	11.434,50	697.375,90
4	3	1	0	0	6	2	0	19,66	16,09	3,57	0,00	75.919,18	0,00	757.511,00
5	3	1	0	0	6	2	0	21,04	17,21	3,83	0,00	86.919,87	0,00	822.462,60
6	3	1	0	0	7	2	1	22,51	18,42	4,09	62.370,00	99.514,56	12.993,75	927.424,80
7	3	1	0	0	7	2	0	24,09	19,71	4,38	0,00	113.934,20	0,00	1.003.198,00
8	3	1	0	0	8	2	1	25,77	21,09	4,69	62.370,00	130.443,30	14.033,25	1.115.366,00
9	3	1	0	0	8	2	0	27,58	22,56	5,01	0,00	149.344,50	0,00	1.203.763,00
10	3	1	0	0	9	2	1	29,51	24,14	5,36	62.370,00	170.984,50	15.072,75	1.325.651,00

Πίνακας 3.3.9: Βέλτιστη λύση με συνυπολογισμό της υπολειπόμενης αξίας των αποξηλωμένων υλικών με τη μέθοδο της γραμμικής απόσβεσης και με αύξηση στα κόστη κατασκευής 10%.

Ετος	Γραμμές 1	Γραμμές 2	Νέες γραμμές 1	Νέες Γραμμές 2	Αναχωρήσεις 1	Αναχωρήσεις 2	Νέες Αναχωρήσεις	Φορτίο	Ζυγός 1	Ζυγός 2	Κόστος Κατασκευής	Κόστος Απωλειών	Υπολειπόμενη αξία	Συνολικό κόστος
0	3	1	2	0	5	1	1	15,00	12,27	2,73	486.750,00	44.185,65	51.963,87	478.971,80
1	3	1	0	0	5	1	0	16,05	13,13	2,92	0,00	50.588,15	0,00	526.696,50
2	3	1	0	0	5	2	1	17,17	14,05	3,12	62.370,00	57.918,38	7.887,69	626.732,70
3	3	1	0	0	6	2	1	18,38	15,03	3,34	62.370,00	66.310,75	8.558,18	727.589,90
4	3	1	0	0	6	2	0	19,66	16,09	3,57	0,00	75.919,18	0,00	787.725,00
5	3	1	0	0	6	2	0	21,04	17,21	3,83	0,00	86.919,87	0,00	852.676,60
6	3	1	0	0	7	2	1	22,51	18,42	4,09	62.370,00	99.514,56	10.820,83	959.170,50
7	3	1	0	0	7	2	0	24,09	19,71	4,38	0,00	113.934,20	0,00	1.034.943,00
8	3	1	0	0	8	2	1	25,77	21,09	4,69	62.370,00	130.443,30	12.564,57	1.148.034,00
9	3	1	0	0	8	2	0	27,58	22,56	5,01	0,00	149.344,50	0,00	1.236.430,00
10	3	1	0	0	9	2	1	29,51	24,14	5,36	62.370,00	170.984,50	14.523,84	1.358.624,00

Πίνακας 3.3.10: Βέλτιστη λύση με συνυπολογισμό της υπολειπόμενης αξίας των αποξηλωμένων υλικών με τη μέθοδο της απόσβεσης τοκοχρεωλυτικής δόσης και με αύξηση στα κόστη κατασκευής 10%.

Ετος	Γραμμές 1	Γραμμές 2	Νέες γραμμές 1	Νέες Γραμμές 2	Αναχωρήσεις 1	Αναχωρήσεις 2	Νέες Αναχωρήσεις	Φορτίο	Ζυγός 1	Ζυγός 2	Κόστος Κατασκευής	Κόστος Απωλειών	Υπολειπόμενη αξία	Συνολικό κόστος
0	2	1	1	0	4	2	1	15,00	11,25	3,75	386.880,00 €	60.755,27 €	0,00 €	447.635,30
1	3	1	1	1	5	1	0	16,05	13,13	2,92	298.995,00 €	50.588,15 €	0,00 €	777.430,70
2	3	1	0	0	5	2	1	17,17	14,05	3,12	87.885,00 €	57.918,38 €	0,00 €	907.195,20
3	3	1	0	0	6	2	1	18,38	15,03	3,34	87.885,00 €	66.310,75 €	0,00 €	1.036.661,00
4	3	1	0	0	6	2	0	19,66	16,09	3,57	0,00 €	75.919,18 €	0,00 €	1.096.796,00
5	3	1	0	0	6	2	0	21,04	17,21	3,83	0,00 €	86.919,87 €	0,00 €	1.161.748,00
6	3	1	0	0	7	2	1	22,51	18,42	4,09	87.885,00 €	99.514,56 €	0,00 €	1.293.857,00
7	3	1	0	0	7	2	0	24,09	19,71	4,38	0,00 €	113.934,20 €	0,00 €	1.369.630,00
8	3	1	0	0	8	2	1	25,77	21,09	4,69	87.885,00 €	130.443,30 €	0,00 €	1.506.612,00
9	3	1	0	0	8	2	0	27,58	22,56	5,01	0,00 €	149.344,50 €	0,00 €	1.595.008,00
10	3	1	0	0	9	2	1	29,51	24,14	5,36	87.885,00 €	170.984,50 €	0,00 €	1.739.560,00

Πίνακας 3.3.11: Βέλτιστη λύση χωρίς συνυπολογισμό της υπολειπόμενης αξίας των αποξηλωμένων υλικών και με αύξηση στα κόστη κατασκευής 55%.

Ετος	Γραμμές 1	Γραμμές 2	Νέες γραμμές 1	Νέες Γραμμές 2	Αναχωρήσεις 1	Αναχωρήσεις 2	Νέες Αναχωρήσεις	Φορτίο	Ζυγός 1	Ζυγός 2	Κόστος Κατασκευής	Κόστος Απωλειών	Υπολειπόμενη αξία	Συνολικό κόστος
0	3	1	1	0	5	1	1	15,00	12,27	2,73	685.875,00 €	44.185,65 €	73.221,81 €	730.060,65
1	3	1	1	0	5	1	0	16,05	13,13	2,92	0,00 €	50.588,15 €	0,00 €	777.785,32
2	3	1	0	0	5	2	1	17,17	14,05	3,12	87.885,00 €	57.918,37 €	11.114,47 €	907.549,81
3	3	1	0	0	6	2	1	18,38	15,03	3,34	87.885,00 €	66.310,75 €	12.059,26 €	1.037.015,53
4	3	1	0	0	6	2	0	19,66	16,09	3,57	0,00 €	75.919,17 €	0,00 €	1.097.150,63
5	3	1	0	0	6	2	0	21,04	17,21	3,83	0,00 €	86.919,86 €	0,00 €	1.162.102,21
6	3	1	0	0	7	2	1	22,51	18,42	4,09	87.885,00 €	99.514,55 €	15.247,53 €	1.294.211,49
7	3	1	0	0	7	2	0	24,09	19,71	4,38	0,00 €	113.934,21 €	0,00 €	1.369.984,25
8	3	1	0	0	8	2	1	25,77	21,09	4,69	87.885,00 €	130.443,28 €	17.704,62 €	1.506.966,11
9	3	1	0	0	8	2	0	27,58	22,56	5,01	0,00 €	149.344,51 €	0,00 €	1.595.362,90
10	3	1	0	0	9	2	1	29,51	24,14	5,36	87.885,00 €	170.984,53 €	20.465,41 €	1.739.914,29

Πίνακας 3.3.12: Μη βέλτιστη λύση χωρίς συνυπολογισμό της υπολειπόμενης αξίας των αποξηλωμένων υλικών και με αύξηση στα κόστη κατασκευής 55%.

Ετος	Γραμμές 1	Γραμμές 2	Νέες γραμμές 1	Νέες Γραμμές 2	Αναχωρήσεις 1	Αναχωρήσεις 2	Νέες Αναχωρήσεις	Φορτίο	Ζυγός 1	Ζυγός 2	Κόστος Κατασκευής	Κόστος Απωλειών	Υπολειπόμενη αξία	Συνολικό κόστος
0	2	1	1	0	4	2	1	15,00	11,25	3,75	386.880,00 €	60.755,27 €	61.256,00 €	386.379,30
1	3	1	1	1	5	1	0	16,05	13,13	2,92	298.995,00 €	50.588,15 €	49.832,50 €	669.162,90
2	3	1	0	0	5	2	1	17,17	14,05	3,12	87.885,00 €	57.918,38 €	15.379,87 €	785.239,40
3	3	1	0	0	6	2	1	18,38	15,03	3,34	87.885,00 €	66.310,75 €	16.112,25 €	901.176,90
4	3	1	0	0	6	2	0	19,66	16,09	3,57	0,00 €	75.919,18 €	0,00 €	961.312,00
5	3	1	0	0	6	2	0	21,04	17,21	3,83	0,00 €	86.919,87 €	0,00 €	1.026.264,00
6	3	1	0	0	7	2	1	22,51	18,42	4,09	87.885,00 €	99.514,56 €	18.309,38 €	1.145.466,00
7	3	1	0	0	7	2	0	24,09	19,71	4,38	0,00 €	113.934,20 €	0,00 €	1.221.238,00
8	3	1	0	0	8	2	1	25,77	21,09	4,69	87.885,00 €	130.443,30 €	19.774,13 €	1.345.814,00
9	3	1	0	0	8	2	0	27,58	22,56	5,01	0,00 €	149.344,50 €	0,00 €	1.434.210,00
10	3	1	0	0	9	2	1	29,51	24,14	5,36	87.885,00 €	170.984,50 €	21.238,88 €	1.566.902,00

Πίνακας 3.3.13:Βέλτιστη λύση με συνυπολογισμό της υπολειπόμενης αξίας των αποξηλωμένων υλικών με τη μέθοδο της γραμμικής απόσβεσης και με αύξηση στα κόστη κατασκευής 55%.

Ετος	Γραμμές 1	Γραμμές 2	Νέες γραμμές 1	Νέες Γραμμές 2	Αναχωρήσεις 1	Αναχωρήσεις 2	Νέες Αναχωρήσεις	Φορτίο	Ζυγός 1	Ζυγός 2	Κόστος Κατασκευής	Κόστος Απωλειών	Υπολειπόμενη αξία	Συνολικό κόστος
0	3	1	2	0	5	1	1	15,00	12,27	2,73	685.875,00 €	44.185,65 €	108.596,88 €	621.463,78
1	3	1	0	0	5	1	0	16,05	13,13	2,92	0,00 €	50.588,15 €	0,00 €	669.188,45
2	3	1	0	0	5	2	1	17,17	14,05	3,12	87.885,00 €	57.918,37 €	15.379,88 €	785.264,90
3	3	1	0	0	6	2	1	18,38	15,03	3,34	87.885,00 €	66.310,75 €	16.112,25 €	901.202,47
4	3	1	0	0	6	2	0	19,66	16,09	3,57	0,00 €	75.919,17 €	0,00 €	961.337,56
5	3	1	0	0	6	2	0	21,04	17,21	3,83	0,00 €	86.919,86 €	0,00 €	1.026.289,14
6	3	1	0	0	7	2	1	22,51	18,42	4,09	87.885,00 €	99.514,55 €	18.309,38 €	1.145.491,04
7	3	1	0	0	7	2	0	24,09	19,71	4,38	0,00 €	113.934,21 €	0,00 €	1.221.263,80
8	3	1	0	0	8	2	1	25,77	21,09	4,69	87.885,00 €	130.443,28 €	19.774,13 €	1.345.839,13
9	3	1	0	0	8	2	0	27,58	22,56	5,01	0,00 €	149.344,51 €	0,00 €	1.434.235,92
10	3	1	0	0	9	2	1	29,51	24,14	5,36	87.885,00 €	170.984,53 €	21.238,88 €	1.566.927,63

Πίνακας 3.3.14:Μη βέλτιστη λύση με συνυπολογισμό της υπολειπόμενης αξίας των αποξηλωμένων υλικών με τη μέθοδο της γραμμικής απόσβεσης και με αύξηση στα κόστη κατασκευής 55%.

Ετος	Γραμμές 1	Γραμμές 2	Νέες γραμμές 1	Νέες Γραμμές 2	Αναχωρήσεις 1	Αναχωρήσεις 2	Νέες Αναχωρήσεις	Φορτίο	Ζυγός 1	Ζυγός 2	Κόστος Κατασκευής	Κόστος Απωλειών	Υπολειπόμενη αξία	Συνολικό κόστος
0	2	1	1	0	4	2	1	15,00	11,25	3,75	361.920,00 €	60.755,27 €	38.637,42 €	384.037,90
1	3	1	1	1	5	1	0	16,05	13,13	2,92	279.705,00 €	50.588,15 €	32.536,52 €	664.940,30
2	3	1	0	0	5	2	1	17,17	14,05	3,12	82.215,00 €	57.918,38 €	10.397,41 €	780.404,90
3	3	1	0	0	6	2	1	18,38	15,03	3,34	82.215,00 €	66.310,75 €	11.281,24 €	895.638,00
4	3	1	0	0	6	2	0	19,66	16,09	3,57	0,00 €	75.919,18 €	0,00 €	955.773,10
5	3	1	0	0	6	2	0	21,04	17,21	3,83	0,00 €	86.919,87 €	0,00 €	1.020.725,00
6	3	1	0	0	7	2	1	22,51	18,42	4,09	82.215,00 €	99.514,56 €	14.263,82 €	1.138.781,00
7	3	1	0	0	7	2	0	24,09	19,71	4,38	0,00 €	113.934,20 €	0,00 €	1.214.554,00
8	3	1	0	0	8	2	1	25,77	21,09	4,69	82.215,00 €	130.443,30 €	16.562,39 €	1.337.587,00
9	3	1	0	0	8	2	0	27,58	22,56	5,01	0,00 €	149.344,50 €	0,00 €	1.425.984,00
10	3	1	0	0	9	2	1	29,51	24,14	5,36	82.215,00 €	170.984,50 €	19.145,06 €	1.556.679,00

Πίνακας 3.3.15: Βέλτιστη λύση με συνυπολογισμό της υπολειπόμενης αξίας των αποξηλωμένων υλικών με τη μέθοδο της απόσβεση τοκοχρεωλυτικής και με αύξηση στα κόστη κατασκευής 45%.

Ετος	Γραμμές 1	Γραμμές 2	Νέες γραμμές 1	Νέες Γραμμές 2	Αναχωρήσεις 1	Αναχωρήσεις 2	Νέες Αναχωρήσεις	Φορτίο	Ζυγός 1	Ζυγός 2	Κόστος Κατασκευής	Κόστος Απωλειών	Υπολειπόμενη αξία	Συνολικό κόστος
0	3	1	2	0	5	1	1	15,00	12,27	2,73	641.625,00 €	44.185,65 €	68.497,82 €	617.312,83
1	3	1	0	0	5	1	0	16,05	13,13	2,92	0,00 €	50.588,15 €	0,00 €	665.037,50
2	3	1	0	0	5	2	1	17,17	14,05	3,12	82.215,00 €	57.918,37 €	10.397,41 €	780.502,04
3	3	1	0	0	6	2	1	18,38	15,03	3,34	82.215,00 €	66.310,75 €	11.281,24 €	895.735,18
4	3	1	0	0	6	2	0	19,66	16,09	3,57	0,00 €	75.919,17 €	0,00 €	955.870,28
5	3	1	0	0	6	2	0	21,04	17,21	3,83	0,00 €	86.919,86 €	0,00 €	1.020.821,86
6	3	1	0	0	7	2	1	22,51	18,42	4,09	82.215,00 €	99.514,55 €	14.263,82 €	1.138.878,59
7	3	1	0	0	7	2	0	24,09	19,71	4,38	0,00 €	113.934,21 €	0,00 €	1.214.651,35
8	3	1	0	0	8	2	1	25,77	21,09	4,69	82.215,00 €	130.443,28 €	16.562,39 €	1.337.684,33
9	3	1	0	0	8	2	0	27,58	22,56	5,01	0,00 €	149.344,51 €	0,00 €	1.426.081,12
10	3	1	0	0	9	2	1	29,51	24,14	5,36	82.215,00 €	170.984,53 €	19.145,06 €	1.556.775,91

Πίνακας 3.3.16: Μη βέλτιστη λύση με συνυπολογισμό της υπολειπόμενης αξίας των αποξηλωμένων υλικών με τη μέθοδο της απόσβεση τοκοχρεωλυτικής και με αύξηση στα κόστη κατασκευής 45%.

3.3.3.2 Ευαισθησία λύσης ως προς το κόστος απωλειών

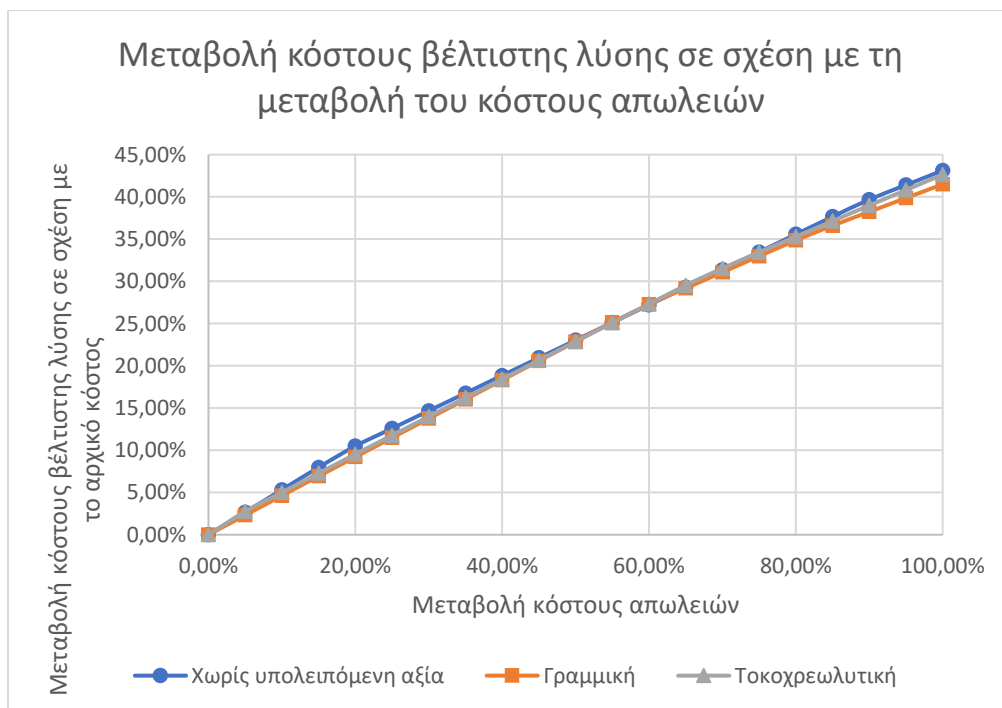
Το κόστος απωλειών είναι ένας επίσης ευμετάβλητος παράγοντας του προβλήματος, καθώς σχετίζεται με τις τιμές ενέργειας. Η αύξησή του αναμένεται να προκρίνει την εγκατάσταση νέων γραμμών, καθώς αυτός είναι ο μόνος τρόπος, ώστε να μειωθεί το αυξανόμενο κόστος απωλειών. Αυτό έρχεται σε αντίθεση με την αύξηση του κόστους υλικών που είχε την τάση να καθυστερεί την τοποθέτηση γραμμών.

