



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ & ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ & ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΓΓΕΙΟΒΕΛΤΙΩΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ &
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ

ΥΔΡΕΥΤΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

ΑΓΙΟΥ ΝΙΚΟΛΑΟΥ ΑΝΑΒΥΣΣΟΥ



Νίκη Αναστοπούλου

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ
ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΤΣΑΚΙΡΗΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π.

ΙΟΥΛΙΟΣ 2018

Αθήνα Ιούλιος 2018



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ & ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ & ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΓΓΕΙΟΒΕΛΤΙΩΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ &
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ
ΥΔΡΕΥΤΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ
ΑΓΙΟΥ ΝΙΚΟΛΑΟΥ ΑΝΑΒΥΣΣΟΥ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

της

Νίκης Αναστοπούλου

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ

ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΤΣΑΚΙΡΗΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή:

(Υπογραφή)

.....
Γεώργιος Τσακίρης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

(Υπογραφή)

.....
Σπυρίδων Γιακουμάκης
Αν. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

(Υπογραφή)

.....
Χαρίλαος Βαγγέλης
Ε.Δι.Π. Ε.Μ.Π.

Αθήνα Ιούλιος 2018

(Υπογραφή)

.....
Νίκη Αναστοπούλου

Αγρονόμος και Τοπογράφος Μηχανικός Ε.Μ.Π.

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

Στην αδελφή μου Έλλη,
που αν και μακριά ήταν τόσο κοντά...

Περίληψη

Το ακτινωτό υδρευτικό δίκτυο βαρύτητας του οικισμού Αγίου Νικολάου Αναβύσσου, (υπαγόμενο τώρα διοικητικά στο Δήμο Σαρωνικού), κατασκευασμένο αρχικά από τον οικοδομικό συνεταιρισμό και στη συνέχεια από την Κοινότητα, σε μεγάλο χρονικό ορίζοντα και ανάλογα με τις περιστάσεις, όσον αφορά στις επεκτάσεις των κλάδων του, αποτελεί τυπικό παράδειγμα πλήθους τέτοιων δικτύων στη χώρα μας, στα οποία παρουσιάζονται προβλήματα λειτουργίας και απαιτούν υψηλό κόστος συντήρησης, λόγω της γήρανσης τους. Ο βέλτιστος οικονομικά σχεδιασμός των δικτύων αυτών δεν αποτέλεσε προτεραιότητα, κατά τα στάδια υλοποίησης τους. Η αβεβαιότητα που επικρατεί στις παραμέτρους του αρχικού σχεδιασμού, οι ανάγκες επεκτάσεων των κλάδων, σε συνδυασμό με τους περιορισμένους υδατικούς πόρους, απαιτούν μια πολυπαραμετρική διαδικασία για τη λήψη αποφάσεων, για την βελτιστοποίηση των επεμβάσεων, με κριτήρια την αξιοπιστία λειτουργίας και το κόστος. Η παρούσα εργασία επιχειρεί να παρουσιάσει μια προσομοίωση του υφιστάμενου δικτύου, χρησιμοποιώντας διαθέσιμα στοιχεία, υψόμετρα και πληροφορίες ή προσωπική γνώση όσον αφορά στις διαμέτρους και στο υλικό των σωλήνων του δικτύου. Αρχικά, παρουσιάζονται σε γενικές γραμμές οι αρχές σχεδιασμού υδρευτικών δικτύων, τα υλικά των σωληνώσεων, η έννοια της βελτιστοποίησης, το λογισμικό επίλυσης δικτύων Epanet και το λογισμικό επίλυσης προβλημάτων γραμμικού προγραμματισμού LINGO. Στη συνέχεια γίνεται η μοντελοποίηση του δικτύου και ακολουθεί η πρόταση για τον ανασχεδιασμό του έργου για την επόμενη περίοδο 30 ετών, η οποία συμπληρώνεται με την οικονομοτεχνική βελτιστοποίηση του. Η εργασία ολοκληρώνεται με την εξαγωγή συμπερασμάτων και διατύπωση προτάσεων.

Abstract

The branched distribution system (network) of the Agios Nikolaos area of Anavyssos, originally built by the owners and then by the Community over a long period of time and depending on the circumstances, with regard to the extensions of its branches, is a typical example of a number of such networks in the country which have operating problems and require high maintenance costs due to their aging. The optimal design of these networks, regarding the cost of their construction, was not a priority in their implementation phases. The uncertainty that prevails in the parameters of the initial design, the needs of branch extensions, combined with limited water resources, require a multiparametric decision-making process to optimize necessary repairs, based on operational reliability and cost. This paper attempts to present a simulation of the existing network using available data, altitudes and information or personal knowledge regarding diameters and pipe material of the network. Initially, the principles of water supply network design, the choice of piping materials, the definition of optimization, the computer program Epanet 2 and the linear programming problem solving software LINGO are presented. After the modeling of the network, a re-design of the project for the next 30-year period is proposed, supplemented by a cost-efficient and technical optimization. The paper is completed by drawing conclusions and making suggestions.

Περιεχόμενα

Περίληψη	6
Abstract	7
Κατάλογος Εικόνων	10
Κατάλογος Πινάκων	11
Κατάλογος Σχημάτων	13
Ευχαριστίες	14
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή	15
Κεφάλαιο 2: Υδρευτικά Δίκτυα	17
2.1 Γενική Διάταξη Υδραγωγείου	17
2.1.1 Εξωτερικό Υδραγωγείο.....	19
2.1.2 Δεξαμενή Ρύθμισης.....	20
2.1.3 Εσωτερικό Υδραγωγείο	21
2.2 Τύποι Δικτύων Ύδρευσης	22
2.3 Λειτουργικές Απαιτήσεις Δικτύων Ύδρευσης	24
2.3.1 Παροχή Σχεδιασμού	24
2.3.2 Ύψος Πίεσης.....	24
2.3.3 Υδραυλικό Πλήγμα	25
2.4 Αρχές Υδραυλικής Κλειστών Αγωγών Υπό Πίεση	26
2.4.1 Η Αρχή Διατήρησης Της Μάζας (Εξίσωση Συνέχειας)	26
2.4.2 Αρχή Διατήρησης Της Ενέργειας.....	26
2.4.3 Αρχή Διατήρησης Της Ορμής	27
2.5 Στοιχεία Υδραυλικής Αγωγών Υπό Πίεση	27
2.6 Ζήτηση Σε Νερό Για Οικιακή Χρήση	29
2.6.1 Πρόβλεψη Μελλοντικού Πληθυσμού.....	30
2.6.2 Εκτίμηση Παροχής	31
2.6.3 Πολλαπλασιαστές Ζήτησης	32
Κεφάλαιο 3: Υλικά Σωληνώσεων Υδραυλικών Έργων	34
3.1 Γενικά Στοιχεία Υλικών Σωληνώσεων	34
3.2 Πλαστικοί Αγωγοί Στα Δίκτυα Ύδρευσης	35
3.2.1 Σωλήνες από Πολυαιθυλένιο (HDPE)	35
3.2.2 Σωλήνες Από Μη Πλαστικοποιημένο Πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC)	36
3.2.3 Σύγκριση HDPE - PVC	37
3.3 Μεταλλικοί Αγωγοί Στα Δίκτυα Ύδρευσης	38
3.3.1 Σωλήνες από Ελατό Χυτοσίδηρο (Ductile Iron)	38

3.3.2	Σωλήνες Ελικοειδούς Ραφής Από Χάλυβα	39
3.3.3	Σύγκριση Ductile Iron - Χάλυβα	41
3.4	Σωλήνες Από Υαλοπλισμένο Πολυμερές (GRP)	44
3.5	Σύνοψη Πλεονεκτημάτων Και Μειονεκτημάτων Υλικών Δικτύου Ύδρευσης.....	44
3.6	Η Επιλογή Υλικού Σωληνώσεων Σε Δίκτυο Ύδρευσης	47
3.6.1	Περιορισμός Του Πλήθους Των Σωλήνων Του Δικτύου	48
Κεφάλαιο 4: Βελτιστοποίηση		53
4.1	Βασικοί Ορισμός.....	53
4.2	Ιστορική Εξέλιξη Μεθόδων Βελτιστοποίησης	54
4.2.1	Γραμμικός Προγραμματισμός.....	54
4.2.2	Μη Γραμμικός Προγραμματισμός.....	54
4.2.3	Δυναμικός Προγραμματισμός.....	54
4.2.4	Η Ασυνεχής Μέθοδος Του Labye	55
4.3	Ο Γραμμικός Προγραμματισμός	55
4.3.1	Εισαγωγή.....	55
4.3.2	Μαθηματική Μοντελοποίηση Γραμμικού Προγραμματισμού ...	56
4.3.3	Χαρακτηριστικές Ιδιότητες Γραμμικού Προγραμματισμού	57
4.4	Ο Γραμμικός Προγραμματισμός Σε Ακτινωτά Δίκτυα Βαρύτητας	57
4.4.1	Απαιτούμενα Δεδομένα	58
4.4.2	Ζητούμενο Και Περιορισμοί.....	59
4.4.3	Διατύπωση Προβλήματος	59
4.4.4	Αλγόριθμος Επίλυσης Προβλήματος.....	62
Κεφάλαιο 5: Λογισμικά: Epanet Και Lingo.....		70
5.1	Λογισμικό Επίλυσης Υδρευτικών Δικτύων: Epanet	70
5.1.1	Υδραυλική Λειτουργία Του Δικτύου	70
5.1.2	Ποιοτική Λειτουργία Του Δικτύου	71
5.1.3	Βήματα Επίλυσης Δικτύου Μέσω Epanet.....	71
5.2	Λογισμικό Επίλυσης Γραμμικού Προγραμματισμού Lingo	72
5.2.1	Συγγραφή Πηγαίου Κώδικα Λογισμικού Lingo	73
Κεφάλαιο 6: Δίκτυο Ύδρευσης Του Οικισμού Αγίου Νικολάου Αναβύσσου – Επίλυση Και Βελτιστοποίηση		77
6.1	Περιοχή Μελέτης	77
6.2	Δίκτυο Μελέτης	79
6.2.1	Εκτίμηση Μελλοντικού Πληθυσμού για το έτος 2000.....	81
6.2.2	Εκτίμηση Παροχής Κατανάλωσης Των Κλάδων	82

6.2.3 Προσδιορισμός Παροχής Των Κόμβων Και Προσδιορισμός Της Παροχής Σχεδιασμού Των Κλάδων.....	83
6.2.4 Έλεγχος Στατικής Πίεσης	84
6.2.5 Αρχική Επιλογή Διαμέτρων	84
6.2.6 Προσδιορισμός Κλάσεων Σωλήνων	84
6.2.7 Επίλυση Δικτύου Με Διατήρηση της Υφιστάμενης Ελάχιστης Διαμέτρου Φ63 mm	85
6.2.8 Επίλυση Δικτύου Με Χρήση Ελάχιστης Διαμέτρου Φ90 mm	88
6.3 Ανάλυση Μελλοντικού Ανασχεδιασμού Του Δικτύου Ύδρευσης.....	91
6.3.1 Εκτίμηση Πληθυσμού για το έτος 2048	91
6.3.2 Υδραυλικοί Υπολογισμοί Ανασχεδιασμένου Δικτύου	92
6.4 Βελτιστοποίηση Ανασχεδιασμού Δικτύου Ύδρευσης	97
6.4.1 Προσδιορισμός Εσωτερικών Διαμέτρων	97
6.4.2 Κόστος Ανά Μέτρο Μήκους Αγωγού PVC 10 atm	98
6.4.3 Υπολογισμός Γραμμικών Απωλειών Φορτίου Ανά Κλάδο (hf) Και Ανά Μέτρο Μήκους Κλάδου (S)	99
6.4.4 Ορισμός Μεταβλητών Απόφασης	100
6.4.5 Ορισμός Συνάρτησης Σκοπού	101
6.4.6 Καθορισμός Γεωμετρικών Περιορισμών	102
6.4.7 Καθορισμός Απωλειών Φορτίου	106
6.4.8 Κώδικας Επίλυσης Βελτιστοποίησης	121
6.4.9 Αποτελέσματα Βελτιστοποίησης	127
6.5 Ανάλυση Ευαισθησίας	127
6.5.1 Ανάλυση Ευαισθησίας Ως Προς Τη Μεταβολή Της Παροχής Ζήτησης Των Κλάδων	127
6.5.2 Ανάλυση Ευαισθησίας Ως Προς Τη Μεταβολή Της Τραχύτητας Των Αγωγών	129
Κεφάλαιο 7: Συμπεράσματα Εφαρμογής – Μελλοντικές Προτάσεις ...	130
Βιβλιογραφία	132
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α	135
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β	152

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 2.1: Υδροληψία.....	19
Εικόνα 2.2: Δίκτυο μεταφοράς	19
Εικόνα 2.3: Δεξαμενή 24ωρης Ρύθμισης	20
Εικόνα 2.4: Εσωτερικό Υδραγωγείο	21
Εικόνα 2.5: Εσωτερικό Υδραγωγείο	21
Εικόνα 2.6: Τυπική ημερήσια διακύμανση της ζήτησης για οικιακή χρήση	32
Εικόνα 3.1: Σωλήνες PE Διαφορετικών Διαμέτρων.....	35
Εικόνα 3.2: Σωλήνες PE	35
Εικόνα 3.3: Σωλήνες PE	36
Εικόνα 3.4: Σωλήνες PVC	36
Εικόνα 3.5: Σωλήνες PVC Διαφορετικών Διαμέτρων.....	36
Εικόνα 3.6: Πλινθώματα χυτοσίδηρου	28
Εικόνα 3.7: Σωλήνες Ελατού Χυτοσίδηρου Διαφορετικών Διαμέτρων.....	39
Εικόνα 3.8: Σωλήνες Ελικοειδούς Ραφής Από Χάλυβα	41
Εικόνα 3.9: Σωλήνες Ελικοειδούς Ραφής Από Χάλυβα Διαφορετικών Διαμέτρων	41
Εικόνα 3.10: Σωλήνες GRP	44
Εικόνα 3.11: Σωλήνες GRP Διαφορετικών Διαμέτρων	44
Εικόνα 5.1: Συνάρτησης Σκοπού σε Περιβάλλον Lingo	74
Εικόνα 5.2: Αποτελέσματα Επίλυσης Προβλήματος Γραμμικού Προγραμματισμού σε Περιβάλλον Lingo.....	74
Εικόνα 5.3: Πίνακας Με Τα χαρακτηριστικά Της Επίλυσης.....	76
Εικόνα 6.1: Εξωκλήσι Αγίου Νικολάου, Αναβύσσου	77
Εικόνα 6.2: Οικισμός Αγίου Νικολάου	77
Εικόνα 6.3: 3D Απεικόνιση Του Οικισμού Αγίου Νικολάου, Αναβύσσου	78
Εικόνα 6.4: Δίκτυο Μελέτης 3D Απεικόνιση	79
Εικόνα 6.5: Οι 42 Αγωγοί Του Δίκτυο Μελέτης 3D Απεικόνιση	80
Εικόνα 6.6: Οι 42 Κόμβοι Του Δίκτυο Μελέτης 3D Απεικόνιση	80
Εικόνα 6.7: Δεξαμενή 24h Ρύθμισης Υδρευτικού Δικτύου Οικισμού Αγίου Νικολάου, Αναβύσσου	81
Εικόνα 6.8: Υδρευτικό Δίκτυο Οικισμού Αγίου Νικολάου Αναβύσσου, Σε Περιβάλλον Epanet	85

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 2.1: Προσδιορισμός των γραμμικών απωλειών για κυκλικούς αγωγούς υπό πίεση.	28
Πίνακας 2.2: Τιμές του συντελεστή τριβής f	29
Πίνακας 2.3: Δραστηριότητες της οικιακής χρήσης του νερού.....	30
Πίνακας 3.1: Σύγκριση του κόστους των αγωγών υπό πίεση από HDPE και PVC.	37
Πίνακας 3.2: Σύγκριση του κόστους των αγωγών υπό πίεση από Ελατό Χυτοσίδηρο και Χάλυβα.	42
Πίνακας 3.3: Τα κυριότερα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των υλικών σωλήνων ύδρευσης.	47
Πίνακας 6.1: Στοιχεία του Οικισμού Αγίου Νικολάου Αναβύσσου.....	78
Πίνακας 6.2: Αποτελέσματα Επίλυσης Υδραυλικών Στοιχείων Κόμβων Δικτύου Ύδρευσης Αγίου Νικολάου Αναβύσσου (min Φ63mm)	86
Πίνακας 6.3: Αποτελέσματα Επίλυσης Υδραυλικών Στοιχείων Αγωγών Δικτύου Ύδρευσης Αγίου Νικολάου Αναβύσσου (min Φ63mm)	87
Πίνακας 6.4: Αποτελέσματα Επίλυσης Υδραυλικών Στοιχείων Κόμβων Δικτύου Ύδρευσης Αγίου Νικολάου Αναβύσσου (min Φ90mm)	89
Πίνακας 6.5: Αποτελέσματα Επίλυσης Υδραυλικών Στοιχείων Αγωγών Δικτύου Ύδρευσης Αγίου Νικολάου Αναβύσσου (min Φ90mm)	90
Πίνακας 6.6: Αποτελέσματα Επίλυσης Υδραυλικών Στοιχείων Κόμβων Δικτύου Ύδρευσης Αγίου Νικολάου Αναβύσσου (min Φ63mm)	95
Πίνακας 6.7: Αποτελέσματα Επίλυσης Υδραυλικών Στοιχείων Αγωγών Δικτύου Ύδρευσης Αγίου Νικολάου Αναβύσσου (min Φ63mm)	96
Πίνακας 6.8: Κόστος Ανά Μέτρο Μήκους Αγωγών Πολυβινυλοχλωριδίου (PVC) 10 atm, Κατηγορίας Έργου <1.5 εκ. €.	99
Πίνακας 6.9: Αρχικό Κόστος Ανασχεδιασμένου Δικτύου.	123
Πίνακας 6.10: Βέλτιστο Κόστος Ανασχεδιασμένου Δικτύου.	126
Πίνακας I.1: Υπολογισμός Δαπάνης Εγκατεστημένων Σωλήνων PE 100, MRS10=10MPa, 12.5 atm.	138
Πίνακας I.2: Υπολογισμός Δαπάνης Εγκατεστημένων Σωλήνων PVC 12.5 atm.	140
Πίνακας I.3: Υπολογισμός Δαπάνης Εγκατεστημένων Σωλήνων Ελατού Χυτοσιδήρου Κλάσης C25 & C30.....	142
Πίνακας I.4: Υπολογισμός Δαπάνης Εγκατεστημένων Σωλήνων GRP 12 atm Δακτυλιοειδούς Ακαμψίας SN 5kN/m ²	144
Πίνακας I.5: Υπολογισμός Δαπάνης Εγκατεστημένων Σωλήνων από Χάλυβα ST 37-2.	146

Πίνακας II.1: Υπολογισμός Παραμέτρου Z (Αντίστασης Αγωγού Ανά Μονάδα Μήκους) Σωλήνων PE 12.5 atm.	147
Πίνακας II.2: Υπολογισμός Παραμέτρου Z (Αντίστασης Αγωγού Ανά Μονάδα Μήκους) Σωλήνων PVC 12.5 atm.	148
Πίνακας II.3: Υπολογισμός Παραμέτρου Z (Αντίστασης Αγωγού Ανά Μονάδα Μήκους) Σωλήνων Ελατού Χυτοσίδηρου C25 C30.	149
Πίνακας II.4: Υπολογισμός Παραμέτρου Z (Αντίστασης Αγωγού Ανά Μονάδα Μήκους) Σωλήνων GRP 12 atm ΔΑΚΤΥΛΙΟΕΙΔΟΥΣ ΑΚΑΜΨΙΑΣ SN 5kN/m ²	150
Πίνακας II.5: Υπολογισμός Παραμέτρου Z (Αντίστασης Αγωγού Ανά Μονάδα Μήκους) Σωλήνων από Χάλυβα ST 37-2.....	151
Πίνακας III.1: Μήκη Αγωγών Και Υψόμετρα Κόμβων, Δικτύου Μελέτης.....	154
Πίνακας III.2: Παροχές Κατανάλωσης Για Κάθε Κλάδο.....	156
Πίνακας III.3: Υπολογισμός Παροχής Σχεδιασμού Τμήματος Α Με Τη Μέθοδο Του Αθροιστικού Μήκους.....	157
Πίνακας III.4: Υπολογισμός Παροχής Σχεδιασμού Τμήματος Β Με Τη Μέθοδο Του Αθροιστικού Μήκους.....	158
Πίνακας III.5: Προσδιορισμός Αρχικών Διαμέτρων.	160
Πίνακας IV.1: Παροχές Κατανάλωσης Για Κάθε Κλάδο.....	162
Πίνακας IV.2: Υπολογισμός Παροχής Σχεδιασμού Τμήματος Α Με Τη Μέθοδο Του Αθροιστικού Μήκους.....	163
Πίνακας IV.3: Υπολογισμός Παροχής Σχεδιασμού Τμήματος Β Με Τη Μέθοδο Του Αθροιστικού Μήκους.....	164
Πίνακας IV.4: Προσδιορισμός Αρχικών Διαμέτρων.	166
Πίνακας V.1: Προσδιορισμός Εσωτερικών Διαμέτρων.	169
Πίνακας V.2: Υπολογισμός Γραμμικών Απωλειών.....	175
Πίνακας V.3: Μεταβλητές Απόφασης – Κόστη Κλάδων.....	181
Πίνακας V.4: Υπολογισμός Γραμμικών Απωλειών-Q10%.	199
Πίνακας V.5: Υπολογισμός Γραμμικών Απωλειών-Q15%.	205
Πίνακας V.6: Υπολογισμός Γραμμικών Απωλειών-Q20%.	211
Πίνακας V.7: Βέλτιστο Κόστος Ανάλυσης Ευαισθησίας -Q10%.....	293
Πίνακας V.8: Βέλτιστο Κόστος Ανάλυσης Ευαισθησίας -Q15%.....	297
Πίνακας V.9: Βέλτιστο Κόστος Ανάλυσης Ευαισθησίας -Q20%.....	301

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 2.1.: Εξωτερικό & Εσωτερικό Υδραγωγείο	17
Σχήμα 2.2.α: Τυπική Διάταξη Συστήματος Ύδρευσης	18
Σχήμα 2.2.β: Τυπική Διάταξη Συστήματος Ύδρευσης	18
Σχήμα 2.3 :Σειριακό Δίκτυο	22
Σχήμα 2.4: Ακτινωτό Δίκτυο.....	22
Σχήμα 2.5: Κλειστό Δίκτυο.....	23
Σχήμα 2.6: Μεικτά Δίκτυα	23
Σχήμα 2.7: Απαιτήσεις ύψους πίεσης λόγω ύψους κτηρίων και μεγάλης κατανάλωσης	25
Σχήμα 2.8: Αρχή διατήρησης ενέργειας στον αγωγό 1-2	27
Σχήμα 2.9: Μέση ημερήσια κατά κεφαλή κατανάλωση	31
Σχήμα 3.1: Καμπύλη Κόστους – Διαμέτρου	34
Σχήμα 3.2: Διάγραμμα Κόστους HDPE – PVC (10 atm)	37
Σχήμα 3.3: Διάγραμμα Κόστους HDPE – PVC (12,5 atm)	37
Σχήμα 3.4: Διάγραμμα Κόστους HDPE – PVC (16 atm)	38
Σχήμα 3.5: Διάγραμμα Κόστους D. Iron – Χάλυβα.....	43
Σχήμα 3.6: Διάγραμμα Κόστους D. Iron – Χάλυβα.....	43
Σχήμα 3.7: Διάγραμμα Κόστους D. Iron – Χάλυβα.....	43
Σχήμα 4.1: Προσδιορισμός πίεσης στον κόμβο Β αμέσως μετά τη Δεξαμενή Α	65
Σχήμα 4.2: Προσδιορισμός πίεσης στον κόμβο Γ αμέσως μετά το κόμβο Β	66
Σχήμα 6.1: Σύγκριση Αρχικού - Βέλτιστου Κόστους Ανασχεδιασμένου Δικτύου	126
Σχήμα 6.2: Σύγκριση Κοστών Για Αύξηση Παροχής Q 10% 15% 20%	128
Σχήμα 6.3: Σχέση Κόστους Δικτύου - Παροχής Q	128

Ευχαριστίες

Η εργασία αυτή αποτελεί για μένα μια δημιουργική στιγμή, επειδή μου έδωσε την ευκαιρία να ασχοληθώ εντατικά με ένα υφιστάμενο υδρευτικό δίκτυο, να κατανοήσω τα προβλήματά του, λόγω της περιστασιακής στο παρελθόν, κατασκευής του και να προχωρήσω σε προτάσεις και συμπεράσματα για τη βελτιστοποίηση του.

Θέλω λοιπόν να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον καθηγητή μου κύριο Γεώργιο Τσακίρη, ο οποίος μου ενέπνευσε την αγάπη μου για τον τομέα των υδραυλικών έργων και στάθηκε δίπλα μου, με την πολύτιμη εμπειρία του, όλα τα χρόνια της φοιτητικής μου ζωής και κατά την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής μου εργασίας.

Ευχαριστώ επίσης τον Χάρη Βαγγέλη, μέλος του Επιστημονικού Διδακτικού Προσωπικού του Ε.Μ.Π, ο οποίος με το αληθινό ενδιαφέρον του υπήρξε ουσιαστικός αρωγός στην προσπάθειά μου, καθώς και τα στελέχη του εργαστηρίου εγγειοβελτιωτικών έργων και διαχείρισης Υδατικών Πόρων της Σχολής ΑΤΜ και κυρίως την Υποψήφια Διδάκτορα Ινώ Παπαγεωργάκη για τις πολύτιμες συμβουλές της.

Τέλος ευχαριστώ βαθύτατα όλους όσους βρίσκονται στο οικογενειακό και φιλικό μου περιβάλλον και με στηρίζουν με αγάπη και εμπιστοσύνη.

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

Στην παρούσα εργασία θα ασχοληθούμε με το υφιστάμενο εσωτερικό υδραγωγείο της περιοχής Αγίου Νικολάου Αναβύσσου Αττικής, (ακτινωτό δίκτυο βαρύτητας) το οποίο έχει κατασκευασθεί τμηματικά στο παρελθόν σε διάφορα χρονικά στάδια, αρχικά από τον Κύριο του έργου, Οικοδομικό Συνεταιρισμό και ακολούθως από την τέως Κοινότητα Αναβύσσου, ικανοποιώντας κάθε φορά περιστασιακά τη ζήτηση των νέων οικιστών της περιοχής για παροχή ύδρευσης. Σκοπός της παρούσας μελέτης είναι η βελτιστοποίησή του υπόψη δικτύου (αφού όμως προηγηθεί η διαδικασία της μοντελοποίησης του, μέσω της εξακρίβωσης των υδραυλικών στοιχείων του και της αξιοποίησης ορισμένων χαρακτηριστικών αυτού τα οποία είναι γνωστά), με σκοπό την ελαχιστοποίηση του κόστους, (σε περίπτωση ανάγκης τοπικών επεμβάσεων ή οποίες δεν είναι σπάνιες ή επεμβάσεων μεγάλης κλίμακος), την μεγιστοποίηση της αξιοπιστίας και την ελαχιστοποίηση των απωλειών ενέργειας.

Για την επίτευξη του παραπάνω στόχου, η εργασία διαρθρώθηκε έτσι, ώστε να εκτεθούν με συντομία βασικά και καθοριστικά στοιχεία, αναγκαία για τον σχεδιασμό υδρευτικών δικτύων και την εκπόνηση της μελέτης.

Στο Κεφάλαιο 2 παρατίθενται οι βασικές έννοιες και ορισμοί υδρευτικού δικτύου του εξωτερικού υδραγωγείου, της δεξαμενής ημερησίας ρύθμισης, του εσωτερικού υδραγωγείου και τις μορφές αυτού, οι λειτουργικές απαιτήσεις των δικτύων ύδρευσης, (παροχή σχεδιασμού, πίεση, στοιχεία υδραυλικής κλειστών αγωγών υπό πίεση, οι σχέσεις υδραυλικής και το μαθηματικό υπόβαθρο για την επίλυση υδραυλικών δικτύων.

Ακολουθεί το 3^ο Κεφάλαιο, στο οποίο γίνεται μια παρουσίαση των συνήθως χρησιμοποιούμενων σωληνώσεων για υδρευτική χρήση στην Ελλάδα ,ανάλογα με το υλικό, παρατίθενται δεδομένα για Ευρωπαϊκές προδιαγραφές (ΕΛΟΤ EN) που τηρούν οι σωληνουργίες, αναφέρονται στοιχεία κόστους και γίνεται οικονομοτεχνική σύγκριση μεταξύ των διαφόρων ειδών σωλήνων (u-PVC, HDPE GPR, χάλυβα και ελατού χυτοσιδήρου). Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στο κεφάλαιο αυτό στην παρουσίαση μιας μεθόδου για την τεχνικοοικονομική επιλογή του τύπου της σωληνώσεως και του περιορισμού του πλήθους των διαμέτρων σε ένα δίκτυο.

Στο 4^ο κεφάλαιο αναλύεται η έννοια της βελτιστοποίησης, δίνονται οι βασικοί ορισμοί καθώς και οι βασικές μέθοδοι βελτιστοποίησης με σύντομο ιστορικό των διαφόρων μεθόδων. Στο τέλος του κεφαλαίου περιγράφεται σε έκταση και η εφαρμογή του γραμμικού προγραμματισμού στα ακτινωτά δίκτυα βαρύτητας, όπου σκοπός είναι η εύρεση του βέλτιστου οικονομοτεχνικά συνδυασμού διαμέτρων των αγωγών βάσει προκαθορισμένων προδιαγραφών λειτουργίας του δικτύου και ελαχιστοποίηση του ολικού κόστους (κατασκευής και λειτουργίας).

Το κεφάλαιο ολοκληρώνεται με την παρουσίαση των βημάτων του αλγορίθμου για την επίλυση του προβλήματος.

Στο 5ο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα δύο λογισμικά τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία. Αυτά είναι το λογισμικό επίλυσης υδρευτικών δικτύων, Epanet 2 και το λογισμικό επίλυσης γραμμικού προγραμματισμού Lingo. Το Epanet είναι πρόγραμμα μοντελοποίησης, επίλυσης και προσομοίωσης δικτύων ανοικτών και κλειστών αγωγών. Αποτελεί χρήσιμο ερευνητικό εργαλείο, το οποίο βοηθάει στην κατανόηση του τρόπου της κίνησης του νερού μέσα στα δίκτυα διανομής του. Στο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα βήματα τα οποία ακολουθούνται για την επίλυση δικτύου μέσω του Epanet και αναφέρονται τα δεδομένα που πρέπει να εισαχθούν, για κάθε στοιχείο του δικτύου. Το 5ο κεφάλαιο ολοκληρώνεται με την παρουσίαση του διαδεδομένου λογισμικού LINGO της εταιρείας LINDO Systems για την επίλυση προβλημάτων γραμμικού προγραμματισμού, όπως είναι αυτά ενός υδραυλικού δικτύου. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε η free edition του προγράμματος.

Στο 6ο Κεφάλαιο παρουσιάζεται το υδρευτικό δίκτυο της περιοχής Αγίου Νικολάου Αναβύσσου νομού Αττικής, το οποίο είναι ακτινωτό δίκτυο βαρύτητας, κατασκευασμένο τμηματικά σε μεγάλο χρονικό ορίζοντα και χωρίς συνολικό αρχικό σχεδιασμό. Το δίκτυο σχεδιάζεται και επιλύεται, με βάση τα διαθέσιμα στοιχεία, οπότε προκύπτει το μοντέλο αυτού. Στη συνέχεια σχολιάζεται το αποτέλεσμα και ακολουθεί η βελτιστοποίηση του με τη χρήση των λογισμικών εργαλείων που προαναφέραμε.

Στο 7ο Κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα τα οποία εξάγονται από την παρούσα εργασία και αναφέρονται και μελλοντικές προτάσεις σε σχέση με το ανασχεδιασμένο δίκτυο.

Στο παράρτημα Α της παρούσας εργασίας παρουσιάζονται οι πίνακες υπολογισμού του πλήρους κόστους σωληνώσεων από τα συνήθη υλικά και υπολογίζεται ο συντελεστής αντίστασης, προκειμένου να χρησιμοποιηθούν για την τεχνικοοικονομική επιλογή του υλικού των σωλήνων .

Στο παράρτημα Β παρουσιάζονται τα στοιχεία του δικτύου μελέτης, οι υδραυλικοί υπολογισμοί του ανασχεδιασμένου δικτύου, οι απαραίτητοι υπολογισμοί για την βελτιστοποίηση και την ανάλυση ευαισθησίας, καθώς και οι κώδικες και τα report από το λογισμικό LINGO.

Κεφάλαιο 2

Υδρευτικά Δίκτυα

Από την αρχαιότητα τα έργα ύδρευσης είναι έργα πρωτεύουσας σημασίας, καθώς σκοπός τους είναι να εξασφαλίζουν το απαιτούμενο νερό, σε επαρκή ποσότητα και κατάλληλη ποιότητα, προκειμένου να εξυπηρετηθούν οι ανάγκες μιας κατοικημένης περιοχής. Ταυτόχρονα, ο συνδυασμός των έργων ύδρευσης με τα έργα αποχέτευσης μιας πόλης, αποτελεί βασική προϋπόθεση για την ανάπτυξη των σύγχρονων κοινωνιών, δεδομένου ότι το νερό είναι απόλυτα αναντικατάστατο στοιχείο.

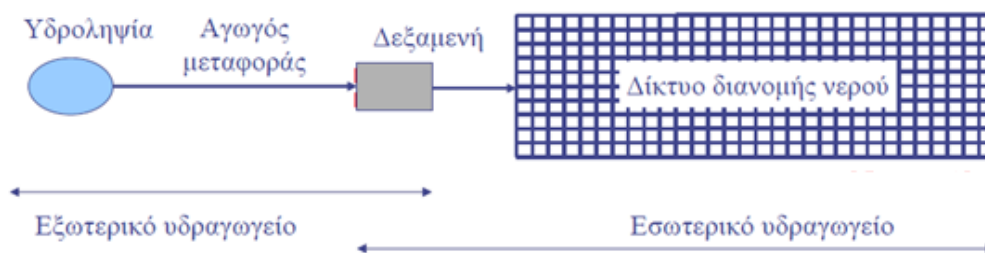
Τα αστικά υδραυλικά έργα υποδομής διακρίνονται στις εξής κατηγορίες (Ευστρατιάδης & Κουτσογιάννης, 2005-2006):

- Υδροδοτικά έργα: Συστήματα που περιλαμβάνουν τα έργα συλλογής και μεταφοράς του νερού από τις πηγές (υδατικοί πόροι) μέχρι τις μονάδες επεξεργασίας και τις δεξαμενές ρύθμισης μιας αστικής περιοχής (πόλης ή οικισμού).
- Δίκτυα διανομής: Συστήματα αγωγών υπό πίεση, που διανέμουν το επεξεργασμένο (καθαρό) νερό από τις δεξαμενές σε πολλαπλά σημεία προορισμού (καταναλωτές) μιας αστικής περιοχής.
- Έργα αποχέτευσης: Συστήματα συλλογής και μεταφοράς των λυμάτων και των ομβρίων υδάτων μιας αστικής περιοχής μέχρι το σημείο επεξεργασίας και, εν συνεχεία, διάθεσής τους.

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται η ανάλυση και σχεδιασμός τυπικών δικτύων ύδρευσης (water supply system). Θα δοθεί επίσης έμφαση σε βασικές έννοιες, που θα χρησιμοποιήσουμε στα επόμενα κεφάλαια.

2.1 Γενική Διάταξη Υδραγωγείου

Η γενική διάταξη ενός δικτύου ύδρευσης διακρίνεται στο εξωτερικό και εσωτερικό υδραγωγείο, καθώς και τη δεξαμενή ρύθμισης που αποτελεί το κοινό τους σημείο. Σχηματικά μια τυπική διάταξη του εξωτερικού και εσωτερικού υδραγωγείου είναι:

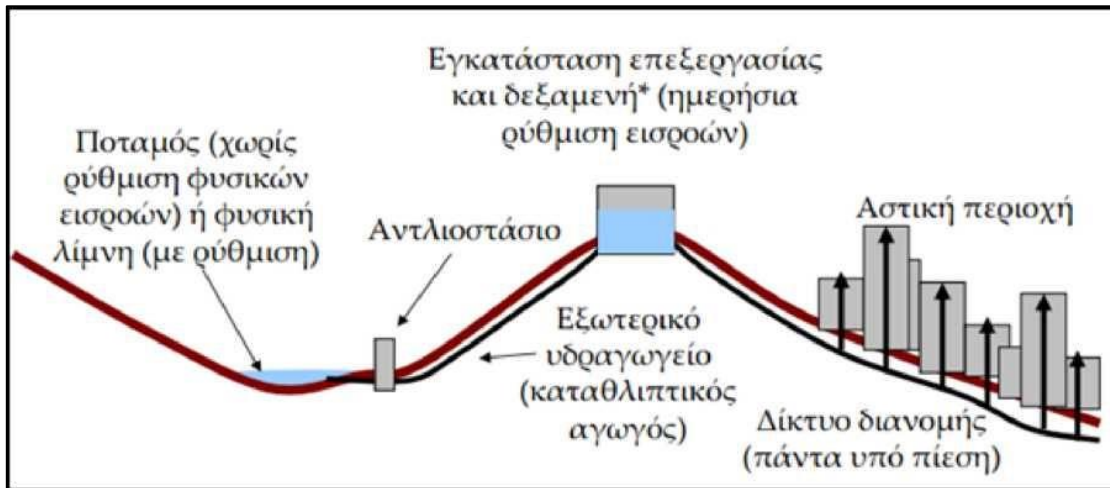


Σχήμα 2.1: Εξωτερικό & Εσωτερικό Υδραγωγείο

Πηγή: Κουτσογιάννης & Ευστρατιάδης, Σημειώσεις μαθήματος «Αστικά Υδραυλικά Έργα», 2007

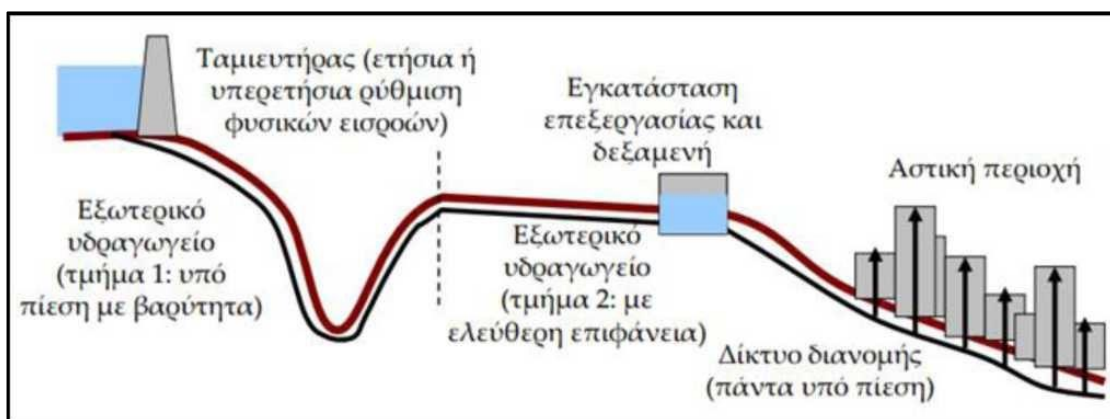
Οι δύο πιο συνηθισμένες διατάξεις είναι οι παρακάτω:

Όπως φαίνεται στο Σχήμα (2.2. α) η διάταξη αυτή περιλαμβάνει μια υδροληψία και άντληση από ποταμό ή λίμνη, ένα εξωτερικό υδραγωγείο (ανοικτό αλλά συνηθέστερα κλειστό αγωγό) με κατάθλιψη και ένα εσωτερικό υδραγωγείο υπό πίεση.



Σχήμα 2.2.α: Τυπική διάταξη συστήματος ύδρευσης
Πηγή: Κουτσογιάννης & Ευστρατιάδης, Σημειώσεις μαθήματος «Αστικά Υδραυλικά Έργα», 2007

Αντίστοιχα, στο Σχήμα (2.2. β) περιλαμβάνει την υδροληψία και άντληση από ταμιευτήρα, ένα εξωτερικό υδραγωγείο υπό πίεση με βαρύτητα που συνεχίζει με ελεύθερη επιφάνεια και ένα εσωτερικό υδραγωγείο υπό πίεση.



Σχήμα 2.2.β: Τυπική διάταξη συστήματος ύδρευσης
Πηγή: Κουτσογιάννης & Ευστρατιάδης, Σημειώσεις μαθήματος «Αστικά Υδραυλικά Έργα», 2007

2.1.1 Εξωτερικό Υδραγωγείο

Το δίκτυο μεταφοράς του νερού από τη θέση όπου υπάρχει διαθέσιμος υδατικός πόρος στον οικισμό για ύδρευση είναι γνωστό ως εξωτερικό υδραγωγείο. Το εξωτερικό υδραγωγείο αναπτύσσεται έξω από την αστική περιοχή και στην πιο απλή του μορφή περιλαμβάνει (Τσακίρης, 2010):

- Η υδροληψία, δηλαδή έργα για τη σύλληψη και την απόληψη του νερού.
- Το δίκτυο μεταφοράς ή προμήθειας.
- Το αντλιοστάσιο, το οποίο περιλαμβάνει μεταξύ των άλλων τα αντλητικά συγκροτήματα (αντλία και κινητήρας).
- Η δεξαμενή 24ωρης ρύθμισης.

Η παραπάνω διάταξη είναι αδρομερής, καθώς στην πραγματικότητα τα εξωτερικά υδραγωγεία ποικίλλουν ως προς τα τεχνολογικά τους χαρακτηριστικά (γενική διάταξη, συνιστώσες, ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός, υλικά) αλλά και την υδραυλική τους (ροή με ελεύθερη επιφάνεια ή συνηθέστερα υπό πίεση).



Εικόνα 2.1: Υδροληψία

Πηγή: Ιστότοπος: <http://microhydropower.gr>



Εικόνα 2.2: Δίκτυο μεταφοράς

Πηγή: Ιστότοπος:

http://www.constantinidis.org/projects_pip_678910_en.html

2.1.2 Δεξαμενή Ρύθμισης

Εφόσον το υδρευτικό σύστημα διαχωρίζεται σε εξωτερικό και εσωτερικό υδραγωγείο, η δεξαμενή αποτελεί το όριό τους. Η δεξαμενή εγκαθίσταται όσο το δυνατόν πιο κοντά στην αστική περιοχή, για λόγους οικονομίας και ασφάλειας.

Οι βασικές λειτουργίες της δεξαμενής είναι οι εξής (Τσακίρης, 2010):

- Ρυθμίζει σε 24ωρη βάση την παροχή. Το εξωτερικό υδραγωγείο διαστασιολογείται βάσει της δυσμενέστερης μέρας του έτους σχεδιασμού (μέγιστη ημερήσια κατανάλωση), ενώ το εσωτερικό υδραγωγείο βάσει της δυσμενέστερης ώρας του έτους σχεδιασμού (μέγιστη ωριαία κατανάλωση). Έτσι, η δεξαμενή 24ωρης ρύθμισης εξισορροπεί την χρονική ανισοκατανομή μεταξύ των εισροών από το εξωτερικό και των εκροών στο εσωτερικό υδραγωγείο.
- Ρυθμίζει την πίεση στα κατάντη, διατηρώντας τη σταθερή, πράγμα που εξασφαλίζεται με την τοποθέτησή της σε κατάλληλο για τον οικισμό υψόμετρο. Αν το υπάρχον υψόμετρο της περιοχής είναι πολύ χαμηλό, η δεξαμενή κατασκευάζεται πάνω σε υποστυλώματα ή πυλώνες από σκυρόδεμα (υδατόπυργος).
- Αποθηκεύει νερό έκτακτης ανάγκης (βλάβη υδραγωγείου, πυρκαγιά).
- Εξασφαλίζει την απρόσκοπτη διάθεση νερού διότι διαθέτει τουλάχιστον 2 θαλάμους, ώστε σε περίπτωση συντήρησης ή επισκευής του ενός, να λειτουργεί ο άλλος και αντίστροφα.

Ως συνέπεια της ρυθμιστικής λειτουργίας της δεξαμενής, η παροχή σχεδιασμού (μέγιστη παροχή) ανάντη είναι μικρότερη από την παροχή σχεδιασμού κατάντη. Μεγάλο υψόμετρο δεξαμενής, εφόσον η τροφοδοσία γίνεται με αντλιοστάσιο, απαιτεί μεγάλο μανομετρικό ύψος, άρα μεγαλύτερο κόστος άντλησης. Μικρό υψόμετρο δεξαμενής προϋποθέτει μικρότερες ενεργειακές απώλειες, άρα απαιτεί επιλογή μεγαλύτερων διαμέτρων, άρα μεγαλύτερο κόστος αγωγών.



Εικόνα 2.3: Δεξαμενή 24ωρης Ρύθμισης

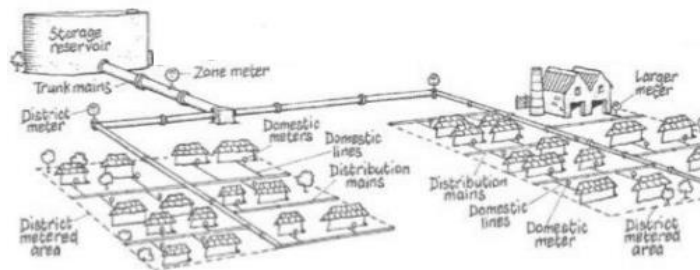
Πηγή: Ιστότοπος: <https://www.shaymurtagh.ie/precast-concrete-products/concrete-storage-tanks/>

2.1.3 Εσωτερικό Υδραγωγείο

Το εσωτερικό υδραγωγείο είναι δίκτυο μεταφοράς και διανομής του νερού από τη δεξαμενή αποθήκευσης στους οικισμούς. Το νερό που ρέει στο δίκτυο διανομής είναι πάντοτε επεξεργασμένο και καθαρό, αφού διατίθεται απευθείας πλέον προς κατανάλωση σε κάθε σπίτι του οικισμού. Η διάταξη του εσωτερικού υδραγωγείου περιλαμβάνει:

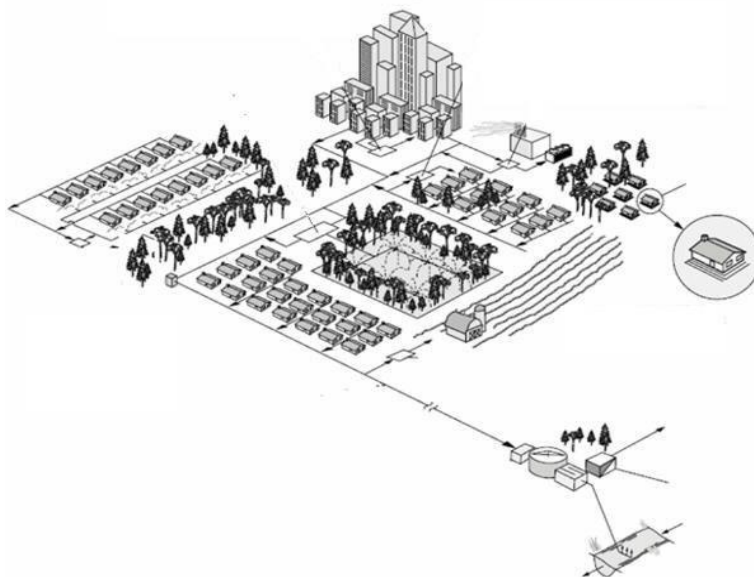
- Τον κεντρικό τροφοδοτικό αγωγό. Αυτός ξεκινά από τη δεξαμενή και φτάνει στην περίμετρο του οικισμού όπου διακλαδίζεται προς όλους τους πρωτεύοντες αγωγούς διανομής.
- Το δίκτυο αγωγών διανομής νερού που καλύπτει πλήρως το οδικό δίκτυο ή και τα πεζοδρόμια.
- Τους κόμβους κατανάλωσης.

Η διαστασιολόγηση του εσωτερικού υδραγωγείου, γίνεται με την υπόθεση της δυσμενέστερης (κατώτατης) στάθμης λειτουργίας της δεξαμενής (Κ.Σ.Υ) και οι αγωγοί του δικτύου είναι πάντοτε υπό πίεση.



Εικόνα 2.4 Εσωτερικό Υδραγωγείο:

Πηγή: Ιστότοπος: <https://www.slideshare.net/arohthombre/water-supply-system-for-town-and-building>



Εικόνα 2.5 Εσωτερικό Υδραγωγείο:

Πηγή: Ιστότοπος: <https://www.slideshare.net/arohthombre/water-supply-system-for-town-and-building>

2.2 Τύποι Δικτύων Ύδρευσης

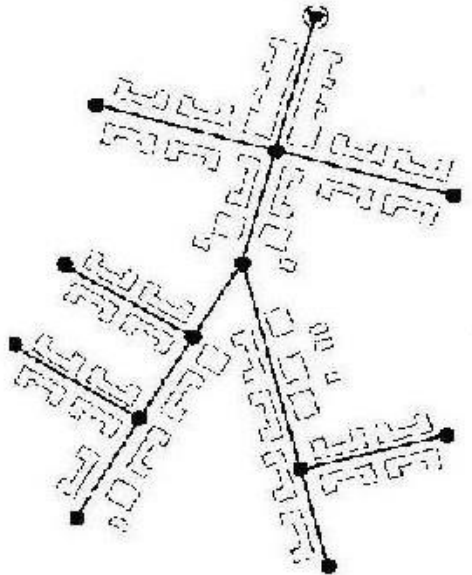
Σε ό,τι αφορά τον τύπο του δικτύου ύδρευσης, διακρίνουμε 4 τύπους:

- τα σειριακά δίκτυα, (ένας βασικός κλάδος, χωρίς άλλους κλάδους ή βρόχους) τα οποία χρησιμοποιούνται σπάνια και σε μικρούς οικισμούς, μιας και η αστοχία σε ένα σημείο έχει ως συνέπεια την καθολική αστοχία των κατάντη κλάδων. Παρουσιάζουν συνεπώς, πολύ μικρή αξιοπιστία ως μορφή δικτιού. Ένα τέτοιο δίκτυο φαίνεται παρακάτω:



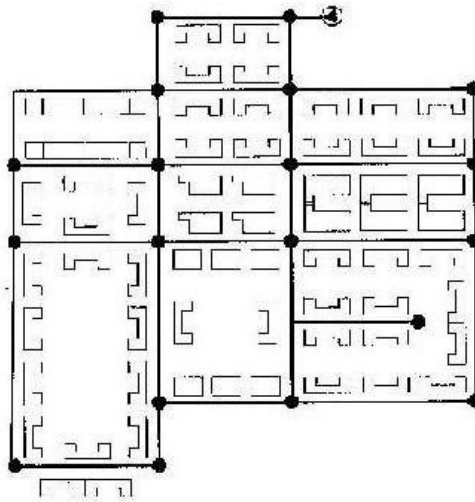
Σχήμα 2.3 :Σειριακό Δίκτυο
Πηγή: Ιστότοπος: <https://www.lennotech.com/small-community-water-supplies.htm>

- τα ακτινωτά δίκτυα, μπορούν να θεωρηθούν ως μια συνένωση σειριακών δικτύων, παρουσιάζοντας τα ίδια μειονεκτήματα με τα σειριακά δίκτυα, ωστόσο σε μικρότερο βαθμό, καθώς η αστοχία ενός απομακρυσμένου κλάδου έχει μικρότερες συνέπειες στη αξιοπιστία του δικτύου. Ένα τέτοιο δίκτυο φαίνεται παρακάτω:



Σχήμα 2.4: Ακτινωτό Δίκτυο
Πηγή: Ιστότοπος:
<https://www.lennotech.com/small-community-water-supplies.htm>

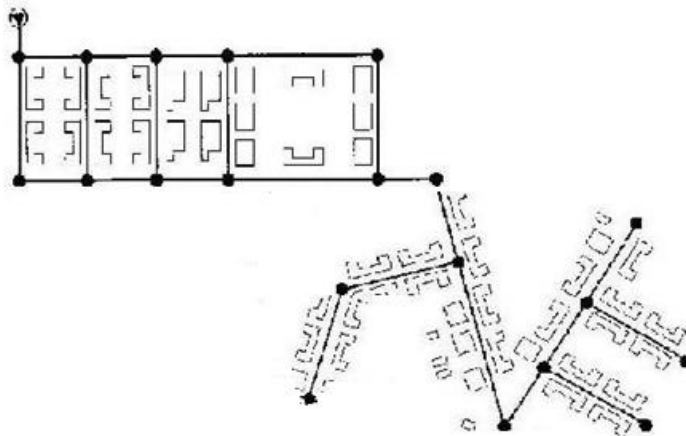
- τα κλειστά (κυκλοφοριακά) δίκτυα απαρτίζονται από βρόχους και έχουν μεγαλύτερη αξιοπιστία από τις παραπάνω μορφές, καθώς αν αστοχήσει ένας αγωγός υπάρχουν εναλλακτικές διαδρομές. Επίσης δεν παρουσιάζουν τα προβλήματα της ποιότητας νερού των ακτινωτών δικτύων, αφού με την αλλαγή της ζήτησης τροποποιείται η κατανομή των παροχών. Ένα ακόμα πλεονέκτημα των κλειστών δικτύων είναι ότι η τροποποίηση των παροχών των κλάδων με την τροποποίηση της ζήτησης δημιουργεί ευνοϊκότερες συνθήκες πίεσης. Ωστόσο, τέτοιας μορφής δίκτυα παρουσιάζουν υπολογιστή δυσκολία για τον προσδιορισμό των παροχών και φυσικά μεγαλύτερο κόστος κατασκευής. Ένα τέτοιο δίκτυο φαίνεται παρακάτω:



Σχήμα 2.5:Κλειστό Δίκτυο

Πηγή: Ισότοπος: <https://www.lennotech.com/small-community-water-supplies.htm>

- τα μεικτά δίκτυα, δηλαδή ακτινωτά και κλειστά δίκτυα είναι αυτά που συναντιούνται στην πράξη, με τα αντίστοιχα τμήματά τους να παρουσιάζουν τα αντίστοιχα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα. Ένα τέτοιο δίκτυο φαίνεται παρακάτω:



Σχήμα 2.6:Μεικτά Δίκτυα

Πηγή: Ισότοπος: <https://www.lennotech.com/small-community-water-supplies.htm>

2.3 Λειτουργικές Απαιτήσεις Δικτύων Ύδρευσης

Τα υδρευτικά δίκτυα έχουν τέσσερεις βασικές λειτουργικές απαιτήσεις, όπως αναπτύσσεται στις επόμενες υποενότητες.

2.3.1 Παροχή Σχεδιασμού

Η ζήτηση νερού σε μια κατοικημένη περιοχή δεν είναι σταθερή. Μεταβάλλεται ανάλογα με την εποχή, την ημέρα και την ώρα της ημέρας. Συνεπώς, η εξασφάλιση της απαιτούμενης παροχής σε κάθε σημείο του δικτύου (αν όχι κάθε λεπτό, τουλάχιστον κάθε ένα χρονικό διάστημα μικρότερο της ώρας) με ικανοποιητική ταχύτητα, είναι μια από τις βασικότερες απαιτήσεις του δικτύου.

Σημειώνεται ότι σε περίπτωση κατά την οποία η διαστασιολόγηση του εξωτερικού υδραγωγείου γινόταν με βάση τη μέγιστη στιγμιαία ή και ωριαία παροχή, το κόστος κατασκευής θα ήταν πολύ μεγάλο. Για το λόγο αυτό παρεμβάλλεται η δεξαμενή 24ωρης ρύθμισης, η οποία έχει χωρητικότητα τέτοια ώστε η εκροή προς κατανάλωση (συμπεριλαμβανομένου ενός όγκου πυρόσβεσης), να ισούται με την αθροιστική εισροή σε ένα 24ωρο. Έτσι, το εξωτερικό υδραγωγείο μεταφέρει παροχή που να καλύπτει την ημερήσια αιχμή (Q_d) και αντίστοιχα το εσωτερικό υδραγωγείο την ωριαία αιχμή (Q_h) (Τσακίρης, 2010).

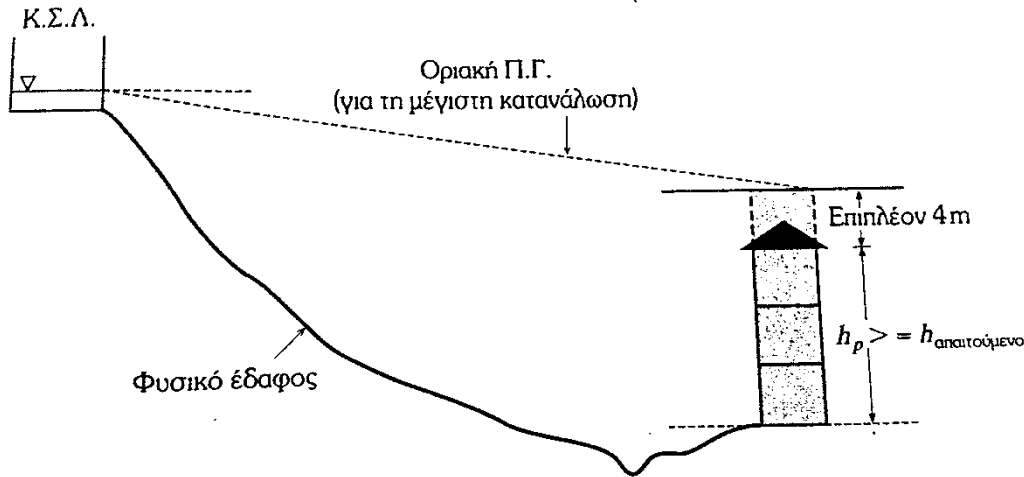
2.3.2 Ύψος Πίεσης

Η διατήρηση της πίεσης (ύψους πίεσης) εντός αποδεκτών ορίων είναι μια ακόμη λειτουργική απαίτηση του δικτύου. Τα όρια αυτά είναι:

- *Μέγιστη αποδεκτή πίεση:* ορίζονται οι 6-7 atm, που αντιστοιχούν σε 60-70 m ισοδύναμου ύψους νερού μεταξύ της ανώτατης στάθμης λειτουργίας της δεξαμενής ρύθμισης και του χαμηλότερου σημείου στο δίκτυο. Στις συνθήκες μέγιστης πίεσης η πιεζομετρική γραμμή στην Α.Σ.Υ είναι σχεδόν οριζόντια και η παροχή μηδενική.
- *Ελάχιστη αποδεκτή πίεση:* δεν ορίζεται απόλυτα, καθώς εξαρτάται από τον κανονισμό λειτουργίας του δικτύου. Για παράδειγμα η ΕΥΔΑΠ ορίζει τις 2 atm. Η ελάχιστη πίεση αναφέρεται σε συνθήκες κατώτατης στάθμης λειτουργίας της δεξαμενής.

Σε κάθε περίπτωση, η απαιτούμενη πίεση στους αγωγούς εξαρτάται από το ύψος των κτιρίων τα οποία εξυπηρετούνται από το δίκτυο, την κατανάλωση νερού στις οικιακές συσκευές και τις ενεργειακές απώλειες στις υδραυλικές εγκαταστάσεις των κτηρίων. Ακόμη, σε συνθήκες έκτακτης λειτουργίας (πυρκαγιάς), η απαιτούμενη πίεση εξαρτάται και από την κατανάλωση των πυροσβεστικών κρουών. Για το λόγο αυτό, απαιτούνται για κάθε κόμβο η ύπαρξη ελάχιστων πιέσεων, οι οποίες για την Ελλάδα ορίζονται ως εξής (Τσακίρης, 2010):

- Μονώροφα: 12 – 15 m
- Διώροφα: 16 – 19 m
- Τριώροφα: 20 – 23 m
- Πολυώροφα κτήρια (ν ορόφους): $p_o = 4 \times (\nu + 1)$



Σχήμα 2.7: Απαιτήσεις ύψους πίεσης λόγω ύψους κτηρίων και μεγάλης κατανάλωσης
Πηγή: (Τσακίρης, 2010)

Γενικά στην περίπτωση της ανεπάρκειας πίεσης σε μια περιοχή του δικτύου, αυτή αντιμετωπίζεται με:

- Αύξηση του υψομέτρου τοποθέτησης της δεξαμενής (όχι πάντα εφικτό)
- Αντικατάσταση των κρίσιμων κλάδων ανάντη από αγωγούς μεγαλύτερης διαμέτρου. Διαφορετικά, τοποθέτηση παράλληλων ανακουφιστικών αγωγών)
- Τοποθέτηση αντλιών, μόνο στην περίπτωση που έχουν εξαντληθεί οι παραπάνω εναλλακτικές

2.3.3 Υδραυλικό Πλήγμα

Η προστασία από υδραυλικό πλήγμα είναι μια από τις σημαντικότερες λειτουργικές απαιτήσεις ενός υδραυλικού δικτύου. Το φαινόμενο αυτό εμφανίζεται κατά την απότομη εκκίνηση ή διακοπή της ροής, όπου υπάρχει κίνδυνος εμφάνισης εξαιρετικά μεγάλων υποπιέσεων και υπερπιέσεων, που προκαλούν μεγάλες φθορές στο δίκτυο. Κατά κύριο λόγο υδραυλικό πλήγμα αντιμετωπίζουν κατεξοχήν τμήματα που καταλήγουν σε τυφλό άκρο (ακτινωτά). Οι αγωγοί και η κλάση τους επιλέγονται ώστε να μπορούν ασφαλώς να παραλαμβάνουν τις υπερπιέσεις λόγω του πλήγματος και οι οποίες προκύπτουν από σχετικούς υδραυλικούς υπολογισμούς. Σε ότι αφορά τις διαμέτρους των σωληνώσεων επιλέγονται μεγαλύτερες ή ίσες με 90 mm.

2.4 Αρχές Υδραυλικής Κλειστών Αγωγών Υπό Πίεση

Η ροή του νερού σε έναν αγωγό μεταβάλλεται με το χώρο και το χρόνο. Για το σχεδιασμό των δικτύων με κλειστούς υπό πίεση αγωγούς, τις περισσότερες φορές γίνεται η υπόθεση της μόνιμης ομοιόμορφης ροής.

Μόνιμη ή σταθερή είναι η ροή στην οποία η ταχύτητα παραμένει σταθερή και αμετάβλητη σε όλα τα σημεία συναρτήσει του χρόνου, αν και μπορεί να μεταβάλλεται με τη θέση (Μαντόγλου, 2009). Ειδικά αν η μέση ταχύτητα είναι σταθερή σε μέγεθος και διεύθυνση καθ' όλο το μήκος του αγωγού, πρόκειται για ομοιόμορφη μόνιμη ροή. Για να επιτευχθεί, θα πρέπει ο αγωγός να είναι ευθύς, με σχετικά μεγάλο μήκος και με σταθερή διατομή και κλίση.

Σε συνθήκες μόνιμης και ομοιόμορφης ροής, ισχύουν οι παρακάτω 3 βασικές αρχές:

- η Αρχή Διατήρησης της Μάζας
- η Αρχή Διατήρησης της Ενέργειας
- η Αρχή διατήρησης της Ορμής

2.4.1 Η Αρχή Διατήρησης Της Μάζας (Εξίσωση Συνέχειας)

Σε ένα κόμβο διατομής A , χωρίς αποθήκευση, το άθροισμα των παροχών που εισρέουν σε αυτόν είναι ίσο με το άθροισμα των παροχών που εκρέουν από αυτόν και με την παροχή που καταναλώνεται στον κόμβο.

$$\sum Q_{in} = \sum Q_{out} \rightarrow \quad (2.1)$$

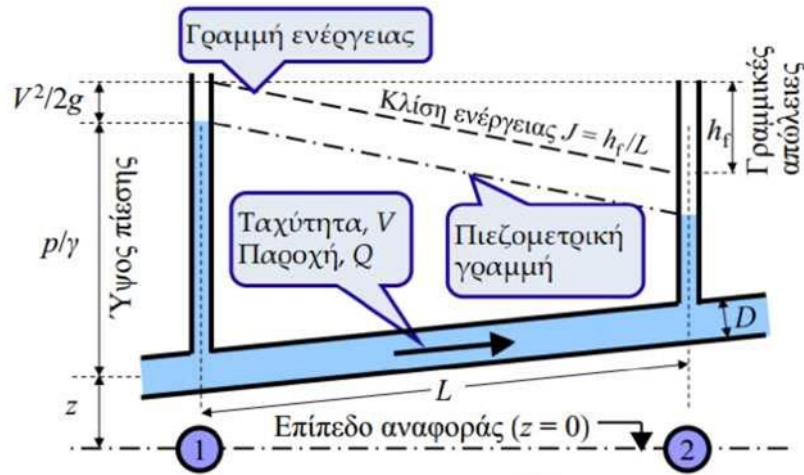
$$\sum V_{in}A_{in} = \sum V_{out}A_{out} \quad (2.2)$$

2.4.2 Αρχή Διατήρησης Της Ενέργειας

Σε ένα κόμβο το ύψος της γραμμής ενέργειας είναι το ίδιο ανεξάρτητα από το ποια διαδρομή ακολουθεί το νερό για να φτάσει σε αυτόν. Από το Σχήμα 2.8 είναι εμφανές ότι το ύψος της γραμμής ενέργειας H_1 σε μία θέση 1 ισούται με το ύψος ενέργειας H_2 σε μία κατάντη θέση 2 συμπεριλαμβανομένων των απωλειών ενέργειας στη διαδρομή 1-2 (όλα σε μονάδες μήκους):

$$H_1 = H_2 + \sum h_{f(1-2)} \rightarrow \quad (2.3)$$

$$Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{g} = Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{g} + \sum h_{f(1-2)} \quad (2.4)$$



Σχήμα 2.8: Αρχή διατήρησης ενέργειας στον αγωγό 1-2

Πηγή: (Κουτσογιάννης & Ευστρατιάδης, Σημειώσεις μαθήματος «Αστικά Υδραυλικά Έργα», 2007)

2.4.3 Αρχή Διατήρησης Της Ορμής

Για ένα αγωγό με ομοιόμορφη μόνιμη ροή ισχύει:

$$\sum F_x = \rho \times Q \times (V_x (\text{εκροής}) - V_x (\text{εκροής})) \quad (2.5)$$

$$\sum F_y = \rho \times Q \times (V_y (\text{εκροής}) - V_y (\text{εκροής})) \quad (2.6)$$

Όπου οι δυνάμεις F δρουν στην επιφάνεια του όγκου (βάρος, τριβές κτλ).

2.5 Στοιχεία Υδραυλικής Αγωγών Υπό Πίεση

Σε κάθε κλάδο του δικτύου με ροή νερού εμφανίζονται γραμμικές απώλειες, που υπολογίζονται συναρτήσει της παροχής από την εξίσωση της γενικής μορφής:

$$h_f = R \times Q^n \quad (2.7)$$

Οι τιμές των παραμέτρων R και n αλλάζουν αναλόγως της εξίσωσης που χρησιμοποιείται (Larock, Jeppson, & Watters, 1999). Στον παρακάτω πίνακα (Τσακίρης, 2010), παρουσιάζονται συνοπτικά οι εξισώσεις απωλειών φορτίου για κυκλικούς αγωγούς υπό πίεση, όπως είναι αυτοί που εξετάζουμε στην παρούσα εργασία.

	Εξίσωση γραμμικών απωλειών ενέργειας	Αντίσταση αγωγού (διεθνές σύστημα μονάδων)	Εκθέτης της εξίσωσης
Darcy-Weisbach	$h_f = R \times Q^n$	$R = \frac{8fL}{g\pi^2 D^5}$ Μεταβλητή με την παροχή	$n = 2$
Darcy-Weisbach Προσέγγιση λογαριθμικής ευθείας	$h_f = R \times Q^n$	$R = \frac{8La}{g\pi^2 D^5}$ Μη μεταβλητή με την παροχή	$n = 2 - b$ (a,b προκύπτουν από εκτίμηση του εύρους της περιοχής)
Hazen-Williams	$h_f = R \times Q^n$	$R = \frac{10,7L}{C^{1.852} D^{4.87}}$ Μη μεταβλητή με την παροχή	$n = 1.852 < 2$
Manning	$h_f = R \times Q^n$	$R = \frac{10.29n_{MANNING}^2 L}{D^{5.33}}$ Μη μεταβλητή με την παροχή	$n = 2$

Πίνακας 2.1: Προσδιορισμός των γραμμικών απωλειών για κυκλικούς αγωγούς υπό πίεση.
Πηγή: (Τσακίρης, 2010)

Σημειώνεται ότι ο συντελεστής γραμμικών απωλειών (συντελεστής τριβής) f υπολογίζεται συναρτήσει του αριθμού Reynolds ($R_e = \frac{VD}{\nu}$) και της ισοδύναμης τραχύτητας k/D . Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι τιμές του συντελεστή τριβής f ανάλογα με το είδος ροής (Τσακίρης, 2010).

Είδος Ροής	Εξίσωση f	Περιοχή ισχύος
Στρωτή	$f = \frac{64}{R_e}$	$R_e < 2100$
Υδραυλικά λεία περιοχή	$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{2.51}{R_e \sqrt{f}} \right)$	$(k/D) \rightarrow 0, R_e > 4000$
Μεταβατική Περιοχή	$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{k}{3.7D} + \frac{2.51}{R_e \sqrt{f}} \right)$	$R_e > 4000$
Υδραυλικά τραχεία περιοχή	$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{k}{3.7D} \right)$	$R_e > 4000$ Σημαντικοί αριθμοί R_e και σημαντική τραχύτητα

Πίνακας 2.2: Τιμές του συντελεστή τριβής f .
Πηγή: (Τσακίρης, 2010)

Πέραν των γραμμικών απωλειών, στα δίκτυα διανομής δημιουργούνται και τοπικές απώλειες, στις συνδέσεις των αγωγών και τις στροφές (τυπικές τοπικές απώλειες), καθώς και στις θέσεις των ειδικών συσκευών και διατάξεων (ειδικές τοπικές απώλειες). Οι κυριότερες αιτίες είναι (Τσακίρης, 2010):

- Απότομη διαστολή/συστολή της διατομής του αγωγού
- Βαθμιαία διαστολή/συστολή της διατομής του αγωγού
- Αλλαγή κατεύθυνσης του αγωγού
- Μη ευθύγραμμη τοποθέτηση του αγωγού.

Στην πράξη η διαταραχή αυτής της ροής δεν περιορίζεται σε ένα σημείο και το φαινόμενο συνοδεύεται από την ανάπτυξη στροβίλων αποκλίνουσας ροής (Νουτσόπουλος & Χριστοδούλου, 1996). Οι τοπικές απώλειες εκφράζονται με όρους ύψους κινητικής ενέργειας.

2.6 Ζήτηση Σε Νερό Για Οικιακή Χρήση

Κατά τη Στρατηγική Διαχείριση των Υδατικών Πόρων, το κρίσιμο μέγεθος είναι η εκτίμηση των αναγκών σε νερό για διάφορους τομείς δραστηριοτήτων. Η λέξη «ζήτηση» (water demand) τείνει να αντικαταστήσει τον όρο «ανάγκες σε νερό» (water requirement) γιατί είναι δύσκολο σε κάθε χρήση να εκτιμάται με ακρίβεια και αντικειμενικότητα η ποσότητα νερού που απαιτείται για κάποια χρονική περίοδο χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η υποκειμενική άποψη των χρηστών (Τσακίρης, 2010).

Η οικιακή χρήση αποτελεί συνιστώσα της αστικής ζήτησης και παρουσιάζει έντονη διακύμανση από περιοχή σε περιοχή, καθώς επηρεάζεται από πλήθος παραγόντων, όπως τη διαθεσιμότητα υδατικών πόρων, τις συνήθειες και τον τρόπο ζωής των κατοίκων ή το εφαρμοζόμενο σύστημα τιμολόγησης.

Επιμέρους δραστηριότητες της οικιακής χρήσης είναι (Τσακίρης, 2010):

Τομέας/Χρήση	Δραστηριότητα
Οικιακή	<ul style="list-style-type: none"> • Πλύσιμο πιάτων και μαγείρεμα • Τουαλέτα-μπάνιο/ντους • Πλύσιμο ρούχων • Καθαρισμός σπιτιού • Πότισμα κήπου • Πλύσιμο αυτοκινήτου

Πίνακας 2.3: Δραστηριότητες της οικιακής χρήσης του νερού.
Πηγή (Τσακίρης, 2010)

2.6.1 Πρόβλεψη Μελλοντικού Πληθυσμού

Η οικιακή χρήση είναι η μεγαλύτερη συνιστώσα της συνολικής κατανάλωσης και παρουσιάζει έντονη διακύμανση από περιοχή σε περιοχή, καθώς επηρεάζεται από πλήθος παραγόντων, όπως τη διαθεσιμότητα υδατικών πόρων, τις συνήθειες και τον τρόπο ζωής των κατοίκων ή το εφαρμοζόμενο σύστημα τιμολόγησης.

Μια απλοποιημένη διαδικασία υπολογισμού της οικιακής ζήτησης είναι αυτή που στηρίζεται στην πρόβλεψη του πληθυσμού για το χρονικό ορίζοντα σχεδιασμού του έργου.

Για την εκτίμηση του μελλοντικού μόνιμου πληθυσμού σε βάθος n ετών συνήθως γίνεται χρήση μίας από τις παρακάτω μεθόδους (Τσακίρης, 2010):

a) Σταθερή μεταβολή ανά έτος (γραμμική αύξηση):

$$P_v = P_o + vb \quad (2.8)$$

Όπου:

- P_o : αρχικός πληθυσμός
- P_v : πληθυσμός μετά από n έτη
- b : η σταθερή διαφορά μεταξύ των δύο πληθυσμών

b) Σταθερή σχετική μεταβολή ανά έτος (γεωμετρική αύξηση):

$$P_v = a^v P_o \quad (2.9)$$

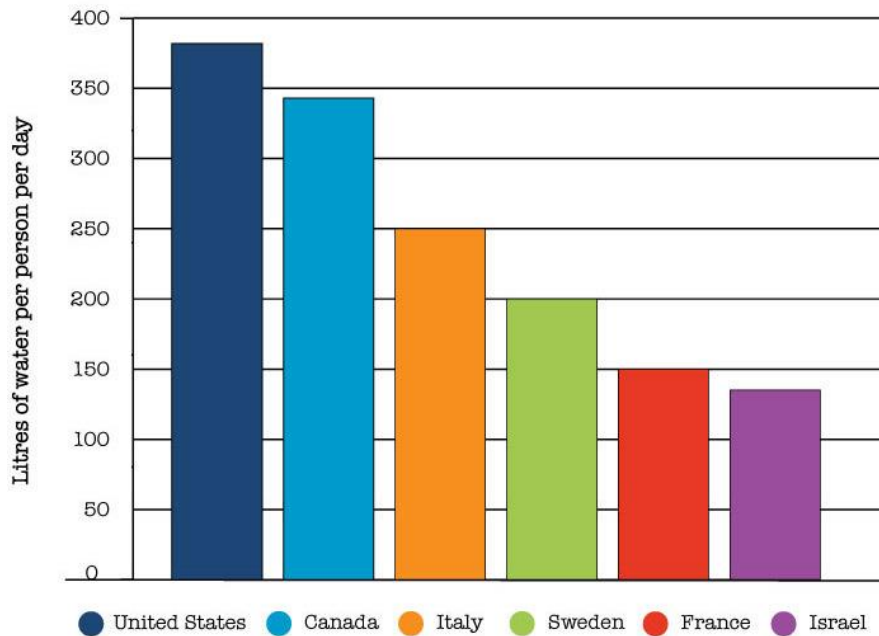
Όπου:

- P_0 : αρχικός πληθυσμός
- P_n : πληθυσμός μετά από n έτη
- $a = 1 + \gamma$
- γ (%): σταθερό ποσοστό αύξησης πληθυσμού

2.6.2 Εκτίμηση Παροχής

Γενικά, η μέση ημερήσια ζήτηση των καταναλωτών για οικιακή χρήση υπολογίζεται με την υπόθεση μιας σταθερής ανά άτομο κατανάλωσης ανά κάτοικο (q). Πιο αναλυτικά, η μέση αυτή ημερήσια κατανάλωση εκφράζει τον όγκο του νερού που αντιστοιχεί σε κάθε κάτοικο μιας περιοχής κατά τη διάρκεια ενός 24ώρου και προκύπτει από τη διαίρεση του καταναλισκόμενου νερού μιας πόλης κατά τη διάρκεια ενός χρόνου δια του αντίστοιχου αριθμού των κατοίκων. Εκφράζεται σε λίτρα (L) ανά κάτοικο και ημέρα και αποτελεί βασικό μέγεθος μιας και οι χρονικές διακυμάνσεις της κατανάλωσης εκφράζονται ως συνάρτηση αυτής.

Για τις ελληνικές συνθήκες, η μέση αυτή ημερήσια κατανάλωση κυμαίνεται από 200 – 350 $L/ημέρα \times$ κάτοικο (Τσακίρης, 2010). Για λόγους σύγκρισης παρατίθεται το Σχήμα 2.9, όπου φαίνεται η έντονη μεταβλητότητα της κατά κεφαλήν κατανάλωσης στο κόσμο.

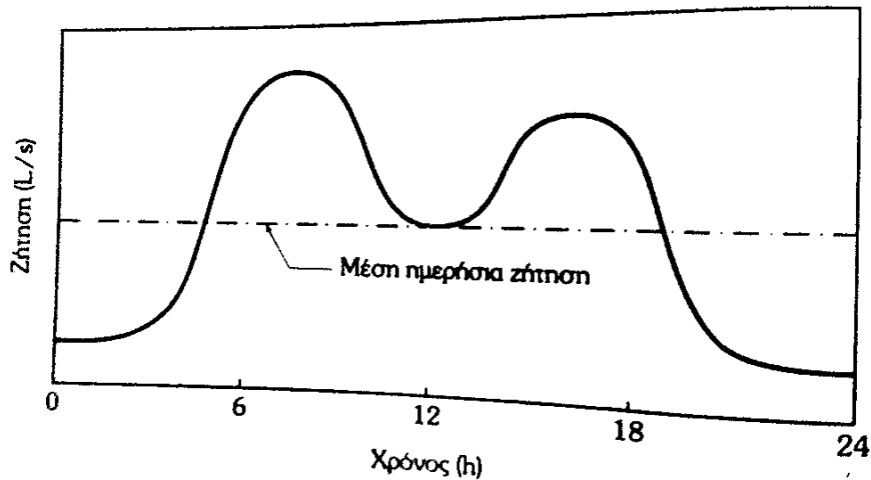


Σχήμα 2.9: Μέση ημερήσια κατά κεφαλή κατανάλωση (Πηγή: Environment Canada)

Επίσης η ζήτηση για πυροσβεστική χρήση υπολογίζεται με βάση το πλήθος του οικισμού και σύμφωνα με έναν εμπειρικό κανόνα, οι ελάχιστες απαιτήσεις για παροχή κατάσβεσης είναι 1 κρουνός των 5 L/s ανά 500 άτομα, για λειτουργία όχι λιγότερη από 4 ώρες (Τσακίρης, 2010).

2.6.3 Πολλαπλασιαστές Ζήτησης

Επιπροσθέτως, η ζήτηση κάθε κατηγορίας καταναλωτή παρουσιάζει διακύμανση στις διάφορες χρονικές κλίμακες (ημερήσιες διακυμάνσεις, εβδομαδιαίες διακυμάνσεις, εποχιακές διακυμάνσεις). Για παράδειγμα στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται μια τυπική ημερήσια διακύμανση της ζήτησης για οικιακή χρήση.



Εικόνα 2.6: Τυπική ημερήσια διακύμανση της ζήτησης για οικιακή χρήση. Πηγή: (Τσακίρης, 2010)

Προκειμένου ένα σύστημα υδροδότησης να ικανοποιεί τη ζήτηση καθόλα τη διάρκεια του 24ώρου θα πρέπει να εξασφαλίζει παροχές πολύ μεγαλύτερες αυτών που προκύπτουν από τη μέση ημερήσια ζήτηση, (προκύπτει από την ετήσια/εποχιακή διακύμανση) και τη μέγιστη ωριαία ζήτηση (προκύπτει από την ημερήσια διακύμανση). Τόσο η μέγιστη ημερήσια, όσο και η μέγιστη ωριαία ζήτηση προκύπτουν συνήθως με την υιοθέτηση πολλαπλασιαστών (peaking factors). Με βάση λοιπόν, την ημερήσια παροχή (Q_d) έχουμε (Τσακίρης, 2010):

$$\begin{cases} Q_d^{max} = F_1 \times Q_d & \mu\epsilon \quad F_1 = [1.2 \div 3.0] \end{cases} \quad (2.10)$$

$$\begin{cases} Q_h^{max} = F_{ολ} \times Q_d & \mu\epsilon \quad F_{ολ} = [3.0 \div 9.0] \end{cases} \quad (2.11)$$

Με βάση την WSAA (Αυστραλία) (2002) οι πολλαπλασιαστές της ζήτησης εξαρτώνται από τον πληθυσμό που εξυπηρετείται και είναι οι εξής:

- Πολλαπλασιαστής για Q_d^{max} , F_1

$$\begin{cases} F_1 = 1.50 & \text{για πληθυσμό πάνω από 10000} \end{cases} \quad (2.12)$$

$$\begin{cases} F_1 = 2 & \text{για πληθυσμό κάτω από 2000} \end{cases} \quad (2.13)$$

- Πολλαπλασιαστής για Q_h^{max} από την Q_d^{max} , F_2

$$\begin{cases} F_2 = 2 & \text{για πληθυσμό πάνω από 10000} \\ F_2 = 5 & \text{για πληθυσμό κάτω από 2000} \end{cases} \quad \begin{matrix} (2.14) \\ (2.15) \end{matrix}$$

Επίσης, ισχύει ότι:

$$F_{ολ} = F_1 \times F_2 \quad (2.16)$$

Επιπλέον, με βάση μια γενική εκθετική σχέση, μπορεί να προσδιοριστεί ο συνολικός πολλαπλασιαστής, σύμφωνα με τον Trifunovic, 2006.

$$F_{ολ} = F_1 \times F_2 = 126 \times e^{-0.9 \times \log N} \quad (2.17)$$

Όπου:

N : είναι ο αριθμός των καταναλωτών.

Κεφάλαιο 3

Υλικά Σωληνώσεων Υδραυλικών Έργων

Σκοπός του παρόντος κεφαλαίου είναι η μελέτη και η σύγκριση των υλικών σωληνώσεων ύδρευσης από πλευράς οικονομικότητας. Συγκεκριμένα, θα μελετηθούν σωλίνες από Πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας (PE100), από μη πλαστικοποιημένο, από Πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC), από Ελατό Χυτοσίδηρο (Ductile Iron), από Χάλυβα και από Υαλοπλισμένο Πολυμερές (GRP).

3.1 Γενικά Στοιχεία Υλικών Σωληνώσεων

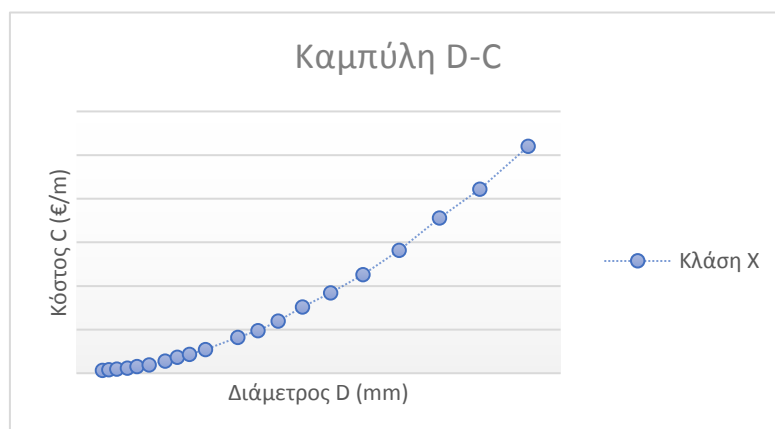
Σύμφωνα με το εγκεκριμένο τιμολόγιο υδραυλικών έργων όπως αυτό διαμορφώθηκε από το Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής (ΥΠΕΚΑ), η τιμή των διαφόρων σωλήνων ανά μονάδα μήκους διαφοροποιείται ανάλογα με ύψος του προϋπολογισμού του έργου, όπως παρακάτω:

- 1^η κατηγορία: έργα <1.5 εκ. €
- 2^η κατηγορία: έργα 1.5 – 5.0 εκ. €
- 3^η κατηγορία: έργα >5 εκ. €

Όσο πιο μεγάλη είναι η κατηγορία του έργου, τόσο πιο μαζική είναι η ενσωμάτωση στο έργο σωληνώσεων, καθιστώντας μικρότερο το κόστος ανά μονάδα προϊόντος.

Όσον αφορά τα ίδια τα υλικά των σωληνώσεων ύδρευσης, διακρίνουμε τα πλαστικά (PVC, HDPE), τα μεταλλικά (Χυτοσίδηρος, Χάλυβας), ενώ τα τελευταία χρόνια έχει εισέλθει στην αγορά το Υαλοπλισμένο Πολυμερές (GRP). Επίσης, όλα τα υλικά αυτά κυκλοφορούν στην αγορά σε μια ποικιλία κλάσεων και διαμέτρων.

Σημειώνεται ότι η διάμετρος αποτελεί έναν καθοριστικό παράγοντα σχετικά με το κόστος του σωλήνα. Είναι εμφανές ότι όσο μεγαλώνει η διάμετρος, τόσο αυξάνει και το κόστος αγοράς του σωλήνα. Το παρακάτω ποιοτικό διάγραμμα δείχνει την εξέλιξη του κόστους με την αύξηση της διαμέτρου:



Σχήμα 3.2: Καμπύλη Κόστους - Διαμέτρου

Ωστόσο, η αύξηση της διαμέτρου συνεπάγεται και μείωση των ενεργειακών απωλειών, δηλαδή μικρότερο κόστος για να διατηρηθεί η πιεζομετρική γραμμή στα απαιτούμενα επίπεδα. Η επιλογή συνεπώς της κατάλληλης διαμέτρου ενός σωλήνα πρέπει να γίνεται με μεγάλη προσοχή καθώς παίζει σημαντικό ρόλο τόσο στη διαμόρφωση του κόστους, όσο και στην αποτελεσματικότητα του δικτύου.

Στις ενότητες που ακολουθούν παρουσιάζονται αναλυτικά τα διαφορετικά υλικά των αγωγών ύδρευσης.

3.2 Πλαστικοί Αγωγοί Στα Δίκτυα Ύδρευσης

Βασικά χαρακτηριστικά των πλαστικών αγωγών είναι η ευκαμψία, το μικρό τους βάρος, η δυνατότητα εύκολης σύνδεσης και η χαμηλή τους τιμή σε σχέση με τους αντίστοιχους μεταλλικούς. Τα παραπάνω στοιχεία, καθιστούν τους πλαστικούς σωλήνες προτιμητέους για δίκτυα μικρών διαμέτρων σε οικισμούς λίγων κατοίκων με μικρές σχετικά απώλειες φορτίων. Συνηθέστεροι πλαστικοί σωλήνες είναι οι σωλήνες από Πολυαιθυλένιο (HDPE) και από Πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC). Σημειώνεται ότι στους πλαστικούς αγωγούς η ονομαστική διάμετρος ταυτίζεται με την εξωτερική.

3.2.1 Σωλήνες από Πολυαιθυλένιο (PE)

Το Πολυαιθυλένιο (PE) είναι το πιο κοινό πλαστικό. Παράγεται από τον πολυμερισμό του αιθυλενίου και είναι το απλούστερο πολυμερές. Η εκάστοτε μέθοδος πολυμερισμού καθορίζει και τις ιδιότητες του πολυαιθυλενίου. Συγκεκριμένα, υπάρχουν 3 είδη PE (Δανηλάτος, 1994):

- *Πολυαιθυλένιο χαμηλής πυκνότητας (LDPE)*: εφαρμόζεται σε δίκτυα ύδρευσης, άρδευσης και σε αγωγούς μεταφοράς νερού
- *Πολυαιθυλένιο μέσης πυκνότητας (MDPE)*: χρησιμοποιείται σε αυτόματους αρδευτές
- *Πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας (HDPE)*: χρησιμοποιείται για μεταφορά νερού ή άλλων ρευστών υπό πίεση τόσο σε επιφανειακά δίκτυα όσο και σε υπόγειους και υποβρύχιους αγωγούς

Οι σωλήνες πολυαιθυλενίου χρησιμοποιούνται κυρίως στην άρδευση και τη μεταφορά νερού υπό πίεση. Ωστόσο, επειδή η εργασία αυτή πραγματοποιείται δίκτυα μεταφοράς νερού υπό πίεση, η βαρύτητα δίνεται στο πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας HDPE.



Εικόνα 3.1: Σωλήνες PE Διαφορετικών Διαμέτρων
Πηγή: Ιστότοπος <http://www.captainpoly.com>



Εικόνα 3.2: Σωλήνες PE
Πηγή: Ιστότοπος <https://www.indiamart.com>



Εικόνα 3.3: Σωλήνες PE
Πηγή: Ιστότοπος <https://www.alibaba.com>

3.2.2 Σωλήνες Από Μη Πλαστικοποιημένο Πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC)

Το Πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC) είναι το τρίτο πιο διαδεδομένο παραγόμενο συνθετικό πλαστικό πολυμερές, μετά το πολυαιθυλένιο και το πολυπροπυλένιο. Παράγεται με πολυμερισμό του μονομερούς χλωροαιθενίου (VCM). Το PVC έρχεται με δύο βασικές μορφές:

- *Δύσκαμπτο*: Με κυριότερη χρήση στις σωλήνες ύδρευσης και άρδευσης δικτύων υπό πίεση.
- *Εύκαμπτο*: Με κυριότερη χρήση στις σωλήνες άρδευσης και αποχέτευσης.

Το PVC είναι αρκετά ελκυστικό ως υλικό, καθώς κύρια χαρακτηριστικά του είναι το χαμηλό βάρος, το χαμηλό κόστος και η χαμηλή συντήρηση. Κατά την εγκατάσταση του απαιτείται μεγάλη προσοχή, καθώς πρέπει να στερεωθεί προσεκτικά για να εξασφαλιστεί ότι δεν θα συμβεί διαμήκης θραύση και κάμψη. Επιπλέον, η ένωση των PVC σωλήνων μεταξύ τους γίνεται είτε με χρήση διάφορων κολλών με διαλυτικό (solvent cements), είτε με τήξη με θέρμανση (butt-fusion process, παρόμοια με την ένωση σωλήνων HDPE). Δημιουργούνται έτσι μόνιμοι σύνδεση, οι οποίοι είναι στεγανοποιημένοι ως προς τη διαρροή.



Εικόνα 3.4: Σωλήνες PVC
Πηγή: Ιστότοπος <https://www.thinkvacuums.com>



Εικόνα 3.5: Σωλήνες PVC Διαφορετικών Διαμέτρων
Πηγή: Ιστότοπος <http://www.greenhousemegastore.com>

Τα δίκτυα υπό πίεση από πλαστικούς σωλήνες PVC προδιαγράφονται στην Ελληνική τεχνική Προδιαγραφή ΕΛΟΤ ΤΠ 1501-08-06-02-01: 2009

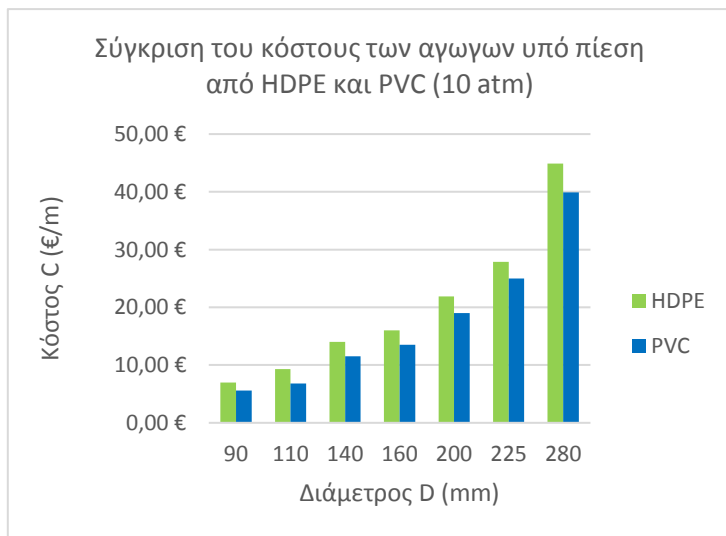
3.2.3 Σύγκριση HDPE - PVC

Συγκρίνοντας τα δύο αυτά υλικά, τα οποία έχουν τον ίδιο συντελεστή τραχύτητας (ο οποίος επηρεάζει πάρα πολύ τις απώλειες του δικτύου) διαπιστώνουμε τα εξής:

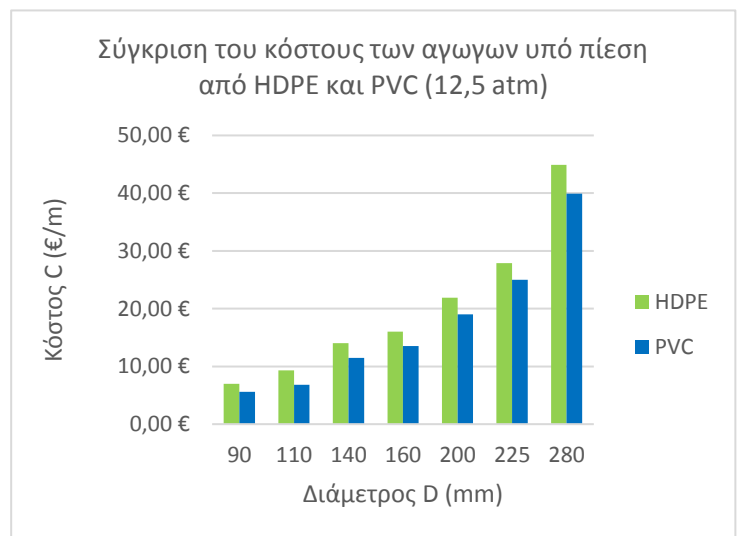
- 1) Οι διαθέσιμες κλάσεις για το HDPE είναι 5 (10, 12.5, 16, 20, 25 atm), ενώ για το PVC είναι 4 (6, 10, 12.5, 16 atm).
- 2) Το εύρος ονομαστικών διαμέτρων στις οποίες παράγονται οι HDPE αγωγοί είναι 32-560 mm, ενώ για τους PVC είναι 50-500 mm.
- 3) Από άποψη κόστους, για τις κοινές διαμέτρους και κλάσεις τα δεδομένα έχουν ως εξής (έργα 3ης κατηγορίας):

ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ D (mm)	ΚΟΣΤΟΣ (€/m) έργων 3ης κατηγορίας					
	10 atm		12,5 atm		16 atm	
	HDPE	PVC	HDPE	PVC	HDPE	PVC
90	7,00 €	5,60 €	8,40 €	6,50 €	8,80 €	7,20 €
110	9,30 €	6,80 €	12,00 €	8,20 €	13,00 €	9,10 €
140	14,00 €	11,50 €	17,00 €	13,00 €	20,00 €	15,00 €
160	16,00 €	13,50 €	20,00 €	16,00 €	25,00 €	20,00 €
200	21,90 €	19,00 €	29,90 €	23,90 €	37,90 €	27,90 €
225	27,90 €	25,00 €	35,00 €	29,00 €	44,90 €	35,00 €
280	44,90 €	39,90 €	60,00 €	47,90 €	70,00 €	58,00 €

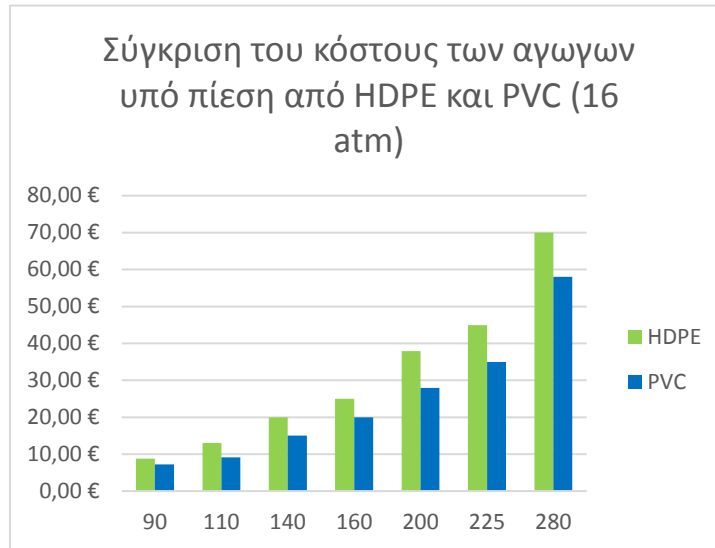
Πίνακας 3.1: Σύγκριση του κόστους των αγωγών υπό πίεση από HDPE και PVC
Πηγή: Τιμολόγιο Υδραυλικών Έργων ΥΠΕΚΑ, 2013



Σχήμα 3.2: Διάγραμμα Κόστους HDPE – PVC (10 atm)



Σχήμα 3.3: Διάγραμμα Κόστους HDPE – PVC (12,5 atm)



Σχήμα 3.4: Διάγραμμα Κόστους HDPE – PVC (16 atm)

Από τα διαγράμματα διαπιστώνουμε ότι το PVC για όλες τις διαφορετικές διαμέτρους και κλάσεις έχει σταθερά χαμηλότερη τιμή από το HDPE.

3.3 Μεταλλικοί Αγωγοί Στα Δίκτυα Ύδρευσης

Οι πλαστικοί σωλήνες παρά το χαμηλό τους κόστος, συγκρινόμενο με το κόστος σωληνών από άλλο υλικό, δεν είναι κατάλληλοι για μεγάλες πιέσεις και διαμέτρους σε ένα δίκτυο. Διαπιστώνουμε και από το εγκεκριμένο τιμολόγιο υδραυλικών έργων του ΥΠΕΚΑ ότι η χρήση αυτών φθάνει μέχρι τις ονομαστικές διαμέτρους(DN) Φ500 για σωλήνα PVC και Φ560 για σωλήνα HDPE. Για το λόγο αυτό σε περιπτώσεις μεγάλων πιέσεων και διαμέτρων εφαρμόζονται σωλήνες από χάλυβα ή ελατό χυτοσίδηρο (μεταλλικοί) ή τα τελευταία χρόνια από GRP(Glass Reinforced Polymers).

3.3.1 Σωλήνες από Ελατό Χυτοσίδηρο (Ductile Iron)

Ο χυτοσίδηρος είναι κράμα σιδήρου με άνθρακα σε περιεκτικότητα μεγαλύτερη από 2,1% κατά βάρος. Ο πρωτογενής χυτοσίδηρος παράγεται με αναγωγή σιδηρομεταλλευμάτων σε υψικάμινο και χύνεται στην μορφή μικρών πλινθωμάτων, που αποκαλούνται «κελώνες» (αγγλ., pig iron).



Εικόνα 3.6: Πλινθώματα χυτοσίδηρου
Πηγή: Ιστότοπος <http://spae.ir/home/en/>

Εάν στον φαιό χυτοσίδηρο αυξηθούν τα ποσοστά μαγνησίου και γραφίτη, τότε η μορφή του γραφίτη μεταλλάσσεται από φυλλίδια σε σφαιρίδια, σχηματίζοντας έτσι το χυτοσίδηρο σφαιροειδούς γραφίτη ή αλλιώς ελατό χυτοσίδηρο (Ductile Iron).



Εικόνα 3.7: Σωλήνες Ελατού Χυτοσίδηρου Διαφορετικών Διαμέτρων
Πηγή: Ιστότοπος <http://www.karon.com>

Από τα δεδομένα του τιμολογίου υδραυλικών έργων του ΥΠΕΚΑ, οι αγωγοί από Ελατό Χυτοσίδηρο και για τις 3 κατηγορίες έργων, διατίθενται σε:

- Εύρος ονομαστικών διαμέτρων 100-1200 mm
- Κλάσεις C 25, C30 και C40 κατά ΕΛΟΤ EN 545. Η κλάση πίεσεως C ταυτίζεται με την μέγιστη υδροστατική πίεση συνεχούς λειτουργίας PFA.

3.3.2 Σωλήνες Ελικοειδούς Ραφής Από Χάλυβα

Ο χάλυβας (κοινώς ατσάλι) είναι κράμα σιδήρου και άνθρακα. Περιέχει λιγότερο από 2.06% w/w άνθρακα, λιγότερο από 1% μαγγάνιο και πολύ μικρά ποσοστά πυριτίου, φωσφόρου, θείου και οξυγόνου.

Στο εμπόριο παράγονται καλυβδοσωλήνες ελικοειδούς ραφής με 3 είδη προστατευτικής επίστρωσης:

- Εσωτερική επένδυση με λιθανθρακόπισσα ασφατικής βάσης και εξωτερική επένδυση με λιθανθρακόπισσα ασφατικής βάσης και διπλή στρώση υαλόπανου. (κωδικός τιμολογίου ΥΠΕΚΑ 12.18.01)
- Εσωτερική επένδυση με εποξειδική ρητίνη και εξωτερική επένδυση με λιθανθρακόπισσα ασφατικής βάσης και φύλλο πολυαιθυλενίου. (κωδικός τιμολογίου ΥΠΕΚΑ 12.18.02)
- Εσωτερική επένδυση με σκυρόδεμα εφαρμοζόμενο φυγοκεντρικά (τσιμεντοκονίαμα) και εξωτερική επένδυση με λιθανθρακόπισσα ασφατικής βάσης και φύλλο πολυαιθυλενίου (κωδικός τιμολογίου ΥΠΕΚΑ 12.18.03)

Η παραγωγή καλυβδοσωληνών έχει δώσει βάρος στην εξωτερική επένδυση με πολυαιθυλένιο και την εσωτερική με εποξειδική ρητίνη, επεκτείνοντας έτσι τη

διάρκεια ζωής του σωλήνα και αυξάνοντας την αντίσταση στη διάβρωση, ένα φαινόμενο που μέχρι πρότινος ήταν ένα από τα μεγαλύτερα μειονεκτήματα των καλυβδοσωληνών (Tsakiris & Tsakiris, 2012)

Ενδεικτικά, σημειώνεται ότι η τιμή ανά χιλιόγραμμο καλυβδοσωληνών με την παραπάνω αναφερόμενη προστασία (κωδικός τιμολογίου ΥΠΕΚΑ 12.18.02) είναι:

- Για 1ης κατηγορίας έργα (< 1.5 εκ. €), 2.01 €/kg
- Για 2ης κατηγορίας έργα (1.5-5.0 εκ. €), 1.95 €/kg
- Για 3ης κατηγορίας έργα (> 5.0 εκ. €), 1.85 €/kg.

Σημειώνεται ότι το ΥΠΕΚΑ κοστολογεί τους καλυβδοσωλήνες ανά χιλιόγραμμο βάρους και όχι ανά μέτρο μήκους, όπως τους υπόλοιπους αγωγούς.

Η επιμέτρηση δηλαδή γίνεται ανά χιλιόγραμμο βάρους καλυβδοελάσματος (kg) με βάση την ονομαστική διάμετρο και το πάχος ελάσματος που προβλέπεται από την μελέτη, με ειδικό βάρος 7,85 gr/cm³, χωρίς συνυπολογισμό του βάρους της μόνωσης.

Παρατίθενται ενδεικτικά στοιχεία συνήθων διατομών καλυβδοσωληνών.

DN. (mm)	Δεξωτ. (mm)	πάχος (mm)	kg/m	DN. (mm)	Δεξωτ. (mm)	πάχος (mm)	kg/m
Φ 300	323.8	4.0	31.57	Φ 900	914.4	8.0	178.96
Φ 300	323.8	5.0	39.34	Φ 900	914.4	10.0	223.21
Φ 400	406.4	4.5	44.64	Φ 1000	1016	9.0	223.68
Φ 400	406.4	5.2	51.49	Φ 1000	1016	11.0	272.84
Φ 500	508	5.0	62.07	Φ 1200	1219.2	10.0	298.44
Φ 500	508	6.4	78.62	Φ 1200	1219.2	12.7	378.17
Φ 600	609.6	5.6	83.48	Φ 1500	1524	10.0	373.66
Φ 600	609.6	7.1	105.72	Φ 1500	1524	12.0	447.80
Φ 700	711.2	6.4	110.46	Φ 1800	1828.8	10.0	448.89
Φ 700	711.2	8.0	138.84	Φ 1800	1828.8	14.3	640.39
Φ 800	812.8	8.0	158.90	Φ 2000	2032	11.0	548.67
Φ 800	812.8	9.5	188.74	Φ 2000	2032	14.3	712.11

Για να υπάρξει μία δόκιμη σύγκριση με τον ελατό χυτοσίδηρο, ο οποίος όπως προελέχθη, παράγεται στις κλάσεις C25, C30, C40 (κατά ΕΛΟΤ EN 545), η

αντιστοίχιση πρέπει να γίνει με πιέσεις λειτουργίας του καλυβδοσωλήνα 25,30,40 atm με απόκλιση ± 2 atm.



Εικόνα 3.8: Σωλήνες Ελικοειδούς Ραφής
Από Χάλυβα
Πηγή: Ιστότοπος

<http://mullerland.com/english/product/stainless-steel-pipe.html>

Εικόνα 3.9: Σωλήνες Ελικοειδούς Ραφής
Από Χάλυβα Διαφορετικών Διαμέτρων
Πηγή: Ιστότοπος

<http://mullerland.com/english/products/stainless-steel-pipe.html>

3.3.3 Σύγκριση Ελατού Χυτοσίδηρου - Χάλυβα

Συγκρίνοντας τα δύο αυτά υλικά, τα οποία έχουν τον ίδιο συντελεστή τραχύτητας (ο οποίος επηρεάζει πάρα πολύ τις απώλειες του δικτύου) διαπιστώνουμε τα εξής:

- Οι διαθέσιμες κλάσεις για τον ελατό χυτοσίδηρο είναι 3 (C40,C30,C25 κατά ΕΛΟΤ EN 545)και μάλιστα αυτές συναρτώνται από την ονομαστική διάμετρο, με τους σωλήνες αυτούς να μην μπορούν να εφαρμοστούν σε δίκτυα με στατική πίεση μεγαλύτερη από 40 atm Αντίθετα για τους καλυβδοσωλήνες υπάρχει μεγάλη ποικιλία πιέσεων που μπορεί να ξεπεράσει και τις 100 atm. Μάλιστα για κάθε διάμετρο, ανάλογα με την ποιότητα του χάλυβα και το πάχος του ελάσματος μπορούν να υπάρξουν διαφορετικές αντοχές σε πολύ υψηλές πιέσεις. Αυτό σίγουρα είναι συγκριτικό πλεονέκτημα του χάλυβα, καθώς μπορεί ευκολότερα να προσαρμοστεί στις ιδιαιτερότητες ενός δικτύου και τις εκτιμήσεις της βελτιστοποίησής του, εν αντιθέσει με τον ελατό χυτοσίδηρο, του οποίου οι κλάσεις είναι περιορισμένες, αλλά και κάθε μία απαντάται στη δική της μοναδική ομάδα διαμέτρων.
- Το εύρος των ονομαστικών διαμέτρων στις οποίες παράγονται οι σωληνώσεις από ελατό χυτοσίδηρο είναι 100-1200 mm, ενώ για τους

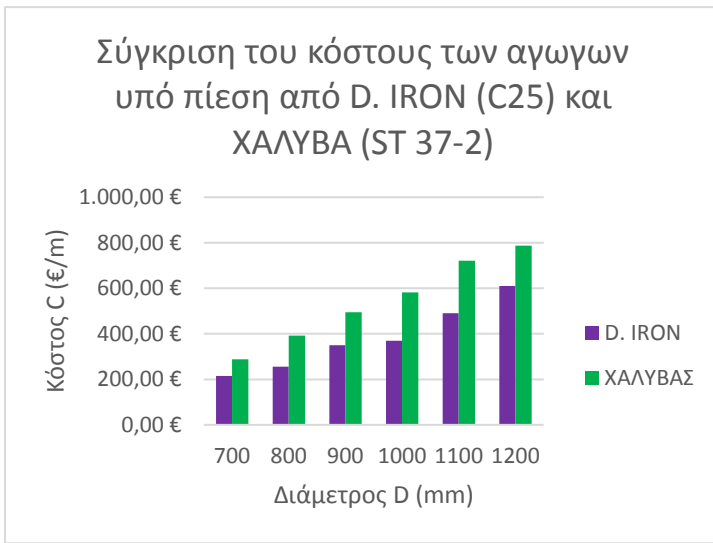
καλυβδοσωλήνες ελικοειδούς ραφής το εύρος των εξωτερικών διαμέτρων είναι 323,8-2032.0 mm.

- Από άποψη κόστους, για τις κοινές διαμέτρους και κλάσεις τα δεδομένα έχουν ως εξής (έργα 3ης κατηγορίας). Τα βάρη του Χαλυβδοσωλήνα ανά μέτρο μήκους έχουν ληφθεί από τον πίνακα του ΥΠΕΚΑ με την επιλογή του κατάλληλου πάχους ελάσματος, ή από πίνακες σωληνουργίας και την αντιστοίχιση των κλάσεων C25,C30,C40 με τις αντίστοιχες πιέσεις λειτουργίας του κάλυβα.

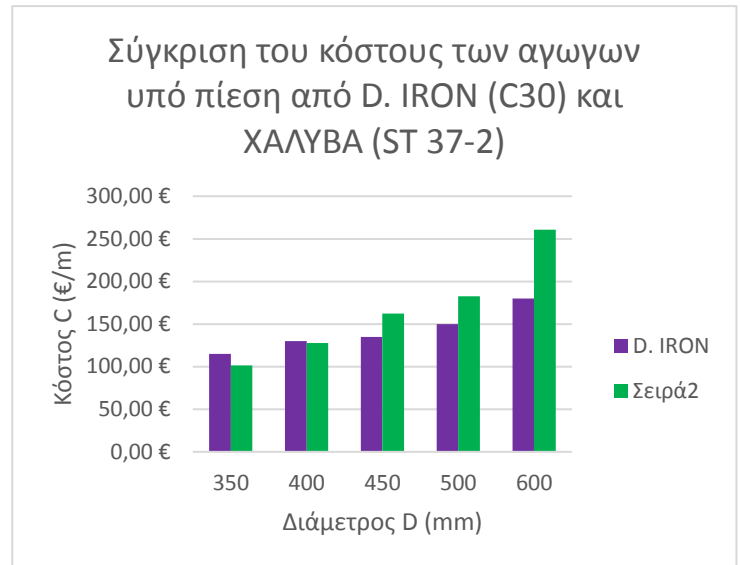
ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ (mm)	ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ (mm)	ΚΟΣΤΟΣ (€/m)					
		Ελατός Χυτοσίδηρος	Χάλυβας	Ελατός Χυτοσίδηρος	Χάλυβας	Ελατός Χυτοσίδηρος	Χάλυβας
Ελατός Χυτοσίδηρος	Χάλυβας	Κλάση C25	ST 37-2	Κλάση C30	ST 37-2	Κλάση C40	ST 37-2
300	323,8					100,00 €	102,80 €
350	355,6			115,00 €	101,25 €		
400	406,4			130,00 €	127,65 €		
450	457,2			135,00 €	162,47 €		
500	508			150,00 €	182,63 €		
600	609,6			180,00 €	260,83 €		
700	711,2	215,00 €	288,56 €				
800	812,8	255,00 €	391,87 €				
900	914,4	350,00 €	494,43 €				
1000	1016	370,00 €	581,79 €				
1100	1117,6	490,00 €	720,37 €				
1200	1219,2	610,00 €	786,71 €				

Πίνακας 3.2: Σύγκριση του κόστους των αγωγών υπό πίεση από Ελατό Χυτοσίδηρο και Χάλυβα
Πηγή: Τιμολόγιο Υδραυλικών Έργων ΥΠΕΚΑ, 2013

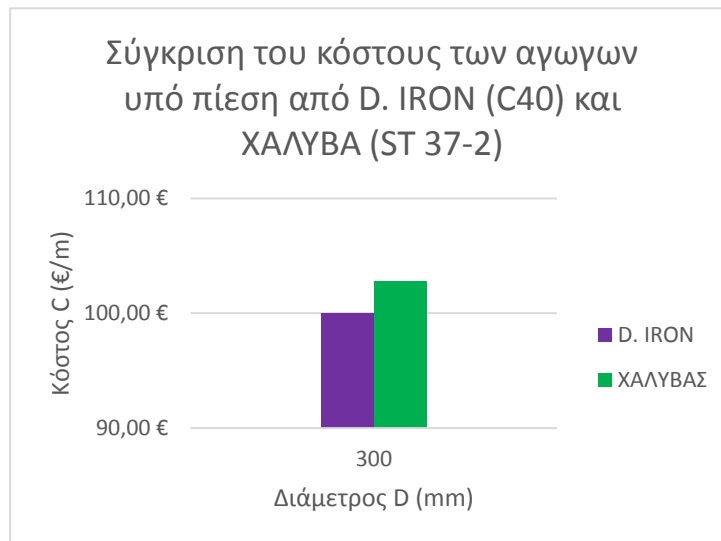
Από τον παραπάνω πίνακα προκύπτει ότι το κόστος των καλυβδοσωλήνων με έλασμα χάλυβος ποιότητας L235, όπως καθορίζει το εγκεκριμένο τιμολόγιο του ΥΠΕΚΑ, δηλαδή τον κατά DIN χάλυβα St37-2 (Νυν ισχύοντες κανονισμοί S235JRG2-EN 10025), για την ίδια κλάση πίεσης λειτουργίας, εκτινάσσεται δυσανάλογα με τον ελατό χυτοσίδηρο. Για το λόγο αυτό η σύγκριση πρέπει να γίνεται με καλυβδοσωλήνες από έλασμα ανώτερης αντοχής, οπότε το βάρος των σωλήνων μειώνεται σημαντικά και προκύπτει μικρότερη τιμή ανά μονάδα μήκους. Για την πληρότητα της σύγκρισης, στην τιμή των καλυβδοσωλήνων πρέπει να συνυπολογίζεται στο κόστος τους και το κόστος της ανά μέτρο μήκους αναγκαίας καθοδικής προστασίας. Ο ελατός χυτοσίδηρος χαρακτηρίζεται από υψηλή αντιδιαβρωτική ικανότητα, η οποία σε κάποιες περιπτώσεις μπορεί να είναι η ειδοποιός διαφορά για την εκλογή του, ειδικά σε διαμέτρους που δεν υπάρχει μεγάλη διαφορά τιμής με τον χάλυβα (και παρά την εμφάνιση της νέας γενιάς καλυβδοσωλήνων με εξωτερική επένδυση από



Σχήμα 3.5: Διάγραμμα Κόστους D. Iron – Χάλυβα



Σχήμα 3.6: Διάγραμμα Κόστους D. Iron – Χάλυβα



Σχήμα 3.7: Διάγραμμα Κόστους D. Iron – Χάλυβα

3.4 Σωλήνες Από Υαλοπλισμένο Πολυμερές (GRP)

Οι βασικές πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των GRP αγωγών (Glass Reinforced Polymers) είναι η ρητίνη, τα υαλονήματα και η πυριτική άμμος. Οι σωλήνες κατασκευάζονται με τη διαδικασία της συνεχούς περιέλιξης (Filament winding) η οποία επιτρέπει τη χρήση συνεχούς περιφερειακού οπλισμού υαλονημάτων. Στην περίπτωση των υπό πίεση σωλήνων, η κύρια πίεση ασκείται περιφερειακά. Έτσι, η ενσωμάτωση συνεχούς οπλισμού προς τη διεύθυνση αυτή έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός συμπίεσμένου πολυστρωματικού μη μεταλλικού υλικού που αξιοποιεί στο μέγιστο τις ιδιότητες των τριών πρώτων υλών.



Εικόνα 3.10: Σωλήνες GRP

Πηγή: Ιστότοπος

<https://www.alibaba.com/showroom/glass-reinforced-plastic.html>



Εικόνα 3.11: Σωλήνες GRP Διαφορετικών Διαμέτρων

Πηγή: Ιστότοπος <http://www.technobell.eu/grp-pipes-production-technologies/>

Οι GRP σωλήνες παράγονται σε:

- Εύρος ονομαστικών διαμέτρων DN 300-2400mm
- Κλάσεις 1, 6, 10, 12, 16, 20, 25 και 32 atm
- Δακτυλιοειδή ακαμψία SN 2.5 kN/m² και SN 5 kN/m²
- Στους κωδικούς του τιμολογίου υδραυλικών έργων 12.40.01 και 12.40.11 καταγράφονται οι βασικές τιμές για ονομαστική πίεση PN 1.0 atm, ενώ για πίεση 12 atm ο συντελεστής επαύξησης της τιμής είναι 1,15

3.5 Σύνοψη Πλεονεκτημάτων Και Μειονεκτημάτων Υλικών Δικτύου Ύδρευσης

Στην ενότητα αυτή θα γίνει μια παρουσίαση των βασικότερων πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων των υλικών που χρησιμοποιούνται στα δίκτυα ύδρευσης. Με έντονη γραμματοσειρά αναγράφονται τα δημοφιλέστερα υλικά που χρησιμοποιούνται σήμερα.

Σημειώνεται ότι το Αμιαντοσιμέντο αναφέρεται μόνο για ιστορικούς λόγους, καθώς η χρήση του έχει απαγορευτεί πλήρως για λόγους υγείας.

ΥΛΙΚΟ ΣΩΛΗΝΑ	ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ	ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ
<p>AC Αμιαντοσιμέντο (Asbestos Cement)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Δυσκολία σε παραμόρφωση ✓ Αντίσταση σε διάβρωση στα περισσότερα εδάφη και στο νερό ✓ Εύχρηστα εξαρτήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για εκτροπές 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Ο αμίαντος επικίνδυνος για την ανθρώπινη υγεία ➤ Καταστρέφεται εύκολα ➤ Ευαίσθητο στη διάβρωση υπό ορισμένες εδαφικές συνθήκες ➤ Διαπερατό σε ορισμένες εδαφικές συνθήκες ➤ Δυσκολία τοποθέτησης ➤ Η ανίχνευση διαρροής δυσκολότερη από ότι στους μεταλλικούς αγωγούς ➤ Πολύπλοκη επισκευή
<p>CI Χυτοσίδηρος (Cast Iron)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Δυσκολία σε παραμόρφωση ✓ Υψηλή μηχανική αντοχή ✓ Καλή αντίσταση σε διάβρωση 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Πολύ μεγάλο βάρος ➤ Δυνατό αλλά εύθραυστο
<p>DI Ελατός Χυτοσίδηρος (Ductile Iron)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Υψηλή μηχανική αντοχή ✓ Καλή αντίσταση σε διάβρωση ✓ Ευκολία συνδέσεων ✓ Ευκολία τοποθέτησης ✓ Άμεση ανίχνευση της διαρροής 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Πολύ μεγάλο βάρος ➤ Πιθανά προβλήματα στο PH για το μαλακό νερό ➤ Ευαίσθητο στη διάβρωση αν καταστραφεί η επίστρωση Δυσκολίες στα μη ευθύγραμμα τμήματα ➤ Υψηλό κόστος των εξαρτημάτων σύνδεσης ➤ Μικρή αντίσταση στα χτυπήματα Απαιτείται διπλή επίστρωση ➤ Δυσκολίες στην επισκευή

<p>Χάλυβας (Steel)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Υψηλή μηχανική αντοχή και αντίσταση στα χτυπήματα ✓ Δυνατότητα εκτροπής χωρίς σπάσιμο του σωλήνα ✓ Μικρότερο βάρος από των D.I σωλήνων ✓ Ευκολία κατασκευής μεγάλων σωλήνων ✓ Δυνατότητα συγκόλλησης ειδικών τεμαχίων ✓ Μεγάλη ποικιλία σε αντοχές ✓ Ευκολία τροποποιήσεων στο πεδίο ✓ Ευκολία επισκευής 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Ευαίσθητο στη διάβρωση (για την παλιά γενιά σωλήνων χωρίς εξωτερική επίστρωση από πολυαιθυλένιο) ➤ Απαιτείται διπλή επίστρωση
<p>GRP Υαλοπλισμένο Πολυμερές (Glass Reinforced Plastic)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Μικρό βάρος ✓ Αντίσταση σε διάβρωση ✓ Ευκολία συνδέσεων 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Μικρή μηχανική αντοχή ➤ Δυσκολία τοποθέτησης ➤ Δυσκολία στην ανίχνευση της διαρροής
<p>PVC Πολυβινυλοχλωρίδι ο (Polyvinyl Chloride)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Μικρό βάρος ✓ Ελαστικότητα ✓ Αντίσταση σε διάβρωση ✓ Ευκολία συνδέσεων 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Καταστρέφεται εύκολα ➤ Υποβάθμιση των εκτεθειμένων σωλήνων λόγω υπερϊώδους ακτινοβολίας ➤ Δυσκολία τοποθέτησης ➤ Δυσκολία στην ανίχνευση της διαρροής ➤ Ακατάλληλοι για μεγάλες διαμέτρους (> 300 mm)

<p>HDPE/MDPE Πολυαιθυλένιο (Polyethylene)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Μικρό βάρος ✓ Ελαστικότητα ✓ Αντίσταση σε διάβρωση ✓ Ευκολία στη συγκόλληση των συνδέσεων ✓ Μικρών διαμέτρων σωλήνες που επισκευάζονται εύκολα 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Δυσκολία τοποθέτησης ➤ Δυσκολία στην ανίχνευση της διαρροής ➤ Η σύνδεση απαιτεί εξειδικευμένους εγκαταστάτες και ειδικό εξοπλισμό ➤ Ακατάλληλοι για μεγάλες διαμέτρους
----------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Πίνακας 3.3: Τα κυριότερα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των υλικών σωλήνων ύδρευσης Πηγή: *Pipe technologies for urban water conveyance distribution systems, Tsakiris G. & Tsakiris V., 2012*

3.6 Η Επιλογή Υλικού Σωληνώσεων Σε Δίκτυο Ύδρευσης

Σκοπός της κατασκευής ενός υδρευτικού δικτύου είναι η εξυπηρέτηση της ανάγκης ενός πληθυσμού σε νερό, στην απαιτούμενη ποσότητα και ποιότητα. Αυτό σημαίνει ότι το υλικό με το οποίο θα κατασκευαστεί το δίκτυο θα πρέπει να ανταποκρίνεται τόσο σε θέματα ποιότητας του νερού, όσο και σε θέματα υδραυλικών συνθηκών του δικτύου (πιεζομετρικά φορτία, απώλειες ενέργειας κτλ.). Τέλος, το υλικό θα πρέπει να εξασφαλίζει και το χαμηλότερο δυνατό κόστος κατασκευής.

Για αυτό η διαδικασία επιλογής του υλικού είναι μία πολυπαραμετρική προσέγγιση, που περιλαμβάνει διάφορες επιλογές της αγοράς, με χαρακτηριστικά αλληλεπικαλυπτόμενα ή και εντελώς διαφορετικά. Οι κυριότεροι παράγοντες επιλογής του υλικού των σωληνώσεων είναι (Tsakiris & Tsakiris, 2012):

- Το εύρος επιλογής κλάσεων αντοχής
- Το εύρος επιλογής διαμέτρων
- Το κόστος κατασκευής
- Ο χρόνος κατασκευής
- Η διάρκεια ζωής (που συρρικνώνεται εξαιτίας των διαβρωτικών ιδιοτήτων του ρευστού)
- Η διαθεσιμότητα στην αγορά (σωλήνες και εξαρτήματα)
- Η υπάρχουσα δυναμική και τεχνογνωσία για τη λειτουργία και τη συντήρηση των αγωγών

Σε περίπτωση που για τις υδραυλικές απαιτήσεις ενός δικτύου, προκύψουν όλα τα υλικά κατάλληλα, τότε το κριτήριο επιλογής θα είναι η οικονομικότητά τους.

Σημειώνεται ότι οι σωληνώσεις σε ένα δίκτυο ύδρευσης δεν είναι απαραίτητο να αποτελούνται όλες αποκλειστικά από το ίδιο υλικό. Για παράδειγμα ο κύριος αγωγός ενός δικτύου διανομής μπορεί να είναι από χάλυβα ή χυτοσίδηρο λόγω μεγαλύτερης διαμέτρου και οι υπόλοιποι μικρότερων διαμέτρων κλάδοι στους οποίους μοιράζεται η παροχή να είναι από HDPE ή PVC.

3.6.1 Περιορισμός Του Πλήθους Των Σωλήνων Του Δικτύου

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζεται μια τεκμηριωμένη μέθοδος οικονομοτεχνικής εκλογής του υλικού κατασκευής των σωλήνων, σύμφωνα με την Εγκύκλιο με αριθμό Δ. 22.200/30-7-1977 της Διεύθυνσης Μελετών της Υπηρεσίας Υδραυλικών Έργων του τέως Υπουργείου Δημοσίων Έργων με τίτλο «Οδηγίες Για τον έλεγχο μελετών σωληνωτών αρδευτικών δικτύων». Η συγκεκριμένη μέθοδος, παρόλο που αναφέρεται σε αρδευτικά δίκτυα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για τα υδρευτικά. Αποτελεί δόκιμη μέθοδο επιλογής του υλικού των σωλήνων με κριτήριο το κόστος πλήρους σωληνώσεως, ώστε να δύναται να αποδεικνύεται ότι η επιλογή του υλικού εξασφαλίζει τη μέγιστη οικονομία για τον Κύριο (ιδιοκτήτη) του έργου. Ακολουθεί η παρουσίαση της μεθόδου:

Κάθε σωλήνας (M_i) χαρακτηρίζεται από την καθαρή εσωτερική διάμετρο D_i , το υλικό, την κλάση, το είδος επενδύσεως, το νόμο υπολογισμού των απωλειών φορτίου ανά τρέχον μέτρο $h_{f_i}(Q)$ που είναι συνάρτηση της παροχής Q και τέλος από το ανά μέτρο μήκους κόστος (C_i) της σωληνώσεως. Στο κόστος περιλαμβάνονται:

- Οι δαπάνες προμήθειας σωλήνων και συνδέσεων
- Η δαπάνη άλλης τυχόν απαιτούμενης προστασίας
- Η δαπάνη εγκαταστάσεως των σωλήνων
- Η δαπάνη αγκύρωσης, στην περίπτωση αγωγών που δεν μεταβιβάζουν κατά μήκος του αγωγού εφελκυστικές αξονικές δυνάμεις

Είναι προφανές ότι η χρήση μεγάλου πλήθους σωλήνων στο δίκτυο είναι αντικανονική, διότι έχει ως αποτέλεσμα τη χρήση μεγάλης ποικιλίας ειδικών τεμαχίων και εξαρτημάτων. Κάτι τέτοιο συνεπάγεται τον πολλαπλασιασμό των κατασκευαστικών προβλημάτων, την απώλεια χρόνου στην κατασκευή και τέλος τη διατήρηση μεγάλων αποθεμάτων υλικού για συντήρηση του δικτύου.

Από το μεγάλο πλήθος των τυποποιημένων σωλήνων, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο δίκτυο που μελετάται (σύνολο ή μέρος περιοχής ενός δικτύου), πρέπει να εκλέγεται ένας αριθμός σωλήνων, αφού αποκλειστούν οι σωλήνες που η χρήση τους δεν έχει αξιόλογο οικονομικό αποτέλεσμα στο κόστος δικτύου.

Για την εκλογή της σειράς (S) των σωλήνων που θα χρησιμοποιηθεί στον υπολογισμό βελτιστοποίησης του δικτύου υποδεικνύεται η κατωτέρω μέθοδος:

Για την εκλογή της σειράς S των σωλήνων, τον περιορισμό του πλήθους των σωλήνων και τον καθορισμό των ορίων χρησιμοποίησης κάθε υλικού, κατασκευάζεται το κατωτέρω διάγραμμα. Με τεταγμένες τις τιμές κόστους C_i ανά μέτρο μήκους σωληνώσεως και τετημημένες τις τιμές της παραμέτρου:

$$Z_i = \frac{J}{Q^2} \quad (3.1)$$

Όπου:

- J : η ανά μονάδα μήκους γραμμικές απώλειες φορτίου:

$$J = \frac{f}{D} \times \frac{V^2}{2g} \quad (3.2)$$

Με:

- D : η εσωτερική διάμετρος του αγωγού
- V : η ταχύτητα του νερού
- $g = 9,81 \text{ m}^2/\text{s}$: η επιτάχυνση της βαρύτητας
- f : ο συντελεστής τριβών που σε στροβιλώδη ροή και σωλήνες ετερογενούς τραχύτητας υπολογίζονται από τη σχέση του Colebrook:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{k}{3,7D} + \frac{2,51}{Re\sqrt{f}} \right) \quad (3.3)$$

- $Re = \frac{VD}{\nu}$: ο αριθμός Reynolds
- k : η ισοδύναμη απόλυτη τραχύτητα της εσωτερικής επιφάνειας του σωλήνα
- $\nu = 1,01^{-06} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$: κινηματική συνεκτικότητα

Σημειώνεται ότι επειδή ο υπολογισμός των γραμμικών απωλειών γίνεται με τον τύπο του Colebrook, οι τιμές της παραμέτρου Z_i δεν είναι παντελώς ανεξάρτητες της παροχής. Για το λόγο αυτό η παράμετρος Z_i υπολογίζεται για παροχή που αντιστοιχεί στη μέγιστη επιτρεπτή ταχύτητα, δηλαδή:

$$V = 1,5 \text{ m/s} \quad (3.4)$$

Προκειμένου να εφαρμοστεί αυτή η μέθοδος, αρχικά υπολογίσαμε τη δαπάνη της ολοκληρωμένης σωλήνωσης για τα διαφορετικά υλικά σωλήνων που εξετάζουμε. Για τους σωλήνες PVC και HDPE επιλέχθηκε από το εγκεκριμένο τιμολόγιο ΥΠΕΚΑ, ως τιμή της μονάδας, αυτή που αντιστοιχεί στη κλάση 12,5 atm, (θεωρώντας ότι είναι αντιπροσωπευτική για την παρουσίαση της μεθόδου), για τους σωλήνες GRP η τιμή που αντιστοιχεί στη κλάση 12 atm, για τον ελατό χυτοσίδηρο η κλάση C40, C30 και C25 ανάλογα με τη διάμετρο και για τον Χαλυβδοσωλήνα η τιμή που προκύπτει (υπολογισμός βάρους σωλήνα ανά μέτρο μήκους) για σύνηθες πάχος ελάσματος, ενώ ως προστασία του σωλήνα από τη διάβρωση, αυτή που αντιστοιχεί στο κωδικό 12.18.01 του τιμολογίου. Η τυχόν

διαφοροποίηση των αντοχών των σωλήνων δεν επιφέρει ανατροπή στα γενικά ποιοτικά συμπεράσματα της μεθόδου.

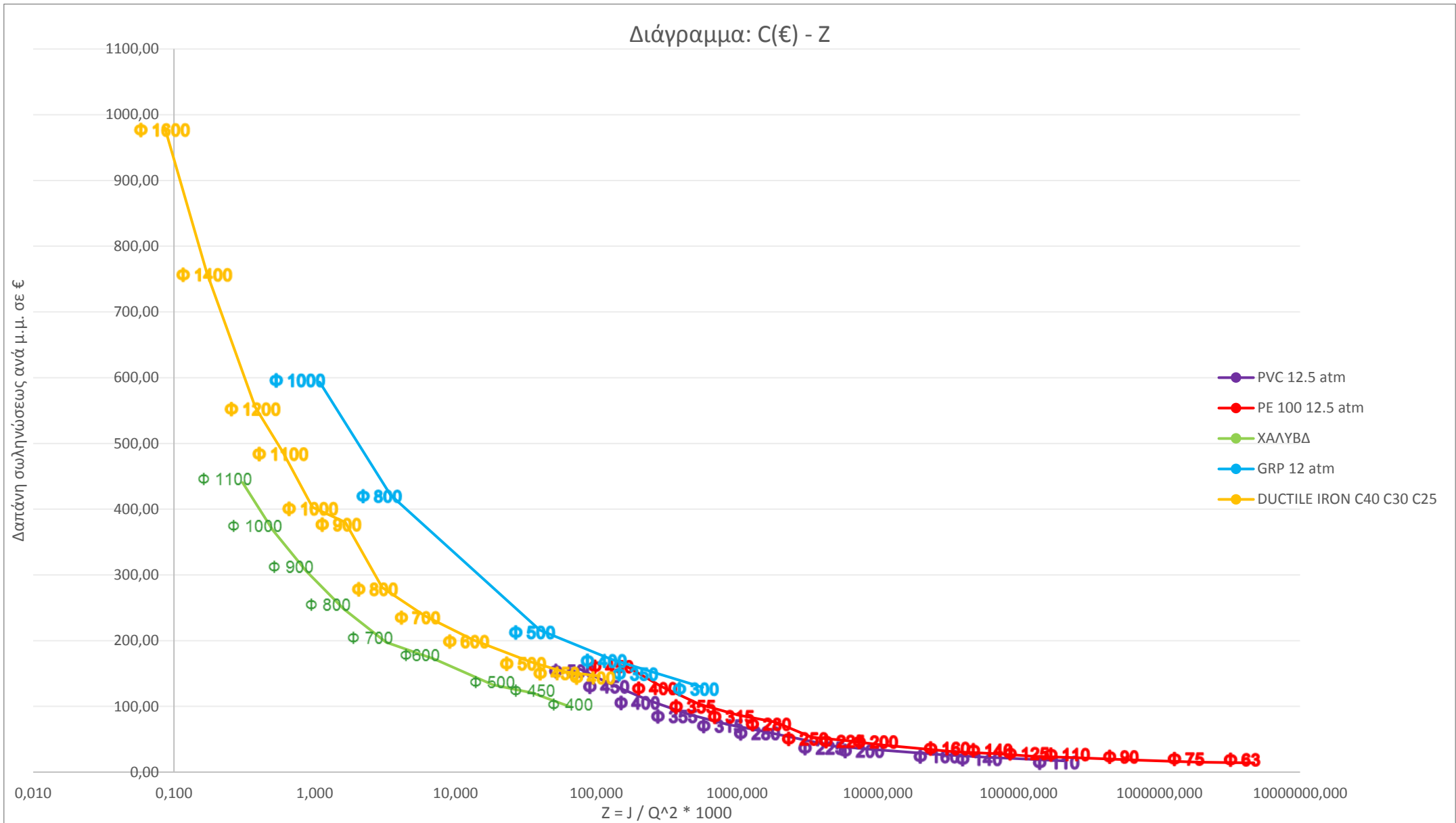
Στους πίνακες του Παραρτήματος Α (Ι. Υπολογισμός Δαπάνης Εγκατεστημένων Σωλήνων ΙΙ. Υπολογισμός Παραμέτρου Ζ (Αντίστασης Αγωγού Ανά Μονάδα Μήκους)) εμφανίζονται ποσοτικά όσο και οικονομικά, από άποψη δαπάνης, όλες οι εργασίες της σωλήνωσης, δηλαδή η εκσκαφή ορύγματος με τυπική διατομή (πλάτος – βάθος), η επανεπίκωση, η προμήθεια και τοποθέτηση σωλήνων, ο εγκιβωτισμός με άμμο, το κόστος καθοδικής προστασίας, τα αναγκαία σώματα αγκύρωσης και κάθε άλλο κρίσιμο στοιχείο διαμόρφωσης του συνολικού κόστους της πλήρους σωλήνωσης.

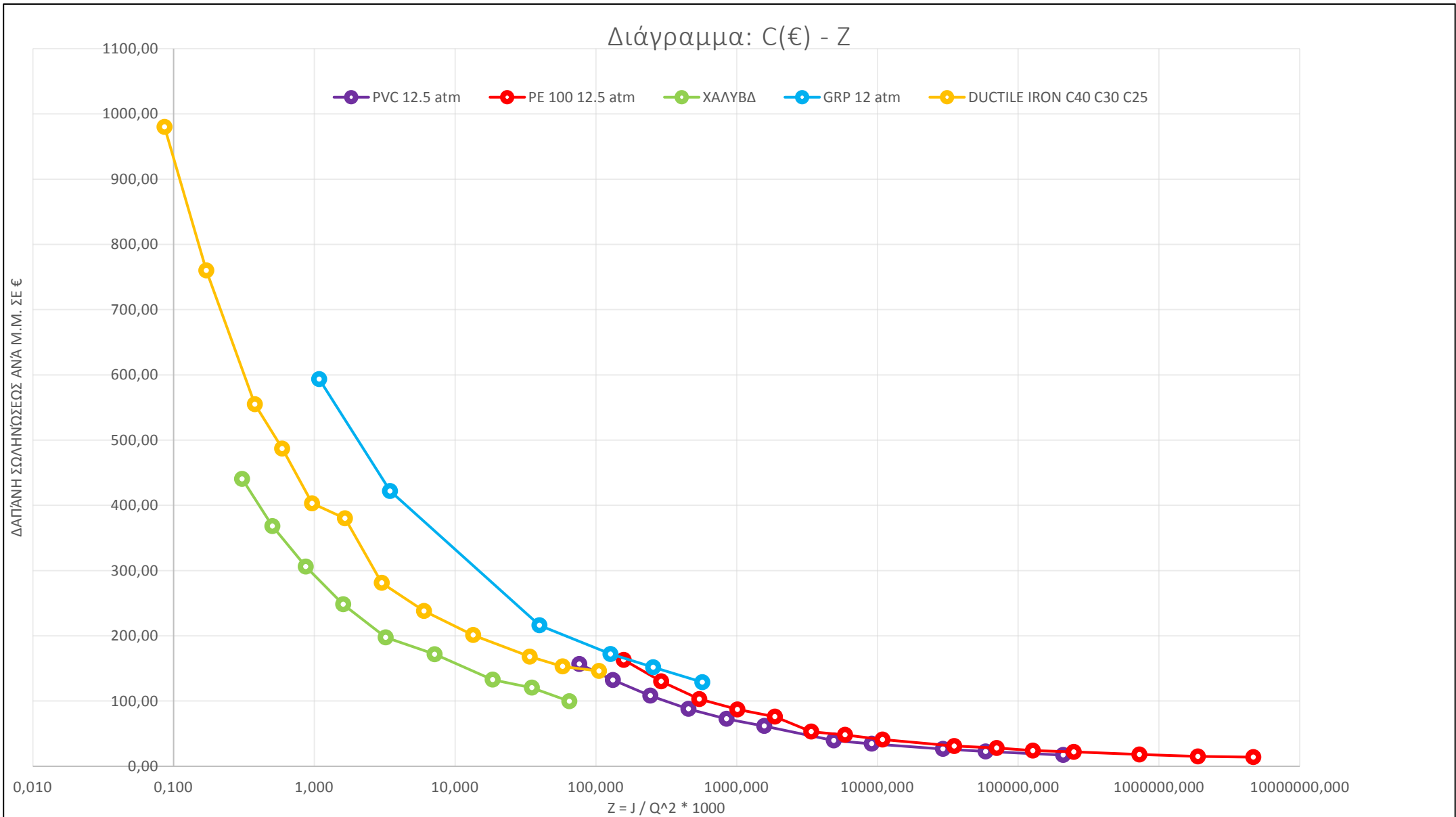
Με βάση αυτά τα στοιχεία χαράζεται η πολυγωνική γραμμή όπως φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα. Η κατωτέρω πολυγωνική έχει τα κοίλα της προς τα πάνω.

Για τις διαμέτρους που τελικά θα εκλεγούν, όλες οι κλίσεις των διαδοχικών ευθυγράμμων τμημάτων της πολυγωνικής πρέπει να είναι φθίνουσες. Εάν ένα σημείο (διάμετρος) δεν ικανοποιεί τον ανώτερο κανόνα, όπως το σημείο Φ900 mm του Ελατού Χυτοσιδήρου, τότε η διάμετρος αυτή δεν πρέπει να χρησιμοποιηθεί, διότι για την ίδια τιμή της παραμέτρου Ζ χρησιμοποιώντας τις διαμέτρους Φ1000 mm και Φ800 mm του Ελατού Χυτοσιδήρου, σε κατάλληλο συνδυασμό επιτυγχάνεται το μικρότερο δυνατό κόστος.

Επιπλέον, όπου οι κλίσεις δύο διαδοχικών ευθυγράμμων τμημάτων της υπόψη πολυγωνικής γραμμής διαφέρουν ελάχιστα μεταξύ τους, ο ενδιάμεσος σωλήνας με την αντίστοιχη διάμετρο μπορεί να παραλείπεται, όπως ο σωλήνας ενδιάμεσου διαμέτρου Φ110 του Πολυαιθυλενίου ΡΕ.

Τέλος οι υπόψη πολυγωνικές γραμμές προσδιορίζουν από ποια διάμετρο και μετά πρέπει να αλλάξει το υλικό. Για παράδειγμα, εάν η πολυγωνική ενός υλικού τέμνει την πολυγωνική ενός άλλου υλικού, το σημείο τομής υποδεικνύει και την αλλαγή του υλικού.





Κεφάλαιο 4

Βελτιστοποίηση

Στο κεφάλαιο αυτό αναλύεται η έννοια της βελτιστοποίησης καθώς και οι βασικές μέθοδοι βελτιστοποίησης. Στο τέλος του κεφαλαίου περιγράφεται και η εφαρμογή του γραμμικού προγραμματισμού στα ακτινωτά δίκτυα βαρύτητας.

4.1 Βασικοί Ορισμός

Ορισμός 4.1: Βελτιστοποίηση (optimisation): κατά γενικό ορισμό, είναι η διαδικασία σχεδιασμού ή λειτουργίας ενός συστήματος, η οποία κάνει το σύστημα όσο το δυνατόν καλύτερο κατά μία προκαθορισμένη έννοια. Μαθηματικά αυτό ισοδυναμεί με την εύρεση μίας ή περισσότερων λύσεων, οι οποίες είναι οι καλύτερες δυνατές (Ναλμπάντης, 2007).

Ορισμός 4.2: Σύστημα: νοείται το σύνολο φυσικών ή ανθρωπογενών στοιχείων που αλληλεπιδρούν ως συνιστώσες μεταξύ τους και το αποτέλεσμα είναι διαφορετικό από εκείνο που θα παρήγαγε κάθε συνιστώσα ξεχωριστά (Ναλμπάντης, 2007).

Ορισμός 4.3: Μεταβλητές απόφασης (decision variables): Η βελτιστοποίηση είναι μια μαθηματική μέθοδος που δίνει απαντήσεις σε προβλήματα λήψης αποφάσεων. Πραγματοποιείται σε ένα σύνολο άγνωστων πραγματικών μεταβλητών, οι οποίες ονομάζονται μεταβλητές απόφασης. Σε κάθε πρόβλημα βελτιστοποίησης οι άγνωστες μεταβλητές υπόκειται σε κάποιους περιορισμούς διάφορων ειδών, οι οποίοι οριοθετούν το πεδίο τιμών τους και εκφράζονται συναρτήσει αυτών. Εφόσον μια απόφαση ικανοποιεί όλους τους περιορισμούς που έχουν τεθεί, χαρακτηρίζεται εφικτή (feasible decision).

Ορισμός 4.4: Χώρο αποφάσεων (decision space): Κάθε ένας συνδυασμός τιμών των μεταβλητών απόφασης πραγματοποιεί μία συγκεκριμένη απόφαση. Κατ' επέκταση, το σύνολο όλων των δυνατών αποφάσεων ορίζει έναν χώρο, το χώρο αποφάσεων. Στην περίπτωση μια απόφαση ικανοποιεί τους περιορισμούς της, τότε η αντίστοιχη περιοχή του χώρου αποφάσεων ονομάζεται εφικτή περιοχή (feasible region). Ο χώρος αποφάσεων μπορεί να είναι (Ναλμπάντης, 2007):

- Συνεχής αν οι μεταβλητές απόφασης είναι συνεχείς, συνήθως πραγματικοί αριθμοί
- Διακριτός αν αυτές παίρνουν διακριτές τιμές και απεικονίζονται ως σημεία στο χώρο αυτό

Ορισμός 4.5: Συνάρτηση Σκοπού: Στον χώρο εφικτών αποφάσεων, στόχος είναι να επιλεγεί η καλύτερη (εφικτή) απόφαση. Γι' αυτό ορίζεται η Συνάρτησης Σκοπού, ή συνάρτηση στόχου ή κριτήριο απόφασης ή κριτήριο βελτιστοποίησης. Πρόκειται για μια σχέση συναρτησιακής μορφής με ανεξάρτητες μεταβλητές τις μεταβλητές απόφασης X_i και εξαρτημένη μεταβλητή το κριτήριο

βελτιστοποίησης $f(X_i)$, το οποίο είτε αφορά την ελαχιστοποίηση της εξαρτημένης μεταβλητής $\min f(X_i)$, είτε τη μεγιστοποίησή της $\max f(X_i)$.

4.2 Ιστορική Εξέλιξη Μεθόδων Βελτιστοποίησης

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται επιγραμματικά οι μέθοδοι βελτιστοποίησης, καθώς και η ιστορική τους εξέλιξη.

4.2.1 Γραμμικός Προγραμματισμός

Πατέρας του γραμμικού προγραμματισμού θεωρείται ο George Bernard Dantzig, Αμερικανός μαθηματικός, ο οποίος συνέβαλε στην ανάπτυξη της επιχειρησιακής έρευνας, της επιστήμης των ηλεκτρονικών υπολογιστών καθώς και της στατιστικής και των οικονομικών. Το 1947 παρουσίασε τη μέθοδο Simplex σε μία προσπάθεια να επιλύσει προβλήματα επιχειρησιακής έρευνας. Αργότερα, σε συνεργασία με τον Hays ανέπτυξαν την αναθεωρημένη μέθοδο Simplex, η οποία αποτελεσματικότερη της απλής μεθόδου και η επικρατέστερη σε εφαρμογή σήμερα

Πρωτοπόρος του γραμμικού προγραμματισμού σε υδραυλικά δίκτυα θεωρείται ο Smith (1966). Ακολούθησε η προσπάθεια των Karmeli, Gadish & Meyers (1968), των Robinson & Austin (1976) και των Alperovits & Shamir (1977), οι οποίοι συμπεριέλαβαν και το κόστος του αντλιοστασίου στο υδραυλικό μοντέλο. Επιπροσθέτως, οι Alperovits & Shamir (1977) δημιούργησαν μία παραλλαγή της μεθόδου, την Linear Programming Gradient, προσθέτοντας στις έως τότε μεταβλητές αποφάσεων που ήταν οι διάμετροι των αγωγών και τα μήκη τους.

4.2.2 Μη Γραμμικός Προγραμματισμός

Σχετικά με τον μη γραμμικό προγραμματισμό ο Νουτσόπουλος (1969) παρουσίασε για πρώτη φορά στην Ελλάδα τη μέθοδο αυτή για ακτινωτά δίκτυα βαρύτητας. Αργότερα, οι Swamee et. al. (1973) επέκτειναν τη μέθοδο συμπεριλαμβάνοντας στο μοντέλο βελτιστοποίησης το αντλιοστάσιο για μοναδικό αγωγό χωρίς διακλαδώσεις. Τελικά το 1982 ο Τζιμόπουλος γενίκευσε και επέκτεινε τη μέθοδο τροποποιώντας τη μαθηματικά, ώστε να βρίσκει εφαρμογή σε οποιοδήποτε ακτινωτό δίκτυο με αντλιοστάσιο.

4.2.3 Δυναμικός Προγραμματισμός

Βασίζομενη στην αρχή των Bellman and Dreyfous (1962), η συγκεκριμένη μέθοδος βελτιστοποίησης θεωρεί ότι η βέλτιστη λύση σε ένα πρόβλημα ευρίσκεται με τη λήψη μιας αλληλουχίας αποφάσεων. Το 1971 πρωτοεμφανίστηκε από τον Liang ο δυναμικός προγραμματισμός στο πεδίο των αστικών δικτύων. Ακολούθησαν οι Yang et al. (1975) εφαρμόζοντας τη μέθοδο σε δίκτυα με διακλαδώσεις. Ο Yakowitz (1982) σε εργασία του περιγράφει και κατατάσσει αναλυτικά προβλήματα που επιλύονται με δυναμικό προγραμματισμό.

4.2.4 Η Ασυνεχής Μέθοδος Του Labye

Ο Γάλλο μηχανικός Labye εισήγαγε την μέθοδο αυτή στη διδακτορική του διατριβή το 1964. Πρόκειται για μία πιο απλοποιημένη μορφή δυναμικού προγραμματισμού σε συνδυασμό με μεθόδους από εμπειρίες στην πράξη, για ακτινωτά δίκτυα, σχεδόν αποκλειστικά αρδευτικά, που τροφοδοτούνται από ένα μόνο αντλιοστάσιο στην κεφαλή τους.

4.3 Ο Γραμμικός Προγραμματισμός

Στην ενότητα αυτή γίνεται ανάλυση του γραμμικού προγραμματισμού, μιας και είναι αυτός που θα χρησιμοποιηθεί στην παρούσα διπλωματική. Η ανάλυση αυτή αφορά τόσο στη φυσική του σημασία όσο και στη μαθηματική του υπόσταση.

4.3.1 Εισαγωγή

Η μέθοδος του γραμμικού προγραμματισμού (linear programming) είναι η πιο διαδεδομένη μέθοδος βελτιστοποίησης στη λήψη αποφάσεων. Εφαρμόζεται σε ένα ευρύτατο πεδίο επιστημών. Από την εθνική οικονομία ως τις μικρές ιδιωτικές επιχειρήσεις, χρησιμοποιείται για την επίλυση προβλημάτων:

- Κατανομής πόρων
- Ενέργειας και προστασίας του περιβάλλοντος
- Παραγωγής
- Διοίκησης προσωπικού
- Προώθησης προϊόντων (marketing)

Ενδεικτικά ένα πρόβλημα γραμμικού προγραμματισμού μπορεί να γραφτεί υπό την μορφή πινάκων ως εξής:

$$\max Z = f(x) = c^T x \quad (4.1)$$

$$Ax = b \quad (4.2)$$

$$x \geq 0 \quad (4.3)$$

Όπου:

$$c^T = (c_1, c_2, \dots, c_n) \quad (4.4)$$

$$x = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix} \quad (4.5)$$

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & \dots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{1m} & \dots & a_{mn} \end{pmatrix} \quad (4.6)$$

$$b = \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_n \end{pmatrix} \quad (4.5)$$

$$0 = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix} \quad (4.6)$$

4.3.2 Μαθηματική Μοντελοποίηση Γραμμικού Προγραμματισμού

Το επίθετο «γραμμικός» στον γραμμικό προγραμματισμό χρησιμοποιείται διότι όλες οι μαθηματικές σχέσεις του προβλήματος είναι γραμμικές. Στην περίπτωση που ο στόχος του προβλήματος είναι απλός ο γραμμικός προγραμματισμός είναι μονοκριτηριακός. Αντίθετα, στην περίπτωση πιο περίπλοκων προβλημάτων όπου τίθενται πολλαπλά κριτήρια απόφασης και η αντικειμενική συνάρτηση είναι διανυσματικής μορφής, ο γραμμικός προγραμματισμός είναι πολυκριτηριακός.

Στον μονοκριτηριακό γραμμικό προγραμματισμό, το μοντέλο του προβλήματος έχει ως εξής (Κολέτσος, 2017):

Συνάρτησης Σκοπού:

$$\text{optimize } Z = \max f(x) \text{ or } \min f(x) = c_1X_1 + c_2X_2 + \dots + c_nX_n \quad (4.7)$$

Όπου:

- Z : συνάρτησης σκοπού
- c_i : κόστος ή κέρδος ή αποζημίωση για κάθε μονάδα μιας δραστηριότητας ή απόφασης.
- X_i : μεταβλητές απόφασης

Υπό τους περιορισμούς:

$$\begin{aligned} a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \dots + a_{1n}X_n & \{ \leq, =, \geq \} b_1 \\ a_{21}X_1 + a_{22}X_2 + \dots + a_{2n}X_n & \{ \leq, =, \geq \} b_2 \\ & \dots \\ a_{m1}X_1 + a_{m2}X_2 + \dots + a_{mn}X_n & \{ \leq, =, \geq \} b_m \end{aligned} \quad (4.7)$$

Και

$$X_i \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (4.8)$$

Όπου:

- a_{ji} : ο συντελεστής της i δραστηριότητας στον j περιορισμό.
- b_j : η μέγιστη τιμή στον j περιορισμό
- j, m : ο δείκτης και ο συνολικός αριθμός των περιορισμών

4.3.3 Χαρακτηριστικές Ιδιότητες Γραμμικού Προγραμματισμού

Προκειμένου να εφαρμοστεί η θεωρία του γραμμικού προγραμματισμού για την επίλυση ενός οποιοδήποτε προβλήματος βελτιστοποίησης, θα πρέπει να ικανοποιούνται κάποιες προϋποθέσεις. Αυτές είναι (Κολέτσος, 2017):

➤ Γραμμικότητα (Linearity)

Η συνάρτησης σκοπού και οι διάφοροι περιορισμοί πρέπει να είναι 1^{ου} βαθμού συναρτήσεις ως προς τις μεταβλητές απόφασης X_1, X_2, \dots, X_n .

➤ Αναλογικά (Proportionality)

Η τιμή της συνάρτησης σκοπού πρέπει να είναι το άθροισμα των ατομικών συνεισφορών κάθε μεταβλητής και το αριστερό μέλος κάθε περιορισμού πρέπει να ισούται με το άθροισμα της συμβολής κάθε μεταβλητής στο μοντέλο.

➤ Προσθετικότητα (Additivity)

Η απαίτηση της προσθετικότητας ορίζει πως το συνολικό κέρδος από τις δραστηριότητες X_1, X_2, \dots, X_n ισούται με το συνολικό άθροισμα των επιμέρους κερδών που προκύπτει από την κάθε δραστηριότητα. Ο αντίστοιχο ισχύει για τους διάφορους περιορισμούς.

➤ Βεβαιότητα-Προσδιορισμένοι συντελεστές (Certainty)

Οι διάφορες παράμετροι του προβλήματος πρέπει να είναι γνωστές σταθερές και μάλιστα γνωστές με απόλυτη βεβαιότητα.

➤ Ανάλυση Ευαισθησίας (Sensitivity Analysis)

Συχνά η απαίτηση της βεβαιότητας δεν ισχύει και για τον λόγο αυτό εφαρμόζεται η τακτική της θεώρησης μιας συνήθους τιμής μιας παραμέτρου ως βέβαια και στη συνέχεια με την βοήθεια της ανάλυση ευαισθησίας να εξετάζονται οι επιπτώσεις της μεταβολής της τιμής της παραμέτρου στη λύση του προβλήματος.

4.4 Ο Γραμμικός Προγραμματισμός Σε Ακτινωτά Δίκτυα Βαρύτητας

Η βελτιστοποίηση ενός δικτύου μεταφοράς νερού, είναι η εύρεση του βέλτιστου οικονομοτεχνικά συνδυασμού διαμέτρων των αγωγών βάσει προκαθορισμένων προδιαγραφών λειτουργίας του δικτύου. Σκοπός είναι η ελαχιστοποίηση του ολικού κόστους (κατασκευής και λειτουργίας) εξασφαλίζοντας την επαρκή υδραυλική λειτουργία του δικτύου (least-cost optimisation problem).

Ωστόσο, όταν ο σχεδιασμός γίνεται με μόνο κριτήριο το κόστος, ακόμη και όταν πρόκειται για κυκλοφοριακά δίκτυα, στερεί από τις λύσεις την επιθυμητή ελαστικότητα (resilience) (Todini, 2000). Για το λόγο αυτό, πολλά μοντέλα στο παρελθόν αντιμετώπιζαν το πρόβλημα ως ελαχιστοποίησης κόστους με

περιορισμό αξιοπιστίας (Fermani, Walters, & Savic, 2005), ή πλέον συνήθως εφαρμόζουν πολυκριτηριακή βελτιστοποίηση, με κριτήρια κόστους και αξιοπιστίας.

Το ακτινωτό δίκτυο βαρύτητας είναι μία κατηγορία δικτύου που μπορεί εύκολα να υπαχθεί σε γραμμική βελτιστοποίηση. Αποτελεί μία συνένωση σειριακών δικτύων όπου κάθε μία διαδρομή τροφοδοτεί ένα μοναδικό σημείο εξόδου, δηλαδή σε κανένα σημείο του δικτύου δεν σχηματίζονται κλειστές διαδρομές (βρόχοι) (Τσακίρης, 2010). Όταν σε ένα τέτοιο δίκτυο η κίνηση του νερού κατά μήκος των αγωγών οφείλεται στην υψομετρική διαφορά μεταξύ της δεξαμενής ρύθμισης και των κόμβων υδροληψίας, πρόκειται για ακτινωτό δίκτυο βαρύτητας.

Ακολουθεί η μεθοδολογία του γραμμικού προγραμματισμού με σκοπό την οικονομοτεχνική βελτιστοποίηση ακτινωτών δικτύων βαρύτητας.

4.4.1 Απαιτούμενα Δεδομένα

Η διαδικασία της βελτιστοποίησης στα υδραυλικά δίκτυα έπεται της χάραξης του δικτύου και του υπολογισμού των παροχών σχεδιασμού. Συνεπώς τα δεδομένα που πρέπει να είναι διαθέσιμα τα εξής:

- Παροχή σχεδιασμού σε όλους τους κλάδους του δικτύου.

Κάθε κλάδος ενώνει έναν ανάντη κόμβο με έναν κατάντη. Μέρος της παροχής καταναλώνεται κατά μήκος του κλάδου (παροχή κατανάλωσης) και το υπόλοιπο καταναλώνεται από τους κατάντη κλάδους (παροχή μεταφοράς).

- Χάραξη του δικτύου.

Πρόκειται για μία κάτοψη του δικτύου με όλα τα γεωμετρικά του χαρακτηριστικά, με τη χρήση των οποίων θα υπολογιστούν τα απαραίτητα υδραυλικά μεγέθη και θα διατυπωθούν οι αντίστοιχοι περιορισμοί.

- Ελάχιστη πιεζομετρική στάθμη υδροληψίας.

Εξαρτάται από τα υψόμετρα Z των κόμβων και τις απώλειες κατά μήκος των κλάδων.

- Φυσικά και εμπορικά χαρακτηριστικά των υποψήφιων υλικών των αγωγών.

Περιλαμβάνει τις διαμέτρους, τα κόστη ανά μέτρο μήκους, την τραχύτητα και την ονομαστική πίεση των διαθέσιμων υλικών της αγοράς. Στο κόστος ανά μέτρο μήκους περιλαμβάνεται το κόστος προμήθειας των αγωγών και των ειδικών εξαρτημάτων, μεταφοράς, εκσκαφής, τοποθέτησης, σύνδεσης, δοκιμής και εγκιβωτισμού.

- Οι γραμμικές απώλειες φορτίου.

Αυτές υπολογίζονται από την εξίσωση Darcy - Weisbach και ο συντελεστής τριβών από τη σχέση Swamee & Jain (1976). Συνήθως λαμβάνονται υπόψη και οι τοπικές απώλειες φορτίου της τάξης του 10% των γραμμικών απωλειών (Τσακίρης, 2010)

4.4.2 Ζητούμενο Και Περιορισμοί

Το ζητούμενο είναι:

Η διαστασιολόγηση ενός ακτινωτού δικτύου βαρύτητας, με ελαχιστοποίηση του κόστους των σωληνώσεων, οι διάμετροι των οποίων επιλέγονται από ένα ασυνεχές σύνολο υποψήφιων διαμέτρων με γνωστά τα κόστη τους ανά μέτρο μήκους.

Οι περιορισμοί που τίθενται είναι (Τσακίρης, 2010):

- Η πιεζομετρική γραμμή για τις παροχές υπολογισμού και λειτουργίας του δικτύου δεν πρέπει να τέμνει το έδαφος.
- Το ελάχιστο καθορισμένο ύψος πιεζομετρικής γραμμής πρέπει να εξασφαλιστεί στα σημεία κατανάλωσης.
- Οι ταχύτητες ροής θα πρέπει να κυμαίνονται μεταξύ (0,5-1,5) m/s για την αποφυγή μεταφοράς φερτών και δημιουργίας υδραυλικού πλήγματος αντίστοιχα.
- Η ελάχιστη ονομαστική διάμετρος θα πρέπει να είναι 90 mm.

4.4.3 Διατύπωση Προβλήματος

Έστω ακτινωτό δίκτυο βαρύτητας m κλάδων, στο οποίο έχει προεπιλεχθεί ενιαίο υλικό σωληνώσεων και ενιαία κλάση αγωγών πριν από τη βελτιστοποίηση. Όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω το κόστος των σωληνώσεων περιλαμβάνει:

- το κόστος αγοράς
- το κόστος μεταφοράς στο εργοτάξιο
- το κόστος εκσκαφής
- το κόστος διάστρωσης
- το κόστος σύνδεσης
- το κόστος επίκωσης
- το κόστος ειδικών τεμαχίων

Οπότε το κόστος του δικτύου είναι ουσιαστικά το κόστος των σωληνώσεων ανά μέτρο μήκους.

Αντικείμενο της απόφασης επομένως είναι η επιλογή των διαμέτρων εκείνων για συγκεκριμένα μήκη των σωληνώσεων, ώστε το συνολικό κόστος του δικτύου, εξαντλώντας την ελάχιστη επιτρεπτή στάθμη πιεζομετρικής γραμμής αυτού, να είναι το ελάχιστο.

Ορισμός μεταβλητών απόφασης

Ως μεταβλητές X_i απόφασης ορίζονται οι διάμετροι D . Τίθενται εν τούτης δύο ζήτημα:

- Το κόστος ανά μέτρο μήκους για ένα συγκεκριμένο υλικό και κλάση διαφέρει ανά διάμετρο αγωγού και σχεδόν ποτέ δεν εφαρμόζεται κοινή διάμετρος σε ολόκληρο το δίκτυο και ενίοτε κατά μήκος ενός κλάδου. Αυτό σημαίνει ότι η σχέση κόστους και διαμέτρου δεν είναι ευθέως ανάλογη, διότι εισχωρεί ο παράγοντας του μήκους που δεν είναι προκαθορισμένος. Η σχέση όμως κόστους και μήκους είναι ευθέως ανάλογη και αυτό θα αξιοποιηθεί στη συνέχεια.,
- Οι γραμμικές απώλειες φορτίου εξαρτώνται μη γραμμικά από τις διαμέτρους, οι οποίες συνήθως διαφοροποιούνται από κλάδο σε κλάδο ή ακόμα και κατά μήκος ενός κλάδου. Ωστόσο, οι γραμμικές απώλειες είναι γραμμικώς συσχετισμένες με το μήκος.

Είναι σαφές ότι η εξίσωση της συνάρτησης σκοπού (κόστος) και των μεταβλητών απόφασης (διάμετροι) πρέπει να είναι γραμμικές. Γι' αυτό κάθε μήκος σωλήνωσης σε συγκεκριμένο κλάδο που αντιστοιχεί αμφοιμονοσήμαντα σε διαφορετική διάμετρο, θεωρείται μία μεταβλητή απόφασης.

Τελικά οι μεταβλητές απόφασης είναι τα διάφορα μήκη σωληνώσεων X_1, X_2, \dots, X_n .

Καθορισμός Συνάρτησης Σκοπού

Στόχος στο συγκεκριμένο πρόβλημα είναι η ελαχιστοποίηση του κόστους. Έτσι η συνάρτησης σκοπού διαμορφώνεται ως εξής:

$$\text{optimize } Z = \min f(x) = c_1X_1 + c_2X_2 + \dots + c_nX_n \quad (4.14)$$

Όπου:

- X_i : τα μήκη των σωληνώσεων σε μέτρα (m) ($i = 1, 2, \dots, n$)
- i : το κόστος ανά μέτρο μήκους σωλήνωσης σε ευρώ ανά μέτρο (€/m) ($i = 1, 2, \dots, n$).

Καθορισμός Περιορισμών

Οι περιορισμοί αφορούν στα μήκη των κλάδων, στις απώλειες φορτίου και στη φυσική σημασία των μεταβλητών απόφασης και είναι:

Γεωμετρικοί περιορισμοί, που υπαγορεύονται από την οριζοντιογραφία του δικτύου, σύμφωνα με τους οποίους σε κάθε κλάδο το άθροισμα των μεταβλητών απόφασης ισούται με το μήκος του, δηλαδή ξεκινώντας από τον πρώτο κλάδο 1 μέχρι και τον m, είναι:

$$X_1 + X_1 + \dots + X_k = L_1$$

$$\begin{aligned}
X_{k+1} + X_{k+2} + \dots + X_{\dots} &= L_2 \\
\dots & \\
X_{\dots} + X_{\dots+1} + \dots + X_n &= L_n
\end{aligned}
\tag{4.15}$$

Όπου:

- X_i : τα μήκη των σωληνώσεων σε μέτρα (m) ($i = 1, 2, \dots, n$)
- L_i : τα μήκη των κλάδων σε μέτρα (m) ($i = 1, 2, \dots, n$)

Περιορισμοί απωλειών φορτίου. Σε καμία περίπτωση δεν θα πρέπει οι απώλειες ενέργειας να είναι μεγαλύτερες από την υψομετρική διαφορά δεξαμενής-κόμβου, καθώς και το απαιτούμενο ύψος πίεσης των διάφορων κτηρίων (π.χ. για δώροφα κτήρια το ύψος πίεσης είναι $h_p = 16 - 19$ m). Ξεκινώντας από τα ανάντη προς τα κατάντη και αθροίζοντας τους κόμβους από 0 ως m, είναι:

$$\begin{aligned}
\sum h_{f(0-1)} &\leq Z_o - Z_1 - h_p \\
\sum h_{f(0-2)} &\leq Z_o - Z_2 - h_p \\
\dots & \\
\sum h_{f(0-m)} &\leq Z_o - Z_m - h_p
\end{aligned}
\tag{4.16}$$

Όπου:

- $\sum h_{f(0-j)}$: οι γραμμικές απώλειες φορτίου (προσαύξηση τοπικών απωλειών αμελητέα) κατά μήκος του κλάδου j ($j = 1, 2, \dots, n$) εκπεφρασμένες συναρτήσει των μηκών σωλήνωσης X_i και των υψομέτρων Z_i (m), ($i = 1, 2, \dots, n$)

Φυσικοί περιορισμοί, επειδή οι μεταβλητές απόφασης είναι μήκη σωληνώσεων, πρόκειται για φυσικά μεγέθη, επομένως δεν μπορούν να πάρουν αρνητικές τιμές, δηλαδή:

$$X_i \geq 0 \tag{4.17}$$

Όπου:

- X_i : τα μήκη των σωληνώσεων σε μέτρα (m) ($i = 1, 2, \dots, n$).

Όλα τα παραπάνω μπορούν να γραφούν σε μορφή μητρώων ως εξής:

$$c^T X = \max f(x) \tag{4.18}$$

$$SX < h \tag{4.19}$$

$$AX = L \quad (4.20)$$

$$X \geq 0 \quad (4.21)$$

Όπου:

- c^T : η μήτρα με τα κόστη c_i της συνάρτησης στόχου σε ανάστροφη μορφή διαστάσεων (nx1) σε €/m
- X : η μήτρα με τα επιμέρους μήκη σωλήνωσης X_i διαστάσεων (nx1) σε m
- S : η μήτρα με τις γραμμικές απώλειες ανά μέτρο μήκους σε κάθε κλάδο S_{ij} διαστάσεων (mxn)
- h : η μήτρα με τα επιτρεπόμενα ύψη απωλειών φορτίου h_{fi} διαστάσεων (mx1) σε m
- A : μια μήτρα με τα στοιχεία 0 ή 1 διαστάσεων (mxn)
- L : η μήτρα με τα μήκη όλων των κλάδων του δικτύου L_i διαστάσεων (mx1)
- 0 : ένα διάνυσμα με n μηδενικά στοιχεία διαστάσεων (nx1), που δεσμεύει τη μη αρνητικότητα των μεταβλητών X_i

4.4.4 Αλγόριθμος Επίλυσης Προβλήματος

Με δεδομένα το μήκος L_i και την παροχή Q_i (σταθερή) του κάθε κλάδου του θεωρητικού ακτινωτού δικτύου βαρύτητας που εξετάζεται, παρουσιάζεται ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης του δικτύου.

Βήμα 1ο: Ορισμός των μεταβλητών απόφασης X_i

Βάσει των περιορισμών των ταχυτήτων ροής, εκλέγεται το εύρος των αποδεκτών εσωτερικών διαμέτρων ($D_{min} - D_{max}$) βάσει του τύπου:

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi V}} \quad (4.22)$$

Από την ελάχιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα $V_{min} = 0,5 \text{ m/s}$ εκλέγεται η μέγιστη διάμετρος D_{max} και αντίστοιχα από τη μέγιστη διάμετρος $V_{max} = 1,5 \text{ m/s}$ η ελάχιστη διάμετρος D_{min} , καθώς η ταχύτητα είναι αντιστρόφως ανάλογη του τετραγώνου της διαμέτρου.

Σε ότι αφορά τους περιορισμούς των ταχυτήτων αναφερόμαστε στην $V_{max} = 1,5 \text{ m/s}$ για την αποφυγή υδραυλικού πλήγματος και στην $V_{min} = 0,5 \text{ m/s}$ για τη μείωση των πιθανοτήτων μεταφοράς φερτών υλών (Τσακίρης, 2010).

Μέσα σε αυτό το εύρος που υπολογίστηκε υπάρχει ένα σύνολο διαμέτρων του εμπορίου. Ανάλογα με το υλικό, οι τυποποιημένες αναγραφόμενες διαμέτροι μπορεί να είναι εσωτερικές ή εξωτερικές. Αν είναι εσωτερικές χρησιμοποιούνται ως έχουν, στην περίπτωση όπου για παράδειγμα ο αγωγός είναι από χάλυβα ή κυτοσίδηρο, ενώ αν είναι εξωτερικές, όπως για παράδειγμα στους πλαστικούς

αγωγούς, αφαιρείται κάθε φορά το διπλάσιο του πάχους τους για να βρεθούν οι εσωτερικές, δηλαδή:

$$D_{εσωτ.} = D_{εξωτ.} - 2 \times d$$

Όπου:

- $D_{εσωτ.}$: η εσωτερική διάμετρος που θα χρησιμοποιηθεί στους υδραυλικούς υπολογισμούς (mm)
- $D_{εξωτ.}$: η εξωτερική διάμετρος όπως αναγράφεται στην εμπορική ονομασία (mm)
- d : το πάχος ενός σωλήνα με την επονομαζόμενη εξωτερική διάμετρο (mm)

Οι διαμέτροι λοιπόν αυτές που ανήκουν στο αποδεκτό εύρος και ανήκουν σε τμήμα X_i μήκος του κλάδου, διατάσσονται σε αύξουσα σειρά και αριθμούνται διαδοχικά από τον πρώτο ως τον τελευταίο κατάντη κλάδο X_1, X_2, \dots, X_l . Είναι σαφές ότι η επανεμφάνιση της ίδιας διαμέτρου σε άλλον κλάδο δεν υπαγορεύει την ίδια αρίθμηση στην αντίστοιχη μεταβλητή X_i (Τσακίρης, 2010).

Σημειώνεται ότι η ελάχιστη επιτρεπόμενη ονομαστική διάμετρος ενός κλάδου είναι 90 mm (Τσακίρης, 2010). Στην περίπτωση λοιπόν που προκύψει σε κάποιον υπολογισμό, κλάδος με άνω όριο ονομαστικής διαμέτρου μικρότερο από 90 mm, επιλέγεται τότε μονοσήμαντα διάμετρος $D = 90$ mm, χωρίς να εισχωρήσουν άλλες μεταβλητές απόφασης. Ταυτόχρονα, ελαχιστοποιείται και το κόστος του συγκεκριμένου κλάδου.

Γνωρίζοντας τελικά τις μεταβλητές απόφασης και τα κόστη ανά διάμετρο και κλάση, διατυπώνεται η συνάρτησης σκοπού.

Στο σημείο αυτό αξίζει να τονισθεί ότι η κλάση του αγωγού δηλώνει την αντοχή του αγωγού σε πίεση. Η μέγιστη πίεση εμφανίζεται όταν η ροή διακόπτεται οπότε η κλάση εξάγεται από τη διαφορά μεταξύ του υψηλότερου και του χαμηλότερου σημείου του δικτύου και επιλέγεται η αμέσως μεγαλύτερη από μία γκάμα διακριτών τιμών του εμπορίου για το επιλεγμένο υλικό.

Βήμα 2ο: Υπολογισμός απωλειών φορτίου ανά μήκος h_f και ανά μέτρο μήκους (S)

Με δεδομένη την παροχή σχεδιασμού $Q_i (m^3/s)$ σε κάθε κλάδο και με βάση τις επιλεγμένες εσωτερικές διαμέτρους $D_i (m)$ που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στον εκάστοτε κλάδο, υπολογίζονται:

- Οι ταχύτητες V_i : (4.24)

$$V_i = \frac{4Q}{\pi D_i^2} \quad (m/s)$$

- Ο αριθμός Reynolds:

$$Re_i = \frac{V_i D_i}{\nu} \quad (mm) \quad (4.25)$$

Όπου:

ν : η κινηματική συνεκτικότητα του ρευστού (m/s^2)

- Ο συντελεστής τριβής f κατά Swamee & Jain:

$$f_i = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{5,74}{Re_i^{0,9}} + \frac{k/D_i}{3,7} \right) \right]^2} \quad (4.26)$$

Όπου:

k : ο συντελεστής τραχύτητας του υλικού του αγωγού (mm)

- Η αντίσταση του αγωγού R:

$$R_i = \frac{8f_i L_i}{g\pi^2 D_i^5} \quad (s^2/m^5) \quad (4.27)$$

Όπου:

L_i : το μήκος του κλάδου (m)

$g = 9,81 \text{ (m/s}^2\text{)}$: η επιτάχυνση της βαρύτητας

π : ο άρρητος αριθμός

Όλα τα παραπάνω μεγέθη χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των γραμμικών απωλειών κάθε κλάδου βάσει της σχέσης:

$$\sum h_{f_i} = R_i Q_i^2 \quad (m) \quad (4.28)$$

Το συνολικό ύψος απωλειών περιλαμβάνει εκτός από τις γραμμικές απώλειες και τις τοπικές ως το 10% κατά προσέγγιση των γραμμικών, ωστόσο πολλές φορές στη διαδικασία βελτιστοποίησης αυτές θεωρούνται αμελητέες, ειδικά αν η τραχύτητα του υλικού είναι μεγάλη.

Στον υπολογισμό των γραμμικών απωλειών υπεισέρχονται το μήκος σωληνώσεων. Για το λόγο αυτό υπολογίζουμε τις απώλειες ανά μέτρο μήκους ή την κλίση απωλειών φορτίου S :

$$S = \frac{\sum h_{f_i}}{L} \quad (4.29)$$

Έτσι οι συνολικές απώλειες του πρώτου κλάδου ($i = 1$) αν αυτός έχει k μεταβλητές απόφασης, είναι:

$$\sum h_{f_{(0 \rightarrow 1)}} = S_1 X_1 + S_2 X_2 + \dots + S_k X_k \quad (4.30)$$

Στον δεύτερο κλάδο ($i = 2$) αν αυτός έχει p μεταβλητές απόφασης, είναι:

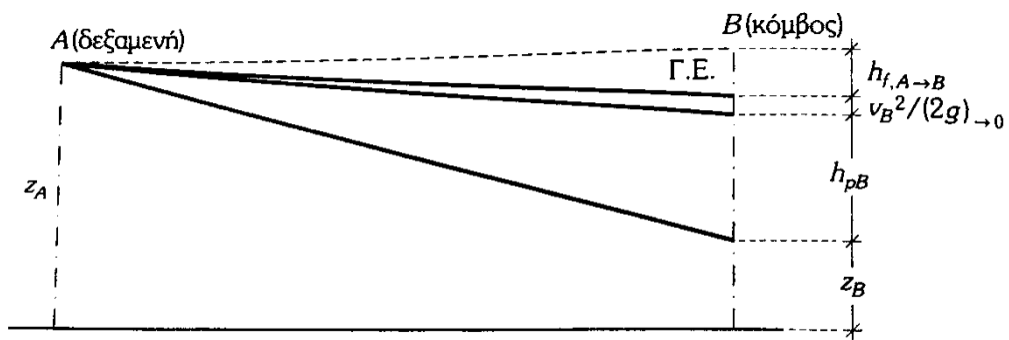
$$\sum h_{f_{(1 \rightarrow 2)}} = S_{k+1} X_{k+1} + S_{k+2} X_{k+2} + \dots + S_{k+p} X_{k+p} \quad (4.31)$$

...

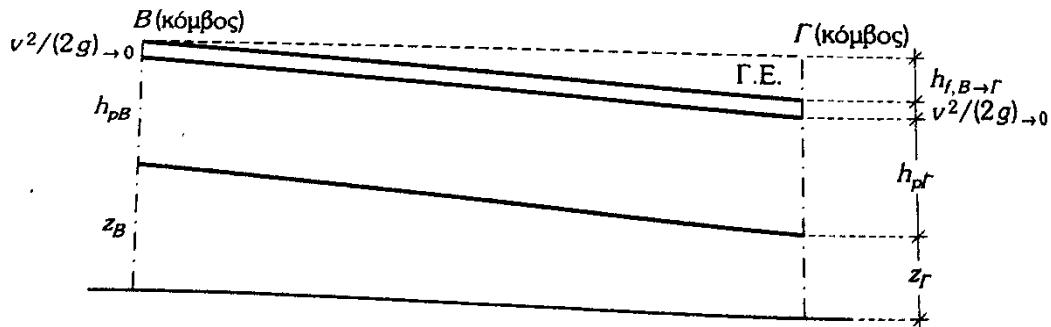
Και στον τελευταίο κλάδο ($i = m$) είναι:

$$\sum h_{f_{(m-1 \rightarrow m)}} = S_{\dots} X_{\dots} + S_{\dots+1} X_{\dots+1} + \dots + S_m X_m \quad (4.32)$$

Ο ενεργειακός υπολογισμός αρχίζει από τη δεξαμενή. Για λόγους ασφαλείας, ως υψόμετρο της πιεζομετρικής γραμμής στη δεξαμενή λαμβάνεται η στάθμη του πυθμένα της, προκειμένου να εξασφαλίζεται η δυσμενέστερη κατάσταση ή τουλάχιστον η τουλάχιστον η κατώτερη στάθμη λειτουργίας.