Τα αποτελέσματα για μια αύξηση του κόστους απωλειών κατά 5% φαίνονται στους Πίνακες 3.3.17-3.3.19. Σε αυτά παρατηρείται ότι η βέλτιστη λύση επηρεάζεται πολύ έντονα. Ήδη για την εν λόγω μικρή σχετικά αύξηση, η βέλτιστη λύση τροποποιήθηκε για τη μέθοδο τοκοχρεωλυτικής απόσβεσης. Το συνολικό κόστος, ανηγμένο στην αρχή του έτους 0 και η μεταβολή του, φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Μέθοδος	Συνολικό κόστος	Μεταβολή συνολικού κόστους μετά την αύξηση του απωλειών κατά 5%
Χωρίς υπολειπόμενη αξία	1.420.431 €	2,66%
Γραμμική απόσβεση	1.299.366 €	2,31%
Τοκοχρεωλυτική δόση	1.337.887 €	2,76%

Πίνακας 3.7: Μεταβολή συνολικού κόστους μετά την αύξηση του κόστους απωλειών κατά 5%

Η ποσοστιαία μεταβολή του συνολικού (ανηγμένου στον κοινό χρόνο) κόστους κατά το έτος 10 της βέλτιστης λύσης για τις διαφορετικές μεθόδους τιμολόγησης φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα (Διάγραμμα 3.2). Σε αυτό αποτυπώνεται μια γραμμική σχεδόν σχέση ανάμεσα στο ποσοστό αύξησης του κόστους των απωλειών και του συνολικού κόστους. Συγκεκριμένα με χρήση της μεθόδου ελαχίστων τετραγώνων οι σχετικές ευθείες παρουσιάζουν κλίση 0,427 για τιμολόγηση χωρίς την υπολειπόμενη αξία, 0,421 για τιμολόγηση με γραμμική απόσβεση και 0,427 για τιμολόγηση με τοκοχρεωλυτική απόσβεση.



Η βέλτιστη λύση τροποποιείται έντονα από την αύξηση του κόστους απωλειών. Στους Πίνακες 3.3.20, 3.3.22, 3.3.24, παρουσιάζεται η βέλτιστη λύση για αύξηση κόστους απωλειών κατά 20% για τις διαφορετικές μεθόδους τιμολόγησης. Αυτό το ποσοστό αύξησης σηματοδοτεί την ένταξη της τέταρτης γραμμής Τύπου 1 για τη μέθοδο της τιμολόγησης χωρίς υπολειπόμενη αξία. Επιπλέον, η ένταξη της τέταρτης γραμμής για τις μεθόδους γραμμικής και τοκοχρεωλυτικής δόσης, γίνεται κατά το έτος 0 αντί για το έτος 1 και κατά το έτος 1 αντί για το έτος 2 που συνέβαινε για αύξηση κόστους απωλειών 5% αντίστοιχα. Για λόγους σύγκρισης στους Πίνακες 3.3.21, 3.3.23, 3.3.25 παρουσιάζεται η αρχική βέλτιστη λύση (2 γραμμές τύπου 1 κατά το έτος 0 για τοκοχρεωλυτική απόσβεση και χωρίς υπολειπόμενη αξία και 1 γραμμή τύπου 1 κατά το 0 και 1 κατά το έτος 1 για τη γραμμική απόσβεση).

Τέλος στους Πίνακες 3.3.26-3.3.31 παρουσιάζονται τα ίδια αποτελέσματα για αύξηση κόστους απωλειών 60%. Το ποσοστό αυτό σηματοδοτεί την ένταξη πέμπτης γραμμής τύπου 1 κατά το έτος 3 για τη μέθοδο της γραμμικής απόσβεσης. Η ένταξη της πέμπτης γραμμής συμβαίνει για αύξηση 70% στο κόστος απωλειών για τη μέθοδο της τοκοχρεωλυτικής απόσβεσης (Πίνακας 3.3.32) και 90% για τη μέθοδο χωρίς υπολειπόμενη αξία (Πίνακας 3.3.33).

Για 100% αύξηση του κόστους απωλειών εντάσσεται και έκτη γραμμή κατά τη μέθοδο τιμολόγησης γραμμικής απόσβεσης (Πίνακας 3.3.34).

Ετος	Γραμμές 1	Γραμμές 2	Νέες γραμμές 1	Νέες Γραμμές 2	Αναχωρήσεις 1	Αναχωρήσεις 2	Νέες Αναχωρήσεις	Φορτίο	Ζυγός 1	Ζυγός 2	Κόστος Κατασκευής	Κόστος Απωλειών	Υπολειπόμενη αξία	Συνολικό κόστος
0	3	1	2	0	5	1	1	15,00	12,27	2,73	442.500,00 €	46.394,94 €	0,00 €	488.894,90
1	3	1	0	0	5	1	0	16,05	13,13	2,92	0,00 €	53.117,56 €	0,00 €	539.005,80
2	3	1	0	0	5	2	1	17,17	14,05	3,12	56.700,00 €	60.814,30 €	0,00 €	643.593,10
3	3	1	0	0	6	2	1	18,38	15,03	3,34	56.700,00 €	69.626,29 €	0,00 €	749.659,10
4	3	1	0	0	6	2	0	19,66	16,09	3,57	0,00 €	79.715,14 €	0,00 €	812.801,00
5	3	1	0	0	6	2	0	21,04	17,21	3,83	0,00 €	91.265,86 €	0,00 €	881.000,20
6	3	1	0	0	7	2	1	22,51	18,42	4,09	56.700,00 €	104.490,30 €	0,00 €	994.632,90
7	3	1	0	0	7	2	0	24,09	19,71	4,38	0,00 €	119.630,90 €	0,00 €	1.074.194,00
8	3	1	0	0	8	2	1	25,77	21,09	4,69	56.700,00 €	136.965,40 €	0,00 €	1.195.702,00
9	3	1	0	0	8	2	0	27,58	22,56	5,01	0,00 €	156.811,70 €	0,00 €	1.288.519,00
10	3	1	0	0	9	2	1	29,51	24,14	5,36	56.700,00 €	179.533,80 €	0,00 €	1.420.431,00

Πίνακας 3.3.17: Βέλτιστη λύση χωρίς τον συνυπολογισμό της υπολειπόμενης αξίας των αποξηλωμένων υλικών και με αύξηση στο κόστος απωλειών 5%.

Ετος	Γραμμές 1	Γραμμές 2	Νέες γραμμές 1	Νέες Γραμμές 2	Αναχωρήσεις 1	Αναχωρήσεις 2	Νέες Αναχωρήσεις	Φορτίο	Ζυγός 1	Ζυγός 2	Κόστος Κατασκευής	Κόστος Απωλειών	Υπολειπόμενη αξία	Συνολικό κόστος
0	3	1	2	0	5	1	1	15,00	12,27	2,73	442.500,00 €	46.394,94 €	70.062,50 €	418.832,40
1	4	1	1	1	5	1	0	16,05	13,76	2,29	192.900,00 €	41.735,23 €	32.150,00 €	609.856,20
2	4	1	0	0	5	1	0	17,17	14,72	2,45	0,00 €	47.782,66 €	0,00 €	652.382,60
3	4	1	0	0	6	1	1	18,38	15,75	2,63	56.700,00 €	54.706,37 €	10.395,00 €	737.193,70
4	4	1	0	0	6	1	0	19,66	16,85	2,81	0,00 €	62.633,32 €	0,00 €	786.805,20
5	4	1	0	0	7	2	2	21,04	18,03	3,01	113.400,00 €	71.708,89 €	22.680,00 €	908.181,50
6	4	1	0	0	7	2	0	22,51	19,30	3,22	0,00 €	82.099,51 €	0,00 €	966.058,40
7	4	1	0	0	7	2	0	24,09	20,65	3,44	0,00 €	93.995,73 €	0,00 €	1.028.571,00
8	4	1	0	0	8	2	1	25,77	22,09	3,68	56.700,00 €	107.615,70 €	12.757,50 €	1.123.660,00
9	4	1	0	0	8	2	0	27,58	23,64	3,94	0,00 €	123.209,20 €	0,00 €	1.196.588,00
10	4	1	0	0	9	2	1	29,51	25,29	4,22	56.700,00 €	141.062,20 €	13.702,50 €	1.299.366,00

Πίνακας 3.3.18: Βέλτιστη λύση με τον συνυπολογισμό της υπολειπόμενης αξίας των αποξηλωμένων υλικών με τη μέθοδο της γραμμικής απόσβεσης και με αύξηση στο κόστος απωλειών 5%.

Ετος	Γραμμές 1	Γραμμές 2	Νέες γραμμές 1	Νέες Γραμμές 2	Αναχωρή σεις 1	Αναχωρή σεις 2	Νέες Αναχωρή σεις	Φορτίο	Ζυγός 1	Ζυγός 2	Κόστος Κατασκευής	Κόστος Απωλειών	Υπολειπόμε νη αξία	Συνολικό κόστος
0	3	1	2	0	5	1	1	15,00	12,27	2,73	442.500,00 €	46.394,94 €	47.239,88 €	441.655,10
1	3	1	0	0	5	1	0	16,05	13,13	2,92	0,00 €	53.117,56 €	0,00 €	491.766,00
2	4	1	1	0	5	1	0	17,17	14,72	2,45	192.900,00 €	47.782,66 €	24.395,31 €	684.260,90
3	4	1	0	1	6	1	1	18,38	15,75	2,63	56.700,00 €	54.706,37 €	7.780,17 €	771.267,50
4	4	1	0	0	6	1	0	19,66	16,85	2,81	0,00 €	62.633,32 €	0,00 €	820.879,00
5	4	1	0	0	7	2	2	21,04	18,03	3,01	113.400,00 €	71.708,89 €	18.222,30 €	945.586,30
6	4	1	0	0	7	2	0	22,51	19,30	3,22	0,00 €	82.099,51 €	0,00 €	1.003.463,00
7	4	1	0	0	7	2	0	24,09	20,65	3,44	0,00 €	93.995,73 €	0,00 €	1.065.976,00
8	4	1	0	0	8	2	1	25,77	22,09	3,68	56.700,00 €	107.615,70 €	11.422,34 €	1.161.903,00
9	4	1	0	0	8	2	0	27,58	23,64	3,94	0,00 €	123.209,20 €	0,00 €	1.234.830,00
10	4	1	0	0	9	2	1	29,51	25,29	4,22	56.700,00 €	141.062,20 €	13.203,49 €	1.337.887,00

Πίνακας 3.3.19: Βέλτιστη λύση με τον συνυπολογισμό της υπολειπόμενης αξίας των αποξηλωμένων υλικών με τη μέθοδο της απόσβεσης τοκοχρεωλυτικής δόσης και με αύξηση στο κόστος απωλειών 5%.

Ετος	Γραμμές 1	Γραμμές 2	Νέες γραμμές 1	Νέες Γραμμές 2	Αναχωρήσεις 1	Αναχωρήσεις 2	Νέες Αναχωρήσεις	Φορτίο (MVA)	Ζυγός 1 (MVA)	Ζυγός 2 (MVA)	Κόστος Κατασκευής	Κόστος Απωλειών	Υπολειπόμενη αξία	Συνολικό κόστος
0	4	1	3	0	5	1	1	15,00	12,86	2,14	635.400,00 €	41.660,76 €	0,00 €	677.060,80 €
1	4	1	0	0	5	1	0	16,05	13,76	2,29	0,00 €	47.697,40 €	0,00 €	722.058,30 €
2	4	1	0	0	5	1	0	17,17	14,72	2,45	0,00 €	54.608,76 €	0,00 €	770.659,90 €
3	4	1	0	0	6	1	1	18,38	15,75	2,63	56.700,00 €	62.521,56 €	0,00 €	870.760,60 €
4	4	1	0	0	6	1	0	19,66	16,85	2,81	0,00 €	71.580,94 €	0,00 €	927.459,40 €
5	4	1	0	0	7	2	2	21,04	18,03	3,01	113.400,00 €	81.953,02 €	0,00 €	1.073.439,00 €
6	4	1	0	0	7	2	0	22,51	19,30	3,22	0,00 €	93.828,01 €	0,00 €	1.139.584,00 €
7	4	1	0	0	7	2	0	24,09	20,65	3,44	0,00 €	107.423,70 €	0,00 €	1.211.027,00 €
8	4	1	0	0	8	2	1	25,77	22,09	3,68	56.700,00 €	122.989,40 €	0,00 €	1.323.766,00 €
9	4	1	0	0	8	2	0	27,58	23,64	3,94	0,00 €	140.810,50 €	0,00 €	1.407.111,00 €
10	4	1	0	0	9	2	1	29,51	25,29	4,22	56.700,00 €	161.214,00 €	0,00 €	1.528.793,00 €

Πίνακας 3.3.20: Βέλτιστη λύση χωρίς τον συνυπολογισμό της υπολειπόμενης αξίας των αποξηλωμένων υλικών και με αύξηση στο κόστος απωλειών 20%.

Ετος	Γραμμές 1	Γραμμές 2	Νέες Γραμμές 1	Νέες Γραμμές 2	Αναχωρήσεις 1	Αναχωρήσεις 2	Νέες Αναχωρήσεις	Φορτίο (MVA)	Ζυγός 1 (MVA)	Ζυγός 2 (MVA)	Κόστος Κατασκευής	Κόστος Απωλειών	Υπολειπόμενη αξία	Συνολικό κόστος
0	3	1	2	0	5	1	1	15,00	12,27	2,73	442.500,00 €	53.022,78 €	0,00 €	495.522,78 €
1	3	1	0	0	5	1	0	16,05	13,13	2,92	0,00 €	60.705,78 €	0,00 €	552.792,39 €
2	3	1	0	0	5	2	1	17,17	14,05	3,12	56.700,00 €	69.502,05 €	0,00 €	665.111,77 €
3	3	1	0	0	6	2	1	18,38	15,03	3,34	56.700,00 €	79.572,90 €	0,00 €	779.529,12 €
4	3	1	0	0	6	2	0	19,66	16,09	3,57	0,00 €	91.103,01 €	0,00 €	851.691,24 €
5	3	1	0	0	6	2	0	21,04	17,21	3,83	0,00 €	104.303,84 €	0,00 €	929.633,14 €
6	3	1	0	0	7	2	1	22,51	18,42	4,09	56.700,00 €	119.417,47 €	0,00 €	1.053.789,01 €
7	3	1	0	0	7	2	0	24,09	19,71	4,38	0,00 €	136.721,06 €	0,00 €	1.144.716,32 €
8	3	1	0	0	8	2	1	25,77	21,09	4,69	56.700,00 €	156.531,94 €	0,00 €	1.278.500,67 €
9	3	1	0	0	8	2	0	27,58	22,56	5,01	0,00 €	179.213,42 €	0,00 €	1.384.576,82 €
10	3	1	0	0	9	2	1	29,51	24,14	5,36	56.700,00 €	205.181,44 €	0,00 €	1.530.810,05 €

Πίνακας 3.3.21: Μη βέλτιστη λύση χωρίς τον συνυπολογισμό της υπολειπόμενης αξίας των αποξηλωμένων υλικών και με αύξηση στο κόστος απωλειών 20%.

Ετος	Γραμμές 1	Γραμμές 2	Νέες Γραμμές1	Νέες Γραμμές 2	Αναχωρήσεις 1	Αναχωρήσεις 2	Νέες Αναχωρήσεις	Φορτίο (MVA)	Ζυγός 1 (MVA)	Ζυγός 2 (MVA)	Κόστος Κατασκευής	Κόστος Απωλειών	Υπολειπόμενη αξία	Συνολικό κόστος
0	4	1	3	0	5	1	1	15,00	12,86	2,14	635.400,00 €	41.660,76 €	100.605,00 €	576.455,80 €
1	4	1	0	0	5	1	0	16,05	13,76	2,29	0,00 €	47.697,40 €	0,00 €	621.453,30 €
2	4	1	0	0	5	1	0	17,17	14,72	2,45	0,00 €	54.608,76 €	0,00 €	670.054,90 €
3	4	1	0	0	6	1	1	18,38	15,75	2,63	56.700,00 €	62.521,56 €	10.395,00 €	761.427,80 €
4	4	1	0	0	6	1	0	19,66	16,85	2,81	0,00 €	71.580,94 €	0,00 €	818.126,60 €
5	4	1	0	0	7	2	2	21,04	18,03	3,01	113.400,00 €	81.953,02 €	22.680,00 €	947.157,90 €
6	4	1	0	0	7	2	0	22,51	19,30	3,22	0,00 €	93.828,01 €	0,00 €	1.013.303,00 €
7	4	1	0	0	7	2	0	24,09	20,65	3,44	0,00 €	107.423,70 €	0,00 €	1.084.746,00 €
8	4	1	0	0	8	2	1	25,77	22,09	3,68	56.700,00 €	122.989,40 €	12.757,50 €	1.189.481,00 €
9	4	1	0	0	8	2	0	27,58	23,64	3,94	0,00 €	140.810,50 €	0,00 €	1.272.827,00 €
10	4	1	0	0	9	2	1	29,51	25,29	4,22	56.700,00 €	161.214,00 €	13.702,50 €	1.386.857,00 €

Πίνακας 3.3.22: Βέλτιστη λύση με τον συνυπολογισμό της υπολειπόμενης αξίας των αποξηλωμένων υλικών με τη μέθοδο της γραμμικής απόσβεσης και με αύξηση στο κόστος απωλειών 20%.

Ετος	Γραμμές 1	Γραμμές 2	Νέες Γραμμές1	Νέες Γραμμές 2	Αναχωρήσεις 1	Αναχωρήσεις 2	Νέες Αναχωρήσεις	Φορτίο (MVA)	Ζυγός 1 (MVA)	Ζυγός 2 (MVA)	Κόστος Κατασκευής	Κόστος Απωλειών	Υπολειπόμενη αξία	Συνολικό κόστος
0	2	1	1	0	4	2	1	15,00	11,25	3,75	249.600,00 €	72.906,33 €	39.520,00 €	282.986,33 €
1	3	1	1	0	5	1	0	16,05	13,13	2,92	192.900,00 €	60.705,78 €	32.150,00 €	491.906,88 €
2	3	1	0	0	5	2	1	17,17	14,05	3,12	56.700,00 €	69.502,05 €	9.922,50 €	595.395,27 €
3	3	1	0	0	6	2	1	18,38	15,03	3,34	56.700,00 €	79.572,90 €	10.395,00 €	701.084,78 €
4	3	1	0	0	6	2	0	19,66	16,09	3,57	0,00 €	91.103,01 €	0,00 €	773.246,90 €
5	3	1	0	0	6	2	0	21,04	17,21	3,83	0,00 €	104.303,84 €	0,00 €	851.188,80 €
6	3	1	0	0	7	2	1	22,51	18,42	4,09	56.700,00 €	119.417,47 €	11.812,50 €	967.017,31 €
7	3	1	0	0	7	2	0	24,09	19,71	4,38	0,00 €	136.721,06 €	0,00 €	1.057.944,63 €
8	3	1	0	0	8	2	1	25,77	21,09	4,69	56.700,00 €	156.531,94 €	12.757,50 €	1.183.724,77 €
9	3	1	0	0	8	2	0	27,58	22,56	5,01	0,00 €	179.213,42 €	0,00 €	1.289.800,92 €
10	3	1	0	0	9	2	1	29,51	24,14	5,36	56.700,00 €	205.181,44 €	13.702,50 €	1.428.382,74 €

Πίνακας 3.3.23: Μη βέλτιστη λύση με τον συνυπολογισμό της υπολειπόμενης αξίας των αποξηλωμένων υλικών με τη μέθοδο της γραμμικής απόσβεσης και με αύξηση στο κόστος απωλειών 20%.