Σχήμα 4.1: Προσδιορισμός πίεσης στον κόμβο B αμέσως μετά τη Δεξαμενή Α
Πηγή: (Τσακίρης, 2010)



Σχήμα 4.2: Προσδιορισμός πίεσης στον κόμβο Γ αμέσως μετά το κόμβο Β
Πηγή: (Τσακίρης, 2010)

Έτσι έχουμε:

$$H_A = Z_A \quad (4.33)$$

Αφαιρείται από το υψόμετρο της δεξαμενής το ύψος απωλειών στον αγωγό από τη δεξαμενή μέχρι τον επόμενο κόμβο του δικτύου και έτσι προκύπτει το υψόμετρο της πιεζομετρικής γραμμής στον κατάντη κόμβο.

$$H_B = H_A - h_{f,A \rightarrow B} \quad (4.34)$$

Αφαιρώντας από το υψόμετρο πιεζομετρικής γραμμής το υψόμετρο του εδάφους, προκύπτει το πιεζομετρικό φορτίο στο κατάντη άκρο.

$$h_{pB} = H_B - Z_B \quad (4.35)$$

Αν έχουμε π.χ. διώροφα κτήρια το ύψος πίεσης πρέπει να είναι:

$$h_{pB} \geq 16 \xrightarrow{(4.35)}$$

$$H_B - Z_B \geq 16 \rightarrow$$

$$H_A - h_{f,A \rightarrow B} - Z_B \geq 16 \xrightarrow{(4.33)}$$

$$Z_A - h_{f,A \rightarrow B} - Z_B \geq 16 \rightarrow$$

$$\Delta Z_{AB} - h_{f,A \rightarrow B} \geq 16 \rightarrow$$

$$h_{f,A \rightarrow B} \leq \Delta Z_{AB} - 16 \quad (4.36)$$

Ομοίως, εργαζόμαστε και για το επόμενο άκρο Γ

$$H_\Gamma = H_B - h_{f,B \rightarrow \Gamma} \rightarrow \quad (4.37)$$

$$h_{p\Gamma} = H_\Gamma - Z_\Gamma \quad (4.38)$$

Πρέπει:

$$h_{p\Gamma} \geq 16 \xrightarrow{(4.38)} \quad (4.39)$$

$$\begin{aligned}
H_{\Gamma} - Z_{\Gamma} &\geq 16 \xrightarrow{(4.37)} \\
H_B - h_{f,B \rightarrow \Gamma} - Z_{\Gamma} &\geq 16 \xrightarrow{(4.34)} \\
H_A - h_{f,A \rightarrow B} - h_{f,B \rightarrow \Gamma} - Z_{\Gamma} &\geq 16 \xrightarrow{(4.33)} \\
Z_A - h_{f,A \rightarrow B} - h_{f,B \rightarrow \Gamma} - Z_{\Gamma} &\geq 16 \rightarrow \\
h_{f,A \rightarrow B} + h_{f,B \rightarrow \Gamma} &\leq \Delta Z_{A\Gamma} - 16 \quad (4.40)
\end{aligned}$$

Γενικεύοντας πρέπει να ισχύει η παρακάτω σχέση σε ό,τι αφορά την πιεζομετρική γραμμή:

$$\sum h_{f(0 \rightarrow i)} \leq Z_0 - Z_i - h_{pi} \rightarrow \quad (4.41)$$

Όπου:

- Z_i : το υψόμετρο εδάφους του κόμβου i , ($i = 1, 2, \dots, m$)
- $\sum h_{f(0 \rightarrow i)}$: οι συνολικές γραμμικές απώλειες κατά μήκος του κλάδου i σε μέτρα (m) ($i = 1, 2, \dots, m$)
- Z_0 : το υψόμετρο της δεξαμενής στην Κ.Σ.Λ. που ταυτίζεται με τη στάθμη της Π.Γ. H_0 σε μέτρα (m)
- h_{pi} : το ύψος πίεσης του κλάδου i σε μέτρα (m) ($i = 1, 2, \dots, m$)

Εφόσον οι συνολικές απώλειες εκφράζονται συναρτήσει των κλίσεων απωλειών φορτίου, σε έναν κόμβο i του δικτύου ο περιορισμός διατυπώνεται ως εξής:

$$S_1 X_1 + S_2 X_2 + \dots + S_i X_i \leq Z_0 - Z_i - h_{pi} \quad (4.42)$$

Η παραπάνω σχέση εφαρμόζεται διαδοχικά από τα ανάντη προς τα κατόντη σε όλους τους κόμβους.

Όπου:

- S_i : οι κλίσεις απωλειών φορτίου των κλάδων
- X_i : μήκος σωλήνωσης με διαφορετική διάμετρο

Βήμα 3ο: Επίλυση

Η συνάρτησης σκοπού και οι περιορισμοί διατυπώνονται σε μαθηματική μορφή σε κατάλληλο πρόγραμμα επίλυσης προβλημάτων βελτιστοποίησης. Στα υδραυλικά έργα ευρεία είναι η χρησιμοποίηση του LINGO της LINDO Systems, εκτενής αναφορά για το οποίο θα γίνει στο επόμενο κεφάλαιο. Κατάλληλες συναρτήσεις που εξυπηρετούν τον ίδιο σκοπό, υπάρχουν και στο Microsoft Excel.

Στο πρόγραμμα LINGO είναι δυνατόν πριν από την επίλυση να επιλεγεί η εμφάνιση μονοσήμαντης ακέραιης λύσης για κάθε κλάδο. Συνήθως στην πράξη

το πρόγραμμα επιλύεται χωρίς κάποια επιπλέον προϋπόθεση και οι μη ακέραιες λύσεις που συνήθως προκύπτουν, στρογγυλοποιούνται ώστε να έχει νόημα η εφαρμογή τους (LINDO Systems Inc, 2011).

Ενίοτε αν πρόκειται για διαστασιολόγηση μεγάλου σε μήκος κλάδου (της τάξης των μερικών km) η λύση δεν είναι μονοσήμαντη, προκύπτουν δηλαδή δύο (σπανιότερα τρεις) διάμετροι που πρέπει να εφαρμοστούν στον ίδιο κλάδο.

Βήμα 4ο: Εξαγωγή του συνολικού κόστους

Μετά την επίλυση, προκύπτει ο συνδυασμός εκείνος μεταβλητών απόφασης που πραγματοποιεί την καλύτερη απόφαση, δηλαδή την ελαχιστοποίηση του κόστους του δικτύου. Αν σε ένα κλάδο προκύψει μονοσήμαντη λύση, αυτός διαστασιολογείται με μία διάμετρο σε όλο το μήκος του. Αν προκύψουν δύο λύσεις, ο κλάδος διαστασιολογείται σε δύο τμήματα με διαφορετικές διαμέτρους ξεκινώντας από τη μικρότερη και εφαρμόζοντας τη μεγαλύτερη στα κατάντη. Αυτό γίνεται για να αυξηθεί η βεβαιότητα επάρκειας νερού μέχρι και στον πιο απομακρυσμένο κόμβο του δικτύου.

Γνωρίζοντας επομένως το κόστος ανά μέτρο μήκους C_i για την διάμετρο που προέκυψε και για την κλάση που έχει προεπιλεγθεί, μπορεί να εξαχθεί το συνολικό κόστος του δικτύου:

$$Total\ Cost = C_1X_1 + C_2X_2 + \dots + C_iX_i \quad (4.43)$$

Στην περίπτωση που το δίκτυο αποτελείται και από κλάδους εκ των προτέρων διαστασιολογημένους με την ελάχιστη διάμετρο Φ90 βάσει των περιορισμών ταχύτητας που αναφέρθηκαν παραπάνω, το κόστος είναι ανεξάρτητο της βελτιστοποίησης και προκύπτει εύκολα με απλό πολλαπλασιασμό του κόστους μέτρο μήκους για Φ90 με το μήκος του κλάδου. Έτσι, το προκαθορισμένο αυτό κόστος προστίθεται στο κόστος των υπόλοιπων κλάδων που εξήχθη με γραμμικό προγραμματισμό και προκύπτει τελικά το συνολικό κόστος του δικτύου.

Βήμα 5ο: Ανάλυση Ευαισθησίας

Στα προβλήματα γραμμικού προγραμματισμού, εξίσου σημαντικό με την εύρεση των ποσοτήτων που βελτιστοποιούν την τιμή της συνάρτησης σκοπού είναι το εάν και κατά πόσο η βέλτιστη λύση που προέκυψε είναι αξιόπιστη ως προς τις (οριακές) αλλαγές των παραμέτρων του προβλήματος. Προκειμένου να απαντήσουμε σε τέτοιου είδους ερωτήματα, καταφεύγουμε στην ανάλυση ευαισθησίας των περιορισμών του προβλήματος μεταβάλλοντας (αυξάνοντας ή/και μειώνοντας) οριακά τις διαθέσιμες ποσότητες του δεξιού μέλους των ανισοτήτων και υπολογίζουμε τις μεταβολές που προκύπτουν.

Με άλλα λόγια η ανάλυση ευαισθησίας έχει ως στόχο να μας πληροφορήσει τόσο για τις αλλαγές που επέρχονται στην λύση του προβλήματος εξαιτίας αλλαγών στις παραμέτρους ενδιαφέροντος όσο και για την αξιοπιστία της λύσης που προέκυψε αρχικά.

Στην περίπτωση των προβλημάτων γραμμικού προγραμματισμού, η ανάλυση ευαισθησίας μελετά την περίπτωση της μεταβολής της βέλτιστης λύσης ενός ΠΓΠ όταν αλλάξουν ορισμένα από τα αρχικά δεδομένα του. Πιο συγκεκριμένα, οι μεταβολές που εξετάζονται στην περίπτωση των ΠΓΠ αφορούν τα παρακάτω (Κουνετάς & Χατζησταμούλου, 2015):

- μεταβολή στους συντελεστές κέρδους (για προβλήματα μεγιστοποίησης) ή κόστους (για προβλήματα ελαχιστοποίησης).
- μεταβολή των διαθέσιμων ποσοτήτων των πόρων.
- μεταβολή των συντελεστών του συστήματος των περιορισμών (δηλαδή των τεχνολογικών συντελεστών ή των συντελεστών μετατροπής).
- προσθήκη ή/και αφαίρεση μεταβλητών.
- προσθήκη ή/και αφαίρεση περιορισμών.

Εν προκειμένω επιλέχθηκε η μεταβολή στην 1^η περίπτωση της παροχής ζήτησης των κλάδων και στη 2^η της τραχύτητας των αγωγών, διατηρώντας τις ίδιες μεταβλητές απόφασης. Και στις δύο περιπτώσεις επηρεάζονται οι συντελεστές αριστερού μέλους των περιορισμών πιεζομετρικού φορτίου.

Κεφάλαιο 5

Λογισμικά: Epanet Και Lingo

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα δύο λογισμικά τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στην συγκεκριμένη διπλωματική. Αυτά είναι το λογισμικό επίλυσης υδρευτικών δικτύων, Epanet 2 και το λογισμικό επίλυσης γραμμικού προγραμματισμού Lingo.

5.1 Λογισμικό Επίλυσης Υδρευτικών Δικτύων: Epanet

Το Epanet είναι ένα πολύ διαδεδομένο πρόγραμμα μοντελοποίησης, επίλυσης και προσομοίωσης δικτύων ανοικτών και κλειστών αγωγών που αναπτύχθηκε από το Τμήμα Παροχής Ύδατος και Υδατικών Πόρων της Υπηρεσίας Προστασίας Περιβάλλοντος των Ηνωμένων Πολιτειών (U.S. Environmental Protection Agency) . Η πρώτη του έκδοση έγινε το 1993 (Rossman 1993), η δεύτερη το 1999, και η τελευταία το 2008, που είναι ελεύθερα διαθέσιμη στην ιστοσελίδα του οργανισμού (<https://www.epa.gov/water-research/epanet>). Επίσης ελεύθερος είναι ο κώδικας του προγράμματος, και γι' αυτό έχει χρησιμοποιηθεί ως βάση για πολλά εμπορικά προγράμματα προσομοίωσης δικτύων.

Αποτελεί ένα χρήσιμο ερευνητικό εργαλείο, το οποίο βοηθάει στην κατανόηση του τρόπου της κίνησης του νερού μέσα στα δίκτυα διανομής του. Γενικά, τέτοιου είδους προγράμματα, παρέχουν εύκολη πρόσβαση στα εργαλεία τα οποία χρειάζονται για να προσομοιωθούν και επιλυθούν σύνθετα υδραυλικά δίκτυα. Πιο συγκεκριμένα, το EPANET με τις πολύ εξελιγμένες δυνατότητες προσομοίωσής του, μπορεί να επιλύσει υδραυλικά αλλά και ποιοτικά το δίκτυο, δίνοντας τα αποτελέσματα σε διάφορες μορφές, όπως χάρτες, γραφήματα, πίνακες κλπ.

5.1.1 Υδραυλική Λειτουργία Του Δικτύου

Σε ό,τι αφορά την υδραυλική λειτουργία, το πρόγραμμα είναι ικανό να:

- Αναλύει όλα τα δίκτυα, ανεξαρτήτως μεγέθους.
- Λαμβάνει υπόψη γραμμικές αλλά και τοπικές απώλειες.
- Προσομοιώνει δεξαμενές σταθερής ή μεταβλητής γεωμετρίας, διάφορους τύπους ειδικών συσκευών (δικλίδες, μειωτές πίεσης) καθώς και αντλίες σταθερής ή μεταβλητής παροχής.
- Υπολογίζει την κατανάλωση ενέργειας και το κόστος λειτουργίας του δικτύου.
- Επιτρέπει τη χρήση διαφορετικών προτύπων χρονικής διακύμανσης της κατανάλωσης για πολλαπλές χρήσεις και για κάθε κόμβο.
- Υποστηρίζει τη δυνατότητα ενσωμάτωσης κανόνων λειτουργίας του δικτύου, μέσω κώδικα που γράφει ο χρήστης (συνήθως πρόκειται για χρονικούς περιορισμούς ή περιορισμούς παροχής της μορφής if...then).

5.1.2 Ποιοτική Λειτουργία Του Δικτύου

Σε ό,τι αφορά την ποιοτική λειτουργία, το πρόγραμμα είναι ικανό να:

- Εντοπίζει συντηρητικά και μη συντηρητικά συστατικά στο δίκτυο.
- Προσδιορίζει την πηγή του νερού καθώς επίσης την ηλικία και του νερού αλλά και των υπόλοιπων στοιχείων του δικτύου.
- Παρακολουθεί το ποσοστό του νερού που φτάνει, από ένα συγκεκριμένο κόμβο, σε όλους τους υπόλοιπους.
- Προσομοιώνει την αντίσταση που εμφανίζεται τόσο στη ροή όσο και στα τοιχώματα των σωλήνων.

5.1.3 Βήματα Επίλυσης Δικτύου Μέσω Epanet

Τα βήματα που ακολουθούμε για την σχεδίαση του δικτύου μας στο συγκεκριμένο πρόγραμμα είναι τα παρακάτω:

1. Σχεδίαση του δικτύου
2. Εισαγωγή των απαραίτητων δεδομένων των στοιχείων του δικτύου.
3. Περιγραφή της λειτουργίας του δικτύου.
4. Επιλογή βασικών παραμέτρων για την επίλυση του δικτύου
5. Επίλυση του δικτύου
6. Παρουσίαση των αποτελεσμάτων

Για κάθε στοιχείο του δικτύου υπάρχουν κάποιες βασικές ποσότητες οι οποίες θα πρέπει να εισαχθούν ως δεδομένα στο πρόγραμμα. Οι ποσότητες αυτές παρουσιάζονται παρακάτω:

Για τις συνδέσεις (junctions), ως δεδομένα εισάγονται:

- Το υψόμετρό τους (elevation), υπολογισμένο σε σχέση με κάποιο σημείο αναφοράς. Συνήθως είναι υπολογισμένο από τη μέση στάθμη της θάλασσας.
- Η κατανάλωση νερού (base demand).

Για τους αγωγούς (pipes), ως δεδομένα εισάγονται:

- Η εσωτερική τους διάμετρος (diameter)
- Το μήκος τους (length)
- Ο συντελεστής τραχύτητας (roughness coefficient)

Για τις δεξαμενές (reservoirs), ως δεδομένα εισάγονται:

- Το υψόμετρο της δεξαμενής (total head), το οποίο αντιστοιχεί στο υψόμετρο της επιφάνειας του νερού στη δεξαμενή, όταν αυτή δε βρίσκεται υπό πίεση.

Για τις δεξαμενές αποθήκευσης (tanks), ως δεδομένα εισάγονται:

- Το υψόμετρο πυθμένα στο οποίο αντιστοιχεί μηδενική στάθμη νερού (elevation).
- Η διάμετρος της δεξαμενής (diameter).
- Το υψόμετρο της στάθμης του νερού πάνω από τον πυθμένα της, στην αρχή της προσομοίωσης (initial level).
- Το ελάχιστο υψόμετρο της στάθμης του νερού πάνω από τον πυθμένα της, κάτω από το οποίο η δεξαμενή δε μπορεί να λειτουργήσει (minimum level).
- Το μέγιστο υψόμετρο της στάθμης του νερού πάνω από τον πυθμένα της, το οποίο η δεξαμενή δε μπορεί να ξεπεράσει (maximum level).

Για τις αντλίες (pumps), ως δεδομένα εισάγονται:

- Οι χαρακτηριστικές τους καμπύλες (pump curves), οι οποίες στην ουσία αναπαριστούν τη σχέση μεταξύ ύψους ενέργειας και ροής που μπορούν να παράγουν οι αντλίες.

Για τις βαλβίδες (valves), ως δεδομένα εισάγονται:

- Η διάμετρος τους (diameter).
- Η κατάσταση τους, δηλαδή αν είναι ανοικτές ή κλειστές (status).
- Ο τύπος βαλβίδας (setting).

5.2 Λογισμικό Επίλυσης Γραμμικού Προγραμματισμού Lingo

Πολύ διαδεδομένο λογισμικό για την επίλυση προβλημάτων γραμμικού προγραμματισμού, όπως είναι αυτά ενός υδραυλικού δικτύου, είναι το LINGO της LINDO Systems.

Η εταιρία LINDO Systems έκανε την πρώτη της εμφάνιση το 1972 με σκοπό την παροχή αποδοτικών εργαλείων βελτιστοποίησης τα οποία να είναι εύκολα στη χρήση. Το 1988 η LINDO Systems παρουσίασε το LINGO, ως το πρώτο λογισμικό που περιλάμβανε μία ολοκληρωμένη γλώσσα διατύπωσης προβλημάτων βελτιστοποίησης. Μέχρι το 1993 με διαρκείς βελτιώσεις και προσθήκες, το Lingo διαμορφώθηκε σε ένα ολοκληρωμένο εργαλείο δυνατότητας του χρήστη να κατασκευάζει και να επιλύει μέσω αυτής γραμμικά, μη γραμμικά, τετραγωνικά, περιορισμένα τετραγωνικά, δευτεροβάθμια, στοχαστικά, και ακέραια μοντέλα βελτιστοποίησης. Μάλιστα ο χρήστης δεν χρειαζόταν να προκαθορίσει το είδος της. Μετά την κατασκευή του μοντέλου, το λογισμικό μπορούσε να το αναλύσει

και να καθορίσει την καταλληλότητα μιας γραμμικής ή μιας μη γραμμικής επίλυσης. Πολύ σημαντικό πλεονέκτημα ήταν και η δυνατότητα του χρήστη να αποκλείσει εκ των προτέρων μη ακέραιες λύσεις αν το επιθυμούσε (LINDO Systems Inc, 2011)

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε η free edition του προγράμματος, στην οποία, στο κομμάτι του γραμμικού προγραμματισμού μπορούν να επιλυθούν μοντέλα με τη δυνατότητα έως και:

- 150 περιορισμών
- 300 μεταβλητών
- 30 ακέραιων μεταβλητών

και χορηγείται από την ιστοσελίδα:

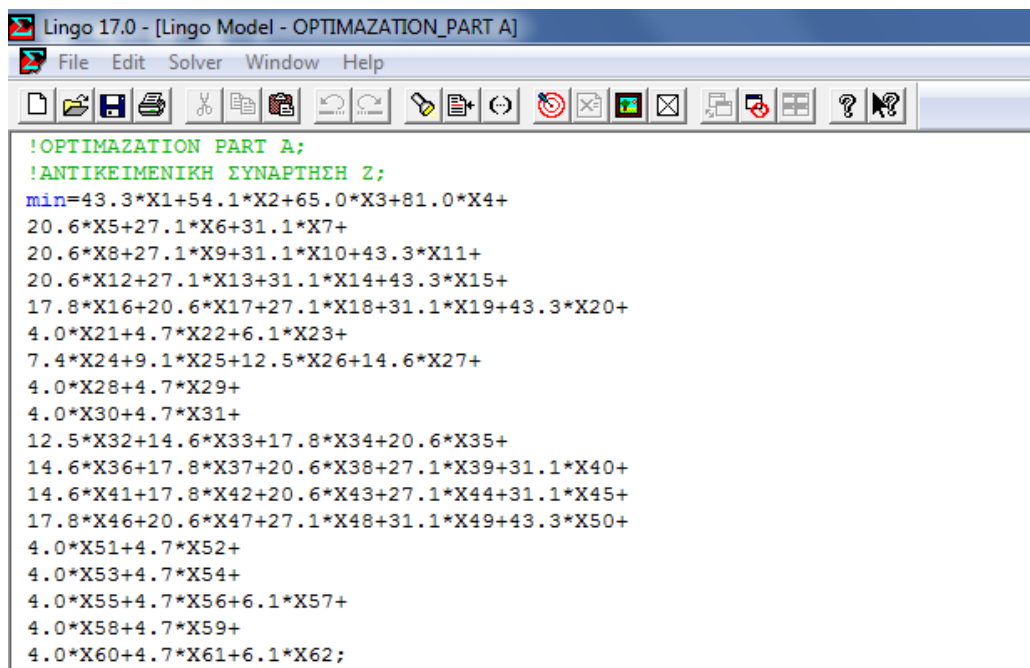
https://www.lindo.com/index.php?option=com_content&view=article&id=34&Itemid=15

5.2.1 Συγγραφή Πηγαίου Κώδικα Λογισμικού Lingo

Σχετικά με την συγγραφή του κώδικα στο προγραμματιστικό περιβάλλον Lingo ισχύουν τα εξής:

- Στο πέρας κάθε εξίσωσης ή ανίσωσης να αναγράφεται το σύμβολο ";".
- Για την προσθήκη οποιουδήποτε σχολίου αναγράφεται στην αρχή το σύμβολο "!" και στο πέρας του σχολίου το σύμβολο ";", έτσι η γραμματοσειρά του σχολίου γίνεται πράσινη και διαχωρίζεται από το μοντέλο.
- Τα σύμβολα των πράξεων είναι κατά τα γνωστά, "+" για την πρόσθεση, "-" για την αφαίρεση, "*" για τον πολλαπλασιασμό και ":" για τη διαίρεση.

Το πρόγραμμα δεν απαιτεί καμία προκαθορισμένη ρύθμιση. Έτσι διατυπώνεται απευθείας η συνάρτηση στόχου Z. Αν από το πρόβλημα απαιτείται η μεγιστοποίησή της, δηλ. αν πρόκειται ουσιαστικά για κέρδος, αυτή παίρνει το πρόθεμα max και στη συνέχεια διατυπώνεται συναρτήσεων των μεταβλητών. Ομοίως, αν πρόκειται για κόστος, η συνάρτηση παίρνει το πρόθεμα min, όπως φαίνεται στο παρακάτω παράδειγμα.



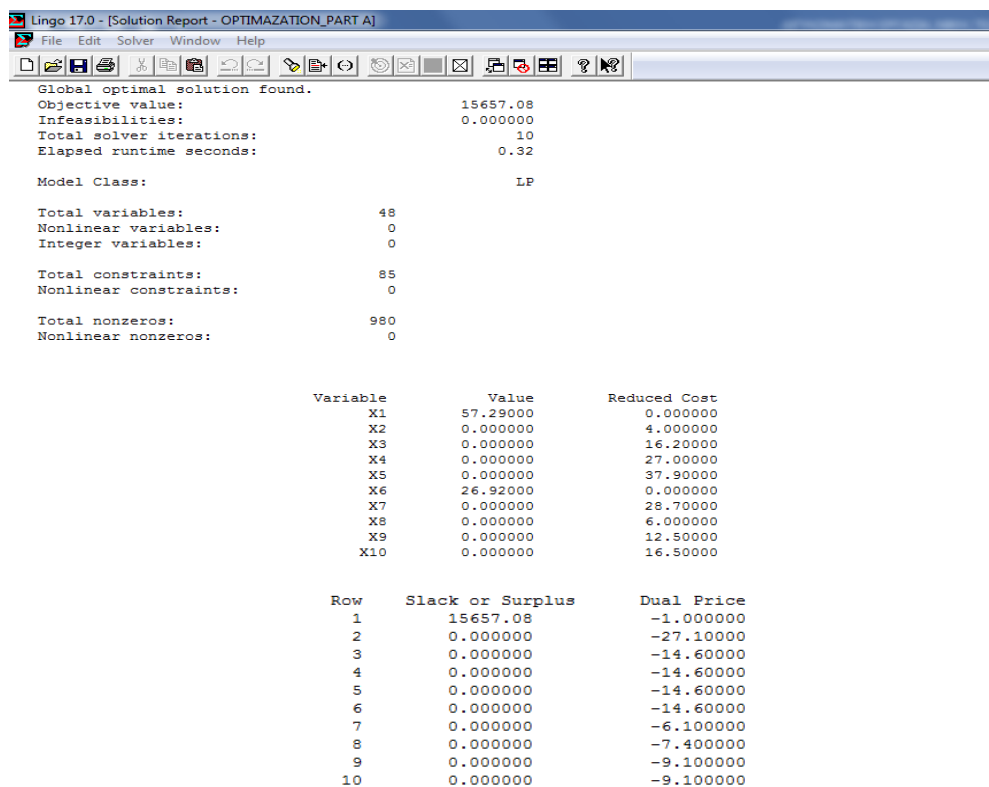
```

!OPTIMAZATION PART A;
!ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΙΚΗ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ Z;
min=43.3*X1+54.1*X2+65.0*X3+81.0*X4+
20.6*X5+27.1*X6+31.1*X7+
20.6*X8+27.1*X9+31.1*X10+43.3*X11+
20.6*X12+27.1*X13+31.1*X14+43.3*X15+
17.8*X16+20.6*X17+27.1*X18+31.1*X19+43.3*X20+
4.0*X21+4.7*X22+6.1*X23+
7.4*X24+9.1*X25+12.5*X26+14.6*X27+
4.0*X28+4.7*X29+
4.0*X30+4.7*X31+
12.5*X32+14.6*X33+17.8*X34+20.6*X35+
14.6*X36+17.8*X37+20.6*X38+27.1*X39+31.1*X40+
14.6*X41+17.8*X42+20.6*X43+27.1*X44+31.1*X45+
17.8*X46+20.6*X47+27.1*X48+31.1*X49+43.3*X50+
4.0*X51+4.7*X52+
4.0*X53+4.7*X54+
4.0*X55+4.7*X56+6.1*X57+
4.0*X58+4.7*X59+
4.0*X60+4.7*X61+6.1*X62;

```

Εικόνα 5.1: Συνάρτηση Στόχου σε Περιβάλλον Lingo

Με την εντολή Solve γίνεται η επίλυση του προβλήματος, τα αποτελέσματα του οποίο εμφανίζονται σε μια νέα καρτέλα, όπως στο παρακάτω παράδειγμα.



```

Global optimal solution found.
Objective value:                15657.08
Infeasibilities:                 0.000000
Total solver iterations:         10
Elapsed runtime seconds:         0.32

Model Class:                    LP

Total variables:                 48
Nonlinear variables:             0
Integer variables:               0

Total constraints:               85
Nonlinear constraints:           0

Total nonzeros:                 980
Nonlinear nonzeros:             0

```

Variable	Value	Reduced Cost
X1	57.29000	0.000000
X2	0.000000	4.000000
X3	0.000000	16.20000
X4	0.000000	27.00000
X5	0.000000	37.90000
X6	26.92000	0.000000
X7	0.000000	28.70000
X8	0.000000	6.000000
X9	0.000000	12.50000
X10	0.000000	16.50000

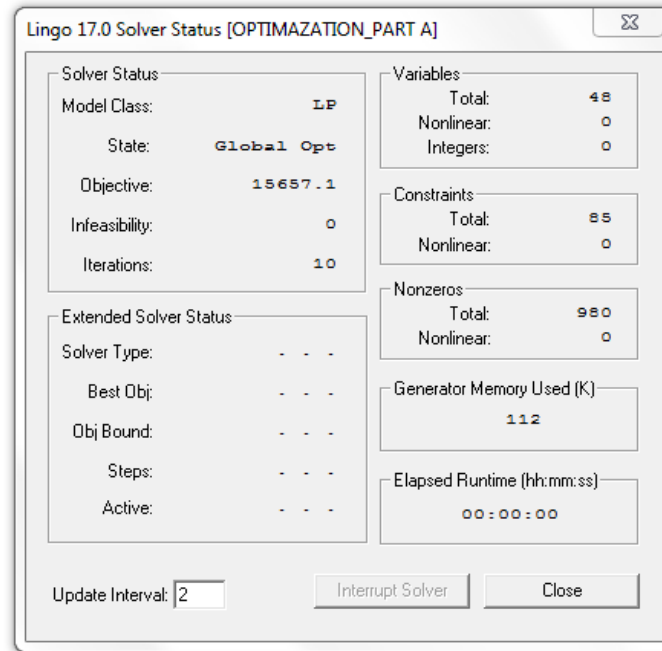
Row	Slack or Surplus	Dual Price
1	15657.08	-1.000000
2	0.000000	-27.10000
3	0.000000	-14.60000
4	0.000000	-14.60000
5	0.000000	-14.60000
6	0.000000	-14.60000
7	0.000000	-6.100000
8	0.000000	-7.400000
9	0.000000	-9.100000
10	0.000000	-9.100000

Εικόνα 5.2: Αποτελέσματα Επίλυσης Προβλήματος Γραμμικού Προγραμματισμού σε Περιβάλλον Lingo

Ακολουθεί η επεξήγηση των σειρών:

- **Objective value:** είναι η τιμή της συνάρτησης στόχου ή συνάρτησης σκοπού που προκύπτει από την επίλυση, το μέγιστο δηλ. κέρδος που μπορεί αν επιτευχθεί.
- **Infeasibilities:** ένα γραμμικό πρόγραμμα χαρακτηρίζεται ως infeasible (ανέφικτο), όταν δεν υπάρχει καμία λύση που να ικανοποιεί όλους τους περιορισμούς. Στο παράδειγμα αναφοράς δεν συμβαίνει αυτό, διότι η λύση ενημερώνει για 0 infeasibilities.
- **Total solver iterations:** πρόκειται για τις επαναλήψεις που έπρεπε να γίνουν για να υπάρξει σύγκλιση, ξεκινώντας από την υπόθεση της μηδενικής λύσης. Εν προκειμένω έγιναν δύο επαναλήψεις.
- **Model Class:** το είδος το μοντέλου. Εδώ πρόκειται για Γραμμικό Προγραμματισμό (Linear Programming), εξου και το LP.
- **Total variables:** το πλήθος των μεταβλητών απόφασης (X1, X2, X3)
- **Nonlinear variables:** το πλήθος των μεταβλητών απόφασης που συμμετέχουν στη διατύπωση μη γραμμικών σχέσεων. Εν προκειμένω δεν υπάρχουν.
- **Integer variables:** το πλήθος των μεταβλητών απόφασης που προαπαιτείται να πάρει μόνο ακέραιες τιμές. Σε αυτό το στάδιο δεν απαιτείται κάτι τέτοιο.
- **Total constraints:** το πλήθος των περιορισμών συμπεριλαμβανομένης της συνάρτησης στόχου.
- **Nonlinear constraints:** το πλήθος των μη γραμμικών περιορισμών. Δεν υπάρχουν.
- **Total nonzeros:** το πλήθος των μη μηδενικών συντελεστών των μεταβλητών απόφασης στις γραμμικές σχέσεις.
- **Nonlinear nonzeros:** το πλήθος των μη μηδενικών συντελεστών των μεταβλητών απόφασης στις μη γραμμικές σχέσεις.
- **Variable:** η μεταβλητή απόφασης
- **Value:** η τιμή της μεταβλητής που προκύπτει από την επίλυση
- **Reduced cost:** δείχνει την οικονομική απώλεια από την παραγωγή μιας επιπλέον μονάδας μιας μεταβλητής που δεν συμπεριελήφθη στην επίλυση. Εδώ η επίλυση υποδεικνύει τη χρήση και των τριών μεταβλητών γ'αυτό η ένδειξη στο " reduced cost " είναι μηδέν.

Το φύλλο των αποτελεσμάτων συνοδεύεται από ένα μικρό πίνακα που επεξηγεί τα χαρακτηριστικά της επίλυσης, όπως και στο πάνω μέρος του report της επίλυσης.



Εικόνα 5.3: Πίνακας Με Τα χαρακτηριστικά Της Επίλυσης

Αν είναι επιθυμητό τα αποτελέσματα να παίρνουν μόνο ακέραιες τιμές, έστω και για τις τρεις μεταβλητές, προστίθεται στους περιορισμούς η εντολή @BIN ως πρόθεμα σε κάθε μία υπό παρένθεση μεταβλητή.

Κεφάλαιο 6

Δίκτυο Ύδρευσης Του Οικισμού Αγίου Νικολάου Αναβύσσου – Επίλυση Και Βελτιστοποίηση

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο παρουσιάζεται και αποτυπώνεται με την καλύτερη δυνατή προσέγγιση, από άποψη τοπογραφικών και υδραυλικών στοιχείων, το υφιστάμενο δίκτυο ύδρευσης του οικισμού Αγίου Νικολάου Αναβύσσου. Μερικά από τα στοιχεία του δικτύου αυτού, ελήφθησαν από το προσωπικό της τεχνικής υπηρεσίας ύδρευσης Αναβύσσου (η οποία τώρα εντάσσεται στο Δήμο Σαρωνικού), από επιτόπια συλλογή στοιχείων στο χώρο της δεξαμενής και σε χώρο που γινόταν αποκατάσταση βλάβης και από επεξεργασία στην εφαρμογή Google maps. Αρχικά, γίνεται προσομοίωση του δικτύου στο πρόγραμμα επίλυσης υδραυλικών δικτύων Epanet και ακολουθεί η βελτιστοποίηση του στο λογισμικό επίλυσης γραμμικού προγραμματισμού Lingo.

6.1 Περιοχή Μελέτης

Η περιοχή μελέτης της παρούσας εργασίας είναι ο οικισμός του Αγίου Νικολάου στην περιοχή της Αναβύσσου. Συγκεκριμένα ο οικισμός βρίσκεται στο 49^ο χιλιόμετρο της Λεωφόρου Αθηνών-Σουνίου και έχει πάρει την συγκεκριμένη ονομασία από το εξωκλήσι του Αγίου Νικολάου, το οποίο βρίσκεται στην αρχή του λοφίσκου της ομώνυμης μικρής χερσονήσου ΝΔ της Αναβύσσου.



Εικόνα 6.1: Εξωκλήσι Αγίου Νικολάου,
Αναβύσσου

Πηγή: <https://www.geopedia.gr/periballontiki-ekpaideysi>



Εικόνα 6.2: Οικισμός Αγίου Νικολάου

Πηγή: <https://earth.google.com/web/>

Συνοπτικά για τον οικισμό του Αγίου Νικολάου έχουμε τα παρακάτω στοιχεία:

Περιοχή Κατοικίας	Εντός Σχεδίου
Επιτρεπόμενη Χρήση	Αμιγής Κατοικία
Έκταση	0,583 km²
Έκταση Γης Για Κατοικία	0.406 km²
Εμβαδόν Κατοικίας	(406 Στρέμματα × 0,40 σ.δ.)162.400 m² Κατοικίας
Αριθμός Δυνητικών Κατοίκων	$\left(\frac{162,400 \text{ m}^2 \text{ κατοικίας}}{40 \text{ m}^2 \text{ ανά κάτοικο}}\right) 4.060 \text{ κάτοικοι}$

Πίνακας 6.1: Στοιχεία του Οικισμού Αγίου Νικολάου Αναβύσσου

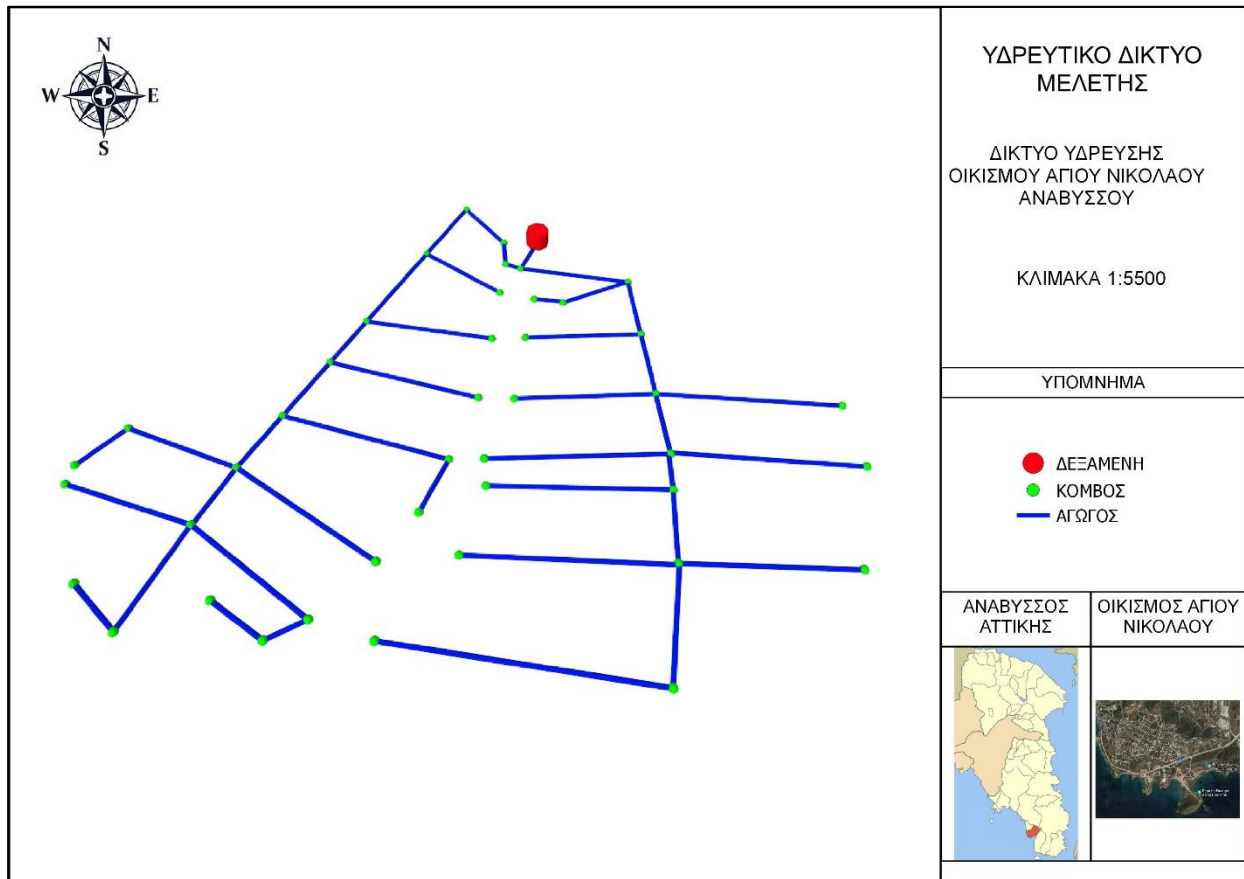
Το ανάγλυφο της περιοχής είναι έντονο, με αρκετά μεγάλες υψομετρικές διαφορές. Ο οικισμός αποτελείται από τέσσερις λόφους. Στην εικόνα 6.3 φαίνονται οι υψομετρικές διακυμάνσεις, όπως αυτές παρατηρούνται από την χρήση του Google Earth.



Εικόνα 6.3: 3D Απεικόνιση Του Οικισμού Αγίου Νικολάου, Αναβύσσου
Πηγή: <https://earth.google.com/web/>

6.2 Δίκτυο Μελέτης

Το δίκτυο μελέτης της παρούσας εργασίας είναι ακτινωτό βαρύτητας και φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:

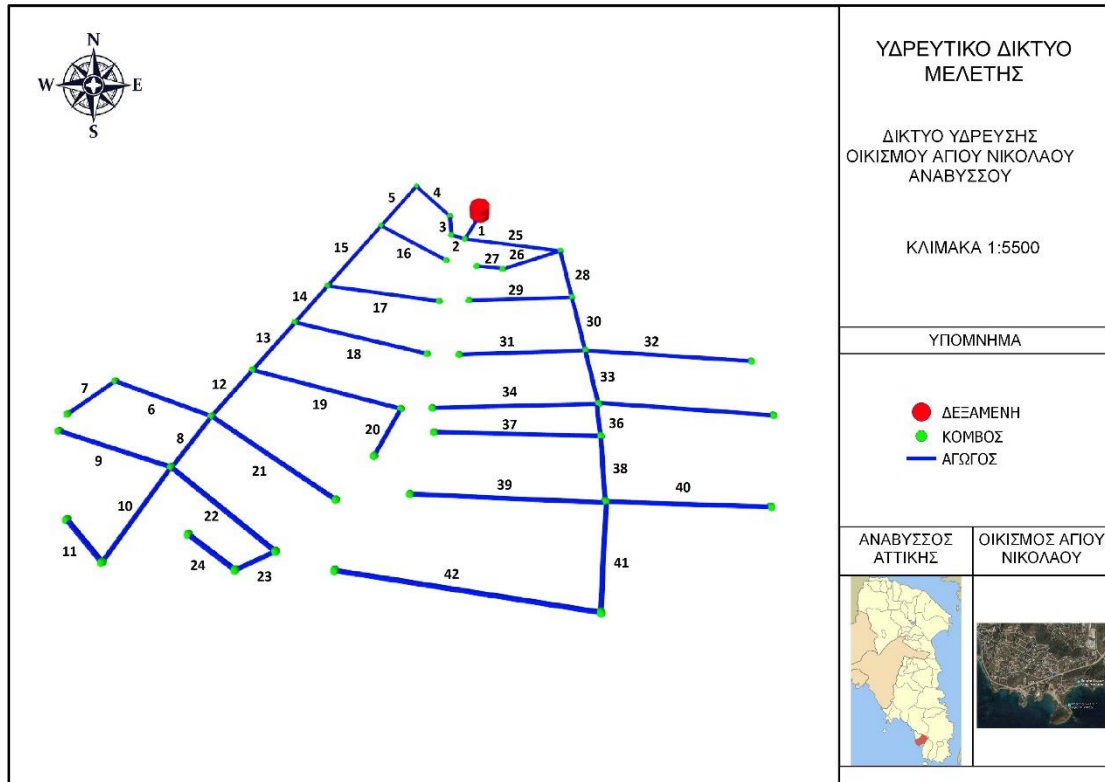


Εικόνα 6.4: Δίκτυο Μελέτης 3D Απεικόνιση Δημιουργία Σε Περιβάλλον QGIS

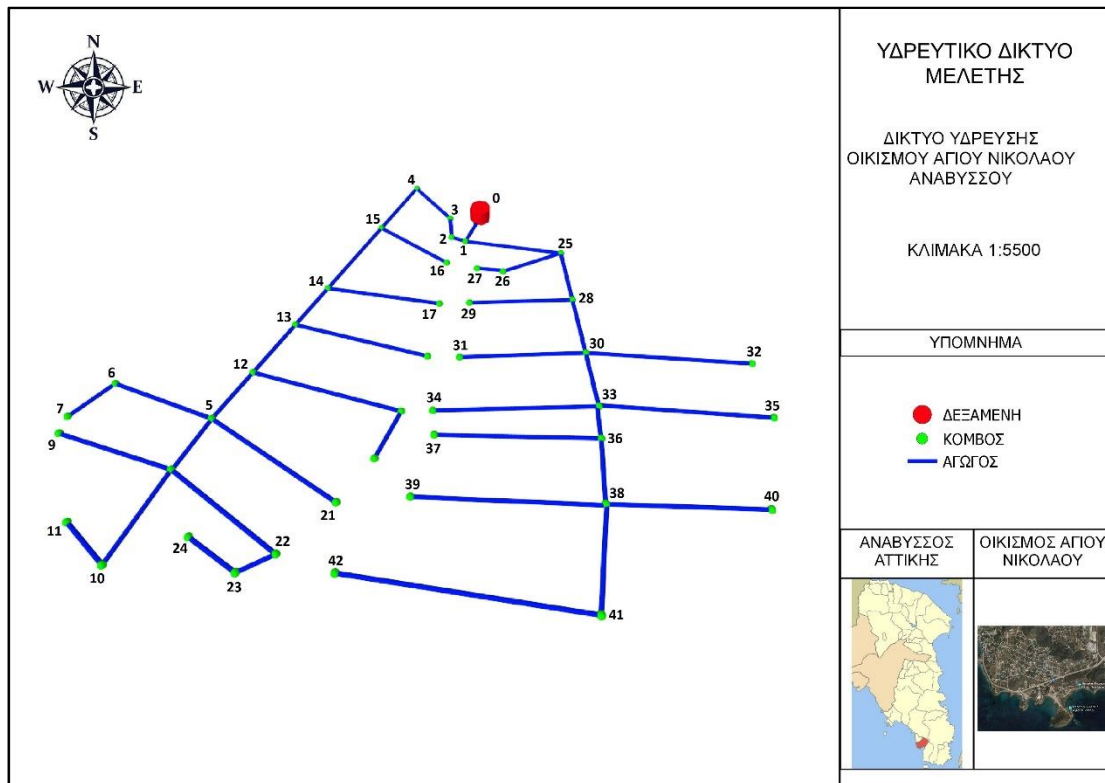
Σύμφωνα με τα στοιχεία που δόθηκαν, όπως προαναφέρθηκε, από το τεχνικό προσωπικό του Δήμου Σαρωνικού και τα στοιχεία που προέκυψαν από το χάρτη της περιοχής μελέτης, όσον αφορά στο οδικό δίκτυο, το οποίο συμπίπτει με το υδρευτικό, το δίκτυο μελέτης αποτελείται από:

- 42 αγωγούς Πολυβινυλοχλωριδίου (PVC) (αρχικά είχε σωλήνες από Αμιαντοσιμέντο, οι οποίοι έχουν πλέον όλοι αντικατασταθεί) συνολικού μήκους 6.302,78 m. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ως γεγονός ότι το δίκτυο αυτό έχει πολλούς κλάδους με σωλήνες ονομαστικής διαμέτρου Φ63 και Φ75, δηλαδή διαμέτρους, οι οποίες σήμερα αποφεύγονται και δεν χρησιμοποιούνται, βάσει σχετικών οδηγιών. Η χρήση των διαμέτρων αυτών εξηγείται, καθώς αρχικά το δίκτυο ανήκε στο συνεταιρισμό και αργότερα στην Κοινότητα Αναβύσσου.
- 42 κόμβους

Στις δύο εικόνες που ακολουθούν παρουσιάζονται οι αγωγοί και οι κόμβοι του δικτύου.



Εικόνα 6.5: Οι 42 Αγωγοί Του Δίκτυο Μελέτης 3D Απεικόνιση Δημιουργία Σε Περιβάλλον QGIS



Εικόνα 6.6: Οι 42 Κόμβοι Του Δίκτυο Μελέτης 3D Απεικόνιση Δημιουργία Σε Περιβάλλον QGIS

Τα μήκη του κάθε αγωγού, καθώς και τα υψόμετρα των κόμβων φαίνονται στον αντίστοιχο πίνακα III.1 του Παραρτήματος Β (III. Στοιχεία Δικτύου Μελέτης).

Σε ό,τι αφορά τη δεξαμενή 24h ρύθμισης, είναι κατασκευασμένη σε ανάντη λόφο και δεσπόζει υψομετρικά της περιοχής ύδρευσης, βρίσκεται σε υψόμετρο +104 m, ενώ η Κατώτατη Στάθμη Λειτουργίας της (ΚΣΛ) βρίσκεται σε στάθμη με υψόμετρο +105 m με την αντίστοιχη Ανώτερη Στάθμη Λειτουργίας της (ΑΣΛ) σε στάθμη με υψόμετρο +109 m.



*Εικόνα 6.7: Δεξαμενή 24h Ρύθμισης Υδρευτικού Δικτύου
Οικισμού Αγίου Νικολάου, Αναβύσσου*

Για το συγκεκριμένο δίκτυο δεν δόθηκαν άλλες πληροφορίες από το Δήμο Σαρωνικού, καθώς δεν υπήρχε η οριστική μελέτη του συγκεκριμένου δικτύου, μιας και το δίκτυο κατασκευάστηκε με διαδοχικές επεκτάσεις, ανάλογα με την πύκνωση των κατοικιών του οικισμού. Για το λόγο αυτό προβήκαμε στην προσομοίωση του δικτύου στο λογισμικό πρόγραμμα επίλυσης υδραυλικών δικτύων Epanet, με βάση τα όσα στοιχεία δόθηκαν από το Δήμο Σαρωνικού.

Η προσομοίωση αυτή προϋποθέτει:

- Την εκτίμηση του μελλοντικού πληθυσμού
- Τον εκτίμηση της παροχής ανά μονάδα μήκους
- Τον προσδιορισμό των κλάσεων των αγωγών του δικτύου

Όλα αυτά παρουσιάζονται στις παρακάτω υποενότητες.

6.2.1 Εκτίμηση Μελλοντικού Πληθυσμού για το έτος 2000

Ο οικισμός του Αγίου Νικολάου Αναβύσσου ιδρύθηκε το 1965, με το Βασιλικό Διάταγμα της 22 Φεβρουαρίου 1965, (ΦΕΚ Δ 47 της 23/3/1965), με το οποίο επεκτάθηκε το πολεοδομικό σχέδιο Αναβύσσου στην περιοχή του Αγίου Νικολάου και καθορίστηκαν οι όροι και οι περιορισμοί δομήσεως των οικοπέδων αυτού. Διοικητικά, ο οικισμός ανήκε αρχικά στην Κοινότητα Αναβύσσου και τώρα

στον Δήμο Σαρωνικού. Αρχικά, με δαπάνες των μελών του οικοδομικού συνεταιρισμού με την επωνυμία «ΟΙΚΟΔΟΜΙΚΟΣ ΣΥΝΕΤΑΙΡΙΣΜΟΣ Η ΑΤΤΙΚΗ» εκπονήθηκαν οι μελέτες και ακολούθως εκτελέστηκαν τα έργα υποδομής της περιοχής, με χρονική περίοδο υλοποίησης μεταξύ των ετών 1965 με 1970. Μεταξύ αυτών, το οδικό δίκτυο, μέρος του παρόντος δικτύου ύδρευσης, το δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας κ.λπ. Εάν ληφθεί υπόψη το πλήθος των μελών του οικοδομικού συνεταιρισμού με τα μέλη των οικογενειών τους, και το πλήθος των οικοπέδων, βάσιμα μπορεί να θεωρηθεί ως αρχικός πληθυσμός οι 2000 κάτοικοι.

Για τον σχεδιασμό του δικτύου εκ μέρους του κυρίου του έργου, δηλαδή του συνεταιρισμού, είναι εύλογο να γίνει δεκτό ότι θεωρήθηκε μια σταθερή αύξηση του πληθυσμού $b = 30$ κάτοικοι το χρόνο (λαμβάνοντας υπόψη τη γενικότερη οικιστική τάση της εποχής) και για βάθος χρόνου $v = 30$ έτη. Έτσι η παράμετρος του μελλοντικού πληθυσμού που χρησιμοποιήθηκε είναι:

$$P_{2000} = P_0 + bv \rightarrow$$

$$P_{2000} = 2000 + 30 \times 30 \rightarrow$$

$$P_{2000} = 2900 \text{ κάτοικοι}$$

6.2.2 Εκτίμηση Παροχής Κατανάλωσης Των Κλάδων

Για τον συγκεκριμένο οικισμό, (λαμβάνοντας υπόψη την επιφάνεια των οικοπέδων, το μικρό ποσοστό κάλυψης, τους κήπους με χλοοτάπητες και τις πισίνες), είναι βάσιμο να εκτιμηθεί ότι ως ημερήσια κατανάλωση ελήφθη η παροχή:

$$q = 300 \text{ l}/(\text{κάτοικο} \times \text{ημέρα})$$

Ο συνολικός πολλαπλασιαστής Trifuninic δίνεται από τον τύπο:

$$F_{o\lambda} = F_1 \times F_2 = 126e^{-0.9 \times \log N} \xrightarrow{N=P_{2000}}$$

$$F_{o\lambda} = 126e^{-0.9 \times \log 2900} \rightarrow$$

$$F_{o\lambda} = 5.59$$

Η ημερήσια κατανάλωση είναι:

$$Q_d = \frac{q \times P_{2000}}{24 \text{ h} \times 36000 \text{ s}} \rightarrow$$

$$Q_d = \frac{300 \text{ l}/(\text{κατ.} \times \text{d}) \times 2900 \text{ κατ.}}{24 \text{ h} \times 36000 \text{ s}} \rightarrow$$

$$Q_d = 11.75 \text{ l/s}$$

Συνεπώς η μέγιστη ωριαία παροχή είναι:

$$Q_h^{max} = Q_d \times F_{ol} \rightarrow$$

$$Q_h^{max} = 11.75 \times 5.59 \rightarrow$$

$$Q_h^{max} = 65.68 \text{ l/s}$$

Το συνολικό μήκος των αγωγών διανομής είναι:

$$L_{\alpha\gamma} = L - L_1 = 6302.78 - 57,29 \rightarrow$$

$$L_{\alpha\gamma} = 6245,49 \text{ m}$$

Ο αγωγός 1 με μήκος $L_1 = 57,29 \text{ m}$ είναι αγωγός χωρίς διανομή και συνεπώς το μήκος του δεν επηρεάζει την ανηγμένη παροχή ανά μονάδα μήκους.

Στη συνέχεια υπολογίζεται η παροχή ανά μονάδα μήκους με βάση τον τύπο:

$$q_l = \frac{Q_h^{max}}{L} \rightarrow$$

$$q_l = \frac{65.68}{6245,49} \rightarrow$$

$$q_l = 10.516 \times 10^{-3} \text{ l/(s} \times \text{m)}$$

Η παροχή κατανάλωσης κάθε κλάδου είναι η παροχή που καταναλώνεται κατά μήκος του κλάδου και προσδιορίζεται πολλαπλασιάζοντας την ανηγμένη παροχή του οικισμού ανά μονάδα μήκους του κλάδου.

Οι παροχές κατανάλωσης για κάθε κλάδο βρίσκονται στον πίνακα III.2 στο Παράρτημα Β (III. Στοιχεία Δικτύου Μελέτης).

6.2.3 Προσδιορισμός Παροχής Των Κόμβων Και Προσδιορισμός Της Παροχής Σχεδιασμού Των Κλάδων

Θεωρώντας ότι η παροχή διανέμεται αποκλειστικά στον κατάντη κόμβο του κλάδου και απλοποιώντας την μέθοδο με βάση της α' Θεώρηση, ο προσδιορισμός της παροχής σχεδιασμού των κλάδων αρχίζει από τα κατάντη προς τα ανάντη. Με την μέθοδο αυτή παρακάμπτεται το βήμα υπολογισμού της παροχής των κόμβων εφόσον αυτές είναι ίσες με τις παροχές κατανάλωσης των ανάντη κλάδων. Έτσι έχουμε για τα ακραία τμήματα (π.χ. αγωγοί 7, 9, 11, 16, 27, 29, 40 κλπ.) η παροχή θα είναι ίση με το γινόμενο της ανηγμένης παροχής ανά μονάδα μήκους επί το μήκος του κλάδου. Για τους άλλους κλάδους υπολογίζεται αθροιστικό μήκος που θα είναι το μήκος του κλάδου συν το μήκος όλων των άλλων κλάδων κατάντη από αυτόν. Η παροχή σχεδιασμού θα είναι ίση με το γινόμενο της ανηγμένης παροχής (ανά μονάδα μήκους) επί το αθροιστικό μήκος που αντιστοιχεί στον κλάδο. Το αθροιστικό μήκος στον πιο ανάντη κλάδο (στο

συγκεκριμένο δίκτυο ο κλάδος 1) θα πρέπει να είναι ίσο με το συνολικό μήκος του δικτύου διανομής στον οικισμό.

Τα παραπάνω φαίνονται στους πίνακες III.3 και III.4 του Παραρτήματος Β (III. Στοιχεία Δικτύου Μελέτης).. Σημειώνεται ότι για την μελέτη του δικτύου το χωρίσαμε σε 2 τμήματα Α και Β.

6.2.4 Έλεγχος Στατικής Πίεσης

Ελέγχεται η στατική πίεση σε σχέση με το χαμηλότερο σημείο του δικτύου από πλευράς φυσικού υψομέτρου. Πράγματι θεωρώντας ακίνητο το νερό ισχύει:

$$h_{\Sigma} = h_{K\sigma\Lambda} - h_{min} \rightarrow$$

$$h_{\Sigma} = 105 - 49 \rightarrow$$

$$h_{\Sigma} = 56 \leq 60 \text{ m}$$

Επομένως στο συγκεκριμένο δίκτυο προκύπτει ότι ικανοποιείται ο περιορισμός της μέγιστης στατικής πίεσης. Σημειώνεται ότι σε περίπτωση που δεν ικανοποιούνται οι περιορισμοί στατικής πίεσης τότε πρέπει να γίνουν δραστικές παρεμβάσεις στο δίκτυο (π.χ. αλλαγή υψομέτρου δεξαμενής ρύθμισης ή ύδρευση κατά ζώνες).

6.2.5 Αρχική Επιλογή Διαμέτρων

Ο προσδιορισμός των αρχικών διαμέτρων γίνεται με την υπόθεση ότι η ταχύτητα ροής είναι $V = 1 \text{ m/s}$. Έτσι προκύπτει από τον ακόλουθο τύπο:

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi V} \xrightarrow{V=1\text{m/s}}}$$

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi \times 1}}$$

Ως αρχικές διαμέτροι επιλέγονται αυτές του εμπορίου που είναι ίσες ή μεγαλύτερες από τις υπολογισθείσες. Στον Πίνακα III.5 του Παραρτήματος Β (III. Στοιχεία Δικτύου Μελέτης) παρουσιάζεται η αρχική επιλογή των διαμέτρων του υπό εξέταση δικτύου.

6.2.6 Προσδιορισμός Κλάσεων Σωλήνων

Σε ό,τι αφορά την κλάση των αγωγών από τα δεδομένα της οριζοντιογραφίας, η μέγιστη υψομετρική διαφορά μεταξύ της ανώτατης στάθμης λειτουργίας του

νερού στη δεξαμενή 24h ρύθμισης ($Z_{ΑΣΛ} = 109 \text{ m}$) και του χαμηλότερου κόμβου του δικτύου, ο οποίος είναι ο κόμβος 22 ($Z_{22} = 49 \text{ m}$) είναι:

$$\Delta Z_{max} = Z_{ΑΣΛ} - Z_{22} \rightarrow$$

$$\Delta Z_{max} = 109 - 49 \rightarrow$$

$$\Delta Z_{max} = 60 \text{ m}$$

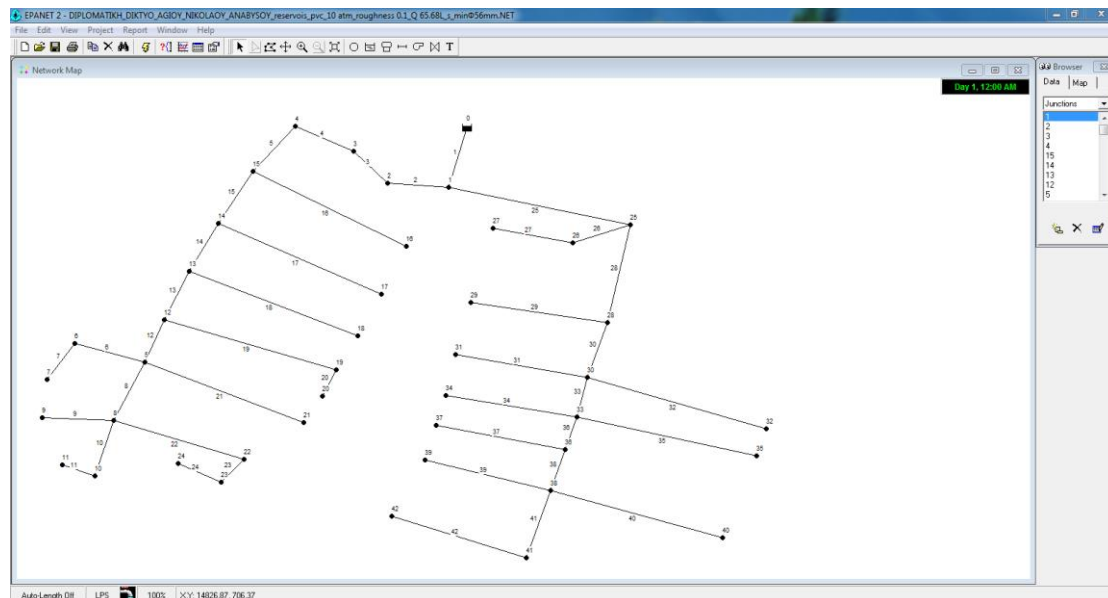
Δεδομένου ότι η 1 atm ισούται με 10 m στήλης νερού, η μέγιστη στατική πίεση του συγκεκριμένου δικτύου είναι:

$$P_{max} = 6 \text{ atm}$$

Επομένως, η κλάση των σωλήνων, που διαπιστωμένα παρατηρείται είναι 10 atm.

6.2.7 Επίλυση Δικτύου Με Διατήρηση της Υφιστάμενης Ελάχιστης Διαμέτρου Φ63 mm

Αφού λοιπόν προσδιορίστηκαν όλα τα παραπάνω απαραίτητα στοιχεία, το δίκτυο επιλύθηκε στο λογισμικό πρόγραμμα επίλυσης υδρευτικών δικτύων Epanet. Ακολουθεί εικόνα του δικτύου σε περιβάλλον Epanet.



Εικόνα 6.8: Υδρευτικό Δίκτυο Οικισμού Αγίου Νικολάου Αναβύσσου, Σε Περιβάλλον Epanet

Τα αποτελέσματα της επίλυσης φαίνονται στους παρακάτω πίνακες:

Network Table - Nodes					
	Elevation	Base Demand	Demand	Head	Pressure
Node ID	m	LPS	LPS	m	m
Resvr 0	105	#N/A	-66,28	105	0
Junc 1	89	0	0	104,88	15,88

Junc 2	87	0,283	0,28	104,81	17,81
Junc 3	88	0,442	0,44	104,61	16,61
Junc 4	86	1.021	1,02	104,17	18,17
Junc 15	70	1.653	1,65	103,67	33,67
Junc 14	59	0,931	0,93	103,12	44,12
Junc 13	55	1.048	1,05	102,68	47,68
Junc 12	52	0,953	0,95	102,07	50,07
Junc 5	56	1.217	1,22	101,44	45,44
Junc 6	52	1.897	1,9	99,27	47,27
Junc 7	53	0,84	0,84	99,02	46,02
Junc 8	64	0,914	0,91	100,69	36,69
Junc 9	53	2.077	2,08	97,31	44,31
Junc 10	55	1.451	1,45	97,71	42,71
Junc 11	56	0,897	0,9	97,4	41,4
Junc 16	84	1.535	1,53	102,25	18,25
Junc 17	66	2.173	2,17	99,27	33,27
Junc 18	52	2.518	2,52	96,77	44,77
Junc 19	52	2.713	2,71	100,05	48,05
Junc 20	50	0,839	0,84	99,8	49,8
Junc 21	51	2.518	2,52	98,98	47,98
Junc 22	49	2.162	2,16	98,97	49,97
Junc 23	52	0,609	0,61	98,42	46,42
Junc 24	52	0,909	0,91	98,11	46,11
Junc 25	78	1.925	1,92	104,27	26,27
Junc 26	86	1.264	1,26	102,78	16,78
Junc 27	85	0,489	0,49	102,72	17,72
Junc 28	86	0,983	0,98	103,84	17,84
Junc 29	69	1.972	1,97	100,93	31,93
Junc 30	72	1.007	1,01	103,48	31,48
Junc 31	52	2.288	2,29	99	47
Junc 32	71	2.942	2,94	99,62	28,62
Junc 33	56	0,91	0,91	103,1	47,1
Junc 34	51	2.853	2,85	99,57	48,57
Junc 35	54	2.943	2,94	99,24	45,24
Junc 36	53	0,502	0,5	102,79	49,79
Junc 37	53	2.776	2,78	99,53	46,53
Junc 38	52	0,944	0,94	102,06	50,06
Junc 39	51	3.021	3,02	97,9	46,9
Junc 40	54	2.574	2,57	99,44	45,44
Junc 41	50	1.410	1,41	101,25	51,25
Junc 42	51	3.877	3,88	97,85	46,85

Πίνακας 6.2: Αποτελέσματα Επίλυσης Υδραυλικών Στοιχείων Κόμβων Δικτύου Ύδρευσης Αγίου Νικολάου Αναβύσσου (min Φ63mm)
Πρόγραμμα Επίλυσης Epanet

Network Table - Links							
	Length	Diameter	Roughness	Flow	Velocity	Unit Headloss	Friction Factor
Link ID	m	mm	mm	LPS	m/s	m/km	
Pipe 1	59,29	317,4	0,1	66,28	0,84	1,96	0,017
Pipe 2	26,92	223,4	0,1	31,6	0,81	2,8	0,019
Pipe 3	42,07	200,8	0,1	31,32	0,99	4,71	0,019
Pipe 4	97,11	200,8	0,1	30,88	0,97	4,58	0,019
Pipe 5	115,72	200,8	0,1	29,85	0,94	4,3	0,019
Pipe 6	180,37	66,6	0,1	2,74	0,79	12,03	0,025
Pipe 7	79,9	56	0,1	0,84	0,34	3,18	0,03
Pipe 8	86,93	111,4	0,1	9,02	0,93	8,6	0,022
Pipe 9	197,53	56	0,1	2,08	0,84	17,13	0,026
Pipe 10	138,01	56	0,1	2,35	0,95	21,61	0,026
Pipe 11	85,27	56	0,1	0,9	0,36	3,59	0,03
Pipe 12	90,59	142,6	0,1	15,49	0,97	6,92	0,021
Pipe 13	99,69	160,6	0,1	20	0,99	6,18	0,02
Pipe 14	88,55	178,4	0,1	23,56	0,94	4,97	0,02
Pipe 15	157,21	200,8	0,1	26,67	0,84	3,47	0,019
Pipe 16	146,01	56	0,1	1,53	0,62	9,7	0,027
Pipe 17	206,62	56	0,1	2,17	0,88	18,66	0,026
Pipe 18	239,42	56	0,1	2,52	1,02	24,68	0,026
Pipe 19	257,98	80	0,1	3,55	0,71	7,82	0,025
Pipe 20	79,78	56	0,1	0,84	0,34	3,17	0,03
Pipe 21	239,41	66,6	0,1	2,52	0,72	10,28	0,026
Pipe 22	205,61	80	0,1	3,68	0,73	8,36	0,024
Pipe 23	57,94	56	0,1	1,52	0,62	9,5	0,027
Pipe 24	86,45	56	0,1	0,91	0,37	3,67	0,03
Pipe 25	183,05	223,4	0,1	34,68	0,88	3,34	0,019
Pipe 26	120,18	56	0,1	1,75	0,71	12,44	0,027
Pipe 27	46,52	56	0,1	0,49	0,2	1,19	0,033
Pipe 28	93,43	200,8	0,1	31	0,98	4,62	0,019
Pipe 29	187,53	56	0,1	1,97	0,8	15,53	0,027
Pipe 30	95,73	200,8	0,1	28,05	0,89	3,82	0,019
Pipe 31	217,58	56	0,1	2,29	0,93	20,58	0,026
Pipe 32	279,79	66,6	0,1	2,94	0,84	13,79	0,025
Pipe 33	86,56	178,4	0,1	21,81	0,87	4,29	0,02
Pipe 34	271,27	66,6	0,1	2,85	0,82	13,01	0,025
Pipe 35	279,87	66,6	0,1	2,94	0,84	13,8	0,025
Pipe 36	47,77	142,6	0,1	15,1	0,95	6,59	0,021
Pipe 37	263,98	66,6	0,1	2,78	0,8	12,36	0,025
Pipe 38	89,75	124,8	0,1	11,83	0,97	8,11	0,021
Pipe 39	287,26	66,6	0,1	3,02	0,87	14,5	0,025
Pipe 40	244,75	66,6	0,1	2,57	0,74	10,72	0,026
Pipe 41	134,05	97,8	0,1	5,29	0,7	6,03	0,023
Pipe 42	368,62	80	0,1	3,88	0,77	9,22	0,024

Πίνακας 6.3: Αποτελέσματα Επίλυσης Υδραυλικών Στοιχείων Αγωγών Δικτύου Ύδρευσης Αγίου Νικολάου Αναβύσσου (min Φ63mm)
Πρόγραμμα Επίλυσης Epanet

Με βάση τα αποτελέσματα, σε ό,τι αφορά διαμέτρους, παροχές και πιέσεις, σε συνδυασμό με τα πραγματικά στοιχεία που γνωρίζουμε για το συγκεκριμένο υδρευτικό δίκτυο, μπορούμε να θεωρήσουμε την προσομοίωση επιτυχημένη και να την κάνουμε αποδεκτή, όσον αφορά τα αποτελέσματά της.

Στο σημείο αυτό παρατηρούμε ότι μερικοί αγωγοί είναι ονομαστικής διαμέτρου Φ63 mm καθώς στα διαδοχικά στάδια που κατασκευάστηκε το δίκτυο δεν υπήρχε περιορισμός ελάχιστης διαμέτρου.

Το 2009 εγκρίθηκε ο Κανονισμός Λειτουργίας Δικτύου Ύδρευσης της ΕΥ.Δ.Α.Π. Α.Ε. (ΦΕΚ. Β 552/26-03-2009). Ο κανονισμός αυτός επιβάλλει στα δίκτυα της ΕΥ.Δ.Α.Π., για τους σωλήνες διανομής, να μην χρησιμοποιείται ονομαστική διάμετρος μικρότερη από Φ90 mm ή ισοδύναμης διαμέτρου εμπορίου. Συγχρόνως όμως, ο κανονισμός αποδέχεται δίκτυα υφιστάμενα με ονομαστικές διαμέτρους μέχρι Φ63 mm, τα οποία και παραλαμβάνει και συντηρεί η ΕΥ.Δ.Α.Π. Αντιθέτως, οι κανονισμοί ύδρευσης και αποχέτευσης των Δημοτικών Επιχειρήσεων Ύδρευσης και Αποχέτευσης της Ελλάδος, δεν προβλέπουν και δεν καθορίζουν ελάχιστη διάμετρο αγωγών στα δίκτυα διανομής τους.

Έχοντας υπόψη τις συστάσεις της ΕΥ.Δ.Α.Π., στις οποίες απεικονίζεται η σύγχρονη τάση σχετικά με τη χρήση ελάχιστης διαμέτρου αγωγών διανομής Φ90 mm, θεωρήσαμε σκόπιμο να επιλυθεί εκ νέου το δίκτυο, με τον περιορισμό αυτό της ελάχιστης διαμέτρου Φ90 mm.

6.2.8 Επίλυση Δικτύου Με Χρήση Ελάχιστης Διαμέτρου Φ90 mm

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της επίλυσης του δικτύου, θέτοντας ως ελάχιστη διάμετρο την Φ90 mm. Τα αποτελέσματα φαίνονται παρακάτω:

Network Table - Nodes					
	Elevation	Base Demand	Demand	Head	Pressure
Node ID	m	LPS	LPS	m	m
Resvr 0	105	#N/A	-66,28	105	0
Junc 1	89	0	0	104,88	15,88
Junc 2	87	0,283	0,28	104,81	17,81
Junc 3	88	0,442	0,44	104,61	16,61
Junc 4	86	1,021	1,02	104,17	18,17
Junc 15	70	1,653	1,65	103,67	33,67
Junc 14	59	0,931	0,93	103,12	44,12
Junc 13	55	1,048	1,05	102,68	47,68
Junc 12	52	0,953	0,95	102,07	50,07
Junc 5	56	1,217	1,22	101,44	45,44
Junc 6	52	1,897	1,9	100,58	48,58
Junc 7	53	0,84	0,84	100,53	47,53
Junc 8	64	0,914	0,91	100,69	36,69

Junc 9	53	2,077	2,08	100,13	47,13
Junc 10	55	1,451	1,45	100,2	45,2
Junc 11	56	0,897	0,9	100,14	44,14
Junc 16	84	1,535	1,53	103,43	19,43
Junc 17	66	2,173	2,17	102,48	36,48
Junc 18	52	2,518	2,52	101,7	49,7
Junc 19	52	2,713	2,71	100,05	48,05
Junc 20	50	0,839	0,84	100,01	50,01
Junc 21	51	2,518	2,52	100,46	49,46
Junc 22	49	2,162	2,16	98,97	49,97
Junc 23	52	0,609	0,61	98,88	46,88
Junc 24	52	0,909	0,91	98,83	46,83
Junc 25	78	1,925	1,92	104,27	26,27
Junc 26	86	1,264	1,26	104,02	18,02
Junc 27	85	0,489	0,49	104,01	19,01
Junc 28	86	0,983	0,98	103,84	17,84
Junc 29	69	1,972	1,97	103,35	34,35
Junc 30	72	1,007	1,01	103,48	31,48
Junc 31	52	2,288	2,29	102,73	50,73
Junc 32	71	2,942	2,94	101,94	30,94
Junc 33	56	0,91	0,91	103,1	47,1
Junc 34	51	2,853	2,85	101,7	50,7
Junc 35	54	2,943	2,94	101,57	47,57
Junc 36	53	0,502	0,5	102,79	49,79
Junc 37	53	2,776	2,78	101,49	48,49
Junc 38	52	0,944	0,94	102,06	50,06
Junc 39	51	3,021	3,02	100,4	49,4
Junc 40	54	2,574	2,57	101,01	47,01
Junc 41	50	1,41	1,41	101,25	51,25
Junc 42	51	3,877	3,88	97,85	46,85

Πίνακας 6.4: Αποτελέσματα Επίλυσης Υδραυλικών Στοιχείων Κόμβων Δικτύου Ύδρευσης Αγίου Νικολάου Αναβύσσου (min Φ90mm)
Πρόγραμμα Επίλυσης Epanet

Network Table - Links							
	Length	Diameter	Roughness	Flow	Velocity	Unit Headloss	Friction Factor
Link ID	m	mm	mm	LPS	m/s	m/km	
Pipe 1	59,29	317,4	0,1	66,28	0,84	1,96	0,017
Pipe 2	26,92	223,4	0,1	31,6	0,81	2,8	0,019
Pipe 3	42,07	200,8	0,1	31,32	0,99	4,71	0,019
Pipe 4	97,11	200,8	0,1	30,88	0,97	4,58	0,019

Pipe 5	115,72	200,8	0,1	29,85	0,94	4,3	0,019
Pipe 6	180,37	80	0,1	2,74	0,54	4,8	0,025
Pipe 7	79,9	80	0,1	0,84	0,17	0,55	0,031
Pipe 8	86,93	111,4	0,1	9,02	0,93	8,6	0,022
Pipe 9	197,53	80	0,1	2,08	0,41	2,87	0,026
Pipe 10	138,01	80	0,1	2,35	0,47	3,6	0,026
Pipe 11	85,27	80	0,1	0,9	0,18	0,62	0,031
Pipe 12	90,59	142,6	0,1	15,49	0,97	6,92	0,021
Pipe 13	99,69	160,6	0,1	20	0,99	6,18	0,02
Pipe 14	88,55	178,4	0,1	23,56	0,94	4,97	0,02
Pipe 15	157,21	200,8	0,1	26,67	0,84	3,47	0,019
Pipe 16	146,01	80	0,1	1,53	0,31	1,65	0,028
Pipe 17	206,62	80	0,1	2,17	0,43	3,12	0,026
Pipe 18	239,42	80	0,1	2,52	0,5	4,11	0,026
Pipe 19	257,98	80	0,1	3,55	0,71	7,82	0,025
Pipe 20	79,78	80	0,1	0,84	0,17	0,55	0,031
Pipe 21	239,41	80	0,1	2,52	0,5	4,11	0,026
Pipe 22	205,61	80	0,1	3,68	0,73	8,36	0,024
Pipe 23	57,94	80	0,1	1,52	0,3	1,61	0,028
Pipe 24	86,45	80	0,1	0,91	0,18	0,64	0,031
Pipe 25	183,05	223,4	0,1	34,68	0,88	3,34	0,019
Pipe 26	120,18	80	0,1	1,75	0,35	2,1	0,027
Pipe 27	46,52	80	0,1	0,49	0,1	0,21	0,035
Pipe 28	93,43	200,8	0,1	31	0,98	4,62	0,019
Pipe 29	187,53	80	0,1	1,97	0,39	2,61	0,027
Pipe 30	95,73	200,8	0,1	28,05	0,89	3,82	0,019
Pipe 31	217,58	80	0,1	2,29	0,46	3,44	0,026
Pipe 32	279,79	80	0,1	2,94	0,59	5,49	0,025
Pipe 33	86,56	178,4	0,1	21,81	0,87	4,29	0,02
Pipe 34	271,27	80	0,1	2,85	0,57	5,18	0,025
Pipe 35	279,87	80	0,1	2,94	0,59	5,49	0,025
Pipe 36	47,77	142,6	0,1	15,1	0,95	6,59	0,021
Pipe 37	263,98	80	0,1	2,78	0,55	4,92	0,025
Pipe 38	89,75	124,8	0,1	11,83	0,97	8,11	0,021
Pipe 39	287,26	80	0,1	3,02	0,6	5,77	0,025
Pipe 40	244,75	80	0,1	2,57	0,51	4,28	0,026
Pipe 41	134,05	97,8	0,1	5,29	0,7	6,03	0,023
Pipe 42	368,62	80	0,1	3,88	0,77	9,22	0,024

Πίνακας 6.5: Αποτελέσματα Επίλυσης Υδραυλικών Στοιχείων Αγωγών Δικτύου Ύδρευσης Αγίου Νικολάου
Αναβύσσου (min Φ90mm)
Πρόγραμμα Επίλυσης Epanet

Παρατηρώντας τον Πίνακα 6.9 είναι εμφανές ότι οι ταχύτητες σε πολλούς αγωγούς είναι κάτω της $V_{min} = 0,5 \text{ m/s}$ (αγωγοί 7, 9, 10, 11, 16, 17, 20, 23, 24,

26, 27, 29, 31). Επίσης από αυτούς τους αγωγούς, σε ορισμένους η ταχύτητα είναι πάρα πολύ μικρή φθάνοντας τις τιμές $V_7 = 0,17 \text{ m/s}$, $V_{11} = 0,18 \text{ m/s}$, $V_{20} = 0,17 \text{ m/s}$, $V_{24} = 0,18 \text{ m/s}$, $V_{27} = 0,10 \text{ m/s}$. Είναι προφανές ότι τέτοιες μικρές ταχύτητες έχουν ως αποτέλεσμα το νερό να μένει στάσιμο μέσα στον σωλήνα, γεγονός που οδηγεί στην σταδιακή έμφραξη του σωλήνα.

Για το λόγο αυτό αποφασίζουμε να διατηρήσουμε την ελάχιστη διάμετρο των $\Phi 63 \text{ mm}$, προκειμένου να αποφύγουμε αυτό το φαινόμενο.

Καθώς ο Δήμος Σαρωνικού, ο σημερινός ιδιοκτήτης του δικτύου θα θελήσει να αναβαθμίσει και να συντηρήσει το συγκεκριμένο δίκτυο, προχωρήσαμε στην ανάλυση του δικτύου με διατήρηση όμως των όλων των σωληνώσεων με ελάχιστη διάμετρο $\Phi 63 \text{ mm}$, για μελλοντικό πληθυσμό του έτους 2048. Η ανάλυση παρατίθεται στην παρακάτω ενότητα.

6.3 Ανάλυση Μελλοντικού Ανασχεδιασμού Του Δικτύου Ύδρευσης

Στην ενότητα αυτή ακολουθεί η ανάλυση προκειμένου να ανασχεδιαστεί το δίκτυο για μελλοντικό πληθυσμό το έτος 2048.

6.3.1 Εκτίμηση Πληθυσμού για το έτος 2048

Θεωρούμε ότι το αρχικό δίκτυο, το οποίο άρχισε να κατασκευάζεται περί το 1970, είχε ως χρονικό ορίζοντα σχεδιασμού για την πρόβλεψη του μελλοντικού πληθυσμού τα 30 έτη, μέχρι δηλαδή το 2000. Με την πρόβλεψη αυτή υπολογίστηκε παραπάνω για το έτος 2000 ο πληθυσμός σε 2900 κατοίκους. Για την ανάλυση του μελλοντικού ανασχεδιασμού του έργου, πρέπει να θέσουμε ως αφετηρία το παρόν έτος, οπότε πρέπει να εκτιμήσουμε την αύξηση του πληθυσμού μεταξύ των ετών 2000 έως 2018. Στην περίοδο αυτή, έχοντας υπόψη την γενικότερη εικόνα και τις δυσμενείς οικονομικές συνθήκες που επικράτησαν, θεωρούμε ότι ο πληθυσμός αυξανόταν κατά $b' = 10$ άτομα κάθε χρόνο. Έτσι για το χρονικό διάστημα από το 2000 μέχρι το 2018, δηλαδή $n' = 18$ έτη ο πληθυσμός εκτιμάται να είναι:

$$P_{2018} = P_{2000} + b'n' \rightarrow$$

$$P_{2018} = 2900 + 10 \times 18 \rightarrow$$

$$P_{2018} = 3080 \text{ κάτοικοι}$$

Ακολουθεί η εκτίμηση του πληθυσμού για βάθος χρόνου $n'' = 30$ έτη και θεωρώντας ετήσια αύξηση του πληθυσμού $b'' = 15$ άτομα (λαμβάνεται κατά λίγο αυξημένος, λόγω της διαπιστωμένης αλλαγής του χαρακτήρα της περιοχής σε τόπο μόνιμης κατοικίας, της επέκτασης στην περιοχή αστικής συγκοινωνιακής γραμμής σύνδεσης με την Αθήνα και λειτουργίας τοπικής γραμμής κυκλικών δρομολογίων).

$$P_{2048} = P_{2018} + b''v'' \rightarrow$$

$$P_{2048} = 3080 + 15 \times 30 \rightarrow$$

$$P_{2048} = \mathbf{3530 \text{ κάτοικοι}}$$

Ο πληθυσμός αυτός παραμένει μικρότερος του πληθυσμού των δυνητικών κατοίκων.

6.3.2 Υδραυλικοί Υπολογισμοί Ανασχεδιασμένου Δικτύου

Ομοίως με πριν για τον συγκεκριμένο οικισμό, είναι βάσιμο να εκτιμηθεί ότι ως ημερήσια κατανάλωση ελήφθη η παροχή:

$$q = \mathbf{300 \text{ l}/(\text{κάτοικο} \times \text{ημέρα})}$$

Ο συνολικός πολλαπλασιαστής Trifuninic δίνεται από τον τύπο:

$$F'_{o\lambda} = F_1 \times F_2 = 126e^{-0.9 \times \log N} \xrightarrow{N=P_{2048}}$$

$$F'_{o\lambda} = 126e^{-0.9 \times \log 3530} \rightarrow$$

$$F'_{o\lambda} = \mathbf{5.17}$$

Η ημερήσια κατανάλωση είναι:

$$Q'_d = \frac{q \times P_{2048}}{24 \text{ h} \times 36000 \text{ s}} \rightarrow$$

$$Q'_d = \frac{300 \text{ l}/(\text{κατ.} \times \text{d}) \times 3530 \text{ κατ.}}{24 \text{ h} \times 36000 \text{ s}} \rightarrow$$

$$Q'_d = \mathbf{12.26 \text{ l/s}}$$

Συνεπώς η μέγιστη ωριαία παροχή είναι:

$$Q'_h{}^{max} = Q'_d \times F'_{o\lambda} \rightarrow$$

$$Q'_h{}^{max} = 12,26 \times 5.17 \rightarrow$$

$$Q'_h{}^{max} = \mathbf{63,38 \text{ l/s}}$$

Το συνολικό μήκος των αγωγών διανομής είναι:

$$L_{\alpha\gamma} = L - L_1 = 6302.78 - 57.29 \rightarrow$$

$$L_{\alpha\gamma} = \mathbf{6245.49 \text{ m}}$$

Ο αγωγός 1 με μήκος $L_1 = 57,29 \text{ m}$ είναι αγωγός χωρίς διανομή και συνεπώς το μήκος του δεν επηρεάζει την ανηγμένη παροχή ανά μονάδα μήκους.

Στη συνέχεια υπολογίζεται η παροχή ανά μονάδα μήκους με βάση τον τύπο:

$$q'_i = \frac{Q'_h{}^{max}}{L} \rightarrow$$

$$q'_i = \frac{63.38}{6245.49} \rightarrow$$

$$q_i = 10.148 \times 10^{-3} \text{ l/(s} \times \text{m)}$$

Η παροχή κατανάλωσης κάθε κλάδου είναι η παροχή που καταναλώνεται κατά μήκος του κλάδου και προσδιορίζεται πολλαπλασιάζοντας την ανηγμένη παροχή του οικισμού ανά μονάδα μήκους του κλάδου.

Οι παροχές κατανάλωσης για κάθε κλάδο βρίσκονται στον Πίνακα IV.1 Παράρτημα Β (IV. Υδραυλικοί Υπολογισμοί Ανασχεδιασμένου Δικτύου).

Σε ό,τι αφορά τον προσδιορισμό της παροχής των κόμβων και της αντίστοιχης παροχής σχεδιασμού των κλάδων, θεωρούμε ότι η παροχή διανέμεται αποκλειστικά στον κατάντη κόμβο του κλάδου και σύμφωνα με την α' Θεώρηση, ο προσδιορισμός της παροχής σχεδιασμού των κλάδων αρχίζει από τα κατάντη προς τα ανάντη. Τα αποτελέσματα παρατίθενται στους Πίνακες IV.2 και IV.3 στο Παράρτημα Β (III. Υδραυλικοί Υπολογισμοί Ανασχεδιασμένου Δικτύου).

Ομοίως ελέγχεται η στατική πίεση σε σχέση με το χαμηλότερο σημείο του δικτύου από πλευράς φυσικού υψομέτρου. Πράγματι θεωρώντας ακίνητο το νερό ισχύει:

$$h_{\Sigma} = h_{\kappa\sigma\lambda} - h_{min} \rightarrow$$

$$h_{\Sigma} = 105 - 49 \rightarrow$$

$$h_{\Sigma} = 56 \leq 60 \text{ m}$$

Επομένως στο συγκεκριμένο δίκτυο προκύπτει ότι ικανοποιείται ο περιορισμός της μέγιστης στατικής πίεσης.

Ακολουθεί ο προσδιορισμός των αρχικών διαμέτρων των αγωγών, υποθέτοντας ότι $V = 1 \text{ m/s}$. Έτσι προκύπτει από τον ακόλουθο τύπο:

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi V}} \xrightarrow{V=1\text{m/s}}$$

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi \times 1}}$$

Ως αρχικές διαμέτροι επιλέγονται αυτές του εμπορίου που είναι ίσες ή μεγαλύτερες από τις υπολογισθείσες. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα IV.4 στο παράρτημα Β (IV. Υδραυλικοί Υπολογισμοί Ανασχεδιασμένου Δικτύου).

Σχετικά με την κλάση των αγωγών εργαζόμαστε με τον ίδιο τρόπο. Η μέγιστη υψομετρική διαφορά μεταξύ της ανώτατης στάθμης λειτουργίας του νερού στη δεξαμενή 24h ρύθμισης ($Z_{ΑΣΛ} = 109 \text{ m}$) και του χαμηλότερου κόμβου του δικτύου, ο οποίος είναι ο κόμβος 22 ($Z_{22} = 49 \text{ m}$) είναι:

$$\Delta Z_{max} = Z_{ΑΣΛ} - Z_{22} \rightarrow$$

$$\Delta Z_{max} = 109 - 49 \rightarrow$$

$$\Delta Z_{max} = 60 \text{ m}$$

Δεδομένου ότι η 1 atm ισούται με 10 m στήλης νερού, η μέγιστη στατική πίεση του συγκεκριμένου δικτύου είναι:

$$P_{max} = 6 \text{ atm}$$

Επομένως, η κλάση των σωλήνων, που διαπιστωμένα παρατηρείται είναι 10 atm.