Ετος	Γραμμές 1	Γραμμές 2	Νέες Γραμμές1	Νέες Γραμμές 2	Αναχωρήσεις 1	Αναχωρήσεις 2	Νέες Αναχωρήσεις	Φορτίο (MVA)	Ζυγός 1 (MVA)	Ζυγός 2 (MVA)	Κόστος Κατασκευής	Κόστος Απωλειών	Υπολειπόμενη αξία	Συνολικό κόστος
0	3	1	2	0	5	1	1	15,00	12,27	2,73	442.500,00 €	53.022,78 €	47.239,88 €	448.282,90 €
1	4	1	1	1	5	1	0	16,05	13,76	2,29	192.900,00 €	47.697,40 €	22.438,98 €	654.092,70 €
2	4	1	0	0	5	1	0	17,17	14,72	2,45	0,00 €	54.608,76 €	0,00 €	702.694,30 €
3	4	1	0	0	6	1	1	18,38	15,75	2,63	56.700,00 €	62.521,56 €	7.780,17 €	796.262,70 €
4	4	1	0	0	6	1	0	19,66	16,85	2,81	0,00 €	71.580,94 €	0,00 €	852.961,50 €
5	4	1	0	0	7	2	2	21,04	18,03	3,01	113.400,00 €	81.953,02 €	18.222,30 €	985.323,90 €
6	4	1	0	0	7	2	0	22,51	19,30	3,22	0,00 €	93.828,01 €	0,00 €	1.051.469,00 €
7	4	1	0	0	7	2	0	24,09	20,65	3,44	0,00 €	107.423,70 €	0,00 €	1.122.912,00 €
8	4	1	0	0	8	2	1	25,77	22,09	3,68	56.700,00 €	122.989,40 €	11.422,34 €	1.228.485,00 €
9	4	1	0	0	8	2	0	27,58	23,64	3,94	0,00 €	140.810,50 €	0,00 €	1.311.830,00 €
10	4	1	0	0	9	2	1	29,51	25,29	4,22	56.700,00 €	161.214,00 €	13.203,49 €	1.426.139,00 €

Πίνακας 3.3.24: Βέλτιστη λύση με τον συνυπολογισμό της υπολειπόμενης αξίας των αποξηλωμένων υλικών με τη μέθοδο της απόσβεσης τοκοχρεωλυτικής δόσης και με αύξηση στο κόστος απωλειών 20%.

Ετος	Γραμμές 1	Γραμμές 2	Νέες Γραμμές 1	Νέες Γραμμές 2	Αναχωρήσεις 1	Αναχωρήσεις 2	Νέες Αναχωρήσεις	Φορτίο (MVA)	Ζυγός 1 (MVA)	Ζυγός 2 (MVA)	Κόστος Κατασκευής	Κόστος Απωλειών	Υπολειπόμενη αξία	Συνολικό κόστος
0	3	1	2	0	5	1	1	15,00	12,27	2,73	442.500,00 €	53.022,78 €	47.239,88 €	448.282,91 €
1	3	1	0	0	5	1	0	16,05	13,13	2,92	0,00 €	60.705,78 €	0,00 €	505.552,51 €
2	3	1	0	0	5	2	1	17,17	14,05	3,12	56.700,00 €	69.502,05 €	7.170,63 €	611.490,06 €
3	3	1	0	0	6	2	1	18,38	15,03	3,34	56.700,00 €	79.572,90 €	7.780,16 €	719.375,04 €
4	3	1	0	0	6	2	0	19,66	16,09	3,57	0,00 €	91.103,01 €	0,00 €	791.537,16 €
5	3	1	0	0	6	2	0	21,04	17,21	3,83	0,00 €	104.303,84 €	0,00 €	869.479,05 €
6	3	1	0	0	7	2	1	22,51	18,42	4,09	56.700,00 €	119.417,47 €	9.837,11 €	986.700,14 €
7	3	1	0	0	7	2	0	24,09	19,71	4,38	0,00 €	136.721,06 €	0,00 €	1.077.627,45 €
8	3	1	0	0	8	2	1	25,77	21,09	4,69	56.700,00 €	156.531,94 €	11.422,34 €	1.204.245,29 €
9	3	1	0	0	8	2	0	27,58	22,56	5,01	0,00 €	179.213,42 €	0,00 €	1.310.321,44 €
10	3	1	0	0	9	2	1	29,51	24,14	5,36	56.700,00 €	205.181,44 €	13.203,49 €	1.449.181,91 €

Πίνακας 3.3.25: Μη βέλτιστη λύση με τον συνυπολογισμό της υπολειπόμενης αξίας των αποξηλωμένων υλικών με τη μέθοδο της απόσβεσης τοκοχρεωλυτικής δόσης και με αύξηση στο κόστος απωλειών 20%.

Ετος	Γραμμές 1	Γραμμές 2	Νέες Γραμμές 1	Νέες Γραμμές 2	Αναχωρήσεις 1	Αναχωρήσεις 2	Νέες Αναχωρήσεις	Φορτίο (MVA)	Ζυγός 1 (MVA)	Ζυγός 2 (MVA)	Κόστος Κατασκευής	Κόστος Απωλειών	Υπολειπόμενη αξία	Συνολικό κόστος
0	4	1	3	0	5	1	1	15,00	12,86	2,14	635.400,00 €	55.547,68 €	0,00 €	690.947,70 €
1	4	1	0	0	5	1	0	16,05	13,76	2,29	0,00 €	63.596,54 €	0,00 €	750.944,40 €
2	4	1	0	0	5	1	0	17,17	14,72	2,45	0,00 €	72.811,67 €	0,00 €	815.746,50 €
3	4	1	0	0	6	1	1	18,38	15,75	2,63	56.700,00 €	83.362,09 €	0,00 €	933.345,40 €
4	4	1	0	0	6	1	0	19,66	16,85	2,81	0,00 €	95.441,25 €	0,00 €	1.008.944,00 €
5	4	1	0	0	7	2	2	21,04	18,03	3,01	113.400,00 €	109.270,70 €	0,00 €	1.175.336,00 €
6	4	1	0	0	7	2	0	22,51	19,30	3,22	0,00 €	125.104,00 €	0,00 €	1.263.530,00 €
7	4	1	0	0	7	2	0	24,09	20,65	3,44	0,00 €	143.231,60 €	0,00 €	1.358.787,00 €
8	4	1	0	0	8	2	1	25,77	22,09	3,68	56.700,00 €	163.985,80 €	0,00 €	1.497.248,00 €
9	4	1	0	0	8	2	0	27,58	23,64	3,94	0,00 €	187.747,40 €	0,00 €	1.608.375,00 €
10	4	1	0	0	9	2	1	29,51	25,29	4,22	56.700,00 €	214.952,00 €	0,00 €	1.760.064,00 €

Πίνακας 3.3.26: Βέλτιστη λύση με τον συνυπολογισμό της υπολειπόμενης αξίας των αποξηλωμένων υλικών με τη μέθοδο της γραμμικής απόσβεσης και με αύξηση στο κόστος απωλειών 60%.

Ετος	Γραμμές 1	Γραμμές 2	Νέες Γραμμές 1	Νέες Γραμμές 2	Αναχωρήσεις 1	Αναχωρήσεις 2	Νέες Αναχωρήσεις	Φορτίο (MVA)	Ζυγός 1 (MVA)	Ζυγός 2 (MVA)	Κόστος Κατασκευής	Κόστος Απωλειών	Υπολειπόμενη αξία	Συνολικό κόστος
0	3	1	2	0	5	1	1	15,00	12,27	2,73	442.500,00 €	70.697,04 €	0,00 €	513.197,04 €
1	3	1	0	0	5	1	0	16,05	13,13	2,92	0,00 €	80.941,05 €	0,00 €	589.556,52 €
2	3	1	0	0	5	2	1	17,17	14,05	3,12	56.700,00 €	92.669,40 €	0,00 €	722.494,76 €
3	3	1	0	0	6	2	1	18,38	15,03	3,34	56.700,00 €	106.097,20 €	0,00 €	859.182,43 €
4	3	1	0	0	6	2	0	19,66	16,09	3,57	0,00 €	121.470,68 €	0,00 €	955.398,59 €
5	3	1	0	0	6	2	0	21,04	17,21	3,83	0,00 €	139.071,79 €	0,00 €	1.059.321,12 €
6	3	1	0	0	7	2	1	22,51	18,42	4,09	56.700,00 €	159.223,29 €	0,00 €	1.211.538,52 €
7	3	1	0	0	7	2	0	24,09	19,71	4,38	0,00 €	182.294,74 €	0,00 €	1.332.774,93 €
8	3	1	0	0	8	2	1	25,77	21,09	4,69	56.700,00 €	208.709,25 €	0,00 €	1.499.295,98 €
9	3	1	0	0	8	2	0	27,58	22,56	5,01	0,00 €	238.951,22 €	0,00 €	1.640.730,84 €
10	3	1	0	0	9	2	1	29,51	24,14	5,36	56.700,00 €	273.575,25 €	0,00 €	1.825.154,82 €

Πίνακας 3.3.27: Μη βέλτιστη λύση με τον συνυπολογισμό της υπολειπόμενης αξίας των αποξηλωμένων υλικών με τη μέθοδο της γραμμικής απόσβεσης και με αύξηση στο κόστος απωλειών 60%.

Ετος	Γραμμές 1	Γραμμές 2	Νέες Γραμμές 1	Νέες Γραμμές 2	Αναχωρήσεις 1	Αναχωρήσεις 2	Νέες Αναχωρήσεις	Φορτίο (MVA)	Ζυγός 1 (MVA)	Ζυγός 2 (MVA)	Κόστος Κατασκευής	Κόστος Απωλειών	Υπολειπόμενη αξία	Συνολικό κόστος
0	4	1	3	0	5	1	1	15,00	12,86	2,14	635.400,00 €	55.547,68 €	100.605,00 €	590.342,70 €
1	4	1	0	0	5	1	0	16,05	13,76	2,29	0,00 €	63.596,54 €	0,00 €	650.339,40 €
2	4	1	0	0	5	1	0	17,17	14,72	2,45	0,00 €	72.811,67 €	0,00 €	715.141,50 €
3	5	1	1	0	6	1	1	18,38	16,21	2,16	249.600,00 €	68.651,13 €	45.760,00 €	943.930,30 €
4	5	1	0	0	6	1	0	19,66	17,35	2,31	0,00 €	78.598,68 €	0,00 €	1.006.188,00 €
5	5	1	0	1	7	1	1	21,04	18,56	2,48	56.700,00 €	89.987,63 €	11.340,00 €	1.107.327,00 €
6	5	1	0	0	7	1	0	22,51	19,86	2,65	0,00 €	103.026,80 €	0,00 €	1.179.957,00 €
7	5	1	0	0	8	1	1	24,09	21,25	2,83	56.700,00 €	117.955,40 €	12.285,00 €	1.287.943,00 €
8	5	1	0	0	8	2	1	25,77	22,74	3,03	56.700,00 €	135.047,20 €	12.757,50 €	1.400.243,00 €
9	5	1	0	0	9	2	1	27,58	24,33	3,24	56.700,00 €	154.615,50 €	13.230,00 €	1.517.490,00 €
10	5	1	0	0	9	2	0	29,51	26,04	3,47	0,00 €	177.019,30 €	0,00 €	1.616.336,00 €

Πίνακας 3.3.28: Βέλτιστη λύση με τον συνυπολογισμό της υπολειπόμενης αξίας των αποξηλωμένων υλικών με τη μέθοδο της γραμμικής απόσβεσης και με αύξηση στο κόστος απωλειών 60%.

Ετος	Γραμμές 1	Γραμμές 2	Νέες Γραμμές 1	Νέες Γραμμές 2	Αναχωρήσεις 1	Αναχωρήσεις 2	Νέες Αναχωρήσεις	Φορτίο (MVA)	Ζυγός 1 (MVA)	Ζυγός 2 (MVA)	Κόστος Κατασκευής	Κόστος Απωλειών	Υπολειπόμενη αξία	Συνολικό κόστος
0	2	1	1	0	4	2	1	15,00	11,25	3,75	249.600,00 €	97.208,44 €	39.520,00 €	307.288,44 €
1	3	1	1	0	5	1	0	16,05	13,13	2,92	192.900,00 €	80.941,05 €	32.150,00 €	535.298,86 €
2	3	1	0	0	5	2	1	17,17	14,05	3,12	56.700,00 €	92.669,40 €	9.922,50 €	659.406,11 €
3	3	1	0	0	6	2	1	18,38	15,03	3,34	56.700,00 €	106.097,20 €	10.395,00 €	787.365,93 €
4	3	1	0	0	6	2	0	19,66	16,09	3,57	0,00 €	121.470,68 €	0,00 €	883.582,09 €
5	3	1	0	0	6	2	0	21,04	17,21	3,83	0,00 €	139.071,79 €	0,00 €	987.504,62 €
6	3	1	0	0	7	2	1	22,51	18,42	4,09	56.700,00 €	159.223,29 €	11.812,50 €	1.131.394,67 €
7	3	1	0	0	7	2	0	24,09	19,71	4,38	0,00 €	182.294,74 €	0,00 €	1.252.631,09 €
8	3	1	0	0	8	2	1	25,77	21,09	4,69	56.700,00 €	208.709,25 €	12.757,50 €	1.411.147,92 €
9	3	1	0	0	8	2	0	27,58	22,56	5,01	0,00 €	238.951,22 €	0,00 €	1.552.582,79 €
10	3	1	0	0	9	2	1	29,51	24,14	5,36	56.700,00 €	273.575,25 €	13.702,50 €	1.729.355,36 €

Πίνακας 3.3.29: Μη βέλτιστη λύση με τον συνυπολογισμό της υπολειπόμενης αξίας των αποξηλωμένων υλικών με τη μέθοδο της γραμμικής απόσβεσης και με αύξηση στο κόστος απωλειών 60%.

Ετος	Γραμμές 1	Γραμμές 2	Νέες Γραμμές 1	Νέες Γραμμές 2	Αναχωρήσεις 1	Αναχωρήσεις 2	Νέες Αναχωρήσεις	Φορτίο (MVA)	Ζυγός 1 (MVA)	Ζυγός 2 (MVA)	Κόστος Κατασκευής	Κόστος Απωλειών	Υπολειπόμενη αξία	Συνολικό κόστος
0	4	1	3	0	5	1	1	15,00	12,86	2,14	635.400,00 €	55.547,68 €	67.833,26 €	623.114,40 €
1	4	1	0	0	5	1	0	16,05	13,76	2,29	0,00 €	63.596,54 €	0,00 €	683.111,10 €
2	4	1	0	0	5	1	0	17,17	14,72	2,45	0,00 €	72.811,67 €	0,00 €	747.913,30 €
3	4	1	0	0	6	1	1	18,38	15,75	2,63	56.700,00 €	83.362,09 €	7.780,17 €	858.979,70 €
4	4	1	0	0	6	1	0	19,66	16,85	2,81	0,00 €	95.441,25 €	0,00 €	934.578,10 €
5	4	1	0	0	7	2	2	21,04	18,03	3,01	113.400,00 €	109.270,70 €	18.222,30 €	1.087.354,00 €
6	4	1	0	0	7	2	0	22,51	19,30	3,22	0,00 €	125.104,00 €	0,00 €	1.175.547,00 €
7	4	1	0	0	7	2	0	24,09	20,65	3,44	0,00 €	143.231,60 €	0,00 €	1.270.804,00 €
8	4	1	0	0	8	2	1	25,77	22,09	3,68	56.700,00 €	163.985,80 €	11.422,34 €	1.402.099,00 €
9	4	1	0	0	8	2	0	27,58	23,64	3,94	0,00 €	187.747,40 €	0,00 €	1.513.226,00 €
10	4	1	0	0	9	2	1	29,51	25,29	4,22	56.700,00 €	214.952,00 €	13.203,49 €	1.657.543,00 €

Πίνακας 3.3.30: Βέλτιστη λύση με τον συνυπολογισμό της υπολειπόμενης αξίας των αποξηλωμένων υλικών με τη μέθοδο της απόσβεσης τοκοχρεωλυτικής δόσης και με αύξηση στο κόστος απωλειών 60%.

Ετος	Γραμμές 1	Γραμμές 2	Νέες Γραμμές 1	Νέες Γραμμές 2	Αναχωρήσεις 1	Αναχωρήσεις 2	Νέες Αναχωρήσεις	Φορτίο (MVA)	Ζυγός 1 (MVA)	Ζυγός 2 (MVA)	Κόστος Κατασκευής	Κόστος Απωλειών	Υπολειπόμενη αξία	Συνολικό κόστος
0	3	1	2	0	5	1	1	15,00	12,27	2,73	442.500,00 €	70.697,04 €	47.239,88 €	465.957,17 €
1	3	1	0	0	5	1	0	16,05	13,13	2,92	0,00 €	80.941,05 €	0,00 €	542.316,64 €
2	3	1	0	0	5	2	1	17,17	14,05	3,12	56.700,00 €	92.669,40 €	7.170,63 €	668.873,05 €
3	3	1	0	0	6	2	1	18,38	15,03	3,34	56.700,00 €	106.097,20 €	7.780,16 €	799.028,34 €
4	3	1	0	0	6	2	0	19,66	16,09	3,57	0,00 €	121.470,68 €	0,00 €	895.244,50 €
5	3	1	0	0	6	2	0	21,04	17,21	3,83	0,00 €	139.071,79 €	0,00 €	999.167,03 €
6	3	1	0	0	7	2	1	22,51	18,42	4,09	56.700,00 €	159.223,29 €	9.837,11 €	1.144.449,65 €
7	3	1	0	0	7	2	0	24,09	19,71	4,38	0,00 €	182.294,74 €	0,00 €	1.265.686,07 €
8	3	1	0	0	8	2	1	25,77	21,09	4,69	56.700,00 €	208.709,25 €	11.422,34 €	1.425.040,60 €
9	3	1	0	0	8	2	0	27,58	22,56	5,01	0,00 €	238.951,22 €	0,00 €	1.566.475,46 €
10	3	1	0	0	9	2	1	29,51	24,14	5,36	56.700,00 €	273.575,25 €	13.203,49 €	1.743.526,68 €

Πίνακας 3.3.31: Μη βέλτιστη λύση με τον συνυπολογισμό της υπολειπόμενης αξίας των αποξηλωμένων υλικών με τη μέθοδο της απόσβεσης τοκοχρεωλυτικής δόσης και με αύξηση στο κόστος απωλειών 60%.

Ετος	Γραμμές 1	Γραμμές 2	Νέες Γραμμές 1	Νέες Γραμμές 2	Αναχωρή σεις 1	Αναχωρή σεις 2	Νέες Αναχωρή σεις	Φορτίο (MVA)	Ζυγός 1 (MVA)	Ζυγός 2 (MVA)	Κόστος Κατασκευής	Κόστος Απωλειών	Υπολειπόμε νη αξία	Συνολικό κόστος
0	4	1	3	0	5	1	1	15,00	12,86	2,14	635.400,00 €	59.019,41 €	67.833,26 €	626.586,10 €
1	4	1	0	0	5	1	0	16,05	13,76	2,29	0,00 €	67.571,32 €	0,00 €	690.332,70 €
2	4	1	0	0	5	1	0	17,17	14,72	2,45	0,00 €	77.362,40 €	0,00 €	759.184,90 €
3	5	1	1	0	6	1	1	18,38	16,21	2,16	249.600,00 €	72.941,83 €	34.249,19 €	1.001.241,00 €
4	5	1	0	0	6	1	0	19,66	17,35	2,31	0,00 €	83.511,10 €	0,00 €	1.067.390,00 €
5	5	1	0	1	7	1	1	21,04	18,56	2,48	56.700,00 €	95.611,85 €	9.111,15 €	1.174.398,00 €
6	5	1	0	0	7	1	0	22,51	19,86	2,65	0,00 €	109.466,00 €	0,00 €	1.251.567,00 €
7	5	1	0	0	8	1	1	24,09	21,25	2,83	56.700,00 €	125.327,60 €	10.606,64 €	1.365.571,00 €
8	5	1	0	0	8	2	1	25,77	22,74	3,03	56.700,00 €	143.487,60 €	11.422,34 €	1.484.005,00 €
9	5	1	0	0	9	2	1	27,58	24,33	3,24	56.700,00 €	164.279,00 €	12.286,98 €	1.607.530,00 €
10	5	1	0	0	9	2	0	29,51	26,04	3,47	0,00 €	188.083,00 €	0,00 €	1.712.554,00 €

Πίνακας 3.3.32: Βέλτιστη λύση με τον συνυπολογισμό της υπολειπόμενης αξίας των αποξηλωμένων υλικών με τη μέθοδο της απόσβεσης τοκοχρεωλυτικής δόσης και με αύξηση στο κόστος απωλειών 70%.

Ετος	Γραμμές 1	Γραμμές 2	Νέες Γραμμές 1	Νέες Γραμμές 2	Αναχωρή σεις 1	Αναχωρή σεις 2	Νέες Αναχωρή σεις	Φορτίο (MVA)	Ζυγός 1 (MVA)	Ζυγός 2 (MVA)	Κόστος Κατασκευής	Κόστος Απωλειών	Υπολειπόμε νη αξία	Συνολικό κόστος
0	5	1	4	0	5	1	1	15,00	13,24	1,76	828.300,00 €	54.322,36 €	0,00 €	882.622,40 €
1	5	1	0	0	5	1	0	16,05	14,16	1,89	0,00 €	62.193,67 €	0,00 €	941.295,60 €
2	5	1	0	0	6	1	1	17,17	15,15	2,02	56.700,00 €	71.205,53 €	0,00 €	1.055.131,00 €
3	5	1	0	0	6	1	0	18,38	16,21	2,16	0,00 €	81.523,22 €	0,00 €	1.123.580,00 €
4	5	1	0	0	6	1	0	19,66	17,35	2,31	0,00 €	93.335,93 €	0,00 €	1.197.510,00 €
5	5	1	0	0	7	1	1	21,04	18,56	2,48	56.700,00 €	106.860,30 €	0,00 €	1.319.732,00 €
6	5	1	0	0	7	1	0	22,51	19,86	2,65	0,00 €	122.344,40 €	0,00 €	1.405.980,00 €
7	5	1	0	0	8	1	1	24,09	21,25	2,83	56.700,00 €	140.072,10 €	0,00 €	1.536.845,00 €
8	5	1	0	0	8	2	1	25,77	22,74	3,03	56.700,00 €	160.368,50 €	0,00 €	1.673.036,00 €
9	5	1	0	0	9	2	1	27,58	24,33	3,24	56.700,00 €	183.605,90 €	0,00 €	1.815.273,00 €
10	5	1	0	0	9	2	0	29,51	26,04	3,47	0,00 €	210.210,40 €	0,00 €	1.932.653,00 €

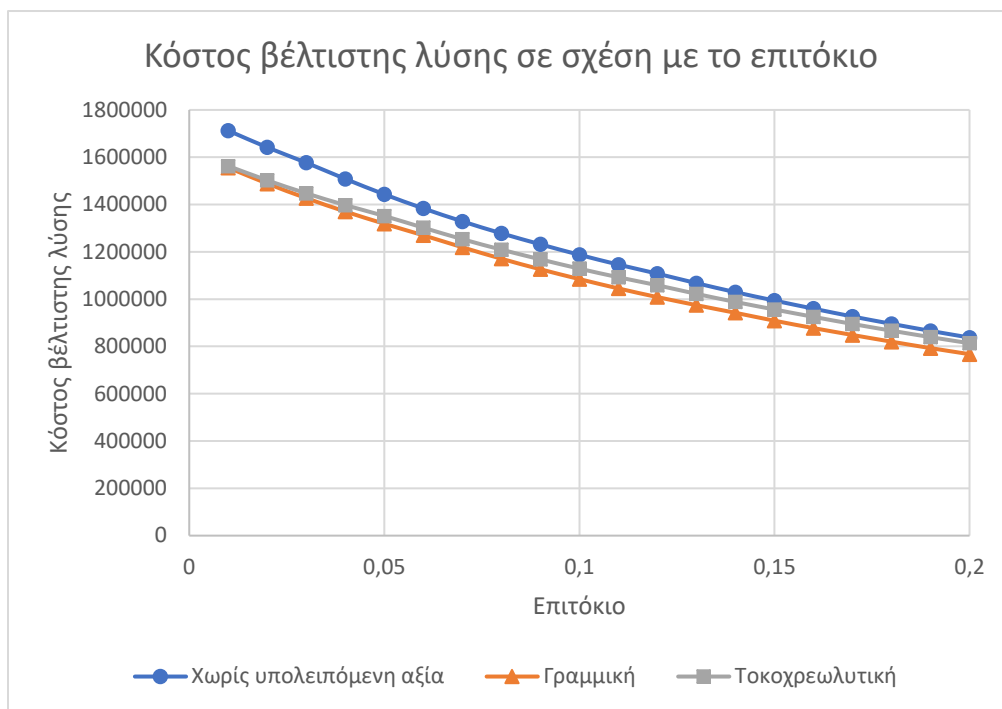
Πίνακας 3.3.33: Βέλτιστη λύση χωρίς τον συνυπολογισμό της υπολειπόμενης αξίας των αποξηλωμένων υλικών και με αύξηση στο κόστος απωλειών 90%.

Ετος	Γραμμές 1	Γραμμές 2	Νέες Γραμμές 1	Νέες Γραμμές 2	Αναχωρήσεις 1	Αναχωρήσεις 2	Νέες Αναχωρήσεις	Φορτίο (MVA)	Ζυγός 1 (MVA)	Ζυγός 2 (MVA)	Κόστος Κατασκευής	Κόστος Απωλειών	Υπολειπόμενη αξία	Συνολικό κόστος
0	5	1	4	0	5	1	1	15,00	13,24	1,76	828.300,00 €	57.181,43 €	131.147,50 €	754.333,90 €
1	5	1	0	0	5	1	0	16,05	14,16	1,89	0,00 €	65.467,02 €	0,00 €	816.095,30 €
2	6	1	1	0	6	1	1	17,17	15,46	1,72	249.600,00 €	63.710,22 €	43.680,00 €	1.056.065,00 €
3	6	1	0	1	6	1	0	18,38	16,54	1,84	0,00 €	72.941,83 €	0,00 €	1.117.309,00 €
4	6	1	0	0	6	1	0	19,66	17,70	1,97	0,00 €	83.511,10 €	0,00 €	1.183.457,00 €
5	6	1	0	0	7	1	1	21,04	18,93	2,10	56.700,00 €	95.611,85 €	11.340,00 €	1.288.800,00 €
6	6	1	0	0	7	1	0	22,51	20,26	2,25	0,00 €	109.466,00 €	0,00 €	1.365.969,00 €
7	6	1	0	0	8	1	1	24,09	21,68	2,41	56.700,00 €	125.327,60 €	12.285,00 €	1.478.857,00 €
8	6	1	0	0	8	1	0	25,77	23,20	2,58	0,00 €	143.487,60 €	0,00 €	1.568.883,00 €
9	6	1	0	0	9	1	1	27,58	24,82	2,76	56.700,00 €	164.279,00 €	13.230,00 €	1.691.850,00 €
10	6	1	0	0	9	1	0	29,51	26,56	2,95	0,00 €	188.083,00 €	0,00 €	1.796.874,00 €

Πίνακας 3.3.34: Βέλτιστη λύση με συνυπολογισμό της υπολειπόμενης αξίας των αποξηλωμένων υλικών με τη μέθοδο της γραμμικής απόσβεση και με αύξηση στο κόστος απωλειών 100%.

3.3.3.3 Ευαισθησία λύσης ως προς το επιτόκιο

Το επιτόκιο είναι ένας επίσης ευμετάβλητος παράγοντας του προβλήματος, καθώς μπορεί να διαφέρει από περίοδο σε περίοδο αλλά και ανάμεσα στους διαφορετικούς επενδυτές που μπορεί να υλοποιήσουν το έργο την ίδια χρονική περίοδο. Αυτό μεταβλήθηκε σε ένα εύρος 0,01 έως 0,2. Το *Διάγραμμα 3.3* παρουσιάζει το συνολικό κόστος της βέλτιστης λύσης (ανηγμένο στην αρχή του έτους 0) σε σχέση με το επιτόκιο. Προφανώς η βέλτιστη λύση αλλάζει για τις διάφορες τιμές του επιτοκίου. Συγκεκριμένα η αύξηση του επιτοκίου, καθυστερεί την ένταξη νέων γραμμών, ενώ η μείωση του την επιταχύνει. Πιο απλά, η αύξηση του επιτοκίου οδηγεί σε μικρότερη επένδυση, ενώ η μείωση του προτρέπει για μεγαλύτερη.



Διάγραμμα 3.3: Συνολικό κόστος βέλτιστης λύσης σε συνάρτηση με την τιμή του επιτοκίου

Συγκεκριμένα παρουσιάζονται οι βέλτιστες λύσεις για ενδεικτικές τιμές του επιτοκίου. Στους *Πίνακες 3.3.35-3.3.37* παρουσιάζεται η βέλτιστη λύση για επιτόκιο 3%. Σε αυτούς φαίνεται ξεκάθαρα η τάση επιτάχυνσης της προσθήκης νέων γραμμών με τη μείωση του επιτοκίου, καθώς με τα αρχικά δεδομένα του προβλήματος (επιτόκιο 6%) η βέλτιστη λύση αφορούσε τη προσθήκη δύο γραμμών τύπου 1 (κατά το έτος 0 ή μιας κατά το έτος 0 και μιας κατά το έτος 1), ενώ τώρα πραγματοποιείται η προσθήκη τριών νέων γραμμών τύπου 1. Επίσης στους *Πίνακες 3.3.38-3.3.40* παρουσιάζεται η βέλτιστη λύση για επιτόκιο 10%, για τις διαφορετικές μεθόδους τιμολόγησης. Σε αυτούς φαίνεται η τάση καθυστέρησης της ένταξης νέων γραμμών που εισάγει η αύξηση του επιτοκίου, καθώς η τρίτη γραμμή Τύπου 1 εισάγεται στην αρχή του έτους 1 από την αρχή του έτους 0 (για τη μέθοδο γραμμικής απόσβεσης εξ αρχής εισάγονταν στην αρχή του έτους 1). Τέλος, στους *Πίνακες 3.3.41-3.3.43* παρουσιάζεται η βέλτιστη λύση για διπλασιασμό του επιτοκίου σε σχέση με τα αρχικά δεδομένα του προβλήματος (επιτόκιο 12%).

Ετος	Γραμμές 1	Γραμμές 2	Νέες Γραμμές 1	Νέες Γραμμές 2	Αναχωρή σεις 1	Αναχωρή σεις 2	Νέες Αναχωρή σεις	Φορτίο (MVA)	Ζυγός 1 (MVA)	Ζυγός 2 (MVA)	Κόστος Κατασκευής	Κόστος Απωλειών	Υπολειπόμενη αξία	Συνολικό κόστος
0	4	1	3	0	5	1	1	15,00	12,86	2,14	635.400,00 €	35.728,48 €	0,00 €	671.128,50 €
1	4	1	0	0	5	1	0	16,05	13,76	2,29	0,00 €	40.905,54 €	0,00 €	710.842,60 €
2	4	1	0	0	5	1	0	17,17	14,72	2,45	0,00 €	46.832,75 €	0,00 €	754.987,00 €
3	4	1	0	0	6	1	1	18,38	15,75	2,63	56.700,00 €	53.618,82 €	0,00 €	855.944,30 €
4	4	1	0	0	6	1	0	19,66	16,85	2,81	0,00 €	61.388,18 €	0,00 €	910.486,90 €
5	4	1	0	0	7	2	2	21,04	18,03	3,01	113.400,00 €	70.283,33 €	0,00 €	1.068.934,00 €
6	4	1	0	0	7	2	0	22,51	19,30	3,22	0,00 €	80.467,39 €	0,00 €	1.136.324,00 €
7	4	1	0	0	7	2	0	24,09	20,65	3,44	0,00 €	92.127,11 €	0,00 €	1.211.232,00 €
8	4	1	0	0	8	2	1	25,77	22,09	3,68	56.700,00 €	105.476,30 €	0,00 €	1.339.255,00 €
9	4	1	0	0	8	2	0	27,58	23,64	3,94	0,00 €	120.759,80 €	0,00 €	1.431.808,00 €
10	4	1	0	0	9	2	1	29,51	25,29	4,22	56.700,00 €	138.258,00 €	0,00 €	1.576.875,00 €

Πίνακας 3.3.35: Βέλτιστη λύση χωρίς συνυπολογισμό της υπολειπόμενης αξίας των αποξηλωμένων υλικών και επιτόκιο 3%

Ετος	Γραμμές 1	Γραμμές 2	Νέες Γραμμές 1	Νέες Γραμμές 2	Αναχωρή σεις 1	Αναχωρή σεις 2	Νέες Αναχωρή σεις	Φορτίο (MVA)	Ζυγός 1 (MVA)	Ζυγός 2 (MVA)	Κόστος Κατασκευής	Κόστος Απωλειών	Υπολειπόμενη αξία	Συνολικό κόστος
0	4	1	3	0	5	1	1	15,00	12,86	2,14	635.400,00 €	35.728,48 €	100.605,00 €	570.523,50 €
1	4	1	0	0	5	1	0	16,05	13,76	2,29	0,00 €	40.905,54 €	0,00 €	610.237,60 €
2	4	1	0	0	5	1	0	17,17	14,72	2,45	0,00 €	46.832,75 €	0,00 €	654.382,00 €
3	4	1	0	0	6	1	1	18,38	15,75	2,63	56.700,00 €	53.618,82 €	10.395,00 €	745.826,40 €
4	4	1	0	0	6	1	0	19,66	16,85	2,81	0,00 €	61.388,18 €	0,00 €	800.369,00 €
5	4	1	0	0	7	2	2	21,04	18,03	3,01	113.400,00 €	70.283,33 €	22.680,00 €	939.251,90 €
6	4	1	0	0	7	2	0	22,51	19,30	3,22	0,00 €	80.467,39 €	0,00 €	1.006.642,00 €
7	4	1	0	0	7	2	0	24,09	20,65	3,44	0,00 €	92.127,11 €	0,00 €	1.081.550,00 €
8	4	1	0	0	8	2	1	25,77	22,09	3,68	56.700,00 €	105.476,30 €	12.757,50 €	1.199.502,00 €
9	4	1	0	0	8	2	0	27,58	23,64	3,94	0,00 €	120.759,80 €	0,00 €	1.292.055,00 €
10	4	1	0	0	9	2	1	29,51	25,29	4,22	56.700,00 €	138.258,00 €	13.702,50 €	1.426.926,00 €

Πίνακας 3.3.36: Βέλτιστη λύση με συνυπολογισμό της υπολειπόμενης αξίας των αποξηλωμένων υλικών με τη μέθοδο της γραμμικής απόσβεσης και επιτόκιο 3%

Ετος	Γραμμές 1	Γραμμές 2	Νέες Γραμμές 1	Νέες Γραμμές 2	Αναχωρήσεις 1	Αναχωρήσεις 2	Νέες Αναχωρήσεις	Φορτίο (MVA)	Ζυγός 1 (MVA)	Ζυγός 2 (MVA)	Κόστος Κατασκευής	Κόστος Απωλειών	Υπολειπόμενη αξία	Συνολικό κόστος
0	4	1	3	0	5	1	1	15,00	12,86	2,14	635.400,00 €	35.728,48 €	83.862,95 €	587.265,50 €
1	4	1	0	0	5	1	0	16,05	13,76	2,29	0,00 €	40.905,54 €	0,00 €	626.979,70 €
2	4	1	0	0	5	1	0	17,17	14,72	2,45	0,00 €	46.832,75 €	0,00 €	671.124,00 €
3	4	1	0	0	6	1	1	18,38	15,75	2,63	56.700,00 €	53.618,82 €	9.098,37 €	763.755,10 €
4	4	1	0	0	6	1	0	19,66	16,85	2,81	0,00 €	61.388,18 €	0,00 €	818.297,70 €
5	4	1	0	0	7	2	2	21,04	18,03	3,01	113.400,00 €	70.283,33 €	20.514,60 €	959.048,40 €
6	4	1	0	0	7	2	0	22,51	19,30	3,22	0,00 €	80.467,39 €	0,00 €	1.026.439,00 €
7	4	1	0	0	7	2	0	24,09	20,65	3,44	0,00 €	92.127,11 €	0,00 €	1.101.346,00 €
8	4	1	0	0	8	2	1	25,77	22,09	3,68	56.700,00 €	105.476,30 €	12.129,35 €	1.219.795,00 €
9	4	1	0	0	8	2	0	27,58	23,64	3,94	0,00 €	120.759,80 €	0,00 €	1.312.347,00 €
10	4	1	0	0	9	2	1	29,51	25,29	4,22	56.700,00 €	138.258,00 €	13.472,87 €	1.447.389,00 €

Πίνακας 3.3.37: Βέλτιστη λύση με συνυπολογισμό της υπολειπόμενης αξίας των αποξηλωμένων υλικών με τη μέθοδο της απόσβεσης τοκοχρεωλυτικής δόσης και επιτόκιο 3%

Ετος	Γραμμές 1	Γραμμές 2	Νέες Γραμμές 1	Νέες Γραμμές 2	Αναχωρήσεις 1	Αναχωρήσεις 2	Νέες Αναχωρήσεις	Φορτίο (MVA)	Ζυγός 1 (MVA)	Ζυγός 2 (MVA)	Κόστος Κατασκευής	Κόστος Απωλειών	Υπολειπόμενη αξία	Συνολικό κόστος
0	2	1	1	0	4	2	1	15,00	11,25	3,75	249.600,00 €	58.545,99 €	0,00 €	308.146,00 €
1	3	1	1	1	5	1	0	16,05	13,13	2,92	192.900,00 €	48.748,58 €	0,00 €	527.826,50 €
2	3	1	0	0	5	2	1	17,17	14,05	3,12	56.700,00 €	55.812,25 €	0,00 €	620.811,90 €
3	3	1	0	0	6	2	1	18,38	15,03	3,34	56.700,00 €	63.899,45 €	0,00 €	711.420,00 €
4	3	1	0	0	6	2	0	19,66	16,09	3,57	0,00 €	73.158,48 €	0,00 €	761.388,20 €
5	3	1	0	0	6	2	0	21,04	17,21	3,83	0,00 €	83.759,14 €	0,00 €	813.396,10 €
6	3	1	0	0	7	2	1	22,51	18,42	4,09	56.700,00 €	95.895,84 €	0,00 €	899.532,40 €
7	3	1	0	0	7	2	0	24,09	19,71	4,38	0,00 €	109.791,20 €	0,00 €	955.872,70 €
8	3	1	0	0	8	2	1	25,77	21,09	4,69	56.700,00 €	125.699,90 €	0,00 €	1.040.964,00 €
9	3	1	0	0	8	2	0	27,58	22,56	5,01	0,00 €	143.913,80 €	0,00 €	1.101.997,00 €
10	3	1	0	0	9	2	1	29,51	24,14	5,36	56.700,00 €	164.766,90 €	0,00 €	1.187.382,00 €

Πίνακας 3.3.38: Βέλτιστη λύση χωρίς συνυπολογισμό της υπολειπόμενης αξίας των αποξηλωμένων υλικών και επιτόκιο 10%

Ετος	Γραμμές 1	Γραμμές 2	Νέες Γραμμές 1	Νέες Γραμμές 2	Αναχωρή σεις 1	Αναχωρή σεις 2	Νέες Αναχωρή σεις	Φορτίο (MVA)	Ζυγός 1 (MVA)	Ζυγός 2 (MVA)	Κόστος Κατασκευής	Κόστος Απωλειών	Υπολειπόμενη αξία	Συνολικό κόστος
0	2	1	1	0	4	2	1	15,00	11,25	3,75	249.600,00 €	58.545,99 €	39.520,00 €	268.626,00 €
1	3	1	1	1	5	1	0	16,05	13,13	2,92	192.900,00 €	48.748,58 €	32.150,00 €	459.079,20 €
2	3	1	0	0	5	2	1	17,17	14,05	3,12	56.700,00 €	55.812,25 €	9.922,50 €	543.864,20 €
3	3	1	0	0	6	2	1	18,38	15,03	3,34	56.700,00 €	63.899,45 €	10.395,00 €	626.662,40 €
4	3	1	0	0	6	2	0	19,66	16,09	3,57	0,00 €	73.158,48 €	0,00 €	676.630,60 €
5	3	1	0	0	6	2	0	21,04	17,21	3,83	0,00 €	83.759,14 €	0,00 €	728.638,50 €
6	3	1	0	0	7	2	1	22,51	18,42	4,09	56.700,00 €	95.895,84 €	11.812,50 €	808.107,00 €
7	3	1	0	0	7	2	0	24,09	19,71	4,38	0,00 €	109.791,20 €	0,00 €	864.447,20 €
8	3	1	0	0	8	2	1	25,77	21,09	4,69	56.700,00 €	125.699,90 €	12.757,50 €	943.586,60 €
9	3	1	0	0	8	2	0	27,58	22,56	5,01	0,00 €	143.913,80 €	0,00 €	1.004.620,00 €
10	3	1	0	0	9	2	1	29,51	24,14	5,36	56.700,00 €	164.766,90 €	13.702,50 €	1.084.722,00 €