Τα αποτελέσματα της επίλυσης στο λογισμικό πρόγραμμα Epanet φαίνονται στους παρακάτω πίνακες:

Network Table - Nodes					
	Elevation	Base Demand	Demand	Head	Pressure
Node ID	m	LPS	LPS	m	m
Resvr 0	105	#N/A	-63,96	105	0
Junc 1	89	0	0	104,89	15,89
Junc 2	87	0,273	0,27	104,77	17,77
Junc 3	88	0,427	0,43	104,59	16,59
Junc 4	86	0,985	0,98	104,17	18,17
Junc 15	70	1,595	1,59	103,71	33,71
Junc 14	59	0,899	0,9	103,2	44,2
Junc 13	55	1,012	1,01	102,78	47,78
Junc 12	52	0,919	0,92	102,21	50,21
Junc 5	56	1,174	1,17	101,62	45,62
Junc 6	52	1,83	1,83	99,59	47,59
Junc 7	53	0,811	0,81	99,36	46,36
Junc 8	64	0,882	0,88	100,92	36,92
Junc 9	53	2,005	2	97,76	44,76
Junc 10	55	1,401	1,4	98,14	43,14
Junc 11	56	0,865	0,87	97,85	41,85
Junc 16	84	1,482	1,48	102,38	18,38
Junc 17	66	2,097	2,1	99,59	33,59
Junc 18	52	2,43	2,43	97,26	45,26
Junc 19	52	2,618	2,62	97,45	45,45
Junc 20	50	0,81	0,81	97,22	47,22
Junc 21	51	2,43	2,43	96,1	45,1
Junc 22	49	2,087	2,09	99,32	50,32
Junc 23	52	0,588	0,59	98,8	46,8

Junc 24	52	0,877	0,88	98,5	46,5
Junc 25	78	1,858	1,86	104,32	26,32
Junc 26	86	1,22	1,22	102,92	16,92
Junc 27	85	0,472	0,47	102,87	17,87
Junc 28	86	0,948	0,95	103,92	17,92
Junc 29	69	1,903	1,9	101,19	32,19
Junc 30	72	0,971	0,97	103,58	31,58
Junc 31	52	2,208	2,21	99,39	47,39
Junc 32	71	2,839	2,84	99,97	28,97
Junc 33	56	0,878	0,88	103,23	47,23
Junc 34	51	2,753	2,75	99,93	48,93
Junc 35	54	2,84	2,84	99,62	45,62
Junc 36	53	0,485	0,49	102,93	49,93
Junc 37	53	2,679	2,68	99,88	46,88
Junc 38	52	0,911	0,91	102,25	50,25
Junc 39	51	2,915	2,92	98,36	47,36
Junc 40	54	2,484	2,48	99,8	45,8
Junc 41	50	1,36	1,36	101,5	51,5
Junc 42	51	3,741	3,74	98,32	47,32

Πίνακας 6.6: Αποτελέσματα Επίλυσης Υδραυλικών Στοιχείων Κόμβων Δικτύου Ύδρευσης Αγίου Νικολάου Αναβύσσου (min Φ63mm)
Πρόγραμμα Επίλυσης Epanet

Network Table - Links							
	Length	Diameter	Roughness	Flow	Velocity	Unit Headloss	Friction Factor
Link ID	m	mm	mm	LPS	m/s	m/km	
Pipe 1	59,29	317,4	0,1	63,96	0,81	1,83	0,017
Pipe 2	26,92	200,8	0,1	30,5	0,96	4,48	0,019
Pipe 3	42,07	200,8	0,1	30,22	0,95	4,4	0,019
Pipe 4	97,11	200,8	0,1	29,8	0,94	4,28	0,019
Pipe 5	115,72	200,8	0,1	28,81	0,91	4,02	0,019
Pipe 6	180,37	66,6	0,1	2,64	0,76	11,25	0,026
Pipe 7	79,9	56	0,1	0,81	0,33	2,98	0,03
Pipe 8	86,93	111,4	0,1	8,7	0,89	8,04	0,022
Pipe 9	197,53	56	0,1	2	0,81	16,03	0,027
Pipe 10	138,01	56	0,1	2,27	0,92	20,2	0,026
Pipe 11	85,27	56	0,1	0,87	0,35	3,35	0,03
Pipe 12	90,59	142,6	0,1	14,95	0,94	6,47	0,021
Pipe 13	99,69	160,6	0,1	19,3	0,95	5,77	0,02
Pipe 14	88,55	178,4	0,1	22,74	0,91	4,64	0,02
Pipe 15	157,21	200,8	0,1	25,73	0,81	3,24	0,019
Pipe 16	146,01	56	0,1	1,48	0,6	9,08	0,028
Pipe 17	206,62	56	0,1	2,1	0,85	17,45	0,026

Pipe 18	239,42	56	0,1	2,43	0,99	23,07	0,026
Pipe 19	257,98	66,6	0,1	3,43	0,98	18,43	0,025
Pipe 20	79,78	56	0,1	0,81	0,33	2,97	0,03
Pipe 21	239,41	56	0,1	2,43	0,99	23,07	0,026
Pipe 22	205,61	80	0,1	3,55	0,71	7,82	0,025
Pipe 23	57,94	56	0,1	1,47	0,59	8,89	0,028
Pipe 24	86,45	56	0,1	0,88	0,36	3,44	0,03
Pipe 25	183,05	223,4	0,1	33,47	0,85	3,12	0,019
Pipe 26	120,18	56	0,1	1,69	0,69	11,64	0,027
Pipe 27	46,52	56	0,1	0,47	0,19	1,12	0,034
Pipe 28	93,43	200,8	0,1	29,91	0,94	4,31	0,019
Pipe 29	187,53	56	0,1	1,9	0,77	14,52	0,027
Pipe 30	95,73	200,8	0,1	27,06	0,85	3,56	0,019
Pipe 31	217,58	56	0,1	2,21	0,9	19,23	0,026
Pipe 32	279,79	66,6	0,1	2,84	0,81	12,89	0,025
Pipe 33	86,56	178,4	0,1	21,05	0,84	4,01	0,02
Pipe 34	271,27	66,6	0,1	2,75	0,79	12,16	0,025
Pipe 35	279,87	66,6	0,1	2,84	0,82	12,9	0,025
Pipe 36	47,77	142,6	0,1	14,57	0,91	6,16	0,021
Pipe 37	263,98	66,6	0,1	2,68	0,77	11,55	0,026
Pipe 38	89,75	124,8	0,1	11,41	0,93	7,58	0,021
Pipe 39	287,26	66,6	0,1	2,92	0,84	13,55	0,025
Pipe 40	244,75	66,6	0,1	2,48	0,71	10,02	0,026
Pipe 41	134,05	97,8	0,1	5,1	0,68	5,63	0,023
Pipe 42	368,62	80	0,1	3,74	0,74	8,62	0,024

Πίνακας 6.7: Αποτελέσματα Επίλυσης Υδραυλικών Στοιχείων Αγωγών Δικτύου Ύδρευσης Αγίου Νικολάου Αναβύσσου (min Φ63mm)
Πρόγραμμα Επίλυσης Epanet

Στα δίκτυα ύδρευσης η ταχύτητα του νερού θα πρέπει, όπως είναι γνωστό, να κυμαίνεται μέσα στο όριο των : 0,5 – 1,5 m/s. Το κατώτατο όριο είναι αναγκαίο για να αποφεύγονται οι αποθέσεις φερτών υλικών και κατά συνέπεια η έμφραξη των αγωγών. Το ανώτατο όριο είναι απαραίτητο για να αποφεύγεται η διάβρωση και τα προβλήματα υπερπιέσεων λόγω υδραυλικού πλήγματος. Τα όρια ταχύτητας στα βροχωτά δίκτυα είναι πιο ελαστικά καθώς η κυκλοφορία του νερού επιτυγχάνεται με μεγαλύτερη ευκολία.

Στην περίπτωση του εξεταζόμενου δικτύου, το οποίο, όπως προαναφέραμε, επιλύθηκε με τη διατήρηση όλων των σωλήνων με ονομαστική διάμετρο Φ63mm, παρατηρούμε το φαινόμενο σε μερικούς από αυτούς (ακραιοί κλάδοι και ιδιαίτερα κλάδοι με μικρό μήκος), να εξακολουθούν να παρουσιάζονται ταχύτητες μικρότερες του 0,5 m/s. Αυτό μπορεί να αποδοθεί στον πολεοδομικό χαρακτήρα του οικισμού, δηλαδή μεγάλα οικόπεδα, μικρός συντελεστής δόμησης, μικρός πληθυσμός και κατά συνέπεια μικρή παροχή ανά μονάδα μήκους. Να σημειώσουμε ότι σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας, όπου

προφανώς η ζήτηση είναι μικρότερη από τη μέγιστη ωριαία παροχή ζήτησης σχεδιασμού, οι ταχύτητες στις σωληνώσεις αυτές θα είναι ακόμη μικρότερες, φαινόμενο το οποίο παρατηρείται σε πλείστες περιπτώσεις. Είναι αναγκαίο οι ακραίοι αυτοί κλάδοι να καταλήγουν σε φρεάτια καθαρισμού-εκκένωσης για την απομάκρυνση φερτών υλών.

6.4 Βελτιστοποίηση Ανασχεδιασμού Δικτύου Ύδρευσης

Σκοπός της οικονομοτεχνικής βελτιστοποίησης είναι η εύρεση του συνδυασμού εκείνου των διαμέτρων στο ακτινωτό δίκτυο βαρύτητας, ο οποίος να ελαχιστοποιεί το συνολικό κόστος. Η αλλαγή της διαμέτρου σε έναν αγωγό, επηρεάζει τους υπόλοιπους αγωγούς και σε ένα εκτεταμένο δίκτυο, μπορεί να υπάρξει ποικιλία συνδυασμών ώστε αφενός να ικανοποιούνται οι υδραυλικές απαιτήσεις του δικτύου, αφετέρου να ελαχιστοποιείται το κόστος του.

Η μέθοδος, η οποία παρουσιάστηκε αναλυτικά στο κεφάλαιο 4, βρίσκει εφαρμογή στο υδρευτικό δίκτυο του Αγίου Νικολάου Αναβύσσου με χρήση του προγράμματος LINGO.

6.4.1 Προσδιορισμός Εσωτερικών Διαμέτρων

Πριν τη βελτιστοποίηση πρέπει να γίνουν ορισμένοι υδραυλικοί υπολογισμοί στο δίκτυο για να προσδιοριστούν οι τιμές των υποψήφιων εσωτερικών διαμέτρων και των κλίσεων απωλειών φορτίου, με σκοπό να οριστούν στη συνέχεια οι μεταβλητές απόφασης. Όλοι οι υπολογισμοί έγιναν στο MS Excel.

Για τον προσδιορισμό λοιπόν των αποδεκτών διαμέτρων και του υλικού των αγωγών εργαζόμαστε ως εξής:

Σε κάθε κλάδο του δικτύου, διαδοχικά από τα ανάντη προς τα κατόντη, εκλέγεται το εύρος των δυνατών διαμέτρων $[D_{min} - D_{max}]$ βάσει των περιορισμών των ταχυτήτων ροής. Από την ελάχιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα V_{min} εκλέγεται η μέγιστη διάμετρος D_{max} και αντίστοιχα από τη μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα V_{max} , η ελάχιστη διάμετρος D_{min} βάσει του τύπου:

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi V}} \quad (6.1)$$

Το υλικό που επιλέχθηκε είναι το PVC 10 atm. Στα πλαστικά, οι ονομαστικές διαμέτροι είναι οι εξωτερικές επομένως διαθέτοντας τις εξωτερικές διαμέτρους $D_{εξωτ}$ και τα πάχη d μπορούν να εξαχθούν οι αποδεκτές εσωτερικές διαμέτροι $D_{εσωτ}$:

$$D_{\varepsilon\sigma\omega\tau} = D_{\varepsilon\xi\omega\tau} - 2 \times d \quad (6.2)$$

Στον Πίνακα V.1 του παραρτήματος Β (V. Βελτιστοποίηση- Ανάλυση Ευαισθησίας) παρατίθενται οι αποδεκτές εσωτερικές διαμέτροι ανά κλάδο. Είναι εμφανές ότι σε κάθε κλάδο, μεταξύ των D_{min} και D_{max} παρεμβάλλεται ένα πλήθος τυποποιημένων εσωτερικών διαμέτρων για την κλάση των 10 atm. Υπενθυμίζεται ότι η ελάχιστη ονομαστική διάμετρος που χρησιμοποιείται είναι Φ63 mm, άρα για το PVC 10 atm η ελάχιστη εσωτερική επιτρεπόμενη διάμετρος είναι 56 mm.

Έτσι, σε όποιον κλάδο προέκυψε από τους υδραυλικούς υπολογισμούς $D_{min} < 56 \text{ mm}$, υιοθετήθηκε η ελάχιστη εσωτερική επιτρεπόμενη διάμετρος των Φ56 mm και σε όποιον κλάδο προέκυψε $D_{max} < 56 \text{ mm}$, εξελέγη μονοσήμαντα Φ56 mm. Προφανώς όσοι κλάδοι εμπίπτουν στη δεύτερη περίπτωση, δεν έχει νόημα να εισχωρήσουν στη βελτιστοποίηση, παρά μόνο να αξιοποιηθούν τα ύψη των απωλειών τους που επηρεάζουν τους κατάντη κλάδους, όπως θα ακολουθήσει παρακάτω.

6.4.2 Κόστος Ανά Μέτρο Μήκους Αγωγού PVC 10 atm

Από το τιμολόγιο υδραυλικών έργων του ΥΠΕΚΑ για το 2013, διατίθενται τα κόστη σε € ανά μέτρο μήκους του αγωγού PVC για κάθε διάμετρο και για κάθε κλάση των 10 atm. Κάθε μία τιμή περιλαμβάνει το κόστος αγοράς, μεταφοράς στο εργοτάξιο, το κόστος ειδικών τεμαχίων και το κόστος εκοκαφής, διάστρωσης, σύνδεσης και επίωσης σωλήνων.

Το δίκτυο ανήκει στα έργα κατηγορίας <1,5 εκ € και το κόστος των σωλήνων PVC 10 atm για αυτή την κατηγορία είναι:

Πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC)	
ΚΟΣΤΟΣ ΑΝΑ ΜΕΤΡΟ ΜΗΚΟΥΣ	
1η ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΕΡΓΩΝ: <1.5 εκ. €	
ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ D (mm)	10 atm
	ΚΟΣΤΟΣ (€/m)
50	2,90 €
63	4,00 €
75	4,70 €
90	6,10 €
110	7,40 €
140	12,50 €
160	14,60 €
200	20,60 €
225	27,10 €
280	43,30 €

315	54,10 €
355	65,00 €
400	81,00 €
450	98,00 €
500	118,00 €
Υπολογισμός κόστους από Παρεμβολή	
125	9,1 €
180	17,8 €
250	31,1 €

Πίνακας 6.8: Κόστος Ανά Μέτρο Μήκους Αγωγών Πολυβινυλοχλωριδίου (PVC) 10 atm,
Κατηγορίας Έργου <1.5 εκ. €
Πηγή: Τιμολόγιο Υδραυλικών Έργων ΥΠΕΚΑ, 2013

Για τις ονομαστικές διαμέτρους Φ125 mm, Φ180 mm, Φ250 mm δεν υπήρχαν τιμές και τις υπολογίσαμε με γραμμική παρεμβολή, με βάση της υπάρχουσες τιμές.

6.4.3 Υπολογισμός Γραμμικών Απωλειών Φορτίου Ανά Κλάδο (hf) Και Ανά Μέτρο Μήκους Κλάδου (S)

Για κάθε κλάδο, για όλες τις αποδεκτές εσωτερικές διαμέτρους τους, θα πρέπει να υπολογιστούν οι γραμμικές απώλειες ανά μήκος και ανά μέτρο μήκους.

Για το λόγο αυτό επανυπολογίζονται τα εξής στοιχεία:

- Οι ταχύτητες V :

$$V = \frac{4Q}{\pi D^2} \quad (6.3)$$

- Οι αριθμοί Reynolds R_e :

$$R_e = \frac{VD}{\nu} \quad (6.4)$$

- Οι συντελεστές τριβής f κατά Swamee & Jain:

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{5.74}{R_e^{0.9}} + \frac{k/D}{3.7} \right) \right]^2} \quad (6.5)$$

- Οι αντιστάσεις των αγωγών R :

$$R = \frac{8fL}{g\pi^2 D^5} \quad (6.6)$$

- Οι γραμμικές απώλειες Σh_f

$$\Sigma h_f = RQ^2 \quad (6.7)$$

Όπου:

- D : η εσωτερική διάμετρος εμπορίου (mm)
- V : οι ταχύτητες ροής με χρήση των D' (m/s)
- Q : η παροχή του κλάδου (m^3/s)
- L : το μήκος του κλάδου (m)
- Re , ο αριθμός Reynolds (αδιάστατος)
- ν , η κινηματική συνεκτικότητα του ρευστού ($10^{-6} m^2/s$)
- f : ο συντελεστής τριβής (αδιάστατος)
- k : ο συντελεστής τραχύτητας του πολυαιθυλενίου (0.1 mm)
- R : η αντίσταση του αγωγού (s^2/m^5)
- g : η επιτάχυνση της βαρύτητας ($9.81 m/s^2$)
- π : ο άρρητος αριθμός
- Σh_f : το συνολικό ύψος απωλειών στον κλάδο (m)

Λόγω του προσαυξημένου ύψους τραχύτητας δεν γίνεται προσαύξηση για τις τοπικές απώλειες φορτίου.

Γνωρίζοντας επομένως το συνολικό ύψος απωλειών και το μήκος του κλάδου κάθε φορά, μπορεί να υπολογιστεί η κλίση απωλειών φορτίου:

$$S = \frac{\Sigma h_f}{L} \quad (6.8)$$

Όπου:

- S : η κλίση απωλειών φορτίου (m/m)
- Σh_f : το συνολικό ύψος απωλειών στον κλάδο (m)
- L : το μήκος του κλάδου (m)

Ο πίνακας των υπολογισμών παρατίθεται στο παράρτημα Β (V. Βελτιστοποίηση-Ανάλυση Ευαισθησίας) στον Πίνακα V.2

Αφού υπολογίστηκαν τα απαραίτητα υδραυλικά μεγέθη, σε συνδυασμό με τα δεδομένα του δικτύου και τα στοιχεία κόστους των αγωγών, καταστρώνονται οι εξισώσεις. Ορίζονται και αριθμούνται οι μεταβλητές απόφασης και διατυπώνονται οι περιορισμοί και η συνάρτηση στόχου.

6.4.4 Ορισμός Μεταβλητών Απόφασης

Κάθε κλάδος μπορεί να διαστασιολογηθεί με μία ή και περισσότερες εκ των υποψήφιων διαμέτρων όπως αυτές καθορίστηκαν στον Πίνακα V.1 του Παραρτήματος Β (V. Βελτιστοποίηση - Ανάλυση Ευαισθησίας).

Αφού υπολογίστηκαν τα απαραίτητα υδραυλικά μεγέθη, σε συνδυασμό με τα δεδομένα του δικτύου και τα στοιχεία κόστους των αγωγών, καταστρώνονται οι

εξισώσεις. Ορίζονται και αριθμούνται οι μεταβλητές απόφασης και διατυπώνονται οι περιορισμοί και η συνάρτηση στόχου. Κάθε υποπήφια διάμετρος που αντιστοιχεί σε ένα συγκεκριμένο μήκος σωλήνωσης για έναν συγκεκριμένο κλάδο, αποτελεί μία μεταβλητή απόφασης. Έτσι, καθώς η συνάρτηση κόστους (στόχου) είναι ανάλογη του μήκους, εξασφαλίζεται η γραμμικότητα μεταξύ της αυτής και των μεταβλητών απόφασης. Η αρίθμηση των μεταβλητών απόφασης γίνεται από τα ανάντη προς τα κατόντη με αύξοντες δείκτες. Επειδή πρόκειται για φυσικά μεγέθη, όλες οι μεταβλητές (πρέπει να) είναι μη αρνητικές.

Προφανώς στους κλάδους με αποκλειστική επιλογή Φ63 (εσωτερική διάμετρος 56 mm) δεν έχει νόημα να τεθούν μεταβλητές, όπως φαίνεται και στον πίνακα, διότι είναι εκ των πραγμάτων οι βέλτιστες αποδεκτές επιλογές. Για αυτούς τους κλάδους, αξιοποιούνται τα ύψη των απωλειών τους που επηρεάζουν τους κατόντη κλάδους.

6.4.5 Ορισμός Συνάρτησης Σκοπού

Η συνάρτηση στόχου εκφράζει το συνολικό κόστος των σωληνώσεων και το ζητούμενο είναι η ελαχιστοποίησή της. Αφού ορίστηκαν οι μεταβλητές απόφασης, γνωρίζοντας τα κόστη ανά μέτρο μήκους σωλήνωσης PVC κλάσης 10 atm, μπορεί να κατασκευαστεί η συναρτησιακή σχέση:

$$\begin{aligned} \min Z = & 43.3 \times X1 + 54.1 \times X2 + 65.0 \times X3 + 81.0 \times X4 + 98.0 \times X5 + 20.6 \times X6 + 27.1 \times X7 \\ & + 31.1 \times X8 + 43.3 \times X9 + 20.6 \times X10 + 27.1 \times X11 + 31.1 \times X12 \\ & + 43.3 \times X13 + 17.8 \times X14 + 20.6 \times X15 + 27.1 \times X16 + 31.1 \times X17 \\ & + 43.3 \times X18 + 17.8 \times X19 + 20.6 \times X20 + 27.1 \times X21 + 31.1 \times X22 \\ & + 43.3 \times X23 + 4.0 \times X24 + 4.7 \times X25 + 6.1 \times X26 + 7.4 \times X27 + 9.1 \times X28 \\ & + 12.5 \times X29 + 14.6 \times X30 + 4.0 \times X31 + 4.7 \times X32 + 4.0 \times X33 + 4.7 \times X34 \\ & + 12.5 \times X35 + 14.6 \times X36 + 17.8 \times X37 + 20.6 \times X38 + 27.1 \times X39 \\ & + 14.6 \times X40 + 17.8 \times X41 + 20.6 \times X42 + 27.1 \times X43 + 14.6 \times X44 \\ & + 17.8 \times X45 + 20.6 \times X46 + 27.1 \times X47 + 31.1 \times X48 + 17.8 \times X49 \\ & + 20.6 \times X50 + 27.1 \times X51 + 31.1 \times X52 + 43.3 \times X53 + 4.0 \times X54 + 4.7 \times X55 \\ & + 4.0 \times X56 + 4.7 \times X57 + 4.7 \times X58 + 6.1 \times X59 + 4.0 \times X60 + 4.7 \times X61 \\ & + 4.7 \times X62 + 6.1 \times X63 + 20.6 \times X64 + 27.1 \times X65 + 31.1 \times X66 \\ & + 43.3 \times X67 + 54.1 \times X68 + 17.8 \times X69 + 20.6 \times X70 + 27.1 \times X71 \\ & + 31.1 \times X72 + 43.3 \times X73 + 4.0 \times X74 + 4.7 \times X75 + 17.8 \times X76 \\ & + 20.6 \times X77 + 27.1 \times X78 + 31.1 \times X79 + 43.3 \times X80 + 4.0 \times X81 \\ & + 4.7 \times X82 + 4.0 \times X83 + 4.7 \times X84 + 6.1 \times X85 + 14.6 \times X86 + 17.8 \times X87 \\ & + 20.6 \times X88 + 27.1 \times X89 + 31.1 \times X90 + 4.0 \times X91 + 4.7 \times X92 + 6.1 \times X93 \\ & + 4.0 \times X94 + 4.7 \times X95 + 6.1 \times X96 + 12.5 \times X97 + 14.6 \times X98 + 17.8 \times X99 \\ & + 4.0 \times X100 + 4.7 \times X101 + 6.1 \times X102 + 9.1 \times X103 + 12.5 \times X104 \\ & + 14.6 \times X105 + 4.0 \times X106 + 4.7 \times X107 + 6.1 \times X108 + 4.0 \times X109 \\ & + 4.7 \times X110 + 4.7 \times X111 + 6.1 \times X112 + 7.4 \times X113 + 9.1 \times X114 \\ & + 4.7 \times X115 + 6.1 \times X116; \end{aligned}$$

Τονίζεται ότι το κόστος των αγωγών Φ63 είναι σταθερό και δεν συμμετέχει στη βελτιστοποίηση, αλλά προστίθεται στο τέλος της διαδικασίας στο βελτιστοποιημένο κόστος των άλλων κλάδων, για να εξαχθεί το συνολικό κόστος του δικτύου.

6.4.6 Καθορισμός Γεωμετρικών Περιορισμών

Σε κάθε κλάδο, ακόμα κι αν χρησιμοποιηθούν όλες οι μεταβλητές απόφασής του, το άθροισμα τους δεν μπορεί να ξεπεράσει το μήκος του κλάδου. Έτσι στο δίκτυο μελέτης θα ισχύει:

$$\begin{array}{ll}
 X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 = 59.29; & X_{62} + X_{63} = 205.61; \\
 X_6 + X_7 + X_8 + X_9 = 26.92; & X_{64} + X_{65} + X_{66} + X_{67} + X_{68} = 183.05; \\
 X_{10} + X_{11} + X_{12} + X_{13} = 42.07; & X_{69} + X_{70} + X_{71} + X_{72} + X_{73} = 93.43; \\
 X_{14} + X_{15} + X_{16} + X_{17} + X_{18} = 97.11; & X_{74} + X_{75} = 187.53; \\
 X_{19} + X_{20} + X_{21} + X_{22} + X_{23} = 115.72; & X_{76} + X_{77} + X_{78} + X_{79} + X_{80} = 95.73; \\
 X_{24} + X_{25} + X_{26} = 180.37; & X_{81} + X_{82} = 217.58; \\
 X_{27} + X_{28} + X_{29} + X_{30} = 86.93; & X_{83} + X_{84} + X_{85} = 279.79; \\
 X_{31} + X_{32} = 197.53; & X_{86} + X_{87} + X_{88} + X_{89} + X_{90} = 86.56; \\
 X_{33} + X_{34} = 138.01; & X_{91} + X_{92} + X_{93} = 271.27; \\
 X_{35} + X_{36} + X_{37} + X_{38} + X_{39} = 90.59; & X_{94} + X_{95} + X_{96} = 279.87; \\
 X_{40} + X_{41} + X_{42} + X_{43} = 99.69; & X_{97} + X_{98} + X_{99} = 47.77; \\
 X_{44} + X_{45} + X_{46} + X_{47} + X_{48} = 88.55; & X_{100} + X_{101} + X_{102} = 263.98; \\
 X_{49} + X_{50} + X_{51} + X_{52} + X_{53} = 157.21; & X_{103} + X_{104} + X_{105} = 89.75; \\
 X_{54} + X_{55} = 206.62; & X_{106} + X_{107} + X_{108} = 287.26; \\
 X_{56} + X_{57} = 239.42; & X_{109} + X_{110} = 244.75; \\
 X_{58} + X_{59} = 257.98; & X_{111} + X_{112} + X_{113} + X_{114} = 134.05; \\
 X_{60} + X_{61} = 239.41; & X_{115} + X_{116} = 368.62;
 \end{array}$$

Επίσης τα μήκη δεν γίνεται να είναι αρνητικά συνεπώς εισάγονται και οι παρακάτω επιπλέον περιορισμοί:

$$X_1, X_2, \dots, X_{115}, X_{116} \geq 0$$

6.4.7 Καθορισμός Απωλειών Φορτίου

Όπως αναλύθηκε στο κεφάλαιο 4, για κάθε κλάδο θα πρέπει να επιλεχθεί τέτοια διάμετρος ώστε οι συνολικές απώλειες φορτίου από τη δεξαμενή να είναι μικρότερες ή ίσες από την υψομετρική διαφορά μεταξύ της δεξαμενής και του εκάστοτε κόμβου, ελαττωμένου κατά το αναγκαίο ύψος πίεσης (π.χ. στην περίπτωση μας τουλάχιστον $h_p = 16 \text{ m}$ για διώροφα κτήρια). Δηλαδή πρέπει να ισχύει:

$$h_{f_{\Delta \rightarrow K_i}} \leq \Delta Z_{\Delta K_i} - 16 \quad (6.9)$$

Όπου:

$h_{f_{\Delta \rightarrow K_i}}$: Οι γραμμικές απώλειες από τη δεξαμενή μέχρι τον εκάστοτε κόμβο i

$\Delta Z_{\Delta K_i}$: Η υψομετρική διαφορά μεταξύ δεξαμενής και εκάστοτε κόμβου i

Το υψόμετρο της δεξαμενής είναι $Z = +105$ και τα υψόμετρα των κόμβων παρουσιάζονται στον Πίνακα III.3 του Παραρτήματος Β (III. Στοιχεία Δικτύου Μελέτης).

Οι περιορισμοί διαμορφώνονται ως εξής:

(Κόμβος 1)

$$0.00008596 \times X1 + 0.00006602 \times X2 + 0.00005065 \times X3 + 0.00003895 \times X4 + 0.00003001 \times X5 \leq 109 - 89 - 16$$

Γραμμικές Απώλειες Κλάδου 0-1

(Κόμβος 2)

$$0.00004139 \times X6 + 0.00003181 \times X7 + 0.00002509 \times X8 + 0.00001955 \times X9 +$$

Γραμμικές Απώλειες Κλάδου 1-2

$$(0.00008596 \times X1 + 0.00006602 \times X2 + 0.00005065 \times X3 + 0.00003895 \times X4 + 0.00003001 \times X5) \leq 109 - 87 - 16$$

Γραμμικές Απώλειες Κλάδου 0-1

(Κόμβος 3)

$$0.00004063 \times X10 + 0.00003123 \times X11 + 0.00002463 \times X12 + 0.00001919 \times X13 +$$

Γραμμικές Απώλειες Κλάδου 2-3

$$(0.00004139 \times X6 + 0.00003181 \times X7 + 0.00002509 \times X8 + 0.00001955 \times X9) +$$

Γραμμικές Απώλειες Κλάδου 1-2

$$(0.00008596 \times X1 + 0.00006602 \times X2 + 0.00005065 \times X3 + 0.00003895 \times X4 + 0.00003001 \times X5) \leq 109 - 88 - 16;$$

Γραμμικές Απώλειες Κλάδου 0-1

...

(Κόμβος 42)

$$0.00000566 \times X115 + 0.00000375 \times X116 +$$

Γραμμικές Απώλειες Κλάδου 41-42

$$(0.00001923 \times X111 + 0.00001272 \times X112 + 0.00000810 \times X113 + 0.00000605 \times X114) +$$

Γραμμικές Απώλειες Κλάδου 40-41

$$(0.00000511 \times X106 + 0.00000345 \times X107 + 0.00000228 \times X108) +$$

Γραμμικές Απώλειες Κλάδου 39-40

$$(0.00000368 \times X109 + 0.00000249 \times X110) +$$

Γραμμικές Απώλειες Κλάδου 38-39

$$(0.00001658 \times X103 + 0.00001286 \times X104 + 0.00000732 \times X105) +$$

Γραμμικές Απώλειες Κλάδου 37-38

$$(0.00000430 \times X100 + 0.00000291 \times X101 + 0.00000192 \times X102) +$$

Γραμμικές Απώλειες Κλάδου 36-37

$$(0.00002104 * X97 + 0.00001194 * X98 + 0.00000944 * X99) +$$

Γραμμικές Απώλειες Κλάδου 35-36

$$(0.00000453 * X91 + 0.00000306 * X92 + 0.00000203 * X93) +$$

Γραμμικές Απώλειες Κλάδου 34-35

$$(0.00000483 * X94 + 0.00000327 * X95 + 0.00000216 * X96) +$$

Γραμμικές Απώλειες Κλάδου 33-34

$$(0.00003249 * X86 + 0.00002492 * X87 + 0.00001971 * X88 + 0.00001515 * X89 + 0.00001195 * X90) +$$

Γραμμικές Απώλειες Κλάδου 32-33

$$(0.00000293 * X81 + 0.00000198 * X82) +$$

Γραμμικές Απώλειες Κλάδου 31-32

$$(0.00000483 * X83 + 0.00000327 * X84 + 0.00000216 * X85) +$$

Γραμμικές Απώλειες Κλάδου 30-31

$$(0.00004118 * X76 + 0.00003258 * X77 + 0.00002504 * X78 + 0.00001975 * X79 + 0.00001539 * X80) +$$

Γραμμικές Απώλειες Κλάδου 29-30

$$(0.00000216 * X74 + 0.00000146 * X75) +$$

Γραμμικές Απώλειες Κλάδου 28-29

$$(0.00005031 * X69 + 0.00003980 * X70 + 0.00003059 * X71 + 0.00002413 * X72 + 0.00001880 * X73) +$$

Γραμμικές Απώλειες Κλάδου 27-28

$$(0.00000013) +$$

Γραμμικές Απώλειες Κλάδου 26-27

$$(0.00000171) +$$

Γραμμικές Απώλειες Κλάδου 25-26

$$(0.00004984 * X64 + 0.00003830 * X65 + 0.00003022 * X66 + 0.00002354 * X67 + 0.00001808 * X68) +$$

Γραμμικές Απώλειες Κλάδου 1-25

$$(0.00008596 * X1 + 0.00006602 * X2 + 0.00005065 * X3 + 0.00003895 * X4 + 0.00003001 * X5) \leq 109 - 51 - 16$$

Γραμμικές Απώλειες Κλάδου 0-1

6.4.8 Κώδικας Επίλυσης Βελτιστοποίησης

Ακολουθεί ο κώδικας επίλυσης της βελτιστοποίησης, σε περιβάλλον του λογισμικού επίλυσης του γραμμικού Προγραμματισμού.

Σημειώνεται ότι τα δύο τμήματα Α και Β του δικτύου βελτιστοποιήθηκαν ξεχωριστά.

ΤΜΗΜΑ Α

```
!OPTIMAZATION PART A;
!ΣΥΝΑΡΤΗΣΗΣ ΣΚΟΠΟΥ Z;
min=43.3*X1+54.1*X2+65.0*X3+81.0*X4+98.0*X5+
20.6*X6+27.1*X7+31.1*X8+43.3*X9+
20.6*X10+27.1*X11+31.1*X12+43.3*X13+
17.8*X14+20.6*X15+27.1*X16+31.1*X17+43.3*X18+
17.8*X19+20.6*X20+27.1*X21+31.1*X22+43.3*X23+
4.0*X24+4.7*X25+6.1*X26+
7.4*X27+9.1*X28+12.5*X29+14.6*X30+
```

4.0*X31+4.7*X32+
4.0*X33+4.7*X34+
12.5*X35+14.6*X36+17.8*X37+20.6*X38+27.1*X39+
14.6*X40+17.8*X41+20.6*X42+27.1*X43+
14.6*X44+17.8*X45+20.6*X46+27.1*X47+31.1*X48+
17.8*X49+20.6*X50+27.1*X51+31.1*X52+43.3*X53+
4.0*X54+4.7*X55+
4.0*X56+4.7*X57+
4.7*X58+6.1*X59+
4.0*X60+4.7*X61+
4.7*X62+6.1*X63;

!ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΜΗΚΟΥΣ;

X1+X2+X3+X4+X5=59.29;
X6+X7+X8+X9=26.92;
X10+X11+X12+X13=42.07;
X14+X15+X16+X17+X18=97.11;
X19+X20+X21+X22+X23=115.72;
X24+X25+X26=180.37;
X27+X28+X29+X30=86.93;
X31+X32=197.53;
X33+X34=138.01;
X35+X36+X37+X38+X39=90.59;
X40+X41+X42+X43=99.69;
X44+X45+X46+X47+X48=88.55;
X49+X50+X51+X52+X53=157.21;
X54+X55=206.62;
X56+X57=239.42;
X58+X59=257.98;
X60+X61=239.41;
X62+X63=205.61;

X1>=0; X2>=0; X3>=0; X4>=0; X5>=0; X6>=0; X7>=0; X8>=0; X9>=0;
X10>=0; X11>=0; X12>=0; X13>=0; X14>=0; X15>=0; X16>=0; X17>=0;
X18>=0; X19>=0; X20>=0; X21>=0; X22>=0; X23>=0; X24>=0; X25>=0;
X26>=0; X27>=0; X28>=0; X29>=0; X30>=0; X31>=0; X32>=0; X33>=0;
X34>=0; X35>=0; X36>=0; X37>=0; X38>=0; X39>=0; X40>=0; X41>=0;
X42>=0; X43>=0; X44>=0; X45>=0; X46>=0; X47>=0; X48>=0; X49>=0;
X50>=0; X51>=0; X52>=0; X53>=0; X54>=0; X55>=0; X56>=0; X57>=0;
X58>=0; X59>=0; X60>=0; X61>=0; X62>=0; X63>=0;

!ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΙΚΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ;

!ΤΜΗΜΑ Α;

!0-1;

0.00008596*X1+0.00006602*X2+0.00005065*X3+0.00003895*X4+0.00003001*X5
<=109-89-16;

!0-2;

0.00004139*X6+0.00003181*X7+0.00002509*X8+0.00001955*X9+
(0.00008596*X1+0.00006602*X2+0.00005065*X3+0.00003895*X4+0.00003001*X
5)<=109-87-16;

!0-3;

0.00004063*X10+0.00003123*X11+0.00002463*X12+0.00001919*X13+
(0.00004139*X6+0.00003181*X7+0.00002509*X8+0.00001955*X9)+

$(0.00008596 * X_1 + 0.00006602 * X_2 + 0.00005065 * X_3 + 0.00003895 * X_4 + 0.00003001 * X_5) \leq 109 - 88 - 16;$

!0-4;

$0.00004994 * X_{14} + 0.00003951 * X_{15} + 0.00003036 * X_{16} + 0.00002395 * X_{17} + 0.00001866 * X_{18} +$
 $(0.00004063 * X_{10} + 0.00003123 * X_{11} + 0.00002463 * X_{12} + 0.00001919 * X_{13}) +$
 $(0.00004139 * X_6 + 0.00003181 * X_7 + 0.00002509 * X_8 + 0.00001955 * X_9) +$
 $(0.00008596 * X_1 + 0.00006602 * X_2 + 0.00005065 * X_3 + 0.00003895 * X_4 + 0.00003001 * X_5) \leq 109 - 86 - 16;$

!0-15;

$0.00004667 * X_{19} + 0.00003693 * X_{20} + 0.00002838 * X_{21} + 0.00002239 * X_{22} + 0.00001744 * X_{23} +$
 $(0.00004994 * X_{14} + 0.00003951 * X_{15} + 0.00003036 * X_{16} + 0.00002395 * X_{17} + 0.00001866 * X_{18}) +$
 $(0.00004063 * X_{10} + 0.00003123 * X_{11} + 0.00002463 * X_{12} + 0.00001919 * X_{13}) +$
 $(0.00004139 * X_6 + 0.00003181 * X_7 + 0.00002509 * X_8 + 0.00001955 * X_9) +$
 $(0.00008596 * X_1 + 0.00006602 * X_2 + 0.00005065 * X_3 + 0.00003895 * X_4 + 0.00003001 * X_5) \leq 109 - 70 - 16;$

!0-16;

$0.00000039 +$
 $(0.00004667 * X_{19} + 0.00003693 * X_{20} + 0.00002838 * X_{21} + 0.00002239 * X_{22} + 0.00001744 * X_{23}) +$
 $(0.00004994 * X_{14} + 0.00003951 * X_{15} + 0.00003036 * X_{16} + 0.00002395 * X_{17} + 0.00001866 * X_{18}) +$
 $(0.00004063 * X_{10} + 0.00003123 * X_{11} + 0.00002463 * X_{12} + 0.00001919 * X_{13}) +$
 $(0.00004139 * X_6 + 0.00003181 * X_7 + 0.00002509 * X_8 + 0.00001955 * X_9) +$
 $(0.00008596 * X_1 + 0.00006602 * X_2 + 0.00005065 * X_3 + 0.00003895 * X_4 + 0.00003001 * X_5) \leq 109 - 84 - 16;$

!0-14;

$0.00003723 * X_{49} + 0.00002945 * X_{50} + 0.00002264 * X_{51} + 0.00001786 * X_{52} + 0.00001391 * X_{53} +$
 $(0.00000039) +$
 $(0.00004667 * X_{19} + 0.00003693 * X_{20} + 0.00002838 * X_{21} + 0.00002239 * X_{22} + 0.00001744 * X_{23}) +$
 $(0.00004994 * X_{14} + 0.00003951 * X_{15} + 0.00003036 * X_{16} + 0.00002395 * X_{17} + 0.00001866 * X_{18}) +$
 $(0.00004063 * X_{10} + 0.00003123 * X_{11} + 0.00002463 * X_{12} + 0.00001919 * X_{13}) +$
 $(0.00004139 * X_6 + 0.00003181 * X_7 + 0.00002509 * X_8 + 0.00001955 * X_9) +$
 $(0.00008596 * X_1 + 0.00006602 * X_2 + 0.00005065 * X_3 + 0.00003895 * X_4 + 0.00003001 * X_5) \leq 109 - 59 - 16;$

!0-17;

$0.00000264 * X_{54} + 0.00000179 * X_{55} +$
 $(0.00003723 * X_{49} + 0.00002945 * X_{50} + 0.00002264 * X_{51} + 0.00001786 * X_{52} + 0.00001391 * X_{53}) +$
 $(0.00000039) +$
 $(0.00004667 * X_{19} + 0.00003693 * X_{20} + 0.00002838 * X_{21} + 0.00002239 * X_{22} + 0.00001744 * X_{23}) +$
 $(0.00004994 * X_{14} + 0.00003951 * X_{15} + 0.00003036 * X_{16} + 0.00002395 * X_{17} + 0.00001866 * X_{18}) +$
 $(0.00004063 * X_{10} + 0.00003123 * X_{11} + 0.00002463 * X_{12} + 0.00001919 * X_{13}) +$
 $(0.00004139 * X_6 + 0.00003181 * X_7 + 0.00002509 * X_8 + 0.00001955 * X_9) +$
 $(0.00008596 * X_1 + 0.00006602 * X_2 + 0.00005065 * X_3 + 0.00003895 * X_4 + 0.00003001 * X_5) \leq 109 - 66 - 16;$

!0-13;

0.00003791*X44+0.00002908*X45+0.00002301*X46+0.00001768*X47+0.00001395*X48+
(0.00000264*X54+0.00000179*X55)+
(0.00003723*X49+0.00002945*X50+0.00002264*X51+0.00001786*X52+0.00001391*X53)+
(0.00000039)+
(0.00004667*X19+0.00003693*X20+0.00002838*X21+0.00002239*X22+0.00001744*X23)+
(0.00004994*X14+0.00003951*X15+0.00003036*X16+0.00002395*X17+0.00001866*X18)+
(0.00004063*X10+0.00003123*X11+0.00002463*X12+0.00001919*X13)+
(0.00004139*X6+0.00003181*X7+0.00002509*X8+0.00001955*X9)+
(0.00008596*X1+0.00006602*X2+0.00005065*X3+0.00003895*X4+0.00003001*X5)<=109-55-16;

!0-18;

0.00000354*X56+0.00000239*X57+
(0.00003791*X44+0.00002908*X45+0.00002301*X46+0.00001768*X47+0.00001395*X48)+
(0.00000264*X54+0.00000179*X55)+
(0.00003723*X49+0.00002945*X50+0.00002264*X51+0.00001786*X52+0.00001391*X53)+
(0.00000039)+
(0.00004667*X19+0.00003693*X20+0.00002838*X21+0.00002239*X22+0.00001744*X23)+
(0.00004994*X14+0.00003951*X15+0.00003036*X16+0.00002395*X17+0.00001866*X18)+
(0.00004063*X10+0.00003123*X11+0.00002463*X12+0.00001919*X13)+
(0.00004139*X6+0.00003181*X7+0.00002509*X8+0.00001955*X9)+
(0.00008596*X1+0.00006602*X2+0.00005065*X3+0.00003895*X4+0.00003001*X5)<=109-52-16;

!0-12;

0.00002731*X40+0.00002095*X41+0.00001657*X42+0.00001274*X43+
(0.00000354*X56+0.00000239*X57)+
(0.00003791*X44+0.00002908*X45+0.00002301*X46+0.00001768*X47+0.00001395*X48)+
(0.00000264*X54+0.00000179*X55)+
(0.00003723*X49+0.00002945*X50+0.00002264*X51+0.00001786*X52+0.00001391*X53)+
(0.00000039)+
(0.00004667*X19+0.00003693*X20+0.00002838*X21+0.00002239*X22+0.00001744*X23)+
(0.00004994*X14+0.00003951*X15+0.00003036*X16+0.00002395*X17+0.00001866*X18)+
(0.00004063*X10+0.00003123*X11+0.00002463*X12+0.00001919*X13)+
(0.00004139*X6+0.00003181*X7+0.00002509*X8+0.00001955*X9)+
(0.00008596*X1+0.00006602*X2+0.00005065*X3+0.00003895*X4+0.00003001*X5)<=109-52-16;

!0-19;

0.00000476*X58+0.00000315*X59+
(0.00002731*X40+0.00002095*X41+0.00001657*X42+0.00001274*X43)+
(0.00000354*X56+0.00000239*X57)+
(0.00003791*X44+0.00002908*X45+0.00002301*X46+0.00001768*X47+0.00001395*X48)+
(0.00000264*X54+0.00000179*X55)+
(0.00003723*X49+0.00002945*X50+0.00002264*X51+0.00001786*X52+0.00001391*X53)+
(0.00000039)+

(0.00004667*X19+0.00003693*X20+0.00002838*X21+0.00002239*X22+0.00001744*X23)+
(0.00004994*X14+0.00003951*X15+0.00003036*X16+0.00002395*X17+0.00001866*X18)+
(0.00004063*X10+0.00003123*X11+0.00002463*X12+0.00001919*X13)+
(0.00004139*X6+0.00003181*X7+0.00002509*X8+0.00001955*X9)+
(0.00008596*X1+0.00006602*X2+0.00005065*X3+0.00003895*X4+0.00003001*X5)<=109-48-16;

!0-20;

0.00000039+
(0.00000476*X58+0.00000315*X59)+
(0.00002731*X40+0.00002095*X41+0.00001657*X42+0.00001274*X43)+
(0.00000354*X56+0.00000239*X57)+
(0.00003791*X44+0.00002908*X45+0.00002301*X46+0.00001768*X47+0.00001395*X48)+
(0.00000264*X54+0.00000179*X55)+
(0.00003723*X49+0.00002945*X50+0.00002264*X51+0.00001786*X52+0.00001391*X53)+
(0.00000039)+
(0.00004667*X19+0.00003693*X20+0.00002838*X21+0.00002239*X22+0.00001744*X23)+
(0.00004994*X14+0.00003951*X15+0.00003036*X16+0.00002395*X17+0.00001866*X18)+
(0.00004063*X10+0.00003123*X11+0.00002463*X12+0.00001919*X13)+
(0.00004139*X6+0.00003181*X7+0.00002509*X8+0.00001955*X9)+
(0.00008596*X1+0.00006602*X2+0.00005065*X3+0.00003895*X4+0.00003001*X5)<=109-50-16;

!0-5;

0.00002208*X35+0.00001639*X36+0.00001257*X37+0.00000994*X38+0.00000764*X39+
(0.00000039)+
(0.00000476*X58+0.00000315*X59)+
(0.00002731*X40+0.00002095*X41+0.00001657*X42+0.00001274*X43)+
(0.00000354*X56+0.00000239*X57)+
(0.00003791*X44+0.00002908*X45+0.00002301*X46+0.00001768*X47+0.00001395*X48)+
(0.00000264*X54+0.00000179*X55)+
(0.00003723*X49+0.00002945*X50+0.00002264*X51+0.00001786*X52+0.00001391*X53)+
(0.00000039)+
(0.00004667*X19+0.00003693*X20+0.00002838*X21+0.00002239*X22+0.00001744*X23)+
(0.00004994*X14+0.00003951*X15+0.00003036*X16+0.00002395*X17+0.00001866*X18)+
(0.00004063*X10+0.00003123*X11+0.00002463*X12+0.00001919*X13)+
(0.00004139*X6+0.00003181*X7+0.00002509*X8+0.00001955*X9)+
(0.00008596*X1+0.00006602*X2+0.00005065*X3+0.00003895*X4+0.00003001*X5)<=109-56-16;

!0-21;

0.00000118*X60+0.00000080*X61+
(0.00002208*X35+0.00001639*X36+0.00001257*X37+0.00000994*X38+0.00000764*X39)+
(0.00000039)+
(0.00000476*X58+0.00000315*X59)+
(0.00002731*X40+0.00002095*X41+0.00001657*X42+0.00001274*X43)+
(0.00000354*X56+0.00000239*X57)+
(0.00003791*X44+0.00002908*X45+0.00002301*X46+0.00001768*X47+0.00001395*X48)+

(0.00000264*X54+0.00000179*X55)+
(0.00003723*X49+0.00002945*X50+0.00002264*X51+0.00001786*X52+0.00001391*X53)+
(0.00000039)+
(0.00004667*X19+0.00003693*X20+0.00002838*X21+0.00002239*X22+0.00001744*X23)+
(0.00004994*X14+0.00003951*X15+0.00003036*X16+0.00002395*X17+0.00001866*X18)+
(0.00004063*X10+0.00003123*X11+0.00002463*X12+0.00001919*X13)+
(0.00004139*X6+0.00003181*X7+0.00002509*X8+0.00001955*X9)+
(0.00008596*X1+0.00006602*X2+0.00005065*X3+0.00003895*X4+0.00003001*X5)<=109-51-16;

!0-6;

0.00000417*X24+0.00000282*X25+0.00000187*X26+
(0.00002208*X35+0.00001639*X36+0.00001257*X37+0.00000994*X38+0.00000764*X39)+
(0.00000039)+
(0.00000476*X58+0.00000315*X59)+
(0.00002731*X40+0.00002095*X41+0.00001657*X42+0.00001274*X43)+
(0.00000354*X56+0.00000239*X57)+
(0.00003791*X44+0.00002908*X45+0.00002301*X46+0.00001768*X47+0.00001395*X48)+
(0.00000264*X54+0.00000179*X55)+
(0.00003723*X49+0.00002945*X50+0.00002264*X51+0.00001786*X52+0.00001391*X53)+
(0.00000039)+
(0.00004667*X19+0.00003693*X20+0.00002838*X21+0.00002239*X22+0.00001744*X23)+
(0.00004994*X14+0.00003951*X15+0.00003036*X16+0.00002395*X17+0.00001866*X18)+
(0.00004063*X10+0.00003123*X11+0.00002463*X12+0.00001919*X13)+
(0.00004139*X6+0.00003181*X7+0.00002509*X8+0.00001955*X9)+
(0.00008596*X1+0.00006602*X2+0.00005065*X3+0.00003895*X4+0.00003001*X5)<=109-52-16;

!0-7;

0.00000039+
(0.00000417*X24+0.00000282*X25+0.00000187*X26)+
(0.00002208*X35+0.00001639*X36+0.00001257*X37+0.00000994*X38+0.00000764*X39)+
(0.00000039)+
(0.00000476*X58+0.00000315*X59)+
(0.00002731*X40+0.00002095*X41+0.00001657*X42+0.00001274*X43)+
(0.00000354*X56+0.00000239*X57)+
(0.00003791*X44+0.00002908*X45+0.00002301*X46+0.00001768*X47+0.00001395*X48)+
(0.00000264*X54+0.00000179*X55)+
(0.00003723*X49+0.00002945*X50+0.00002264*X51+0.00001786*X52+0.00001391*X53)+
(0.00000039)+
(0.00004667*X19+0.00003693*X20+0.00002838*X21+0.00002239*X22+0.00001744*X23)+
(0.00004994*X14+0.00003951*X15+0.00003036*X16+0.00002395*X17+0.00001866*X18)+
(0.00004063*X10+0.00003123*X11+0.00002463*X12+0.00001919*X13)+
(0.00004139*X6+0.00003181*X7+0.00002509*X8+0.00001955*X9)+
(0.00008596*X1+0.00006602*X2+0.00005065*X3+0.00003895*X4+0.00003001*X5)<=109-53-16;

!0-8;

0.00001291*X27+0.00000964*X28+0.00000748*X29+0.00000555*X30+
(0.00000118*X60+0.00000080*X61)+
(0.00000039)+
(0.00000417*X24+0.00000282*X25+0.00000187*X26)+
(0.00002208*X35+0.00001639*X36+0.00001257*X37+0.00000994*X38+0.000007
64*X39)+
(0.00000039)+
(0.00000476*X58+0.00000315*X59)+
(0.00002731*X40+0.00002095*X41+0.00001657*X42+0.00001274*X43)+
(0.00000354*X56+0.00000239*X57)+
(0.00003791*X44+0.00002908*X45+0.00002301*X46+0.00001768*X47+0.000013
95*X48)+
(0.00000264*X54+0.00000179*X55)+
(0.00003723*X49+0.00002945*X50+0.00002264*X51+0.00001786*X52+0.000013
91*X53)+
(0.00000039)+
(0.00004667*X19+0.00003693*X20+0.00002838*X21+0.00002239*X22+0.000017
44*X23)+
(0.00004994*X14+0.00003951*X15+0.00003036*X16+0.00002395*X17+0.000018
66*X18)+
(0.00004063*X10+0.00003123*X11+0.00002463*X12+0.00001919*X13)+
(0.00004139*X6+0.00003181*X7+0.00002509*X8+0.00001955*X9)+
(0.00008596*X1+0.00006602*X2+0.00005065*X3+0.00003895*X4+0.00003001*X
5)<=109-64-16;

!0-9;

0.00000240*X31+0.00000162*X32+
(0.00001291*X27+0.00000964*X28+0.00000748*X29+0.00000555*X30)+
(0.00000118*X60+0.00000080*X61)+
(0.00000039)+
(0.00000417*X24+0.00000282*X25+0.00000187*X26)+
(0.00002208*X35+0.00001639*X36+0.00001257*X37+0.00000994*X38+0.000007
64*X39)+
(0.00000039)+
(0.00000476*X58+0.00000315*X59)+
(0.00002731*X40+0.00002095*X41+0.00001657*X42+0.00001274*X43)+
(0.00000354*X56+0.00000239*X57)+
(0.00003791*X44+0.00002908*X45+0.00002301*X46+0.00001768*X47+0.000013
95*X48)+
(0.00000264*X54+0.00000179*X55)+
(0.00003723*X49+0.00002945*X50+0.00002264*X51+0.00001786*X52+0.000013
91*X53)+
(0.00000039)+
(0.00004667*X19+0.00003693*X20+0.00002838*X21+0.00002239*X22+0.000017
44*X23)+
(0.00004994*X14+0.00003951*X15+0.00003036*X16+0.00002395*X17+0.000018
66*X18)+
(0.00004063*X10+0.00003123*X11+0.00002463*X12+0.00001919*X13)+
(0.00004139*X6+0.00003181*X7+0.00002509*X8+0.00001955*X9)+
(0.00008596*X1+0.00006602*X2+0.00005065*X3+0.00003895*X4+0.00003001*X
5)<=109-53-16;

!0-22;

0.00000510*X62+0.00000338*X63+
(0.00001291*X27+0.00000964*X28+0.00000748*X29+0.00000555*X30)+
(0.00000118*X60+0.00000080*X61)+
(0.00000039)+
(0.00000417*X24+0.00000282*X25+0.00000187*X26)+
(0.00002208*X35+0.00001639*X36+0.00001257*X37+0.00000994*X38+0.000007
64*X39)+
(0.00000039)+

(0.00000476*X58+0.00000315*X59)+
(0.00002731*X40+0.00002095*X41+0.00001657*X42+0.00001274*X43)+
(0.00000354*X56+0.00000239*X57)+
(0.00003791*X44+0.00002908*X45+0.00002301*X46+0.00001768*X47+0.00001395*X48)+
(0.00000264*X54+0.00000179*X55)+
(0.00003723*X49+0.00002945*X50+0.00002264*X51+0.00001786*X52+0.00001391*X53)+
(0.00000039)+
(0.00004667*X19+0.00003693*X20+0.00002838*X21+0.00002239*X22+0.00001744*X23)+
(0.00004994*X14+0.00003951*X15+0.00003036*X16+0.00002395*X17+0.00001866*X18)+
(0.00004063*X10+0.00003123*X11+0.00002463*X12+0.00001919*X13)+
(0.00004139*X6+0.00003181*X7+0.00002509*X8+0.00001955*X9)+
(0.00008596*X1+0.00006602*X2+0.00005065*X3+0.00003895*X4+0.00003001*X5)<=109-49-16;

!0-23;

0.00000129+
(0.00000510*X62+0.00000338*X63)+
(0.00001291*X27+0.00000964*X28+0.00000748*X29+0.00000555*X30)+
(0.00000118*X60+0.00000080*X61)+
(0.00000039)+
(0.00000417*X24+0.00000282*X25+0.00000187*X26)+
(0.00002208*X35+0.00001639*X36+0.00001257*X37+0.00000994*X38+0.00000764*X39)+
(0.00000039)+
(0.00000476*X58+0.00000315*X59)+
(0.00002731*X40+0.00002095*X41+0.00001657*X42+0.00001274*X43)+
(0.00000354*X56+0.00000239*X57)+
(0.00003791*X44+0.00002908*X45+0.00002301*X46+0.00001768*X47+0.00001395*X48)+
(0.00000264*X54+0.00000179*X55)+
(0.00003723*X49+0.00002945*X50+0.00002264*X51+0.00001786*X52+0.00001391*X53)+
(0.00000039)+
(0.00004667*X19+0.00003693*X20+0.00002838*X21+0.00002239*X22+0.00001744*X23)+
(0.00004994*X14+0.00003951*X15+0.00003036*X16+0.00002395*X17+0.00001866*X18)+
(0.00004063*X10+0.00003123*X11+0.00002463*X12+0.00001919*X13)+
(0.00004139*X6+0.00003181*X7+0.00002509*X8+0.00001955*X9)+
(0.00008596*X1+0.00006602*X2+0.00005065*X3+0.00003895*X4+0.00003001*X5)<=109-52-16;

!0-24;

0.00000045+
(0.00000129)+
(0.00000510*X62+0.00000338*X63)+
(0.00001291*X27+0.00000964*X28+0.00000748*X29+0.00000555*X30)+
(0.00000118*X60+0.00000080*X61)+
(0.00000039)+
(0.00000417*X24+0.00000282*X25+0.00000187*X26)+
(0.00002208*X35+0.00001639*X36+0.00001257*X37+0.00000994*X38+0.00000764*X39)+
(0.00000039)+
(0.00000476*X58+0.00000315*X59)+
(0.00002731*X40+0.00002095*X41+0.00001657*X42+0.00001274*X43)+
(0.00000354*X56+0.00000239*X57)+

(0.00003791*X44+0.00002908*X45+0.00002301*X46+0.00001768*X47+0.00001395*X48)+
(0.00000264*X54+0.00000179*X55)+
(0.00003723*X49+0.00002945*X50+0.00002264*X51+0.00001786*X52+0.00001391*X53)+
(0.00000039)+
(0.00004667*X19+0.00003693*X20+0.00002838*X21+0.00002239*X22+0.00001744*X23)+
(0.00004994*X14+0.00003951*X15+0.00003036*X16+0.00002395*X17+0.00001866*X18)+
(0.00004063*X10+0.00003123*X11+0.00002463*X12+0.00001919*X13)+
(0.00004139*X6+0.00003181*X7+0.00002509*X8+0.00001955*X9)+
(0.00008596*X1+0.00006602*X2+0.00005065*X3+0.00003895*X4+0.00003001*X5)<=109-52-16;

!0-10;

0.00000309*X33+0.00000209*X34+
(0.00000240*X31+0.00000162*X32)+
(0.00000045)+
(0.00000129)+
(0.00000510*X62+0.00000338*X63)+
(0.00001291*X27+0.00000964*X28+0.00000748*X29+0.00000555*X30)+
(0.00000118*X60+0.00000080*X61)+
(0.00000039)+
(0.00000417*X24+0.00000282*X25+0.00000187*X26)+
(0.00002208*X35+0.00001639*X36+0.00001257*X37+0.00000994*X38+0.00000764*X39)+
(0.00000039)+
(0.00000476*X58+0.00000315*X59)+
(0.00002731*X40+0.00002095*X41+0.00001657*X42+0.00001274*X43)+
(0.00000354*X56+0.00000239*X57)+
(0.00003791*X44+0.00002908*X45+0.00002301*X46+0.00001768*X47+0.00001395*X48)+
(0.00000264*X54+0.00000179*X55)+
(0.00003723*X49+0.00002945*X50+0.00002264*X51+0.00001786*X52+0.00001391*X53)+
(0.00000039)+
(0.00004667*X19+0.00003693*X20+0.00002838*X21+0.00002239*X22+0.00001744*X23)+
(0.00004994*X14+0.00003951*X15+0.00003036*X16+0.00002395*X17+0.00001866*X18)+
(0.00004063*X10+0.00003123*X11+0.00002463*X12+0.00001919*X13)+
(0.00004139*X6+0.00003181*X7+0.00002509*X8+0.00001955*X9)+
(0.00008596*X1+0.00006602*X2+0.00005065*X3+0.00003895*X4+0.00003001*X5)<=109-55-16;

!0-11;

0.00000045+
(0.00000309*X33+0.00000209*X34)+
(0.00000240*X31+0.00000162*X32)+
(0.00000045)+
(0.00000129)+
(0.00000510*X62+0.00000338*X63)+
(0.00001291*X27+0.00000964*X28+0.00000748*X29+0.00000555*X30)+
(0.00000118*X60+0.00000080*X61)+
(0.00000039)+
(0.00000417*X24+0.00000282*X25+0.00000187*X26)+
(0.00002208*X35+0.00001639*X36+0.00001257*X37+0.00000994*X38+0.00000764*X39)+
(0.00000039)+
(0.00000476*X58+0.00000315*X59)+

(0.00002731*X40+0.00002095*X41+0.00001657*X42+0.00001274*X43)+
(0.00000354*X56+0.00000239*X57)+
(0.00003791*X44+0.00002908*X45+0.00002301*X46+0.00001768*X47+0.000013
95*X48)+
(0.00000264*X54+0.00000179*X55)+
(0.00003723*X49+0.00002945*X50+0.00002264*X51+0.00001786*X52+0.000013
91*X53)+
(0.00000039)+
(0.00004667*X19+0.00003693*X20+0.00002838*X21+0.00002239*X22+0.000017
44*X23)+
(0.00004994*X14+0.00003951*X15+0.00003036*X16+0.00002395*X17+0.000018
66*X18)+
(0.00004063*X10+0.00003123*X11+0.00002463*X12+0.00001919*X13)+
(0.00004139*X6+0.00003181*X7+0.00002509*X8+0.00001955*X9)+
(0.00008596*X1+0.00006602*X2+0.00005065*X3+0.00003895*X4+0.00003001*X
5)<=109-56-16;

ΤΜΗΜΑ Β

!OPTIMAZATION PART B;
!ΣΥΝΑΡΤΗΣΗΣ ΣΚΟΠΟΥ Z;
min=43.3*X1+54.1*X2+65.0*X3+81.0*X4+98.0*X5+
20.6*X64+27.1*X65+31.1*X66+43.3*X67+54.1*X68+
17.8*X69+20.6*X70+27.1*X71+31.1*X72+43.3*X73+
4.0*X74+4.7*X75+
17.8*X76+20.6*X77+27.1*X78+31.1*X79+43.3*X80+
4.0*X81+4.7*X82+
4.0*X83+4.7*X84+6.1*X85+
14.6*X86+17.8*X87+20.6*X88+27.1*X89+31.1*X90+
4.0*X91+4.7*X92+6.1*X93+
4.0*X94+4.7*X95+6.1*X96+
12.5*X97+14.6*X98+17.8*X99+
4.0*X100+4.7*X101+6.1*X102+
9.1*X103+12.5*X104+14.6*X105+
4.0*X106+4.7*X107+6.1*X108+
4.0*X109+4.7*X110+
4.7*X111+6.1*X112+7.4*X113+9.1*X114+
4.7*X115+6.1*X116;

!ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΜΗΚΟΥΣ;
X1+X2+X3+X4+X5=59.29;
X64+X65+X66+X67+X68=183.05;
X69+X70+X71+X72+X73=93.43;
X74+X75=187.53;
X76+X77+X78+X79+X80=95.73;
X81+X82=217.58;
X83+X84+X85=279.79;
X86+X87+X88+X89+X90=86.56;
X91+X92+X93=271.27;
X94+X95+X96=279.87;
X97+X98+X99=47.77;
X100+X101+X102=263.98;
X103+X104+X105=89.75;
X106+X107+X108=287.26;
X109+X110=244.75;
X111+X112+X113+X114=134.05;
X115+X116=368.62;

X1>=0; X2>=0; X3>=0; X4>=0; X64>=0; X65>=0; X66>=0; X67>=0; X68>=0;
X69>=0; X70>=0; X71>=0; X72>=0; X73>=0; X74>=0; X75>=0;
X76>=0; X77>=0; X78>=0; X79>=0; X80>=0; X81>=0; X82>=0; X83>=0;
X84>=0; X85>=0; X86>=0; X87>=0; X88>=0; X89>=0; X90>=0; X91>=0;
X92>=0; X93>=0;
X94>=0; X95>=0; X96>=0; X97>=0; X98>=0; X99>=0; X100>=0; X101>=0;
X102>=0; X103>=0; X104>=0; X105>=0; X106>=0; X107>=0; X108>=0;
X109>=0; X110>=0;
X111>=0; X112>=0; X113>=0; X114>=0; X115>=0; X116>=0;

!ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΙΚΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ;
!ΤΜΗΝΑ Β;

!0-1;

0.00008596*X1+0.00006602*X2+0.00005065*X3+0.00003895*X4+0.00003001*X5
<=109-89-16;

!0-25;

0.00004984*X64+0.00003830*X65+0.00003022*X66+0.00002354*X67+0.0000180
8*X68+
(0.00008596*X1+0.00006602*X2+0.00005065*X3+0.00003895*X4+0.00003001*X
5)<=109-78-16;

!0-26;

0.00000171+
(0.00004984*X64+0.00003830*X65+0.00003022*X66+0.00002354*X67+0.000018
08*X68)+
(0.00008596*X1+0.00006602*X2+0.00005065*X3+0.00003895*X4+0.00003001*X
5)<=109-86-16;

!0-27;

0.00000013+
(0.00000171)+
(0.00004984*X64+0.00003830*X65+0.00003022*X66+0.00002354*X67+0.000018
08*X68)+
(0.00008596*X1+0.00006602*X2+0.00005065*X3+0.00003895*X4+0.00003001*X
5)<=109-85-16;

!0-28;

0.00005031*X69+0.00003980*X70+0.00003059*X71+0.00002413*X72+0.0000188
0*X73+
(0.00000013)+
(0.00000171)+
(0.00004984*X64+0.00003830*X65+0.00003022*X66+0.00002354*X67+0.000018
08*X68)+
(0.00008596*X1+0.00006602*X2+0.00005065*X3+0.00003895*X4+0.00003001*X
5)<=109-86-16;

!0-29;

0.00000216*X74+0.00000146*X75+
(0.00005031*X69+0.00003980*X70+0.00003059*X71+0.00002413*X72+0.000018
80*X73)+
(0.00000013)+
(0.00000171)+
(0.00004984*X64+0.00003830*X65+0.00003022*X66+0.00002354*X67+0.000018
08*X68)+
(0.00008596*X1+0.00006602*X2+0.00005065*X3+0.00003895*X4+0.00003001*X
5)<=109-68-16;

!0-30;

0.00004118*X76+0.00003258*X77+0.00002504*X78+0.00001975*X79+0.00001539*X80+
(0.00000216*X74+0.00000146*X75)+
(0.00005031*X69+0.00003980*X70+0.00003059*X71+0.00002413*X72+0.00001880*X73)+
(0.00000013)+
(0.00000171)+
(0.00004984*X64+0.00003830*X65+0.00003022*X66+0.00002354*X67+0.00001808*X68)+
(0.00008596*X1+0.00006602*X2+0.00005065*X3+0.00003895*X4+0.00003001*X5)<=109-72-16;

!0-31;

0.00000293*X81+0.00000198*X82+
(0.00004118*X76+0.00003258*X77+0.00002504*X78+0.00001975*X79+0.00001539*X80)+
(0.00000216*X74+0.00000146*X75)+
(0.00005031*X69+0.00003980*X70+0.00003059*X71+0.00002413*X72+0.00001880*X73)+
(0.00000013)+
(0.00000171)+
(0.00004984*X64+0.00003830*X65+0.00003022*X66+0.00002354*X67+0.00001808*X68)+
(0.00008596*X1+0.00006602*X2+0.00005065*X3+0.00003895*X4+0.00003001*X5)<=109-52-16;

!0-32;

0.00000483*X83+0.00000327*X84+0.00000216*X85+
(0.00004118*X76+0.00003258*X77+0.00002504*X78+0.00001975*X79+0.00001539*X80)+
(0.00000216*X74+0.00000146*X75)+
(0.00005031*X69+0.00003980*X70+0.00003059*X71+0.00002413*X72+0.00001880*X73)+
(0.00000013)+
(0.00000171)+
(0.00004984*X64+0.00003830*X65+0.00003022*X66+0.00002354*X67+0.00001808*X68)+
(0.00008596*X1+0.00006602*X2+0.00005065*X3+0.00003895*X4+0.00003001*X5)<=109-71-16;

!0-33;

0.00003249*X86+0.00002492*X87+0.00001971*X88+0.00001515*X89+0.00001195*X90+
(0.00000293*X81+0.00000198*X82)+
(0.00000483*X83+0.00000327*X84+0.00000216*X85)+
(0.00004118*X76+0.00003258*X77+0.00002504*X78+0.00001975*X79+0.00001539*X80)+
(0.00000216*X74+0.00000146*X75)+
(0.00005031*X69+0.00003980*X70+0.00003059*X71+0.00002413*X72+0.00001880*X73)+
(0.00000013)+
(0.00000171)+
(0.00004984*X64+0.00003830*X65+0.00003022*X66+0.00002354*X67+0.00001808*X68)+
(0.00008596*X1+0.00006602*X2+0.00005065*X3+0.00003895*X4+0.00003001*X5)<=109-56-16;

!0-34;

0.00000453*X91+0.00000306*X92+0.00000203*X93+
(0.00003249*X86+0.00002492*X87+0.00001971*X88+0.00001515*X89+0.00001195*X90)+
(0.00000293*X81+0.00000198*X82)+
(0.00000483*X83+0.00000327*X84+0.00000216*X85)+
(0.00004118*X76+0.00003258*X77+0.00002504*X78+0.00001975*X79+0.00001539*X80)+
(0.00000216*X74+0.00000146*X75)+
(0.00005031*X69+0.00003980*X70+0.00003059*X71+0.00002413*X72+0.00001880*X73)+
(0.00000013)+
(0.00000171)+
(0.00004984*X64+0.00003830*X65+0.00003022*X66+0.00002354*X67+0.00001808*X68)+
(0.00008596*X1+0.00006602*X2+0.00005065*X3+0.00003895*X4+0.00003001*X5)<=109-51-16;

!0-35;

0.00000483*X94+0.00000327*X95+0.00000216*X96+
(0.00003249*X86+0.00002492*X87+0.00001971*X88+0.00001515*X89+0.00001195*X90)+
(0.00000293*X81+0.00000198*X82)+
(0.00000483*X83+0.00000327*X84+0.00000216*X85)+
(0.00004118*X76+0.00003258*X77+0.00002504*X78+0.00001975*X79+0.00001539*X80)+
(0.00000216*X74+0.00000146*X75)+
(0.00005031*X69+0.00003980*X70+0.00003059*X71+0.00002413*X72+0.00001880*X73)+
(0.00000013)+
(0.00000171)+
(0.00004984*X64+0.00003830*X65+0.00003022*X66+0.00002354*X67+0.00001808*X68)+
(0.00008596*X1+0.00006602*X2+0.00005065*X3+0.00003895*X4+0.00003001*X5)<=109-54-16;

!0-36;

0.00002104*X97+0.00001194*X98+0.00000944*X99+
(0.00000453*X91+0.00000306*X92+0.00000203*X93)+
(0.00000483*X94+0.00000327*X95+0.00000216*X96)+
(0.00003249*X86+0.00002492*X87+0.00001971*X88+0.00001515*X89+0.00001195*X90)+
(0.00000293*X81+0.00000198*X82)+
(0.00000483*X83+0.00000327*X84+0.00000216*X85)+
(0.00004118*X76+0.00003258*X77+0.00002504*X78+0.00001975*X79+0.00001539*X80)+
(0.00000216*X74+0.00000146*X75)+
(0.00005031*X69+0.00003980*X70+0.00003059*X71+0.00002413*X72+0.00001880*X73)+
(0.00000013)+
(0.00000171)+
(0.00004984*X64+0.00003830*X65+0.00003022*X66+0.00002354*X67+0.00001808*X68)+
(0.00008596*X1+0.00006602*X2+0.00005065*X3+0.00003895*X4+0.00003001*X5)<=109-53-16;

!0-37;

0.00000430*X100+0.00000291*X101+0.00000192*X102+
(0.00002104*X97+0.00001194*X98+0.00000944*X99)+
(0.00000453*X91+0.00000306*X92+0.00000203*X93)+
(0.00000483*X94+0.00000327*X95+0.00000216*X96)+

(0.00003249*X86+0.00002492*X87+0.00001971*X88+0.00001515*X89+0.00001195*X90)+
(0.00000293*X81+0.00000198*X82)+
(0.00000483*X83+0.00000327*X84+0.00000216*X85)+
(0.00004118*X76+0.00003258*X77+0.00002504*X78+0.00001975*X79+0.00001539*X80)+
(0.00000216*X74+0.00000146*X75)+
(0.00005031*X69+0.00003980*X70+0.00003059*X71+0.00002413*X72+0.00001880*X73)+
(0.00000013)+
(0.00000171)+
(0.00004984*X64+0.00003830*X65+0.00003022*X66+0.00002354*X67+0.00001808*X68)+
(0.00008596*X1+0.00006602*X2+0.00005065*X3+0.00003895*X4+0.00003001*X5)<=109-53-16;

!0-38;

0.00001658*X103+0.00001286*X104+0.00000732*X105+
(0.00000430*X100+0.00000291*X101+0.00000192*X102)+
(0.00002104*X97+0.00001194*X98+0.00000944*X99)+
(0.00000453*X91+0.00000306*X92+0.00000203*X93)+
(0.00000483*X94+0.00000327*X95+0.00000216*X96)+
(0.00003249*X86+0.00002492*X87+0.00001971*X88+0.00001515*X89+0.00001195*X90)+
(0.00000293*X81+0.00000198*X82)+
(0.00000483*X83+0.00000327*X84+0.00000216*X85)+
(0.00004118*X76+0.00003258*X77+0.00002504*X78+0.00001975*X79+0.00001539*X80)+
(0.00000216*X74+0.00000146*X75)+
(0.00005031*X69+0.00003980*X70+0.00003059*X71+0.00002413*X72+0.00001880*X73)+
(0.00000013)+
(0.00000171)+
(0.00004984*X64+0.00003830*X65+0.00003022*X66+0.00002354*X67+0.00001808*X68)+
(0.00008596*X1+0.00006602*X2+0.00005065*X3+0.00003895*X4+0.00003001*X5)<=109-52-16;

!0-39;

0.00000511*X106+0.00000345*X107+0.00000228*X108+
(0.00001658*X103+0.00001286*X104+0.00000732*X105)+
(0.00000430*X100+0.00000291*X101+0.00000192*X102)+
(0.00002104*X97+0.00001194*X98+0.00000944*X99)+
(0.00000453*X91+0.00000306*X92+0.00000203*X93)+
(0.00000483*X94+0.00000327*X95+0.00000216*X96)+
(0.00003249*X86+0.00002492*X87+0.00001971*X88+0.00001515*X89+0.00001195*X90)+
(0.00000293*X81+0.00000198*X82)+
(0.00000483*X83+0.00000327*X84+0.00000216*X85)+
(0.00004118*X76+0.00003258*X77+0.00002504*X78+0.00001975*X79+0.00001539*X80)+
(0.00000216*X74+0.00000146*X75)+
(0.00005031*X69+0.00003980*X70+0.00003059*X71+0.00002413*X72+0.00001880*X73)+
(0.00000013)+
(0.00000171)+
(0.00004984*X64+0.00003830*X65+0.00003022*X66+0.00002354*X67+0.00001808*X68)+
(0.00008596*X1+0.00006602*X2+0.00005065*X3+0.00003895*X4+0.00003001*X5)<=109-51-16;

!0-40;

0.00000368*X109+0.00000249*X110+
(0.00001658*X103+0.00001286*X104+0.00000732*X105)+
(0.00000430*X100+0.00000291*X101+0.00000192*X102)+
(0.00002104*X97+0.00001194*X98+0.00000944*X99)+
(0.00000453*X91+0.00000306*X92+0.00000203*X93)+
(0.00000483*X94+0.00000327*X95+0.00000216*X96)+
(0.00003249*X86+0.00002492*X87+0.00001971*X88+0.00001515*X89+0.00001195*X90)+
(0.00000293*X81+0.00000198*X82)+
(0.00000483*X83+0.00000327*X84+0.00000216*X85)+
(0.00004118*X76+0.00003258*X77+0.00002504*X78+0.00001975*X79+0.00001539*X80)+
(0.00000216*X74+0.00000146*X75)+
(0.00005031*X69+0.00003980*X70+0.00003059*X71+0.00002413*X72+0.00001880*X73)+
(0.00000013)+
(0.00000171)+
(0.00004984*X64+0.00003830*X65+0.00003022*X66+0.00002354*X67+0.00001808*X68)+
(0.00008596*X1+0.00006602*X2+0.00005065*X3+0.00003895*X4+0.00003001*X5)<=109-54-16;

!0-41;

0.00001923*X111+0.00001272*X112+0.00000810*X113+0.00000605*X114+
(0.00000511*X106+0.00000345*X107+0.00000228*X108)+
(0.00000368*X109+0.00000249*X110)+
(0.00001658*X103+0.00001286*X104+0.00000732*X105)+
(0.00000430*X100+0.00000291*X101+0.00000192*X102)+
(0.00002104*X97+0.00001194*X98+0.00000944*X99)+
(0.00000453*X91+0.00000306*X92+0.00000203*X93)+
(0.00000483*X94+0.00000327*X95+0.00000216*X96)+
(0.00003249*X86+0.00002492*X87+0.00001971*X88+0.00001515*X89+0.00001195*X90)+
(0.00000293*X81+0.00000198*X82)+
(0.00000483*X83+0.00000327*X84+0.00000216*X85)+
(0.00004118*X76+0.00003258*X77+0.00002504*X78+0.00001975*X79+0.00001539*X80)+
(0.00000216*X74+0.00000146*X75)+
(0.00005031*X69+0.00003980*X70+0.00003059*X71+0.00002413*X72+0.00001880*X73)+
(0.00000013)+
(0.00000171)+
(0.00004984*X64+0.00003830*X65+0.00003022*X66+0.00002354*X67+0.00001808*X68)+
(0.00008596*X1+0.00006602*X2+0.00005065*X3+0.00003895*X4+0.00003001*X5)<=109-50-16;

!0-42;

0.00000566*X115+0.00000375*X116+
(0.00001923*X111+0.00001272*X112+0.00000810*X113+0.00000605*X114)+
(0.00000511*X106+0.00000345*X107+0.00000228*X108)+
(0.00000368*X109+0.00000249*X110)+
(0.00001658*X103+0.00001286*X104+0.00000732*X105)+
(0.00000430*X100+0.00000291*X101+0.00000192*X102)+
(0.00002104*X97+0.00001194*X98+0.00000944*X99)+
(0.00000453*X91+0.00000306*X92+0.00000203*X93)+
(0.00000483*X94+0.00000327*X95+0.00000216*X96)+
(0.00003249*X86+0.00002492*X87+0.00001971*X88+0.00001515*X89+0.00001195*X90)+
(0.00000293*X81+0.00000198*X82)+

(0.00000483*X83+0.00000327*X84+0.00000216*X85)+
 (0.00004118*X76+0.00003258*X77+0.00002504*X78+0.00001975*X79+0.000015
 39*X80)+
 (0.00000216*X74+0.00000146*X75)+
 (0.00005031*X69+0.00003980*X70+0.00003059*X71+0.00002413*X72+0.000018
 80*X73)+
 (0.00000013)+
 (0.00000171)+
 (0.00004984*X64+0.00003830*X65+0.00003022*X66+0.00002354*X67+0.000018
 08*X68)+
 (0.00008596*X1+0.00006602*X2+0.00005065*X3+0.00003895*X4+0.00003001*X
 5)<=109-51-16;

6.4.9 Αποτελέσματα Βελτιστοποίησης

Και για τα δύο τμήματα Α και Β βρέθηκε Global Optimal Solution. Τα αναλυτικά report των δύο τμημάτων περιλαμβάνονται στο Παράρτημα Β (V. Βελτιστοποίηση- Ανάλυση Ευαισθησίας). Στην συγκεκριμένη ενότητα παρατίθενται το αρχικό τμήμα των δύο report, όπως φαίνεται παρακάτω:

```
REPORT PART A
Global optimal solution found.
Objective value:                22083.44
Infeasibilities:                 0.000000
Total solver iterations:         11
Elapsed runtime seconds:         0.54

Model Class:                     LP

Total variables:                  63
Nonlinear variables:              0
Integer variables:                0

Total constraints:                 106
Nonlinear constraints:            0

Total nonzeros:                   1156
Nonlinear nonzeros:               0
```

```
REPORT PART B
Global optimal solution found.
Objective value:                22873.43
Infeasibilities:                 0.000000
Total solver iterations:         13
Elapsed runtime seconds:         0.14

Model Class:                     LP

Total variables:                  58
Nonlinear variables:              0
Integer variables:                0

Total constraints:                 94
Nonlinear constraints:            0

Total nonzeros:                   758
Nonlinear nonzeros:               0
```

Στους πίνακες 6.9 και 6.10 που ακολουθούν παρουσιάζονται το κόστος του ανασχεδιασμένου δικτύου, συνολικά και για τα δύο τμήματα Α και Β όπως αυτό προκύπτει πριν και μετά τη βελτιστοποίηση. Σημειώνεται ότι το αρχικό κόστος του ανασχεδιασμένου δικτύου, προκύπτει με βάση την αρχική επιλογή διαμέτρων.

ΑΓΩΓΟΙ	ΜΗΚΟΣ (m)	ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΕΜΠΟΡΙΟΥ (mm) D	ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΕΜΠΟΡΙΟΥ Dn	ΚΟΣΤΟΣ ΑΝΑ ΜΕΤΡΟ ΜΗΚΟΥΣ	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ
1	59,29	317,4	355	65,0 €	3.853,85 €
2	26,92	200,8	225	27,1 €	729,53 €
3	42,07	200,8	225	27,1 €	1.140,10 €
4	97,11	200,8	225	27,1 €	2.631,68 €
5	115,72	200,8	225	27,1 €	3.136,01 €
6	180,37	66,6	75	4,7 €	847,74 €
7	79,9	56	63	4,0 €	319,60 €
8	86,93	111,4	125	9,1 €	792,71 €
9	197,53	56	63	4,0 €	790,12 €
10	138,01	56	63	4,0 €	552,04 €
11	85,27	56	63	4,0 €	341,08 €
12	90,59	142,6	160	14,6 €	1.322,61 €
13	99,69	160,6	180	17,8 €	1.772,84 €
14	88,55	178,4	200	20,6 €	1.824,13 €
15	157,21	200,8	225	27,1 €	4.260,39 €
16	146,01	56	63	4,0 €	584,04 €
17	206,62	56	63	4,0 €	826,48 €
18	239,42	56	63	4,0 €	957,68 €
19	257,98	66,6	75	4,7 €	1.212,51 €
20	79,78	56	63	4,0 €	319,12 €
21	239,41	56	63	4,0 €	957,64 €
22	205,61	80	90	6,1 €	1.254,22 €
23	57,94	56	63	4,0 €	231,76 €
24	86,45	56	63	4,0 €	345,80 €
25	183,05	223,4	250	31,1 €	5.695,05 €
26	120,18	56	63	4,0 €	480,72 €
27	46,52	56	63	4,0 €	186,08 €
28	93,43	200,8	225	27,1 €	2.531,95 €
29	187,53	56	63	4,0 €	750,12 €
30	95,73	200,8	225	27,1 €	2.594,28 €
31	217,58	56	63	4,0 €	870,32 €
32	279,79	66,6	75	4,7 €	1.315,01 €
33	86,56	178,4	200	20,6 €	1.783,14 €
34	271,27	66,6	75	4,7 €	1.274,97 €

35	279,87	66,6	75	4,7 €	1.315,39 €
36	47,77	142,6	160	14,6 €	697,44 €
37	263,98	66,6	75	4,7 €	1.240,71 €
38	89,75	124,8	140	12,5 €	1.121,88 €
39	287,26	66,6	75	4,7 €	1.350,12 €
40	244,75	66,6	75	4,7 €	1.150,33 €
41	134,05	97,8	110	7,4 €	991,97 €
42	368,62	80	90	6,1 €	2.248,58 €
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΑΝΑΣΧΕΔΙΑΣΜΕΝΟΥ ΕΡΓΟΥ					58.601,73 €

Πίνακας 6.9: Αρχικό Κόστος Ανασχεδιασμένου Δικτύου
Υπολογισμός σε MS Excel

ΑΓΩΓΟΙ	ΜΗΚΟΣ (m)	ΠΑΡΟΧΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ Q (m ³ /s)	ΑΠΟΔΕΚΤΕΣ ΕΣΩΤ. ΔΙΑΜΕΤΡΟΙ D (mm)	ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ X (m)	ΚΟΣΤΟΣ	MIN Z
1	59,29	0,06396	250,00	X1	43,3 €	2.567,3 €
			281,60	X2	54,1 €	0,0 €
			317,40	X3	65,0 €	0,0 €
			357,40	X4	81,0 €	0,0 €
			402,20	X5	98,0 €	0,0 €
2	26,92	0,0305	178,40	X6	20,6 €	554,6 €
			200,80	X7	27,1 €	0,0 €
			223,40	X8	31,1 €	0,0 €
			250,00	X9	43,3 €	0,0 €
3	42,07	0,03022	178,40	X10	20,6 €	866,6 €
			200,80	X11	27,1 €	0,0 €
			223,40	X12	31,1 €	0,0 €
			250,00	X13	43,3 €	0,0 €
4	97,11	0,0298	160,60	X14	17,8 €	1.727,0 €
			178,40	X15	20,6 €	0,0 €
			200,80	X16	27,1 €	0,0 €
			223,40	X17	31,1 €	0,0 €
			250,00	X18	43,3 €	0,0 €
5	115,72	0,02881	160,60	X19	17,8 €	2.057,9 €
			178,40	X20	20,6 €	0,0 €
			200,80	X21	27,1 €	0,0 €
			223,40	X22	31,1 €	0,0 €
			250,00	X23	43,3 €	0,0 €
6	180,37	0,00264	56,00	X24	4,0 €	721,5 €
			66,60	X25	4,7 €	0,0 €

			80,00	X26	6,1 €	0,0 €
7	79,9	0,00081	56,00		4,0 €	319,6 €
8	86,93	0,0087	97,80	X27	7,4 €	643,3 €
			111,40	X28	9,1 €	0,0 €
			124,80	X29	12,5 €	0,0 €
			142,60	X30	14,6 €	0,0 €
9	197,53	0,002	56,00	X31	4,0 €	790,1 €
			66,60	X32	4,7 €	0,0 €
10	138,01	0,00227	56,00	X33	4,0 €	552,0 €
			66,60	X34	4,7 €	0,0 €
11	85,27	0,00087	56,00		4,0 €	341,1 €
12	90,59	0,01495	124,80	X35	12,5 €	1.132,4 €
			142,60	X36	14,6 €	0,0 €
			160,6	X37	17,8 €	0,0 €
			178,4	X38	20,6 €	0,0 €
			200,80	X39	27,1 €	0,0 €
13	99,69	0,0193	142,60	X40	14,6 €	1.455,5 €
			160,60	X41	17,8 €	0,0 €
			178,4	X42	20,6 €	0,0 €
			200,8	X43	27,1 €	0,0 €
14	88,55	0,02274	142,60	X44	14,6 €	1.292,8 €
			160,60	X45	17,8 €	0,0 €
			178,40	X46	20,6 €	0,0 €
			200,80	X47	27,1 €	0,0 €
			223,40	X48	31,1 €	0,0 €
15	157,21	0,02573	160,60	X49	17,8 €	2.795,7 €
			178,40	X50	20,6 €	0,0 €
			200,80	X51	27,1 €	0,0 €
			223,40	X52	31,1 €	0,0 €
			250,00	X53	43,3 €	0,0 €
16	146,01	0,00148	56,00		4,0 €	584,0 €
17	206,62	0,0021	56,00	X54	4,0 €	826,5 €
			66,60	X55	4,7 €	0,0 €
18	239,42	0,00243	56,00	X56	4,0 €	957,7 €
			66,60	X57	4,7 €	0,0 €
19	257,98	0,00343	66,60	X58	4,7 €	1.212,5 €
			80,00	X59	6,1 €	0,0 €
20	79,78	0,00081	56,00		4,0 €	319,1 €
21	239,41	0,00243	56,00	X60	4,0 €	957,6 €
			66,60	X61	4,7 €	0,0 €
22	205,61	0,00355	66,60	X62	4,7 €	966,4 €
			80,00	X63	6,1 €	0,0 €
23	57,94	0,00147	56,00		4,0 €	231,8 €

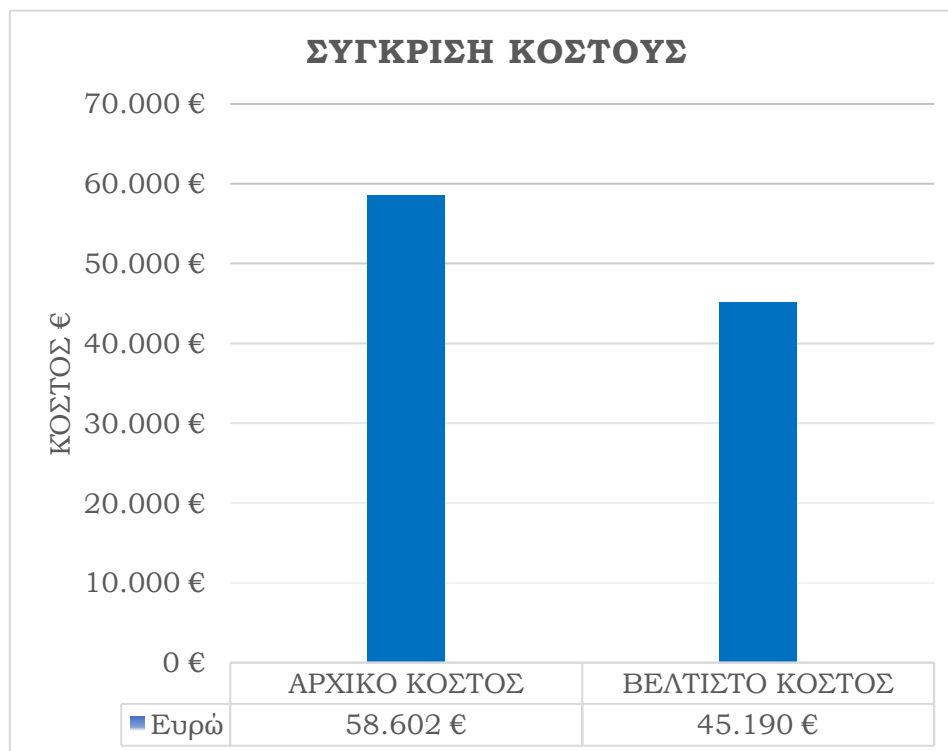
24	86,45	0,00088	56,00		4,0 €	345,8 €
25	183,05	0,03347	178,40	X64	20,6 €	3.770,8 €
			200,80	X65	27,1 €	0,0 €
			223,40	X66	31,1 €	0,0 €
			250,00	X67	43,3 €	0,0 €
			281,60	X68	54,1 €	0,0 €
26	120,18	0,00169	56,00		4,0 €	480,7 €
27	46,52	0,00047	56,00		4,0 €	186,1 €
28	93,43	0,02991	160,60	X69	17,8 €	1.661,5 €
			178,40	X70	20,6 €	0,0 €
			200,80	X71	27,1 €	0,0 €
			223,40	X72	31,1 €	0,0 €
			250,00	X73	43,3 €	0,0 €
29	187,53	0,0019	56,00	X74	4,0 €	750,1 €
			66,60	X75	4,7 €	0,0 €
30	95,73	0,02706	160,60	X76	17,8 €	1.702,4 €
			178,40	X77	20,6 €	0,0 €
			200,80	X78	27,1 €	0,0 €
			223,40	X79	31,1 €	0,0 €
			250,00	X80	43,3 €	0,0 €
31	217,58	0,00221	56,00	X81	4,0 €	870,3 €
			66,60	X82	4,7 €	0,0 €
32	279,79	0,00284	56,00	X83	4,0 €	1.119,2 €
			66,60	X84	4,7 €	0,0 €
			80,00	X85	6,1 €	0,0 €
33	86,56	0,02105	142,60	X86	14,6 €	1.263,8 €
			160,60	X87	17,8 €	0,0 €
			178,40	X88	20,6 €	0,0 €
			200,80	X89	27,1 €	0,0 €
			223,40	X90	31,1 €	0,0 €
34	271,27	0,00275	56,00	X91	4,0 €	1.085,1 €
			66,60	X92	4,7 €	0,0 €
			80,00	X93	6,1 €	0,0 €
35	279,87	0,00284	56,00	X94	4,0 €	1.119,5 €
			66,60	X95	4,7 €	0,0 €
			80,00	X96	6,1 €	0,0 €
36	47,77	0,01457	124,60	X97	12,5 €	597,1 €
			160,60	X98	14,6 €	0,0 €
			178,40	X99	17,8 €	0,0 €
37	263,98	0,00268	56,00	X100	4,0 €	1.055,9 €
			66,60	X101	4,7 €	0,0 €
			80,00	X102	6,1 €	0,0 €
38	89,75	0,01141	111,40	X103	9,1 €	818,4 €

			124,80	X104	12,5 €	0,0 €
			160,60	X105	14,6 €	0,0 €
39	287,26	0,00292	56,00	X106	4,0 €	1.149,0 €
			66,60	X107	4,7 €	0,0 €
			80,00	X108	6,1 €	0,0 €
40	244,75	0,00248	56,00	X109	4,0 €	979,0 €
			66,60	X110	4,7 €	0,0 €
41	134,05	0,0051	66,60	X111	4,7 €	630,0 €
			80,00	X112	6,1 €	0,0 €
			97,80	X113	7,4 €	0,0 €
			111,40	X114	9,1 €	0,0 €
42	368,62	0,00374	66,60	X115	4,7 €	1.732,5 €
			80,00	X116	6,1 €	0,0 €
ΒΕΛΤΙΣΤΟ ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΑΝΑΣΧΕΔΙΑΣΜΕΝΟΥ ΕΡΓΟΥ						45.190,3 €

Πίνακας 6.10: Βέλτιστο Κόστος Ανασχεδιασμένου Δικτύου
Υπολογισμός σε MS Excel

Διαπιστώνουμε ότι το αρχικό κόστος του ανασχεδιασμένου δικτύου, είναι **58.602 €**, ενώ το βέλτιστο κόστος, όπως αυτό προκύπτει από την βελτιστοποίηση είναι **45.190 €**. Η διαφορά του κόστους ανέρχεται στα **13.411 €**.