Πίνακας 3.3.39: Βέλτιστη λύση με συνυπολογισμό της υπολειπόμενης αξίας των αποξηλωμένων υλικών με τη μέθοδο της γραμμικής απόσβεσης και επιτόκιο 10%

Ετος	Γραμμές 1	Γραμμές 2	Νέες Γραμμές 1	Νέες Γραμμές 2	Αναχωρήσεις 1	Αναχωρήσεις 2	Νέες Αναχωρήσεις	Φορτίο (MVA)	Ζυγός 1 (MVA)	Ζυγός 2 (MVA)	Κόστος Κατασκευής	Κόστος Απωλειών	Υπολειπόμενη αξία	Συνολικό κόστος
0	2	1	1	0	4	2	1	15,00	11,25	3,75	249.600,00 €	58.545,99 €	19.406,95 €	288.739,00 €
1	3	1	1	1	5	1	0	16,05	13,13	2,92	192.900,00 €	48.748,58 €	16.791,41 €	493.154,70 €
2	3	1	0	0	5	2	1	17,17	14,05	3,12	56.700,00 €	55.812,25 €	5.515,31 €	581.581,90 €
3	3	1	0	0	6	2	1	18,38	15,03	3,34	56.700,00 €	63.899,45 €	6.153,01 €	667.567,20 €
4	3	1	0	0	6	2	0	19,66	16,09	3,57	0,00 €	73.158,48 €	0,00 €	717.535,40 €
5	3	1	0	0	6	2	0	21,04	17,21	3,83	0,00 €	83.759,14 €	0,00 €	769.543,20 €
6	3	1	0	0	7	2	1	22,51	18,42	4,09	56.700,00 €	95.895,84 €	8.474,90 €	850.895,80 €
7	3	1	0	0	7	2	0	24,09	19,71	4,38	0,00 €	109.791,20 €	0,00 €	907.236,00 €
8	3	1	0	0	8	2	1	25,77	21,09	4,69	56.700,00 €	125.699,90 €	10.435,59 €	987.458,60 €
9	3	1	0	0	8	2	0	27,58	22,56	5,01	0,00 €	143.913,80 €	0,00 €	1.048.492,00 €
10	3	1	0	0	9	2	1	29,51	24,14	5,36	56.700,00 €	164.766,90 €	12.808,02 €	1.128.939,00 €

Πίνακας 3.3.40: Βέλτιστη λύση με συνυπολογισμό της υπολειπόμενης αξίας των αποξηλωμένων υλικών με τη μέθοδο της απόσβεσης τοκοχρεωλυτικής δόσης και επιτόκιο 10%

Ετος	Γραμμές 1	Γραμμές 2	Νέες Γραμμές 1	Νέες Γραμμές 2	Αναχωρήσεις 1	Αναχωρήσεις 2	Νέες Αναχωρήσεις	Φορτίο (MVA)	Ζυγός 1 (MVA)	Ζυγός 2 (MVA)	Κόστος Κατασκευής	Κόστος Απωλειών	Υπολειπόμενη αξία	Συνολικό κόστος
0	2	1	1	0	4	2	1	15,00	11,25	3,75	249.600,00 €	57.500,53 €	0,00 €	307.100,50 €
1	3	1	1	1	5	1	0	16,05	13,13	2,92	192.900,00 €	47.878,07 €	0,00 €	522.080,90 €
2	3	1	0	0	5	2	1	17,17	14,05	3,12	56.700,00 €	54.815,61 €	0,00 €	610.980,50 €
3	3	1	0	0	6	2	1	18,38	15,03	3,34	56.700,00 €	62.758,39 €	0,00 €	696.008,60 €
4	3	1	0	0	6	2	0	19,66	16,09	3,57	0,00 €	71.852,08 €	0,00 €	741.671,90 €
5	3	1	0	0	6	2	0	21,04	17,21	3,83	0,00 €	82.263,45 €	0,00 €	788.350,40 €
6	3	1	0	0	7	2	1	22,51	18,42	4,09	56.700,00 €	94.183,42 €	0,00 €	864.792,60 €
7	3	1	0	0	7	2	0	24,09	19,71	4,38	0,00 €	107.830,60 €	0,00 €	913.569,70 €
8	3	1	0	0	8	2	1	25,77	21,09	4,69	56.700,00 €	123.455,20 €	0,00 €	986.331,40 €
9	3	1	0	0	8	2	0	27,58	22,56	5,01	0,00 €	141.343,90 €	0,00 €	1.037.301,00 €
10	3	1	0	0	9	2	1	29,51	24,14	5,36	56.700,00 €	161.824,60 €	0,00 €	1.107.661,00 €

Πίνακας 3.3.41: Βέλτιστη λύση χωρίς συνυπολογισμό της υπολειπόμενης αξίας των αποξηλωμένων υλικών και επιτόκιο 12%

Ετος	Γραμμές 1	Γραμμές 2	Νέες Γραμμές 1	Νέες Γραμμές 2	Αναχωρήσεις 1	Αναχωρήσεις 2	Νέες Αναχωρήσεις	Φορτίο (MVA)	Ζυγός 1 (MVA)	Ζυγός 2 (MVA)	Κόστος Κατασκευής	Κόστος Απωλειών	Υπολειπόμενη αξία	Συνολικό κόστος
0	2	1	1	0	4	2	1	15,00	11,25	3,75	249.600,00 €	57.500,53 €	39.520,00 €	267.580,50 €
1	3	1	1	1	5	1	0	16,05	13,13	2,92	192.900,00 €	47.878,07 €	32.150,00 €	453.855,60 €
2	3	1	0	0	5	2	1	17,17	14,05	3,12	56.700,00 €	54.815,61 €	9.922,50 €	534.845,00 €
3	3	1	0	0	6	2	1	18,38	15,03	3,34	56.700,00 €	62.758,39 €	10.395,00 €	612.474,20 €
4	3	1	0	0	6	2	0	19,66	16,09	3,57	0,00 €	71.852,08 €	0,00 €	658.137,50 €
5	3	1	0	0	6	2	0	21,04	17,21	3,83	0,00 €	82.263,45 €	0,00 €	704.815,90 €
6	3	1	0	0	7	2	1	22,51	18,42	4,09	56.700,00 €	94.183,42 €	11.812,50 €	775.273,60 €
7	3	1	0	0	7	2	0	24,09	19,71	4,38	0,00 €	107.830,60 €	0,00 €	824.050,70 €
8	3	1	0	0	8	2	1	25,77	21,09	4,69	56.700,00 €	123.455,20 €	12.757,50 €	891.659,80 €
9	3	1	0	0	8	2	0	27,58	22,56	5,01	0,00 €	141.343,90 €	0,00 €	942.629,90 €
10	3	1	0	0	9	2	1	29,51	24,14	5,36	56.700,00 €	161.824,60 €	13.702,50 €	1.008.577,00 €

Πίνακας 3.3.42: Βέλτιστη λύση με συνυπολογισμό της υπολειπόμενης αξίας των αποξηλωμένων υλικών με τη μέθοδο της γραμμικής απόσβεσης και επιτόκιο 12%

Ετος	Γραμμές 1	Γραμμές 2	Νέες Γραμμές 1	Νέες Γραμμές 2	Αναχωρήσεις 1	Αναχωρήσεις 2	Νέες Αναχωρήσεις	Φορτίο (MVA)	Ζυγός 1 (MVA)	Ζυγός 2 (MVA)	Κόστος Κατασκευής	Κόστος Απωλειών	Υπολειπόμενη αξία	Συνολικό κόστος
0	2	1	1	0	4	2	1	15,00	11,25	3,75	249.600,00 €	57.500,53 €	16.403,23 €	290.697,30 €
1	3	1	1	1	5	1	0	16,05	13,13	2,92	192.900,00 €	47.878,07 €	14.398,09 €	492.822,30 €
2	3	1	0	0	5	2	1	17,17	14,05	3,12	56.700,00 €	54.815,61 €	4.798,69 €	577.896,40 €
3	3	1	0	0	6	2	1	18,38	15,03	3,34	56.700,00 €	62.758,39 €	5.433,26 €	659.057,20 €
4	3	1	0	0	6	2	0	19,66	16,09	3,57	0,00 €	71.852,08 €	0,00 €	704.720,50 €
5	3	1	0	0	6	2	0	21,04	17,21	3,83	0,00 €	82.263,45 €	0,00 €	751.399,00 €
6	3	1	0	0	7	2	1	22,51	18,42	4,09	56.700,00 €	94.183,42 €	7.831,54 €	823.873,50 €
7	3	1	0	0	7	2	0	24,09	19,71	4,38	0,00 €	107.830,60 €	0,00 €	872.650,60 €
8	3	1	0	0	8	2	1	25,77	21,09	4,69	56.700,00 €	123.455,20 €	9.948,41 €	941.394,30 €
9	3	1	0	0	8	2	0	27,58	22,56	5,01	0,00 €	141.343,90 €	0,00 €	992.364,30 €
10	3	1	0	0	9	2	1	29,51	24,14	5,36	56.700,00 €	161.824,60 €	12.603,81 €	1.058.665,00 €

Πίνακας 3.3.43: Βέλτιστη λύση με συνυπολογισμό της υπολειπόμενης αξίας των αποξηλωμένων υλικών με τη μέθοδο της απόσβεσης τοκοχρεωλυτικής δόσης και επιτόκιο 12%

3.3.3.4 Σχόλια

Ως προς το **κόστος των υλικών κατασκευής**, η βέλτιστη λύση δεν παρουσιάζει κάποια σημαντική ευαισθησία. Συγκεκριμένα αυτή επηρεάζεται ύστερα από αύξηση σχεδόν 50 % του κόστους υλικών και αφορά απλά στον ετεροχρονισμό της εγκατάστασης της δεύτερης γραμμής Τύπου 1 (από το έτος 0 πριν την αύξηση στο έτος 1). Το συνολικό κόστος της βέλτιστης λύσης ανηγμένο στην αρχή του έτους 0 αυξάνεται σχεδόν γραμμικά με το κόστος των υλικών κατασκευής (*Διάγραμμα 3.1*). Η μέγιστη τροποποίηση που επιφέρει η αύξηση του κόστους των υλικών, στα εξεταζόμενα πλαίσια (μέχρι 100% αύξηση) είναι η καθυστέρηση ένταξης της τρίτης γραμμής (πχ κατά το έτος 6 για τιμολόγηση με τοκοχρεωλυτική δόση). Η αύξηση του κόστους κατασκευής όπως ήταν λογικό, εισάγει τάση καθυστέρησης της ένταξης νέων γραμμών.

Η αύξηση του **κόστους απωλειών** εισάγει την ακριβώς αντίθετη τάση, δηλαδή την τάση επιτάχυνσης της ένταξης γραμμών και την αύξησή τους. Αυτό είναι λογικό καθώς σε ένα περιβάλλον με όλο και ακριβότερες απώλειες, η μείωση των απωλειών με την προσθήκη γραμμών αντισταθμίζει το κόστος εγκατάστασής τους. Η βέλτιστη λύση είναι πολύ πιο ευαίσθητη στην αύξηση του κόστους απωλειών από ότι στο κόστος υλικών κατασκευής, καθώς η πρώτη τροποποίηση της επέρχεται για αύξηση του κόστους 5% (η πρώτη τροποποίηση της λύσης, καθώς αυξάνεται το κόστος των υλικών κατασκευής, συμβαίνει στο 45%). Επίσης είναι πολύ μεγαλύτερο το εύρος τροποποίησης της βέλτιστης λύσης καθώς για αύξηση κόστους 100% προστίθεται μέχρι και έκτη γραμμή κατά το έτος 2, με τη μέθοδο της γραμμικής απόσβεσης. Το συνολικό κόστος της βέλτιστης λύσης ανηγμένο στην αρχή του έτους 0 αυξάνεται επίσης σχεδόν γραμμικά με το κόστος των απωλειών (*Διάγραμμα 3.2*).

Η **μεταβολή του επιτοκίου** επηρεάζει επίσης τη βέλτιστη λύση και το συνολικό κόστος της. Όπως είναι λογικό, η αύξηση του επιτοκίου καθυστερεί την ένταξη νέων γραμμών και οδηγεί σε μικρότερου μεγέθους επενδύσεις, ενώ η μείωση του επιταχύνει την ένταξη νέων γραμμών και οδηγεί σε μεγαλύτερου μεγέθους επενδύσεις. Η βέλτιστη λύση βέβαια είναι λιγότερο ευαίσθητη ως προς το επιτόκιο, καθώς για αύξηση 100% σε σχέση με τα αρχικά δεδομένα του προβλήματος η λύση τροποποιείται απλά ως προς το έτος ένταξης της τρίτης γραμμής Τύπου 1.

Τέλος είναι εμφανές από τα αποτελέσματα ότι οι ακριβότερες γραμμές Τύπου 2 δεν επιλέγονται από τον αλγόριθμο και οι όποιες αλλαγές στη βέλτιστη λύση αφορούν στην προσθήκη ή αφαίρεση νέων γραμμών Τύπου 1 ή τον ετεροχρονισμό της ένταξης αυτών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4.1 Συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία, αναλύθηκε και λύθηκε με συστηματικό τρόπο το πρόβλημα της βέλτιστης επέκτασης δικτύου μέσης τάσης. Το πρόβλημα προσεγγίστηκε με την αρχική ανάλυση των συστατικών στοιχείων δικτύων μέσης και υψηλής τάσης, την ανάλυση των οικονομικών και τεχνικών παραμέτρων του προβλήματος και τη δημιουργία αλγορίθμου επίλυσης του. Ο αλγόριθμος εφαρμόστηκε σε πρότυπο δίκτυο μέσης τάσης.

Τα βασικά συμπεράσματα της εργασίας αφορούν την ευαισθησία της βέλτιστης λύσης ως προς οικονομικούς παράγοντες του προβλήματος. Αυτοί είναι το κόστος υλικών κατασκευής, το κόστος απωλειών και το επιτόκιο. Ως προς το κόστος κατασκευής η λύση δεν έδειξε ιδιαίτερη ευαισθησία, αφού επηρεάστηκε μετά από αύξηση της τάξης του 50%. Συνεπώς η τάση καθυστέρησης που εισάγει η αύξηση του κόστους κατασκευής δεν είναι και τόσο ανησυχητική, καθότι μια αύξηση της τάξης του 50% είναι απίθανη στο διάστημα ανάμεσα στη μελέτη των έργων επέκτασης και την υλοποίησή τους. Την αντίθετη τάση (τάση επιτάχυνσης της εγκατάστασης νέων γραμμών) εισήγαγε η αύξηση του κόστους απωλειών. Επίσης η λύση παρουσιάζει σε αυτήν πολύ μεγαλύτερη ευαισθησία, καθώς μια αύξηση της τάξης του 5% του κόστους ενέργειας τροποποιεί τη βέλτιστη λύση. Ως προς το επιτόκιο δανεισμού παρουσιάζεται μια μειωμένη ευαισθησία, ενώ όπως είναι λογικό η αύξηση του συνεπάγεται τάση καθυστέρησης ένταξης νέων γραμμών.

Τέλος, τη λύση επηρέασε τόσο η μέθοδος τιμολόγησης της υπολειπόμενης αξίας των αποξηλωμένων μέσων, όσο και η συμπερίληψη στα κόστη περισσότερων στοιχείων του δικτύου (υπόγειες αναχωρήσεις). Τον καθοριστικό ρόλο όμως για την διαμόρφωση της βέλτιστης λύσης παίζουν οι γραμμές.

4.2 Περιοχές για περαιτέρω έρευνα

Η λύση που παρουσιάστηκε για το προς μελέτη πρόβλημα μπορεί προφανώς να εμπλουτιστεί, λαμβάνοντας υπόψη περισσότερες λεπτομέρειες του δικτύου και καλύτερες μεθόδους επεξεργασίας των δεδομένων. Για παράδειγμα, βασική προσθήκη για την πληρότητα της λύσης αποτελεί το τρίτο τεχνικό όριο ισχύος που εφαρμόζεται στα συστήματα μέσης τάσης, το όριο βραχυκύκλωσης των γραμμών. Επίσης λόγω της πολυπλοκότητας του προβλήματος η επίλυση του με αλγόριθμο εξαντλητικής αναζήτησης σε δίκτυο περισσότερων κόμβων μπορεί να καταστεί αδύνατη. Ως εκ τούτου, ένα ζήτημα προς περαιτέρω έρευνα είναι η αναζήτηση στο δειγματικό χώρο των λύσεων με πιο έξυπνους τρόπους (για παράδειγμα γενετικός αλγόριθμος). Τέλος σημαντική προσθήκη στη προσδιορισμένη μεθοδολογία, θα αποτελούσε η εξέταση δικτύων με διεσπαρμένη παράγωγή ΑΠΕ συνδεδεμένη σε σημεία των εγκατεστημένων γραμμών.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

I. Ανάγνωση δεδομένων

```
% Data
% Line Data
C=22700; % E/km
C_anax=56700; % kostos anaxorisis
R=0.22; % Ω/km
X=0.37; % Ω/km
L1=6; % km
L2=9; % km
VN=20; % kV
lim_anax=3; %MVA

% Technical limits
lim_th= 10;% MVA
e=0.06; % ptosi tasis

% Financial data

a=150; b= 0.04;
%a=815; b=0.2; % E/kWh
i=0.15; % epitokio
aj=0.25; % pososto ajiopoiisis apojilomenon
N=30; % eti ependisis

%Load data
load_0=15; % MVA
load_inc=0.07; % etisia aujisi fortiou
cosf=0.8; % syntelestis isxyos
SF=0.8 ; % etisios syntelestis fortiou
SA=0.232; % Sintelestis Apoleion
```

II. Προπαρασκευαστικοί υπολογισμοί

```
% prep_calc
% Preparatory Calculations
par1=1000*R*L1*(a+b*8760*SA)/400;
par2=1000*R*L2*(a+b*8760*SA)/400;
K=VN*VN/100/(R*cosf+X*(1-cosf^2)^0.5);

% Technical limit
lim_vol_1=e*100*K/L1;
lim_vol_2=e*100*K/L2;
lim1=min(lim_vol_1,lim_th);
lim2=min(lim_vol_2,lim_th);

% Annual load
load=zeros(1,11);
load(1)=load_0;% load[1] antistoixei sto etos 0 k.o.k.
for etos=2:11
    load(etos)=load(etos-1)*(1+load_inc);
end

%Costs, Financial
Bld_Cost=zeros(1,11);
Loss_cost=zeros(1,11);
Cost1 = L1*C+C_anax;
Cost2 = L2*C+C_anax;
RVC=zeros(1,11); % gia tokoxreolytiki dosi
rvc=zeros(1,11); % gia grammiki aposvesi
for year=0:10
    RVC(year+1)=((1+i)^30-(1+i)^(11-year))/((1+i)^(11-year)*((1+i)^30-1));
    rvc(year+1)=(19+year)/30;
end

%Others
new_L=zeros(1,22);
new_anax=zeros(1,11);
Anax=zeros(1,22);
```