Διαγραμματικά έχουμε:



Σχήμα 6.1: Σύγκριση Αρχικού - Βέλτιστου Κόστους
Ανασχεδιασμένου Δικτύου

6.5 Ανάλυση Ευαισθησίας

Όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 4, προβήκαμε σε ανάλυση ευαισθησίας ως προς την παροχή ζήτηση και την τραχύτητα. Συγκεκριμένα, εξετάζεται πώς και κατά πόσο μεταβάλλεται το κόστος, όταν μεταβάλλεται η παροχή ζήτησης Q των κλάδων, καθώς και η τραχύτητα των αγωγών k . Αναλυτικότερα έχουμε:

6.5.1 Ανάλυση Ευαισθησίας Ως Προς Τη Μεταβολή Της Παροχής Ζήτησης Των Κλάδων

Επιλέχθηκε δυσχέραση της κατάστασης του δικτύου με αύξηση της παροχής. Μεγαλύτερη παροχή νερού, δηλαδή μεγαλύτερος όγκος νερού στη μονάδα του χρόνου «απαιτεί» να χωρέσει σε μεγαλύτερη διατομή, οπότε θα πρέπει να αυξηθεί η διάμετρος. Σωλήνες με μεγαλύτερες διαμέτρους έχουν μεγαλύτερο κόστος ανά μέτρο μήκους για το ίδιο υλικό και την ίδια κλάση. Αυτό οδηγεί σε αύξηση του συνολικού κόστους του δικτύου.

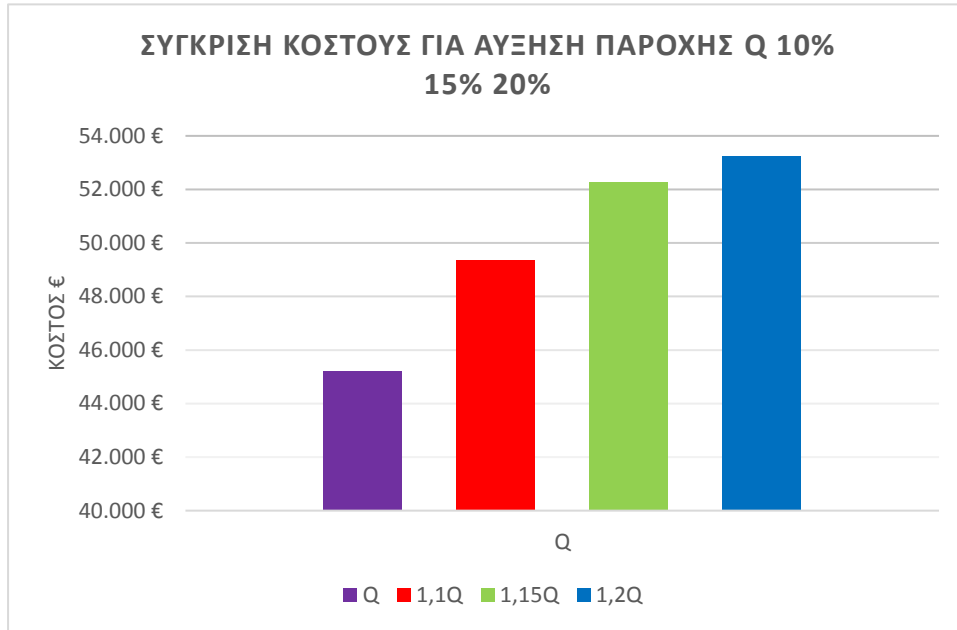
Επιλέχθηκε να αυξηθεί η παροχή κατά 10%, 15% και 20%, διατηρώντας τις ίδιες μεταβλητές απόφασης. Έτσι το δίκτυο επανεπιλύθηκε και βελτιστοποιήθηκε εκ νέου.

Στο Παράρτημα Β (V. Βελτιστοποίηση - Ανάλυση Ευαισθησίας) παρουσιάζονται αναλυτικά οι υδραυλικοί υπολογισμοί και το γραμμικό πρόγραμμα (εξισώσεις και reports επιλύσεων) στο LINGO για κάθε μία από τις περιπτώσεις αυτές.

Με βάση την επίλυση λοιπόν έχουμε:

- Για την παρούσα πραγματική παροχή Q , το κόστος του ανασχεδιασμένου δικτύου μετά τη βελτιστοποίηση ανέρχεται στα **45.190,3 €**.
- Για αύξηση της παροχής κατά 10% ($Q' = 1.1Q$), το κόστος το κόστος του ανασχεδιασμένου δικτύου ανέρχεται στα **49.340,6 €**.
- Για αύξηση της παροχής κατά 15% ($Q'' = 1.15Q$), το κόστος του ανασχεδιασμένου δικτύου ανέρχεται στα **52.287,3 €**.
- Για αύξηση της παροχής κατά 20%, το κόστος του ανασχεδιασμένου δικτύου ανέρχεται στα **53.237,4 €**.

Διαγραμματικά έχουμε:



Σχήμα 6.2: Σύγκριση Κόστους Για Αύξηση Παροχής Q 10% 15% 20%

Επίσης τα παραπάνω απεικονίζονται και στην παρακάτω καμπύλη που δείχνει τη σχέση κόστους δικτύου – παροχής.



Σχήμα 6.3: Σχέση Κόστους Δικτύου - Παροχής Q

Η εξίσωση που να περιγράφει ικανοποιητικότερα αυτή τη σχέση ήταν η:

$$y = -800.04x^2 + 6709x + 39242$$

Επειδή τα σημεία είναι λίγα οι εκτιμήσεις είναι λίγο αδρομερείς. Εντούτοις η καμπύλη δείχνει ότι με την αύξηση της παροχής αυξάνεται το κόστος των υπό βελτιστοποίηση κλάδων και μάλιστα όσο αυξάνεται το x , τόσο λιγότερη ευαισθησία παρουσιάζει η τελική λύση.

Συμπερασματικά η διαφορά της δαπάνης δεν θεωρείται σημαντικά μεγάλη. Αυτό σημαίνει ότι το μοντέλο παρουσιάζει ευστάθεια, που σημαίνει ότι κοντά στη βέλτιστη λύση βρίσκονται και άλλες παρεμφερείς λύσεις, που μπορεί να μην είναι οι βέλτιστες, είναι όμως ικανοποιητικές.

6.5.2 Ανάλυση Ευαισθησίας Ως Προς Τη Μεταβολή Της Τραχύτητας Των Αγωγών

Στο ίδιο μοτίβο με πριν, εξετάζεται πώς και κατά πόσο μεταβάλλεται το κόστος, όταν μεταβάλλεται η τραχύτητα των αγωγών k . Επιλέχθηκε δυσχέραση της κατάστασης του δικτύου με αύξηση της τραχύτητας. Γενικά, όσο αυξάνει η τραχύτητα του σωλήνα, μειώνεται η ταχύτητα, αυξάνουν οι τριβές με τα τοιχώματα και το νερό «δυσκολεύεται» να διέλθει από τη διατομή. Οι τριβές αυτές έχουν ως αποτέλεσμα μεγαλύτερες ενεργειακές απώλειες, κάτι που μεταβάλλει τους συντελεστές των περιορισμών απωλειών φορτίου.

Επιπλέον, βάσει του τύπου $V = \frac{4Q}{\pi D^2}$ είναι επόμενο για την ίδια παροχή, η μείωση της ταχύτητας να συνδέεται με αύξηση της διαμέτρου και κατά τα γνωστά σωλήνες με μεγαλύτερες διαμέτρους έχουν μεγαλύτερο κόστος ανά μέτρο μήκους για το ίδιο υλικό και την ίδια κλάση. Αυτό οδηγεί σε αύξηση του συνολικού κόστους του δικτύου.

Ωστόσο, στην περίπτωση μας το δίκτυο είναι τέτοιο που οι ταχύτητες δεν παρουσιάζουν καμία μείωση, για την ακρίβεια που εξετάζουμε (3 σημαντικά ψηφία). Για το λόγο αυτό δεν μεταβλήθηκε το κόστος του δικτύου παρά την αλλαγή της τραχύτητας.

Κεφάλαιο 7

Συμπεράσματα Εφαρμογής – Μελλοντικές Προτάσεις

Με βάση την ανάλυση των προηγούμενων κεφαλαίων καταλήγουμε στα εξής συμπεράσματα:

- Η μέθοδος που παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο 3, για την οικονομοτεχνική σύγκριση του πλέον κατάλληλου υλικού σωληνώσεων είναι σημαντικό εργαλείο στη λήψη αποφάσεων από δημόσιους φορείς για την πλέον ορθολογική επιλογή.
- Δεδομένης της ύπαρξης πολλών υλικών σωληνώσεων και του μεγάλου ενδιαφέροντος που επιδεικνύουν οι σωληνουργείες για την επιλογή και εφαρμογή του δικού τους υλικού, είναι χρήσιμο να υπάρχει αυτή η μέθοδος, η οποία με τη χρήση των υδραυλικών μεγεθών και την ολοκληρωμένη κοστολόγηση της σωλήνωσης, οδηγεί σε επιλογές που εξασφαλίζουν το συμφέρον του κυρίου του έργου.
- Το υφιστάμενο δίκτυο, όπως επιλύθηκε, προσομοιώθηκε επιτυχώς. Διαπιστώθηκε ορθή επιλογή υλικού (PVC), η εφαρμογή των καταλλήλων διαμέτρων για την εξασφάλιση παροχών και πιέσεων.
- Αξιολογήθηκε ότι ακόμη και η χρήση των ονομαστικών διαμέτρων Φ63 mm και Φ75 mm, δηλαδή διαμέτρων μικρότερων από την επικρατούσα Φ90 mm ως ελάχιστη, είναι δικαιολογημένη και απαραίτητη, για την τήρηση των ελάχιστων ταχυτήτων ($V=0.5$ m/s) και των αναγκαίων πιέσεων. Σημειώνεται ότι η χρήση της Φ90 mm θα είχε ως αποτέλεσμα σχεδόν μηδενικές ταχύτητες σε ορισμένους μικρού μήκους κλάδους και μάλιστα σε συνθήκες μέγιστης ωριαίας ζήτησης, με κίνδυνο την σταδιακή έμφραξη των σωλήνων.
- Σε ό,τι αφορά στο ανασχεδιασμένο δίκτυο, η βελτιστοποίηση οδήγησε στο συμπέρασμα ότι η διάμετρος των σωληνώσεων είναι δυνατόν να μειωθεί με τις ταχύτητες να παραμένουν εντός των επιτρεπτών ορίων. Στο πλαίσιο αυτό είναι δυνατή η τμηματική εφαρμογή των στοιχείων της μελέτης αυτής, σε περίπτωση επισκευών, διότι έτσι είναι σίγουρο ότι εξασφαλίζεται το μικρότερο κόστος κατασκευής.

Τέλος, παρατίθενται και ορισμένες προτάσεις που θα μπορούσαν να βελτιώσουν και να καταστήσουν ακόμα πιο αξιόπιστο το υπάρχον δίκτυο:

- Μελέτη για την τροποποίηση του δικτύου σε κλειστό (κυκλοφοριακό) δίκτυο, καθώς τα βρογχωτά δίκτυα είναι πιο αξιόπιστα από άποψη υδραυλικού πλήγματος και αν αστοχήσει ένας αγωγός υπάρχουν εναλλακτικές διαδρομές για την παροχή νερού. Επίσης δεν παρουσιάζουν τα προβλήματα της ποιότητας νερού των ακτινωτών δικτύων, αφού με την αλλαγή της ζήτησης τροποποιείται η κατανομή των παροχών.
- Εξοπλισμός του υφιστάμενου δικτύου με πυροσβεστικούς κρουνοίς.

- Μείωση του στατικού ύψους πίεσης στα 50 m με τη κατασκευή πιεζοθραυστικών φορτίων.
- Βελτιστοποίηση του ανασχεδιασμένου δικτύου με χρήση του αέριου γραμμικού προγραμματισμού.

Βιβλιογραφία

Ελληνική

- Αφτιάς, Ε. (1992). *Υδρεύσεις*. Αθήνα: ΕΜΠ.
- Δανηλάτος, Κ. (1994). *Βιομηχανική δραστηριότητα σωλήνων στην Ελλάδα*. Διπλωματική Εργασία, Ε.Μ.Π., Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Αθήνα.
- Ευστρατιάδης, Α., & Κουτσογιάννης, Δ. (2005). *Τυπικά υδραυλικά έργα*. Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, Ε.Μ.Π., Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Αθήνα.
- Θεοχάρης, Μ. (2004). *Βελτιστοποίηση των αρδευτικών δικτύων. Εύρεση των οικονομικών διαμέτρων*. Διδακτορική Διατριβή, Α.Π.Θ., Τμήμα Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Θεσσαλονίκη.
- Ιωαννίδης, Δ. (1992). *Ανάλυση και εφαρμογή του γραμμικού προγραμματισμού σε συλλογικά δίκτυα υπό πίεση και σύγκριση με τη μη γραμμική μέθοδο και τη μέθοδο του Labye*. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Α.Π.Θ., Γεωπονική Σχολή, Θεσσαλονίκη.
- Κολέτσος, Ι. (2017). *Εισαγωγή στην Επιχειρησιακή Έρευνα* (3η εκδ.). Αθήνα: Συμεών.
- Κουνετάς, Κ. Η., & Χατζησταμούλου, Ν. (2015). *Εισαγωγή στην Επιχειρησιακή Έρευνα και στον Γραμμικό Προγραμματισμό. Λύσεις προβλημάτων με το πρόγραμμα R*. Αθήνα: Ελληνικά Ακαδημαϊκά Ηλεκτρονικά Συγγράμματα και Βοηθήματα - Αποθετήριο Κάλλιπος.
- Μαντόγλου, Α. (2009). *Μηχανική Ρευστών και Εφαρμοσμένη Υδραυλική*. Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, Ε.Μ.Π., Σχολή Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών, Αθήνα.
- Ναλμπάντης, Ι. (2007). *Προστασία και Διαχείριση Υδατικών Πόρων*. Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, Ε.Μ.Π., Σχολή Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών, Αθήνα.
- Νουτσόπουλος, Γ., & Χριστοδούλου, Γ. (1996). *Μαθήματα Μηχανικής Ρευστών*. Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, Ε.Μ.Π., Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Αθήνα.
- Τζιμόπουλος, Χ., & Ιωαννίδης, Δ. (1997). *Βελτιστοποίηση αρδευτικού δικτύου με τη μέθοδο Simplex*. Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη.
- Τσακίρης, Γ. (2010). *ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΕΡΓΑ Σχεδιασμός & Διαχείριση*. Αθήνα: Συμμετρία.
- Τοικριντζής, Β. (2015). *Στοιχεία Επιχειρησιακής Έρευνας Για Μηχανικούς* (4η εκδ.). Αθήνα: Ε.Μ.Π.

Διεθνής

- Alperovits, E., & Shamir, U. (1977). Design of optimal water distribution systems. *Journal Water Resources Research*, 13(6), 885-900.
- Bellman, E. R., & Dreyfus, E. S. (1962). *Applied dynamic programming*. Princeton, N.J.: Princeton University Press.
- Farmani, R., Walters, G., & Savic, D. (2005). Trade-off Between Total Cost and Reliability for Anytown Water Distribution Network. *Journal of water resources planning and management*, 131(3), 161-171.
- Fermani, R., Walters, G., & Savic, D. (2005). Trade-off between Total Cost and Reliability for Anytown Water. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 131(3), 131.
- Karmeli, D., Gadish, Y., & Meyers, S. (1968). Design of optimal water distribution networks. *Jour. Pipeline Div., ASCE*, 94(1), 1-10.
- Larock, B., Jeppson, R., & Watters, G. (1999). *Hydraulics of pipeline systems*. Florida: CRC press.
- LINGO The Modeling Language and Optimizer*. (2011). Chicago, Illinois: LINDO Systems Inc.
- Robinson, R., & Austin, T. (1976). Cost optimization of rural water systems. *Jour. Hyd. Div., ASCE*, 102(8), 1119-1134.
- Rossman, L. A. (2000). *Epanet User's Manual*. Cincinnati, Ohio: National Risk Management Research Laboratory.
- Smith, D. (1966). *Minimum cost design of linearly restrained water distribution networks*. M.Sc. Thesis, Massachusetts Institute of Technology, Dept. Civil Eng., Massachusetts.
- Todini, E. (2000). Looped Water Distribution Networks Design Using a Resilience Index Based Heuristic Approach. *Urban Water*(2), 115-122.
- Tsakiris, G., & Tsakiris, V. (2012). Pipe technologies for urban water conveyance distribution systems. *E.W Publications*, 29-36.
- Yakowitz, S. (1982). Dynamic programming applications in water resources. *Journal Water Resources. Research*, 18(4), 673-696.

Διαδικτυακή

<https://www.eydap.gr/userfiles/c3c4382d-a658-4d79-b9e2-ecff7ddd9b76/kanonismos-diktyou-urdeusis.pdf>

https://www.ggde.gr/index.php?option=com_k2&view=item&id=964:%CF%80%CE%B5%CF%81%CE%B9%CE%B3%CF%81%CE%B1%CF%86%CE%B9%CE%BA%CE%AC-%CF%84%CE%B9%CE%BC%CE%BF%CE%BB%CF%8C%CE%B3%CE%B9%CE%B1-%CE%AD%CF%81%CE%B3%CF%89%CE%BD-%CF%83%CE%B5-%CE%B5%CF%80%CE%B5%CE%BE%CE%B5%CF%81%CE%B3%CE%AC%CF%83%CE%B9%CE%BC%CE%B7-%CE%BC%CE%BF%CF%81%CF%86%CE%AE-2017&Itemid=326

<http://www.profishol.gr/>

<http://www.profishol.gr/media/20873/xalivdosolines%20%20elikoeidous%20Orafis.pdf>

<http://technoroi.com/>

<http://www.fasoplast.gr/>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

(ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ 3)

- I. Υπολογισμός Δαπάνης Εγκατεστημένων Σωλήνων
- II. Υπολογισμός Παραμέτρου Z (Αντίστασης Αγωγού Ανά Μονάδα Μήκους)

I. Υπολογισμός Δαπάνης Εγκατεστημένων Σωλήνων

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΑΠΑΝΗΣ ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΩΝ ΣΩΛΗΝΩΝ ΡΕ 100 MRS10=10MPa 12.5 ATM										
D	Περιγραφή	Βάθος εκοκαφής	Πλάτος εκοκαφής	Εκοκαφή και επανεπίκωση γαιώδης	Εξυγιανση με αμμοχάλικο	Υπόστρωμα άμμου	Εργασίες σωλήνα		Δαπάνη ανά μ.μ	Τιμή Εφαρμογής
							Προμήθεια	Σώματα αγκύρωσης		
				(Υ3.15)	(Ο-Β-4.2)	(Υ5.07)	(Υ12.14.01)	8%		
Τιμή μονάδας				1,60	5,40	9,50				
63	Ποσότητα	1,90	0,70	3,485	0,35	0,116				
	Δαπάνη			5,58	1,89	1,10	5,00	0,40	13,97	14,00
75	Ποσότητα	1,90	0,70	3,485	0,35	0,116				
	Δαπάνη			5,58	1,89	1,10	6,20	0,50	15,27	15,00
90	Ποσότητα	1,90	0,70	3,485	0,35	0,116				
	Δαπάνη			5,58	1,89	1,10	8,40	0,67	17,64	18,00
110	Ποσότητα	1,90	0,70	3,485	0,35	0,116				
	Δαπάνη			5,58	1,89	1,10	12,00	0,96	21,53	22,00

125	Ποσότητα	1,90	0,80	3,725	0,40	0,131				
	Δαπάνη			5,96	2,16	1,25	14,00	1,12	24,49	24,00
140	Ποσότητα	1,90	0,80	3,725	0,40	0,131				
	Δαπάνη			5,96	2,16	1,25	17,00	1,36	27,73	28,00
160	Ποσότητα	2,00	0,80	4,000	0,40	0,131				
	Δαπάνη			6,40	2,16	1,25	20,00	1,60	31,41	31,00
200	Ποσότητα	2,00	0,80	4,000	0,40	0,131				
	Δαπάνη			6,40	2,16	1,25	29,00	2,32	41,13	41,00
225	Ποσότητα	2,00	0,90	4,250	0,45	0,146				
	Δαπάνη			6,80	2,43	1,39	35,00	2,80	48,42	48,00
250	Ποσότητα	2,10	0,90	4,545	0,45	0,146				
	Δαπάνη			7,27	2,43	1,39	39,00	3,12	53,21	53,00
280	Ποσότητα	2,10	0,90	4,545	0,45	0,146				
	Δαπάνη			7,27	2,43	1,39	60,00	4,80	75,89	76,00
315	Ποσότητα	2,10	0,90	4,545	0,45	0,146				
	Δαπάνη			7,27	2,43	1,39	70,00	5,60	86,69	87,00

355	Ποσότητα	2,20	0,90	4,850	0,45	0,146				
	Δαπάνη			7,76	2,43	1,39	85,00	6,80	103,38	103,00
400	Ποσότητα	2,20	0,90	4,850	0,45	0,146				
	Δαπάνη			7,76	2,43	1,39	110,00	8,80	130,38	130,00
450	Ποσότητα	2,30	0,90	5,165	0,45	0,146				
	Δαπάνη			8,26	2,43	1,39	140,00	11,20	163,28	163,00

*Πίνακας Ι.1: Υπολογισμός Δαπάνης Εγκατεστημένων Σωλήνων PE 100, MRS10=10MPa, 12.5 atm
Πηγή: Τιμολόγιο Υδραυλικών Έργων ΥΠΕΚΑ, 2013*

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΑΠΑΝΗΣ ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΩΝ ΣΩΛΗΝΩΝ PVC 12.5 ATM										
D	Περιγραφή	Βάθος εκοκαφής	Πλάτος εκοκαφής	Εκοκαφή και επανεπίκωση γαιώδης	Εξυγίανση με αμμοχάλικο	Υπόστρωμα άμμου	Εργασίες σωλήνα		Δαπάνη ανά μ.μ	Τιμή Εφαρμογής
				(Υ3.15)	(Ο-Β-4.2)	(Υ5.07)	Προμήθεια	Σώματα αγκύρωσης		
Τιμή μονάδας				1,60	5,40	9,50	(Υ12.13.03)	10%		
110	Ποσότητα	1,90	0,70	3,485	0,35	0,116				
	Δαπάνη			5,58	1,89	1,10	7,80	0,78	17,15	17,00
140	Ποσότητα	1,90	0,75	3,605	0,38	0,124				
	Δαπάνη			5,77	2,03	1,18	12,50	1,25	22,72	23,00
160	Ποσότητα	2,00	0,75	3,875	0,38	0,124				
	Δαπάνη			6,20	2,03	1,18	15,50	1,55	26,45	26,00
200	Ποσότητα	2,00	0,80	4,000	0,40	0,131				
	Δαπάνη			6,40	2,16	1,25	22,50	2,25	34,56	35,00
225	Ποσότητα	2,00	0,80	4,000	0,40	0,131				

	Δαπάνη			6,40	2,16	1,25	27,00	2,70	39,51	40,00
280	Ποσότητα	2,10	0,90	4,545	0,45	0,146				
	Δαπάνη			7,27	2,43	1,39	46,00	4,60	61,69	62,00
315	Ποσότητα	2,10	0,90	4,545	0,45	0,146				
	Δαπάνη			7,27	2,43	1,39	56,00	5,60	72,69	73,00
355	Ποσότητα	2,20	0,95	4,985	0,48	0,154				
	Δαπάνη			7,98	2,57	1,46	69,00	6,90	87,90	88,00
400	Ποσότητα	2,20	1,00	5,120	0,50	0,161				
	Δαπάνη			8,19	2,70	1,53	87,00	8,70	108,12	108,00
450	Ποσότητα	2,30	1,05	5,585	0,53	0,169				
	Δαπάνη			8,94	2,84	1,60	108,00	10,80	132,17	132,00
500	Ποσότητα	2,30	1,10	5,725	0,55	0,176				
	Δαπάνη			9,16	2,97	1,67	130,00	13,00	156,80	157,00

Πίνακας Ι.2: Υπολογισμός Δαπάνης Εγκατεστημένων Σωλήνων PVC 12.5 atm
Πηγή: Τιμολόγιο Υδραυλικών Έργων ΥΠΕΚΑ, 2013

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΑΠΑΝΗΣ ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΩΝ ΣΩΛΗΝΩΝ ΕΛΑΤΟΥ ΧΥΤΟΣΙΔΗΡΟΥ ΚΛΑΣΗΣ C25 & C30										
D	Περιγραφή	Βάθος εκοκαφής	Πλάτος εκοκαφής	Εκοκαφή και επανεπίκωση γαιώδης	Εξυγίανση με αμμοχάλικο	Υπόστρωμα άμμου	Εργασίες σωλήνα		Δαπάνη ανά μ.μ	Τιμή Εφαρμογής
				(Υ3.15)	(Ο-Β-4.2)	(Υ5.07)	Προμήθεια (Υ12.15)	Ειδικά τεμάχια 3%		
Τιμή μονάδας				1,60	5,40	9,50				
400	Ποσότητα	2,20	1,00	5,120	0,50	0,161				
	Δαπάνη			8,19	2,70	1,53	130,00	3,90	146,32	146,00
450	Ποσότητα	2,30	1,10	5,725	0,55	0,176				
	Δαπάνη			9,16	2,97	1,67	135,00	4,05	152,85	153,00
500	Ποσότητα	2,30	1,10	5,725	0,55	0,176				
	Δαπάνη			9,16	2,97	1,67	150,00	4,50	168,30	168,00
600	Ποσότητα	2,40	1,20	6,360	0,60	0,191				
	Δαπάνη			10,18	3,24	1,82	180,00	5,40	200,63	201,00

700	Ποσότητα	2,50	1,30	7,025	0,65	0,206				
	Δαπάνη			11,24	3,51	1,96	215,00	6,45	238,16	238,00
800	Ποσότητα	2,60	1,40	7,720	0,70	0,221				
	Δαπάνη			12,35	3,78	2,10	255,00	7,65	280,88	281,00
900	Ποσότητα	2,70	1,50	8,445	0,75	0,236				
	Δαπάνη			13,51	4,05	2,24	350,00	10,50	380,31	380,00
1000	Ποσότητα	2,80	1,60	9,200	0,80	0,251				
	Δαπάνη			14,72	4,32	2,39	370,00	11,10	402,53	403,00
1100	Ποσότητα	2,90	1,70	9,985	0,85	0,266				
	Δαπάνη			15,98	4,59	2,53	450,00	13,50	486,60	487,00
1200	Ποσότητα	3,00	1,80	10,800	0,90	0,281				
	Δαπάνη			17,28	4,86	2,67	515,00	15,45	555,26	555,00
1400	Ποσότητα	3,20	2,00	12,520	1,00	0,311				
	Δαπάνη			20,03	5,40	2,96	710,00	21,30	759,69	760,00
1600	Ποσότητα	3,40	2,20	14,360	1,10	0,341				
	Δαπάνη			22,98	5,94	3,24	920,00	27,60	979,76	980,00

Πίνακας Ι.3: Υπολογισμός Δαπάνης Εγκατεστημένων Σωλήνων Ελατού Χυτοσιδήρου Κλάσης C25 & C30
 Πηγή: Τιμολόγιο Υδραυλικών Έργων ΥΠΕΚΑ, 2013

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΑΠΑΝΗΣ ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΩΝ ΣΩΛΗΝΩΝ GRP 12 atm ΔΑΚΤΥΛΙΟΕΙΔΟΥΣ ΑΚΑΜΨΙΑΣ SN 5kN/m2

D	Περιγραφή	Βάθος εκοκαφής	Πλάτος εκοκαφής	Εκοκαφή και επανεπίχ. γαιώδης	Εξυγίανση με αμμοχάλικο	Υπόστρωμα άμμου	Εργασίες σωλήνα				Δαπάνη
							Προμήθεια		Τιμή Σωλήνα 12 atm	Ειδικά Τεμάχια	
				(Υ3.15)	(Ο-Β-4.2)	(Υ5.07)	Βασική τιμή 1 atm	Συντελεστής Επαύξησης			
Τιμή μονάδας				1,60	1,28	32,65					
300	Ποσότητα	2,10	0,90	4,55	0,45	0,16	1,000				
	Δαπάνη			7,27	0,58	5,14	52,00	1,15	59,80	2,99	129
350	Ποσότητα	2,15	0,95	4,83	0,48	0,17	1,000				
	Δαπάνη			7,73	0,61	5,43	62,00	1,15	71,30	3,57	152
400	Ποσότητα	2,20	1,00	5,12	0,50	0,16	1,000				
	Δαπάνη			8,19	0,64	5,26	71,00	1,15	81,65	4,08	172
500	Ποσότητα	2,30	1,10	5,73	0,55	0,19	1,000				
	Δαπάνη			9,16	0,70	6,29	90,00	1,15	103,50	5,18	216

800	Ποσότητα	2,60	1,40	7,72	0,70	0,25	1,000				
	Δαπάνη			12,35	0,90	8,00	181,00	1,15	208,15	10,41	422
1000	Ποσότητα	2,80	1,60	9,20	0,80	0,28	1,000				
	Δαπάνη			14,72	1,02	9,14	257,00	1,15	295,55	14,78	593

Πίνακας I.4: Υπολογισμός Δαπάνης Εγκατεστημένων Σωλήνων GRP 12 atm Δακτυλιοειδούς Ακαμψίας SN 5kN/m²
 Πηγή: Τιμολόγιο Υδραυλικών Έργων ΥΠΕΚΑ, 2013

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΑΠΑΝΗΣ ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΩΝ ΧΑΛΥΒΔΟΣΩΛΗΝΩΝ ST 37-2

D	Περιγραφή	Βάθος εκοκαφής	Πλάτος εκοκαφής	Εκοκαφή και επανεπίκωση γαιώδης	Εξυγιανση με αμμοχάλικο	Υπόστρωμα άμμου	Εργασίες σωλήνα				Δαπάνη ανά μ.μ	Τιμή Εφαρμογής
				(Υ3.15)	(Ο-Β-4.2)	(Υ5.07)	Βάρος	Προμήθεια	Ειδικά τεμάχια	Καθοδική Προστασία		
Τιμή μονάδας				1,60	5,40	9,50		1,40		5,00		
400	Ποσότητα	2,20	1,00	5,120	0,500	0,161	57,00					
	Δαπάνη			8,19	2,70	1,53		79,80	2,394	5,00	99,62	100,00
450	Ποσότητα	2,25	1,05	5,419	0,525	0,169	71,00					
	Δαπάνη			8,67	2,84	1,60		99,40	2,982	5,00	120,49	120,00
500	Ποσότητα	2,30	1,10	5,725	0,550	0,176	79,00					
	Δαπάνη			9,16	2,97	1,67		110,60	3,318	5,00	132,72	130,00
600	Ποσότητα	2,40	1,20	6,360	0,600	0,191	105,00					
	Δαπάνη			10,18	3,24	1,82		147,00	4,410	5,00	171,64	170,00
700	Ποσότητα	2,50	1,30	7,025	0,650	0,206	122,00					

	Δαπάνη			11,24	3,51	1,96		170,80	5,124	5,00	197,63	200,00
800	Ποσότητα	2,60	1,40	7,720	0,700	0,221	156,00					
	Δαπάνη			12,35	3,78	2,10		218,40	6,552	5,00	248,19	250,00
900	Ποσότητα	2,70	1,50	8,445	0,750	0,236	195,00					
	Δαπάνη			13,51	4,05	2,24		273,00	8,190	5,00	306,00	310,00
1000	Ποσότητα	2,80	1,60	9,200	0,800	0,251	237,00					
	Δαπάνη			14,72	4,32	2,39		331,80	9,954	5,00	368,18	370,00
1100	Ποσότητα	2,90	1,70	9,985	0,850	0,266	286,00					
	Δαπάνη			15,98	4,59	2,53		400,40	12,012	5,00	440,51	440,00
1200	Ποσότητα	3,00	1,80	10,800	0,900	0,281	350,00					
	Δαπάνη			17,28	4,86	2,67		490,00	14,700	5,00	534,51	530,00
1400	Ποσότητα	3,20	2,00	12,520	1,000	0,311	460,00					
	Δαπάνη			20,03	5,40	2,96		644,00	19,320	5,00	696,71	700,00
1600	Ποσότητα	3,40	2,20	14,360	1,100	0,341	591,00					
	Δαπάνη			22,98	5,94	3,24		827,40	24,822	5,00	889,38	890,00

Πίνακας Ι.5: Υπολογισμός Δαπάνης Εγκατεστημένων Σωλήνων από Χάλυβα ST 37-2

Πηγή: Τιμολόγιο Υδραυλικών Έργων ΥΠΕΚΑ, 2013

II. Υπολογισμός Παραμέτρου Z (Αντίστασης Αγωγού Ανά Μονάδα Μήκους)

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥ Z (ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΑΓΩΓΟΥ ΑΝΑ ΜΟΝΑΔΑ ΜΗΚΟΥΣ)								
Σωλήνες πολυαιθυλενίου PE, 100 MRS10=10MP 12.5 atm								
Δονομ	Smin	D	Q	Re	βοηθητ. Υπολογ.	f	J	Z=J/Q ²
63	4,7	0,0536	0,0034	79604	0,0007	0,0254	0,054	4.697.699
75	5,6	0,0638	0,0048	94752	0,0006	0,0242	0,044	1.890.798
90	6,7	0,0766	0,0069	113762	0,0005	0,0231	0,035	726.878
110	8,1	0,0938	0,0104	139307	0,0004	0,0220	0,027	248.259
125	9,2	0,1066	0,0134	158317	0,0004	0,0213	0,023	127.489
140	10,3	0,1194	0,0168	177327	0,0003	0,0207	0,020	70.440
160	11,8	0,1364	0,0219	202574	0,0003	0,0200	0,017	35.146
200	14,7	0,1706	0,0343	253366	0,0002	0,0190	0,013	10.869
225	16,6	0,1918	0,0433	284851	0,0002	0,0185	0,011	5.905
250	18,4	0,2132	0,0535	316634	0,0002	0,0181	0,010	3.397
280	20,6	0,2388	0,0672	354653	0,0002	0,0176	0,008	1.874
315	23,2	0,2686	0,0850	398911	0,0002	0,0172	0,007	1.015
355	26,1	0,3028	0,1080	449703	0,0001	0,0167	0,006	543
400	29,4	0,3412	0,1371	506733	0,0001	0,0163	0,005	292
450	33,1	0,3838	0,1735	570000	0,0001	0,0159	0,005	158
500	36,8	0,4264	0,2142	633267	0,0001	0,0156	0,004	91

Πίνακας II.1: Υπολογισμός Παραμέτρου Z (Αντίστασης Αγωγού Ανά Μονάδα Μήκους) Σωλήνων PE 12.5 atm
 Πηγή: Τιμολόγιο Υδραυλικών Έργων ΥΠΕΚΑ, 2013

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥ Z (ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΑΓΩΓΟΥ ΑΝΑ ΜΟΝΑΔΑ ΜΗΚΟΥΣ)								
Πλαστικοί σωλήνες από PVC, κλ. 12,5 atm								
Δονομ	S _{min}	D	Q	Re	βοηθητ. Υπολογ.	f	J	Z=J/Q ²
110	6,5	0,0970	0,0111	144059	0,000409	0,022	0,026	208993,833
125	7,4	0,1102	0,0143	163663	0,000362	0,021	0,022	107412,529
140	8,2	0,1236	0,0180	183564	0,000324	0,021	0,019	58783,899
160	9,4	0,1412	0,0235	209703	0,000285	0,020	0,016	29244,278
200	11,8	0,1764	0,0367	261980	0,000230	0,019	0,012	9111,273
225	13,2	0,1986	0,0465	294950	0,000205	0,018	0,011	4906,005
250	14,7	0,2206	0,0573	327624	0,000185	0,018	0,009	2840,391
280	16,5	0,2470	0,0719	366832	0,000166	0,017	0,008	1570,986
315	18,5	0,2780	0,0910	412871	0,000148	0,017	0,007	848,943
355	20,9	0,3132	0,1156	465149	0,000132	0,017	0,006	454,992
400	23,5	0,3530	0,1468	524257	0,000117	0,016	0,005	243,983
450	26,5	0,3970	0,1857	589604	0,000105	0,016	0,005	132,239
500	29,4	0,4412	0,2293	655248	0,000095	0,015	0,004	76,336

Πίνακας Π.2: Υπολογισμός Παραμέτρου Z (Αντίστασης Αγωγού Ανά Μονάδα Μήκους) Σωλήνων PVC 12.5 atm
 Πηγή: Τιμολόγιο Υδραυλικών Έργων ΥΠΕΚΑ, 2013

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥ Z (ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΑΓΩΓΟΥ ΑΝΑ ΜΟΝΑΔΑ ΜΗΚΟΥΣ)									
Ελατού Χυτοσίδηρου C25 C30									
Δονομ	Ø DE	e	D	Q	Re	βοηθητ. Υπολογ.	f	J	Z=J/Q ²
400	427,7	6,5	0,4147	0,2026	615891	0,00010052	0,015643	0,004326	105,385
450	478,6	6,9	0,4648	0,2545	690297	9,00468E-05	0,015275	0,003769	58,188
500	530,5	7,5	0,5155	0,3131	765594	8,14899E-05	0,014953	0,003326	33,933
600	633,3	8,7	0,6159	0,4469	914703	6,86427E-05	0,014423	0,002685	13,446
700	736,6	8,8	0,719	0,609	1067822	5,91306E-05	0,013984	0,00223	6,014
800	840,4	9,6	0,8212	0,7945	1219604	5,2024E-05	0,013623	0,001902	3,014
900	943,2	10,6	0,922	1,0015	1369307	4,65346E-05	0,01332	0,001657	1,652
1000	1046	11,6	1,0228	1,2324	1519010	4,21104E-05	0,013058	0,001464	0,964
1100	1148,8	12,6	1,1236	1,4873	1668713	3,84674E-05	0,012826	0,001309	0,592
1200	1252,3	13,6	1,2251	1,7682	1819455	3,53952E-05	0,012619	0,001181	0,378
1400	1458,9	15,7	1,4275	2,4007	2120050	3,0553E-05	0,012264	0,000985	0,171
1500	1561,7	16,7	1,5283	2,7517	2269752	2,86121E-05	0,012111	0,000909	0,120
1600	1664,5	17,7	1,6291	3,1266	2419455	2,69075E-05	0,01197	0,000843	0,086

Πίνακας II.3: Υπολογισμός Παραμέτρου Z (Αντίστασης Αγωγού Ανά Μονάδα Μήκους) Σωλήνων Ελατού Χυτοσίδηρου C25 C30

Πηγή: Τιμολόγιο Υδραυλικών Έργων ΥΠΕΚΑ, 2013

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥ Z (ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΑΓΩΓΟΥ ΑΝΑ ΜΟΝΑΔΑ ΜΗΚΟΥΣ)							
GRP 12 atm ΔΑΚΤΥΛΙΟΕΙΔΟΥΣ ΑΚΑΜΨΙΑΣ SN 5kN/m ²							
Δονομ	D	Q	Re	βοηθητ. Υπολογ.	f	J	Z=J/Q ²
300	0,3000	0,1060	445545	0,0001	0,0168	0,00641	570
350	0,3500	0,1443	519802	0,0001	0,0162	0,00531	255
400	0,4000	0,1885	594059	0,0001	0,0158	0,00452	127
500	0,5000	0,2945	742574	0,0001	0,0150	0,00345	40
800	0,8000	0,7540	1188119	0,0001	0,0137	0,00196	3
900	0,9000	0,9542	1336634	0,0000	0,0134	0,00171	2
1000	1,0000	1,1781	1485149	0,0000	0,0131	0,00150	1

Πίνακας II.4: Υπολογισμός Παραμέτρου Z (Αντίστασης Αγωγού Ανά Μονάδα Μήκους) Σωλήνων GRP 12 atm ΔΑΚΤΥΛΙΟΕΙΔΟΥΣ ΑΚΑΜΨΙΑΣ SN 5kN/m²
 Πηγή: Τιμολόγιο Υδραυλικών Έργων ΥΠΕΚΑ, 2013

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥ Z (ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΑΓΩΓΟΥ ΑΝΑ ΜΟΝΑΔΑ ΜΗΚΟΥΣ)							
Χαλυβδοσωλήνες ST 37-2							
Δονομ	D	Q	Re	βοηθητ. Υπολογ.	f	J	$Z=J/Q^2$
65	0,0650	0,0050	96535	0,0006	0,0241	0,043	1.702.068
80	0,0800	0,0078	118812	0,0005	0,0229	0,033	538.639
100	0,1000	0,0122	148515	0,0004	0,0216	0,025	166.554
125	0,1250	0,0190	185644	0,0003	0,0205	0,019	52.027
150	0,1500	0,0327	222772	0,0003	0,0196	0,015	14.016
200	0,2000	0,0628	297030	0,0002	0,0183	0,011	2.667
250	0,2500	0,0982	371287	0,0002	0,0174	0,008	830
300	0,3000	0,1414	445545	0,0001	0,0168	0,006	320
350	0,3500	0,1924	519802	0,0001	0,0162	0,005	144
400	0,4000	0,2639	594059	0,0001	0,0158	0,005	65
450	0,4500	0,3340	668317	0,0001	0,0154	0,004	35
500	0,5000	0,4320	742574	0,0001	0,0150	0,003	18
600	0,6000	0,6220	891089	0,0001	0,0145	0,003	7
700	0,7000	0,8467	1039604	0,0001	0,0141	0,002	3
800	0,8000	1,1058	1188119	0,0001	0,0137	0,002	2
900	0,9000	1,3996	1336634	0,0000	0,0134	0,002	1
1000	1,0000	1,7279	1485149	0,0000	0,0131	0,002	1
1100	1,1000	2,0907	1633663	0,0000	0,0129	0,001	0

Πίνακας II.5: Υπολογισμός Παραμέτρου Z (Αντίστασης Αγωγού Ανά Μονάδα Μήκους) Σωλήνων από Χάλυβα ST 37-2
 Πηγή: Τιμολόγιο Υδραυλικών Εργων ΥΠΕΚΑ, 2013

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

(ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ 6)

- III. Στοιχεία Δικτύου Μελέτης
- IV. Υδραυλικοί Υπολογισμοί Ανασχεδιασμένου Δικτύου
- V. Βελτιστοποίηση-Ανάλυση Ευαισθησίας

III. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΙΚΤΥΟΥ ΜΕΛΕΤΗΣ✓ ΜΗΚΗ ΑΓΩΓΩΝ-ΥΨΟΜΕΤΡΑ ΚΟΜΒΩΝ

ΑΓΩΓΟΙ	ΜΗΚΟΣ (m)	ΚΟΜΒΟΙ	ΥΨΟΜΕΤΡΑ (m)
1	57,29	1	89
2	26,92	2	87
3	42,07	3	88
4	97,11	4	86
5	115,72	5	56
6	180,37	6	52
7	79,9	7	53
8	86,93	8	64
9	197,53	9	53
10	138,01	10	55
11	85,27	11	56
12	90,59	12	52
13	99,69	13	55
14	88,55	14	59
15	157,21	15	70
16	146,01	16	84
17	206,62	17	66
18	239,42	18	52
19	257,98	19	52
20	79,78	20	50
21	239,41	21	51
22	205,61	22	49
23	57,94	23	52
24	86,45	24	52
25	183,05	25	78
26	120,18	26	86

27	46,52	27	85
28	93,43	28	86
29	187,53	29	68
30	95,73	30	72
31	217,58	31	52
32	279,79	32	71
33	86,56	33	56
34	271,27	34	51
35	279,87	35	54
36	47,77	36	53
37	263,98	37	53
38	89,75	38	52
39	287,26	39	51
40	244,75	40	54
41	134,05	41	50
42	368,62	42	51
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΜΗΚΟΣ	6302,78		

*Πίνακας III.1: Μήκη Αγωγών Και Υψόμετρα Κόμβων, Δικτύου Μελέτης
Υπολογισμός σε MS Excel*

✓ ΠΑΡΟΧΕΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΚΛΑΔΟ

ΑΓΩΓΟΙ	ΜΗΚΟΣ (m)	ΑΝΗΓΜΕΝΗ ΠΑΡΟΧΗ ΑΝΑ ΜΟΝΑΔΑ ΜΗΚΟΥΣ q _l L/(s*m)	ΠΑΡΟΧΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΚΟΜΒΩΝ (ΚΛΑΔΩΝ)
1	57,29	10,516×10 ⁻³	-
2	26,92	10,516×10 ⁻³	0,283
3	42,07	10,516×10 ⁻³	0,442
4	97,11	10,516×10 ⁻³	1,021
5	115,72	10,516×10 ⁻³	1,217
6	180,37	10,516×10 ⁻³	1,897
7	79,9	10,516×10 ⁻³	0,840
8	86,93	10,516×10 ⁻³	0,914
9	197,53	10,516×10 ⁻³	2,077
10	138,01	10,516×10 ⁻³	1,451
11	85,27	10,516×10 ⁻³	0,897
12	90,59	10,516×10 ⁻³	0,953
13	99,69	10,516×10 ⁻³	1,048
14	88,55	10,516×10 ⁻³	0,931
15	157,21	10,516×10 ⁻³	1,653
16	146,01	10,516×10 ⁻³	1,535
17	206,62	10,516×10 ⁻³	2,173
18	239,42	10,516×10 ⁻³	2,518
19	257,98	10,516×10 ⁻³	2,713
20	79,78	10,516×10 ⁻³	0,839
21	239,41	10,516×10 ⁻³	2,518
22	205,61	10,516×10 ⁻³	2,162
23	57,94	10,516×10 ⁻³	0,609
24	86,45	10,516×10 ⁻³	0,909
25	183,05	10,516×10 ⁻³	1,925
26	120,18	10,516×10 ⁻³	1,264
27	46,52	10,516×10 ⁻³	0,489
28	93,43	10,516×10 ⁻³	0,983
29	187,53	10,516×10 ⁻³	1,972
30	95,73	10,516×10 ⁻³	1,007
31	217,58	10,516×10 ⁻³	2,288
32	279,79	10,516×10 ⁻³	2,942
33	86,56	10,516×10 ⁻³	0,910
34	271,27	10,516×10 ⁻³	2,853
35	279,87	10,516×10 ⁻³	2,943
36	47,77	10,516×10 ⁻³	0,502
37	263,98	10,516×10 ⁻³	2,776
38	89,75	10,516×10 ⁻³	0,944

39	287,26	$10,516 \times 10^{-3}$	3,021
40	244,75	$10,516 \times 10^{-3}$	2,574
41	134,05	$10,516 \times 10^{-3}$	1,410
42	368,620	$10,516 \times 10^{-3}$	3,877
ΣΥΝΟΛΟ			65,68

*Πίνακας III.2: Παροχές Κατανάλωσης Για Κάθε Κλάδο
Υπολογισμός σε MS Excel*

✓ ΠΑΡΟΧΕΣ ΚΟΜΒΩΝ - ΠΑΡΟΧΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΛΑΔΩΝ

ΤΜΗΜΑ Α				
ΑΓΩΓΟΙ	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΟ ΜΗΚΟΣ (m)	ΑΝΗΓΜΕΝΗ ΠΑΡΟΧΗ L/(s×m)	ΠΑΡΟΧΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ (L/s)	ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ L/s ΣΕ m ³ /s
11	85,27	0,010516	0,897	0,000897
10	223,28	0,010516	2,348	0,002348
24	86,45	0,010516	0,909	0,000909
23	144,39	0,010516	1,518	0,001518
22	350	0,010516	3,681	0,003681
9	197,53	0,010516	2,077	0,002077
8	857,74	0,010516	9,020	0,009020
7	79,9	0,010516	0,840	0,000840
6	260,27	0,010516	2,737	0,002737
21	239,41	0,010516	2,518	0,002518
12	1448,01	0,010516	15,228	0,015228
20	79,78	0,010516	0,839	0,000839
19	337,76	0,010516	3,552	0,003552
13	1885,46	0,010516	19,828	0,019828
18	239,42	0,010516	2,518	0,002518
14	2213,43	0,010516	23,277	0,023277
17	206,62	0,010516	2,173	0,002173
15	2577,26	0,010516	27,103	0,027103
16	146,01	0,010516	1,535	0,001535
5	2838,99	0,010516	29,856	0,029856
4	2936,1	0,010516	30,877	0,030877
3	2978,17	0,010516	31,320	0,031320
2	3005,09	0,010516	31,603	0,031603

Πίνακας III.3: Υπολογισμός Παροχής Σχεδιασμού Τμήματος Α Με Τη Μέθοδο Του Αθροιστικού Μήκους
Υπολογισμός σε MS Excel

ΤΜΗΜΑ Β				
ΑΓΩΓΟΙ	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΟ ΜΗΚΟΣ (m)	ΑΝΗΓΜΕΝΗ ΠΑΡΟΧΗ L/(s*m)	ΠΑΡΟΧΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ (L/s)	ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ L/s ΣΕ m ³ /s
42	368,62	0,010516	3,877	0,003877
41	502,67	0,010516	5,286	0,005286
39	287,26	0,010516	3,021	0,003021
40	244,75	0,010516	2,574	0,002574
38	1124,43	0,010516	11,825	0,011825
37	263,98	0,010516	2,776	0,002776
36	1436,18	0,010516	15,103	0,015103
34	271,27	0,010516	2,853	0,002853

35	279,87	0,010516	2,943	0,002943
33	2073,88	0,010516	21,810	0,021810
31	217,58	0,010516	2,288	0,002288
32	279,79	0,010516	2,942	0,002942
30	2666,98	0,010516	28,047	0,028047
29	187,53	0,010516	1,972	0,001972
28	2947,94	0,010516	31,002	0,031002
27	46,52	0,010516	0,489	0,000489
26	166,7	0,010516	1,753	0,001753
25	3297,69	0,010516	34,680	0,034680

*Πίνακας III.4: Υπολογισμός Παροχής Σχεδιασμού Τμήματος Β Με Τη Μέθοδο Του Αθροιστικού Μήκους
Υπολογισμός σε MS Excel*

✓ ΑΡΧΙΚΗ ΕΠΙΛΟΓΗ ΔΙΑΜΕΤΡΩΝ

ΚΛΑΔΟΙ	ΠΑΡΟΧΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ (m ³ /s)	ΠΑΡΟΧΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ (L/s)	ΑΡΧΙΚΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ (m)	ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΕΜΠΟΡΙΟΥ (mm) D	ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΕΜΠΟΡΙΟΥ Dn
1	0,066282	66,282	0,291	317,4	355
2	0,031603	31,603	0,201	223,4	250
3	0,031320	31,320	0,200	200,8	225
4	0,030877	30,877	0,198	200,8	225
5	0,029856	29,856	0,195	200,8	225
6	0,002737	2,737	0,059	66,6	75
7	0,000840	0,840	0,033	56	63
8	0,009020	9,020	0,107	111,4	125
9	0,002077	2,077	0,051	56	63
10	0,002348	2,348	0,055	56	63
11	0,000897	0,897	0,034	56	63
12	0,015228	15,228	0,139	142,6	160
13	0,019828	19,828	0,159	160,6	180
14	0,023277	23,277	0,172	178,4	200
15	0,027103	27,103	0,186	200,8	225
16	0,001535	1,535	0,044	56	63
17	0,002173	2,173	0,053	56	63
18	0,002518	2,518	0,057	56	63
19	0,003552	3,552	0,067	80	90
20	0,000839	0,839	0,033	56	63
21	0,002518	2,518	0,057	66,6	75
22	0,003681	3,681	0,068	80	90
23	0,001518	1,518	0,044	56	63
24	0,000909	0,909	0,034	56	63
25	0,034680	34,680	0,210	223,4	250
26	0,001753	1,753	0,047	56	63
27	0,000489	0,489	0,025	56	63
28	0,031002	31,002	0,199	200,8	225
29	0,001972	1,972	0,050	56	63
30	0,028047	28,047	0,189	200,8	225
31	0,002288	2,288	0,054	56	63
32	0,002942	2,942	0,061	66,6	75
33	0,021810	21,810	0,167	178,4	200
34	0,002853	2,853	0,060	66,6	75
35	0,002943	2,943	0,061	66,6	75
36	0,015103	15,103	0,139	142,6	160
37	0,002776	2,776	0,059	66,6	75
38	0,011825	11,825	0,123	124,8	140
39	0,003021	3,021	0,062	66,6	75

40	0,002574	2,574	0,057	66,6	75
41	0,005286	5,286	0,082	97,8	110
42	0,003877	3,877	0,070	80	90

*Πίνακας III.5: Προσδιορισμός Αρχικών Διαμέτρων
Υπολογισμός σε MS Excel*

IV. Υδραυλικοί Υπολογισμοί Ανασχεδιασμένου Δικτύου✓ ΟΙ ΠΑΡΟΧΕΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΚΛΑΔΟ

ΑΓΩΓΟΙ	ΜΗΚΟΣ (m)	ΑΝΗΓΜΕΝΗ ΠΑΡΟΧΗ ΑΝΑ ΜΟΝΑΔΑ ΜΗΚΟΥΣ ql L/(s*m)	ΠΑΡΟΧΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΚΟΜΒΩΝ (ΚΛΑΔΩΝ)
1	57,29	10.148×10^{-3}	-
2	26,92	10.148×10^{-3}	0,273
3	42,07	10.148×10^{-3}	0,427
4	97,11	10.148×10^{-3}	0,985
5	115,72	10.148×10^{-3}	1,174
6	180,37	10.148×10^{-3}	1,830
7	79,9	10.148×10^{-3}	0,811
8	86,93	10.148×10^{-3}	0,882
9	197,53	10.148×10^{-3}	2,005
10	138,01	10.148×10^{-3}	1,401
11	85,27	10.148×10^{-3}	0,865
12	90,59	10.148×10^{-3}	0,919
13	99,69	10.148×10^{-3}	1,012
14	88,55	10.148×10^{-3}	0,899
15	157,21	10.148×10^{-3}	1,595
16	146,01	10.148×10^{-3}	1,482
17	206,62	10.148×10^{-3}	2,097
18	239,42	10.148×10^{-3}	2,430
19	257,98	10.148×10^{-3}	2,618
20	79,78	10.148×10^{-3}	0,810
21	239,41	10.148×10^{-3}	2,430
22	205,61	10.148×10^{-3}	2,087
23	57,94	10.148×10^{-3}	0,588
24	86,45	10.148×10^{-3}	0,877
25	183,05	10.148×10^{-3}	1,858
26	120,18	10.148×10^{-3}	1,220
27	46,52	10.148×10^{-3}	0,472
28	93,43	10.148×10^{-3}	0,948
29	187,53	10.148×10^{-3}	1,903
30	95,73	10.148×10^{-3}	0,971
31	217,58	10.148×10^{-3}	2,208
32	279,79	10.148×10^{-3}	2,839
33	86,56	10.148×10^{-3}	0,878
34	271,27	10.148×10^{-3}	2,753
35	279,87	10.148×10^{-3}	2,840

36	47,77	10.148×10^{-3}	0,485
37	263,98	10.148×10^{-3}	2,679
38	89,75	10.148×10^{-3}	0,911
39	287,26	10.148×10^{-3}	2,915
40	244,75	10.148×10^{-3}	2,484
41	134,05	10.148×10^{-3}	1,360
42	368,620	10.148×10^{-3}	3,741
ΣΥΝΟΛΟ			63,38

*Πίνακας IV.1: Παροχές Κατανάλωσης Για Κάθε Κλάδο
Υπολογισμός σε MS Excel*

✓ ΠΑΡΟΧΕΣ ΚΟΜΒΩΝ - ΠΑΡΟΧΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΛΑΔΩΝ

ΤΜΗΜΑ Α				
ΑΓΩΓΟΙ	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΟ ΜΗΚΟΣ (m)	ΑΝΗΓΜΕΝΗ ΠΑΡΟΧΗ L/(s×m)	ΠΑΡΟΧΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ (L/s)	ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ L/s ΣΕ m ³ /s
11	85,27	0,010148	0,865	0,000865
10	223,28	0,010148	2,266	0,002266
24	86,45	0,010148	0,877	0,000877
23	144,39	0,010148	1,465	0,001465
22	350	0,010148	3,552	0,003552
9	197,53	0,010148	2,005	0,002005
8	857,74	0,010148	8,704	0,008704
7	79,9	0,010148	0,811	0,000811
6	260,27	0,010148	2,641	0,002641
21	239,41	0,010148	2,430	0,002430
12	1448,01	0,010148	14,695	0,014695
20	79,78	0,010148	0,810	0,000810
19	337,76	0,010148	3,428	0,003428
13	1885,46	0,010148	19,134	0,019134
18	239,42	0,010148	2,430	0,002430
14	2213,43	0,010148	22,462	0,022462
17	206,62	0,010148	2,097	0,002097
15	2577,26	0,010148	26,154	0,026154
16	146,01	0,010148	1,482	0,001482
5	2838,99	0,010148	28,810	0,028810
4	2936,1	0,010148	29,796	0,029796
3	2978,17	0,010148	30,223	0,030223
2	3005,09	0,010148	30,496	0,030496

Πίνακας IV.2: Υπολογισμός Παροχής Σχεδιασμού Τμήματος Α Με Τη Μέθοδο Του Αθροιστικού Μήκους
Υπολογισμός σε MS Excel

ΤΜΗΜΑ Β				
ΑΓΩΓΟΙ	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΟ ΜΗΚΟΣ (m)	ΑΝΗΓΜΕΝΗ ΠΑΡΟΧΗ L/(s*m)	ΠΑΡΟΧΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ (L/s)	ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ L/s ΣΕ m ³ /s
42	368,62	0,010148	3,741	0,003741
41	502,67	0,010148	5,101	0,005101
39	287,26	0,010148	2,915	0,002915
40	244,75	0,010148	2,484	0,002484
38	1124,43	0,010148	11,411	0,011411
37	263,98	0,010148	2,679	0,002679
36	1436,18	0,010148	14,575	0,014575
34	271,27	0,010148	2,753	0,002753

35	279,87	0,010148	2,840	0,002840
33	2073,88	0,010148	21,046	0,021046
31	217,58	0,010148	2,208	0,002208
32	279,79	0,010148	2,839	0,002839
30	2666,98	0,010148	27,065	0,027065
29	187,53	0,010148	1,903	0,001903
28	2947,94	0,010148	29,916	0,029916
27	46,52	0,010148	0,472	0,000472
26	166,7	0,010148	1,692	0,001692
25	3297,69	0,010148	33,465	0,033465

*Πίνακας IV.3: Υπολογισμός Παροχής Σχεδιασμού Τμήματος Β Με Τη Μέθοδο Του Αθροιστικού Μήκους
Υπολογισμός σε MS Excel*

✓ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΑΡΧΙΚΩΝ ΔΙΑΜΕΤΡΩΝ

ΚΛΑΔΟΙ	ΠΑΡΟΧΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ (m ³ /s)	ΠΑΡΟΧΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ (L/s)	ΑΡΧΙΚΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ (m)	ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΕΜΠΟΡΙΟΥ (mm) D	ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΕΜΠΟΡΙΟΥ Dn
1	0,063961	63,961	0,285	317,4	355
2	0,030496	30,496	0,197	200,8	225
3	0,030223	30,223	0,196	200,8	225
4	0,029796	29,796	0,195	200,8	225
5	0,028810	28,810	0,192	200,8	225
6	0,002641	2,641	0,058	66,6	75
7	0,000811	0,811	0,032	56	63
8	0,008704	8,704	0,105	111,4	125
9	0,002005	2,005	0,051	56	63
10	0,002266	2,266	0,054	56	63
11	0,000865	0,865	0,033	56	63
12	0,014695	14,695	0,137	142,6	160
13	0,019134	19,134	0,156	160,6	180
14	0,022462	22,462	0,169	178,4	200
15	0,026154	26,154	0,182	200,8	225
16	0,001482	1,482	0,043	56	63
17	0,002097	2,097	0,052	56	63
18	0,002430	2,430	0,056	56	63
19	0,003428	3,428	0,066	66,6	75
20	0,000810	0,810	0,032	56	63
21	0,002430	2,430	0,056	56	63
22	0,003552	3,552	0,067	80	90
23	0,001465	1,465	0,043	56	63
24	0,000877	0,877	0,033	56	63
25	0,033465	33,465	0,206	223,4	250
26	0,001692	1,692	0,046	56	63
27	0,000472	0,472	0,025	56	63
28	0,029916	29,916	0,195	200,8	225
29	0,001903	1,903	0,049	56	63
30	0,027065	27,065	0,186	200,8	225
31	0,002208	2,208	0,053	56	63
32	0,002839	2,839	0,060	66,6	75
33	0,021046	21,046	0,164	178,4	200
34	0,002753	2,753	0,059	66,6	75
35	0,002840	2,840	0,060	66,6	75
36	0,014575	14,575	0,136	142,6	160
37	0,002679	2,679	0,058	66,6	75
38	0,011411	11,411	0,121	124,8	140
39	0,002915	2,915	0,061	66,6	75

40	0,002484	2,484	0,056	66,6	75
41	0,005101	5,101	0,081	97,8	110
42	0,003741	3,741	0,069	80	90

*Πίνακας IV.4: Προσδιορισμός Αρχικών Διαμέτρων
Υπολογισμός σε MS Excel*

V. Βελτιστοποίηση-Ανάλυση Ευαισθησίας✓ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΩΝ ΔΙΑΜΕΤΡΩΝ

Αποδεκτές εσωτερικές διαμέτροι ανά κλάδο του δικτύου PVC (10 atm)											
			Άνω όριο V _{max} (m/s)	1,5	ΑΠΟΔΕΚΤΕΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΙ ΔΙΑΜΕΤΡΟΙ					Άνω όριο V _{min} (m/s)	0,5
ΑΓΩΓΟΙ	ΜΗΚΟΣ (m)	ΠΑΡΟΧΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ Q (m ³ /s)	D _{min} (mm)	D (mm) 10 atm (με αποδεκτή D _{min} =56 mm)					D _{max} (mm)		
1	59,29	0,06971	243,25	250,00	281,60	317,40	357,40	402,20	421,33		
2	26,92	0,03324	167,97	178,40	200,80	223,40	250,00	281,60	290,94		
3	42,07	0,03294	167,21	178,40	200,80	223,40	250,00	281,60	289,62		
4	97,11	0,03248	166,04	178,40	200,80	223,40	250,00	281,60	287,59		
5	115,72	0,0314	163,26	178,40	200,80	223,40	250,00	281,60	282,77		
6	180,37	0,00288	49,44	56,00	66,60	80,00			85,64		
7	79,9	0,00088	27,33	56,00					47,34		
8	86,93	0,00949	89,75	97,80	111,40	124,80	142,60		155,45		
9	197,53	0,00219	43,12	56,00	66,60				74,68		
10	138,01	0,00247	45,79	56,00	66,60				79,31		
11	85,27	0,00094	28,25	56,00					48,93		
12	90,59	0,01602	116,61	124,80	142,60	160,6	178,4	200,80	201,98		

13	99,69	0,02086	133,07	142,60	160,60	178,4	200,8	223,40	230,48
14	88,55	0,02448	144,15	160,60	178,40	200,80	223,40		249,68
15	157,21	0,02851	155,56	160,60	178,40	200,80	223,40	250,00	269,44
16	146,01	0,00162	37,08	56,00					64,23
17	206,62	0,00228	43,99	56,00	66,60				76,20
18	239,42	0,00265	47,43	56,00	66,60	80,00			82,15
19	257,98	0,00374	56,34	66,60	80,00				97,59
20	79,78	0,00088	27,33	56,00					47,34
21	239,41	0,00265	47,43	56,00	66,60	80,00			82,15
22	205,61	0,00387	57,31	66,60	80,00				99,27
23	57,94	0,0016	36,85	56,00					63,83
24	86,45	0,00096	28,55	56,00					49,44
25	183,05	0,03648	175,97	178,40	200,80	223,40	250,00	281,60	304,79
26	120,18	0,00184	39,52	56,00	66,60				68,45
27	46,52	0,00051	20,81	56,00					36,04
28	93,43	0,03261	166,37	178,40	200,80	223,40	250,00	281,60	288,17
29	187,53	0,00207	41,92	56,00	66,60				72,60
30	95,73	0,0295	158,24	160,60	178,40	200,80	223,40	250,00	274,08
31	217,58	0,00241	45,23	56,00	66,60				78,34
32	279,79	0,0031	51,30	56,00	66,60				88,85
33	86,56	0,02294	139,54	142,60	160,60	178,40	200,80	223,40	241,69
34	271,27	0,003	50,46	56,00	66,60	80,00			87,40
35	279,87	0,0031	51,30	56,00	66,60	80,00			88,85
36	47,77	0,01588	116,10	124,60	160,60	178,40	200,8		201,09
37	263,98	0,00292	49,79	56,00	66,60	80,00			86,23
38	89,75	0,01244	102,76	111,40	124,80	160,60			177,98

39	287,26	0,00318	51,95	56,00	66,60	80,00			89,99
40	244,75	0,00271	47,96	56,00	66,60	80,00			83,07
41	134,05	0,00556	68,70	80,00	97,80	111,40			118,99
42	368,62	0,00408	58,85	66,60	80,00	97,80			101,93

*Πίνακας V.1: Προσδιορισμός Εσωτερικών Διαμέτρων
Υπολογισμός σε MS Excel*

✓ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΓΡΑΜΜΙΚΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ

ΑΓΩΓΟΙ	ΚΟΜΒΟΙ	ΜΗΚΟΣ (m)	ΠΑΡΟΧΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ Q (m ³ /s)	ΑΠΟΔΕΚΤΕΣ ΕΣΩΤ. ΔΙΑΜΕΤΡΟΙ D (mm)	ΝΕΕΣ ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ V (m/s)	ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗ ΣΥΝΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ν (m ² /s)	ΑΡΙΘΜΟΣ REYNOLDS	ΤΡΑΧΥΤΗΤΑ PVC k (mm)	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΤΡΙΒΗΣ f	ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΑΓΩΓΟΥ R (m/(m ³ /s) ²)	ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΓΡΑΜΜΙΚΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΣΗf (m)	ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΑΝΑ ΜΕΤΡΟ ΜΗΚΟΥΣ S (m)
1	0-1	59,29	0,06396	250,00	1,303	0,000001	325745605,1	0,1	0,016	1,24577728	0,005	0,00008596
				281,60	1,027	0,000001	289191765,9	0,1	0,015	0,956777368	0,004	0,00006602
				317,40	0,808	0,000001	256573413	0,1	0,015	0,734011107	0,003	0,00005065
				357,40	0,638	0,000001	227857865,9	0,1	0,015	0,564521135	0,002	0,00003895
				402,20	0,503	0,000001	202477377,6	0,1	0,014	0,434879788	0,002	0,00003001
2	1-2	26,92	0,0305	178,40	1,220	0,000001	217678285,4	0,1	0,017	1,197641181	0,001	0,00004139
				200,80	0,963	0,000001	193395448,8	0,1	0,017	0,920426184	0,001	0,00003181
				223,40	0,778	0,000001	173830824,1	0,1	0,016	0,726143139	0,001	0,00002509
				250,00	0,621	0,000001	155335224,5	0,1	0,016	0,565649559	0,001	0,00001955
3	2-3	42,07	0,03022	178,40	1,209	0,000001	215679927,4	0,1	0,017	1,871648555	0,002	0,00004063
				200,80	0,954	0,000001	191620015,1	0,1	0,017	1,438422862	0,001	0,00003123
				223,40	0,771	0,000001	172235000,2	0,1	0,016	1,134801453	0,001	0,00002463
				250,00	0,616	0,000001	153909196,2	0,1	0,016	0,883985496	0,001	0,00001919
4	3-4	97,11	0,0298	160,60	1,471	0,000001	236254909,3	0,1	0,018	5,460787186	0,005	0,00004994
				178,40	1,192	0,000001	212682390,3	0,1	0,017	4,320320229	0,004	0,00003951
				200,80	0,941	0,000001	188956864,7	0,1	0,017	3,320307128	0,003	0,00003036
				223,40	0,760	0,000001	169841264,2	0,1	0,016	2,619459053	0,002	0,00002395
				250,00	0,607	0,000001	151770153,7	0,1	0,016	2,040501577	0,002	0,00001866
5	4-15	115,72	0,02881	160,60	1,422	0,000001	228406172,4	0,1	0,018	6,50728934	0,005	0,00004667

				178,40	1,153	0,000001	205616767,3	0,1	0,017	5,148264909	0,004	0,00003693
				200,80	0,910	0,000001	182679438,7	0,1	0,017	3,956610664	0,003	0,00002838
				223,40	0,735	0,000001	164198886,7	0,1	0,016	3,121452978	0,003	0,00002239
				250,00	0,587	0,000001	146728125,1	0,1	0,016	2,431544805	0,002	0,00001744
6	5-6	180,37	0,00264	56,00	1,072	0,000001	60024149,97	0,1	0,023	108,027863	0,0008	0,00000417
				66,60	0,758	0,000001	50470756,73	0,1	0,022	73,0250834	0,0005	0,00000282
				80,00	0,525	0,000001	42016904,98	0,1	0,021	48,31657297	0,0003	0,00000187
7	6-7	79,9	0,00081	56,00	0,329	0,000001	18416500,56	0,1	0,023	47,85764024	0,000	0,00000039
8	5-8	86,93	0,0087	97,80	1,158	0,000001	113263640,5	0,1	0,020	14,82604718	0,0011	0,00001291
				111,40	0,893	0,000001	99436122,43	0,1	0,019	11,07243748	0,0008	0,00000964
				124,80	0,711	0,000001	88759487,49	0,1	0,019	8,586513222	0,0006	0,00000748
				142,60	0,545	0,000001	77680112,48	0,1	0,018	6,373756989	0,0005	0,00000555
9	8-9	197,53	0,002	56,00	0,812	0,000001	45472840,88	0,1	0,023	118,30674	0,0005	0,00000240
				66,60	0,574	0,000001	38235421,76	0,1	0,022	79,9737646	0,0003	0,00000162
10	8-10	138,01	0,00227	56,00	0,922	0,000001	51611674,4	0,1	0,023	82,65793873	0,0004	0,00000309
				66,60	0,652	0,000001	43397203,7	0,1	0,022	55,87554322	0,00029	0,00000209
11	10-11	85,27	0,00087	56,00	0,353	0,000001	19780685,78	0,1	0,023	51,07373549	0,000	0,00000045
12	12-5	90,59	0,01495	124,80	1,222	0,000001	152523487,1	0,1	0,019	8,947833514	0,002	0,00002208
				142,60	0,936	0,000001	133484791	0,1	0,018	6,641925463	0,001	0,00001639
				160,6	0,738	0,000001	118523855,5	0,1	0,018	5,094277077	0,001	0,00001257
				178,4	0,598	0,000001	106698044,8	0,1	0,017	4,030375599	0,001	0,00000994
				200,80	0,472	0,000001	94795474,07	0,1	0,017	3,097497497	0,001	0,00000764
13	13-12	99,69	0,0193	142,60	1,208	0,000001	172324847,2	0,1	0,018	7,309057548	0,003	0,00002731
				160,60	0,953	0,000001	153010729,8	0,1	0,018	5,605947324	0,002	0,00002095
				178,4	0,772	0,000001	137743964,2	0,1	0,017	4,435177061	0,002	0,00001657

				200,8	0,609	0,000001	122378103,7	0,1	0,017	3,408591987	0,001	0,00001274
14	14-13	88,55	0,02274	142,60	1,424	0,000001	203039742,3	0,1	0,018	6,492265198	0,003	0,00003791
				160,60	1,123	0,000001	180283108,6	0,1	0,018	4,97947306	0,003	0,00002908
				178,40	0,910	0,000001	162295220	0,1	0,017	3,939533531	0,002	0,00002301
				200,80	0,718	0,000001	144190573,9	0,1	0,017	3,027667095	0,002	0,00001768
				223,40	0,580	0,000001	129603703	0,1	0,016	2,388595339	0,001	0,00001395
15	15-14	157,21	0,02573	160,60	1,270	0,000001	203987879,7	0,1	0,018	8,840427618	0,006	0,00003723
				178,40	1,029	0,000001	183634829	0,1	0,017	6,994140182	0,005	0,00002945
				200,80	0,812	0,000001	163149668,8	0,1	0,017	5,375231396	0,004	0,00002264
				223,40	0,656	0,000001	146644823,1	0,1	0,016	4,240636888	0,003	0,00001786
				250,00	0,524	0,000001	131041813,9	0,1	0,016	3,303369346	0,002	0,00001391
16	15-16	146,01	0,00148	56,00	0,853	0,000001	47746482,93	0,1	0,023	87,44964766	0,00019	0,00000131
17	14-17	206,62	0,0021	56,00	0,853	0,000001	47746482,93	0,1	0,023	123,7507445	0,00055	0,00000264
				66,60	0,603	0,000001	40147192,85	0,1	0,022	83,65377189	0,00037	0,00000179
18	13-18	239,42	0,00243	56,00	0,987	0,000001	55249501,67	0,1	0,023	143,3947513	0,00085	0,00000354
				66,60	0,698	0,000001	46456037,44	0,1	0,022	96,9326345	0,00057	0,00000239
19	12-19	257,98	0,00343	66,60	0,985	0,000001	65573748,32	0,1	0,022	104,4452816	0,0012	0,00000476
				80,00	0,682	0,000001	54590145,48	0,1	0,021	69,10523972	0,0008	0,00000315
20	19-20	79,78	0,00081	56,00	0,329	0,000001	18416500,56	0,1	0,023	47,78576393	0,00003	0,00000039
21	5-21	239,41	0,00243	56,00	0,987	0,000001	55249501,67	0,1	0,023	47,78227909	0,00028	0,00000118
				66,60	0,698	0,000001	46456037,44	0,1	0,022	32,30008178	0,00019	0,00000080
22	8-22	205,61	0,00355	66,60	1,019	0,000001	67867873,63	0,1	0,022	83,24275591	0,001	0,00000510
				80,00	0,706	0,000001	56500004,8	0,1	0,021	55,07675992	0,001	0,00000338
23	22-23	57,94	0,00147	56,00	0,597	0,000001	33422538,05	0,1	0,023	34,70260319	0,00007	0,00000129
24	23-24	86,45	0,00088	56,00	0,357	0,000001	20008049,99	0,1	0,023	51,78045635	0,00004	0,00000046

25	1-25	183,05	0,03347	178,40	1,339	0,000001	238875154,5	0,1	0,017	8,143670365	0,009	0,00004984
				200,80	1,057	0,000001	212227726,9	0,1	0,017	6,258671322	0,007	0,00003830
				223,40	0,854	0,000001	190757956,9	0,1	0,016	4,937590896	0,006	0,00003022
				250,00	0,682	0,000001	170461310,2	0,1	0,016	3,846271295	0,004	0,00002354
				281,60	0,537	0,000001	151332839,4	0,1	0,015	2,954017532	0,003	0,00001808
26	25-26	120,18	0,00169	56,00	0,686	0,000001	38424550,55	0,1	0,023	71,98007308	0,0002	0,00000171
27	26-27	46,52	0,00047	56,00	0,191	0,000001	10686117,61	0,1	0,023	27,86609295	0,000006	0,00000013
28	25-28	93,43	0,02991	160,60	1,477	0,000001	237126991,2	0,1	0,018	5,253849213	0,005	0,00005031
				178,40	1,197	0,000001	213467459,5	0,1	0,017	4,156600469	0,004	0,00003980
				200,80	0,944	0,000001	189654356,5	0,1	0,017	3,194483059	0,003	0,00003059
				223,40	0,763	0,000001	170468195,1	0,1	0,016	2,520193762	0,002	0,00002413
				250,00	0,609	0,000001	152330379,1	0,1	0,016	1,963175999	0,002	0,00001880
29	28-29	187,53	0,0019	56,00	0,771	0,000001	43199198,84	0,1	0,023	112,3177084	0,000	0,00000216
				66,60	0,545	0,000001	36323650,68	0,1	0,022	75,92532609	0,000	0,00000146
30	28-30	95,73	0,02706	160,60	1,336	0,000001	214532142,5	0,1	0,018	5,383200016	0,004	0,00004118
				178,40	1,083	0,000001	193127029,6	0,1	0,017	4,258939225	0,003	0,00003258
				200,80	0,854	0,000001	171582978,5	0,1	0,017	3,273136305	0,002	0,00002504
				223,40	0,690	0,000001	154224986,9	0,1	0,016	2,582247173	0,002	0,00001975
				250,00	0,551	0,000001	137815448,3	0,1	0,016	2,011516493	0,001	0,00001539
31	30-31	217,58	0,00221	56,00	0,897	0,000001	50247489,18	0,1	0,023	130,3147197	0,001	0,00000293
				66,60	0,634	0,000001	42250141,05	0,1	0,022	88,09085732	0,000	0,00000198
32	30-32	279,79	0,00284	56,00	1,153	0,000001	64571434,05	0,1	0,023	167,5724271	0,001	0,00000483
				66,60	0,815	0,000001	54294298,9	0,1	0,022	113,2761393	0,001	0,00000327
				80,00	0,565	0,000001	45200003,84	0,1	0,021	74,9483233	0,001	0,00000216
33	30-33	86,56	0,02105	142,60	1,318	0,000001	187950157,2	0,1	0,018	6,34637724	0,003	0,00003249

				160,60	1,039	0,000001	166884759,8	0,1	0,018	4,867581631	0,002	0,00002492
				178,40	0,842	0,000001	150233701,9	0,1	0,017	3,85101225	0,002	0,00001971
				200,80	0,665	0,000001	133474563,8	0,1	0,017	2,959637715	0,001	0,00001515
				223,40	0,537	0,000001	119971765,5	0,1	0,016	2,334927393	0,001	0,00001195
34	33-34	271,27	0,00275	56,00	1,117	0,000001	62525156,21	0,1	0,023	162,4697898	0,001	0,00000453
				66,60	0,789	0,000001	52573704,93	0,1	0,022	109,826886	0,0008	0,00000306
				80,00	0,547	0,000001	43767609,35	0,1	0,021	72,66619215	0,0005	0,00000203
35	33-35	279,87	0,00284	56,00	1,153	0,000001	64571434,05	0,1	0,023	167,6203408	0,0014	0,00000483
				66,60	0,815	0,000001	54294298,9	0,1	0,022	113,3085282	0,0009	0,00000327
				80,00	0,565	0,000001	45200003,84	0,1	0,021	74,96975318	0,0006	0,00000216
36	33-36	47,77	0,01457	124,60	1,195	0,000001	148885234,1	0,1	0,019	4,735342471	0,0010	0,00002104
				160,60	0,719	0,000001	115511209	0,1	0,018	2,686322205	0,0006	0,00001194
				178,40	0,583	0,000001	103985987,5	0,1	0,017	2,125304567	0,0005	0,00000944
37	36-37	263,98	0,00268	56,00	1,088	0,000001	60933606,78	0,1	0,023	158,1037861	0,0011	0,00000430
				66,60	0,769	0,000001	51235465,16	0,1	0,022	106,8755746	0,0008	0,00000291
				80,00	0,533	0,000001	42653524,75	0,1	0,021	70,7135111	0,0005	0,00000192
38	36-38	89,75	0,01141	111,40	1,171	0,000001	130409903,1	0,1	0,019	11,43151115	0,0015	0,00001658
				124,80	0,933	0,000001	116407557,7	0,1	0,019	8,864949602	0,0012	0,00001286
				160,60	0,563	0,000001	90458675	0,1	0,018	5,047116284	0,0007	0,00000732
39	38-39	287,26	0,00292	56,00	1,186	0,000001	66390347,69	0,1	0,023	172,0462159	0,001	0,00000511
				66,60	0,838	0,000001	55823715,78	0,1	0,022	116,3003065	0,001	0,00000345
				80,00	0,581	0,000001	46473243,38	0,1	0,021	76,94920402	0,001	0,00000228
40	38-40	244,75	0,00248	56,00	1,007	0,000001	56386322,7	0,1	0,023	146,5869093	0,001	0,00000368
				66,60	0,712	0,000001	47411922,99	0,1	0,022	99,09045604	0,001	0,00000249
41	38-41	134,05	0,0051	66,60	1,464	0,000001	97500325,5	0,1	0,022	99,08772815	0,0026	0,00001923

				80,00	1,015	0,000001	81169020,98	0,1	0,021	65,56013911	0,0017	0,00001272
				97,80	0,679	0,000001	66395927,18	0,1	0,020	41,7434441	0,0011	0,00000810
				111,40	0,523	0,000001	58290140,74	0,1	0,019	31,17516149	0,0008	0,00000605
42	41-42	368,62	0,00374	66,60	1,074	0,000001	71500238,7	0,1	0,022	149,2382955	0,002	0,00000566
				80,00	0,744	0,000001	59523948,72	0,1	0,021	98,74199431	0,001	0,00000375

*Πίνακας V.2: Υπολογισμός Γραμμικών Απωλειών
Υπολογισμός σε MS Excel*

✓ ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ ΑΠΟΦΑΣΗΣ-ΚΟΣΤΗ ΚΛΑΔΩΝ

ΑΓΩΓΟΙ	ΚΟΜΒΟΙ	ΜΗΚΟΣ (m)	ΠΑΡΟΧΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ Q (m ³ /s)	ΑΠΟΔΕΚΤΕΣ ΕΣΩΤ. ΔΙΑΜΕΤΡΟΙ D (mm)	ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ X (m)	ΚΟΣΤΟΣ	ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΓΡΑΜΜΙΚΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΣΗf (m)	ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΑΝΑ ΜΕΤΡΟ ΜΗΚΟΥΣ S (m)
1	0-1	59,29	0,06396	250,00	X1	43,3 €	0,005	0,00008596
				281,60	X2	54,1 €	0,004	0,00006602
				317,40	X3	65,0 €	0,003	0,00005065
				357,40	X4	81,0 €	0,002	0,00003895
				402,20	X5	98,0 €	0,002	0,00003001
2	1-2	26,92	0,0305	178,40	X6	20,6 €	0,001	0,00004139
				200,80	X7	27,1 €	0,001	0,00003181
				223,40	X8	31,1 €	0,001	0,00002509
				250,00	X9	43,3 €	0,001	0,00001955
3	2-3	42,07	0,03022	178,40	X10	20,6 €	0,002	0,00004063
				200,80	X11	27,1 €	0,001	0,00003123
				223,40	X12	31,1 €	0,001	0,00002463
				250,00	X13	43,3 €	0,001	0,00001919
4	3-4	97,11	0,0298	160,60	X14	17,8 €	0,005	0,00004994
				178,40	X15	20,6 €	0,004	0,00003951
				200,80	X16	27,1 €	0,003	0,00003036
				223,40	X17	31,1 €	0,002	0,00002395
				250,00	X18	43,3 €	0,002	0,00001866

5	4-15	115,72	0,02881	160,60	X19	17,8 €	0,005	0,00004667
				178,40	X20	20,6 €	0,004	0,00003693
				200,80	X21	27,1 €	0,003	0,00002838
				223,40	X22	31,1 €	0,003	0,00002239
				250,00	X23	43,3 €	0,002	0,00001744
6	5-6	180,37	0,00264	56,00	X24	4,0 €	0,0008	0,00000417
				66,60	X25	4,7 €	0,0005	0,00000282
				80,00	X26	6,1 €	0,0003	0,00000187
7	6-7	79,9	0,00081	56,00		4,0 €	0,000	0,00000039
8	5-8	86,93	0,0087	97,80	X27	7,4 €	0,0011	0,00001291
				111,40	X28	9,1 €	0,0008	0,00000964
				124,80	X29	12,5 €	0,0006	0,00000748
				142,60	X30	14,6 €	0,0005	0,00000555
9	8-9	197,53	0,002	56,00	X31	4,0 €	0,0005	0,00000240
				66,60	X32	4,7 €	0,0003	0,00000162
10	8-10	138,01	0,00227	56,00	X33	4,0 €	0,0004	0,00000309
				66,60	X34	4,7 €	0,00029	0,00000209
11	10-11	85,27	0,00087	56,00		4,0 €	0,000	0,00000045
12	12-5	90,59	0,01495	124,80	X35	12,5 €	0,002	0,00002208
				142,60	X36	14,6 €	0,001	0,00001639
				160,6	X37	17,8 €	0,001	0,00001257
				178,4	X38	20,6 €	0,001	0,00000994
				200,80	X39	27,1 €	0,001	0,00000764
13	13-12	99,69	0,0193	142,60	X40	14,6 €	0,003	0,00002731
				160,60	X41	17,8 €	0,002	0,00002095