III. Αναγραφή αποτελεσμάτων (χωρίς υπόγειες αναχωρήσεις)

```
function results_simple (L, new_L, load, load1, load2, Bld_Cost, Loss_cost,RV,C)

    fileid=fopen("C:\Users\User\Desktop\matlab\results_simple.txt", 'w');
    fprintf(fileid,'%c','Ετος',' Γραμμές 1',' Γραμμές 2',' Νέες γραμμές 1',' Νέες
Γραμμές 2',' Φορτίο',' Ζυγός 1',' Ζυγός 2',' Κόστος Κατασκευής',' Κόστος
Απωλειών',' Υπολειπόμενη αξία',' Συνολικό κόστος');
    fprintf(fileid,'\n');

    for year=0:10
        fprintf (fileid, '%d', year, L(2*year+1), L(2*year+2), new_L(2*year+1),
new_L(year+2), load(year+1),load1(year+1),load2(year+1), Bld_Cost(year+1),
Loss_cost(year+1), RV(year+1), C(year+1));
        fprintf(fileid, '\n');
    end

    fclose(fileid);

end
```

IV. Αναγραφή αποτελεσμάτων (με υπόγειες αναχωρήσεις)

```
function results (L, new_L, Anax, new_anax, C, load, load1, load2, Bld_Cost,
Loss_cost,RV)

    fileid=fopen("C:\Users\User\Desktop\matlab\results.txt", 'w');
    fprintf(fileid,'%c','Ετος',' Γραμμές 1',' Γραμμές 2',' Νέες γραμμές 1',' Νέες
Γραμμές 2',' Αναχωρήσεις 1',' Αναχωρήσεις 2',' Νέες Αναχωρήσεις',' Φορτίο','
Ζυγός 1',' Ζυγός 2',' Κόστος Κατασκευής',' Κόστος Απωλειών',' Υπολειπόμενη αξία','
Συνολικό κόστος');
    fprintf(fileid,'\n');

    for year=0:10
        fprintf (fileid, '%d', year, L(2*year+1), L(2*year+2), new_L(2*year+1),
new_L(year+2), Anax(2*year+1), Anax(2*year+2),new_anax(year+1),
load(year+1),load1(year+1),load2(year+1), Bld_Cost(year+1), Loss_cost(year+1),
RV(year+1), C(year+1));
        fprintf(fileid, '\n');
    end

    fclose(fileid);

end
```

V. Υπολογισμός ροής ισχύος στις γραμμές

```
function [S1,S2] = flow_calc(S,lines1,lines2,lim1,lim2,L1,L2)

S1 = S/(1+L1*lines2/(L2*lines1)); %sto zugo 1
S2 = S-S1; % sto zygo 2

if (S1>lines1*lim1)
    S1 = lines1*lim1;
    S2 = S-S1;
end

if (S2>lines2*lim2)
    S2 = lines2*lim2;
    S1 = S-S2;
end

if (S1>lines1*lim1) | (S2>lines2*lim2)
    S1 = 0;
    S2 = 0;
end
```

IV. Υπολογισμοί χωρίς υπολειπόμενη αξία, χωρίς υπόγειες αναχωρήσεις

```
load_=15;
sup1=6; sup2=3; ok_cases=0; min_ = 10^10; RV=zeros(1,11); tot_cases=0; anax=5;
%%%%%%Year 0%%%%%%%%
for l10 = 0:sup1 % type 1 lines that we add in year 0
    lines1_0 = l10 + 1;

    for l20 = 0:sup2 % type 2 lines that we add in year 0
        lines2_0 = l20 + 1;
        year=0;
        % Power flow
        [S_1,S_2]=flow_calc(load(1),lines1_0,lines2_0,lim1,lim2,L1,L2);
        if S_1==0 && S_2==0
            tot_cases=tot_cases+1;
            continue
        else
            load1(1)=S_1; load2(1)=S_2;

Cost_0=l10*Cost1+l20*Cost2+par1*(S_1)^2/(lines1_0)/(1+i)+par2*(S_2)^2/(1+i)/(lines2_0);
Bld_Cost(1)=l10*Cost1+l20*Cost2;
Loss_cost(1)=par1*(S_1)^2/(lines1_0)/(1+i)+par2*(S_2)^2/(1+i)/(lines2_0);
        end

        %%%%%Year 1%%%%%%%%
        for l11=lines1_0 : sup1
            for l21 = lines2_0 : sup2
                year=1;
                [S_1,S_2]=flow_calc(load(2),l11,l21,lim1,lim2,L1,L2);
                if S_1==0 && S_2==0
                    tot_cases=tot_cases+1;
                    continue
                else
                    load1(2)=S_1; load2(2)=S_2;
                    Cost_1 = Cost_0 + ((l11-lines1_0)*Cost1+ (l21-
lines2_0)*Cost2+(par1/(1+i))*(S_1)^2/(l11)+(par2/(1+i))*(S_2)^2/(l21))/(1+i);
                    Bld_Cost(2)= (l11-lines1_0)*Cost1+ (l21-lines2_0);
                    Loss_cost(2)=(par1/(1+i))*(S_1)^2/(l11)+(par2/(1+i))*(S_2)^2/(l21);
                end

                %%%%%Year 2%%%%%%%%
                for l12=l11 : sup1
                    for l22=l21 : sup2
                        year=2;
                        [S_1,S_2]=flow_calc(load(3),l12,l22,lim1,lim2,L1,L2);
                        if S_1==0 & S_2==0
                            tot_cases=tot_cases+1;
                            continue
                        else
                            load1(3)=S_1; load2(3)=S_2;
                            Cost_2 = Cost_1 + ((l12-l11)*Cost1+ (l22-
l21)*Cost2+(par1/(1+i))*(S_1)^2/(l12)+(par2/(1+i))*(S_2)^2/(l22))/((1+i)^2);
                            Bld_Cost(3)=((l12-l11)*Cost1+ (l22-l21)*Cost2);
                            Loss_cost(3)=(par1/(1+i))*(S_1)^2/(l12)+(par2/(1+i))*(S_2)^2/(l22);
                        end

                        %%%%%Year 3%%%%%%%%
                        for l13=l12 : sup1
                            for l23=l22 : sup2
                                year=3;
                                [S_1,S_2]=flow_calc(load(4),l13,l23,lim1,lim2,L1,L2);
                                if S_1==0 & S_2==0
```

```

        tot_cases=tot_cases+1;
        continue
    else
        load1(4)=S_1; load2(4)=S_2;
        Cost_3 = Cost_2 + ((l13-l12)*Cost1+ (l23-
122)*Cost2+(par1/(1+i))*(S_1)^2/(l13)+(par2/(1+i))*(S_2)^2/(l22))/((1+i)^3);
        Bld_Cost(4)=(l13-l12)*Cost1+ (l23-122)*Cost2;
        Loss_cost(4)=(par1/(1+i))*(S_1)^2/(l13)+(par2/(1+i))*(S_2)^2/(l22);
    end
    %%%%%%%%%Year 4%%%%%%%%
    for l14=l13 : sup1
        for l24=l23 : sup2
            year=4;
            [S_1,S_2]=flow_calc(load(5),l14,l24,lim1,lim2,L1,L2);
            if S_1==0 & S_2==0
                tot_cases=tot_cases+1;
                continue
            else
                load1(5)=S_1; load2(5)=S_2;
                Cost_4 = Cost_3 + ((l14-l13)*Cost1+ (l24-
123)*Cost2+(par1/(1+i))*(S_1)^2/(l14)+(par2/(1+i))*(S_2)^2/(l24))/((1+i)^4);
                Bld_cost(5)=(l14-l13)*Cost1+ (l24-123)*Cost2;
                Loss_cost(5)=(par1/(1+i))*(S_1)^2/(l14)+(par2/(1+i))*(S_2)^2/(l24);
            end
            %%%%%%%%%Year 5%%%%%%%%
            for l15=l14 : sup1
                for l25=l24 : sup2
                    year=5;
                    [S_1,S_2]=flow_calc(load(6),l15,l25,lim1,lim2,L1,L2);
                    if S_1==0 & S_2==0
                        tot_cases=tot_cases+1;
                        continue
                    else
                        load1(6)=S_1; load2(6)=S_2;
                        Cost_5 = Cost_4 + ((l15-l14)*Cost1+ (l25-
124)*Cost2+(par1/(1+i))*(S_1)^2/(l15)+(par2/(1+i))*(S_2)^2/(l25))/((1+i)^5);
                        Bld_cost(6)=(l15-l14)*Cost1+ (l25-124)*Cost2;
                        Loss_cost(6)=(par1/(1+i))*(S_1)^2/(l15)+(par2/(1+i))*(S_2)^2/(l25);
                    end
                    %%%%%%%%%Year 6%%%%%%%%
                    for l16=l15 : sup1
                        for l26=l25 : sup2
                            year=6;
                            [S_1,S_2]=flow_calc(load(7),l16,l26,lim1,lim2,L1,L2);
                            if S_1==0 & S_2==0
                                tot_cases=tot_cases+1;
                                continue
                            else
                                load1(7)=S_1; load2(7)=S_2;
                                Cost_6 = Cost_5 + ((l16-l15)*Cost1+ (l26-
125)*Cost2+(par1/(1+i))*(S_1)^2/(l16)+(par2/(1+i))*(S_2)^2/(l26))/((1+i)^6);
                                Bld_cost(7)=(l16-l15)*Cost1+ (l26-125)*Cost2;
                                Loss_cost(7)=(par1/(1+i))*(S_1)^2/(l16)+(par2/(1+i))*(S_2)^2/(l26);
                            end
                            %%%%%%%%%Year 7%%%%%%%%
                            for l17=l16 : sup1
                                for l27=l26 : sup2
                                    year=7;
                                    [S_1,S_2]=flow_calc(load(8),l17,l27,lim1,lim2,L1,L2);
                                    if S_1==0 & S_2==0

```

```

        tot_cases=tot_cases+1;
        continue
    else
        load1(8)=S_1; load2(8)=S_2;
        Cost_7 = Cost_6 + ((l17-l16)*Cost1+ (l27-
126)*Cost2+(par1/(1+i))*(S_1)^2/(l17)+(par2/(1+i))*(S_2)^2/(l27))/((1+i)^7);
        Bld_cost(8)=(l17-l16)*Cost1+ (l27-126)*Cost2;
        Loss_cost(8)=(par1/(1+i))*(S_1)^2/(l17)+(par2/(1+i))*(S_2)^2/(l27);
    end
    %%%%%%%%%Year 8%%%%%%%%
    for l18=l17 : sup1
        for l28=l27 : sup2
            year=8;
            [S_1,S_2]=flow_calc(load(9),l18,l28,lim1,lim2,L1,L2);
            if S_1==0 & S_2==0
                tot_cases=tot_cases+1;
                continue
            else
                load1(9)=S_1; load2(9)=S_2;
                Cost_8 = Cost_7 + ((l18-l17)*Cost1+ (l28-
127)*Cost2+(par1/(1+i))*(S_1)^2/(l18)+(par2/(1+i))*(S_2)^2/(l28))/((1+i)^8);
                Bld_cost(9)=(l18-l17)*Cost1+ (l28-127)*Cost2;
                Loss_cost(9)=(par1/(1+i))*(S_1)^2/(l18)+(par2/(1+i))*(S_2)^2/(l28);
            end
            %%%%%%%%%Year 9%%%%%%%%
            for l19=l18 : sup1
                for l29=l28 : sup2
                    year=9;
                    [S_1,S_2]=flow_calc(load(10),l19,l29,lim1,lim2,L1,L2);
                    if S_1==0 & S_2==0
                        tot_cases=tot_cases+1;
                        continue
                    else
                        load1(10)=S_1; load2(10)=S_2;
                        Cost_9 = Cost_8 + ((l19-l18)*Cost1+ (l29-
128)*Cost2+(par1/(1+i))*(S_1)^2/(l19)+(par2/(1+i))*(S_2)^2/(l29))/((1+i)^9);
                        Bld_Cost(10)=(l19-l18)*Cost1+ (l29-128)*Cost2;
                        Loss_cost(10)=(par1/(1+i))*(S_1)^2/(l19)+(par2/(1+i))*(S_2)^2/(l29);
                    end
                    %%%%%%%%%Year 10%%%%%%%%
                    for l110=l19 : sup1
                        for l210=l29 : sup2
                            year=10;
                            [S_1,S_2]=flow_calc(load(11),l16,l26,lim1,lim2,L1,L2);
                            if S_1==0 & S_2==0
                                tot_cases=tot_cases+1;
                                continue
                            else
                                load1(11)=S_1; load2(11)=S_2;
                                Cost_10 = Cost_9 + ((l110-l19)*Cost1+ (l210-
129)*Cost2+(par1/(1+i))*(S_1)^2/(l110)+(par2/(1+i))*(S_2)^2/(l210))/((1+i)^10);
                                Bld_cost(11)=(l110-l19)*Cost1+ (l210-129)*Cost2;
                                Loss_cost(11)=(par1/(1+i))*(S_1)^2/(l110)+(par2/(1+i))*(S_2)^2/(l210);
                            end
                            tot_cases=tot_cases+1;
                            ok_cases=ok_cases+1;
                            if Cost_10<min_
                                min_=Cost_10;

```


VI. Υπολογισμοί χωρίς υπολειπόμενη αξία, με υπόγειες αναχωρήσεις

```

load_=15;sup1=6; sup2=3; ok_cases=0; min_= 10^10; RV=zeros(1,11); tot_cases=0;
anax=5;new_anax=zeros(1,11);Anax=zeros(1,22);
    %%%%%%%%%Year 0%%%%%%%%
for l10 = 0:sup1 % type 1 lines that we add in year 0
    lines1_0 = l10 + 1;

    for l20 = 0:sup2 % type 2 lines that we add in year 0
        lines2_0 = l20 + 1;
        year=0;
        % Power flow
        [S_1,S_2]=flow_calc(load(1),lines1_0,lines2_0,lim1,lim2,L1,L2);
        if S_1==0 & S_2==0
            tot_cases=tot_cases+1;
            continue
        else
            load1(1)=S_1; load2(1)=S_2;
            Anax(2*year+1)=fix(S_1/lim_anax)+(mod(S_1,lim_anax)>0)*1;
            Anax(2*year+2)=fix(S_2/lim_anax)+(mod(S_2,lim_anax)>0)*1;
            new_anax(year+1)=Anax(2*year+1)+Anax(2*year+2)-anax;

Cost_0=l10*Cost1+l20*Cost2+par1*(S_1)^2/(lines1_0)/(1+i)+par2*(S_2)^2/(1+i)/(lines2_0)+new_anax(year+1)*C_anax;
            Bld_Cost(1)=l10*Cost1+l20*Cost2+new_anax(year+1)*C_anax;
            Loss_cost(1)=par1*(S_1)^2/(lines1_0)/(1+i)+par2*(S_2)^2/(1+i)/(lines2_0);
        end

    %%%%%%%%%Year 1%%%%%%%%
    for l11=lines1_0 : sup1
        for l21 = lines2_0 : sup2
            year=1;
            [S_1,S_2]=flow_calc(load(2),l11,l21,lim1,lim2,L1,L2);
            if S_1==0 & S_2==0
                tot_cases=tot_cases+1;
                continue
            else
                load1(2)=S_1; load2(2)=S_2;
                Anax(2*year+1)=fix(S_1/lim_anax)+(mod(S_1,lim_anax)>0)*1;
                Anax(2*year+2)=fix(S_2/lim_anax)+(mod(S_2,lim_anax)>0)*1;
                new_anax(year+1)=Anax(2*year+1)+Anax(2*year+2)-Anax(2*year-1)-
Anax(2*year);
                Cost_1 = Cost_0 + ((l11-lines1_0)*Cost1+ (l21-
lines2_0)*Cost2+new_anax(year+1)*C_anax+(par1/(1+i))*(S_1)^2/(l11)+(par2/(1+i))*(S_2)^2/(
l21))/(1+i);
                Bld_Cost(2)= (l11-lines1_0)*Cost1+ (l21-
lines2_0)*Cost2+new_anax(year+1)*C_anax;
                Loss_cost(2)=(par1/(1+i))*(S_1)^2/(l11)+(par2/(1+i))*(S_2)^2/(l21);
            end
        end
    %%%%%%%%%Year 2%%%%%%%%
    for l12=l11 : sup1
        for l22=l21 : sup2
            year=2;
            [S_1,S_2]=flow_calc(load(3),l12,l22,lim1,lim2,L1,L2);
            if S_1==0 & S_2==0
                tot_cases=tot_cases+1;
                continue
            else
                load1(3)=S_1; load2(3)=S_2;

```

```

Anax(2*year+1)=fix(S_1/lim_anax)+(mod(S_1,lim_anax)>0)*1;
Anax(2*year+2)=fix(S_2/lim_anax)+(mod(S_2,lim_anax)>0)*1;
new_anax(year+1)=Anax(2*year+1)+Anax(2*year+2)-Anax(2*year-1)-
Anax(2*year);
Cost_2 = Cost_1 + ((l12-l11)*Cost1+ (l22-
l21)*Cost2+new_anax(year+1)*C_anax+(par1/(1+i))*(S_1)^2/(l12)+(par2/(1+i))*(S_2)^2/(l22))
/((1+i)^2);
Bld_Cost(3)=((l12-l11)*Cost1+ (l22-
l21)*Cost2)+new_anax(year+1)*C_anax;
Loss_cost(3)=(par1/(1+i))*(S_1)^2/(l12)+(par2/(1+i))*(S_2)^2/(l22);
end
%%%%%%%%Year 3%%%%%%%%
for l13=l12 : sup1
for l23=l22 : sup2
year=3;
[S_1,S_2]=flow_calc(load(4),l13,l23,lim1,lim2,L1,L2);
if S_1==0 & S_2==0
tot_cases=tot_cases+1;
continue
else
load1(4)=S_1; load2(4)=S_2;
Anax(2*year+1)=fix(S_1/lim_anax)+(mod(S_1,lim_anax)>0)*1;
Anax(2*year+2)=fix(S_2/lim_anax)+(mod(S_2,lim_anax)>0)*1;
new_anax(year+1)=Anax(2*year+1)+Anax(2*year+2)-Anax(2*year-1)-
Anax(2*year);
Cost_3 = Cost_2 + ((l13-l12)*Cost1+ (l23-
l22)*Cost2+new_anax(year+1)*C_anax+(par1/(1+i))*(S_1)^2/(l13)+(par2/(1+i))*(S_2)^2/(l22))
/((1+i)^3);
Bld_Cost(4)=(l13-l12)*Cost1+ (l23-
l22)*Cost2+new_anax(year+1)*C_anax;
Loss_cost(4)=(par1/(1+i))*(S_1)^2/(l13)+(par2/(1+i))*(S_2)^2/(l22);
end
%%%%%%%%Year 4%%%%%%%%
for l14=l13 : sup1
for l24=l23 : sup2
year=4;
[S_1,S_2]=flow_calc(load(5),l14,l24,lim1,lim2,L1,L2);
if S_1==0 & S_2==0
tot_cases=tot_cases+1;
continue
else
load1(5)=S_1; load2(5)=S_2;
Anax(2*year+1)=fix(S_1/lim_anax)+(mod(S_1,lim_anax)>0)*1;
Anax(2*year+2)=fix(S_2/lim_anax)+(mod(S_2,lim_anax)>0)*1;
new_anax(year+1)=Anax(2*year+1)+Anax(2*year+2)-Anax(2*year-1)-
Anax(2*year);
Cost_4 = Cost_3 + ((l14-l13)*Cost1+ (l24-
l23)*Cost2+new_anax(year+1)*C_anax+(par1/(1+i))*(S_1)^2/(l14)+(par2/(1+i))*(S_2)^2/(l24))
/((1+i)^4);
Bld_Cost(5)=(l14-l13)*Cost1+ (l24-
l23)*Cost2+new_anax(year+1)*C_anax;
Loss_cost(5)=(par1/(1+i))*(S_1)^2/(l14)+(par2/(1+i))*(S_2)^2/(l24);
end
%%%%%%%%Year 5%%%%%%%%
for l15=l14 : sup1
for l25=l24 : sup2
year=5;
[S_1,S_2]=flow_calc(load(6),l15,l25,lim1,lim2,L1,L2);
if S_1==0 & S_2==0
tot_cases=tot_cases+1;
continue