				178,4	X42	20,6 €	0,002	0,00001657
				200,8	X43	27,1 €	0,001	0,00001274
14	14-13	88,55	0,02274	142,60	X44	14,6 €	0,003	0,00003791
				160,60	X45	17,8 €	0,003	0,00002908
				178,40	X46	20,6 €	0,002	0,00002301
				200,80	X47	27,1 €	0,002	0,00001768
				223,40	X48	31,1 €	0,001	0,00001395
				160,60	X49	17,8 €	0,006	0,00003723
15	15-14	157,21	0,02573	178,40	X50	20,6 €	0,005	0,00002945
				200,80	X51	27,1 €	0,004	0,00002264
				223,40	X52	31,1 €	0,003	0,00001786
				250,00	X53	43,3 €	0,002	0,00001391
				56,00		4,0 €	0,00019	0,00000131
16	15-16	146,01	0,00148	56,00		4,0 €	0,00019	0,00000131
				66,60	X55	4,7 €	0,00037	0,00000179
17	14-17	206,62	0,0021	56,00	X54	4,0 €	0,00055	0,00000264
				66,60	X55	4,7 €	0,00037	0,00000179
18	13-18	239,42	0,00243	56,00	X56	4,0 €	0,00085	0,00000354
				66,60	X57	4,7 €	0,00057	0,00000239
19	12-19	257,98	0,00343	66,60	X58	4,7 €	0,0012	0,00000476
				80,00	X59	6,1 €	0,0008	0,00000315
20	19-20	79,78	0,00081	56,00		4,0 €	0,00003	0,00000039
21	5-21	239,41	0,00243	56,00	X60	4,0 €	0,00028	0,00000118
				66,60	X61	4,7 €	0,00019	0,00000080
22	8-22	205,61	0,00355	66,60	X62	4,7 €	0,001	0,00000510
				80,00	X63	6,1 €	0,001	0,00000338
23	22-23	57,94	0,00147	56,00		4,0 €	0,00007	0,00000129

24	23-24	86,45	0,00088	56,00		4,0 €	0,00004	0,00000046
25	1-25	183,05	0,03347	178,40	X64	20,6 €	0,009	0,00004984
				200,80	X65	27,1 €	0,007	0,00003830
				223,40	X66	31,1 €	0,006	0,00003022
				250,00	X67	43,3 €	0,004	0,00002354
				281,60	X68	54,1 €	0,003	0,00001808
26	25-26	120,18	0,00169	56,00		4,0 €	0,0002	0,00000171
27	26-27	46,52	0,00047	56,00		4,0 €	0,000006	0,00000013
28	25-28	93,43	0,02991	160,60	X69	17,8 €	0,005	0,00005031
				178,40	X70	20,6 €	0,004	0,00003980
				200,80	X71	27,1 €	0,003	0,00003059
				223,40	X72	31,1 €	0,002	0,00002413
				250,00	X73	43,3 €	0,002	0,00001880
29	28-29	187,53	0,0019	56,00	X74	4,0 €	0,000	0,00000216
				66,60	X75	4,7 €	0,000	0,00000146
30	28-30	95,73	0,02706	160,60	X76	17,8 €	0,004	0,00004118
				178,40	X77	20,6 €	0,003	0,00003258
				200,80	X78	27,1 €	0,002	0,00002504
				223,40	X79	31,1 €	0,002	0,00001975
				250,00	X80	43,3 €	0,001	0,00001539
31	30-31	217,58	0,00221	56,00	X81	4,0 €	0,001	0,00000293
				66,60	X82	4,7 €	0,000	0,00000198
32	30-32	279,79	0,00284	56,00	X83	4,0 €	0,001	0,00000483
				66,60	X84	4,7 €	0,001	0,00000327
				80,00	X85	6,1 €	0,001	0,00000216

33	30-33	86,56	0,02105	142,60	X86	14,6 €	0,003	0,00003249
				160,60	X87	17,8 €	0,002	0,00002492
				178,40	X88	20,6 €	0,002	0,00001971
				200,80	X89	27,1 €	0,001	0,00001515
				223,40	X90	31,1 €	0,001	0,00001195
34	33-34	271,27	0,00275	56,00	X91	4,0 €	0,001	0,00000453
				66,60	X92	4,7 €	0,0008	0,00000306
				80,00	X93	6,1 €	0,0005	0,00000203
35	33-35	279,87	0,00284	56,00	X94	4,0 €	0,0014	0,00000483
				66,60	X95	4,7 €	0,0009	0,00000327
				80,00	X96	6,1 €	0,0006	0,00000216
36	33-36	47,77	0,01457	124,60	X97	12,5 €	0,0010	0,00002104
				160,60	X98	14,6 €	0,0006	0,00001194
				178,40	X99	17,8 €	0,0005	0,00000944
37	36-37	263,98	0,00268	56,00	X100	4,0 €	0,0011	0,00000430
				66,60	X101	4,7 €	0,0008	0,00000291
				80,00	X102	6,1 €	0,0005	0,00000192
38	36-38	89,75	0,01141	111,40	X103	9,1 €	0,0015	0,00001658
				124,80	X104	12,5 €	0,0012	0,00001286
				160,60	X105	14,6 €	0,0007	0,00000732
39	38-39	287,26	0,00292	56,00	X106	4,0 €	0,001	0,00000511
				66,60	X107	4,7 €	0,001	0,00000345
				80,00	X108	6,1 €	0,001	0,00000228
40	38-40	244,75	0,00248	56,00	X109	4,0 €	0,001	0,00000368
				66,60	X110	4,7 €	0,001	0,00000249

41	38-41	134,05	0,0051	66,60	X111	4,7 €	0,0026	0,00001923
				80,00	X112	6,1 €	0,0017	0,00001272
				97,80	X113	7,4 €	0,0011	0,00000810
				111,40	X114	9,1 €	0,0008	0,00000605
42	41-42	368,62	0,00374	66,60	X115	4,7 €	0,002	0,00000566
				80,00	X116	6,1 €	0,001	0,00000375

*Πίνακας V.3: Μεταβλητές Απόφασης – Κόστη Κλάδων
Υπολογισμός σε MS Excel*

✓ REPORT LINGO ΤΜΑΜΑΤΟΣ Α ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ

Global optimal solution found.
 Objective value: 22083.44
 Infeasibilities: 0.000000
 Total solver iterations: 11
 Elapsed runtime seconds: 0.19

Model Class: LP

Total variables: 63
 Nonlinear variables: 0
 Integer variables: 0

Total constraints: 106
 Nonlinear constraints: 0

Total nonzeros: 1156
 Nonlinear nonzeros: 0

	Variable	Value
Reduced Cost		
	X1	59.29000
0.000000	X2	0.000000
10.80000	X3	0.000000
21.70000	X4	0.000000
37.70000	X5	0.000000
54.70000	X6	26.92000
0.000000	X7	0.000000
6.500000	X8	0.000000
10.50000	X9	0.000000
22.70000	X10	42.07000
0.000000	X11	0.000000
6.500000	X12	0.000000
10.50000	X13	0.000000
22.70000	X14	97.11000
0.000000	X15	0.000000
2.800000	X16	0.000000
9.300000	X17	0.000000
13.30000	X18	0.000000
25.50000		

0.000000	X19	115.7200
2.800000	X20	0.000000
9.300000	X21	0.000000
13.30000	X22	0.000000
25.50000	X23	0.000000
0.000000	X24	180.3700
0.7000000	X25	0.000000
2.100000	X26	0.000000
0.000000	X27	86.93000
1.700000	X28	0.000000
5.100000	X29	0.000000
7.200000	X30	0.000000
0.000000	X31	197.5300
0.7000000	X32	0.000000
0.000000	X33	138.0100
0.7000000	X34	0.000000
0.000000	X35	90.59000
2.100000	X36	0.000000
5.300000	X37	0.000000
8.100000	X38	0.000000
14.60000	X39	0.000000
0.000000	X40	99.69000
3.200000	X41	0.000000
6.000000	X42	0.000000
12.50000	X43	0.000000
0.000000	X44	88.55000
3.200000	X45	0.000000
6.000000	X46	0.000000
12.50000	X47	0.000000
16.50000	X48	0.000000

0.000000	X49	157.2100	
2.800000	X50	0.000000	
9.300000	X51	0.000000	
13.30000	X52	0.000000	
25.50000	X53	0.000000	
0.000000	X54	206.6200	
0.7000000	X55	0.000000	
0.000000	X56	239.4200	
0.7000000	X57	0.000000	
0.000000	X58	257.9800	
1.400000	X59	0.000000	
0.000000	X60	239.4100	
0.7000000	X61	0.000000	
0.000000	X62	205.6100	
1.400000	X63	0.000000	
	Row	Slack or Surplus	
Dual Price	1	22083.44	-
1.000000	2	0.000000	-
43.30000	3	0.000000	-
20.60000	4	0.000000	-
20.60000	5	0.000000	-
17.80000	6	0.000000	-
17.80000	7	0.000000	-
4.000000	8	0.000000	-
7.400000	9	0.000000	-
4.000000	10	0.000000	-
4.000000	11	0.000000	-
12.50000	12	0.000000	-
14.60000	13	0.000000	-
14.60000	14	0.000000	-
17.80000			

	15	0.000000	-
4.000000			
	16	0.000000	-
4.000000			
	17	0.000000	-
4.700000			
	18	0.000000	-
4.000000			
	19	0.000000	-
4.700000			
	20	59.29000	
0.000000			
	21	0.000000	
0.000000			
	22	0.000000	
0.000000			
	23	0.000000	
0.000000			
	24	0.000000	
0.000000			
	25	26.92000	
0.000000			
	26	0.000000	
0.000000			
	27	0.000000	
0.000000			
	28	0.000000	
0.000000			
	29	42.07000	
0.000000			
	30	0.000000	
0.000000			
	31	0.000000	
0.000000			
	32	0.000000	
0.000000			
	33	97.11000	
0.000000			
	34	0.000000	
0.000000			
	35	0.000000	
0.000000			
	36	0.000000	
0.000000			
	37	0.000000	
0.000000			
	38	115.7200	
0.000000			
	39	0.000000	
0.000000			
	40	0.000000	
0.000000			
	41	0.000000	
0.000000			
	42	0.000000	
0.000000			
	43	180.3700	
0.000000			
	44	0.000000	
0.000000			

0.000000	45	0.000000
0.000000	46	86.93000
0.000000	47	0.000000
0.000000	48	0.000000
0.000000	49	0.000000
0.000000	50	197.5300
0.000000	51	0.000000
0.000000	52	138.0100
0.000000	53	0.000000
0.000000	54	90.59000
0.000000	55	0.000000
0.000000	56	0.000000
0.000000	57	0.000000
0.000000	58	0.000000
0.000000	59	99.69000
0.000000	60	0.000000
0.000000	61	0.000000
0.000000	62	0.000000
0.000000	63	88.55000
0.000000	64	0.000000
0.000000	65	0.000000
0.000000	66	0.000000
0.000000	67	0.000000
0.000000	68	157.2100
0.000000	69	0.000000
0.000000	70	0.000000
0.000000	71	0.000000
0.000000	72	0.000000
0.000000	73	206.6200
0.000000	74	0.000000

0.000000	75	239.4200
0.000000	76	0.000000
0.000000	77	257.9800
0.000000	78	0.000000
0.000000	79	239.4100
0.000000	80	0.000000
0.000000	81	205.6100
0.000000	82	0.000000
0.000000	83	3.994903
0.000000	84	5.993789
0.000000	85	4.992080
0.000000	86	6.987230
0.000000	87	22.98183
0.000000	88	8.981829
0.000000	89	33.97598
0.000000	90	26.97543
0.000000	91	37.97207
0.000000	92	40.97123
0.000000	93	40.96850
0.000000	94	44.96728
0.000000	95	42.96728
0.000000	96	36.96528
0.000000	97	41.96499
0.000000	98	40.96452
0.000000	99	39.96452
0.000000	100	28.96312
0.000000	101	39.96264
0.000000	102	43.96207
0.000000	103	40.96207
0.000000	104	40.96207

0.000000	105	37.96117
0.000000	106	36.96117

✓ REPORT LINGO ΤΜΑΜΑΤΟΣ Β ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ

Global optimal solution found.
 Objective value: 22873.43
 Infeasibilities: 0.000000
 Total solver iterations: 13
 Elapsed runtime seconds: 0.08

Model Class: LP

Total variables: 58
 Nonlinear variables: 0
 Integer variables: 0

Total constraints: 94
 Nonlinear constraints: 0

Total nonzeros: 758
 Nonlinear nonzeros: 0

	Variable	Value
Reduced Cost		
0.000000	X1	59.29000
10.80000	X2	0.000000
21.70000	X3	0.000000
37.70000	X4	0.000000
54.70000	X5	0.000000
0.000000	X64	183.0500
6.500000	X65	0.000000
10.50000	X66	0.000000
22.70000	X67	0.000000
33.50000	X68	0.000000
0.000000	X69	93.43000
2.800000	X70	0.000000
9.300000	X71	0.000000

13.30000	X72	0.000000
25.50000	X73	0.000000
0.000000	X74	187.5300
0.7000000	X75	0.000000
0.000000	X76	95.73000
2.800000	X77	0.000000
9.300000	X78	0.000000
13.30000	X79	0.000000
25.50000	X80	0.000000
0.000000	X81	217.5800
0.7000000	X82	0.000000
0.000000	X83	279.7900
0.7000000	X84	0.000000
2.100000	X85	0.000000
0.000000	X86	86.56000
3.200000	X87	0.000000
6.000000	X88	0.000000
12.50000	X89	0.000000
16.50000	X90	0.000000
0.000000	X91	271.2700
0.7000000	X92	0.000000
2.100000	X93	0.000000
0.000000	X94	279.8700
0.7000000	X95	0.000000
2.100000	X96	0.000000
0.000000	X97	47.77000
2.100000	X98	0.000000
5.300000	X99	0.000000
0.000000	X100	263.9800
0.7000000	X101	0.000000

2.100000	X102	0.000000	
0.000000	X103	89.75000	
3.400000	X104	0.000000	
5.500000	X105	0.000000	
0.000000	X106	287.2600	
0.7000000	X107	0.000000	
2.100000	X108	0.000000	
0.000000	X109	244.7500	
0.7000000	X110	0.000000	
0.000000	X111	134.0500	
1.400000	X112	0.000000	
2.700000	X113	0.000000	
4.400000	X114	0.000000	
0.000000	X115	368.6200	
1.400000	X116	0.000000	
	Row	Slack or Surplus	
Dual Price	1	22873.43	-
1.000000	2	0.000000	-
43.30000	3	0.000000	-
20.60000	4	0.000000	-
17.80000	5	0.000000	-
4.000000	6	0.000000	-
17.80000	7	0.000000	-
4.000000	8	0.000000	-
4.000000	9	0.000000	-
14.60000	10	0.000000	-
4.000000	11	0.000000	-
4.000000	12	0.000000	-
12.50000	13	0.000000	-
4.000000	14	0.000000	-
9.100000			

	15	0.000000	-
4.000000			
	16	0.000000	-
4.000000			
	17	0.000000	-
4.700000			
	18	0.000000	-
4.700000			
	19	59.29000	
0.000000			
	20	0.000000	
0.000000			
	21	0.000000	
0.000000			
	22	0.000000	
0.000000			
	23	183.0500	
0.000000			
	24	0.000000	
0.000000			
	25	0.000000	
0.000000			
	26	0.000000	
0.000000			
	27	0.000000	
0.000000			
	28	93.43000	
0.000000			
	29	0.000000	
0.000000			
	30	0.000000	
0.000000			
	31	0.000000	
0.000000			
	32	0.000000	
0.000000			
	33	187.5300	
0.000000			
	34	0.000000	
0.000000			
	35	95.73000	
0.000000			
	36	0.000000	
0.000000			
	37	0.000000	
0.000000			
	38	0.000000	
0.000000			
	39	0.000000	
0.000000			
	40	217.5800	
0.000000			
	41	0.000000	
0.000000			
	42	279.7900	
0.000000			
	43	0.000000	
0.000000			
	44	0.000000	
0.000000			

0.000000	45	86.56000
0.000000	46	0.000000
0.000000	47	0.000000
0.000000	48	0.000000
0.000000	49	0.000000
0.000000	50	271.2700
0.000000	51	0.000000
0.000000	52	0.000000
0.000000	53	279.8700
0.000000	54	0.000000
0.000000	55	0.000000
0.000000	56	47.77000
0.000000	57	0.000000
0.000000	58	0.000000
0.000000	59	263.9800
0.000000	60	0.000000
0.000000	61	0.000000
0.000000	62	89.75000
0.000000	63	0.000000
0.000000	64	0.000000
0.000000	65	287.2600
0.000000	66	0.000000
0.000000	67	0.000000
0.000000	68	244.7500
0.000000	69	0.000000
0.000000	70	134.0500
0.000000	71	0.000000
0.000000	72	0.000000
0.000000	73	0.000000
0.000000	74	368.6200

0.000000	75	0.000000
0.000000	76	3.994903
0.000000	77	14.98578
0.000000	78	6.985779
0.000000	79	7.985778
0.000000	80	6.981078
0.000000	81	24.98067
0.000000	82	20.97673
0.000000	83	40.97609
0.000000	84	21.97538
0.000000	85	36.97193
0.000000	86	41.97070
0.000000	87	38.97058
0.000000	88	39.96834
0.000000	89	39.96721
0.000000	90	40.96572
0.000000	91	41.96425
0.000000	92	38.96482
0.000000	93	42.96077
0.000000	94	41.95869

✓ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΓΡΑΜΜΙΚΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΓΙΑ ΑΥΞΗΣΗ ΠΑΡΟΧΗΣ Q 10%

ΑΓΩΓΟΙ	ΚΟΜΒΟΙ	ΜΗΚΟΣ (m)	ΠΑΡΟΧΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ Q (m ³ /s)	ΑΠΟΔΕΚΤΕΣ ΕΣΩΤ. ΔΙΑΜΕΤΡΟΙ D (mm)	ΝΕΕΣ ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ V (m/s)	ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗ ΣΥΝΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ν (m ² /s)	ΑΡΙΘΜΟΣ REYNOLDS	ΤΡΑΧΥΤΗΤΑ PVC k (mm)	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΤΡΙΒΗΣ f	ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΑΓΩΓΟΥ R (m/(m ³ /s) ²)	ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΓΡΑΜΜΙΚΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΣHf (m)	ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΑΝΑ ΜΕΤΡΟ ΜΗΚΟΥΣ S (m)
1	0-1	59,29	0,076681	281,60	1,231	0,000001	346709096,3	0,1	0,015	0,956771541	0,006	0,00009489
				317,40	0,969	0,000001	307603281,4	0,1	0,015	0,734005567	0,004	0,00007279
				402,20	0,604	0,000001	242748089,3	0,1	0,014	0,434874768	0,003	0,00004313
2	1-2	26,92	0,036564	178,40	1,463	0,000001	260957010,7	0,1	0,017	1,197634906	0,002	0,00005948
				200,80	1,155	0,000001	231846268,5	0,1	0,017	0,920420227	0,001	0,00004571
				223,40	0,933	0,000001	208391811,6	0,1	0,016	0,726137451	0,001	0,00003606
				250,00	0,745	0,000001	186218922,9	0,1	0,016	0,56564414	0,001	0,00002809
				281,60	0,587	0,000001	165322197,1	0,1	0,015	0,434426176	0,001	0,00002157
3	3-2	42,07	0,036234	178,40	1,450	0,000001	258601803	0,1	0,017	1,871638659	0,002	0,00005841
				200,80	1,144	0,000001	229753793,1	0,1	0,017	1,438413466	0,002	0,00004489
				223,40	0,924	0,000001	206511019,1	0,1	0,016	1,134792483	0,001	0,00003541
				250,00	0,738	0,000001	184538246,7	0,1	0,016	0,883976951	0,001	0,00002759
				281,60	0,582	0,000001	163830119,5	0,1	0,015	0,678912304	0,001	0,00002119
4	3-4	97,11	0,035728	178,40	1,429	0,000001	254990484,6	0,1	0,017	4,320297103	0,006	0,00005679
				200,80	1,128	0,000001	226545330,9	0,1	0,017	3,320285173	0,004	0,00004364
				223,40	0,911	0,000001	203627137,2	0,1	0,016	2,619438092	0,003	0,00003443
				250,00	0,728	0,000001	181961209,8	0,1	0,016	2,040481608	0,003	0,00002682
				281,60	0,574	0,000001	161542267,2	0,1	0,015	1,567131697	0,002	0,00002060
5	4-15	115,72	0,03454	178,40	1,382	0,000001	246511737	0,1	0,017	5,148236506	0,006	0,00005308

				200,80	1,091	0,000001	219012419,7	0,1	0,017	3,956583697	0,005	0,00004079
				223,40	0,881	0,000001	196856284,1	0,1	0,016	3,121427233	0,004	0,00003218
				250,00	0,704	0,000001	175910775,5	0,1	0,016	2,431520279	0,003	0,00002507
				281,60	0,555	0,000001	156170787,9	0,1	0,015	1,867458168	0,002	0,00001925
6	5-6	180,37	0,003168	56,00	1,286	0,000001	72028979,96	0,1	0,023	108,0272073	0,0011	0,00000601
				66,60	0,909	0,000001	60564908,07	0,1	0,022	73,02448097	0,0007	0,00000406
				80,00	0,630	0,000001	50420285,97	0,1	0,021	48,31602129	0,0005	0,00000269
7	6-7	79,9	0,000968	56,00	0,393	0,000001	22008854,99	0,1	0,023	47,85681674	0,000	0,00000056
8	5-8	86,93	0,010439	97,80	1,390	0,000001	135903349,8	0,1	0,020	14,82596451	0,0016	0,00001859
				111,40	1,071	0,000001	119311917,5	0,1	0,019	11,07235966	0,0012	0,00001388
				124,80	0,853	0,000001	106501182,8	0,1	0,019	8,586439343	0,0009	0,00001076
				142,60	0,654	0,000001	93207206,22	0,1	0,018	6,373687441	0,0007	0,00000799
9	8-9	197,53	0,002409	56,00	0,978	0,000001	54772036,84	0,1	0,023	118,3058008	0,0007	0,00000348
				66,60	0,692	0,000001	46054565,51	0,1	0,022	79,97290164	0,0005	0,00000235
10	8-10	138,01	0,002717	56,00	1,103	0,000001	61774854,34	0,1	0,023	82,65737148	0,0006	0,00000442
				66,60	0,780	0,000001	51942820,47	0,1	0,022	55,87502205	0,0004	0,00000299
				80,00	0,541	0,000001	43242398,04	0,1	0,021	36,9693263	0,00027	0,00000198
11	10-11	85,27	0,001034	56,00	0,420	0,000001	23509458,74	0,1	0,023	51,07293489	0,000	0,00000064
12	12-5	90,59	0,017622	124,80	1,441	0,000001	179783872,3	0,1	0,019	8,947790499	0,003	0,00003067
				142,60	1,103	0,000001	157342407,1	0,1	0,018	6,641884969	0,002	0,00002277
				160,60	0,870	0,000001	139707517,2	0,1	0,018	5,094238682	0,002	0,00001746
				178,40	0,705	0,000001	125768090	0,1	0,017	4,030338953	0,001	0,00001382
				200,80	0,556	0,000001	111738183,6	0,1	0,017	3,097462707	0,001	0,00001062
13	12-13	99,69	0,022946	142,60	1,437	0,000001	204879064,5	0,1	0,018	7,309020424	0,004	0,00003860
				160,60	1,133	0,000001	181916280,2	0,1	0,018	5,605912125	0,003	0,00002961

				178,40	0,918	0,000001	163765440,5	0,1	0,017	4,435143465	0,002	0,00002342
				200,80	0,725	0,000001	145496785,8	0,1	0,017	3,408560091	0,002	0,00001800
				223,40	0,585	0,000001	130777773,5	0,1	0,016	2,689090219	0,001	0,00001420
14	13-14	88,55	0,026928	160,60	1,329	0,000001	213485644,2	0,1	0,018	4,979446662	0,004	0,00004078
				178,40	1,077	0,000001	192184946,5	0,1	0,017	3,939508334	0,003	0,00003226
				200,80	0,850	0,000001	170745988,3	0,1	0,017	3,027643173	0,002	0,00002479
				223,40	0,687	0,000001	153472669,9	0,1	0,016	2,388572502	0,002	0,00001956
				250,00	0,549	0,000001	137143177,8	0,1	0,016	1,860648084	0,001	0,00001524
15	14-15	157,21	0,031361	178,40	1,255	0,000001	223823236,3	0,1	0,017	6,994093908	0,007	0,00004376
				200,80	0,990	0,000001	198854907,2	0,1	0,017	5,375187464	0,005	0,00003363
				223,40	0,800	0,000001	178737982,8	0,1	0,016	4,240594947	0,004	0,00002653
				250,00	0,639	0,000001	159720261,4	0,1	0,016	3,303329389	0,003	0,00002067
				281,60	0,504	0,000001	141797107,1	0,1	0,015	2,537028817	0,002	0,00001587
16	15-16	146,01	0,001782	56,00	1,018	0,000001	57022942,47	0,1	0,023	87,44901125	0,00028	0,00000190
				66,60	0,720	0,000001	47947218,89	0,1	0,022	59,11415362	0,00019	0,00000129
17	14-17	206,62	0,002508	56,00	1,018	0,000001	57022942,47	0,1	0,023	123,7498439	0,00078	0,00000377
				66,60	0,720	0,000001	47947218,89	0,1	0,022	83,65294446	0,00053	0,00000255
18	13-18	239,42	0,002915	56,00	1,184	0,000001	66276665,59	0,1	0,023	143,3938152	0,00122	0,00000509
				66,60	0,837	0,000001	55728127,22	0,1	0,022	96,93177441	0,00082	0,00000344
				80,00	0,580	0,000001	46393665,91	0,1	0,021	64,13416552	0,00054	0,00000228
19	12-19	257,98	0,004114	66,60	1,181	0,000001	78650262,57	0,1	0,022	104,4446025	0,0018	0,00000685
				80,00	0,818	0,000001	65476343,59	0,1	0,021	69,10461779	0,0012	0,00000453
				97,80	0,548	0,000001	53559381,26	0,1	0,020	44,00045204	0,0007	0,00000289
20	19-20	79,78	0,000968	56,00	0,393	0,000001	22008854,99	0,1	0,023	47,78494167	0,00004	0,00000056
21	5-21	239,41	0,002915	56,00	1,184	0,000001	66276665,59	0,1	0,023	47,78196715	0,00041	0,00000170

				66,60	0,837	0,000001	55728127,22	0,1	0,022	32,29979518	0,00027	0,00000115
				80,00	0,580	0,000001	46393665,91	0,1	0,021	21,37091189	0,00018	0,00000076
22	8-22	205,61	0,004257	66,60	1,222	0,000001	81384095,22	0,1	0,022	83,24223173	0,002	0,00000734
				80,00	0,847	0,000001	67752259,27	0,1	0,021	55,07627988	0,001	0,00000485
				97,80	0,567	0,000001	55421070,98	0,1	0,020	35,06827324	0,001	0,00000309
23	22-23	57,94	0,00176	56,00	0,715	0,000001	40016099,98	0,1	0,023	34,70225056	0,00011	0,00000186
24	23-24	86,45	0,001056	56,00	0,429	0,000001	24009659,99	0,1	0,023	51,77961177	0,00006	0,00000067
25	1-25	183,05	0,040128	200,80	1,267	0,000001	254445002,2	0,1	0,017	6,258634044	0,010	0,00005506
				223,40	1,024	0,000001	228704370,9	0,1	0,016	4,937555307	0,008	0,00004343
				250,00	0,817	0,000001	204370225,8	0,1	0,016	3,84623739	0,006	0,00003383
				281,60	0,644	0,000001	181436635,1	0,1	0,015	2,953985306	0,005	0,00002599
				317,40	0,507	0,000001	160972137,5	0,1	0,015	2,266220992	0,004	0,00001994
26	25-26	120,18	0,002024	56,00	0,822	0,000001	46018514,97	0,1	0,023	71,97942693	0,0003	0,00000245
				66,60	0,581	0,000001	38694246,82	0,1	0,022	48,6571146	0,0002	0,00000166
27	26-27	46,52	0,000561	56,00	0,228	0,000001	12755131,87	0,1	0,023	27,86531544	0,000009	0,00000019
28	25-28	93,43	0,035871	178,40	1,435	0,000001	256011074,6	0,1	0,017	4,156578258	0,005	0,00005724
				200,80	1,133	0,000001	227452070,3	0,1	0,017	3,194461973	0,004	0,00004399
				223,40	0,915	0,000001	204442147,3	0,1	0,016	2,520173631	0,003	0,00003471
				250,00	0,731	0,000001	182689502,8	0,1	0,016	1,963156821	0,003	0,00002704
				281,60	0,576	0,000001	162188834,2	0,1	0,015	1,507744605	0,002	0,00002076
29	28-29	187,53	0,002277	56,00	0,924	0,000001	51770829,35	0,1	0,023	112,3167979	0,001	0,00000311
				66,60	0,654	0,000001	43531027,68	0,1	0,022	75,9244896	0,000	0,00000210
30	28-30	95,73	0,03245	178,40	1,298	0,000001	231595421,7	0,1	0,017	4,258914334	0,004	0,00004685
				200,80	1,025	0,000001	205760075,8	0,1	0,017	3,273112673	0,003	0,00003600
				223,40	0,828	0,000001	184944598,1	0,1	0,016	2,582224612	0,003	0,00002840

				250,00	0,661	0,000001	165266492,9	0,1	0,016	2,011494999	0,002	0,00002213
				281,60	0,521	0,000001	146720963,2	0,1	0,015	1,54487122	0,002	0,00001699
31	30-31	217,58	0,002651	56,00	1,076	0,000001	60274250,59	0,1	0,023	130,3137933	0,001	0,00000421
				66,60	0,761	0,000001	50681051,55	0,1	0,022	88,09000616	0,001	0,00000285
32	30-32	279,79	0,00341	56,00	1,384	0,000001	77531193,71	0,1	0,023	167,5714718	0,002	0,00000696
				66,60	0,979	0,000001	65191394,11	0,1	0,022	113,2752616	0,001	0,00000471
				80,00	0,678	0,000001	54271835,59	0,1	0,021	74,94751958	0,001	0,00000311
33	30-33	86,56	0,025234	160,60	1,246	0,000001	200055583,3	0,1	0,018	4,867552123	0,003	0,00003581
				178,40	1,010	0,000001	180094880,4	0,1	0,017	3,850984085	0,002	0,00002833
				200,80	0,797	0,000001	160004614,9	0,1	0,017	2,959610976	0,002	0,00002177
				223,40	0,644	0,000001	143817935	0,1	0,016	2,334901866	0,001	0,00001718
				250,00	0,514	0,000001	128515706,7	0,1	0,016	1,818841201	0,001	0,00001338
34	33-34	271,27	0,0033	56,00	1,340	0,000001	75030187,46	0,1	0,023	162,4688393	0,002	0,00000652
				66,60	0,947	0,000001	63088445,91	0,1	0,022	109,8260126	0,0012	0,00000441
				80,00	0,657	0,000001	52521131,22	0,1	0,021	72,66539237	0,0008	0,00000292
35	33-35	279,87	0,00341	56,00	1,384	0,000001	77531193,71	0,1	0,023	167,6193853	0,0019	0,00000696
				66,60	0,979	0,000001	65191394,11	0,1	0,022	113,3076503	0,0013	0,00000471
				80,00	0,678	0,000001	54271835,59	0,1	0,021	74,96894923	0,0009	0,00000311
36	33-36	47,77	0,017468	124,80	1,428	0,000001	178212727,3	0,1	0,019	4,718358034	0,0014	0,00003014
				142,60	1,094	0,000001	155967379,9	0,1	0,018	3,502405797	0,0011	0,00002237
				160,60	0,862	0,000001	138486602,5	0,1	0,018	2,686299515	0,0008	0,00001716
				178,40	0,699	0,000001	124668993,1	0,1	0,017	2,12528291	0,0006	0,00001358
				200,80	0,552	0,000001	110761695,1	0,1	0,017	1,633357723	0,0005	0,00001043
37	36-37	263,98	0,003212	56,00	1,304	0,000001	73029382,46	0,1	0,023	158,1028453	0,0016	0,00000618
				66,60	0,922	0,000001	61406087,35	0,1	0,022	106,8747102	0,0011	0,00000418
				80,00	0,639	0,000001	51120567,72	0,1	0,021	70,71271955	0,0007	0,00000276

38	36-38	89,75	0,013684	111,40	1,404	0,000001	156400448,2	0,1	0,019	11,43144835	0,0021	0,00002385
				124,80	1,119	0,000001	139607451,4	0,1	0,019	8,86488999	0,0017	0,00001850
				142,60	0,857	0,000001	122180995,3	0,1	0,018	6,580362074	0,0012	0,00001373
				160,60	0,676	0,000001	108486985,9	0,1	0,018	5,047063076	0,0009	0,00001053
				178,40	0,547	0,000001	97662611,72	0,1	0,017	3,99302563	0,0007	0,00000833
39	38-39	287,26	0,003498	56,00	1,420	0,000001	79531998,71	0,1	0,023	172,0452705	0,002	0,00000733
				66,60	1,004	0,000001	66873752,66	0,1	0,022	116,2994378	0,001	0,00000495
				80,00	0,696	0,000001	55672399,09	0,1	0,021	76,94840854	0,001	0,00000328
40	38-40	244,75	0,002981	56,00	1,210	0,000001	67777269,34	0,1	0,023	146,5859602	0,001	0,00000532
				66,60	0,856	0,000001	56989896,14	0,1	0,022	99,08958395	0,001	0,00000360
				80,00	0,593	0,000001	47444088,54	0,1	0,021	65,56183861	0,001	0,00000238
41	38-41	134,05	0,006116	80,00	1,217	0,000001	97339163,2	0,1	0,021	35,90717608	0,001	0,00001002
				97,80	0,814	0,000001	79623037,38	0,1	0,020	22,86275126	0,001	0,00000638
				111,40	0,627	0,000001	69902451,13	0,1	0,019	17,07449656	0,001	0,00000476
				124,80	0,500	0,000001	62396899,48	0,1	0,019	13,24107366	0,000	0,00000369
42	41-42	368,62	0,004488	66,60	1,288	0,000001	85800286,44	0,1	0,022	149,2373957	0,003	0,00000815
				80,00	0,893	0,000001	71428738,46	0,1	0,021	98,74117021	0,002	0,00000540
				97,80	0,597	0,000001	58428415,92	0,1	0,020	62,87060346	0,001	0,00000344

Πίνακας V.4: Υπολογισμός Γραμμικών Απωλειών-Q10%
Υπολογισμός σε MS Excel

✓ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΓΡΑΜΜΙΚΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΓΙΑ ΑΥΞΗΣΗ ΠΑΡΟΧΗΣ Q 15%

ΑΓΩΓΟΙ	ΚΟΜΒΟΙ	ΜΗΚΟΣ (m)	ΠΑΡΟΧΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ Q (m ³ /s)	ΑΠΟΔΕΚΤΕΣ ΕΣΩΤ. ΔΙΑΜΕΤΡΟΙ D (mm)	ΝΕΕΣ ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ V (m/s)	ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗ ΣΥΝΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ν (m ² /s)	ΑΡΙΘΜΟΣ REYNOLDS	ΤΡΑΧΥΤΗΤΑ PVC k (mm)	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΤΡΙΒΗΣ f	ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΑΓΩΓΟΥ R (m/(m ³ /s) ²)	ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΓΡΑΜΜΙΚΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΣHf (m)	ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΑΝΑ ΜΕΤΡΟ ΜΗΚΟΥΣ S (m)
1	0-1	59,29	0,0801665	281,60	1,287	0,000001	362468600,7	0,1	0,015	0,956770253	0,006	0,00010371
				317,40	1,013	0,000001	321585248,8	0,1	0,015	0,734004342	0,005	0,00007956
				402,20	0,631	0,000001	253782093,4	0,1	0,014	0,434873658	0,003	0,00004714
				447	0,511	0,000001	228347109,5	0,1	0,014	0,344462916	0,002	0,00003734
2	1-2	26,92	0,038226	200,80	1,207	0,000001	242384735,2	0,1	0,017	0,920418909	0,001	0,00004996
				223,40	0,975	0,000001	217864166,7	0,1	0,016	0,726136193	0,001	0,00003941
				250,00	0,779	0,000001	194683419,3	0,1	0,016	0,565642941	0,001	0,00003070
				281,60	0,614	0,000001	172836842,5	0,1	0,015	0,434425037	0,001	0,00002358
3	3-2	42,07	0,037881	200,80	1,196	0,000001	240197147,4	0,1	0,017	1,43841139	0,002	0,00004906
				223,40	0,966	0,000001	215897883,6	0,1	0,016	1,1347905	0,002	0,00003871
				250,00	0,772	0,000001	192926348,8	0,1	0,016	0,883975062	0,001	0,00003015
				281,60	0,608	0,000001	171276943,2	0,1	0,015	0,678910509	0,001	0,00002316
4	3-4	97,11	0,037352	200,80	1,179	0,000001	236842846	0,1	0,017	3,320280318	0,005	0,00004770
				223,40	0,953	0,000001	212882916,2	0,1	0,016	2,619433458	0,004	0,00003763
				250,00	0,761	0,000001	190232173,9	0,1	0,016	2,040477193	0,003	0,00002932
				281,60	0,600	0,000001	168885097,6	0,1	0,015	1,567127501	0,002	0,00002251
5	4-15	115,72	0,03611	178,40	1,445	0,000001	257716815,9	0,1	0,017	5,148230224	0,007	0,00005801
				200,80	1,140	0,000001	228967529,7	0,1	0,017	3,956577734	0,005	0,00004458
				223,40	0,921	0,000001	205804297	0,1	0,016	3,12142154	0,004	0,00003517

				250,00	0,736	0,000001	183906719,8	0,1	0,016	2,431514855	0,003	0,00002740
				281,60	0,580	0,000001	163269460,1	0,1	0,015	1,867453012	0,002	0,00002104
6	5-6	180,37	0,003312	56,00	1,345	0,000001	75303024,5	0,1	0,023	108,0270631	0,0012	0,00000657
				66,60	0,951	0,000001	63317858,44	0,1	0,022	73,02434848	0,0008	0,00000444
				80,00	0,659	0,000001	52712117,15	0,1	0,021	48,31589996	0,0005	0,00000294
7	6-7	79,9	0,001012	56,00	0,411	0,000001	23009257,49	0,1	0,023	47,85663108	0,000	0,00000061
8	5-8	86,93	0,0109135	97,80	1,453	0,000001	142080774,8	0,1	0,020	14,82594632	0,0018	0,00002031
				111,40	1,120	0,000001	124735186,5	0,1	0,019	11,07234253	0,0013	0,00001517
				124,80	0,892	0,000001	111342145,6	0,1	0,019	8,586423086	0,0010	0,00001176
				142,60	0,683	0,000001	97443897,42	0,1	0,018	6,373672136	0,0008	0,00000873
				160,60	0,539	0,000001	86522414,52	0,1	0,018	4,888546751	0,0006	0,00000670
9	8-9	197,53	0,0025185	56,00	1,023	0,000001	57261674,88	0,1	0,023	118,3055987	0,0008	0,00000380
				66,60	0,723	0,000001	48147954,86	0,1	0,022	79,97271599	0,0005	0,00000257
				80,00	0,501	0,000001	40083172,42	0,1	0,021	52,91347702	0,0003	0,00000170
10	8-10	138,01	0,0028405	56,00	1,153	0,000001	64582802,26	0,1	0,023	82,65724479	0,0007	0,00000483
				66,60	0,815	0,000001	54303857,76	0,1	0,022	55,87490565	0,0005	0,00000327
				80,00	0,565	0,000001	45207961,59	0,1	0,021	36,96921971	0,00030	0,00000216
11	10-11	85,27	0,001081	56,00	0,439	0,000001	24578070,5	0,1	0,023	51,07274817	0,000	0,00000070
12	12-5	90,59	0,018423	142,60	1,154	0,000001	164494334,7	0,1	0,018	6,641875013	0,002	0,00002488
				160,60	0,909	0,000001	146057858,9	0,1	0,018	5,094229242	0,002	0,00001909
				178,40	0,737	0,000001	131484821,4	0,1	0,017	4,030329943	0,001	0,00001510
				200,80	0,582	0,000001	116817191,9	0,1	0,017	3,097454153	0,001	0,00001161
13	12-13	99,69	0,023989	160,60	1,184	0,000001	190185202	0,1	0,018	5,605903933	0,003	0,00003236
				178,40	0,960	0,000001	171209324,2	0,1	0,017	4,435135646	0,003	0,00002560
				200,80	0,758	0,000001	152110276,1	0,1	0,017	3,408552668	0,002	0,00001968

				223,40	0,612	0,000001	136722217,7	0,1	0,016	2,689083133	0,002	0,00001552
14	13-14	88,55	0,028152	160,60	1,390	0,000001	223189537,1	0,1	0,018	4,979440361	0,004	0,00004457
				178,40	1,126	0,000001	200920625,9	0,1	0,017	3,939502321	0,003	0,00003526
				200,80	0,889	0,000001	178507169,6	0,1	0,017	3,027637464	0,002	0,00002710
				223,40	0,718	0,000001	160448700,4	0,1	0,016	2,388567051	0,002	0,00002138
				250,00	0,574	0,000001	143376958,7	0,1	0,016	1,860642892	0,001	0,00001665
15	14-15	157,21	0,0327865	178,40	1,312	0,000001	233997019,8	0,1	0,017	6,9940846	0,008	0,00004782
				200,80	1,035	0,000001	207893766,6	0,1	0,017	5,375178627	0,006	0,00003675
				223,40	0,836	0,000001	186862436,6	0,1	0,016	4,240586511	0,005	0,00002900
				250,00	0,668	0,000001	166980273,3	0,1	0,016	3,303321352	0,004	0,00002259
				281,60	0,526	0,000001	148242430,2	0,1	0,015	2,537021177	0,003	0,00001735
16	15-16	146,01	0,001863	56,00	1,065	0,000001	59614894,4	0,1	0,023	87,44886721	0,00030	0,00000208
				66,60	0,753	0,000001	50126637,93	0,1	0,022	59,11402127	0,00021	0,00000141
17	14-17	206,62	0,002622	56,00	1,065	0,000001	59614894,4	0,1	0,023	123,74964	0,00085	0,00000412
				66,60	0,753	0,000001	50126637,93	0,1	0,022	83,65275718	0,00058	0,00000278
				80,00	0,522	0,000001	41730426,08	0,1	0,021	55,34831158	0,00038	0,00000184
18	13-18	239,42	0,0030475	56,00	1,237	0,000001	69289241,3	0,1	0,023	143,3936089	0,00133	0,00000556
				66,60	0,875	0,000001	58261223,91	0,1	0,022	96,93158487	0,00090	0,00000376
				80,00	0,606	0,000001	48502468,91	0,1	0,021	64,13399194	0,00060	0,00000249
19	12-19	257,98	0,004301	66,60	1,235	0,000001	82225274,5	0,1	0,022	104,4444527	0,0019	0,00000749
				80,00	0,856	0,000001	68452541,02	0,1	0,021	69,10448061	0,0013	0,00000496
				97,80	0,573	0,000001	55993898,59	0,1	0,020	44,00032725	0,0008	0,00000316
20	19-20	79,78	0,001012	56,00	0,411	0,000001	23009257,49	0,1	0,023	47,78475629	0,00005	0,00000061
21	5-21	239,41	0,0030475	56,00	1,237	0,000001	69289241,3	0,1	0,023	47,78189841	0,00044	0,00000185
				66,60	0,875	0,000001	58261223,91	0,1	0,022	32,29973202	0,00030	0,00000125

				80,00	0,606	0,000001	48502468,91	0,1	0,021	21,37085405	0,00020	0,00000083
22	8-22	205,61	0,0044505	66,60	1,278	0,000001	85083372,28	0,1	0,022	83,24211596	0,002	0,00000802
				80,00	0,885	0,000001	70831907,42	0,1	0,021	55,07617386	0,001	0,00000531
				97,80	0,592	0,000001	57940210,57	0,1	0,020	35,06817679	0,001	0,00000338
23	22-23	57,94	0,0018400	56,00	0,747	0,000001	41835013,61	0,1	0,023	34,70217194	0,00000	0,00000000
				66,60	0,528	0,000001	35176588,02	0,1	0,022	23,45823516	0,00000	0,00000000
24	23-24	86,45	0,001104	56,00	0,448	0,000001	25101008,17	0,1	0,023	51,77942602	0,00006	0,00000073
25	1-25	183,05	0,041952	200,80	1,325	0,000001	266010684,2	0,1	0,017	6,258625802	0,011	0,00006017
				223,40	1,070	0,000001	239100024,1	0,1	0,016	4,937547438	0,009	0,00004747
				250,00	0,855	0,000001	213659781,5	0,1	0,016	3,846229894	0,007	0,00003698
				281,60	0,674	0,000001	189683754,9	0,1	0,015	2,953978181	0,005	0,00002840
				317,40	0,530	0,000001	168289052,9	0,1	0,015	2,266214218	0,004	0,00002179
26	25-26	120,18	0,002116	56,00	0,859	0,000001	48110265,65	0,1	0,023	71,97928313	0,0003	0,00000268
				66,60	0,607	0,000001	40453076,23	0,1	0,022	48,65698249	0,0002	0,00000181
27	26-27	46,52	0,0005865	56,00	0,238	0,000001	13334910,59	0,1	0,023	27,86513886	0,000010	0,00000021
28	25-28	93,43	0,0375015	200,80	1,184	0,000001	237790800,7	0,1	0,017	3,194457319	0,004	0,00004808
				223,40	0,957	0,000001	213734972,2	0,1	0,016	2,520169188	0,004	0,00003794
				250,00	0,764	0,000001	190993571,1	0,1	0,016	1,963152588	0,003	0,00002955
				281,60	0,602	0,000001	169561053,9	0,1	0,015	1,507740582	0,002	0,00002270
29	28-29	187,53	0,0023805	56,00	0,967	0,000001	54124048,86	0,1	0,023	112,3165961	0,001	0,00000339
				66,60	0,683	0,000001	45509710,75	0,1	0,022	75,92430418	0,000	0,00000229
30	28-30	95,73	0,033925	178,40	1,357	0,000001	242122486,3	0,1	0,017	4,258908837	0,005	0,00005120
				200,80	1,071	0,000001	215112806,5	0,1	0,017	3,273107455	0,004	0,00003935
				223,40	0,865	0,000001	193351170,8	0,1	0,016	2,58221963	0,003	0,00003104
				250,00	0,691	0,000001	172778606,2	0,1	0,016	2,011490253	0,002	0,00002418

				281,60	0,545	0,000001	153390097,9	0,1	0,015	1,544866708	0,002	0,00001857
31	30-31	217,58	0,0027715	56,00	1,125	0,000001	63013989,25	0,1	0,023	130,3135891	0,001	0,00000460
				66,60	0,796	0,000001	52984735,71	0,1	0,022	88,08981855	0,001	0,00000311
				80,00	0,551	0,000001	44109792,48	0,1	0,021	58,28400508	0,000	0,00000206
32	30-32	279,79	0,003565	56,00	1,447	0,000001	81055338,87	0,1	0,023	167,5712625	0,002	0,00000761
				66,60	1,023	0,000001	68154639,29	0,1	0,022	113,2750693	0,001	0,00000515
				80,00	0,709	0,000001	56738737,21	0,1	0,021	74,94734344	0,001	0,00000340
33	30-33	86,56	0,026381	160,60	1,302	0,000001	209149018,9	0,1	0,018	4,867545593	0,003	0,00003914
				178,40	1,055	0,000001	188281011,4	0,1	0,017	3,850977853	0,003	0,00003096
				200,80	0,833	0,000001	167277551,9	0,1	0,017	2,959605059	0,002	0,00002380
				223,40	0,673	0,000001	150355113,8	0,1	0,016	2,334896217	0,002	0,00001877
				250,00	0,537	0,000001	134357329,7	0,1	0,016	1,81883582	0,001	0,00001462
34	33-34	271,27	0,00345	56,00	1,401	0,000001	78440650,52	0,1	0,023	162,4686302	0,002	0,00000713
				66,60	0,990	0,000001	65956102,54	0,1	0,022	109,8258205	0,0013	0,00000482
				80,00	0,686	0,000001	54908455,37	0,1	0,021	72,66521647	0,0009	0,00000319
35	33-35	279,87	0,003565	56,00	1,447	0,000001	81055338,87	0,1	0,023	167,6191759	0,0021	0,00000761
				66,60	1,023	0,000001	68154639,29	0,1	0,022	113,3074579	0,0014	0,00000515
				80,00	0,709	0,000001	56738737,21	0,1	0,021	74,96877304	0,0010	0,00000340
36	33-36	47,77	0,018262	124,80	1,493	0,000001	186313305,8	0,1	0,019	4,718352413	0,0016	0,00003294
				142,60	1,143	0,000001	163056806,2	0,1	0,018	3,502400505	0,0012	0,00002445
				160,60	0,902	0,000001	144781448,1	0,1	0,018	2,686294497	0,0009	0,00001875
				178,40	0,731	0,000001	130335765,5	0,1	0,017	2,125278121	0,0007	0,00001484
				200,80	0,577	0,000001	115796317,6	0,1	0,017	1,633353177	0,0005	0,00001140
37	36-37	263,98	0,003358	56,00	1,363	0,000001	76348899,84	0,1	0,023	158,1026368	0,0018	0,00000675
				66,60	0,964	0,000001	64197273,14	0,1	0,022	106,8745187	0,0012	0,00000457
				80,00	0,668	0,000001	53444229,89	0,1	0,021	70,71254416	0,0008	0,00000302

38	36-38	89,75	0,014306	111,40	1,468	0,000001	163509559,5	0,1	0,019	11,43143449	0,0023	0,00002607
				124,80	1,169	0,000001	145953244,6	0,1	0,019	8,864876834	0,0018	0,00002022
				142,60	0,896	0,000001	127734676,9	0,1	0,018	6,580349689	0,0013	0,00001501
				160,60	0,706	0,000001	113418212,5	0,1	0,018	5,047051333	0,0010	0,00001151
				178,40	0,572	0,000001	102101821,3	0,1	0,017	3,993014422	0,0008	0,00000911
39	38-39	287,26	0,003657	56,00	1,485	0,000001	83147089,56	0,1	0,023	172,0450604	0,002	0,00000801
				66,60	1,050	0,000001	69913468,7	0,1	0,022	116,2992448	0,002	0,00000541
				80,00	0,728	0,000001	58202962,69	0,1	0,021	76,94823179	0,001	0,00000358
40	38-40	244,75	0,0031165	56,00	1,265	0,000001	70858054,31	0,1	0,023	146,5857535	0,001	0,00000582
				66,60	0,895	0,000001	59580345,96	0,1	0,022	99,08939406	0,001	0,00000393
				80,00	0,620	0,000001	49600638,01	0,1	0,021	65,56166471	0,001	0,00000260
41	38-41	134,05	0,006394	80,00	1,272	0,000001	101763670,6	0,1	0,021	35,90712619	0,001	0,00001095
				97,80	0,851	0,000001	83242266,35	0,1	0,020	22,86270588	0,001	0,00000697
				111,40	0,656	0,000001	73079835,27	0,1	0,019	17,07445384	0,001	0,00000521
				124,80	0,523	0,000001	65233122,19	0,1	0,019	13,2410331	0,001	0,00000404
42	41-42	368,62	0,004692	66,60	1,347	0,000001	89700299,46	0,1	0,022	149,2371977	0,003	0,00000891
				80,00	0,933	0,000001	74675499,3	0,1	0,021	98,74098896	0,002	0,00000590
				97,80	0,625	0,000001	61084253,01	0,1	0,020	62,87043858	0,001	0,00000375

Πίνακας V.5: Υπολογισμός Γραμμικών Απωλειών-Q15%
Υπολογισμός σε MS Excel

✓ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΓΡΑΜΜΙΚΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΓΙΑ ΑΥΞΗΣΗ ΠΑΡΟΧΗΣ Q 20%

ΑΓΩΓΟΙ	ΚΟΜΒΟΙ	ΜΗΚΟΣ (m)	ΠΑΡΟΧΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ Q (m ³ /s)	ΑΠΟΔΕΚΤΕΣ ΕΣΩΤ. ΔΙΑΜΕΤΡΟΙ D (mm)	ΝΕΕΣ ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ V (m/s)	ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗ ΣΥΝΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ν (m ² /s)	ΑΡΙΘΜΟΣ REYNOLDS	ΤΡΑΧΥΤΗΤΑ PVC k (mm)	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΤΡΙΒΗΣ f	ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΑΓΩΓΟΥ R (m/(m ³ /s) ²)	ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΓΡΑΜΜΙΚΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΣΗf (m)	ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΑΝΑ ΜΕΤΡΟ ΜΗΚΟΥΣ S (m)
1	0-1	59,29	0,083652	281,60	1,343	0,000001	378228105,1	0,1	0,015	0,956769066	0,007	0,00011292
				317,40	1,057	0,000001	335567216,1	0,1	0,015	0,734003214	0,005	0,00008663
				402,20	0,658	0,000001	264816097,5	0,1	0,014	0,434872636	0,003	0,00005133
				447	0,533	0,000001	238275244,7	0,1	0,014	0,344461937	0,002	0,00004065
2	1-2	26,92	0,039888	200,80	1,260	0,000001	252923202	0,1	0,017	0,920417695	0,001	0,00005440
				223,40	1,018	0,000001	227336521,8	0,1	0,016	0,726135035	0,001	0,00004292
				250,00	0,813	0,000001	203147915,8	0,1	0,016	0,565641838	0,001	0,00003343
				281,60	0,640	0,000001	180351487,8	0,1	0,015	0,434423988	0,001	0,00002568
				317,4	0,504	0,000001	160009385,5	0,1	0,015	0,333278854	0,001	0,00001970
3	3-2	42,07	0,039528	200,80	1,248	0,000001	250640501,6	0,1	0,017	1,438409478	0,002	0,00005342
				223,40	1,008	0,000001	225284748,1	0,1	0,016	1,134788675	0,002	0,00004215
				250,00	0,805	0,000001	201314450,9	0,1	0,016	0,883973323	0,001	0,00003283
				281,60	0,635	0,000001	178723766,8	0,1	0,015	0,678908856	0,001	0,00002521
4	3-4	97,11	0,038976	200,80	1,231	0,000001	247140361	0,1	0,017	3,320275849	0,005	0,00005194
				223,40	0,994	0,000001	222138695,1	0,1	0,016	2,619429191	0,004	0,00004098
				250,00	0,794	0,000001	198503138	0,1	0,016	2,040473128	0,003	0,00003192
				281,60	0,626	0,000001	176227927,9	0,1	0,015	1,567123637	0,002	0,00002452
5	4-15	115,72	0,03768	200,80	1,190	0,000001	238922639,7	0,1	0,017	3,956572244	0,006	0,00004854

				223,40	0,961	0,000001	214752310	0,1	0,016	3,121416299	0,004	0,00003830
				250,00	0,768	0,000001	191902664,2	0,1	0,016	2,431509861	0,003	0,00002983
				281,60	0,605	0,000001	170368132,3	0,1	0,015	1,867448266	0,003	0,00002291
6	5-6	180,37	0,003456	56,00	1,403	0,000001	78577069,05	0,1	0,023	108,0269303	0,0013	0,00000715
				66,60	0,992	0,000001	66070808,81	0,1	0,022	73,02422651	0,0009	0,00000484
				80,00	0,688	0,000001	55003948,33	0,1	0,021	48,31578826	0,0006	0,00000320
7	6-7	79,9	0,001056	56,00	0,429	0,000001	24009659,99	0,1	0,023	47,85646016	0,000	0,00000067
8	5-8	86,93	0,011388	111,40	1,168	0,000001	130158455,4	0,1	0,019	11,07232676	0,0014	0,00001652
				124,80	0,931	0,000001	116183108,5	0,1	0,019	8,586408118	0,0011	0,00001281
				142,60	0,713	0,000001	101680588,6	0,1	0,018	6,373658046	0,0008	0,00000951
				160,60	0,562	0,000001	90284258,63	0,1	0,018	4,888533391	0,0006	0,00000729
9	8-9	197,53	0,002628	56,00	1,067	0,000001	59751312,92	0,1	0,023	118,3054127	0,0008	0,00000414
				66,60	0,754	0,000001	50241344,2	0,1	0,022	79,97254507	0,0006	0,00000280
				80,00	0,523	0,000001	41825919,04	0,1	0,021	52,9133205	0,0004	0,00000185
10	8-10	138,01	0,002964	56,00	1,203	0,000001	67390750,19	0,1	0,023	82,65712816	0,0007	0,00000526
				66,60	0,851	0,000001	56664895,05	0,1	0,022	55,87479849	0,0005	0,00000356
				80,00	0,590	0,000001	47173525,13	0,1	0,021	36,96912157	0,00032	0,00000235
11	10-11	85,27	0,001128	56,00	0,458	0,000001	25646682,26	0,1	0,023	51,07257627	0,000	0,00000076
12	12-5	90,59	0,019224	142,60	1,204	0,000001	171646262,3	0,1	0,018	6,641865847	0,002	0,00002710
				160,60	0,949	0,000001	152408200,5	0,1	0,018	5,094220551	0,002	0,00002078
				178,40	0,769	0,000001	137201552,7	0,1	0,017	4,030321648	0,001	0,00001644
				200,80	0,607	0,000001	121896200,2	0,1	0,017	3,097446277	0,001	0,00001264
13	12-13	99,69	0,025032	160,60	1,236	0,000001	198454123,8	0,1	0,018	5,605896391	0,004	0,00003524
				178,40	1,001	0,000001	178653207,9	0,1	0,017	4,435128448	0,003	0,00002788
				200,80	0,790	0,000001	158723766,4	0,1	0,017	3,408545834	0,002	0,00002142

				223,40	0,639	0,000001	142666662	0,1	0,016	2,689076608	0,002	0,00001690
				250	0,510	0,000001	127486929,1	0,1	0,016	2,094736352	0,001	0,00001317
14	13-14	88,55	0,029376	160,60	1,450	0,000001	232893430,1	0,1	0,018	4,979434561	0,004	0,00004853
				178,40	1,175	0,000001	209656305,3	0,1	0,017	3,939496784	0,003	0,00003839
				200,80	0,928	0,000001	186268350,9	0,1	0,017	3,027632208	0,003	0,00002951
				223,40	0,749	0,000001	167424730,8	0,1	0,016	2,388562033	0,002	0,00002328
				250,00	0,598	0,000001	149610739,5	0,1	0,016	1,860638111	0,002	0,00001813
				178,40	1,369	0,000001	244170803,3	0,1	0,017	6,99407603	0,008	0,00005207
15	14-15	157,21	0,034212	200,80	1,080	0,000001	216932626	0,1	0,017	5,375170491	0,006	0,00004002
				223,40	0,873	0,000001	194986890,4	0,1	0,016	4,240578743	0,005	0,00003157
				250,00	0,697	0,000001	174240285,2	0,1	0,016	3,303313952	0,004	0,00002459
				281,60	0,549	0,000001	154687753,2	0,1	0,015	2,537014144	0,003	0,00001889
				56,00	1,111	0,000001	62206846,33	0,1	0,023	87,44873459	0,00033	0,00000226
16	15-16	146,01	0,001944	66,60	0,785	0,000001	52306056,97	0,1	0,022	59,11389943	0,00022	0,00000153
				80,00	0,544	0,000001	43544792,43	0,1	0,021	39,11230239	0,00015	0,00000101
				56,00	1,111	0,000001	62206846,33	0,1	0,023	123,7494524	0,00093	0,00000448
17	14-17	206,62	0,002736	66,60	0,785	0,000001	52306056,97	0,1	0,022	83,65258476	0,00063	0,00000303
				80,00	0,544	0,000001	43544792,43	0,1	0,021	55,34815368	0,00041	0,00000201
				56,00	1,291	0,000001	72301817	0,1	0,023	143,393419	0,00145	0,00000606
18	13-18	239,42	0,00318	66,60	0,913	0,000001	60794320,6	0,1	0,022	96,93141036	0,00098	0,00000409
				80,00	0,633	0,000001	50611271,9	0,1	0,021	64,13383213	0,00065	0,00000271
				66,60	1,288	0,000001	85800286,44	0,1	0,022	104,4443148	0,0021	0,00000815
19	12-19	257,98	0,004488	80,00	0,893	0,000001	71428738,46	0,1	0,021	69,10435432	0,0014	0,00000540
				97,80	0,597	0,000001	58428415,92	0,1	0,020	44,00021236	0,0009	0,00000344
				56,00	0,429	0,000001	24009659,99	0,1	0,023	47,78458562	0,00005	0,00000067
20	19-20	79,78	0,001056	56,00	0,429	0,000001	24009659,99	0,1	0,023	47,78458562	0,00005	0,00000067

21	5-21	239,41	0,00318	56,00	1,291	0,000001	72301817	0,1	0,023	47,78183512	0,00048	0,00000202
				66,60	0,913	0,000001	60794320,6	0,1	0,022	32,29967387	0,00033	0,00000136
				80,00	0,633	0,000001	50611271,9	0,1	0,021	21,3708008	0,00022	0,00000090
22	8-22	205,61	0,004644	66,60	1,333	0,000001	88782649,34	0,1	0,022	83,24200938	0,002	0,00000873
				80,00	0,924	0,000001	73911555,57	0,1	0,021	55,07607626	0,001	0,00000578
				97,80	0,618	0,000001	60459350,16	0,1	0,020	35,068088	0,001	0,00000368
23	22-23	57,94	0,0019200	56,00	0,780	0,000001	43653927,25	0,1	0,023	34,70209956	0,00000	0,00000000
				66,60	0,551	0,000001	36706004,89	0,1	0,022	23,45816866	0,00000	0,00000000
24	23-24	86,45	0,001152	56,00	0,468	0,000001	26192356,35	0,1	0,023	51,77925501	0,00007	0,00000079
25	1-25	183,05	0,043776	200,80	1,382	0,000001	277576366,1	0,1	0,017	6,258618213	0,012	0,00006552
				223,40	1,117	0,000001	249495677,3	0,1	0,016	4,937540193	0,009	0,00005169
				250,00	0,892	0,000001	222949337,2	0,1	0,016	3,846222992	0,007	0,00004027
				281,60	0,703	0,000001	197930874,7	0,1	0,015	2,953971621	0,006	0,00003092
				317,40	0,553	0,000001	175605968,2	0,1	0,015	2,266207981	0,004	0,00002372
26	25-26	120,18	0,002208	56,00	0,896	0,000001	50202016,34	0,1	0,023	71,97915075	0,0004	0,00000292
				66,60	0,634	0,000001	42211905,63	0,1	0,022	48,65686086	0,0002	0,00000197
27	26-27	46,52	0,000612	56,00	0,248	0,000001	13914689,31	0,1	0,023	27,86497627	0,000010	0,00000022
28	25-28	93,43	0,039132	200,80	1,236	0,000001	248129531,2	0,1	0,017	3,194453035	0,005	0,00005236
				223,40	0,998	0,000001	223027797,1	0,1	0,016	2,520165098	0,004	0,00004131
				250,00	0,797	0,000001	199297639,5	0,1	0,016	1,963148692	0,003	0,00003218
				281,60	0,628	0,000001	176933273,7	0,1	0,015	1,507736878	0,002	0,00002471
29	28-29	187,53	0,002484	56,00	1,009	0,000001	56477268,38	0,1	0,023	112,3164103	0,001	0,00000370
				66,60	0,713	0,000001	47488393,83	0,1	0,022	75,92413347	0,000	0,00000250
30	28-30	95,73	0,0354	178,40	1,416	0,000001	252649550,9	0,1	0,017	4,258903777	0,005	0,00005575
				200,80	1,118	0,000001	224465537,3	0,1	0,017	3,27310265	0,004	0,00004285

				223,40	0,903	0,000001	201757743,4	0,1	0,016	2,582215043	0,003	0,00003380
				250,00	0,721	0,000001	180290719,5	0,1	0,016	2,011485884	0,003	0,00002633
				281,60	0,568	0,000001	160059232,5	0,1	0,015	1,544862555	0,002	0,00002022
31	30-31	217,58	0,002892	56,00	1,174	0,000001	65753727,92	0,1	0,023	130,3134011	0,001	0,00000501
				66,60	0,830	0,000001	55288419,87	0,1	0,022	88,08964581	0,001	0,00000339
				80,00	0,575	0,000001	46027609,54	0,1	0,021	58,28384689	0,000	0,00000224
32	30-32	279,79	0,00372	66,60	1,068	0,000001	71117884,48	0,1	0,022	113,2748922	0,002	0,00000560
				80,00	0,740	0,000001	59205638,83	0,1	0,021	74,94718127	0,001	0,00000371
33	30-33	86,56	0,027528	160,60	1,359	0,000001	218242454,5	0,1	0,018	4,867539582	0,004	0,00004261
				178,40	1,101	0,000001	196467142,3	0,1	0,017	3,850972115	0,003	0,00003371
				200,80	0,869	0,000001	174550489	0,1	0,017	2,959599612	0,002	0,00002591
				223,40	0,702	0,000001	156892292,7	0,1	0,016	2,334891016	0,002	0,00002044
				250,00	0,561	0,000001	140198952,7	0,1	0,016	1,818830865	0,001	0,00001592
34	33-34	271,27	0,0036	56,00	1,462	0,000001	81851113,59	0,1	0,023	162,4684377	0,002	0,00000776
				66,60	1,033	0,000001	68823759,17	0,1	0,022	109,8256437	0,0014	0,00000525
				80,00	0,716	0,000001	57295779,51	0,1	0,021	72,66505453	0,0009	0,00000347
35	33-35	279,87	0,00372	56,00	1,510	0,000001	84579484,04	0,1	0,023	167,6189831	0,0023	0,00000829
				66,60	1,068	0,000001	71117884,48	0,1	0,022	113,3072807	0,0016	0,00000560
				80,00	0,740	0,000001	59205638,83	0,1	0,021	74,96861082	0,0010	0,00000371
36	33-36	47,77	0,019056	142,60	1,193	0,000001	170146232,6	0,1	0,018	3,502395633	0,0013	0,00002662
				160,60	0,941	0,000001	151076293,7	0,1	0,018	2,686289878	0,0010	0,00002042
				178,40	0,762	0,000001	136002537,9	0,1	0,017	2,125273712	0,0008	0,00001616
				200,80	0,602	0,000001	120830940,1	0,1	0,017	1,633348991	0,0006	0,00001242
37	36-37	263,98	0,003504	56,00	1,423	0,000001	79668417,23	0,1	0,023	158,1024449	0,0019	0,00000735
				66,60	1,006	0,000001	66988458,93	0,1	0,022	106,8743424	0,0013	0,00000497
				80,00	0,697	0,000001	55767892,06	0,1	0,021	70,7123827	0,0009	0,00000329

38	36-38	89,75	0,014928	124,80	1,220	0,000001	152299037,9	0,1	0,019	8,864864721	0,0020	0,00002201
				142,60	0,935	0,000001	133288358,5	0,1	0,018	6,580338287	0,0015	0,00001634
				160,60	0,737	0,000001	118349439,1	0,1	0,018	5,047040522	0,0011	0,00001253
				178,40	0,597	0,000001	106541031	0,1	0,017	3,993004103	0,0009	0,00000991
39	38-39	287,26	0,003816	66,60	1,095	0,000001	72953184,73	0,1	0,022	116,2990671	0,002	0,00000590
				80,00	0,759	0,000001	60733526,28	0,1	0,021	76,94806907	0,001	0,00000390
				97,8	0,508	0,000001	49679776,1	0,1	0,020	48,99462692	0,001	0,00000248
40	38-40	244,75	0,003252	56,00	1,320	0,000001	73938839,28	0,1	0,023	146,5855632	0,002	0,00000633
				66,60	0,933	0,000001	62170795,79	0,1	0,022	99,08921922	0,001	0,00000428
				80,00	0,647	0,000001	51757187,49	0,1	0,021	65,5615046	0,001	0,00000283
41	38-41	134,05	0,006672	80,00	1,327	0,000001	106188178	0,1	0,021	35,90708026	0,002	0,00001192
				97,80	0,888	0,000001	86861495,32	0,1	0,020	22,8626641	0,001	0,00000759
				111,40	0,685	0,000001	76257219,41	0,1	0,019	17,0744145	0,001	0,00000567
				124,80	0,545	0,000001	68069344,89	0,1	0,019	13,24099576	0,001	0,00000440
42	41-42	368,62	0,004896	66,60	1,405	0,000001	93600312,48	0,1	0,022	149,2370155	0,004	0,00000970
				80,00	0,974	0,000001	77922260,14	0,1	0,021	98,7408221	0,002	0,00000642
				97,80	0,652	0,000001	63740090,09	0,1	0,020	62,87028678	0,002	0,00000409
				111,40	0,502	0,000001	55958535,11	0,1	0,019	46,95330068	0,001	0,00000305

Πίνακας V.6: Υπολογισμός Γραμμικών Απωλειών-Q20%
Υπολογισμός σε MS Excel

✓ ΚΩΔΙΚΑΣ ΣΕ LINGO ΤΜΑΜΑΤΟΣ Α ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ
ΓΙΑ ΑΥΞΗΣΗ ΠΑΡΟΧΗΣ Q 10%

```
!OPTIMAZATION PART A;
!ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΣΚΟΠΟΥ Z;
min=54.1*X1+65.0*X2+81.0*X3+
20.6*X4+27.1*X5+31.1*X6+43.3*X7+54.1*X8+
20.6*X9+27.1*X10+31.1*X11+43.3*X12+54.1*X13+
20.6*X14+27.1*X15+31.1*X16+43.3*X17+54.1*X18+
20.6*X19+27.1*X20+31.1*X21+43.3*X22+54.1*X23+
4.0*X24+4.7*X25+6.1*X26+
7.4*X27+9.1*X28+12.5*X29+14.6*X30+
4.0*X31+4.7*X32+
4.0*X33+4.7*X34+6.1*X35+
12.5*X36+14.6*X37+17.8*X38+20.6*X39+27.1*X40+
14.6*X41+17.8*X42+20.6*X43+27.1*X44+31.1*X45+
17.8*X46+20.6*X47+27.1*X48+31.1*X49+43.3*X50+
20.6*X51+27.1*X52+31.1*X53+43.3*X54+54.1*X55+
4.0*X56+4.7*X57+
4.0*X58+4.7*X59+
4.0*X60+4.7*X61+6.1*X62+
4.7*X63+6.1*X64+7.4*X65+
4.0*X66+4.7*X67+6.1*X68+
4.7*X69+6.1*X70+7.4*X71;
```

```
!ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΜΗΚΟΥΣ;
```

```
X1+X2+X3=59.29;
X4+X5+X6+X7+X8=26.92;
X9+X10+X11+X12+X13=42.07;
X14+X15+X16+X17+X18=97.11;
X19+X20+X21+X22+X23=115.72;
X24+X25+X26=180.37;
X27+X28+X29+X30=86.93;
X31+X32=197.53;
X33+X34+X35=138.01;
X36+X37+X38+X39+X40=90.59;
X41+X42+X43+X44+X45=99.69;
X46+X47+X48+X49+X50=88.55;
X51+X52+X53+X54+X55=157.21;
X56+X57=146.01;
X58+X59=206.62;
X60+X61+X62=239.42;
X63+X64+X65=257.98;
X66+X67+X68=239.41;
X69+X70+X71=205.61;
```

```
X1>=0; X2>=0; X3>=0; X4>=0; X5>=0; X6>=0; X7>=0; X8>=0; X9>=0;
X10>=0; X11>=0; X12>=0; X13>=0; X14>=0; X15>=0; X16>=0; X17>=0;
X18>=0; X19>=0; X20>=0; X21>=0; X22>=0; X23>=0; X24>=0; X25>=0;
X26>=0; X27>=0; X28>=0; X29>=0; X30>=0; X31>=0; X32>=0; X33>=0;
X34>=0; X35>=0; X36>=0; X37>=0; X38>=0; X39>=0; X40>=0; X41>=0;
X42>=0; X43>=0; X44>=0; X45>=0; X46>=0; X47>=0; X48>=0; X49>=0;
X50>=0; X51>=0; X52>=0; X53>=0; X54>=0; X55>=0; X56>=0; X57>=0;
X58>=0; X59>=0; X60>=0; X61>=0; X62>=0; X63>=0; X64>=0; X65>=0;
X66>=0; X67>=0; X68>=0; X69>=0; X70>=0; X71>=0;
```

!ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΙΚΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ;**!ΤΜΗΜΑ Α;****!0-1;**

$$0.00003373 * X1 + 0.00002587 * X2 + 0.00001533 * X3 \leq 109 - 89 - 16;$$

!0-2;

$$0.00002145 * X4 + 0.00001648 * X5 + 0.00001300 * X6 + 0.00001013 * X7 + 0.00000778 * X8 + \\ (0.00003373 * X1 + 0.00002587 * X2 + 0.00001533 * X3) \leq 109 - 87 - 16;$$

!0-3;

$$0.00002106 * X9 + 0.00001619 * X10 + 0.00001277 * X11 + 0.00000995 * X12 + 0.00000764 * X13 + \\ (0.00002145 * X4 + 0.00001648 * X5 + 0.00001300 * X6 + 0.00001013 * X7 + 0.00000778 * X8) + \\ (0.00003373 * X1 + 0.00002587 * X2 + 0.00001533 * X3) \leq 109 - 88 - 16;$$

!0-4;

$$0.00002049 * X14 + 0.00001575 * X15 + 0.00001242 * X16 + 0.00000968 * X17 + 0.00000743 * X18 + \\ (0.00002106 * X9 + 0.00001619 * X10 + 0.00001277 * X11 + 0.00000995 * X12 + 0.00000764 * X13) + \\ (0.00002145 * X4 + 0.00001648 * X5 + 0.00001300 * X6 + 0.00001013 * X7 + 0.00000778 * X8) + \\ (0.00003373 * X1 + 0.00002587 * X2 + 0.00001533 * X3) \leq 109 - 86 - 16;$$

!0-15;

$$0.00001860 * X19 + 0.00001430 * X20 + 0.00001128 * X21 + 0.00000879 * X22 + 0.00000675 * X23 + \\ (0.00002049 * X14 + 0.00001575 * X15 + 0.00001242 * X16 + 0.00000968 * X17 + 0.00000743 * X18) + \\ (0.00002106 * X9 + 0.00001619 * X10 + 0.00001277 * X11 + 0.00000995 * X12 + 0.00000764 * X13) + \\ (0.00002145 * X4 + 0.00001648 * X5 + 0.00001300 * X6 + 0.00001013 * X7 + 0.00000778 * X8) + \\ (0.00003373 * X1 + 0.00002587 * X2 + 0.00001533 * X3) \leq 109 - 70 - 16;$$

!0-16;

$$0.00000020 + \\ (0.00001860 * X19 + 0.00001430 * X20 + 0.00001128 * X21 + 0.00000879 * X22 + 0.00000675 * X23) + \\ (0.00002049 * X14 + 0.00001575 * X15 + 0.00001242 * X16 + 0.00000968 * X17 + 0.00000743 * X18) + \\ (0.00002106 * X9 + 0.00001619 * X10 + 0.00001277 * X11 + 0.00000995 * X12 + 0.00000764 * X13) + \\ (0.00002145 * X4 + 0.00001648 * X5 + 0.00001300 * X6 + 0.00001013 * X7 + 0.00000778 * X8) + \\ (0.00003373 * X1 + 0.00002587 * X2 + 0.00001533 * X3) \leq 109 - 84 - 16;$$

!0-14;

$$0.00001534 * X51 + 0.00001179 * X52 + 0.00000930 * X53 + 0.00000724 * X54 + 0.00000556 * X55 + \\ (0.00000020) + \\ (0.00001860 * X19 + 0.00001430 * X20 + 0.00001128 * X21 + 0.00000879 * X22 + 0.00000675 * X23) + \\ (0.00002049 * X14 + 0.00001575 * X15 + 0.00001242 * X16 + 0.00000968 * X17 + 0.00000743 * X18) +$$

$(0.00002106 \cdot X^9 + 0.00001619 \cdot X^{10} + 0.00001277 \cdot X^{11} + 0.00000995 \cdot X^{12} + 0.00000764 \cdot X^{13}) +$
 $(0.00002145 \cdot X^4 + 0.00001648 \cdot X^5 + 0.00001300 \cdot X^6 + 0.00001013 \cdot X^7 + 0.00000778 \cdot X^8) +$
 $(0.00003373 \cdot X^1 + 0.00002587 \cdot X^2 + 0.00001533 \cdot X^3) \leq 109-59-16;$

!0-17;

$0.00000132 \cdot X^{58} + 0.00000089 \cdot X^{59} +$
 $(0.00001534 \cdot X^{51} + 0.00001179 \cdot X^{52} + 0.00000930 \cdot X^{53} + 0.00000724 \cdot X^{54} + 0.00000556 \cdot X^{55}) +$
 $(0.00000020) +$
 $(0.00001860 \cdot X^{19} + 0.00001430 \cdot X^{20} + 0.00001128 \cdot X^{21} + 0.00000879 \cdot X^{22} + 0.00000675 \cdot X^{23}) +$
 $(0.00002049 \cdot X^{14} + 0.00001575 \cdot X^{15} + 0.00001242 \cdot X^{16} + 0.00000968 \cdot X^{17} + 0.00000743 \cdot X^{18}) +$
 $(0.00002106 \cdot X^9 + 0.00001619 \cdot X^{10} + 0.00001277 \cdot X^{11} + 0.00000995 \cdot X^{12} + 0.00000764 \cdot X^{13}) +$
 $(0.00002145 \cdot X^4 + 0.00001648 \cdot X^5 + 0.00001300 \cdot X^6 + 0.00001013 \cdot X^7 + 0.00000778 \cdot X^8) +$
 $(0.00003373 \cdot X^1 + 0.00002587 \cdot X^2 + 0.00001533 \cdot X^3) \leq 109-66-16;$

!0-13;

$0.00001431 \cdot X^{46} + 0.00001132 \cdot X^{47} + 0.00000870 \cdot X^{48} + 0.00000686 \cdot X^{49} + 0.00000535 \cdot X^{50} +$
 $(0.00000132 \cdot X^{58} + 0.00000089 \cdot X^{59}) +$
 $(0.00001534 \cdot X^{51} + 0.00001179 \cdot X^{52} + 0.00000930 \cdot X^{53} + 0.00000724 \cdot X^{54} + 0.00000556 \cdot X^{55}) +$
 $(0.00000020) +$
 $(0.00001860 \cdot X^{19} + 0.00001430 \cdot X^{20} + 0.00001128 \cdot X^{21} + 0.00000879 \cdot X^{22} + 0.00000675 \cdot X^{23}) +$
 $(0.00002049 \cdot X^{14} + 0.00001575 \cdot X^{15} + 0.00001242 \cdot X^{16} + 0.00000968 \cdot X^{17} + 0.00000743 \cdot X^{18}) +$
 $(0.00002106 \cdot X^9 + 0.00001619 \cdot X^{10} + 0.00001277 \cdot X^{11} + 0.00000995 \cdot X^{12} + 0.00000764 \cdot X^{13}) +$
 $(0.00002145 \cdot X^4 + 0.00001648 \cdot X^5 + 0.00001300 \cdot X^6 + 0.00001013 \cdot X^7 + 0.00000778 \cdot X^8) +$
 $(0.00003373 \cdot X^1 + 0.00002587 \cdot X^2 + 0.00001533 \cdot X^3) \leq 109-55-16;$

!0-18;

$0.00000179 \cdot X^{60} + 0.00000121 \cdot X^{61} + 0.00000080 \cdot X^{62} +$
 $(0.00001431 \cdot X^{46} + 0.00001132 \cdot X^{47} + 0.00000870 \cdot X^{48} + 0.00000686 \cdot X^{49} + 0.00000535 \cdot X^{50}) +$
 $(0.00000132 \cdot X^{58} + 0.00000089 \cdot X^{59}) +$
 $(0.00001534 \cdot X^{51} + 0.00001179 \cdot X^{52} + 0.00000930 \cdot X^{53} + 0.00000724 \cdot X^{54} + 0.00000556 \cdot X^{55}) +$
 $(0.00000020) +$
 $(0.00001860 \cdot X^{19} + 0.00001430 \cdot X^{20} + 0.00001128 \cdot X^{21} + 0.00000879 \cdot X^{22} + 0.00000675 \cdot X^{23}) +$
 $(0.00002049 \cdot X^{14} + 0.00001575 \cdot X^{15} + 0.00001242 \cdot X^{16} + 0.00000968 \cdot X^{17} + 0.00000743 \cdot X^{18}) +$
 $(0.00002106 \cdot X^9 + 0.00001619 \cdot X^{10} + 0.00001277 \cdot X^{11} + 0.00000995 \cdot X^{12} + 0.00000764 \cdot X^{13}) +$
 $(0.00002145 \cdot X^4 + 0.00001648 \cdot X^5 + 0.00001300 \cdot X^6 + 0.00001013 \cdot X^7 + 0.00000778 \cdot X^8) +$
 $(0.00003373 \cdot X^1 + 0.00002587 \cdot X^2 + 0.00001533 \cdot X^3) \leq 109-52-16;$

!0-12;

$0.00002731 \cdot X^{40} + 0.00002095 \cdot X^{41} + 0.00001657 \cdot X^{42} + 0.00001274 \cdot X^{43} +$
 $(0.00000179 \cdot X^{60} + 0.00000121 \cdot X^{61} + 0.00000080 \cdot X^{62}) +$
 $(0.00001431 \cdot X^{46} + 0.00001132 \cdot X^{47} + 0.00000870 \cdot X^{48} + 0.00000686 \cdot X^{49} + 0.00000535 \cdot X^{50}) +$

$(0.00000132 * X_{58} + 0.00000089 * X_{59}) +$
 $(0.00001534 * X_{51} + 0.00001179 * X_{52} + 0.00000930 * X_{53} + 0.00000724 * X_{54} + 0.00000556 * X_{55}) +$
 $(0.00000020) +$
 $(0.00001860 * X_{19} + 0.00001430 * X_{20} + 0.00001128 * X_{21} + 0.00000879 * X_{22} + 0.00000675 * X_{23}) +$
 $(0.00002049 * X_{14} + 0.00001575 * X_{15} + 0.00001242 * X_{16} + 0.00000968 * X_{17} + 0.00000743 * X_{18}) +$
 $(0.00002106 * X_9 + 0.00001619 * X_{10} + 0.00001277 * X_{11} + 0.00000995 * X_{12} + 0.00000764 * X_{13}) +$
 $(0.00002145 * X_4 + 0.00001648 * X_5 + 0.00001300 * X_6 + 0.00001013 * X_7 + 0.00000778 * X_8) +$
 $(0.00003373 * X_1 + 0.00002587 * X_2 + 0.00001533 * X_3) \leq 109 - 52 - 16;$

!0-19;

$0.00000239 * X_{63} + 0.00000158 * X_{64} + 0.00000101 * X_{65} +$
 $(0.00002731 * X_{40} + 0.00002095 * X_{41} + 0.00001657 * X_{42} + 0.00001274 * X_{43}) +$
 $(0.00000179 * X_{60} + 0.00000121 * X_{61} + 0.00000080 * X_{62}) +$
 $(0.00001431 * X_{46} + 0.00001132 * X_{47} + 0.00000870 * X_{48} + 0.00000686 * X_{49} + 0.00000535 * X_{50}) +$
 $(0.00000132 * X_{58} + 0.00000089 * X_{59}) +$
 $(0.00001534 * X_{51} + 0.00001179 * X_{52} + 0.00000930 * X_{53} + 0.00000724 * X_{54} + 0.00000556 * X_{55}) +$
 $(0.00000020) +$
 $(0.00001860 * X_{19} + 0.00001430 * X_{20} + 0.00001128 * X_{21} + 0.00000879 * X_{22} + 0.00000675 * X_{23}) +$
 $(0.00002049 * X_{14} + 0.00001575 * X_{15} + 0.00001242 * X_{16} + 0.00000968 * X_{17} + 0.00000743 * X_{18}) +$
 $(0.00002106 * X_9 + 0.00001619 * X_{10} + 0.00001277 * X_{11} + 0.00000995 * X_{12} + 0.00000764 * X_{13}) +$
 $(0.00002145 * X_4 + 0.00001648 * X_5 + 0.00001300 * X_6 + 0.00001013 * X_7 + 0.00000778 * X_8) +$
 $(0.00003373 * X_1 + 0.00002587 * X_2 + 0.00001533 * X_3) \leq 109 - 52 - 16;$

!0-20;

$0.00000020 +$
 $(0.00000239 * X_{63} + 0.00000158 * X_{64} + 0.00000101 * X_{65}) +$
 $(0.00002731 * X_{40} + 0.00002095 * X_{41} + 0.00001657 * X_{42} + 0.00001274 * X_{43}) +$
 $(0.00000179 * X_{60} + 0.00000121 * X_{61} + 0.00000080 * X_{62}) +$
 $(0.00001431 * X_{46} + 0.00001132 * X_{47} + 0.00000870 * X_{48} + 0.00000686 * X_{49} + 0.00000535 * X_{50}) +$
 $(0.00000132 * X_{58} + 0.00000089 * X_{59}) +$
 $(0.00001534 * X_{51} + 0.00001179 * X_{52} + 0.00000930 * X_{53} + 0.00000724 * X_{54} + 0.00000556 * X_{55}) +$
 $(0.00000020) +$
 $(0.00001860 * X_{19} + 0.00001430 * X_{20} + 0.00001128 * X_{21} + 0.00000879 * X_{22} + 0.00000675 * X_{23}) +$
 $(0.00002049 * X_{14} + 0.00001575 * X_{15} + 0.00001242 * X_{16} + 0.00000968 * X_{17} + 0.00000743 * X_{18}) +$
 $(0.00002106 * X_9 + 0.00001619 * X_{10} + 0.00001277 * X_{11} + 0.00000995 * X_{12} + 0.00000764 * X_{13}) +$
 $(0.00002145 * X_4 + 0.00001648 * X_5 + 0.00001300 * X_6 + 0.00001013 * X_7 + 0.00000778 * X_8) +$
 $(0.00003373 * X_1 + 0.00002587 * X_2 + 0.00001533 * X_3) \leq 109 - 50 - 16;$

!0-5;

$0.00001074 * X_{36} + 0.00000797 * X_{37} + 0.00000612 * X_{38} + 0.00000484 * X_{39} + 0.00000372 * X_{40} +$
 $(0.00000020) +$
 $(0.00000239 * X_{63} + 0.00000158 * X_{64} + 0.00000101 * X_{65}) +$
 $(0.00002731 * X_{40} + 0.00002095 * X_{41} + 0.00001657 * X_{42} + 0.00001274 * X_{43}) +$

$(0.00000179 * X_{60} + 0.00000121 * X_{61} + 0.00000080 * X_{62}) +$
 $(0.00001431 * X_{46} + 0.00001132 * X_{47} + 0.00000870 * X_{48} + 0.00000686 * X_{49} + 0.00000535 * X_{50}) +$
 $(0.00000132 * X_{58} + 0.00000089 * X_{59}) +$
 $(0.00001534 * X_{51} + 0.00001179 * X_{52} + 0.00000930 * X_{53} + 0.00000724 * X_{54} + 0.00000556 * X_{55}) +$
 $(0.00000020) +$
 $(0.00001860 * X_{19} + 0.00001430 * X_{20} + 0.00001128 * X_{21} + 0.00000879 * X_{22} + 0.00000675 * X_{23}) +$
 $(0.00002049 * X_{14} + 0.00001575 * X_{15} + 0.00001242 * X_{16} + 0.00000968 * X_{17} + 0.00000743 * X_{18}) +$
 $(0.00002106 * X_9 + 0.00001619 * X_{10} + 0.00001277 * X_{11} + 0.00000995 * X_{12} + 0.00000764 * X_{13}) +$
 $(0.00002145 * X_4 + 0.00001648 * X_5 + 0.00001300 * X_6 + 0.00001013 * X_7 + 0.00000778 * X_8) +$
 $(0.00003373 * X_1 + 0.00002587 * X_2 + 0.00001533 * X_3) \leq 109 - 56 - 16;$

!0-21;

$0.00000060 * X_{66} + 0.00000040 * X_{67} + 0.00000027 * X_{68} +$
 $(0.00001074 * X_{36} + 0.00000797 * X_{37} + 0.00000612 * X_{38} + 0.00000484 * X_{39} + 0.00000372 * X_{40}) +$
 $(0.00000020) +$
 $(0.00000239 * X_{63} + 0.00000158 * X_{64} + 0.00000101 * X_{65}) +$
 $(0.00002731 * X_{40} + 0.00002095 * X_{41} + 0.00001657 * X_{42} + 0.00001274 * X_{43}) +$
 $(0.00000179 * X_{60} + 0.00000121 * X_{61} + 0.00000080 * X_{62}) +$
 $(0.00001431 * X_{46} + 0.00001132 * X_{47} + 0.00000870 * X_{48} + 0.00000686 * X_{49} + 0.00000535 * X_{50}) +$
 $(0.00000132 * X_{58} + 0.00000089 * X_{59}) +$
 $(0.00001534 * X_{51} + 0.00001179 * X_{52} + 0.00000930 * X_{53} + 0.00000724 * X_{54} + 0.00000556 * X_{55}) +$
 $(0.00000020) +$
 $(0.00001860 * X_{19} + 0.00001430 * X_{20} + 0.00001128 * X_{21} + 0.00000879 * X_{22} + 0.00000675 * X_{23}) +$
 $(0.00002049 * X_{14} + 0.00001575 * X_{15} + 0.00001242 * X_{16} + 0.00000968 * X_{17} + 0.00000743 * X_{18}) +$
 $(0.00002106 * X_9 + 0.00001619 * X_{10} + 0.00001277 * X_{11} + 0.00000995 * X_{12} + 0.00000764 * X_{13}) +$
 $(0.00002145 * X_4 + 0.00001648 * X_5 + 0.00001300 * X_6 + 0.00001013 * X_7 + 0.00000778 * X_8) +$
 $(0.00003373 * X_1 + 0.00002587 * X_2 + 0.00001533 * X_3) \leq 109 - 51 - 16;$