```

```

else
    load1(6)=S_1; load2(6)=S_2;
    Anax(2*year+1)=fix(S_1/lim_anax)+(mod(S_1,lim_anax)>0)*1;
    Anax(2*year+2)=fix(S_2/lim_anax)+(mod(S_2,lim_anax)>0)*1;
    new_anax(year+1)=Anax(2*year+1)+Anax(2*year+2)-Anax(2*year-1)-
Anax(2*year);
    Cost_5 = Cost_4 + ((115-114)*Cost1+ (125-
124)*Cost2+new_anax(year+1)*C_anax+(par1/(1+i))*(S_1)^2/(115)+(par2/(1+i))*(S_2)^2/(125))
/((1+i)^5);
    Bld_Cost(6)=(115-114)*Cost1+ (125-
124)*Cost2+new_anax(year+1)*C_anax;
    Loss_cost(6)=(par1/(1+i))*(S_1)^2/(115)+(par2/(1+i))*(S_2)^2/(125);
end
%%%%%%%%Year 6%%%%%%%%
for l16=115 : sup1
    for l26=125 : sup2
        year=6;
        [S_1,S_2]=flow_calc(load(7),l16,l26,lim1,lim2,L1,L2);
        if S_1==0 & S_2==0
            tot_cases=tot_cases+1;
            continue
        else
            load1(7)=S_1; load2(7)=S_2;
            Anax(2*year+1)=fix(S_1/lim_anax)+(mod(S_1,lim_anax)>0)*1;
            Anax(2*year+2)=fix(S_2/lim_anax)+(mod(S_2,lim_anax)>0)*1;
            new_anax(year+1)=Anax(2*year+1)+Anax(2*year+2)-Anax(2*year-1)-
Anax(2*year);
            Cost_6 = Cost_5 + ((116-115)*Cost1+ (126-
125)*Cost2+new_anax(year+1)*C_anax+(par1/(1+i))*(S_1)^2/(116)+(par2/(1+i))*(S_2)^2/(126))
/((1+i)^6);
            Bld_Cost(7)=(116-115)*Cost1+ (126-125)*Cost2 +
new_anax(year+1)*C_anax;
            Loss_cost(7)=(par1/(1+i))*(S_1)^2/(116)+(par2/(1+i))*(S_2)^2/(126);
        end
%%%%%%%%Year 7%%%%%%%%
for l17=116 : sup1
    for l27=126 : sup2
        year=7;
        [S_1,S_2]=flow_calc(load(8),l17,l27,lim1,lim2,L1,L2);
        if S_1==0 && S_2==0
            tot_cases=tot_cases+1;
            continue
        else
            load1(8)=S_1; load2(8)=S_2;
            Anax(2*year+1)=fix(S_1/lim_anax)+(mod(S_1,lim_anax)>0)*1;
            Anax(2*year+2)=fix(S_2/lim_anax)+(mod(S_2,lim_anax)>0)*1;
            new_anax(year+1)=Anax(2*year+1)+Anax(2*year+2)-Anax(2*year-1)-
Anax(2*year);
            Cost_7 = Cost_6 + ((117-116)*Cost1+ (127-
126)*Cost2+new_anax(year+1)*C_anax+(par1/(1+i))*(S_1)^2/(117)+(par2/(1+i))*(S_2)^2/(127))
/((1+i)^7);
            Bld_Cost(8)=(117-116)*Cost1+ (127-
126)*Cost2+new_anax(year+1)*C_anax;
            Loss_cost(8)=(par1/(1+i))*(S_1)^2/(117)+(par2/(1+i))*(S_2)^2/(127);
        end
%%%%%%%%Year 8%%%%%%%%
for l18=117 : sup1
    for l28=127 : sup2
        year=8;
        [S_1,S_2]=flow_calc(load(9),l18,l28,lim1,lim2,L1,L2);

```

```

if S_1==0 && S_2==0
    tot_cases=tot_cases+1;
    continue
else
    load1(9)=S_1; load2(9)=S_2;
    Anax(2*year+1)=fix(S_1/lim_anax)+(mod(S_1,lim_anax)>0)*1;
    Anax(2*year+2)=fix(S_2/lim_anax)+(mod(S_2,lim_anax)>0)*1;
    new_anax(year+1)=Anax(2*year+1)+Anax(2*year+2)-Anax(2*year-1)-
Anax(2*year);
    Cost_8 = Cost_7 + ((118-117)*Cost1+ (128-
127)*Cost2+new_anax(year+1)*C_anax+(par1/(1+i))*(S_1)^2/(118)+(par2/(1+i))*(S_2)^2/(128))
/((1+i)^8);
    Bld_Cost(9)=(118-117)*Cost1+ (128-
127)*Cost2+new_anax(year+1)*C_anax;
    Loss_cost(9)=(par1/(1+i))*(S_1)^2/(118)+(par2/(1+i))*(S_2)^2/(128);
    end
%%%%%%Year 9%%%%%%%%
for l19=118 : sup1
    for l29=128 : sup2
        year=9;
        [S_1,S_2]=flow_calc(load(10),l19,l29,lim1,lim2,L1,L2);
        if S_1==0 && S_2==0
            tot_cases=tot_cases+1;
            continue
        else
            load1(10)=S_1; load2(10)=S_2;
            Anax(2*year+1)=fix(S_1/lim_anax)+(mod(S_1,lim_anax)>0)*1;
            Anax(2*year+2)=fix(S_2/lim_anax)+(mod(S_2,lim_anax)>0)*1;
            new_anax(year+1)=Anax(2*year+1)+Anax(2*year+2)-Anax(2*year-1)-
Anax(2*year);
            Cost_9 = Cost_8 + ((119-118)*Cost1+ (129-
128)*Cost2+new_anax(year+1)*C_anax+(par1/(1+i))*(S_1)^2/(119)+(par2/(1+i))*(S_2)^2/(129))
/((1+i)^9);
            Bld_Cost(10)=(119-118)*Cost1+ (129-
128)*Cost2+new_anax(year+1)*C_anax;
            Loss_cost(10)=(par1/(1+i))*(S_1)^2/(119)+(par2/(1+i))*(S_2)^2/(129);
            end
%%%%%%Year 10%%%%%%%%
for l110=119 : sup1
    for l210=129 : sup2
        year=10;
        [S_1,S_2]=flow_calc(load(11),l110,l210,lim1,lim2,L1,L2);
        if S_1==0 && S_2==0
            tot_cases=tot_cases+1;
            continue
        else
            load1(11)=S_1; load2(11)=S_2;
            Anax(2*year+1)=fix(S_1/lim_anax)+(mod(S_1,lim_anax)>0)*1;
            Anax(2*year+2)=fix(S_2/lim_anax)+(mod(S_2,lim_anax)>0)*1;
            new_anax(year+1)=Anax(2*year+1)+Anax(2*year+2)-Anax(2*year-1)-
Anax(2*year);
            Cost_10 = Cost_9 + ((1110-119)*Cost1+ (1210-
129)*Cost2+new_anax(year+1)*C_anax+(par1/(1+i))*(S_1)^2/(1110)+(par2/(1+i))*(S_2)^2/(1210
))/((1+i)^10);
            Bld_Cost(11)=(1110-119)*Cost1+ (1210-
129)*Cost2+new_anax(year+1)*C_anax;
            Loss_cost(11)=(par1/(1+i))*(S_1)^2/(1110)+(par2/(1+i))*(S_2)^2/(1210);
            end
            tot_cases=tot_cases+1;
            if Cost_10<min_

```


VII. Υπολογισμοί με γραμμική απόσβεση, με υπόγειες αναχωρήσεις

```

load_=15;
sup1=6; sup2=2; cases=0; min_ = 10^10; anax=5;new_anax=zeros(1,11);Anax=zeros(1,22);
    %%%%%%%%%Year 0%%%%%%%%
for l10 = 0:sup1 % type 1 lines that we add in year 0
    lines1_0 = l10 + 1;

    for l20 = 0:sup2 % type 2 lines that we add in year 0
        lines2_0 = l20 + 1;
        year=0;
        % Power flow
        [S_1,S_2]=flow_calc(load(1),lines1_0,lines2_0,lim1,lim2,L1,L2);
        if S_1==0 && S_2==0
            continue
        else
            load1(year+1)=S_1; load2(year+1)=S_2;
            Anax(2*year+1)=fix(S_1/lim_anax)+(mod(S_1,lim_anax)>0)*1;
            Anax(2*year+2)=fix(S_2/lim_anax)+(mod(S_2,lim_anax)>0)*1;
            new_anax(year+1)=Anax(2*year+1)+Anax(2*year+2)-anax;
            Cost_0= (l10*Cost1+l20*Cost2+new_anax(year+1)*C_anax)*(1-
aj*rvc(year+1))+par1*(S_1)^2/(lines1_0)/(1+i)+par2*(S_2)^2/(1+i)/(lines2_0);
            Bld_Cost(1)=l10*Cost1+l20*Cost2+new_anax(year+1)*C_anax;
            Loss_cost(1)=par1*(S_1)^2/(lines1_0)/(1+i)+par2*(S_2)^2/(1+i)/(lines2_0);
            rv(year+1)=(l10*Cost1+l20*Cost2+new_anax(year+1)*C_anax)*aj*rvc(year+1);
        end
        %disp ("year0 : lines1=", lines1_0, ",lines2=", lines2_0, "Cost", Cost_0); %
        ayta na grafontai se arxeio

    %%%%%%%%%Year 1%%%%%%%%
    for l11=lines1_0 : sup1
        for l21 = lines2_0 : sup2
            year=1;
            [S_1,S_2]=flow_calc(load(2),l11,l21,lim1,lim2,L1,L2);
            if S_1==0 && S_2==0
                continue
            else
                load1(year+1)=S_1; load2(year+1)=S_2;
                Anax(2*year+1)=fix(S_1/lim_anax)+(mod(S_1,lim_anax)>0)*1;
                Anax(2*year+2)=fix(S_2/lim_anax)+(mod(S_2,lim_anax)>0)*1;
                new_anax(year+1)=Anax(2*year+1)+Anax(2*year+2)-Anax(2*year-1)-
Anax(2*year);
                Cost_1 = Cost_0 + (((l11-lines1_0)*Cost1+(l21-
lines2_0)*Cost2+new_anax(year+1)*C_anax)*(1-
aj*rvc(year+1))+par1/(1+i))*(S_1)^2/(l11)+(par2/(1+i))*(S_2)^2/(l21))/(1+i);
                Bld_Cost(2)= (l11-lines1_0)*Cost1+ (l21-
lines2_0)*Cost2+new_anax(year+1)*C_anax;
                Loss_cost(2)=(par1/(1+i))*(S_1)^2/(l11)+(par2/(1+i))*(S_2)^2/(l21);
                rv(year+1)=((l11-lines1_0)*Cost1+(l21-
lines2_0)*Cost2+new_anax(year+1)*C_anax)*aj*rvc(year+1);
            end
        %%%%%%%%%Year 2%%%%%%%%
        for l12=l11 : sup1
            for l22=l21 : sup2
                year=2;
                [S_1,S_2]=flow_calc(load(3),l12,l22,lim1,lim2,L1,L2);
                if S_1==0 && S_2==0

                    continue
                end
            end
        end
    end

```

```

else
    load1(year+1)=S_1; load2(year+1)=S_2;
    Anax(2*year+1)=fix(S_1/lim_anax)+(mod(S_1,lim_anax)>0)*1;
    Anax(2*year+2)=fix(S_2/lim_anax)+(mod(S_2,lim_anax)>0)*1;
    new_anax(year+1)=Anax(2*year+1)+Anax(2*year+2)-Anax(2*year-1)-
Anax(2*year);
    Cost_2 = Cost_1 + (((l12-l11)*Cost1+ (l22-
l21)*Cost2+new_anax(year+1)*C_anax)*(1-
aj*rvc(year+1)))+(par1/(1+i))*(S_1)^2/(l12)+(par2/(1+i))*(S_2)^2/(l22))/((1+i)^2);
    Bld_Cost(3)=(l12-l11)*Cost1+ (l22-
l21)*Cost2+new_anax(year+1)*C_anax;
    Loss_cost(3)=(par1/(1+i))*(S_1)^2/(l12)+(par2/(1+i))*(S_2)^2/(l22);
    rv(year+1)=((l12-l11)*Cost1+ (l22-
l21)*Cost2+new_anax(year+1)*C_anax)*aj*rvc(year+1);
end
%%%%%%Year 3%%%%%%%%
for l13=l12 : sup1
    for l23=l22 : sup2
        year=3;
        [S_1,S_2]=flow_calc(load(4),l13,l23,lim1,lim2,L1,L2);
        if S_1==0 && S_2==0
            continue
        else
            load1(year+1)=S_1; load2(year+1)=S_2;
            Anax(2*year+1)=fix(S_1/lim_anax)+(mod(S_1,lim_anax)>0)*1;
            Anax(2*year+2)=fix(S_2/lim_anax)+(mod(S_2,lim_anax)>0)*1;
            new_anax(year+1)=Anax(2*year+1)+Anax(2*year+2)-Anax(2*year-1)-
Anax(2*year);
            Cost_3 = Cost_2 + (((l13-l12)*Cost1+ (l23-
l22)*Cost2+new_anax(year+1)*C_anax)*(1-
aj*rvc(year+1)))+(par1/(1+i))*(S_1)^2/(l13)+(par2/(1+i))*(S_2)^2/(l22))/((1+i)^3);
            Bld_Cost(4)=(l13-l12)*Cost1+ (l23-
l22)*Cost2+new_anax(year+1)*C_anax;
            Loss_cost(4)=(par1/(1+i))*(S_1)^2/(l13)+(par2/(1+i))*(S_2)^2/(l22);
            rv(year+1)=((l13-l12)*Cost1+ (l23-
l22)*Cost2+new_anax(year+1)*C_anax)*aj*rvc(year+1);
end
%%%%%%Year 4%%%%%%%%
for l14=l13 : sup1
    for l24=l23 : sup2
        year=4;
        [S_1,S_2]=flow_calc(load(5),l14,l24,lim1,lim2,L1,L2);
        if S_1==0 && S_2==0
            continue
        else
            load1(year+1)=S_1; load2(year+1)=S_2;
            Anax(2*year+1)=fix(S_1/lim_anax)+(mod(S_1,lim_anax)>0)*1;
            Anax(2*year+2)=fix(S_2/lim_anax)+(mod(S_2,lim_anax)>0)*1;
            new_anax(year+1)=Anax(2*year+1)+Anax(2*year+2)-Anax(2*year-1)-
Anax(2*year);
            Cost_4 = Cost_3 + (((l14-l13)*Cost1+ (l24-
l23)*Cost2+new_anax(year+1)*C_anax)*(1-
aj*rvc(year+1)))+(par1/(1+i))*(S_1)^2/(l14)+(par2/(1+i))*(S_2)^2/(l24))/((1+i)^4);
            Bld_cost(5)=(l14-l13)*Cost1+ (l24-
l23)*Cost2+new_anax(year+1)*C_anax;
            Loss_cost(5)=(par1/(1+i))*(S_1)^2/(l14)+(par2/(1+i))*(S_2)^2/(l24);
            rv(year+1)=((l14-l13)*Cost1+ (l24-
l23)*Cost2+new_anax(year+1)*C_anax)*(aj*rvc(year+1));
end
%%%%%%Year 5%%%%%%%%
for l15=l14 : sup1

```



```

for l25=124 : sup2
    year=5;
    [S_1,S_2]=flow_calc(load(6),l15,l25,lim1,lim2,L1,L2);
    if S_1==0 && S_2==0
        continue
    else
        load1(year+1)=S_1; load2(year+1)=S_2;
        Anax(2*year+1)=fix(S_1/lim_anax)+(mod(S_1,lim_anax)>0)*1;
        Anax(2*year+2)=fix(S_2/lim_anax)+(mod(S_2,lim_anax)>0)*1;
        new_anax(year+1)=Anax(2*year+1)+Anax(2*year+2)-Anax(2*year-1)-
Anax(2*year);
        Cost_5 = Cost_4 + (((l15-l14)*Cost1+ (l25-
124)*Cost2+new_anax(year+1)*C_anax)*(1-
aj*rvc(year+1)))+(par1/(1+i))*(S_1)^2/(l15)+(par2/(1+i))*(S_2)^2/(l25))/((1+i)^5);
        Bld_Cost(6)=(l15-l14)*Cost1+ (l25-
124)*Cost2+new_anax(year+1)*C_anax;
        Loss_cost(6)=(par1/(1+i))*(S_1)^2/(l15)+(par2/(1+i))*(S_2)^2/(l25);
        rv(year+1)=((l15-l14)*Cost1+ (l25-
124)*Cost2+new_anax(year+1)*C_anax)*(aj*rvc(year+1));
    end
    %%%%%%%%%Year 6%%%%%%%%
    for l16=115 : sup1
        for l26=125 : sup2
            year=6;
            [S_1,S_2]=flow_calc(load(7),l16,l26,lim1,lim2,L1,L2);
            if S_1==0 && S_2==0
                continue
            else
                load1(year+1)=S_1; load2(year+1)=S_2;
                Anax(2*year+1)=fix(S_1/lim_anax)+(mod(S_1,lim_anax)>0)*1;
                Anax(2*year+2)=fix(S_2/lim_anax)+(mod(S_2,lim_anax)>0)*1;
                new_anax(year+1)=Anax(2*year+1)+Anax(2*year+2)-Anax(2*year-1)-
Anax(2*year);
                Cost_6 = Cost_5 + (((l16-l15)*Cost1+ (l26-
125)*Cost2+new_anax(year+1)*C_anax)*(1-
aj*rvc(year+1)))+(par1/(1+i))*(S_1)^2/(l16)+(par2/(1+i))*(S_2)^2/(l26))/((1+i)^6);
                Bld_Cost(7)=(l16-l15)*Cost1+ (l26-
125)*Cost2+new_anax(year+1)*C_anax;
                Loss_cost(7)=(par1/(1+i))*(S_1)^2/(l16)+(par2/(1+i))*(S_2)^2/(l26);
                rv(year+1)=((l16-l15)*Cost1+ (l26-
125)*Cost2+new_anax(year+1)*C_anax)*(aj*rvc(year+1));
            end
            %%%%%%%%%Year 7%%%%%%%%
            for l17=116 : sup1
                for l27=126 : sup2
                    year=7;
                    [S_1,S_2]=flow_calc(load(8),l17,l27,lim1,lim2,L1,L2);
                    if S_1==0 && S_2==0
                        continue
                    else
                        load1(year+1)=S_1; load2(year+1)=S_2;
                        Anax(2*year+1)=fix(S_1/lim_anax)+(mod(S_1,lim_anax)>0)*1;
                        Anax(2*year+2)=fix(S_2/lim_anax)+(mod(S_2,lim_anax)>0)*1;
                        new_anax(year+1)=Anax(2*year+1)+Anax(2*year+2)-Anax(2*year-1)-
Anax(2*year);
                        Cost_7 = Cost_6 + (((l17-l16)*Cost1+ (l27-
126)*Cost2+new_anax(year+1)*C_anax)*(1-
aj*rvc(year+1)))+(par1/(1+i))*(S_1)^2/(l17)+(par2/(1+i))*(S_2)^2/(l27))/((1+i)^7);
                        Bld_Cost(8)=(l17-l16)*Cost1+ (l27-
126)*Cost2+new_anax(year+1)*C_anax;
                        Loss_cost(8)=(par1/(1+i))*(S_1)^2/(l17)+(par2/(1+i))*(S_2)^2/(l27);
                    end
                end
            end
        end
    end

```

```

                rv(year+1)=((l17-l16)*Cost1+ (l27-
126)*Cost2+new_anax(year+1)*C_anax)*(aj*rvc(year+1));
            end
            %%%%%%%%%Year 8%%%%%%%%
            for l18=l17 : sup1
                for l28=l27 : sup2
                    year=8;
                    [S_1,S_2]=flow_calc(load(9),l18,l28,lim1,lim2,L1,L2);
                    if S_1==0 && S_2==0
                        continue
                    else
                        load1(year+1)=S_1; load2(year+1)=S_2;
                        Anax(2*year+1)=fix(S_1/lim_anax)+(mod(S_1,lim_anax)>0)*1;
                        Anax(2*year+2)=fix(S_2/lim_anax)+(mod(S_2,lim_anax)>0)*1;
                        new_anax(year+1)=Anax(2*year+1)+Anax(2*year+2)-Anax(2*year-1)-
Anax(2*year);
                        Cost_8 = Cost_7 + (((l18-l17)*Cost1+ (l28-
127)*Cost2+new_anax(year+1)*C_anax)*(1-
aj*rvc(year+1))+(par1/(1+i))*(S_1)^2/(l18)+(par2/(1+i))*(S_2)^2/(l28))/((1+i)^8);
                        Bld_Cost(9)=(l18-l17)*Cost1+ (l28-
127)*Cost2+new_anax(year+1)*C_anax;
                        Loss_cost(9)=(par1/(1+i))*(S_1)^2/(l18)+(par2/(1+i))*(S_2)^2/(l28);
                        rv(year+1)=((l18-l17)*Cost1+ (l28-
127)*Cost2+new_anax(year+1)*C_anax)*(aj*rvc(year+1));
                    end
                    %%%%%%%%%Year 9%%%%%%%%
                    for l19=l18 : sup1
                        for l29=l28 : sup2
                            year=9;
                            [S_1,S_2]=flow_calc(load(10),l19,l29,lim1,lim2,L1,L2);
                            if S_1==0 && S_2==0
                                continue
                            else
                                load1(year+1)=S_1; load2(year+1)=S_2;
                                Anax(2*year+1)=fix(S_1/lim_anax)+(mod(S_1,lim_anax)>0)*1;
                                Anax(2*year+2)=fix(S_2/lim_anax)+(mod(S_2,lim_anax)>0)*1;
                                new_anax(year+1)=Anax(2*year+1)+Anax(2*year+2)-Anax(2*year-1)-
Anax(2*year);
                                Cost_9 = Cost_8 + (((l19-l18)*Cost1+ (l29-
128)*Cost2+new_anax(year+1)*C_anax)*(1-
aj*rvc(year+1))+(par1/(1+i))*(S_1)^2/(l19)+(par2/(1+i))*(S_2)^2/(l29))/((1+i)^9);
                                Bld_Cost(10)=(l19-l18)*Cost1+ (l29-
128)*Cost2+new_anax(year+1)*C_anax;
                                Loss_cost(10)=(par1/(1+i))*(S_1)^2/(l19)+(par2/(1+i))*(S_2)^2/(l29);
                                rv(year+1)=((l19-l18)*Cost1+ (l29-
128)*Cost2+new_anax(year+1)*C_anax)*(aj*rvc(year+1));
                            end
                            %%%%%%%%%Year 10%%%%%%%%
                            for l110=l19 : sup1
                                for l210=l29 : sup2
                                    year=10;
                                    [S_1,S_2]=flow_calc(load(11),l16,l26,lim1,lim2,L1,L2);
                                    if S_1==0 && S_2==0
                                        continue
                                    else
                                        load1(year+1)=S_1; load2(year+1)=S_2;
                                        Anax(2*year+1)=fix(S_1/lim_anax)+(mod(S_1,lim_anax)>0)*1;
                                        Anax(2*year+2)=fix(S_2/lim_anax)+(mod(S_2,lim_anax)>0)*1;
                                        new_anax(year+1)=Anax(2*year+1)+Anax(2*year+2)-Anax(2*year-1)-
Anax(2*year);

```


VIII. Υπολογισμοί με απόσβεση τοκοχρεωλυτικής δόσης, με υπόγειες αναχωρήσεις

```
load_=15;
sup1=5; sup2=2; cases=0; min_ = 10^10; anax=5;new_anax=zeros(1,11);Anax=zeros(1,22);
%%%%%%Year 0%%%%%%%%%
for l10 = 0:sup1 % type 1 lines that we add in year 0
    lines1_0 = l10 + 1;

    for l20 = 0:sup2 % type 2 lines that we add in year 0
        lines2_0 = l20 + 1;
        year=0;
        % Power flow
        [S_1,S_2]=flow_calc(load(1),lines1_0,lines2_0,lim1,lim2,L1,L2);
        if S_1==0 && S_2==0
            continue
        else
            load1(year+1)=S_1; load2(year+1)=S_2;
            Anax(2*year+1)=fix(S_1/lim_anax)+(mod(S_1,lim_anax)>0)*1;
            Anax(2*year+2)=fix(S_2/lim_anax)+(mod(S_2,lim_anax)>0)*1;
            new_anax(year+1)=Anax(2*year+1)+Anax(2*year+2)-anax;
            Cost_0= (l10*Cost1+l20*Cost2+new_anax(year+1)*C_anax)*(1-
aj*RVC(year+1))+par1*(S_1)^2/(lines1_0)/(1+i)+par2*(S_2)^2/(1+i)/(lines2_0);
            Bld_Cost(1)=l10*Cost1+l20*Cost2+new_anax(year+1)*C_anax;
            Loss_cost(1)=par1*(S_1)^2/(lines1_0)/(1+i)+par2*(S_2)^2/(1+i)/(lines2_0);
            RV(year+1)=(l10*Cost1+l20*Cost2+new_anax(year+1)*C_anax)*aj*RVC(year+1);
        end
        %disp ("year0 : lines1=", lines1_0, ",lines2=", lines2_0, "Cost", Cost_0); %
        ayta na grafontai se arxeio

        %%%%%Year 1%%%%%%%%%
        for l11=lines1_0 : sup1
            for l21 = lines2_0 : sup2
                year=1;
                [S_1,S_2]=flow_calc(load(2),l11,l21,lim1,lim2,L1,L2);
                if S_1==0 && S_2==0
                    continue
                else
                    load1(year+1)=S_1; load2(year+1)=S_2;
                    Anax(2*year+1)=fix(S_1/lim_anax)+(mod(S_1,lim_anax)>0)*1;
                    Anax(2*year+2)=fix(S_2/lim_anax)+(mod(S_2,lim_anax)>0)*1;
                    new_anax(year+1)=Anax(2*year+1)+Anax(2*year+2)-Anax(2*year-1)-
Anax(2*year);
                    Cost_1 = Cost_0 + (((l11-lines1_0)*Cost1+(l21-
lines2_0)*Cost2+new_anax(year+1)*C_anax)*(1-
aj*RVC(year+1))+par1/(1+i))*(S_1)^2/(l11)+(par2/(1+i))*(S_2)^2/(l21))/(1+i);
                    Bld_Cost(2)= (l11-lines1_0)*Cost1+ (l21-
lines2_0)*Cost2+new_anax(year+1)*C_anax;
                    Loss_cost(2)=(par1/(1+i))*(S_1)^2/(l11)+(par2/(1+i))*(S_2)^2/(l21);
                    RV(year+1)=((l11-lines1_0)*Cost1+(l21-
lines2_0)*Cost2+new_anax(year+1)*C_anax)*aj*RVC(year+1);
                end
                %%%%%Year 2%%%%%%%%%
                for l12=l11 : sup1
                    for l22=l21 : sup2
                        year=2;
                        [S_1,S_2]=flow_calc(load(3),l12,l22,lim1,lim2,L1,L2);
                        if S_1==0 && S_2==0

                                continue
                            end
                        end
                    end
                end
            end
        end
    end
end
```

```

else
    load1(year+1)=S_1; load2(year+1)=S_2;
    Anax(2*year+1)=fix(S_1/lim_anax)+(mod(S_1,lim_anax)>0)*1;
    Anax(2*year+2)=fix(S_2/lim_anax)+(mod(S_2,lim_anax)>0)*1;
    new_anax(year+1)=Anax(2*year+1)+Anax(2*year+2)-Anax(2*year-1)-
Anax(2*year);
    Cost_2 = Cost_1 + (((l12-l11)*Cost1+ (l22-
l21)*Cost2+new_anax(year+1)*C_anax)*(1-
aj*RVC(year+1)))+(par1/(1+i))*(S_1)^2/(l12)+(par2/(1+i))*(S_2)^2/(l22))/((1+i)^2);
    Bld_Cost(3)=(l12-l11)*Cost1+ (l22-
l21)*Cost2)+new_anax(year+1)*C_anax;
    Loss_cost(3)=(par1/(1+i))*(S_1)^2/(l12)+(par2/(1+i))*(S_2)^2/(l22);
    RV(year+1)=((l12-l11)*Cost1+ (l22-
l21)*Cost2+new_anax(year+1)*C_anax)*aj*RVC(year+1);
end
%%%%%%%%Year 3%%%%%%%%
for l13=l12 : sup1
    for l23=l22 : sup2
        year=3;
        [S_1,S_2]=flow_calc(load(4),l13,l23,lim1,lim2,L1,L2);
        if S_1==0 && S_2==0
            continue
        else
            load1(year+1)=S_1; load2(year+1)=S_2;
            Anax(2*year+1)=fix(S_1/lim_anax)+(mod(S_1,lim_anax)>0)*1;
            Anax(2*year+2)=fix(S_2/lim_anax)+(mod(S_2,lim_anax)>0)*1;
            new_anax(year+1)=Anax(2*year+1)+Anax(2*year+2)-Anax(2*year-1)-
Anax(2*year);
            Cost_3 = Cost_2 + (((l13-l12)*Cost1+ (l23-
l22)*Cost2+new_anax(year+1)*C_anax)*(1-
aj*RVC(year+1)))+(par1/(1+i))*(S_1)^2/(l13)+(par2/(1+i))*(S_2)^2/(l22))/((1+i)^3);
            Bld_Cost(4)=(l13-l12)*Cost1+ (l23-
l22)*Cost2+new_anax(year+1)*C_anax;
            Loss_cost(4)=(par1/(1+i))*(S_1)^2/(l13)+(par2/(1+i))*(S_2)^2/(l22);
            RV(year+1)=((l13-l12)*Cost1+ (l23-
l22)*Cost2+new_anax(year+1)*C_anax)*aj*RVC(year+1);
end
%%%%%%%%Year 4%%%%%%%%
for l14=l13 : sup1
    for l24=l23 : sup2
        year=4;
        [S_1,S_2]=flow_calc(load(5),l14,l24,lim1,lim2,L1,L2);
        if S_1==0 && S_2==0
            continue
        else
            load1(year+1)=S_1; load2(year+1)=S_2;
            Anax(2*year+1)=fix(S_1/lim_anax)+(mod(S_1,lim_anax)>0)*1;
            Anax(2*year+2)=fix(S_2/lim_anax)+(mod(S_2,lim_anax)>0)*1;
            new_anax(year+1)=Anax(2*year+1)+Anax(2*year+2)-Anax(2*year-1)-
Anax(2*year);
            Cost_4 = Cost_3 + (((l14-l13)*Cost1+ (l24-
l23)*Cost2+new_anax(year+1)*C_anax)*(1-
aj*RVC(year+1)))+(par1/(1+i))*(S_1)^2/(l14)+(par2/(1+i))*(S_2)^2/(l24))/((1+i)^4);
            Bld_cost(5)=(l14-l13)*Cost1+ (l24-
l23)*Cost2+new_anax(year+1)*C_anax;
            Loss_cost(5)=(par1/(1+i))*(S_1)^2/(l14)+(par2/(1+i))*(S_2)^2/(l24);
            RV(year+1)=((l14-l13)*Cost1+ (l24-
l23)*Cost2+new_anax(year+1)*C_anax)*(aj*RVC(year+1));
end
%%%%%%%%Year 5%%%%%%%%
for l15=l14 : sup1

```

```

for l25=124 : sup2
    year=5;
    [S_1,S_2]=flow_calc(load(6),l15,l25,lim1,lim2,L1,L2);
    if S_1==0 && S_2==0
        continue
    else
        load1(year+1)=S_1; load2(year+1)=S_2;
        Anax(2*year+1)=fix(S_1/lim_anax)+(mod(S_1,lim_anax)>0)*1;
        Anax(2*year+2)=fix(S_2/lim_anax)+(mod(S_2,lim_anax)>0)*1;
        new_anax(year+1)=Anax(2*year+1)+Anax(2*year+2)-Anax(2*year-1)-
Anax(2*year);
        Cost_5 = Cost_4 + (((l15-l14)*Cost1+ (l25-
124)*Cost2+new_anax(year+1)*C_anax)*(1-
aj*RVC(year+1))+(par1/(1+i))*(S_1)^2/(l15)+(par2/(1+i))*(S_2)^2/(l25))/((1+i)^5);
        Bld_Cost(6)=(l15-l14)*Cost1+ (l25-
124)*Cost2+new_anax(year+1)*C_anax;
        Loss_cost(6)=(par1/(1+i))*(S_1)^2/(l15)+(par2/(1+i))*(S_2)^2/(l25);
        RV(year+1)=((l15-l14)*Cost1+ (l25-
124)*Cost2+new_anax(year+1)*C_anax)*(aj*RVC(year+1));
    end
    %%%%%%%%%Year 6%%%%%%%%
    for l16=115 : sup1
        for l26=125 : sup2
            year=6;
            [S_1,S_2]=flow_calc(load(7),l16,l26,lim1,lim2,L1,L2);
            if S_1==0 && S_2==0
                continue
            else
                load1(year+1)=S_1; load2(year+1)=S_2;
                Anax(2*year+1)=fix(S_1/lim_anax)+(mod(S_1,lim_anax)>0)*1;
                Anax(2*year+2)=fix(S_2/lim_anax)+(mod(S_2,lim_anax)>0)*1;
                new_anax(year+1)=Anax(2*year+1)+Anax(2*year+2)-Anax(2*year-1)-
Anax(2*year);
                Cost_6 = Cost_5 + (((l16-l15)*Cost1+ (l26-
125)*Cost2+new_anax(year+1)*C_anax)*(1-
aj*RVC(year+1))+(par1/(1+i))*(S_1)^2/(l16)+(par2/(1+i))*(S_2)^2/(l26))/((1+i)^6);
                Bld_Cost(7)=(l16-l15)*Cost1+ (l26-
125)*Cost2+new_anax(year+1)*C_anax;
                Loss_cost(7)=(par1/(1+i))*(S_1)^2/(l16)+(par2/(1+i))*(S_2)^2/(l26);
                RV(year+1)=((l16-l15)*Cost1+ (l26-
125)*Cost2+new_anax(year+1)*C_anax)*(aj*RVC(year+1));
            end
            %%%%%%%%%Year 7%%%%%%%%
            for l17=116 : sup1
                for l27=126 : sup2
                    year=7;
                    [S_1,S_2]=flow_calc(load(8),l17,l27,lim1,lim2,L1,L2);
                    if S_1==0 && S_2==0
                        continue
                    else
                        load1(year+1)=S_1; load2(year+1)=S_2;
                        Anax(2*year+1)=fix(S_1/lim_anax)+(mod(S_1,lim_anax)>0)*1;
                        Anax(2*year+2)=fix(S_2/lim_anax)+(mod(S_2,lim_anax)>0)*1;
                        new_anax(year+1)=Anax(2*year+1)+Anax(2*year+2)-Anax(2*year-1)-
Anax(2*year);
                        Cost_7 = Cost_6 + (((l17-l16)*Cost1+ (l27-
126)*Cost2+new_anax(year+1)*C_anax)*(1-
aj*RVC(year+1))+(par1/(1+i))*(S_1)^2/(l17)+(par2/(1+i))*(S_2)^2/(l27))/((1+i)^7);
                        Bld_Cost(8)=(l17-l16)*Cost1+ (l27-
126)*Cost2+new_anax(year+1)*C_anax;
                        Loss_cost(8)=(par1/(1+i))*(S_1)^2/(l17)+(par2/(1+i))*(S_2)^2/(l27);
                    end
                end
            end
        end
    end

```

```

RV(year+1)=((117-116)*Cost1+ (127-
126)*Cost2+new_anax(year+1)*C_anax)*(aj*RVC(year+1));
end
%%%%%%Year 8%%%%%%%%
for l18=117 : sup1
for l28=127 : sup2
year=8;
[S_1,S_2]=flow_calc(load(9),l18,l28,lim1,lim2,L1,L2);
if S_1==0 && S_2==0
continue
else
load1(year+1)=S_1; load2(year+1)=S_2;
Anax(2*year+1)=fix(S_1/lim_anax)+(mod(S_1,lim_anax)>0)*1;
Anax(2*year+2)=fix(S_2/lim_anax)+(mod(S_2,lim_anax)>0)*1;
new_anax(year+1)=Anax(2*year+1)+Anax(2*year+2)-Anax(2*year-1)-
Anax(2*year);
Cost_8 = Cost_7 + (((118-117)*Cost1+ (128-
127)*Cost2+new_anax(year+1)*C_anax)*(1-
aj*RVC(year+1))+(par1/(1+i))*(S_1)^2/(118)+(par2/(1+i))*(S_2)^2/(128))/((1+i)^8);
Bld_Cost(9)=(118-117)*Cost1+ (128-
127)*Cost2+new_anax(year+1)*C_anax;
Loss_cost(9)=(par1/(1+i))*(S_1)^2/(118)+(par2/(1+i))*(S_2)^2/(128);
RV(year+1)=((118-117)*Cost1+ (128-
127)*Cost2+new_anax(year+1)*C_anax)*(aj*RVC(year+1));
end
%%%%%%Year 9%%%%%%%%
for l19=118 : sup1
for l29=128 : sup2
year=9;
[S_1,S_2]=flow_calc(load(10),l19,l29,lim1,lim2,L1,L2);
if S_1==0 && S_2==0
continue
else
load1(year+1)=S_1; load2(year+1)=S_2;
Anax(2*year+1)=fix(S_1/lim_anax)+(mod(S_1,lim_anax)>0)*1;
Anax(2*year+2)=fix(S_2/lim_anax)+(mod(S_2,lim_anax)>0)*1;
new_anax(year+1)=Anax(2*year+1)+Anax(2*year+2)-Anax(2*year-1)-
Anax(2*year);
Cost_9 = Cost_8 + (((119-118)*Cost1+ (129-
128)*Cost2+new_anax(year+1)*C_anax)*(1-
aj*RVC(year+1))+(par1/(1+i))*(S_1)^2/(119)+(par2/(1+i))*(S_2)^2/(129))/((1+i)^9);
Bld_Cost(10)=(119-118)*Cost1+ (129-
128)*Cost2+new_anax(year+1)*C_anax;
Loss_cost(10)=(par1/(1+i))*(S_1)^2/(119)+(par2/(1+i))*(S_2)^2/(129);
RV(year+1)=((119-118)*Cost1+ (129-
128)*Cost2+new_anax(year+1)*C_anax)*(aj*RVC(year+1));
end
%%%%%%Year 10%%%%%%%%
for l110=119 : sup1
for l210=129 : sup2
year=10;
[S_1,S_2]=flow_calc(load(11),l110,l210,lim1,lim2,L1,L2);
if S_1==0 && S_2==0
continue
else
load1(year+1)=S_1; load2(year+1)=S_2;
Anax(2*year+1)=fix(S_1/lim_anax)+(mod(S_1,lim_anax)>0)*1;
Anax(2*year+2)=fix(S_2/lim_anax)+(mod(S_2,lim_anax)>0)*1;
new_anax(year+1)=Anax(2*year+1)+Anax(2*year+2)-Anax(2*year-1)-
Anax(2*year);

```