!0-6;

$0.00000212 * X_{24} + 0.00000143 * X_{25} + 0.00000095 * X_{26} +$
 $(0.00001074 * X_{36} + 0.00000797 * X_{37} + 0.00000612 * X_{38} + 0.00000484 * X_{39} + 0.00000372 * X_{40}) +$
 $(0.00000020) +$
 $(0.00000239 * X_{63} + 0.00000158 * X_{64} + 0.00000101 * X_{65}) +$
 $(0.00002731 * X_{40} + 0.00002095 * X_{41} + 0.00001657 * X_{42} + 0.00001274 * X_{43}) +$
 $(0.00000179 * X_{60} + 0.00000121 * X_{61} + 0.00000080 * X_{62}) +$
 $(0.00001431 * X_{46} + 0.00001132 * X_{47} + 0.00000870 * X_{48} + 0.00000686 * X_{49} + 0.00000535 * X_{50}) +$
 $(0.00000132 * X_{58} + 0.00000089 * X_{59}) +$
 $(0.00001534 * X_{51} + 0.00001179 * X_{52} + 0.00000930 * X_{53} + 0.00000724 * X_{54} + 0.00000556 * X_{55}) +$
 $(0.00000020) +$
 $(0.00001860 * X_{19} + 0.00001430 * X_{20} + 0.00001128 * X_{21} + 0.00000879 * X_{22} + 0.00000675 * X_{23}) +$
 $(0.00002049 * X_{14} + 0.00001575 * X_{15} + 0.00001242 * X_{16} + 0.00000968 * X_{17} + 0.00000743 * X_{18}) +$
 $(0.00002106 * X_9 + 0.00001619 * X_{10} + 0.00001277 * X_{11} + 0.00000995 * X_{12} + 0.00000764 * X_{13}) +$

(0.00002145*X4+0.00001648*X5+0.00001300*X6+0.00001013*X7+0.00000778*X8)+
 (0.00003373*X1+0.00002587*X2+0.00001533*X3) <=109-52-16;

!0-7;

0.00000020+
 (0.00000212*X24+0.00000143*X25+0.00000095*X26)+
 (0.00001074*X36+0.00000797*X37+0.00000612*X38+0.00000484*X39+0.00000372*X40)+
 (0.00000020)+
 (0.00000239*X63+0.00000158*X64+0.00000101*X65)+
 (0.00002731*X40+0.00002095*X41+0.00001657*X42+0.00001274*X43)+
 (0.00000179*X60+0.00000121*X61+0.00000080*X62)+
 (0.00001431*X46+0.00001132*X47+0.00000870*X48+0.00000686*X49+0.00000535*X50)+
 (0.00000132*X58+0.00000089*X59)+
 (0.00001534*X51+0.00001179*X52+0.00000930*X53+0.00000724*X54+0.00000556*X55)+
 (0.00000020)+
 (0.00001860*X19+0.00001430*X20+0.00001128*X21+0.00000879*X22+0.00000675*X23)+
 (0.00002049*X14+0.00001575*X15+0.00001242*X16+0.00000968*X17+0.00000743*X18)+
 (0.00002106*X9+0.00001619*X10+0.00001277*X11+0.00000995*X12+0.00000764*X13)+
 (0.00002145*X4+0.00001648*X5+0.00001300*X6+0.00001013*X7+0.00000778*X8)+
 (0.00003373*X1+0.00002587*X2+0.00001533*X3) <=109-53-16;

!0-8;

0.00000652*X27+0.00000487*X28+0.00000377*X29+0.00000280*X30+
 (0.00000060*X66+0.00000040*X67+0.00000027*X68)+
 (0.00000020)+
 (0.00000212*X24+0.00000143*X25+0.00000095*X26)+
 (0.00001074*X36+0.00000797*X37+0.00000612*X38+0.00000484*X39+0.00000372*X40)+
 (0.00000020)+
 (0.00000239*X63+0.00000158*X64+0.00000101*X65)+
 (0.00002731*X40+0.00002095*X41+0.00001657*X42+0.00001274*X43)+
 (0.00000179*X60+0.00000121*X61+0.00000080*X62)+
 (0.00001431*X46+0.00001132*X47+0.00000870*X48+0.00000686*X49+0.00000535*X50)+
 (0.00000132*X58+0.00000089*X59)+
 (0.00001534*X51+0.00001179*X52+0.00000930*X53+0.00000724*X54+0.00000556*X55)+
 (0.00000020)+
 (0.00001860*X19+0.00001430*X20+0.00001128*X21+0.00000879*X22+0.00000675*X23)+
 (0.00002049*X14+0.00001575*X15+0.00001242*X16+0.00000968*X17+0.00000743*X18)+
 (0.00002106*X9+0.00001619*X10+0.00001277*X11+0.00000995*X12+0.00000764*X13)+
 (0.00002145*X4+0.00001648*X5+0.00001300*X6+0.00001013*X7+0.00000778*X8)+
 (0.00003373*X1+0.00002587*X2+0.00001533*X3) <=109-64-16;

!0-9;

0.00000121*X31+0.00000082*X32+
 (0.00000652*X27+0.00000487*X28+0.00000377*X29+0.00000280*X30)+
 (0.00000060*X66+0.00000040*X67+0.00000027*X68)+
 (0.00000020)+

(0.00000212*X24+0.00000143*X25+0.00000095*X26)+
 (0.00001074*X36+0.00000797*X37+0.00000612*X38+0.00000484*X39+0.000003
 72*X40)+
 (0.00000020)+
 (0.00000239*X63+0.00000158*X64+0.00000101*X65)+
 (0.00002731*X40+0.00002095*X41+0.00001657*X42+0.00001274*X43)+
 (0.00000179*X60+0.00000121*X61+0.00000080*X62)+
 (0.00001431*X46+0.00001132*X47+0.00000870*X48+0.00000686*X49+0.000005
 35*X50)+
 (0.00000132*X58+0.00000089*X59)+
 (0.00001534*X51+0.00001179*X52+0.00000930*X53+0.00000724*X54+0.000005
 56*X55)+
 (0.00000020)+
 (0.00001860*X19+0.00001430*X20+0.00001128*X21+0.00000879*X22+0.000006
 75*X23)+
 (0.00002049*X14+0.00001575*X15+0.00001242*X16+0.00000968*X17+0.000007
 43*X18)+
 (0.00002106*X9+0.00001619*X10+0.00001277*X11+0.00000995*X12+0.0000076
 4*X13)+
 (0.00002145*X4+0.00001648*X5+0.00001300*X6+0.00001013*X7+0.00000778*X
 8)+
 (0.00003373*X1+0.00002587*X2+0.00001533*X3) <=109-53-16;

!0-22;

0.00000257*X69+0.00000170*X70+0.00000108*X71+
 (0.00000652*X27+0.00000487*X28+0.00000377*X29+0.00000280*X30)+
 (0.00000060*X66+0.00000040*X67+0.00000027*X68)+
 (0.00000020)+
 (0.00000212*X24+0.00000143*X25+0.00000095*X26)+
 (0.00001074*X36+0.00000797*X37+0.00000612*X38+0.00000484*X39+0.000003
 72*X40)+
 (0.00000020)+
 (0.00000239*X63+0.00000158*X64+0.00000101*X65)+
 (0.00002731*X40+0.00002095*X41+0.00001657*X42+0.00001274*X43)+
 (0.00000179*X60+0.00000121*X61+0.00000080*X62)+
 (0.00001431*X46+0.00001132*X47+0.00000870*X48+0.00000686*X49+0.000005
 35*X50)+
 (0.00000132*X58+0.00000089*X59)+
 (0.00001534*X51+0.00001179*X52+0.00000930*X53+0.00000724*X54+0.000005
 56*X55)+
 (0.00000020)+
 (0.00001860*X19+0.00001430*X20+0.00001128*X21+0.00000879*X22+0.000006
 75*X23)+
 (0.00002049*X14+0.00001575*X15+0.00001242*X16+0.00000968*X17+0.000007
 43*X18)+
 (0.00002106*X9+0.00001619*X10+0.00001277*X11+0.00000995*X12+0.0000076
 4*X13)+
 (0.00002145*X4+0.00001648*X5+0.00001300*X6+0.00001013*X7+0.00000778*X
 8)+
 (0.00003373*X1+0.00002587*X2+0.00001533*X3) <=109-49-16;

!0-23;

0.00000065+
 (0.00000257*X69+0.00000170*X70+0.00000108*X71)+
 (0.00000652*X27+0.00000487*X28+0.00000377*X29+0.00000280*X30)+
 (0.00000060*X66+0.00000040*X67+0.00000027*X68)+
 (0.00000020)+
 (0.00000212*X24+0.00000143*X25+0.00000095*X26)+
 (0.00001074*X36+0.00000797*X37+0.00000612*X38+0.00000484*X39+0.000003
 72*X40)+
 (0.00000020)+

$(0.00000239 * X63 + 0.00000158 * X64 + 0.00000101 * X65) +$
 $(0.00002731 * X40 + 0.00002095 * X41 + 0.00001657 * X42 + 0.00001274 * X43) +$
 $(0.00000179 * X60 + 0.00000121 * X61 + 0.00000080 * X62) +$
 $(0.00001431 * X46 + 0.00001132 * X47 + 0.00000870 * X48 + 0.00000686 * X49 + 0.00000535 * X50) +$
 $(0.00000132 * X58 + 0.00000089 * X59) +$
 $(0.00001534 * X51 + 0.00001179 * X52 + 0.00000930 * X53 + 0.00000724 * X54 + 0.00000556 * X55) +$
 $(0.00000020) +$
 $(0.00001860 * X19 + 0.00001430 * X20 + 0.00001128 * X21 + 0.00000879 * X22 + 0.00000675 * X23) +$
 $(0.00002049 * X14 + 0.00001575 * X15 + 0.00001242 * X16 + 0.00000968 * X17 + 0.00000743 * X18) +$
 $(0.00002106 * X9 + 0.00001619 * X10 + 0.00001277 * X11 + 0.00000995 * X12 + 0.00000764 * X13) +$
 $(0.00002145 * X4 + 0.00001648 * X5 + 0.00001300 * X6 + 0.00001013 * X7 + 0.00000778 * X8) +$
 $(0.00003373 * X1 + 0.00002587 * X2 + 0.00001533 * X3) \leq 109 - 52 - 16;$

!0-24;

$0.00000023 +$
 $(0.00000065) +$
 $(0.00000257 * X69 + 0.00000170 * X70 + 0.00000108 * X71) +$
 $(0.00000652 * X27 + 0.00000487 * X28 + 0.00000377 * X29 + 0.00000280 * X30) +$
 $(0.00000060 * X66 + 0.00000040 * X67 + 0.00000027 * X68) +$
 $(0.00000020) +$
 $(0.00000212 * X24 + 0.00000143 * X25 + 0.00000095 * X26) +$
 $(0.00001074 * X36 + 0.00000797 * X37 + 0.00000612 * X38 + 0.00000484 * X39 + 0.00000372 * X40) +$
 $(0.00000020) +$
 $(0.00000239 * X63 + 0.00000158 * X64 + 0.00000101 * X65) +$
 $(0.00002731 * X40 + 0.00002095 * X41 + 0.00001657 * X42 + 0.00001274 * X43) +$
 $(0.00000179 * X60 + 0.00000121 * X61 + 0.00000080 * X62) +$
 $(0.00001431 * X46 + 0.00001132 * X47 + 0.00000870 * X48 + 0.00000686 * X49 + 0.00000535 * X50) +$
 $(0.00000132 * X58 + 0.00000089 * X59) +$
 $(0.00001534 * X51 + 0.00001179 * X52 + 0.00000930 * X53 + 0.00000724 * X54 + 0.00000556 * X55) +$
 $(0.00000020) +$
 $(0.00001860 * X19 + 0.00001430 * X20 + 0.00001128 * X21 + 0.00000879 * X22 + 0.00000675 * X23) +$
 $(0.00002049 * X14 + 0.00001575 * X15 + 0.00001242 * X16 + 0.00000968 * X17 + 0.00000743 * X18) +$
 $(0.00002106 * X9 + 0.00001619 * X10 + 0.00001277 * X11 + 0.00000995 * X12 + 0.00000764 * X13) +$
 $(0.00002145 * X4 + 0.00001648 * X5 + 0.00001300 * X6 + 0.00001013 * X7 + 0.00000778 * X8) +$
 $(0.00003373 * X1 + 0.00002587 * X2 + 0.00001533 * X3) \leq 109 - 52 - 16;$

!0-10;

$0.00000154 * X33 + 0.00000104 * X34 + 0.00000069 * X35 +$
 $(0.00000121 * X31 + 0.00000082 * X32) +$
 $(0.00000023) +$
 $(0.00000065) +$
 $(0.00000257 * X69 + 0.00000170 * X70 + 0.00000108 * X71) +$
 $(0.00000652 * X27 + 0.00000487 * X28 + 0.00000377 * X29 + 0.00000280 * X30) +$
 $(0.00000060 * X66 + 0.00000040 * X67 + 0.00000027 * X68) +$
 $(0.00000020) +$
 $(0.00000212 * X24 + 0.00000143 * X25 + 0.00000095 * X26) +$
 $(0.00001074 * X36 + 0.00000797 * X37 + 0.00000612 * X38 + 0.00000484 * X39 + 0.00000372 * X40) +$

(0.00000020)+
 (0.00000239*X63+0.00000158*X64+0.00000101*X65)+
 (0.00002731*X40+0.00002095*X41+0.00001657*X42+0.00001274*X43)+
 (0.00000179*X60+0.00000121*X61+0.00000080*X62)+
 (0.00001431*X46+0.00001132*X47+0.00000870*X48+0.00000686*X49+0.000005
 35*X50)+
 (0.00000132*X58+0.00000089*X59)+
 (0.00001534*X51+0.00001179*X52+0.00000930*X53+0.00000724*X54+0.000005
 56*X55)+
 (0.00000020)+
 (0.00001860*X19+0.00001430*X20+0.00001128*X21+0.00000879*X22+0.000006
 75*X23)+
 (0.00002049*X14+0.00001575*X15+0.00001242*X16+0.00000968*X17+0.000007
 43*X18)+
 (0.00002106*X9+0.00001619*X10+0.00001277*X11+0.00000995*X12+0.0000076
 4*X13)+
 (0.00002145*X4+0.00001648*X5+0.00001300*X6+0.00001013*X7+0.00000778*X
 8)+
 (0.00003373*X1+0.00002587*X2+0.00001533*X3) <=109-55-16;

!0-11;

0.00000023+
 (0.00000154*X33+0.00000104*X34+0.00000069*X35)+
 (0.00000121*X31+0.00000082*X32)+
 (0.00000023)+
 (0.00000065)+
 (0.00000257*X69+0.00000170*X70+0.00000108*X71)+
 (0.00000652*X27+0.00000487*X28+0.00000377*X29+0.00000280*X30)+
 (0.00000060*X66+0.00000040*X67+0.00000027*X68)+
 (0.00000020)+
 (0.00000212*X24+0.00000143*X25+0.00000095*X26)+
 (0.00001074*X36+0.00000797*X37+0.00000612*X38+0.00000484*X39+0.000003
 72*X40)+
 (0.00000020)+
 (0.00000239*X63+0.00000158*X64+0.00000101*X65)+
 (0.00002731*X40+0.00002095*X41+0.00001657*X42+0.00001274*X43)+
 (0.00000179*X60+0.00000121*X61+0.00000080*X62)+
 (0.00001431*X46+0.00001132*X47+0.00000870*X48+0.00000686*X49+0.000005
 35*X50)+
 (0.00000132*X58+0.00000089*X59)+
 (0.00001534*X51+0.00001179*X52+0.00000930*X53+0.00000724*X54+0.000005
 56*X55)+
 (0.00000020)+
 (0.00001860*X19+0.00001430*X20+0.00001128*X21+0.00000879*X22+0.000006
 75*X23)+
 (0.00002049*X14+0.00001575*X15+0.00001242*X16+0.00000968*X17+0.000007
 43*X18)+
 (0.00002106*X9+0.00001619*X10+0.00001277*X11+0.00000995*X12+0.0000076
 4*X13)+
 (0.00002145*X4+0.00001648*X5+0.00001300*X6+0.00001013*X7+0.00000778*X
 8)+
 (0.00003373*X1+0.00002587*X2+0.00001533*X3) <=109-56-16;

✓ ΚΩΔΙΚΑΣ ΣΕ LINGO ΤΜΑΜΑΤΟΣ Β ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ
ΓΙΑ ΑΥΞΗΣΗ ΠΑΡΟΧΗΣ Q 10%

```
!OPTIMAZATION PART B;
!ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΣΚΟΠΟΥ Z;
min=54.1*X1+65.0*X2+81.0*X3+
27.1*X72+31.1*X73+43.3*X74+54.1*X75+65.0*X76+
4.0*X77+4.7*X78+
20.6*X79+27.1*X80+31.1*X81+43.3*X82+54.1*X83+
4.0*X84+4.7*X85+
20.6*X86+27.1*X87+31.1*X88+43.3*X89+54.1*X90+
4.0*X91+4.7*X92+
4.0*X93+4.7*X94+6.1*X95+
17.8*X96+20.6*X97+27.1*X98+31.1*X99+43.3*X100+
4.0*X101+4.7*X102+6.1*X103+
4.0*X104+4.7*X105+6.1*X106+
12.5*X107+14.6*X108+17.8*X109+20.6*X110+27.1*X111+
4.0*X112+4.7*X113+6.1*X114+
9.1*X115+12.5*X116+14.6*X117+17.8*X118+20.6*X119+
4.0*X120+4.7*X121+6.1*X122+
4.0*X123+4.7*X124+6.1*X125+
6.1*X126+7.4*X127+9.1*X128+12.5*X129+
4.7*X130+6.1*X131+7.4*X132;
```

```
!ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΜΗΚΟΥΣ;
```

```
X1+X2+X3=59.29;
X72+X73+X74+X75+X76=183.05;
X77+X78=120.18;
X79+X80+X81+X82+X83=93.43;
X84+X85=187.53;
X86+X87+X88+X89+X90=95.73;
X91+X92=217.58;
X93+X94+X95=279.79;
X96+X97+X98+X99+X100=86.56;
X101+X102+X103=271.27;
X104+X105+X106=279.87;
X107+X108+X109+X110+X111=47.77;
X112+X113+X114=263.98;
X115+X116+X117+X118+X119=89.75;
X120+X121+X122=287.26;
X123+X124+X125=244.75;
X126+X127+X128+X129=134.05;
X130+X131+X132=368.62;
```

```
X1>=0; X2>=0; X3>=0; X4>=0; X72>=0; X73>=0; X74>=0; X75>=0; X76>=0;
X77>=0; X78>=0; X79>=0; X80>=0; X81>=0; X82>=0; X83>=0;
X84>=0; X85>=0; X86>=0; X87>=0; X88>=0; X89>=0; X90>=0; X91>=0;
X92>=0; X93>=0; X94>=0; X95>=0; X96>=0; X97>=0; X98>=0; X99>=0;
X100>=0; X101>=0; X102>=0; X103>=0; X104>=0; X105>=0; X106>=0;
X107>=0; X108>=0; X109>=0; X110>=0; X111>=0; X112>=0; X113>=0;
X114>=0; X115>=0; X116>=0; X117>=0; X118>=0; X119>=0; X120>=0;
X121>=0; X122>=0; X123>=0; X124>=0; X125>=0; X126>=0; X127>=0;
X128>=0; X129>=0; X130>=0; X131>=0; X132>=0;
```

!ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΙΚΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ;

!ΤΜΗΝΑ Β;

!0-1;

$0.00003373 \cdot X_1 + 0.00002587 \cdot X_2 + 0.00001533 \cdot X_3 \leq 109-89-16;$

!0-25;

$0.00001930 \cdot X_72 + 0.00001523 \cdot X_73 + 0.00001186 \cdot X_74 + 0.00000911 \cdot X_75 + 0.00000699 \cdot X_76 +$

$(0.00003373 \cdot X_1 + 0.00002587 \cdot X_2 + 0.00001533 \cdot X_3) \leq 109-78-16;$

!0-26;

$0.00000086 \cdot X_77 + 0.00000058 \cdot X_78 +$

$(0.00001930 \cdot X_72 + 0.00001523 \cdot X_73 + 0.00001186 \cdot X_74 + 0.00000911 \cdot X_75 + 0.00000699 \cdot X_76) +$

$(0.00003373 \cdot X_1 + 0.00002587 \cdot X_2 + 0.00001533 \cdot X_3) \leq 109-86-16;$

!0-27;

$0.00000007 +$

$(0.00000086 \cdot X_77 + 0.00000058 \cdot X_78) +$

$(0.00001930 \cdot X_72 + 0.00001523 \cdot X_73 + 0.00001186 \cdot X_74 + 0.00000911 \cdot X_75 + 0.00000699 \cdot X_76) +$

$(0.00003373 \cdot X_1 + 0.00002587 \cdot X_2 + 0.00001533 \cdot X_3) \leq 109-85-16;$

!0-28;

$0.00002007 \cdot X_79 + 0.00001543 \cdot X_80 + 0.00001217 \cdot X_81 + 0.00000948 \cdot X_82 + 0.00000728 \cdot X_83 +$

$(0.00000007) +$

$(0.00000086 \cdot X_77 + 0.00000058 \cdot X_78) +$

$(0.00001930 \cdot X_72 + 0.00001523 \cdot X_73 + 0.00001186 \cdot X_74 + 0.00000911 \cdot X_75 + 0.00000699 \cdot X_76) +$

$(0.00003373 \cdot X_1 + 0.00002587 \cdot X_2 + 0.00001533 \cdot X_3) \leq 109-86-16;$

!0-29;

$0.00000110 \cdot X_84 + 0.00000074 \cdot X_85 +$

$(0.00002007 \cdot X_79 + 0.00001543 \cdot X_80 + 0.00001217 \cdot X_81 + 0.00000948 \cdot X_82 + 0.00000728 \cdot X_83) +$

$(0.00000007) +$

$(0.00000086 \cdot X_77 + 0.00000058 \cdot X_78) +$

$(0.00001930 \cdot X_72 + 0.00001523 \cdot X_73 + 0.00001186 \cdot X_74 + 0.00000911 \cdot X_75 + 0.00000699 \cdot X_76) +$

$(0.00003373 \cdot X_1 + 0.00002587 \cdot X_2 + 0.00001533 \cdot X_3) \leq 109-68-16;$

!0-30;

$0.00001643 \cdot X_86 + 0.00001263 \cdot X_87 + 0.00000996 \cdot X_88 + 0.00000776 \cdot X_89 + 0.00000596 \cdot X_90 +$

$(0.00000110 \cdot X_84 + 0.00000074 \cdot X_85) +$

$(0.00002007 \cdot X_79 + 0.00001543 \cdot X_80 + 0.00001217 \cdot X_81 + 0.00000948 \cdot X_82 + 0.00000728 \cdot X_83) +$

$(0.00000007) +$

$(0.00000086 \cdot X_77 + 0.00000058 \cdot X_78) +$

$(0.00001930 \cdot X_72 + 0.00001523 \cdot X_73 + 0.00001186 \cdot X_74 + 0.00000911 \cdot X_75 + 0.00000699 \cdot X_76) +$

$(0.00003373 \cdot X_1 + 0.00002587 \cdot X_2 + 0.00001533 \cdot X_3) \leq 109-72-16;$

!0-31;

$0.00000148 \cdot X_91 + 0.00000100 \cdot X_92 +$

$(0.00001643 * X_{86} + 0.00001263 * X_{87} + 0.00000996 * X_{88} + 0.00000776 * X_{89} + 0.00000596 * X_{90}) +$
 $(0.00000110 * X_{84} + 0.00000074 * X_{85}) +$
 $(0.00002007 * X_{79} + 0.00001543 * X_{80} + 0.00001217 * X_{81} + 0.00000948 * X_{82} + 0.00000728 * X_{83}) +$
 $(0.00000007) +$
 $(0.00000086 * X_{77} + 0.00000058 * X_{78}) +$
 $(0.00001930 * X_{72} + 0.00001523 * X_{73} + 0.00001186 * X_{74} + 0.00000911 * X_{75} + 0.00000699 * X_{76}) +$
 $(0.00003373 * X_1 + 0.00002587 * X_2 + 0.00001533 * X_3) \leq 109 - 52 - 16;$

!0-32;

$0.00000243 * X_{93} + 0.00000164 * X_{94} + 0.00000109 * X_{95} +$
 $(0.00001643 * X_{86} + 0.00001263 * X_{87} + 0.00000996 * X_{88} + 0.00000776 * X_{89} + 0.00000596 * X_{90}) +$
 $(0.00000110 * X_{84} + 0.00000074 * X_{85}) +$
 $(0.00002007 * X_{79} + 0.00001543 * X_{80} + 0.00001217 * X_{81} + 0.00000948 * X_{82} + 0.00000728 * X_{83}) +$
 $(0.00000007) +$
 $(0.00000086 * X_{77} + 0.00000058 * X_{78}) +$
 $(0.00001930 * X_{72} + 0.00001523 * X_{73} + 0.00001186 * X_{74} + 0.00000911 * X_{75} + 0.00000699 * X_{76}) +$
 $(0.00003373 * X_1 + 0.00002587 * X_2 + 0.00001533 * X_3) \leq 109 - 71 - 16;$

!0-33;

$0.00001255 * X_{96} + 0.00000993 * X_{97} + 0.00000763 * X_{98} + 0.00000602 * X_{99} + 0.00000469 * X_{100} +$
 $(0.00000148 * X_{91} + 0.00000100 * X_{92}) +$
 $(0.00000243 * X_{93} + 0.00000164 * X_{94} + 0.00000109 * X_{95}) +$
 $(0.00001643 * X_{86} + 0.00001263 * X_{87} + 0.00000996 * X_{88} + 0.00000776 * X_{89} + 0.00000596 * X_{90}) +$
 $(0.00000110 * X_{84} + 0.00000074 * X_{85}) +$
 $(0.00002007 * X_{79} + 0.00001543 * X_{80} + 0.00001217 * X_{81} + 0.00000948 * X_{82} + 0.00000728 * X_{83}) +$
 $(0.00000007) +$
 $(0.00000086 * X_{77} + 0.00000058 * X_{78}) +$
 $(0.00001930 * X_{72} + 0.00001523 * X_{73} + 0.00001186 * X_{74} + 0.00000911 * X_{75} + 0.00000699 * X_{76}) +$
 $(0.00003373 * X_1 + 0.00002587 * X_2 + 0.00001533 * X_3) \leq 109 - 56 - 16;$

!0-34;

$0.00000230 * X_{101} + 0.00000155 * X_{102} + 0.00000103 * X_{103} +$
 $(0.00001255 * X_{96} + 0.00000993 * X_{97} + 0.00000763 * X_{98} + 0.00000602 * X_{99} + 0.00000469 * X_{100}) +$
 $(0.00000148 * X_{91} + 0.00000100 * X_{92}) +$
 $(0.00000243 * X_{93} + 0.00000164 * X_{94} + 0.00000109 * X_{95}) +$
 $(0.00001643 * X_{86} + 0.00001263 * X_{87} + 0.00000996 * X_{88} + 0.00000776 * X_{89} + 0.00000596 * X_{90}) +$
 $(0.00000110 * X_{84} + 0.00000074 * X_{85}) +$
 $(0.00002007 * X_{79} + 0.00001543 * X_{80} + 0.00001217 * X_{81} + 0.00000948 * X_{82} + 0.00000728 * X_{83}) +$
 $(0.00000007) +$
 $(0.00000086 * X_{77} + 0.00000058 * X_{78}) +$
 $(0.00001930 * X_{72} + 0.00001523 * X_{73} + 0.00001186 * X_{74} + 0.00000911 * X_{75} + 0.00000699 * X_{76}) +$
 $(0.00003373 * X_1 + 0.00002587 * X_2 + 0.00001533 * X_3) \leq 109 - 51 - 16;$

!0-35;

$0.00000243 * X_{104} + 0.00000164 * X_{105} + 0.00000109 * X_{106} +$
 $(0.00001255 * X_{96} + 0.00000993 * X_{97} + 0.00000763 * X_{98} + 0.00000602 * X_{99} + 0.00000469 * X_{100}) +$

$(0.00000148 \times X_{91} + 0.00000100 \times X_{92}) +$
 $(0.00000243 \times X_{93} + 0.00000164 \times X_{94} + 0.00000109 \times X_{95}) +$
 $(0.00001643 \times X_{86} + 0.00001263 \times X_{87} + 0.00000996 \times X_{88} + 0.00000776 \times X_{89} + 0.00000596 \times X_{90}) +$
 $(0.00000110 \times X_{84} + 0.00000074 \times X_{85}) +$
 $(0.00002007 \times X_{79} + 0.00001543 \times X_{80} + 0.00001217 \times X_{81} + 0.00000948 \times X_{82} + 0.00000728 \times X_{83}) +$
 $(0.00000007) +$
 $(0.00000086 \times X_{77} + 0.00000058 \times X_{78}) +$
 $(0.00001930 \times X_{72} + 0.00001523 \times X_{73} + 0.00001186 \times X_{74} + 0.00000911 \times X_{75} + 0.00000699 \times X_{76}) +$
 $(0.00003373 \times X_1 + 0.00002587 \times X_2 + 0.00001533 \times X_3) \leq 109-54-16;$

!0-36;

$0.00000042 \times X_{107} + 0.00000031 \times X_{108} + 0.00000024 \times X_{109} + 0.00000019 \times X_{110} + 0.00000015 \times X_{111} +$
 $(0.00000230 \times X_{101} + 0.00000155 \times X_{102} + 0.00000103 \times X_{103}) +$
 $(0.00000243 \times X_{104} + 0.00000164 \times X_{105} + 0.00000109 \times X_{106}) +$
 $(0.00001255 \times X_{96} + 0.00000993 \times X_{97} + 0.00000763 \times X_{98} + 0.00000602 \times X_{99} + 0.00000469 \times X_{100}) +$
 $(0.00000148 \times X_{91} + 0.00000100 \times X_{92}) +$
 $(0.00000243 \times X_{93} + 0.00000164 \times X_{94} + 0.00000109 \times X_{95}) +$
 $(0.00001643 \times X_{86} + 0.00001263 \times X_{87} + 0.00000996 \times X_{88} + 0.00000776 \times X_{89} + 0.00000596 \times X_{90}) +$
 $(0.00000110 \times X_{84} + 0.00000074 \times X_{85}) +$
 $(0.00002007 \times X_{79} + 0.00001543 \times X_{80} + 0.00001217 \times X_{81} + 0.00000948 \times X_{82} + 0.00000728 \times X_{83}) +$
 $(0.00000007) +$
 $(0.00000086 \times X_{77} + 0.00000058 \times X_{78}) +$
 $(0.00001930 \times X_{72} + 0.00001523 \times X_{73} + 0.00001186 \times X_{74} + 0.00000911 \times X_{75} + 0.00000699 \times X_{76}) +$
 $(0.00003373 \times X_1 + 0.00002587 \times X_2 + 0.00001533 \times X_3) \leq 109-53-16;$

!0-37;

$0.00000186 \times X_{112} + 0.00000125 \times X_{113} + 0.00000083 \times X_{114} +$
 $(0.00000042 \times X_{107} + 0.00000031 \times X_{108} + 0.00000024 \times X_{109} + 0.00000019 \times X_{110} + 0.00000015 \times X_{111}) +$
 $(0.00000230 \times X_{101} + 0.00000155 \times X_{102} + 0.00000103 \times X_{103}) +$
 $(0.00000243 \times X_{104} + 0.00000164 \times X_{105} + 0.00000109 \times X_{106}) +$
 $(0.00001255 \times X_{96} + 0.00000993 \times X_{97} + 0.00000763 \times X_{98} + 0.00000602 \times X_{99} + 0.00000469 \times X_{100}) +$
 $(0.00000148 \times X_{91} + 0.00000100 \times X_{92}) +$
 $(0.00000243 \times X_{93} + 0.00000164 \times X_{94} + 0.00000109 \times X_{95}) +$
 $(0.00001643 \times X_{86} + 0.00001263 \times X_{87} + 0.00000996 \times X_{88} + 0.00000776 \times X_{89} + 0.00000596 \times X_{90}) +$
 $(0.00000110 \times X_{84} + 0.00000074 \times X_{85}) +$
 $(0.00002007 \times X_{79} + 0.00001543 \times X_{80} + 0.00001217 \times X_{81} + 0.00000948 \times X_{82} + 0.00000728 \times X_{83}) +$
 $(0.00000007) +$
 $(0.00000086 \times X_{77} + 0.00000058 \times X_{78}) +$
 $(0.00001930 \times X_{72} + 0.00001523 \times X_{73} + 0.00001186 \times X_{74} + 0.00000911 \times X_{75} + 0.00000699 \times X_{76}) +$
 $(0.00003373 \times X_1 + 0.00002587 \times X_2 + 0.00001533 \times X_3) \leq 109-53-16;$

!0-38;

$0.00000167 \times X_{115} + 0.00000129 \times X_{116} + 0.00000096 \times X_{117} + 0.00000074 \times X_{118} + 0.00000058 \times X_{119} +$
 $(0.00000186 \times X_{112} + 0.00000125 \times X_{113} + 0.00000083 \times X_{114}) +$
 $(0.00000042 \times X_{107} + 0.00000031 \times X_{108} + 0.00000024 \times X_{109} + 0.00000019 \times X_{110} + 0.00000015 \times X_{111}) +$
 $(0.00000230 \times X_{101} + 0.00000155 \times X_{102} + 0.00000103 \times X_{103}) +$

$(0.00000243 * X_{104} + 0.00000164 * X_{105} + 0.00000109 * X_{106}) +$
 $(0.00001255 * X_{96} + 0.00000993 * X_{97} + 0.00000763 * X_{98} + 0.00000602 * X_{99} + 0.000004$
 $69 * X_{100}) +$
 $(0.00000148 * X_{91} + 0.00000100 * X_{92}) +$
 $(0.00000243 * X_{93} + 0.00000164 * X_{94} + 0.00000109 * X_{95}) +$
 $(0.00001643 * X_{86} + 0.00001263 * X_{87} + 0.00000996 * X_{88} + 0.00000776 * X_{89} + 0.000005$
 $96 * X_{90}) +$
 $(0.00000110 * X_{84} + 0.00000074 * X_{85}) +$
 $(0.00002007 * X_{79} + 0.00001543 * X_{80} + 0.00001217 * X_{81} + 0.00000948 * X_{82} + 0.000007$
 $28 * X_{83}) +$
 $(0.00000007) +$
 $(0.00000086 * X_{77} + 0.00000058 * X_{78}) +$
 $(0.00001930 * X_{72} + 0.00001523 * X_{73} + 0.00001186 * X_{74} + 0.00000911 * X_{75} + 0.000006$
 $99 * X_{76}) +$
 $(0.00003373 * X_1 + 0.00002587 * X_2 + 0.00001533 * X_3) \leq 109 - 52 - 16;$

!0-39;

$0.00000421 * X_{120} + 0.00000285 * X_{121} + 0.00000188 * X_{122} +$
 $(0.00000167 * X_{115} + 0.00000129 * X_{116} + 0.00000096 * X_{117} + 0.00000074 * X_{118} + 0.00$
 $000058 * X_{119}) +$
 $(0.00000186 * X_{112} + 0.00000125 * X_{113} + 0.00000083 * X_{114}) +$
 $(0.00000042 * X_{107} + 0.00000031 * X_{108} + 0.00000024 * X_{109} + 0.00000019 * X_{110} + 0.00$
 $000015 * X_{111}) +$
 $(0.00000230 * X_{101} + 0.00000155 * X_{102} + 0.00000103 * X_{103}) +$
 $(0.00000243 * X_{104} + 0.00000164 * X_{105} + 0.00000109 * X_{106}) +$
 $(0.00001255 * X_{96} + 0.00000993 * X_{97} + 0.00000763 * X_{98} + 0.00000602 * X_{99} + 0.000004$
 $69 * X_{100}) +$
 $(0.00000148 * X_{91} + 0.00000100 * X_{92}) +$
 $(0.00000243 * X_{93} + 0.00000164 * X_{94} + 0.00000109 * X_{95}) +$
 $(0.00001643 * X_{86} + 0.00001263 * X_{87} + 0.00000996 * X_{88} + 0.00000776 * X_{89} + 0.000005$
 $96 * X_{90}) +$
 $(0.00000110 * X_{84} + 0.00000074 * X_{85}) +$
 $(0.00002007 * X_{79} + 0.00001543 * X_{80} + 0.00001217 * X_{81} + 0.00000948 * X_{82} + 0.000007$
 $28 * X_{83}) +$
 $(0.00000007) +$
 $(0.00000086 * X_{77} + 0.00000058 * X_{78}) +$
 $(0.00001930 * X_{72} + 0.00001523 * X_{73} + 0.00001186 * X_{74} + 0.00000911 * X_{75} + 0.000006$
 $99 * X_{76}) +$
 $(0.00003373 * X_1 + 0.00002587 * X_2 + 0.00001533 * X_3) \leq 109 - 51 - 16;$

!0-40;

$0.00006417 * X_{123} + 0.00004338 * X_{124} + 0.00002870 * X_{125} +$
 $(0.00000167 * X_{115} + 0.00000129 * X_{116} + 0.00000096 * X_{117} + 0.00000074 * X_{118} + 0.00$
 $000058 * X_{119}) +$
 $(0.00000186 * X_{112} + 0.00000125 * X_{113} + 0.00000083 * X_{114}) +$
 $(0.00000042 * X_{107} + 0.00000031 * X_{108} + 0.00000024 * X_{109} + 0.00000019 * X_{110} + 0.00$
 $000015 * X_{111}) +$
 $(0.00000230 * X_{101} + 0.00000155 * X_{102} + 0.00000103 * X_{103}) +$
 $(0.00000243 * X_{104} + 0.00000164 * X_{105} + 0.00000109 * X_{106}) +$
 $(0.00001255 * X_{96} + 0.00000993 * X_{97} + 0.00000763 * X_{98} + 0.00000602 * X_{99} + 0.000004$
 $69 * X_{100}) +$
 $(0.00000148 * X_{91} + 0.00000100 * X_{92}) +$
 $(0.00000243 * X_{93} + 0.00000164 * X_{94} + 0.00000109 * X_{95}) +$
 $(0.00001643 * X_{86} + 0.00001263 * X_{87} + 0.00000996 * X_{88} + 0.00000776 * X_{89} + 0.000005$
 $96 * X_{90}) +$
 $(0.00000110 * X_{84} + 0.00000074 * X_{85}) +$
 $(0.00002007 * X_{79} + 0.00001543 * X_{80} + 0.00001217 * X_{81} + 0.00000948 * X_{82} + 0.000007$
 $28 * X_{83}) +$
 $(0.00000007) +$
 $(0.00000086 * X_{77} + 0.00000058 * X_{78}) +$

(0.00001930*X72+0.00001523*X73+0.00001186*X74+0.00000911*X75+0.00000699*X76)+
 (0.00003373*X1+0.00002587*X2+0.00001533*X3) <=109-54-16;

!0-41;

0.00000097*X126+0.00000062*X127+0.00000046*X128+0.00000036*X129+
 (0.00000421*X120+0.00000285*X121+0.00000188*X122)+
 (0.00006417*X123+0.00004338*X124+0.00002870*X125)+
 (0.00000167*X115+0.00000129*X116+0.00000096*X117+0.00000074*X118+0.00000058*X119)+
 (0.00000186*X112+0.00000125*X113+0.00000083*X114)+
 (0.00000042*X107+0.00000031*X108+0.00000024*X109+0.00000019*X110+0.00000015*X111)+
 (0.00000230*X101+0.00000155*X102+0.00000103*X103)+
 (0.00000243*X104+0.00000164*X105+0.00000109*X106)+
 (0.00001255*X96+0.00000993*X97+0.00000763*X98+0.00000602*X99+0.00000469*X100)+
 (0.00000148*X91+0.00000100*X92)+
 (0.00000243*X93+0.00000164*X94+0.00000109*X95)+
 (0.00001643*X86+0.00001263*X87+0.00000996*X88+0.00000776*X89+0.00000596*X90)+
 (0.00000110*X84+0.00000074*X85)+
 (0.00002007*X79+0.00001543*X80+0.00001217*X81+0.00000948*X82+0.00000728*X83)+
 (0.00000007)+
 (0.00000086*X77+0.00000058*X78)+
 (0.00001930*X72+0.00001523*X73+0.00001186*X74+0.00000911*X75+0.00000699*X76)+
 (0.00003373*X1+0.00002587*X2+0.00001533*X3) <=109-50-16;

!0-42;

0.00002654*X130+0.00001756*X131+0.00001118*X132+
 (0.00000097*X126+0.00000062*X127+0.00000046*X128+0.00000036*X129)+
 (0.00000421*X120+0.00000285*X121+0.00000188*X122)+
 (0.00006417*X123+0.00004338*X124+0.00002870*X125)+
 (0.00000167*X115+0.00000129*X116+0.00000096*X117+0.00000074*X118+0.00000058*X119)+
 (0.00000186*X112+0.00000125*X113+0.00000083*X114)+
 (0.00000042*X107+0.00000031*X108+0.00000024*X109+0.00000019*X110+0.00000015*X111)+
 (0.00000230*X101+0.00000155*X102+0.00000103*X103)+
 (0.00000243*X104+0.00000164*X105+0.00000109*X106)+
 (0.00001255*X96+0.00000993*X97+0.00000763*X98+0.00000602*X99+0.00000469*X100)+
 (0.00000148*X91+0.00000100*X92)+
 (0.00000243*X93+0.00000164*X94+0.00000109*X95)+
 (0.00001643*X86+0.00001263*X87+0.00000996*X88+0.00000776*X89+0.00000596*X90)+
 (0.00000110*X84+0.00000074*X85)+
 (0.00002007*X79+0.00001543*X80+0.00001217*X81+0.00000948*X82+0.00000728*X83)+
 (0.00000007)+
 (0.00000086*X77+0.00000058*X78)+
 (0.00001930*X72+0.00001523*X73+0.00001186*X74+0.00000911*X75+0.00000699*X76)+
 (0.00003373*X1+0.00002587*X2+0.00001533*X3) <=109-51-16;

✓ REPORT LINGO ΤΜΑΜΑΤΟΣ Α ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΓΙΑ
ΑΥΞΗΣΗ ΠΑΡΟΧΗΣ Q 10%

Global optimal solution found.
 Objective value: 24627.28
 Infeasibilities: 0.000000
 Total solver iterations: 16
 Elapsed runtime seconds: 0.17

Model Class: LP

Total variables: 71
 Nonlinear variables: 0
 Integer variables: 0
 Total constraints: 115
 Nonlinear constraints: 0
 Total nonzeros: 1209
 Nonlinear nonzeros: 0

	Variable	Value
Reduced Cost		
	X1	59.29000
0.000000	X2	0.000000
10.90000	X3	0.000000
26.90000	X4	26.92000
0.000000	X5	0.000000
6.500000	X6	0.000000
10.50000	X7	0.000000
22.70000	X8	0.000000
33.50000	X9	42.07000
0.000000	X10	0.000000
6.500000	X11	0.000000
10.50000	X12	0.000000
22.70000	X13	0.000000
33.50000	X14	97.11000
0.000000	X15	0.000000
6.500000	X16	0.000000
10.50000	X17	0.000000
22.70000		

	X18	0.000000
33.50000	X19	115.7200
0.000000	X20	0.000000
6.500000	X21	0.000000
10.50000	X22	0.000000
22.70000	X23	0.000000
33.50000	X24	180.3700
0.000000	X25	0.000000
0.7000000	X26	0.000000
2.100000	X27	86.93000
0.000000	X28	0.000000
1.700000	X29	0.000000
5.100000	X30	0.000000
7.200000	X31	197.5300
0.000000	X32	0.000000
0.7000000	X33	138.0100
0.000000	X34	0.000000
0.7000000	X35	0.000000
2.100000	X36	90.59000
0.000000	X37	0.000000
2.100000	X38	0.000000
5.300000	X39	0.000000
8.100000	X40	0.000000
14.60000	X41	99.69000
0.000000	X42	0.000000
3.200000	X43	0.000000
6.000000	X44	0.000000
12.50000	X45	0.000000
16.50000	X46	88.55000
0.000000	X47	0.000000
2.800000		

9.300000	X48	0.000000	
13.30000	X49	0.000000	
25.50000	X50	0.000000	
0.000000	X51	157.2100	
6.500000	X52	0.000000	
10.50000	X53	0.000000	
22.70000	X54	0.000000	
33.50000	X55	0.000000	
0.000000	X56	146.0100	
0.7000000	X57	0.000000	
0.000000	X58	206.6200	
0.7000000	X59	0.000000	
0.000000	X60	239.4200	
0.7000000	X61	0.000000	
2.100000	X62	0.000000	
0.000000	X63	257.9800	
1.400000	X64	0.000000	
2.700000	X65	0.000000	
0.000000	X66	239.4100	
0.7000000	X67	0.000000	
2.100000	X68	0.000000	
0.000000	X69	205.6100	
1.400000	X70	0.000000	
2.700000	X71	0.000000	
	Row	Slack or Surplus	
Dual Price	1	24627.28	-
1.000000	2	0.000000	-
54.10000	3	0.000000	-
20.60000	4	0.000000	-
20.60000	5	0.000000	-
20.60000			

20.60000	6	0.000000	-
4.000000	7	0.000000	-
7.400000	8	0.000000	-
4.000000	9	0.000000	-
4.000000	10	0.000000	-
12.50000	11	0.000000	-
14.60000	12	0.000000	-
17.80000	13	0.000000	-
20.60000	14	0.000000	-
4.000000	15	0.000000	-
4.000000	16	0.000000	-
4.000000	17	0.000000	-
4.700000	18	0.000000	-
4.000000	19	0.000000	-
4.700000	20	0.000000	-
0.000000	21	59.29000	
0.000000	22	0.000000	
0.000000	23	0.000000	
0.000000	24	26.92000	
0.000000	25	0.000000	
0.000000	26	0.000000	
0.000000	27	0.000000	
0.000000	28	0.000000	
0.000000	29	42.07000	
0.000000	30	0.000000	
0.000000	31	0.000000	
0.000000	32	0.000000	
0.000000	33	0.000000	
0.000000	34	97.11000	
0.000000	35	0.000000	

0.000000	36	0.000000
0.000000	37	0.000000
0.000000	38	0.000000
0.000000	39	115.7200
0.000000	40	0.000000
0.000000	41	0.000000
0.000000	42	0.000000
0.000000	43	0.000000
0.000000	44	180.3700
0.000000	45	0.000000
0.000000	46	0.000000
0.000000	47	86.93000
0.000000	48	0.000000
0.000000	49	0.000000
0.000000	50	0.000000
0.000000	51	197.5300
0.000000	52	0.000000
0.000000	53	138.0100
0.000000	54	0.000000
0.000000	55	0.000000
0.000000	56	90.59000
0.000000	57	0.000000
0.000000	58	0.000000
0.000000	59	0.000000
0.000000	60	0.000000
0.000000	61	99.69000
0.000000	62	0.000000
0.000000	63	0.000000
0.000000	64	0.000000
0.000000	65	0.000000

0.000000	66	88.55000
0.000000	67	0.000000
0.000000	68	0.000000
0.000000	69	0.000000
0.000000	70	0.000000
0.000000	71	157.2100
0.000000	72	0.000000
0.000000	73	0.000000
0.000000	74	0.000000
0.000000	75	0.000000
0.000000	76	146.0100
0.000000	77	0.000000
0.000000	78	206.6200
0.000000	79	0.000000
0.000000	80	239.4200
0.000000	81	0.000000
0.000000	82	0.000000
0.000000	83	257.9800
0.000000	84	0.000000
0.000000	85	0.000000
0.000000	86	239.4100
0.000000	87	0.000000
0.000000	88	0.000000
0.000000	89	205.6100
0.000000	90	0.000000
0.000000	91	0.000000
0.000000	92	3.998000
0.000000	93	5.997423
0.000000	94	4.996537
0.000000	95	6.994547

0.000000	96	22.99239
0.000000	97	8.992394
0.000000	98	33.98998
0.000000	99	26.98971
0.000000	100	37.98844
0.000000	101	40.98801
0.000000	102	40.98593
0.000000	103	40.98531
0.000000	104	42.98531
0.000000	105	36.98434
0.000000	106	41.98419
0.000000	107	40.98395
0.000000	108	39.98395
0.000000	109	28.98324
0.000000	110	39.98300
0.000000	111	43.98271
0.000000	112	40.98271
0.000000	113	40.98271
0.000000	114	37.98226
0.000000	115	36.98226

✓ REPORT LINGO ΤΜΑΜΑΤΟΣ Β ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΓΙΑ
ΑΥΞΗΣΗ ΠΑΡΟΧΗΣ Q 10%

Global optimal solution found.
 Objective value: 26178.62
 Infeasibilities: 0.000000
 Total solver iterations: 15
 Elapsed runtime seconds: 0.11

Model Class: LP

Total variables: 65
 Nonlinear variables: 0
 Integer variables: 0

Total constraints: 103
 Nonlinear constraints: 0

Total nonzeros: 802
 Nonlinear nonzeros: 0

	Variable	Value
Reduced Cost		
0.000000	X1	59.29000
10.90000	X2	0.000000
26.90000	X3	0.000000
0.000000	X72	183.0500
4.000000	X73	0.000000
16.20000	X74	0.000000
27.00000	X75	0.000000
37.90000	X76	0.000000
0.000000	X77	120.1800
0.7000000	X78	0.000000
0.000000	X79	93.43000
6.500000	X80	0.000000
10.50000	X81	0.000000
22.70000	X82	0.000000
33.50000	X83	0.000000
0.000000	X84	187.5300

	X85	0.000000
0.700000		
	X86	95.73000
0.000000		
	X87	0.000000
6.500000		
	X88	0.000000
10.50000		
	X89	0.000000
22.70000		
	X90	0.000000
33.50000		
	X91	217.5800
0.000000		
	X92	0.000000
0.700000		
	X93	279.7900
0.000000		
	X94	0.000000
0.700000		
	X95	0.000000
2.100000		
	X96	86.56000
0.000000		
	X97	0.000000
2.800000		
	X98	0.000000
9.300000		
	X99	0.000000
13.30000		
	X100	0.000000
25.50000		
	X101	271.2700
0.000000		
	X102	0.000000
0.700000		
	X103	0.000000
2.100000		
	X104	279.8700
0.000000		
	X105	0.000000
0.700000		
	X106	0.000000
2.100000		
	X107	47.77000
0.000000		
	X108	0.000000
2.100000		
	X109	0.000000
5.300000		
	X110	0.000000
8.100000		
	X111	0.000000
14.60000		
	X112	263.9800
0.000000		
	X113	0.000000
0.700000		
	X114	0.000000
2.100000		

0.000000	X115	89.75000	
3.400000	X116	0.000000	
5.500000	X117	0.000000	
8.700000	X118	0.000000	
11.50000	X119	0.000000	
0.000000	X120	287.2600	
0.7000000	X121	0.000000	
2.100000	X122	0.000000	
0.000000	X123	244.7500	
0.7000000	X124	0.000000	
2.100000	X125	0.000000	
0.000000	X126	134.0500	
1.300000	X127	0.000000	
3.000000	X128	0.000000	
6.400000	X129	0.000000	
0.000000	X130	368.6200	
1.400000	X131	0.000000	
2.700000	X132	0.000000	
0.000000	X4	0.000000	
Dual Price	Row	Slack or Surplus	
1.000000	1	26178.62	-
54.10000	2	0.000000	-
27.10000	3	0.000000	-
4.000000	4	0.000000	-
20.60000	5	0.000000	-
4.000000	6	0.000000	-
20.60000	7	0.000000	-
4.000000	8	0.000000	-
4.000000	9	0.000000	-
17.80000	10	0.000000	-

	11	0.000000	-
4.000000	12	0.000000	-
4.000000	13	0.000000	-
12.50000	14	0.000000	-
4.000000	15	0.000000	-
9.100000	16	0.000000	-
4.000000	17	0.000000	-
4.000000	18	0.000000	-
6.100000	19	0.000000	-
4.700000	20	59.29000	
0.000000	21	0.000000	
0.000000	22	0.000000	
0.000000	23	0.000000	
0.000000	24	183.0500	
0.000000	25	0.000000	
0.000000	26	0.000000	
0.000000	27	0.000000	
0.000000	28	0.000000	
0.000000	29	120.1800	
0.000000	30	0.000000	
0.000000	31	93.43000	
0.000000	32	0.000000	
0.000000	33	0.000000	
0.000000	34	0.000000	
0.000000	35	0.000000	
0.000000	36	187.5300	
0.000000	37	0.000000	
0.000000	38	95.73000	
0.000000	39	0.000000	
0.000000	40	0.000000	

0.000000	41	0.000000
0.000000	42	0.000000
0.000000	43	217.5800
0.000000	44	0.000000
0.000000	45	279.7900
0.000000	46	0.000000
0.000000	47	0.000000
0.000000	48	86.56000
0.000000	49	0.000000
0.000000	50	0.000000
0.000000	51	0.000000
0.000000	52	0.000000
0.000000	53	271.2700
0.000000	54	0.000000
0.000000	55	0.000000
0.000000	56	279.8700
0.000000	57	0.000000
0.000000	58	0.000000
0.000000	59	47.77000
0.000000	60	0.000000
0.000000	61	0.000000
0.000000	62	0.000000
0.000000	63	0.000000
0.000000	64	263.9800
0.000000	65	0.000000
0.000000	66	0.000000
0.000000	67	89.75000
0.000000	68	0.000000
0.000000	69	0.000000
0.000000	70	0.000000

0.000000	71	0.000000
0.000000	72	287.2600
0.000000	73	0.000000
0.000000	74	0.000000
0.000000	75	244.7500
0.000000	76	0.000000
0.000000	77	0.000000
0.000000	78	134.0500
0.000000	79	0.000000
0.000000	80	0.000000
0.000000	81	0.000000
0.000000	82	368.6200
0.000000	83	0.000000
0.000000	84	0.000000
0.000000	85	3.998000
0.000000	86	14.99447
0.000000	87	6.994364
0.000000	88	7.994364
0.000000	89	6.992489
0.000000	90	24.99228
0.000000	91	20.99071
0.000000	92	40.99039
0.000000	93	21.99003
0.000000	94	36.98862
0.000000	95	41.98800
0.000000	96	38.98794
0.000000	97	39.98730
0.000000	98	39.98681
0.000000	99	40.98666
0.000000	100	41.98545

0.000000	101	38.97095
0.000000	102	42.96961
0.000000	103	41.95983

✓ ΚΩΔΙΚΑΣ ΣΕ LINGO ΤΜΑΜΑΤΟΣ Α ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ
ΓΙΑ ΑΥΞΗΣΗ ΠΑΡΟΧΗΣ Q 15%

```
!OPTIMAZATION PART A;
!ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΣΚΟΠΟΥ Z;
min=54.1*X1+65.0*X2+81.0*X3+98.0*X4+
27.1*X5+31.1*X6+43.3*X7+54.1*X8+
27.1*X9+31.1*X10+43.3*X11+54.1*X12+
27.1*X13+31.1*X14+43.3*X15+54.1*X16+
27.1*X17+31.1*X18+43.3*X19+54.1*X20+65.0*X21+
4.0*X22+4.7*X23+6.1*X24+
7.4*X25+9.1*X26+12.5*X27+14.6*X28+17.8*X29+
4.0*X30+4.7*X31+6.1*X32+
4.0*X33+4.7*X34+6.1*X35+
14.6*X36+17.8*X37+20.6*X38+27.1*X39+
17.8*X40+20.6*X41+27.1*X42+31.1*X43+
17.8*X44+20.6*X45+27.1*X46+31.1*X47+43.3*X48+
20.6*X49+27.1*X50+31.1*X51+43.3*X52+54.1*X53+
4.0*X54+4.7*X55+
4.0*X56+4.7*X57+6.1*X58+
4.0*X59+4.7*X60+6.1*X61+
4.7*X62+6.1*X63+7.4*X64+
4.0*X65+4.7*X66+6.1*X67+
4.7*X68+6.1*X69+7.4*X70+
4.0*X71+4.7*X72;
```

```
!ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΜΗΚΟΥΣ;
X1+X2+X3+X4=59.29;
X5+X6+X7+X8=26.92;
X9+X10+X11+X12=42.07;
X13+X14+X15+X16=97.11;
X17+X18+X19+X20+X21=115.72;
X22+X23+X24=180.37;
X25+X26+X27+X28+X29=86.93;
X30+X31+X32=197.53;
X33+X34+X35=138.01;
X36+X37+X38+X39=90.59;
X40+X41+X42+X43=99.69;
X44+X45+X46+X47+X48=88.55;
X49+X50+X51+X52+X53=157.21;
X54+X55=146.01;
X56+X57+X58=206.62;
X59+X60+X61=239.42;
X62+X63+X64=257.98;
X65+X66+X67=239.41;
X68+X69+X70=205.61;
X71+X72=57.94;
```

```
X1>=0; X2>=0; X3>=0; X4>=0; X5>=0; X6>=0; X7>=0; X8>=0; X9>=0;
X10>=0; X11>=0; X12>=0; X13>=0; X14>=0; X15>=0; X16>=0; X17>=0;
X18>=0; X19>=0; X20>=0; X21>=0; X22>=0; X23>=0; X24>=0; X25>=0;
X26>=0; X27>=0; X28>=0; X29>=0; X30>=0; X31>=0; X32>=0; X33>=0;
X34>=0; X35>=0; X36>=0; X37>=0; X38>=0; X39>=0; X40>=0; X41>=0;
X42>=0; X43>=0; X44>=0; X45>=0; X46>=0; X47>=0; X48>=0; X49>=0;
X50>=0; X51>=0; X52>=0; X53>=0; X54>=0; X55>=0; X56>=0; X57>=0;
X58>=0; X59>=0; X60>=0; X61>=0; X62>=0; X63>=0; X64>=0; X65>=0;
X66>=0; X67>=0; X68>=0; X69>=0; X70>=0; X71>=0; X72>=0;
```

!ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΙΚΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ;

!ΤΜΗΜΑ Α;

!0-1;

$$0.00010371 * X1 + 0.00007956 * X2 + 0.00004714 * X3 + 0.00003734 * X4 \leq 109 - 89 - 16;$$

!0-2;

$$0.00004996 * X5 + 0.00003941 * X6 + 0.00003070 * X7 + 0.00002358 * X8 + \\ (0.00010371 * X1 + 0.00007956 * X2 + 0.00004714 * X3 + 0.00003734 * X4) \leq 109 - 87 - 16;$$

!0-3;

$$0.00004906 * X9 + 0.00003871 * X10 + 0.00003015 * X11 + 0.00002316 * X12 + \\ (0.00004996 * X5 + 0.00003941 * X6 + 0.00003070 * X7 + 0.00002358 * X8) + \\ (0.00010371 * X1 + 0.00007956 * X2 + 0.00004714 * X3 + 0.00003734 * X4) \leq 109 - 88 - 16;$$

!0-4;

$$0.00004770 * X13 + 0.00003763 * X14 + 0.00002932 * X15 + 0.00002251 * X16 + \\ (0.00004906 * X9 + 0.00003871 * X10 + 0.00003015 * X11 + 0.00002316 * X12) + \\ (0.00004996 * X5 + 0.00003941 * X6 + 0.00003070 * X7 + 0.00002358 * X8) + \\ (0.00010371 * X1 + 0.00007956 * X2 + 0.00004714 * X3 + 0.00003734 * X4) \leq 109 - 86 - 16;$$

!0-15;

$$0.00005801 * X17 + 0.00004458 * X18 + 0.00003517 * X19 + 0.00002740 * X20 + 0.00002104 * X21 + \\ (0.00004770 * X13 + 0.00003763 * X14 + 0.00002932 * X15 + 0.00002251 * X16) + \\ (0.00004906 * X9 + 0.00003871 * X10 + 0.00003015 * X11 + 0.00002316 * X12) + \\ (0.00004996 * X5 + 0.00003941 * X6 + 0.00003070 * X7 + 0.00002358 * X8) + \\ (0.00010371 * X1 + 0.00007956 * X2 + 0.00004714 * X3 + 0.00003734 * X4) \leq 109 - 70 - 16;$$

!0-16;

$$0.00000061 + \\ (0.00005801 * X17 + 0.00004458 * X18 + 0.00003517 * X19 + 0.00002740 * X20 + 0.00002104 * X21) + \\ (0.00004770 * X13 + 0.00003763 * X14 + 0.00002932 * X15 + 0.00002251 * X16) + \\ (0.00004906 * X9 + 0.00003871 * X10 + 0.00003015 * X11 + 0.00002316 * X12) + \\ (0.00004996 * X5 + 0.00003941 * X6 + 0.00003070 * X7 + 0.00002358 * X8) + \\ (0.00010371 * X1 + 0.00007956 * X2 + 0.00004714 * X3 + 0.00003734 * X4) \leq 109 - 84 - 16;$$

!0-14;

$$0.00004782 * X49 + 0.00003675 * X50 + 0.00002900 * X51 + 0.00002259 * X52 + 0.00001735 * X53 + \\ (0.00000061) + \\ (0.00005801 * X17 + 0.00004458 * X18 + 0.00003517 * X19 + 0.00002740 * X20 + 0.00002104 * X21) + \\ (0.00004770 * X13 + 0.00003763 * X14 + 0.00002932 * X15 + 0.00002251 * X16) + \\ (0.00004906 * X9 + 0.00003871 * X10 + 0.00003015 * X11 + 0.00002316 * X12) + \\ (0.00004996 * X5 + 0.00003941 * X6 + 0.00003070 * X7 + 0.00002358 * X8) + \\ (0.00010371 * X1 + 0.00007956 * X2 + 0.00004714 * X3 + 0.00003734 * X4) \leq 109 - 59 - 16;$$

!0-17;

$$0.00000412 * X56 + 0.00000278 * X57 + 0.00000184 * X58 + \\ (0.00004782 * X49 + 0.00003675 * X50 + 0.00002900 * X51 + 0.00002259 * X52 + 0.00001735 * X53) + \\ (0.00000061) + \\ (0.00005801 * X17 + 0.00004458 * X18 + 0.00003517 * X19 + 0.00002740 * X20 + 0.00002104 * X21) + \\ (0.00004770 * X13 + 0.00003763 * X14 + 0.00002932 * X15 + 0.00002251 * X16) + \\ (0.00004906 * X9 + 0.00003871 * X10 + 0.00003015 * X11 + 0.00002316 * X12) + \\ (0.00004996 * X5 + 0.00003941 * X6 + 0.00003070 * X7 + 0.00002358 * X8) + \\ (0.00010371 * X1 + 0.00007956 * X2 + 0.00004714 * X3 + 0.00003734 * X4) \leq 109 - 66 - 16;$$

!0-13;

0.00004457*X44+0.00003526*X45+0.00002710*X46+0.00002138*X47+0.00001665*X48+
 (0.00000412*X56+0.00000278*X57+0.00000184*X58)+
 (0.00004782*X49+0.00003675*X50+0.00002900*X51+0.00002259*X52+0.00001735*X53)+
 (0.00000061)+
 (0.00005801*X17+0.00004458*X18+0.00003517*X19+0.00002740*X20+0.00002104*X21)+
 (0.00004770*X13+0.00003763*X14+0.00002932*X15+0.00002251*X16)+
 (0.00004906*X9+0.00003871*X10+0.00003015*X11+0.00002316*X12)+
 (0.00004996*X5+0.00003941*X6+0.00003070*X7+0.00002358*X8)+
 (0.00010371*X1+0.00007956*X2+0.00004714*X3+0.00003734*X4) <=109-55-16;

!0-18;

0.00000556*X59+0.00000376*X60+0.00000249*X61+
 (0.00004457*X44+0.00003526*X45+0.00002710*X46+0.00002138*X47+0.00001665*X48)+
 (0.00000412*X56+0.00000278*X57+0.00000184*X58)+
 (0.00004782*X49+0.00003675*X50+0.00002900*X51+0.00002259*X52+0.00001735*X53)+
 (0.00000061)+
 (0.00005801*X17+0.00004458*X18+0.00003517*X19+0.00002740*X20+0.00002104*X21)+
 (0.00004770*X13+0.00003763*X14+0.00002932*X15+0.00002251*X16)+
 (0.00004906*X9+0.00003871*X10+0.00003015*X11+0.00002316*X12)+
 (0.00004996*X5+0.00003941*X6+0.00003070*X7+0.00002358*X8)+
 (0.00010371*X1+0.00007956*X2+0.00004714*X3+0.00003734*X4) <=109-52-16;

!0-12;

0.00003236*X40+0.00002560*X41+0.00001968*X42+0.00001552*X43+
 (0.00000556*X59+0.00000376*X60+0.00000249*X61)+
 (0.00004457*X44+0.00003526*X45+0.00002710*X46+0.00002138*X47+0.00001665*X48)+
 (0.00000412*X56+0.00000278*X57+0.00000184*X58)+
 (0.00004782*X49+0.00003675*X50+0.00002900*X51+0.00002259*X52+0.00001735*X53)+
 (0.00000061)+
 (0.00005801*X17+0.00004458*X18+0.00003517*X19+0.00002740*X20+0.00002104*X21)+
 (0.00004770*X13+0.00003763*X14+0.00002932*X15+0.00002251*X16)+
 (0.00004906*X9+0.00003871*X10+0.00003015*X11+0.00002316*X12)+
 (0.00004996*X5+0.00003941*X6+0.00003070*X7+0.00002358*X8)+
 (0.00010371*X1+0.00007956*X2+0.00004714*X3+0.00003734*X4) <=109-52-16;

!0-19;

0.00000749*X62+0.00000496*X63+0.00000316*X64+
 (0.00003236*X40+0.00002560*X41+0.00001968*X42+0.00001552*X43)+
 (0.00000556*X59+0.00000376*X60+0.00000249*X61)+
 (0.00004457*X44+0.00003526*X45+0.00002710*X46+0.00002138*X47+0.00001665*X48)+
 (0.00000412*X56+0.00000278*X57+0.00000184*X58)+
 (0.00004782*X49+0.00003675*X50+0.00002900*X51+0.00002259*X52+0.00001735*X53)+
 (0.00000061)+
 (0.00005801*X17+0.00004458*X18+0.00003517*X19+0.00002740*X20+0.00002104*X21)+
 (0.00004770*X13+0.00003763*X14+0.00002932*X15+0.00002251*X16)+
 (0.00004906*X9+0.00003871*X10+0.00003015*X11+0.00002316*X12)+
 (0.00004996*X5+0.00003941*X6+0.00003070*X7+0.00002358*X8)+

$(0.00010371 * X1 + 0.00007956 * X2 + 0.00004714 * X3 + 0.00003734 * X4) \leq 109-52-16;$

!0-20;

0.00000061+
 $(0.00000749 * X62 + 0.00000496 * X63 + 0.00000316 * X64) +$
 $(0.00003236 * X40 + 0.00002560 * X41 + 0.00001968 * X42 + 0.00001552 * X43) +$
 $(0.00000556 * X59 + 0.00000376 * X60 + 0.00000249 * X61) +$
 $(0.00004457 * X44 + 0.00003526 * X45 + 0.00002710 * X46 + 0.00002138 * X47 + 0.00001665 * X48) +$
 $(0.00000412 * X56 + 0.00000278 * X57 + 0.00000184 * X58) +$
 $(0.00004782 * X49 + 0.00003675 * X50 + 0.00002900 * X51 + 0.00002259 * X52 + 0.00001735 * X53) +$
 $(0.00000061) +$
 $(0.00005801 * X17 + 0.00004458 * X18 + 0.00003517 * X19 + 0.00002740 * X20 + 0.00002104 * X21) +$
 $(0.00004770 * X13 + 0.00003763 * X14 + 0.00002932 * X15 + 0.00002251 * X16) +$
 $(0.00004906 * X9 + 0.00003871 * X10 + 0.00003015 * X11 + 0.00002316 * X12) +$
 $(0.00004996 * X5 + 0.00003941 * X6 + 0.00003070 * X7 + 0.00002358 * X8) +$
 $(0.00010371 * X1 + 0.00007956 * X2 + 0.00004714 * X3 + 0.00003734 * X4) \leq 109-50-16;$

!0-5;

0.00002488 * X36 + 0.00001909 * X37 + 0.00001510 * X38 + 0.00001161 * X39 +
 $(0.00000061) +$
 $(0.00000749 * X62 + 0.00000496 * X63 + 0.00000316 * X64) +$
 $(0.00003236 * X40 + 0.00002560 * X41 + 0.00001968 * X42 + 0.00001552 * X43) +$
 $(0.00000556 * X59 + 0.00000376 * X60 + 0.00000249 * X61) +$
 $(0.00004457 * X44 + 0.00003526 * X45 + 0.00002710 * X46 + 0.00002138 * X47 + 0.00001665 * X48) +$
 $(0.00000412 * X56 + 0.00000278 * X57 + 0.00000184 * X58) +$
 $(0.00004782 * X49 + 0.00003675 * X50 + 0.00002900 * X51 + 0.00002259 * X52 + 0.00001735 * X53) +$
 $(0.00000061) +$
 $(0.00005801 * X17 + 0.00004458 * X18 + 0.00003517 * X19 + 0.00002740 * X20 + 0.00002104 * X21) +$
 $(0.00004770 * X13 + 0.00003763 * X14 + 0.00002932 * X15 + 0.00002251 * X16) +$
 $(0.00004906 * X9 + 0.00003871 * X10 + 0.00003015 * X11 + 0.00002316 * X12) +$
 $(0.00004996 * X5 + 0.00003941 * X6 + 0.00003070 * X7 + 0.00002358 * X8) +$
 $(0.00010371 * X1 + 0.00007956 * X2 + 0.00004714 * X3 + 0.00003734 * X4) \leq 109-56-16;$

!0-21;

0.00000185 * X65 + 0.00000125 * X66 + 0.00000083 * X67 +
 $(0.00002488 * X36 + 0.00001909 * X37 + 0.00001510 * X38 + 0.00001161 * X39) +$
 $(0.00000061) +$
 $(0.00000749 * X62 + 0.00000496 * X63 + 0.00000316 * X64) +$
 $(0.00003236 * X40 + 0.00002560 * X41 + 0.00001968 * X42 + 0.00001552 * X43) +$
 $(0.00000556 * X59 + 0.00000376 * X60 + 0.00000249 * X61) +$
 $(0.00004457 * X44 + 0.00003526 * X45 + 0.00002710 * X46 + 0.00002138 * X47 + 0.00001665 * X48) +$
 $(0.00000412 * X56 + 0.00000278 * X57 + 0.00000184 * X58) +$
 $(0.00004782 * X49 + 0.00003675 * X50 + 0.00002900 * X51 + 0.00002259 * X52 + 0.00001735 * X53) +$
 $(0.00000061) +$
 $(0.00005801 * X17 + 0.00004458 * X18 + 0.00003517 * X19 + 0.00002740 * X20 + 0.00002104 * X21) +$
 $(0.00004770 * X13 + 0.00003763 * X14 + 0.00002932 * X15 + 0.00002251 * X16) +$
 $(0.00004906 * X9 + 0.00003871 * X10 + 0.00003015 * X11 + 0.00002316 * X12) +$
 $(0.00004996 * X5 + 0.00003941 * X6 + 0.00003070 * X7 + 0.00002358 * X8) +$
 $(0.00010371 * X1 + 0.00007956 * X2 + 0.00004714 * X3 + 0.00003734 * X4) \leq 109-51-16;$

!0-6;

0.00000657 * X22 + 0.00000444 * X23 + 0.00000294 * X24 +

$(0.00002488 * X36 + 0.00001909 * X37 + 0.00001510 * X38 + 0.00001161 * X39) +$
 $(0.00000061) +$
 $(0.00000749 * X62 + 0.00000496 * X63 + 0.00000316 * X64) +$
 $(0.00003236 * X40 + 0.00002560 * X41 + 0.00001968 * X42 + 0.00001552 * X43) +$
 $(0.00000556 * X59 + 0.00000376 * X60 + 0.00000249 * X61) +$
 $(0.00004457 * X44 + 0.00003526 * X45 + 0.00002710 * X46 + 0.00002138 * X47 + 0.000016$
 $65 * X48) +$
 $(0.00000412 * X56 + 0.00000278 * X57 + 0.00000184 * X58) +$
 $(0.00004782 * X49 + 0.00003675 * X50 + 0.00002900 * X51 + 0.00002259 * X52 + 0.000017$
 $35 * X53) +$
 $(0.00000061) +$
 $(0.00005801 * X17 + 0.00004458 * X18 + 0.00003517 * X19 + 0.00002740 * X20 + 0.000021$
 $04 * X21) +$
 $(0.00004770 * X13 + 0.00003763 * X14 + 0.00002932 * X15 + 0.00002251 * X16) +$
 $(0.00004906 * X9 + 0.00003871 * X10 + 0.00003015 * X11 + 0.00002316 * X12) +$
 $(0.00004996 * X5 + 0.00003941 * X6 + 0.00003070 * X7 + 0.00002358 * X8) +$
 $(0.00010371 * X1 + 0.00007956 * X2 + 0.00004714 * X3 + 0.00003734 * X4) \leq 109-52-16;$

!0-7;

$0.00000061 +$
 $(0.00000657 * X22 + 0.00000444 * X23 + 0.00000294 * X24) +$
 $(0.00002488 * X36 + 0.00001909 * X37 + 0.00001510 * X38 + 0.00001161 * X39) +$
 $(0.00000061) +$
 $(0.00000749 * X62 + 0.00000496 * X63 + 0.00000316 * X64) +$
 $(0.00003236 * X40 + 0.00002560 * X41 + 0.00001968 * X42 + 0.00001552 * X43) +$
 $(0.00000556 * X59 + 0.00000376 * X60 + 0.00000249 * X61) +$
 $(0.00004457 * X44 + 0.00003526 * X45 + 0.00002710 * X46 + 0.00002138 * X47 + 0.000016$
 $65 * X48) +$
 $(0.00000412 * X56 + 0.00000278 * X57 + 0.00000184 * X58) +$
 $(0.00004782 * X49 + 0.00003675 * X50 + 0.00002900 * X51 + 0.00002259 * X52 + 0.000017$
 $35 * X53) +$
 $(0.00000061) +$
 $(0.00005801 * X17 + 0.00004458 * X18 + 0.00003517 * X19 + 0.00002740 * X20 + 0.000021$
 $04 * X21) +$
 $(0.00004770 * X13 + 0.00003763 * X14 + 0.00002932 * X15 + 0.00002251 * X16) +$
 $(0.00004906 * X9 + 0.00003871 * X10 + 0.00003015 * X11 + 0.00002316 * X12) +$
 $(0.00004996 * X5 + 0.00003941 * X6 + 0.00003070 * X7 + 0.00002358 * X8) +$
 $(0.00010371 * X1 + 0.00007956 * X2 + 0.00004714 * X3 + 0.00003734 * X4) \leq 109-53-16;$

!0-8;

$0.00002031 * X25 + 0.00001517 * X26 + 0.00001176 * X27 + 0.00000873 * X28 + 0.0000067$
 $0 * X29 +$
 $(0.00000185 * X65 + 0.00000125 * X66 + 0.00000083 * X67) +$
 $(0.00000061) +$
 $(0.00000657 * X22 + 0.00000444 * X23 + 0.00000294 * X24) +$
 $(0.00002488 * X36 + 0.00001909 * X37 + 0.00001510 * X38 + 0.00001161 * X39) +$
 $(0.00000061) +$
 $(0.00000749 * X62 + 0.00000496 * X63 + 0.00000316 * X64) +$
 $(0.00003236 * X40 + 0.00002560 * X41 + 0.00001968 * X42 + 0.00001552 * X43) +$
 $(0.00000556 * X59 + 0.00000376 * X60 + 0.00000249 * X61) +$
 $(0.00004457 * X44 + 0.00003526 * X45 + 0.00002710 * X46 + 0.00002138 * X47 + 0.000016$
 $65 * X48) +$
 $(0.00000412 * X56 + 0.00000278 * X57 + 0.00000184 * X58) +$
 $(0.00004782 * X49 + 0.00003675 * X50 + 0.00002900 * X51 + 0.00002259 * X52 + 0.000017$
 $35 * X53) +$
 $(0.00000061) +$
 $(0.00005801 * X17 + 0.00004458 * X18 + 0.00003517 * X19 + 0.00002740 * X20 + 0.000021$
 $04 * X21) +$
 $(0.00004770 * X13 + 0.00003763 * X14 + 0.00002932 * X15 + 0.00002251 * X16) +$
 $(0.00004906 * X9 + 0.00003871 * X10 + 0.00003015 * X11 + 0.00002316 * X12) +$
 $(0.00004996 * X5 + 0.00003941 * X6 + 0.00003070 * X7 + 0.00002358 * X8) +$

$(0.00010371 * X1 + 0.00007956 * X2 + 0.00004714 * X3 + 0.00003734 * X4) \leq 109-64-16;$

!0-9;

$0.00000380 * X30 + 0.00000257 * X31 + 0.00000170 * X32 +$
 $(0.00002031 * X25 + 0.00001517 * X26 + 0.00001176 * X27 + 0.00000873 * X28 + 0.000006$
 $70 * X29) +$
 $(0.00000185 * X65 + 0.00000125 * X66 + 0.00000083 * X67) +$
 $(0.00000061) +$
 $(0.00000657 * X22 + 0.00000444 * X23 + 0.00000294 * X24) +$
 $(0.00002488 * X36 + 0.00001909 * X37 + 0.00001510 * X38 + 0.00001161 * X39) +$
 $(0.00000061) +$
 $(0.00000749 * X62 + 0.00000496 * X63 + 0.00000316 * X64) +$
 $(0.00003236 * X40 + 0.00002560 * X41 + 0.00001968 * X42 + 0.00001552 * X43) +$
 $(0.00000556 * X59 + 0.00000376 * X60 + 0.00000249 * X61) +$
 $(0.00004457 * X44 + 0.00003526 * X45 + 0.00002710 * X46 + 0.00002138 * X47 + 0.000016$
 $65 * X48) +$
 $(0.00000412 * X56 + 0.00000278 * X57 + 0.00000184 * X58) +$
 $(0.00004782 * X49 + 0.00003675 * X50 + 0.00002900 * X51 + 0.00002259 * X52 + 0.000017$
 $35 * X53) +$
 $(0.00000061) +$
 $(0.00005801 * X17 + 0.00004458 * X18 + 0.00003517 * X19 + 0.00002740 * X20 + 0.000021$
 $04 * X21) +$
 $(0.00004770 * X13 + 0.00003763 * X14 + 0.00002932 * X15 + 0.00002251 * X16) +$
 $(0.00004906 * X9 + 0.00003871 * X10 + 0.00003015 * X11 + 0.00002316 * X12) +$
 $(0.00004996 * X5 + 0.00003941 * X6 + 0.00003070 * X7 + 0.00002358 * X8) +$
 $(0.00010371 * X1 + 0.00007956 * X2 + 0.00004714 * X3 + 0.00003734 * X4) \leq 109-53-16;$

!0-22;

$0.00000802 * X68 + 0.00000531 * X69 + 0.00000338 * X70 +$
 $(0.00002031 * X25 + 0.00001517 * X26 + 0.00001176 * X27 + 0.00000873 * X28 + 0.000006$
 $70 * X29) +$
 $(0.00000185 * X65 + 0.00000125 * X66 + 0.00000083 * X67) +$
 $(0.00000061) +$
 $(0.00000657 * X22 + 0.00000444 * X23 + 0.00000294 * X24) +$
 $(0.00002488 * X36 + 0.00001909 * X37 + 0.00001510 * X38 + 0.00001161 * X39) +$
 $(0.00000061) +$
 $(0.00000749 * X62 + 0.00000496 * X63 + 0.00000316 * X64) +$
 $(0.00003236 * X40 + 0.00002560 * X41 + 0.00001968 * X42 + 0.00001552 * X43) +$
 $(0.00000556 * X59 + 0.00000376 * X60 + 0.00000249 * X61) +$
 $(0.00004457 * X44 + 0.00003526 * X45 + 0.00002710 * X46 + 0.00002138 * X47 + 0.000016$
 $65 * X48) +$
 $(0.00000412 * X56 + 0.00000278 * X57 + 0.00000184 * X58) +$
 $(0.00004782 * X49 + 0.00003675 * X50 + 0.00002900 * X51 + 0.00002259 * X52 + 0.000017$
 $35 * X53) +$
 $(0.00000061) +$
 $(0.00005801 * X17 + 0.00004458 * X18 + 0.00003517 * X19 + 0.00002740 * X20 + 0.000021$
 $04 * X21) +$
 $(0.00004770 * X13 + 0.00003763 * X14 + 0.00002932 * X15 + 0.00002251 * X16) +$
 $(0.00004906 * X9 + 0.00003871 * X10 + 0.00003015 * X11 + 0.00002316 * X12) +$
 $(0.00004996 * X5 + 0.00003941 * X6 + 0.00003070 * X7 + 0.00002358 * X8) +$
 $(0.00010371 * X1 + 0.00007956 * X2 + 0.00004714 * X3 + 0.00003734 * X4) \leq 109-49-16;$

!0-23;

$0.00000000 * X71 + 0.00000000 * X72 +$
 $(0.00000802 * X68 + 0.00000531 * X69 + 0.00000338 * X70) +$
 $(0.00002031 * X25 + 0.00001517 * X26 + 0.00001176 * X27 + 0.00000873 * X28 + 0.000006$
 $70 * X29) +$
 $(0.00000185 * X65 + 0.00000125 * X66 + 0.00000083 * X67) +$
 $(0.00000061) +$
 $(0.00000657 * X22 + 0.00000444 * X23 + 0.00000294 * X24) +$
 $(0.00002488 * X36 + 0.00001909 * X37 + 0.00001510 * X38 + 0.00001161 * X39) +$

(0.00000061)+
 (0.00000749*X62+0.00000496*X63+0.00000316*X64)+
 (0.00003236*X40+0.00002560*X41+0.00001968*X42+0.00001552*X43)+
 (0.00000556*X59+0.00000376*X60+0.00000249*X61)+
 (0.00004457*X44+0.00003526*X45+0.00002710*X46+0.00002138*X47+0.000016
 65*X48)+
 (0.00000412*X56+0.00000278*X57+0.00000184*X58)+
 (0.00004782*X49+0.00003675*X50+0.00002900*X51+0.00002259*X52+0.000017
 35*X53)+
 (0.00000061)+
 (0.00005801*X17+0.00004458*X18+0.00003517*X19+0.00002740*X20+0.000021
 04*X21)+
 (0.00004770*X13+0.00003763*X14+0.00002932*X15+0.00002251*X16)+
 (0.00004906*X9+0.00003871*X10+0.00003015*X11+0.00002316*X12)+
 (0.00004996*X5+0.00003941*X6+0.00003070*X7+0.00002358*X8)+
 (0.00010371*X1+0.00007956*X2+0.00004714*X3+0.00003734*X4) <=109-52-16;

!0-24;

0.00000070+
 (0.00000000*X71+0.00000000*X72)+
 (0.00000802*X68+0.00000531*X69+0.00000338*X70)+
 (0.00002031*X25+0.00001517*X26+0.00001176*X27+0.00000873*X28+0.000006
 70*X29)+
 (0.00000185*X65+0.00000125*X66+0.00000083*X67)+
 (0.00000061)+
 (0.00000657*X22+0.00000444*X23+0.00000294*X24)+
 (0.00002488*X36+0.00001909*X37+0.00001510*X38+0.00001161*X39)+
 (0.00000061)+
 (0.00000749*X62+0.00000496*X63+0.00000316*X64)+
 (0.00003236*X40+0.00002560*X41+0.00001968*X42+0.00001552*X43)+
 (0.00000556*X59+0.00000376*X60+0.00000249*X61)+
 (0.00004457*X44+0.00003526*X45+0.00002710*X46+0.00002138*X47+0.000016
 65*X48)+
 (0.00000412*X56+0.00000278*X57+0.00000184*X58)+
 (0.00004782*X49+0.00003675*X50+0.00002900*X51+0.00002259*X52+0.000017
 35*X53)+
 (0.00000061)+
 (0.00005801*X17+0.00004458*X18+0.00003517*X19+0.00002740*X20+0.000021
 04*X21)+
 (0.00004770*X13+0.00003763*X14+0.00002932*X15+0.00002251*X16)+
 (0.00004906*X9+0.00003871*X10+0.00003015*X11+0.00002316*X12)+
 (0.00004996*X5+0.00003941*X6+0.00003070*X7+0.00002358*X8)+
 (0.00010371*X1+0.00007956*X2+0.00004714*X3+0.00003734*X4) <=109-52-16;

!0-10;

0.00000483*X33+0.00000327*X34+0.00000216*X35+
 (0.00000380*X30+0.00000257*X31+0.00000170*X32)+
 (0.00000070)+
 (0.00000000*X71+0.00000000*X72)+
 (0.00000802*X68+0.00000531*X69+0.00000338*X70)+
 (0.00002031*X25+0.00001517*X26+0.00001176*X27+0.00000873*X28+0.000006
 70*X29)+
 (0.00000185*X65+0.00000125*X66+0.00000083*X67)+
 (0.00000061)+
 (0.00000657*X22+0.00000444*X23+0.00000294*X24)+
 (0.00002488*X36+0.00001909*X37+0.00001510*X38+0.00001161*X39)+
 (0.00000061)+
 (0.00000749*X62+0.00000496*X63+0.00000316*X64)+
 (0.00003236*X40+0.00002560*X41+0.00001968*X42+0.00001552*X43)+
 (0.00000556*X59+0.00000376*X60+0.00000249*X61)+

(0.00004457*X44+0.00003526*X45+0.00002710*X46+0.00002138*X47+0.00001665*X48)+
 (0.00000412*X56+0.00000278*X57+0.00000184*X58)+
 (0.00004782*X49+0.00003675*X50+0.00002900*X51+0.00002259*X52+0.00001735*X53)+
 (0.00000061)+
 (0.00005801*X17+0.00004458*X18+0.00003517*X19+0.00002740*X20+0.00002104*X21)+
 (0.00004770*X13+0.00003763*X14+0.00002932*X15+0.00002251*X16)+
 (0.00004906*X9+0.00003871*X10+0.00003015*X11+0.00002316*X12)+
 (0.00004996*X5+0.00003941*X6+0.00003070*X7+0.00002358*X8)+
 (0.00010371*X1+0.00007956*X2+0.00004714*X3+0.00003734*X4) <=109-55-16;

!0-11;

0.00000070+
 (0.00000483*X33+0.00000327*X34+0.00000216*X35)+
 (0.00000380*X30+0.00000257*X31+0.00000170*X32)+
 (0.00000070)+
 (0.00000000*X71+0.00000000*X72)+
 (0.00000802*X68+0.00000531*X69+0.00000338*X70)+
 (0.00002031*X25+0.00001517*X26+0.00001176*X27+0.00000873*X28+0.00000670*X29)+
 (0.00000185*X65+0.00000125*X66+0.00000083*X67)+
 (0.00000061)+
 (0.00000657*X22+0.00000444*X23+0.00000294*X24)+
 (0.00002488*X36+0.00001909*X37+0.00001510*X38+0.00001161*X39)+
 (0.00000061)+
 (0.00000749*X62+0.00000496*X63+0.00000316*X64)+
 (0.00003236*X40+0.00002560*X41+0.00001968*X42+0.00001552*X43)+
 (0.00000556*X59+0.00000376*X60+0.00000249*X61)+
 (0.00004457*X44+0.00003526*X45+0.00002710*X46+0.00002138*X47+0.00001665*X48)+
 (0.00000412*X56+0.00000278*X57+0.00000184*X58)+
 (0.00004782*X49+0.00003675*X50+0.00002900*X51+0.00002259*X52+0.00001735*X53)+
 (0.00000061)+
 (0.00005801*X17+0.00004458*X18+0.00003517*X19+0.00002740*X20+0.00002104*X21)+
 (0.00004770*X13+0.00003763*X14+0.00002932*X15+0.00002251*X16)+
 (0.00004906*X9+0.00003871*X10+0.00003015*X11+0.00002316*X12)+
 (0.00004996*X5+0.00003941*X6+0.00003070*X7+0.00002358*X8)+
 (0.00010371*X1+0.00007956*X2+0.00004714*X3+0.00003734*X4) <=109-56-16;

✓ ΚΩΔΙΚΑΣ ΣΕ LINGO ΤΜΑΜΑΤΟΣ Β ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ
ΓΙΑ ΑΥΞΗΣΗ ΠΑΡΟΧΗΣ Q 15%

!OPTIMAZATION PART B;

!ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΣΚΟΠΟΥ Z;

min=54.1*X1+65.0*X2+81.0*X3+98.0*X4+
 27.1*X73+31.1*X74+43.3*X75+54.1*X76+65.0*X77+
 4.0*X78+4.7*X79+
 27.1*X80+31.1*X81+43.3*X82+54.1*X83+
 4.0*X84+4.7*X85+
 20.6*X86+27.1*X87+31.1*X88+43.3*X89+54.1*X90+
 4.0*X91+4.7*X92+6.1*X93+
 4.0*X94+4.7*X95+6.1*X96+
 17.8*X97+20.6*X98+27.1*X99+31.1*X100+43.3*X101+
 4.0*X102+4.7*X103+6.1*X104+
 4.0*X105+4.7*X106+6.1*X107+
 12.5*X108+14.6*X109+17.8*X110+20.6*X111+27.1*X112+
 4.0*X113+4.7*X114+6.1*X115+
 9.1*X116+12.5*X117+14.6*X118+17.8*X119+20.6*X120+
 4.0*X121+4.7*X122+6.1*X123+
 4.0*X124+4.7*X125+6.1*X126+
 6.1*X127+7.4*X128+9.1*X129+12.5*X130+
 4.7*X131+6.1*X132+7.4*X133;

!ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΜΗΚΟΥΣ;

X1+X2+X3+X4=59.29;
 X73+X74+X75+X76+X77=183.05;
 X78+X79=120.18;
 X80+X81+X82+X83=93.43;
 X84+X85=187.53;
 X86+X87+X88+X89+X90=95.73;
 X91+X92+X93=217.58;
 X94+X95+X96=279.79;
 X97+X98+X99+X100+X101=86.56;
 X102+X103+X104=271.27;
 X105+X106+X107=279.87;
 X108+X109+X110+X111+X112=47.77;
 X113+X114+X115=263.98;
 X116+X117+X118+X119+X120=89.75;
 X121+X122+X123=287.26;
 X124+X125+X126=244.75;
 X127+X128+X129+X130=134.05;
 X131+X132+X133=368.62;

X1>=0; X2>=0; X3>=0; X4>=0; X73>=0; X74>=0; X75>=0; X76>=0; X77>=0;
 X78>=0; X79>=0; X80>=0; X81>=0; X82>=0;
 X83>=0; X84>=0; X85>=0; X86>=0; X87>=0; X88>=0; X89>=0; X90>=0;
 X91>=0; X92>=0; X93>=0; X94>=0; X95>=0; X96>=0;
 X97>=0; X98>=0; X99>=0; X100>=0; X101>=0; X102>=0; X103>=0; X104>=0;
 X105>=0; X106>=0; X107>=0; X108>=0; X109>=0;
 X110>=0; X111>=0; X112>=0; X113>=0; X114>=0; X115>=0; X116>=0;
 X117>=0; X118>=0; X119>=0; X120>=0; X121>=0; X122>=0;
 X123>=0; X124>=0; X125>=0; X126>=0; X127>=0; X128>=0; X129>=0;
 X130>=0; X131>=0; X132>=0; X133>=0;

!ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΙΚΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ;

!TMHNA B;

!0-1;

$0.00010371 * X1 + 0.00007956 * X2 + 0.00004714 * X3 + 0.00003734 * X4 \leq 109-89-16;$

!0-25;

$0.00006017 * X73 + 0.00004747 * X74 + 0.00003698 * X75 + 0.00002840 * X76 + 0.00002179 * X77 +$

$(0.00010371 * X1 + 0.00007956 * X2 + 0.00004714 * X3 + 0.00003734 * X4) \leq 109-78-16;$

!0-26;

$0.00000268 * X78 + 0.00000181 * X79 +$

$(0.00006017 * X73 + 0.00004747 * X74 + 0.00003698 * X75 + 0.00002840 * X76 + 0.00002179 * X77) +$

$(0.00010371 * X1 + 0.00007956 * X2 + 0.00004714 * X3 + 0.00003734 * X4) \leq 109-86-16;$

!0-27;

$0.00000021 +$

$(0.00000268 * X78 + 0.00000181 * X79) +$

$(0.00006017 * X73 + 0.00004747 * X74 + 0.00003698 * X75 + 0.00002840 * X76 + 0.00002179 * X77) +$

$(0.00010371 * X1 + 0.00007956 * X2 + 0.00004714 * X3 + 0.00003734 * X4) \leq 109-85-16;$

!0-28;

$0.00004808 * X80 + 0.00003794 * X81 + 0.00002955 * X82 + 0.00002270 * X83 +$

$(0.00000021) +$

$(0.00000268 * X78 + 0.00000181 * X79) +$

$(0.00006017 * X73 + 0.00004747 * X74 + 0.00003698 * X75 + 0.00002840 * X76 + 0.00002179 * X77) +$

$(0.00010371 * X1 + 0.00007956 * X2 + 0.00004714 * X3 + 0.00003734 * X4) \leq 109-86-16;$

!0-29;

$0.00000339 * X84 + 0.0000229 * X85 +$

$(0.00004808 * X80 + 0.00003794 * X81 + 0.00002955 * X82 + 0.00002270 * X83) +$

$(0.00000021) +$

$(0.00000268 * X78 + 0.00000181 * X79) +$

$(0.00006017 * X73 + 0.00004747 * X74 + 0.00003698 * X75 + 0.00002840 * X76 + 0.00002179 * X77) +$

$(0.00010371 * X1 + 0.00007956 * X2 + 0.00004714 * X3 + 0.00003734 * X4) \leq 109-68-16;$

!0-30;

$0.00005120 * X86 + 0.00003935 * X87 + 0.00003104 * X88 + 0.00002418 * X89 + 0.00001857 * X90 +$

$(0.00000339 * X84 + 0.0000229 * X85) +$

$(0.00004808 * X80 + 0.00003794 * X81 + 0.00002955 * X82 + 0.00002270 * X83) +$

$(0.00000021) +$

$(0.00000268 * X78 + 0.00000181 * X79) +$

$(0.00006017 * X73 + 0.00004747 * X74 + 0.00003698 * X75 + 0.00002840 * X76 + 0.00002179 * X77) +$

$(0.00010371 * X1 + 0.00007956 * X2 + 0.00004714 * X3 + 0.00003734 * X4) \leq 109-72-16;$

!0-31;

$0.00000460 * X91 + 0.00000311 * X92 + 0.00000206 * X93 +$

$(0.00005120 * X86 + 0.00003935 * X87 + 0.00003104 * X88 + 0.00002418 * X89 + 0.00001857 * X90) +$

$(0.00000339 * X84 + 0.0000229 * X85) +$

$(0.00004808 * X80 + 0.00003794 * X81 + 0.00002955 * X82 + 0.00002270 * X83) +$

$(0.00000021) +$

$(0.00000268 * X78 + 0.00000181 * X79) +$

(0.00006017*X73+0.00004747*X74+0.00003698*X75+0.00002840*X76+0.00002179*X77)+
 (0.00010371*X1+0.00007956*X2+0.00004714*X3+0.00003734*X4) <=109-52-16;

!0-32;

0.00000761*X94+0.00000515*X95+0.00000340*X96+
 (0.00005120*X86+0.00003935*X87+0.00003104*X88+0.00002418*X89+0.00001857*X90)+
 (0.00000339*X84+0.00000229*X85)+
 (0.00004808*X80+0.00003794*X81+0.00002955*X82+0.00002270*X83)+
 (0.00000021)+
 (0.00000268*X78+0.00000181*X79)+
 (0.00006017*X73+0.00004747*X74+0.00003698*X75+0.00002840*X76+0.00002179*X77)+
 (0.00010371*X1+0.00007956*X2+0.00004714*X3+0.00003734*X4) <=109-71-16;

!0-33;

0.00003914*X97+0.00003096*X98+0.00002380*X99+0.00001877*X100+0.00001462*X101+
 (0.00000460*X91+0.00000311*X92+0.00000206*X93)+
 (0.00000761*X94+0.00000515*X95+0.00000340*X96)+
 (0.00005120*X86+0.00003935*X87+0.00003104*X88+0.00002418*X89+0.00001857*X90)+
 (0.00000339*X84+0.00000229*X85)+
 (0.00004808*X80+0.00003794*X81+0.00002955*X82+0.00002270*X83)+
 (0.00000021)+
 (0.00000268*X78+0.00000181*X79)+
 (0.00006017*X73+0.00004747*X74+0.00003698*X75+0.00002840*X76+0.00002179*X77)+
 (0.00010371*X1+0.00007956*X2+0.00004714*X3+0.00003734*X4) <=109-56-16;

!0-34;

0.00000713*X102+0.00000482*X103+0.00000319*X104+
 (0.00003914*X97+0.00003096*X98+0.00002380*X99+0.00001877*X100+0.00001462*X101)+
 (0.00000460*X91+0.00000311*X92+0.00000206*X93)+
 (0.00000761*X94+0.00000515*X95+0.00000340*X96)+
 (0.00005120*X86+0.00003935*X87+0.00003104*X88+0.00002418*X89+0.00001857*X90)+
 (0.00000339*X84+0.00000229*X85)+
 (0.00004808*X80+0.00003794*X81+0.00002955*X82+0.00002270*X83)+
 (0.00000021)+
 (0.00000268*X78+0.00000181*X79)+
 (0.00006017*X73+0.00004747*X74+0.00003698*X75+0.00002840*X76+0.00002179*X77)+
 (0.00010371*X1+0.00007956*X2+0.00004714*X3+0.00003734*X4) <=109-51-16;

!0-35;

0.00000761*X105+0.00000515*X106+0.00000340*X107+
 (0.00003914*X97+0.00003096*X98+0.00002380*X99+0.00001877*X100+0.00001462*X101)+
 (0.00000460*X91+0.00000311*X92+0.00000206*X93)+
 (0.00000761*X94+0.00000515*X95+0.00000340*X96)+
 (0.00005120*X86+0.00003935*X87+0.00003104*X88+0.00002418*X89+0.00001857*X90)+
 (0.00000339*X84+0.00000229*X85)+
 (0.00004808*X80+0.00003794*X81+0.00002955*X82+0.00002270*X83)+
 (0.00000021)+
 (0.00000268*X78+0.00000181*X79)+
 (0.00006017*X73+0.00004747*X74+0.00003698*X75+0.00002840*X76+0.00002179*X77)+

$(0.00010371 * X1 + 0.00007956 * X2 + 0.00004714 * X3 + 0.00003734 * X4) \leq 109 - 54 - 16;$

!0-36;

$0.00003294 * X108 + 0.00002445 * X109 + 0.00001875 * X110 + 0.00001484 * X111 + 0.00001140 * X112 +$
 $(0.00000713 * X102 + 0.00000482 * X103 + 0.00000319 * X104) +$
 $(0.00000761 * X105 + 0.00000515 * X106 + 0.00000340 * X107) +$
 $(0.00003914 * X97 + 0.00003096 * X98 + 0.00002380 * X99 + 0.00001877 * X100 + 0.00001462 * X101) +$
 $(0.00000460 * X91 + 0.00000311 * X92 + 0.00000206 * X93) +$
 $(0.00000761 * X94 + 0.00000515 * X95 + 0.00000340 * X96) +$
 $(0.00005120 * X86 + 0.00003935 * X87 + 0.00003104 * X88 + 0.00002418 * X89 + 0.00001857 * X90) +$
 $(0.00000339 * X84 + 0.00000229 * X85) +$
 $(0.00004808 * X80 + 0.00003794 * X81 + 0.00002955 * X82 + 0.00002270 * X83) +$
 $(0.00000021) +$
 $(0.00000268 * X78 + 0.00000181 * X79) +$
 $(0.00006017 * X73 + 0.00004747 * X74 + 0.00003698 * X75 + 0.00002840 * X76 + 0.00002179 * X77) +$
 $(0.00010371 * X1 + 0.00007956 * X2 + 0.00004714 * X3 + 0.00003734 * X4) \leq 109 - 53 - 16;$

!0-37;

$0.00000675 * X113 + 0.00000457 * X114 + 0.00000302 * X115 +$
 $(0.00003294 * X108 + 0.00002445 * X109 + 0.00001875 * X110 + 0.00001484 * X111 + 0.00001140 * X112) +$
 $(0.00000713 * X102 + 0.00000482 * X103 + 0.00000319 * X104) +$
 $(0.00000761 * X105 + 0.00000515 * X106 + 0.00000340 * X107) +$
 $(0.00003914 * X97 + 0.00003096 * X98 + 0.00002380 * X99 + 0.00001877 * X100 + 0.00001462 * X101) +$
 $(0.00000460 * X91 + 0.00000311 * X92 + 0.00000206 * X93) +$
 $(0.00000761 * X94 + 0.00000515 * X95 + 0.00000340 * X96) +$
 $(0.00005120 * X86 + 0.00003935 * X87 + 0.00003104 * X88 + 0.00002418 * X89 + 0.00001857 * X90) +$
 $(0.00000339 * X84 + 0.00000229 * X85) +$
 $(0.00004808 * X80 + 0.00003794 * X81 + 0.00002955 * X82 + 0.00002270 * X83) +$
 $(0.00000021) +$
 $(0.00000268 * X78 + 0.00000181 * X79) +$
 $(0.00006017 * X73 + 0.00004747 * X74 + 0.00003698 * X75 + 0.00002840 * X76 + 0.00002179 * X77) +$
 $(0.00010371 * X1 + 0.00007956 * X2 + 0.00004714 * X3 + 0.00003734 * X4) \leq 109 - 53 - 16;$

!0-38;

$0.00002607 * X116 + 0.00002022 * X117 + 0.00001501 * X118 + 0.00001151 * X119 + 0.00000911 * X120 +$
 $(0.00000675 * X113 + 0.00000457 * X114 + 0.00000302 * X115) +$
 $(0.00003294 * X108 + 0.00002445 * X109 + 0.00001875 * X110 + 0.00001484 * X111 + 0.00001140 * X112) +$
 $(0.00000713 * X102 + 0.00000482 * X103 + 0.00000319 * X104) +$
 $(0.00000761 * X105 + 0.00000515 * X106 + 0.00000340 * X107) +$
 $(0.00003914 * X97 + 0.00003096 * X98 + 0.00002380 * X99 + 0.00001877 * X100 + 0.00001462 * X101) +$
 $(0.00000460 * X91 + 0.00000311 * X92 + 0.00000206 * X93) +$
 $(0.00000761 * X94 + 0.00000515 * X95 + 0.00000340 * X96) +$
 $(0.00005120 * X86 + 0.00003935 * X87 + 0.00003104 * X88 + 0.00002418 * X89 + 0.00001857 * X90) +$
 $(0.00000339 * X84 + 0.00000229 * X85) +$
 $(0.00004808 * X80 + 0.00003794 * X81 + 0.00002955 * X82 + 0.00002270 * X83) +$
 $(0.00000021) +$
 $(0.00000268 * X78 + 0.00000181 * X79) +$
 $(0.00006017 * X73 + 0.00004747 * X74 + 0.00003698 * X75 + 0.00002840 * X76 + 0.00002179 * X77) +$

$(0.00010371 * X1 + 0.00007956 * X2 + 0.00004714 * X3 + 0.00003734 * X4) \leq 109-52-16;$

!0-39;

$0.00000801 * X121 + 0.00000541 * X122 + 0.00000358 * X123 +$
 $(0.00002607 * X116 + 0.00002022 * X117 + 0.00001501 * X118 + 0.00001151 * X119 + 0.0000911 * X120) +$
 $(0.00000675 * X113 + 0.00000457 * X114 + 0.00000302 * X115) +$
 $(0.00003294 * X108 + 0.00002445 * X109 + 0.00001875 * X110 + 0.00001484 * X111 + 0.00001140 * X112) +$
 $(0.00000713 * X102 + 0.00000482 * X103 + 0.00000319 * X104) +$
 $(0.00000761 * X105 + 0.00000515 * X106 + 0.00000340 * X107) +$
 $(0.00003914 * X97 + 0.00003096 * X98 + 0.00002380 * X99 + 0.00001877 * X100 + 0.00001462 * X101) +$
 $(0.00000460 * X91 + 0.00000311 * X92 + 0.00000206 * X93) +$
 $(0.00000761 * X94 + 0.00000515 * X95 + 0.00000340 * X96) +$
 $(0.00005120 * X86 + 0.00003935 * X87 + 0.00003104 * X88 + 0.00002418 * X89 + 0.00001857 * X90) +$
 $(0.00000339 * X84 + 0.00000229 * X85) +$
 $(0.00004808 * X80 + 0.00003794 * X81 + 0.00002955 * X82 + 0.00002270 * X83) +$
 $(0.00000021) +$
 $(0.00000268 * X78 + 0.00000181 * X79) +$
 $(0.00006017 * X73 + 0.00004747 * X74 + 0.00003698 * X75 + 0.00002840 * X76 + 0.00002179 * X77) +$
 $(0.00010371 * X1 + 0.00007956 * X2 + 0.00004714 * X3 + 0.00003734 * X4) \leq 109-51-16;$

!0-40;

$0.00000582 * X124 + 0.00000393 * X125 + 0.00000260 * X126 +$
 $(0.00002607 * X116 + 0.00002022 * X117 + 0.00001501 * X118 + 0.00001151 * X119 + 0.0000911 * X120) +$
 $(0.00000675 * X113 + 0.00000457 * X114 + 0.00000302 * X115) +$
 $(0.00003294 * X108 + 0.00002445 * X109 + 0.00001875 * X110 + 0.00001484 * X111 + 0.00001140 * X112) +$
 $(0.00000713 * X102 + 0.00000482 * X103 + 0.00000319 * X104) +$
 $(0.00000761 * X105 + 0.00000515 * X106 + 0.00000340 * X107) +$
 $(0.00003914 * X97 + 0.00003096 * X98 + 0.00002380 * X99 + 0.00001877 * X100 + 0.00001462 * X101) +$
 $(0.00000460 * X91 + 0.00000311 * X92 + 0.00000206 * X93) +$
 $(0.00000761 * X94 + 0.00000515 * X95 + 0.00000340 * X96) +$
 $(0.00005120 * X86 + 0.00003935 * X87 + 0.00003104 * X88 + 0.00002418 * X89 + 0.00001857 * X90) +$
 $(0.00000339 * X84 + 0.00000229 * X85) +$
 $(0.00004808 * X80 + 0.00003794 * X81 + 0.00002955 * X82 + 0.00002270 * X83) +$
 $(0.00000021) +$
 $(0.00000268 * X78 + 0.00000181 * X79) +$
 $(0.00006017 * X73 + 0.00004747 * X74 + 0.00003698 * X75 + 0.00002840 * X76 + 0.00002179 * X77) +$
 $(0.00010371 * X1 + 0.00007956 * X2 + 0.00004714 * X3 + 0.00003734 * X4) \leq 109-54-16;$

!0-41;

$0.00001095 * X127 + 0.00000697 * X128 + 0.00000521 * X129 + 0.00000404 * X130 +$
 $(0.00000801 * X121 + 0.00000541 * X122 + 0.00000358 * X123) +$
 $(0.00000582 * X124 + 0.00000393 * X125 + 0.00000260 * X126) +$
 $(0.00002607 * X116 + 0.00002022 * X117 + 0.00001501 * X118 + 0.00001151 * X119 + 0.0000911 * X120) +$
 $(0.00000675 * X113 + 0.00000457 * X114 + 0.00000302 * X115) +$
 $(0.00003294 * X108 + 0.00002445 * X109 + 0.00001875 * X110 + 0.00001484 * X111 + 0.00001140 * X112) +$
 $(0.00000713 * X102 + 0.00000482 * X103 + 0.00000319 * X104) +$
 $(0.00000761 * X105 + 0.00000515 * X106 + 0.00000340 * X107) +$
 $(0.00003914 * X97 + 0.00003096 * X98 + 0.00002380 * X99 + 0.00001877 * X100 + 0.00001462 * X101) +$

(0.00000460*X91+0.00000311*X92+0.00000206*X93)+
 (0.00000761*X94+0.00000515*X95+0.00000340*X96)+
 (0.00005120*X86+0.00003935*X87+0.00003104*X88+0.00002418*X89+0.000018
 57*X90)+
 (0.00000339*X84+0.00000229*X85)+
 (0.00004808*X80+0.00003794*X81+0.00002955*X82+0.00002270*X83)+
 (0.00000021)+
 (0.00000268*X78+0.00000181*X79)+
 (0.00006017*X73+0.00004747*X74+0.00003698*X75+0.00002840*X76+0.000021
 79*X77)+
 (0.00010371*X1+0.00007956*X2+0.00004714*X3+0.00003734*X4) <=109-50-16;

!0-42;

0.00000891*X131+0.00000590*X132+0.00000375*X133+
 (0.00001095*X127+0.00000697*X128+0.00000521*X129+0.00000404*X130)+
 (0.00000801*X121+0.00000541*X122+0.00000358*X123)+
 (0.00000582*X124+0.00000393*X125+0.00000260*X126)+
 (0.00002607*X116+0.00002022*X117+0.00001501*X118+0.00001151*X119+0.00
 000911*X120)+
 (0.00000675*X113+0.00000457*X114+0.00000302*X115)+
 (0.00003294*X108+0.00002445*X109+0.00001875*X110+0.00001484*X111+0.00
 001140*X112)+
 (0.00000713*X102+0.00000482*X103+0.00000319*X104)+
 (0.00000761*X105+0.00000515*X106+0.00000340*X107)+
 (0.00003914*X97+0.00003096*X98+0.00002380*X99+0.00001877*X100+0.00001
 462*X101)+
 (0.00000460*X91+0.00000311*X92+0.00000206*X93)+
 (0.00000761*X94+0.00000515*X95+0.00000340*X96)+
 (0.00005120*X86+0.00003935*X87+0.00003104*X88+0.00002418*X89+0.000018
 57*X90)+
 (0.00000339*X84+0.00000229*X85)+
 (0.00004808*X80+0.00003794*X81+0.00002955*X82+0.00002270*X83)+
 (0.00000021)+
 (0.00000268*X78+0.00000181*X79)+
 (0.00006017*X73+0.00004747*X74+0.00003698*X75+0.00002840*X76+0.000021
 79*X77)+
 (0.00010371*X1+0.00007956*X2+0.00004714*X3+0.00003734*X4) <=109-51-16;

✓ REPORT LINGO ΤΜΑΜΑΤΟΣ Α ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΓΙΑ
ΑΥΞΗΣΗ ΠΑΡΟΧΗΣ Q 15%

Global optimal solution found.
 Objective value: 27200.12
 Infeasibilities: 0.000000
 Total solver iterations: 18
 Elapsed runtime seconds: 0.10

Model Class: LP

Total variables: 72
 Nonlinear variables: 0
 Integer variables: 0

Total constraints: 117
 Nonlinear constraints: 0

Total nonzeros: 1197
 Nonlinear nonzeros: 0

	Variable	Value
Reduced Cost		
0.000000	X1	59.29000
10.90000	X2	0.000000
26.90000	X3	0.000000
43.90000	X4	0.000000
0.000000	X5	26.92000
4.000000	X6	0.000000
16.20000	X7	0.000000
27.00000	X8	0.000000
0.000000	X9	42.07000
4.000000	X10	0.000000
16.20000	X11	0.000000
27.00000	X12	0.000000
0.000000	X13	97.11000
4.000000	X14	0.000000
16.20000	X15	0.000000
27.00000	X16	0.000000
0.000000	X17	115.7200

4.000000	X18	0.000000
16.20000	X19	0.000000
27.00000	X20	0.000000
37.90000	X21	0.000000
0.000000	X22	180.3700
0.7000000	X23	0.000000
2.100000	X24	0.000000
0.000000	X25	86.93000
1.700000	X26	0.000000
5.100000	X27	0.000000
7.200000	X28	0.000000
10.40000	X29	0.000000
0.000000	X30	197.5300
0.7000000	X31	0.000000
2.100000	X32	0.000000
0.000000	X33	138.0100
0.7000000	X34	0.000000
2.100000	X35	0.000000
0.000000	X36	90.59000
3.200000	X37	0.000000
6.000000	X38	0.000000
12.50000	X39	0.000000
0.000000	X40	99.69000
2.800000	X41	0.000000
9.300000	X42	0.000000
13.30000	X43	0.000000
0.000000	X44	88.55000
2.800000	X45	0.000000
9.300000	X46	0.000000
13.30000	X47	0.000000

	X48	0.000000	
25.50000	X49	157.2100	
0.000000	X50	0.000000	
6.500000	X51	0.000000	
10.50000	X52	0.000000	
22.70000	X53	0.000000	
33.50000	X54	146.0100	
0.000000	X55	0.000000	
0.7000000	X56	206.6200	
0.000000	X57	0.000000	
0.7000000	X58	0.000000	
2.100000	X59	239.4200	
0.000000	X60	0.000000	
0.7000000	X61	0.000000	
2.100000	X62	257.9800	
0.000000	X63	0.000000	
1.400000	X64	0.000000	
2.700000	X65	239.4100	
0.000000	X66	0.000000	
0.7000000	X67	0.000000	
2.100000	X68	205.6100	
0.000000	X69	0.000000	
1.400000	X70	0.000000	
2.700000	X71	57.94000	
0.000000	X72	0.000000	
0.7000000			
	Row	Slack or Surplus	
Dual Price	1	27200.12	-
1.000000	2	0.000000	-
54.10000	3	0.000000	-
27.10000	4	0.000000	-
27.10000			

	5	0.000000	-
27.10000			
	6	0.000000	-
27.10000			
	7	0.000000	-
4.000000			
	8	0.000000	-
7.400000			
	9	0.000000	-
4.000000			
	10	0.000000	-
4.000000			
	11	0.000000	-
14.60000			
	12	0.000000	-
17.80000			
	13	0.000000	-
17.80000			
	14	0.000000	-
20.60000			
	15	0.000000	-
4.000000			
	16	0.000000	-
4.000000			
	17	0.000000	-
4.000000			
	18	0.000000	-
4.700000			
	19	0.000000	-
4.000000			
	20	0.000000	-
4.700000			
	21	0.000000	-
4.000000			
	22	59.29000	
0.000000			
	23	0.000000	
0.000000			
	24	0.000000	
0.000000			
	25	0.000000	
0.000000			
	26	26.92000	
0.000000			
	27	0.000000	
0.000000			
	28	0.000000	
0.000000			
	29	0.000000	
0.000000			
	30	42.07000	
0.000000			
	31	0.000000	
0.000000			
	32	0.000000	
0.000000			
	33	0.000000	
0.000000			
	34	97.11000	
0.000000			

0.000000	35	0.000000
0.000000	36	0.000000
0.000000	37	0.000000
0.000000	38	115.7200
0.000000	39	0.000000
0.000000	40	0.000000
0.000000	41	0.000000
0.000000	42	0.000000
0.000000	43	180.3700
0.000000	44	0.000000
0.000000	45	0.000000
0.000000	46	86.93000
0.000000	47	0.000000
0.000000	48	0.000000
0.000000	49	0.000000
0.000000	50	0.000000
0.000000	51	197.5300
0.000000	52	0.000000
0.000000	53	0.000000
0.000000	54	138.0100
0.000000	55	0.000000
0.000000	56	0.000000
0.000000	57	90.59000
0.000000	58	0.000000
0.000000	59	0.000000
0.000000	60	0.000000
0.000000	61	99.69000
0.000000	62	0.000000
0.000000	63	0.000000
0.000000	64	0.000000

0.000000	65	88.55000
0.000000	66	0.000000
0.000000	67	0.000000
0.000000	68	0.000000
0.000000	69	0.000000
0.000000	70	157.2100
0.000000	71	0.000000
0.000000	72	0.000000
0.000000	73	0.000000
0.000000	74	0.000000
0.000000	75	146.0100
0.000000	76	0.000000
0.000000	77	206.6200
0.000000	78	0.000000
0.000000	79	0.000000
0.000000	80	239.4200
0.000000	81	0.000000
0.000000	82	0.000000
0.000000	83	257.9800
0.000000	84	0.000000
0.000000	85	0.000000
0.000000	86	239.4100
0.000000	87	0.000000
0.000000	88	0.000000
0.000000	89	205.6100
0.000000	90	0.000000
0.000000	91	0.000000
0.000000	92	57.94000
0.000000	93	0.000000
0.000000	94	3.993851

0.000000	95	5.992506
0.000000	96	4.990442
0.000000	97	6.985810
0.000000	98	22.97910
0.000000	99	8.979096
0.000000	100	33.97158
0.000000	101	26.97073
0.000000	102	37.96678
0.000000	103	40.96545
0.000000	104	40.96222
0.000000	105	40.96029
0.000000	106	42.96029
0.000000	107	36.95804
0.000000	108	41.95759
0.000000	109	40.95685
0.000000	110	39.95685
0.000000	111	28.95464
0.000000	112	39.95389
0.000000	113	43.95299
0.000000	114	40.95299
0.000000	115	40.95299
0.000000	116	37.95158
0.000000	117	36.95158

✓ REPORT LINGO ΤΜΑΜΑΤΟΣ Β ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΓΙΑ
ΑΥΞΗΣΗ ΠΑΡΟΧΗΣ Q 15%

Global optimal solution found.
 Objective value: 26785.91
 Infeasibilities: 0.000000
 Total solver iterations: 16
 Elapsed runtime seconds: 0.07

Model Class: LP

Total variables: 65
 Nonlinear variables: 0
 Integer variables: 0

Total constraints: 103
 Nonlinear constraints: 0

Total nonzeros: 819
 Nonlinear nonzeros: 0

	Variable	Value
Reduced Cost		
	X1	59.29000
0.000000	X2	0.000000
10.90000	X3	0.000000
26.90000	X4	0.000000
43.90000	X73	183.0500
0.000000	X74	0.000000
4.000000	X75	0.000000
16.20000	X76	0.000000
27.00000	X77	0.000000
37.90000	X78	120.1800
0.000000	X79	0.000000
0.7000000	X80	93.43000
0.000000	X81	0.000000
4.000000	X82	0.000000
16.20000	X83	0.000000
27.00000	X84	187.5300
0.000000	X85	0.000000
0.7000000		

0.000000	X86	95.73000
6.500000	X87	0.000000
10.50000	X88	0.000000
22.70000	X89	0.000000
33.50000	X90	0.000000
0.000000	X91	217.5800
0.7000000	X92	0.000000
2.100000	X93	0.000000
0.000000	X94	279.7900
0.7000000	X95	0.000000
2.100000	X96	0.000000
0.000000	X97	86.56000
2.800000	X98	0.000000
9.300000	X99	0.000000
13.30000	X100	0.000000
25.50000	X101	0.000000
0.000000	X102	271.2700
0.7000000	X103	0.000000
2.100000	X104	0.000000
0.000000	X105	279.8700
0.7000000	X106	0.000000
2.100000	X107	0.000000
0.000000	X108	47.77000
2.100000	X109	0.000000
5.300000	X110	0.000000
8.100000	X111	0.000000
14.60000	X112	0.000000
0.000000	X113	263.9800
0.7000000	X114	0.000000
2.100000	X115	0.000000

0.000000	X116	89.75000	
3.400000	X117	0.000000	
5.500000	X118	0.000000	
8.700000	X119	0.000000	
11.50000	X120	0.000000	
0.000000	X121	287.2600	
0.7000000	X122	0.000000	
2.100000	X123	0.000000	
0.000000	X124	244.7500	
0.7000000	X125	0.000000	
2.100000	X126	0.000000	
0.000000	X127	134.0500	
1.300000	X128	0.000000	
3.000000	X129	0.000000	
6.400000	X130	0.000000	
0.000000	X131	368.6200	
1.400000	X132	0.000000	
2.700000	X133	0.000000	
	Row	Slack or Surplus	
Dual Price	1	26785.91	-
1.000000	2	0.000000	-
54.10000	3	0.000000	-
27.10000	4	0.000000	-
4.000000	5	0.000000	-
27.10000	6	0.000000	-
4.000000	7	0.000000	-
20.60000	8	0.000000	-
4.000000	9	0.000000	-
4.000000	10	0.000000	-
17.80000	11	0.000000	-
4.000000			

4.000000	12	0.000000	-
12.50000	13	0.000000	-
4.000000	14	0.000000	-
9.100000	15	0.000000	-
4.000000	16	0.000000	-
4.000000	17	0.000000	-
6.100000	18	0.000000	-
4.700000	19	0.000000	-
0.000000	20	59.29000	
0.000000	21	0.000000	
0.000000	22	0.000000	
0.000000	23	0.000000	
0.000000	24	183.0500	
0.000000	25	0.000000	
0.000000	26	0.000000	
0.000000	27	0.000000	
0.000000	28	0.000000	
0.000000	29	120.1800	
0.000000	30	0.000000	
0.000000	31	93.43000	
0.000000	32	0.000000	
0.000000	33	0.000000	
0.000000	34	0.000000	
0.000000	35	187.5300	
0.000000	36	0.000000	
0.000000	37	95.73000	
0.000000	38	0.000000	
0.000000	39	0.000000	
0.000000	40	0.000000	
0.000000	41	0.000000	

0.000000	42	217.5800
0.000000	43	0.000000
0.000000	44	0.000000
0.000000	45	279.7900
0.000000	46	0.000000
0.000000	47	0.000000
0.000000	48	86.56000
0.000000	49	0.000000
0.000000	50	0.000000
0.000000	51	0.000000
0.000000	52	0.000000
0.000000	53	271.2700
0.000000	54	0.000000
0.000000	55	0.000000
0.000000	56	279.8700
0.000000	57	0.000000
0.000000	58	0.000000
0.000000	59	47.77000
0.000000	60	0.000000
0.000000	61	0.000000
0.000000	62	0.000000
0.000000	63	0.000000
0.000000	64	263.9800
0.000000	65	0.000000
0.000000	66	0.000000
0.000000	67	89.75000
0.000000	68	0.000000
0.000000	69	0.000000
0.000000	70	0.000000
0.000000	71	0.000000

0.000000	72	287.2600
0.000000	73	0.000000
0.000000	74	0.000000
0.000000	75	244.7500
0.000000	76	0.000000
0.000000	77	0.000000
0.000000	78	134.0500
0.000000	79	0.000000
0.000000	80	0.000000
0.000000	81	0.000000
0.000000	82	368.6200
0.000000	83	0.000000
0.000000	84	0.000000
0.000000	85	3.993851
0.000000	86	14.98284
0.000000	87	6.982515
0.000000	88	7.982515
0.000000	89	6.978023
0.000000	90	24.97739
0.000000	91	20.97249
0.000000	92	40.97148
0.000000	93	21.97036
0.000000	94	36.96597
0.000000	95	41.96403
0.000000	96	38.96384
0.000000	97	39.96033
0.000000	98	39.95855
0.000000	99	40.95621
0.000000	100	41.95391
0.000000	101	38.95478

0.000000	102	42.95101
0.000000	103	41.94773

✓ ΚΩΔΙΚΑΣ ΣΕ LINGO ΤΜΑΜΑΤΟΣ Α ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ
ΓΙΑ ΑΥΞΗΣΗ ΠΑΡΟΧΗΣ Q 20%

```
!OPTIMAZATION PART A;
!ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΣΚΟΠΟΥ Z;
min=54.1*X1+65.0*X2+81.0*X3+98.0*X4+
27.1*X5+31.1*X6+43.3*X7+54.1*X8+65.0*X9+
27.1*X10+31.1*X11+43.3*X12+54.1*X13+
27.1*X14+31.1*X15+43.3*X16+54.1*X17+
27.1*X18+31.1*X19+43.3*X20+54.1*X21+
4.0*X22+4.7*X23+6.1*X24+
9.1*X25+12.5*X26+14.6*X27+17.8*X28+
4.0*X29+4.7*X30+6.1*X31+
4.0*X32+4.7*X33+6.1*X34+
14.6*X35+17.8*X36+20.6*X37+27.1*X38+
17.8*X39+20.6*X40+27.1*X41+31.1*X42+43.3*X43+
17.8*X44+20.6*X45+27.1*X46+31.1*X47+43.3*X48+
20.6*X49+27.1*X50+31.1*X51+43.3*X52+54.1*X53+
4.0*X54+4.7*X55+6.1*X56+
4.0*X57+4.7*X58+6.1*X59+
4.0*X60+4.7*X61+6.1*X62+
4.7*X63+6.1*X64+7.4*X65+
4.0*X66+4.7*X67+6.1*X68+
4.7*X69+6.1*X70+7.4*X71+
4.0*X72+4.7*X73;
```

```
!ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΜΗΚΟΥΣ;
X1+X2+X3+X4=59.29;
X5+X6+X7+X8+X9=26.92;
X10+X11+X12+X13=42.07;
X14+X15+X16+X17=97.11;
X18+X19+X20+X21=115.72;
X22+X23+X24=180.37;
X25+X26+X27+X28=86.93;
X29+X30+X31=197.53;
X32+X33+X34=138.01;
X35+X36+X37+X38=90.59;
X39+X40+X41+X42+X43=99.69;
X44+X45+X46+X47+X48=88.55;
X49+X50+X51+X52+X53=157.21;
X54+X55+X56=146.01;
X57+X58+X59=206.62;
X60+X61+X62=239.42;
X63+X64+X65=257.98;
X66+X67+X68=239.41;
X69+X70+X71=205.61;
X72+X73=57.94;
```

$X1 \geq 0; X2 \geq 0; X3 \geq 0; X4 \geq 0; X5 \geq 0; X6 \geq 0; X7 \geq 0; X8 \geq 0; X9 \geq 0;$
 $X10 \geq 0; X11 \geq 0; X12 \geq 0; X13 \geq 0; X14 \geq 0; X15 \geq 0; X16 \geq 0; X17 \geq 0;$
 $X18 \geq 0; X19 \geq 0; X20 \geq 0; X21 \geq 0; X22 \geq 0; X23 \geq 0; X24 \geq 0; X25 \geq 0;$
 $X26 \geq 0; X27 \geq 0; X28 \geq 0; X29 \geq 0; X30 \geq 0; X31 \geq 0; X32 \geq 0; X33 \geq 0;$
 $X34 \geq 0; X35 \geq 0; X36 \geq 0; X37 \geq 0; X38 \geq 0; X39 \geq 0; X40 \geq 0; X41 \geq 0;$
 $X42 \geq 0; X43 \geq 0; X44 \geq 0; X45 \geq 0; X46 \geq 0; X47 \geq 0; X48 \geq 0; X49 \geq 0;$
 $X50 \geq 0; X51 \geq 0; X52 \geq 0; X53 \geq 0; X54 \geq 0; X55 \geq 0; X56 \geq 0; X57 \geq 0;$
 $X58 \geq 0; X59 \geq 0; X60 \geq 0; X61 \geq 0; X62 \geq 0; X63 \geq 0; X64 \geq 0; X65 \geq 0;$
 $X66 \geq 0; X67 \geq 0; X68 \geq 0; X69 \geq 0; X70 \geq 0; X71 \geq 0; X72 \geq 0; X73 \geq 0;$

!ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΙΚΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ;

!ΤΜΗΜΑ Α;

!0-1;

$0.00011292 * X1 + 0.00008663 * X2 + 0.00005133 * X3 + 0.00004065 * X4 \leq 109-89-16;$

!0-2;

$0.00005440 * X5 + 0.00004292 * X6 + 0.00003343 * X7 + 0.00002568 * X8 + 0.00001970 * X9$
 $+ (0.00011292 * X1 + 0.00008663 * X2 + 0.00005133 * X3 + 0.00004065 * X4) \leq 109-87-16;$

!0-3;

$0.00005342 * X10 + 0.00004215 * X11 + 0.00003283 * X12 + 0.00002521 * X13 +$
 $(0.00005440 * X5 + 0.00004292 * X6 + 0.00003343 * X7 + 0.00002568 * X8 + 0.00001970 * X9) +$
 $(0.00011292 * X1 + 0.00008663 * X2 + 0.00005133 * X3 + 0.00004065 * X4) \leq 109-88-16;$

!0-4;

$0.00005194 * X14 + 0.00004098 * X15 + 0.00003192 * X16 + 0.00002452 * X17 +$
 $(0.00005342 * X10 + 0.00004215 * X11 + 0.00003283 * X12 + 0.00002521 * X13) +$
 $(0.00005440 * X5 + 0.00004292 * X6 + 0.00003343 * X7 + 0.00002568 * X8 + 0.00001970 * X9) +$
 $(0.00011292 * X1 + 0.00008663 * X2 + 0.00005133 * X3 + 0.00004065 * X4) \leq 109-86-16;$

!0-15;

$0.00004854 * X18 + 0.00003830 * X19 + 0.00002983 * X20 + 0.00002291 * X21 +$
 $(0.00005194 * X14 + 0.00004098 * X15 + 0.00003192 * X16 + 0.00002452 * X17) +$
 $(0.00005342 * X10 + 0.00004215 * X11 + 0.00003283 * X12 + 0.00002521 * X13) +$
 $(0.00005440 * X5 + 0.00004292 * X6 + 0.00003343 * X7 + 0.00002568 * X8 + 0.00001970 * X9) +$
 $(0.00011292 * X1 + 0.00008663 * X2 + 0.00005133 * X3 + 0.00004065 * X4) \leq 109-70-16;$

!0-16;

$0.00000067 +$
 $(0.00004854 * X18 + 0.00003830 * X19 + 0.00002983 * X20 + 0.00002291 * X21) +$
 $(0.00005194 * X14 + 0.00004098 * X15 + 0.00003192 * X16 + 0.00002452 * X17) +$
 $(0.00005342 * X10 + 0.00004215 * X11 + 0.00003283 * X12 + 0.00002521 * X13) +$
 $(0.00005440 * X5 + 0.00004292 * X6 + 0.00003343 * X7 + 0.00002568 * X8 + 0.00001970 * X9) +$
 $(0.00011292 * X1 + 0.00008663 * X2 + 0.00005133 * X3 + 0.00004065 * X4) \leq 109-84-16;$

!0-14;

$0.00005207 * X49 + 0.00004002 * X50 + 0.00003157 * X51 + 0.00002459 * X52 + 0.00001889 * X53 +$
 $(0.00000067) +$
 $(0.00004854 * X18 + 0.00003830 * X19 + 0.00002983 * X20 + 0.00002291 * X21) +$
 $(0.00005194 * X14 + 0.00004098 * X15 + 0.00003192 * X16 + 0.00002452 * X17) +$
 $(0.00005342 * X10 + 0.00004215 * X11 + 0.00003283 * X12 + 0.00002521 * X13) +$

(0.00005440*X5+0.00004292*X6+0.00003343*X7+0.00002568*X8+0.00001970*X9)+
 (0.00011292*X1+0.00008663*X2+0.00005133*X3+0.00004065*X4) <=109-59-16;

!0-17;

0.00000448*X57+0.00000303*X58+0.00000201*X59+
 (0.00005207*X49+0.00004002*X50+0.00003157*X51+0.00002459*X52+0.00001889*X53)+
 (0.00000067)+
 (0.00004854*X18+0.00003830*X19+0.00002983*X20+0.00002291*X21)+
 (0.00005194*X14+0.00004098*X15+0.00003192*X16+0.00002452*X17)+
 (0.00005342*X10+0.00004215*X11+0.00003283*X12+0.00002521*X13)+
 (0.00005440*X5+0.00004292*X6+0.00003343*X7+0.00002568*X8+0.00001970*X9)+
 (0.00011292*X1+0.00008663*X2+0.00005133*X3+0.00004065*X4) <=109-66-16;

!0-13;

0.00004853*X44+0.00003839*X45+0.00002951*X46+0.00002328*X47+0.00001813*X48+
 (0.00000448*X57+0.00000303*X58+0.00000201*X59)+
 (0.00005207*X49+0.00004002*X50+0.00003157*X51+0.00002459*X52+0.00001889*X53)+
 (0.00000067)+
 (0.00004854*X18+0.00003830*X19+0.00002983*X20+0.00002291*X21)+
 (0.00005194*X14+0.00004098*X15+0.00003192*X16+0.00002452*X17)+
 (0.00005342*X10+0.00004215*X11+0.00003283*X12+0.00002521*X13)+
 (0.00005440*X5+0.00004292*X6+0.00003343*X7+0.00002568*X8+0.00001970*X9)+
 (0.00011292*X1+0.00008663*X2+0.00005133*X3+0.00004065*X4) <=109-55-16;

!0-18;

0.00000606*X60+0.00000409*X61+0.00000271*X62+
 (0.00004853*X44+0.00003839*X45+0.00002951*X46+0.00002328*X47+0.00001813*X48)+
 (0.00000448*X57+0.00000303*X58+0.00000201*X59)+
 (0.00005207*X49+0.00004002*X50+0.00003157*X51+0.00002459*X52+0.00001889*X53)+
 (0.00000067)+
 (0.00004854*X18+0.00003830*X19+0.00002983*X20+0.00002291*X21)+
 (0.00005194*X14+0.00004098*X15+0.00003192*X16+0.00002452*X17)+
 (0.00005342*X10+0.00004215*X11+0.00003283*X12+0.00002521*X13)+
 (0.00005440*X5+0.00004292*X6+0.00003343*X7+0.00002568*X8+0.00001970*X9)+
 (0.00011292*X1+0.00008663*X2+0.00005133*X3+0.00004065*X4) <=109-52-16;

!0-12;

0.00003524*X39+0.00002788*X40+0.00002142*X41+0.00001690*X42+0.00001317*X43+
 (0.00000606*X60+0.00000409*X61+0.00000271*X62)+
 (0.00004853*X44+0.00003839*X45+0.00002951*X46+0.00002328*X47+0.00001813*X48)+
 (0.00000448*X57+0.00000303*X58+0.00000201*X59)+
 (0.00005207*X49+0.00004002*X50+0.00003157*X51+0.00002459*X52+0.00001889*X53)+
 (0.00000067)+
 (0.00004854*X18+0.00003830*X19+0.00002983*X20+0.00002291*X21)+
 (0.00005194*X14+0.00004098*X15+0.00003192*X16+0.00002452*X17)+
 (0.00005342*X10+0.00004215*X11+0.00003283*X12+0.00002521*X13)+
 (0.00005440*X5+0.00004292*X6+0.00003343*X7+0.00002568*X8+0.00001970*X9)+
 (0.00011292*X1+0.00008663*X2+0.00005133*X3+0.00004065*X4) <=109-52-16;

!0-19;

0.00000815*X63+0.00000540*X64+0.00000344*X65+
 (0.00003524*X39+0.00002788*X40+0.00002142*X41+0.00001690*X42+0.000013
 17*X43)+
 (0.00000606*X60+0.00000409*X61+0.00000271*X62)+
 (0.00004853*X44+0.00003839*X45+0.00002951*X46+0.00002328*X47+0.000018
 13*X48)+
 (0.00000448*X57+0.00000303*X58+0.00000201*X59)+
 (0.00005207*X49+0.00004002*X50+0.00003157*X51+0.00002459*X52+0.000018
 89*X53)+
 (0.00000067)+
 (0.00004854*X18+0.00003830*X19+0.00002983*X20+0.00002291*X21)+
 (0.00005194*X14+0.00004098*X15+0.00003192*X16+0.00002452*X17)+
 (0.00005342*X10+0.00004215*X11+0.00003283*X12+0.00002521*X13)+
 (0.00005440*X5+0.00004292*X6+0.00003343*X7+0.00002568*X8+0.00001970*X
 9)+
 (0.00011292*X1+0.00008663*X2+0.00005133*X3+0.00004065*X4) <=109-52-16;

!0-20;

0.00000067+
 (0.00000815*X63+0.00000540*X64+0.00000344*X65)+
 (0.00003524*X39+0.00002788*X40+0.00002142*X41+0.00001690*X42+0.000013
 17*X43)+
 (0.00000606*X60+0.00000409*X61+0.00000271*X62)+
 (0.00004853*X44+0.00003839*X45+0.00002951*X46+0.00002328*X47+0.000018
 13*X48)+
 (0.00000448*X57+0.00000303*X58+0.00000201*X59)+
 (0.00005207*X49+0.00004002*X50+0.00003157*X51+0.00002459*X52+0.000018
 89*X53)+
 (0.00000067)+
 (0.00004854*X18+0.00003830*X19+0.00002983*X20+0.00002291*X21)+
 (0.00005194*X14+0.00004098*X15+0.00003192*X16+0.00002452*X17)+
 (0.00005342*X10+0.00004215*X11+0.00003283*X12+0.00002521*X13)+
 (0.00005440*X5+0.00004292*X6+0.00003343*X7+0.00002568*X8+0.00001970*X
 9)+
 (0.00011292*X1+0.00008663*X2+0.00005133*X3+0.00004065*X4) <=109-50-16;

!0-5;

0.00002710*X35+0.00002078*X36+0.00001644*X37+0.00001264*X38+
 (0.00000067)+
 (0.00000815*X63+0.00000540*X64+0.00000344*X65)+
 (0.00003524*X39+0.00002788*X40+0.00002142*X41+0.00001690*X42+0.000013
 17*X43)+
 (0.00000606*X60+0.00000409*X61+0.00000271*X62)+
 (0.00004853*X44+0.00003839*X45+0.00002951*X46+0.00002328*X47+0.000018
 13*X48)+
 (0.00000448*X57+0.00000303*X58+0.00000201*X59)+
 (0.00005207*X49+0.00004002*X50+0.00003157*X51+0.00002459*X52+0.000018
 89*X53)+
 (0.00000067)+
 (0.00004854*X18+0.00003830*X19+0.00002983*X20+0.00002291*X21)+
 (0.00005194*X14+0.00004098*X15+0.00003192*X16+0.00002452*X17)+
 (0.00005342*X10+0.00004215*X11+0.00003283*X12+0.00002521*X13)+
 (0.00005440*X5+0.00004292*X6+0.00003343*X7+0.00002568*X8+0.00001970*X
 9)+
 (0.00011292*X1+0.00008663*X2+0.00005133*X3+0.00004065*X4) <=109-56-16;

!0-21;

0.00000202*X66+0.00000136*X67+0.00000090*X68+
 (0.00002710*X35+0.00002078*X36+0.00001644*X37+0.00001264*X38)+

(0.00000067)+
 (0.00000815*X63+0.00000540*X64+0.00000344*X65)+
 (0.00003524*X39+0.00002788*X40+0.00002142*X41+0.00001690*X42+0.00001317*X43)+
 (0.00000606*X60+0.00000409*X61+0.00000271*X62)+
 (0.00004853*X44+0.00003839*X45+0.00002951*X46+0.00002328*X47+0.00001813*X48)+
 (0.00000448*X57+0.00000303*X58+0.00000201*X59)+
 (0.00005207*X49+0.00004002*X50+0.00003157*X51+0.00002459*X52+0.00001889*X53)+
 (0.00000067)+
 (0.00004854*X18+0.00003830*X19+0.00002983*X20+0.00002291*X21)+
 (0.00005194*X14+0.00004098*X15+0.00003192*X16+0.00002452*X17)+
 (0.00005342*X10+0.00004215*X11+0.00003283*X12+0.00002521*X13)+
 (0.00005440*X5+0.00004292*X6+0.00003343*X7+0.00002568*X8+0.00001970*X9)+
 (0.00011292*X1+0.00008663*X2+0.00005133*X3+0.00004065*X4) <=109-51-16;

!0-6;

0.00000715*X22+0.00000484*X23+0.00000320*X24+
 (0.00002710*X35+0.00002078*X36+0.00001644*X37+0.00001264*X38)+
 (0.00000067)+
 (0.00000815*X63+0.00000540*X64+0.00000344*X65)+
 (0.00003524*X39+0.00002788*X40+0.00002142*X41+0.00001690*X42+0.00001317*X43)+
 (0.00000606*X60+0.00000409*X61+0.00000271*X62)+
 (0.00004853*X44+0.00003839*X45+0.00002951*X46+0.00002328*X47+0.00001813*X48)+
 (0.00000448*X57+0.00000303*X58+0.00000201*X59)+
 (0.00005207*X49+0.00004002*X50+0.00003157*X51+0.00002459*X52+0.00001889*X53)+
 (0.00000067)+
 (0.00004854*X18+0.00003830*X19+0.00002983*X20+0.00002291*X21)+
 (0.00005194*X14+0.00004098*X15+0.00003192*X16+0.00002452*X17)+
 (0.00005342*X10+0.00004215*X11+0.00003283*X12+0.00002521*X13)+
 (0.00005440*X5+0.00004292*X6+0.00003343*X7+0.00002568*X8+0.00001970*X9)+
 (0.00011292*X1+0.00008663*X2+0.00005133*X3+0.00004065*X4) <=109-52-16;

!0-7;

0.00000067+
 (0.00000715*X22+0.00000484*X23+0.00000320*X24)+
 (0.00002710*X35+0.00002078*X36+0.00001644*X37+0.00001264*X38)+
 (0.00000067)+
 (0.00000815*X63+0.00000540*X64+0.00000344*X65)+
 (0.00003524*X39+0.00002788*X40+0.00002142*X41+0.00001690*X42+0.00001317*X43)+
 (0.00000606*X60+0.00000409*X61+0.00000271*X62)+
 (0.00004853*X44+0.00003839*X45+0.00002951*X46+0.00002328*X47+0.00001813*X48)+
 (0.00000448*X57+0.00000303*X58+0.00000201*X59)+
 (0.00005207*X49+0.00004002*X50+0.00003157*X51+0.00002459*X52+0.00001889*X53)+
 (0.00000067)+
 (0.00004854*X18+0.00003830*X19+0.00002983*X20+0.00002291*X21)+
 (0.00005194*X14+0.00004098*X15+0.00003192*X16+0.00002452*X17)+
 (0.00005342*X10+0.00004215*X11+0.00003283*X12+0.00002521*X13)+
 (0.00005440*X5+0.00004292*X6+0.00003343*X7+0.00002568*X8+0.00001970*X9)+
 (0.00011292*X1+0.00008663*X2+0.00005133*X3+0.00004065*X4) <=109-53-16;

!0-8;

0.00002031*X25+0.00001517*X26+0.00001176*X27+0.00000873*X28+0.0000067
 0*X29+
 (0.00000202*X66+0.00000136*X67+0.00000090*X68)+
 (0.00000067)+
 (0.00000715*X22+0.00000484*X23+0.00000320*X24)+
 (0.00002710*X35+0.00002078*X36+0.00001644*X37+0.00001264*X38)+
 (0.00000067)+
 (0.00000815*X63+0.00000540*X64+0.00000344*X65)+
 (0.00003524*X39+0.00002788*X40+0.00002142*X41+0.00001690*X42+0.000013
 17*X43)+
 (0.00000606*X60+0.00000409*X61+0.00000271*X62)+
 (0.00004853*X44+0.00003839*X45+0.00002951*X46+0.00002328*X47+0.000018
 13*X48)+
 (0.00000448*X57+0.00000303*X58+0.00000201*X59)+
 (0.00005207*X49+0.00004002*X50+0.00003157*X51+0.00002459*X52+0.000018
 89*X53)+
 (0.00000067)+
 (0.00004854*X18+0.00003830*X19+0.00002983*X20+0.00002291*X21)+
 (0.00005194*X14+0.00004098*X15+0.00003192*X16+0.00002452*X17)+
 (0.00005342*X10+0.00004215*X11+0.00003283*X12+0.00002521*X13)+
 (0.00005440*X5+0.00004292*X6+0.00003343*X7+0.00002568*X8+0.00001970*X
 9)+
 (0.00011292*X1+0.00008663*X2+0.00005133*X3+0.00004065*X4) <=109-64-16;

!0-9;

0.00000414*X29+0.00000280*X30+0.00000185*X31+
 (0.00002031*X25+0.00001517*X26+0.00001176*X27+0.00000873*X28+0.000006
 70*X29)+
 (0.00000202*X66+0.00000136*X67+0.00000090*X68)+
 (0.00000067)+
 (0.00000715*X22+0.00000484*X23+0.00000320*X24)+
 (0.00002710*X35+0.00002078*X36+0.00001644*X37+0.00001264*X38)+
 (0.00000067)+
 (0.00000815*X63+0.00000540*X64+0.00000344*X65)+
 (0.00003524*X39+0.00002788*X40+0.00002142*X41+0.00001690*X42+0.000013
 17*X43)+
 (0.00000606*X60+0.00000409*X61+0.00000271*X62)+
 (0.00004853*X44+0.00003839*X45+0.00002951*X46+0.00002328*X47+0.000018
 13*X48)+
 (0.00000448*X57+0.00000303*X58+0.00000201*X59)+
 (0.00005207*X49+0.00004002*X50+0.00003157*X51+0.00002459*X52+0.000018
 89*X53)+
 (0.00000067)+
 (0.00004854*X18+0.00003830*X19+0.00002983*X20+0.00002291*X21)+
 (0.00005194*X14+0.00004098*X15+0.00003192*X16+0.00002452*X17)+
 (0.00005342*X10+0.00004215*X11+0.00003283*X12+0.00002521*X13)+
 (0.00005440*X5+0.00004292*X6+0.00003343*X7+0.00002568*X8+0.00001970*X
 9)+
 (0.00011292*X1+0.00008663*X2+0.00005133*X3+0.00004065*X4) <=109-53-16;

!0-22;

0.00000873*X69+0.00000578*X70+0.00000368*X71+
 (0.00002031*X25+0.00001517*X26+0.00001176*X27+0.00000873*X28+0.000006
 70*X29)+
 (0.00000202*X66+0.00000136*X67+0.00000090*X68)+
 (0.00000067)+
 (0.00000715*X22+0.00000484*X23+0.00000320*X24)+
 (0.00002710*X35+0.00002078*X36+0.00001644*X37+0.00001264*X38)+
 (0.00000067)+
 (0.00000815*X63+0.00000540*X64+0.00000344*X65)+

$(0.00003524 * X_{39} + 0.00002788 * X_{40} + 0.00002142 * X_{41} + 0.00001690 * X_{42} + 0.00001317 * X_{43}) +$
 $(0.00000606 * X_{60} + 0.00000409 * X_{61} + 0.00000271 * X_{62}) +$
 $(0.00004853 * X_{44} + 0.00003839 * X_{45} + 0.00002951 * X_{46} + 0.00002328 * X_{47} + 0.00001813 * X_{48}) +$
 $(0.00000448 * X_{57} + 0.00000303 * X_{58} + 0.00000201 * X_{59}) +$
 $(0.00005207 * X_{49} + 0.00004002 * X_{50} + 0.00003157 * X_{51} + 0.00002459 * X_{52} + 0.00001889 * X_{53}) +$
 $(0.00000067) +$
 $(0.00004854 * X_{18} + 0.00003830 * X_{19} + 0.00002983 * X_{20} + 0.00002291 * X_{21}) +$
 $(0.00005194 * X_{14} + 0.00004098 * X_{15} + 0.00003192 * X_{16} + 0.00002452 * X_{17}) +$
 $(0.00005342 * X_{10} + 0.00004215 * X_{11} + 0.00003283 * X_{12} + 0.00002521 * X_{13}) +$
 $(0.00005440 * X_5 + 0.00004292 * X_6 + 0.00003343 * X_7 + 0.00002568 * X_8 + 0.00001970 * X_9) +$
 $(0.00011292 * X_1 + 0.00008663 * X_2 + 0.00005133 * X_3 + 0.00004065 * X_4) \leq 109 - 49 - 16;$

!0-23;

$0.00000000 * X_{72} + 0.00000000 * X_{73} +$
 $(0.00000873 * X_{69} + 0.00000578 * X_{70} + 0.00000368 * X_{71}) +$
 $(0.00002031 * X_{25} + 0.00001517 * X_{26} + 0.00001176 * X_{27} + 0.00000873 * X_{28} + 0.00000670 * X_{29}) +$
 $(0.00000202 * X_{66} + 0.00000136 * X_{67} + 0.00000090 * X_{68}) +$
 $(0.00000067) +$
 $(0.00000715 * X_{22} + 0.00000484 * X_{23} + 0.00000320 * X_{24}) +$
 $(0.00002710 * X_{35} + 0.00002078 * X_{36} + 0.00001644 * X_{37} + 0.00001264 * X_{38}) +$
 $(0.00000067) +$
 $(0.00000815 * X_{63} + 0.00000540 * X_{64} + 0.00000344 * X_{65}) +$
 $(0.00003524 * X_{39} + 0.00002788 * X_{40} + 0.00002142 * X_{41} + 0.00001690 * X_{42} + 0.00001317 * X_{43}) +$
 $(0.00000606 * X_{60} + 0.00000409 * X_{61} + 0.00000271 * X_{62}) +$
 $(0.00004853 * X_{44} + 0.00003839 * X_{45} + 0.00002951 * X_{46} + 0.00002328 * X_{47} + 0.00001813 * X_{48}) +$
 $(0.00000448 * X_{57} + 0.00000303 * X_{58} + 0.00000201 * X_{59}) +$
 $(0.00005207 * X_{49} + 0.00004002 * X_{50} + 0.00003157 * X_{51} + 0.00002459 * X_{52} + 0.00001889 * X_{53}) +$
 $(0.00000067) +$
 $(0.00004854 * X_{18} + 0.00003830 * X_{19} + 0.00002983 * X_{20} + 0.00002291 * X_{21}) +$
 $(0.00005194 * X_{14} + 0.00004098 * X_{15} + 0.00003192 * X_{16} + 0.00002452 * X_{17}) +$
 $(0.00005342 * X_{10} + 0.00004215 * X_{11} + 0.00003283 * X_{12} + 0.00002521 * X_{13}) +$
 $(0.00005440 * X_5 + 0.00004292 * X_6 + 0.00003343 * X_7 + 0.00002568 * X_8 + 0.00001970 * X_9) +$
 $(0.00011292 * X_1 + 0.00008663 * X_2 + 0.00005133 * X_3 + 0.00004065 * X_4) \leq 109 - 52 - 16;$

!0-24;

$0.00000076 +$
 $(0.00000000 * X_{72} + 0.00000000 * X_{73}) +$
 $(0.00000873 * X_{69} + 0.00000578 * X_{70} + 0.00000368 * X_{71}) +$
 $(0.00002031 * X_{25} + 0.00001517 * X_{26} + 0.00001176 * X_{27} + 0.00000873 * X_{28} + 0.00000670 * X_{29}) +$
 $(0.00000202 * X_{66} + 0.00000136 * X_{67} + 0.00000090 * X_{68}) +$
 $(0.00000067) +$
 $(0.00000715 * X_{22} + 0.00000484 * X_{23} + 0.00000320 * X_{24}) +$
 $(0.00002710 * X_{35} + 0.00002078 * X_{36} + 0.00001644 * X_{37} + 0.00001264 * X_{38}) +$
 $(0.00000067) +$
 $(0.00000815 * X_{63} + 0.00000540 * X_{64} + 0.00000344 * X_{65}) +$
 $(0.00003524 * X_{39} + 0.00002788 * X_{40} + 0.00002142 * X_{41} + 0.00001690 * X_{42} + 0.00001317 * X_{43}) +$
 $(0.00000606 * X_{60} + 0.00000409 * X_{61} + 0.00000271 * X_{62}) +$
 $(0.00004853 * X_{44} + 0.00003839 * X_{45} + 0.00002951 * X_{46} + 0.00002328 * X_{47} + 0.00001813 * X_{48}) +$
 $(0.00000448 * X_{57} + 0.00000303 * X_{58} + 0.00000201 * X_{59}) +$

(0.00005207*X49+0.00004002*X50+0.00003157*X51+0.00002459*X52+0.00001889*X53)+
 (0.00000067)+
 (0.00004854*X18+0.00003830*X19+0.00002983*X20+0.00002291*X21)+
 (0.00005194*X14+0.00004098*X15+0.00003192*X16+0.00002452*X17)+
 (0.00005342*X10+0.00004215*X11+0.00003283*X12+0.00002521*X13)+
 (0.00005440*X5+0.00004292*X6+0.00003343*X7+0.00002568*X8+0.00001970*X9)+
 (0.00011292*X1+0.00008663*X2+0.00005133*X3+0.00004065*X4) <=109-52-16;

!0-10;

0.00000526*X32+0.00000356*X33+0.00000235*X34+
 (0.00000414*X29+0.00000280*X30+0.00000185*X31)+
 (0.00000076)+
 (0.00000000*X72+0.00000000*X73)+
 (0.00000873*X69+0.00000578*X70+0.00000368*X71)+
 (0.00002031*X25+0.00001517*X26+0.00001176*X27+0.00000873*X28+0.00000670*X29)+
 (0.00000202*X66+0.00000136*X67+0.00000090*X68)+
 (0.00000067)+
 (0.00000715*X22+0.00000484*X23+0.00000320*X24)+
 (0.00002710*X35+0.00002078*X36+0.00001644*X37+0.00001264*X38)+
 (0.00000067)+
 (0.00000815*X63+0.00000540*X64+0.00000344*X65)+
 (0.00003524*X39+0.00002788*X40+0.00002142*X41+0.00001690*X42+0.00001317*X43)+
 (0.00000606*X60+0.00000409*X61+0.00000271*X62)+
 (0.00004853*X44+0.00003839*X45+0.00002951*X46+0.00002328*X47+0.00001813*X48)+
 (0.00000448*X57+0.00000303*X58+0.00000201*X59)+
 (0.00005207*X49+0.00004002*X50+0.00003157*X51+0.00002459*X52+0.00001889*X53)+
 (0.00000067)+
 (0.00004854*X18+0.00003830*X19+0.00002983*X20+0.00002291*X21)+
 (0.00005194*X14+0.00004098*X15+0.00003192*X16+0.00002452*X17)+
 (0.00005342*X10+0.00004215*X11+0.00003283*X12+0.00002521*X13)+
 (0.00005440*X5+0.00004292*X6+0.00003343*X7+0.00002568*X8+0.00001970*X9)+
 (0.00011292*X1+0.00008663*X2+0.00005133*X3+0.00004065*X4) <=109-55-16;

!0-11;

0.00000076+
 (0.00000526*X32+0.00000356*X33+0.00000235*X34)+
 (0.00000414*X29+0.00000280*X30+0.00000185*X31)+
 (0.00000076)+
 (0.00000000*X72+0.00000000*X73)+
 (0.00000873*X69+0.00000578*X70+0.00000368*X71)+
 (0.00002031*X25+0.00001517*X26+0.00001176*X27+0.00000873*X28+0.00000670*X29)+
 (0.00000202*X66+0.00000136*X67+0.00000090*X68)+
 (0.00000067)+
 (0.00000715*X22+0.00000484*X23+0.00000320*X24)+
 (0.00002710*X35+0.00002078*X36+0.00001644*X37+0.00001264*X38)+
 (0.00000067)+
 (0.00000815*X63+0.00000540*X64+0.00000344*X65)+
 (0.00003524*X39+0.00002788*X40+0.00002142*X41+0.00001690*X42+0.00001317*X43)+
 (0.00000606*X60+0.00000409*X61+0.00000271*X62)+
 (0.00004853*X44+0.00003839*X45+0.00002951*X46+0.00002328*X47+0.00001813*X48)+
 (0.00000448*X57+0.00000303*X58+0.00000201*X59)+

$(0.00005207 \cdot X_{49} + 0.00004002 \cdot X_{50} + 0.00003157 \cdot X_{51} + 0.00002459 \cdot X_{52} + 0.00001889 \cdot X_{53}) +$
 $(0.00000067) +$
 $(0.00004854 \cdot X_{18} + 0.00003830 \cdot X_{19} + 0.00002983 \cdot X_{20} + 0.00002291 \cdot X_{21}) +$
 $(0.00005194 \cdot X_{14} + 0.00004098 \cdot X_{15} + 0.00003192 \cdot X_{16} + 0.00002452 \cdot X_{17}) +$
 $(0.00005342 \cdot X_{10} + 0.00004215 \cdot X_{11} + 0.00003283 \cdot X_{12} + 0.00002521 \cdot X_{13}) +$
 $(0.00005440 \cdot X_5 + 0.00004292 \cdot X_6 + 0.00003343 \cdot X_7 + 0.00002568 \cdot X_8 + 0.00001970 \cdot X_9) +$
 $(0.00011292 \cdot X_1 + 0.00008663 \cdot X_2 + 0.00005133 \cdot X_3 + 0.00004065 \cdot X_4) \leq 109 - 56 - 16;$

✓ ΚΩΔΙΚΑΣ ΣΕ LINGO ΤΜΑΜΑΤΟΣ Β ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ
ΓΙΑ ΑΥΞΗΣΗ ΠΑΡΟΧΗΣ Q 20%

!OPTIMAZATION PART B;

!ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΣΚΟΠΟΥ Z;

$\min = 54.1 \cdot X_1 + 65.0 \cdot X_2 + 81.0 \cdot X_3 + 98.0 \cdot X_4 +$
 $27.1 \cdot X_{74} + 31.1 \cdot X_{75} + 43.3 \cdot X_{76} + 54.1 \cdot X_{77} + 65.0 \cdot X_{78} +$
 $4.0 \cdot X_{79} + 4.7 \cdot X_{80} +$
 $27.1 \cdot X_{81} + 31.1 \cdot X_{82} + 43.3 \cdot X_{83} + 54.1 \cdot X_{84} +$
 $4.0 \cdot X_{85} + 4.7 \cdot X_{86} +$
 $20.6 \cdot X_{87} + 27.1 \cdot X_{88} + 31.1 \cdot X_{89} + 43.3 \cdot X_{90} + 54.1 \cdot X_{91} +$
 $4.0 \cdot X_{92} + 4.7 \cdot X_{93} + 6.1 \cdot X_{94} +$
 $4.7 \cdot X_{95} + 6.1 \cdot X_{96} +$
 $17.8 \cdot X_{97} + 20.6 \cdot X_{98} + 27.1 \cdot X_{99} + 31.1 \cdot X_{100} + 43.3 \cdot X_{101} +$
 $4.0 \cdot X_{102} + 4.7 \cdot X_{103} + 6.1 \cdot X_{104} +$
 $4.0 \cdot X_{105} + 4.7 \cdot X_{106} + 6.1 \cdot X_{107} +$
 $14.6 \cdot X_{108} + 17.8 \cdot X_{109} + 20.6 \cdot X_{110} + 27.1 \cdot X_{111} +$
 $4.0 \cdot X_{112} + 4.7 \cdot X_{113} + 6.1 \cdot X_{114} +$
 $12.5 \cdot X_{115} + 14.6 \cdot X_{116} + 17.8 \cdot X_{117} + 20.6 \cdot X_{118} +$
 $4.7 \cdot X_{119} + 6.1 \cdot X_{120} + 7.4 \cdot X_{121} +$
 $4.0 \cdot X_{122} + 4.7 \cdot X_{123} + 6.1 \cdot X_{124} +$
 $6.1 \cdot X_{125} + 7.4 \cdot X_{126} + 9.1 \cdot X_{127} + 12.5 \cdot X_{128} +$
 $4.7 \cdot X_{129} + 6.1 \cdot X_{130} + 7.4 \cdot X_{131} + 9.1 \cdot X_{132};$

!ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΜΗΚΟΥΣ;

$X_1 + X_2 + X_3 + X_4 = 59.29;$
 $X_{74} + X_{75} + X_{76} + X_{77} + X_{78} = 183.05;$
 $X_{79} + X_{80} = 120.18;$
 $X_{81} + X_{82} + X_{83} + X_{84} = 93.43;$
 $X_{85} + X_{86} = 187.53;$
 $X_{87} + X_{88} + X_{89} + X_{90} + X_{91} = 95.73;$
 $X_{92} + X_{93} + X_{94} = 217.58;$
 $X_{95} + X_{96} = 279.79;$
 $X_{97} + X_{98} + X_{99} + X_{100} + X_{101} = 86.56;$
 $X_{102} + X_{103} + X_{104} = 271.27;$
 $X_{105} + X_{106} + X_{107} = 279.87;$
 $X_{108} + X_{109} + X_{110} + X_{111} = 47.77;$
 $X_{112} + X_{113} + X_{114} = 263.98;$
 $X_{115} + X_{116} + X_{117} + X_{118} = 89.75;$
 $X_{119} + X_{120} + X_{121} = 287.26;$
 $X_{122} + X_{123} + X_{124} = 244.75;$
 $X_{125} + X_{126} + X_{127} + X_{128} = 134.05;$
 $X_{129} + X_{130} + X_{131} + X_{132} = 368.62;$

$X1 \geq 0; X2 \geq 0; X3 \geq 0; X4 \geq 0; X63 \geq 0; X64 \geq 0; X65 \geq 0; X66 \geq 0; X67 \geq 0;$
 $X68 \geq 0; X69 \geq 0; X70 \geq 0; X71 \geq 0; X72 \geq 0; X73 \geq 0; X74 \geq 0; X75 \geq 0;$
 $X76 \geq 0; X77 \geq 0; X78 \geq 0; X79 \geq 0; X80 \geq 0; X81 \geq 0; X82 \geq 0; X83 \geq 0;$
 $X84 \geq 0; X85 \geq 0; X86 \geq 0; X87 \geq 0; X88 \geq 0; X89 \geq 0; X90 \geq 0; X91 \geq 0;$
 $X92 \geq 0; X93 \geq 0; X94 \geq 0; X95 \geq 0; X96 \geq 0; X97 \geq 0; X98 \geq 0; X99 \geq 0;$
 $X100 \geq 0; X101 \geq 0; X102 \geq 0; X103 \geq 0; X104 \geq 0; X105 \geq 0; X106 \geq 0;$
 $X107 \geq 0; X108 \geq 0; X109 \geq 0; X110 \geq 0; X111 \geq 0; X112 \geq 0; X113 \geq 0;$
 $X114 \geq 0; X115 \geq 0; X116 \geq 0; X117 \geq 0; X118 \geq 0; X119 \geq 0; X120 \geq 0;$
 $X121 \geq 0; X122 \geq 0; X123 \geq 0; X124 \geq 0; X125 \geq 0; X126 \geq 0; X127 \geq 0;$
 $X128 \geq 0; X129 \geq 0; X130 \geq 0; X131 \geq 0; X132 \geq 0;$

!ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΙΚΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ;

!ΤΜΗΝΑ Β;

!0-1;

$0.00011292 * X1 + 0.00008663 * X2 + 0.00005133 * X3 + 0.00004065 * X4 \leq 109 - 89 - 16;$

!0-25;

$0.00006552 * X74 + 0.00005169 * X75 + 0.00004027 * X76 + 0.00003092 * X77 + 0.00002372 * X78 +$
 $(0.00011292 * X1 + 0.00008663 * X2 + 0.00005133 * X3 + 0.00004065 * X4) \leq 109 - 78 - 16;$

!0-26;

$0.00000292 * X79 + 0.00000197 * X80 +$
 $(0.00006552 * X74 + 0.00005169 * X75 + 0.00004027 * X76 + 0.00003092 * X77 + 0.00002372 * X78) +$
 $(0.00011292 * X1 + 0.00008663 * X2 + 0.00005133 * X3 + 0.00004065 * X4) \leq 109 - 86 - 16;$

!0-27;

$0.00000022 +$
 $(0.00000292 * X79 + 0.00000197 * X80) +$
 $(0.00006552 * X74 + 0.00005169 * X75 + 0.00004027 * X76 + 0.00003092 * X77 + 0.00002372 * X78) +$
 $(0.00011292 * X1 + 0.00008663 * X2 + 0.00005133 * X3 + 0.00004065 * X4) \leq 109 - 85 - 16;$

!0-28;

$0.00005236 * X81 + 0.00004131 * X82 + 0.00003218 * X83 + 0.00002471 * X84 +$
 $(0.00000022) +$
 $(0.00000292 * X79 + 0.00000197 * X80) +$
 $(0.00006552 * X74 + 0.00005169 * X75 + 0.00004027 * X76 + 0.00003092 * X77 + 0.00002372 * X78) +$
 $(0.00011292 * X1 + 0.00008663 * X2 + 0.00005133 * X3 + 0.00004065 * X4) \leq 109 - 86 - 16;$

!0-29;

$0.00000370 * X85 + 0.00000250 * X86 +$
 $(0.00005236 * X81 + 0.00004131 * X82 + 0.00003218 * X83 + 0.00002471 * X84) +$
 $(0.00000022) +$
 $(0.00000292 * X79 + 0.00000197 * X80) +$
 $(0.00006552 * X74 + 0.00005169 * X75 + 0.00004027 * X76 + 0.00003092 * X77 + 0.00002372 * X78) +$
 $(0.00011292 * X1 + 0.00008663 * X2 + 0.00005133 * X3 + 0.00004065 * X4) \leq 109 - 68 - 16;$

!0-30;

$0.00005575 * X87 + 0.00004285 * X88 + 0.00003380 * X89 + 0.00002633 * X90 + 0.00002022 * X91 +$
 $(0.00000370 * X85 + 0.00000250 * X86) +$
 $(0.00005236 * X81 + 0.00004131 * X82 + 0.00003218 * X83 + 0.00002471 * X84) +$
 $(0.00000022) +$
 $(0.00000292 * X79 + 0.00000197 * X80) +$

(0.00006552*X74+0.00005169*X75+0.00004027*X76+0.00003092*X77+0.00002372*X78)+
 (0.00011292*X1+0.00008663*X2+0.00005133*X3+0.00004065*X4) <=109-72-16;

!0-31;

0.00000501*X92+0.00000339*X93+0.00000224*X94+
 (0.00005575*X87+0.00004285*X88+0.00003380*X89+0.00002633*X90+0.00002022*X91)+
 (0.00000370*X85+0.00000250*X86)+
 (0.00005236*X81+0.00004131*X82+0.00003218*X83+0.00002471*X84)+
 (0.00000022)+
 (0.00000292*X79+0.00000197*X80)+
 (0.00006552*X74+0.00005169*X75+0.00004027*X76+0.00003092*X77+0.00002372*X78)+
 (0.00011292*X1+0.00008663*X2+0.00005133*X3+0.00004065*X4) <=109-52-16;

!0-32;

0.00000560*X95+0.00000371*X96+
 (0.00005575*X87+0.00004285*X88+0.00003380*X89+0.00002633*X90+0.00002022*X91)+
 (0.00000370*X85+0.00000250*X86)+
 (0.00005236*X81+0.00004131*X82+0.00003218*X83+0.00002471*X84)+
 (0.00000022)+
 (0.00000292*X79+0.00000197*X80)+
 (0.00006552*X74+0.00005169*X75+0.00004027*X76+0.00003092*X77+0.00002372*X78)+
 (0.00011292*X1+0.00008663*X2+0.00005133*X3+0.00004065*X4) <=109-71-16;

!0-33;

0.00004261*X97+0.00003371*X98+0.00002591*X99+0.00002044*X100+0.00001592*X101+
 (0.00000501*X92+0.00000339*X93+0.00000224*X94)+
 (0.00000560*X95+0.00000371*X96)+
 (0.00005575*X87+0.00004285*X88+0.00003380*X89+0.00002633*X90+0.00002022*X91)+
 (0.00000370*X85+0.00000250*X86)+
 (0.00005236*X81+0.00004131*X82+0.00003218*X83+0.00002471*X84)+
 (0.00000022)+
 (0.00000292*X79+0.00000197*X80)+
 (0.00006552*X74+0.00005169*X75+0.00004027*X76+0.00003092*X77+0.00002372*X78)+
 (0.00011292*X1+0.00008663*X2+0.00005133*X3+0.00004065*X4) <=109-56-16;

!0-34;

0.00000776*X102+0.00000525*X103+0.00000347*X104+
 (0.00004261*X97+0.00003371*X98+0.00002591*X99+0.00002044*X100+0.00001592*X101)+
 (0.00000501*X92+0.00000339*X93+0.00000224*X94)+
 (0.00000560*X95+0.00000371*X96)+
 (0.00005575*X87+0.00004285*X88+0.00003380*X89+0.00002633*X90+0.00002022*X91)+
 (0.00000370*X85+0.00000250*X86)+
 (0.00005236*X81+0.00004131*X82+0.00003218*X83+0.00002471*X84)+
 (0.00000022)+
 (0.00000292*X79+0.00000197*X80)+
 (0.00006552*X74+0.00005169*X75+0.00004027*X76+0.00003092*X77+0.00002372*X78)+
 (0.00011292*X1+0.00008663*X2+0.00005133*X3+0.00004065*X4) <=109-51-16;

!0-35;

0.00000829*X105+0.00000560*X106+0.00000371*X107+
 (0.00004261*X97+0.00003371*X98+0.00002591*X99+0.00002044*X100+0.00001
 592*X101)+
 (0.00000501*X92+0.00000339*X93+0.00000224*X94)+
 (0.00000560*X95+0.00000371*X96)+
 (0.00005575*X87+0.00004285*X88+0.00003380*X89+0.00002633*X90+0.000020
 22*X91)+
 (0.00000370*X85+0.00000250*X86)+
 (0.00005236*X81+0.00004131*X82+0.00003218*X83+0.00002471*X84)+
 (0.00000022)+
 (0.00000292*X79+0.00000197*X80)+
 (0.00006552*X74+0.00005169*X75+0.00004027*X76+0.00003092*X77+0.000023
 72*X78)+
 (0.00011292*X1+0.00008663*X2+0.00005133*X3+0.00004065*X4) <=109-54-16;

!0-36;

0.00002662*X108+0.00002042*X109+0.00001616*X110+0.00001242*X111+
 (0.00000776*X102+0.00000525*X103+0.00000347*X104)+
 (0.00000829*X105+0.00000560*X106+0.00000371*X107)+
 (0.00004261*X97+0.00003371*X98+0.00002591*X99+0.00002044*X100+0.00001
 592*X101)+
 (0.00000501*X92+0.00000339*X93+0.00000224*X94)+
 (0.00000560*X95+0.00000371*X96)+
 (0.00005575*X87+0.00004285*X88+0.00003380*X89+0.00002633*X90+0.000020
 22*X91)+
 (0.00000370*X85+0.00000250*X86)+
 (0.00005236*X81+0.00004131*X82+0.00003218*X83+0.00002471*X84)+
 (0.00000022)+
 (0.00000292*X79+0.00000197*X80)+
 (0.00006552*X74+0.00005169*X75+0.00004027*X76+0.00003092*X77+0.000023
 72*X78)+
 (0.00011292*X1+0.00008663*X2+0.00005133*X3+0.00004065*X4) <=109-53-16;

!0-37;

0.00000735*X112+0.00000497*X113+0.00000329*X114+
 (0.00002662*X108+0.00002042*X109+0.00001616*X110+0.00001242*X111)+
 (0.00000776*X102+0.00000525*X103+0.00000347*X104)+
 (0.00000829*X105+0.00000560*X106+0.00000371*X107)+
 (0.00004261*X97+0.00003371*X98+0.00002591*X99+0.00002044*X100+0.00001
 592*X101)+
 (0.00000501*X92+0.00000339*X93+0.00000224*X94)+
 (0.00000560*X95+0.00000371*X96)+
 (0.00005575*X87+0.00004285*X88+0.00003380*X89+0.00002633*X90+0.000020
 22*X91)+
 (0.00000370*X85+0.00000250*X86)+
 (0.00005236*X81+0.00004131*X82+0.00003218*X83+0.00002471*X84)+
 (0.00000022)+
 (0.00000292*X79+0.00000197*X80)+
 (0.00006552*X74+0.00005169*X75+0.00004027*X76+0.00003092*X77+0.000023
 72*X78)+
 (0.00011292*X1+0.00008663*X2+0.00005133*X3+0.00004065*X4) <=109-53-16;

!0-38;

0.00002201*X115+0.00001634*X116+0.00001253*X117+0.00000991*X118+
 (0.00000735*X112+0.00000497*X113+0.00000329*X114)+
 (0.00002662*X108+0.00002042*X109+0.00001616*X110+0.00001242*X111)+
 (0.00000776*X102+0.00000525*X103+0.00000347*X104)+
 (0.00000829*X105+0.00000560*X106+0.00000371*X107)+
 (0.00004261*X97+0.00003371*X98+0.00002591*X99+0.00002044*X100+0.00001
 592*X101)+
 (0.00000501*X92+0.00000339*X93+0.00000224*X94)+

$(0.00000560 * X_{95} + 0.00000371 * X_{96}) +$
 $(0.00005575 * X_{87} + 0.00004285 * X_{88} + 0.00003380 * X_{89} + 0.00002633 * X_{90} + 0.00002022 * X_{91}) +$
 $(0.00000370 * X_{85} + 0.00000250 * X_{86}) +$
 $(0.00005236 * X_{81} + 0.00004131 * X_{82} + 0.00003218 * X_{83} + 0.00002471 * X_{84}) +$
 $(0.00000022) +$
 $(0.00000292 * X_{79} + 0.00000197 * X_{80}) +$
 $(0.00006552 * X_{74} + 0.00005169 * X_{75} + 0.00004027 * X_{76} + 0.00003092 * X_{77} + 0.00002372 * X_{78}) +$
 $(0.00011292 * X_1 + 0.00008663 * X_2 + 0.00005133 * X_3 + 0.00004065 * X_4) \leq 109 - 52 - 16;$

!0-39;

$0.00000590 * X_{119} + 0.00000390 * X_{120} + 0.00000248 * X_{121} +$
 $(0.00002201 * X_{115} + 0.00001634 * X_{116} + 0.00001253 * X_{117} + 0.00000991 * X_{118}) +$
 $(0.00000735 * X_{112} + 0.00000497 * X_{113} + 0.00000329 * X_{114}) +$
 $(0.00002662 * X_{108} + 0.00002042 * X_{109} + 0.00001616 * X_{110} + 0.00001242 * X_{111}) +$
 $(0.00000776 * X_{102} + 0.00000525 * X_{103} + 0.00000347 * X_{104}) +$
 $(0.00000829 * X_{105} + 0.00000560 * X_{106} + 0.00000371 * X_{107}) +$
 $(0.00004261 * X_{97} + 0.00003371 * X_{98} + 0.00002591 * X_{99} + 0.00002044 * X_{100} + 0.00001592 * X_{101}) +$
 $(0.00000501 * X_{92} + 0.00000339 * X_{93} + 0.00000224 * X_{94}) +$
 $(0.00000560 * X_{95} + 0.00000371 * X_{96}) +$
 $(0.00005575 * X_{87} + 0.00004285 * X_{88} + 0.00003380 * X_{89} + 0.00002633 * X_{90} + 0.00002022 * X_{91}) +$
 $(0.00000370 * X_{85} + 0.00000250 * X_{86}) +$
 $(0.00005236 * X_{81} + 0.00004131 * X_{82} + 0.00003218 * X_{83} + 0.00002471 * X_{84}) +$
 $(0.00000022) +$
 $(0.00000292 * X_{79} + 0.00000197 * X_{80}) +$
 $(0.00006552 * X_{74} + 0.00005169 * X_{75} + 0.00004027 * X_{76} + 0.00003092 * X_{77} + 0.00002372 * X_{78}) +$
 $(0.00011292 * X_1 + 0.00008663 * X_2 + 0.00005133 * X_3 + 0.00004065 * X_4) \leq 109 - 51 - 16;$

!0-40;

$0.00000633 * X_{122} + 0.00000428 * X_{123} + 0.00000283 * X_{124} +$
 $(0.00002201 * X_{115} + 0.00001634 * X_{116} + 0.00001253 * X_{117} + 0.00000991 * X_{118}) +$
 $(0.00000735 * X_{112} + 0.00000497 * X_{113} + 0.00000329 * X_{114}) +$
 $(0.00002662 * X_{108} + 0.00002042 * X_{109} + 0.00001616 * X_{110} + 0.00001242 * X_{111}) +$
 $(0.00000776 * X_{102} + 0.00000525 * X_{103} + 0.00000347 * X_{104}) +$
 $(0.00000829 * X_{105} + 0.00000560 * X_{106} + 0.00000371 * X_{107}) +$
 $(0.00004261 * X_{97} + 0.00003371 * X_{98} + 0.00002591 * X_{99} + 0.00002044 * X_{100} + 0.00001592 * X_{101}) +$
 $(0.00000501 * X_{92} + 0.00000339 * X_{93} + 0.00000224 * X_{94}) +$
 $(0.00000560 * X_{95} + 0.00000371 * X_{96}) +$
 $(0.00005575 * X_{87} + 0.00004285 * X_{88} + 0.00003380 * X_{89} + 0.00002633 * X_{90} + 0.00002022 * X_{91}) +$
 $(0.00000370 * X_{85} + 0.00000250 * X_{86}) +$
 $(0.00005236 * X_{81} + 0.00004131 * X_{82} + 0.00003218 * X_{83} + 0.00002471 * X_{84}) +$
 $(0.00000022) +$
 $(0.00000292 * X_{79} + 0.00000197 * X_{80}) +$
 $(0.00006552 * X_{74} + 0.00005169 * X_{75} + 0.00004027 * X_{76} + 0.00003092 * X_{77} + 0.00002372 * X_{78}) +$
 $(0.00011292 * X_1 + 0.00008663 * X_2 + 0.00005133 * X_3 + 0.00004065 * X_4) \leq 109 - 54 - 16;$

!0-41;

$0.00001192 * X_{125} + 0.00000759 * X_{126} + 0.00000567 * X_{127} + 0.00000440 * X_{128} +$
 $(0.00000590 * X_{119} + 0.00000390 * X_{120} + 0.00000248 * X_{121}) +$
 $(0.00000633 * X_{122} + 0.00000428 * X_{123} + 0.00000283 * X_{124}) +$
 $(0.00002201 * X_{115} + 0.00001634 * X_{116} + 0.00001253 * X_{117} + 0.00000991 * X_{118}) +$
 $(0.00000735 * X_{112} + 0.00000497 * X_{113} + 0.00000329 * X_{114}) +$
 $(0.00002662 * X_{108} + 0.00002042 * X_{109} + 0.00001616 * X_{110} + 0.00001242 * X_{111}) +$
 $(0.00000776 * X_{102} + 0.00000525 * X_{103} + 0.00000347 * X_{104}) +$

(0.00000829*X105+0.00000560*X106+0.00000371*X107)+
 (0.00004261*X97+0.00003371*X98+0.00002591*X99+0.00002044*X100+0.00001
 592*X101)+
 (0.00000501*X92+0.00000339*X93+0.00000224*X94)+
 (0.00000560*X95+0.00000371*X96)+
 (0.00005575*X87+0.00004285*X88+0.00003380*X89+0.00002633*X90+0.000020
 22*X91)+
 (0.00000370*X85+0.00000250*X86)+
 (0.00005236*X81+0.00004131*X82+0.00003218*X83+0.00002471*X84)+
 (0.00000022)+
 (0.00000292*X79+0.00000197*X80)+
 (0.00006552*X74+0.00005169*X75+0.00004027*X76+0.00003092*X77+0.000023
 72*X78)+
 (0.00011292*X1+0.00008663*X2+0.00005133*X3+0.00004065*X4) <=109-50-16;

!0-42;

0.00000970*X129+0.00000642*X130+0.00000409*X131+0.00000305*X132+
 (0.00001192*X125+0.00000759*X126+0.00000567*X127+0.00000440*X128)+
 (0.00000590*X119+0.00000390*X120+0.00000248*X121)+
 (0.00000633*X122+0.00000428*X123+0.00000283*X124)+
 (0.00002201*X115+0.00001634*X116+0.00001253*X117+0.00000991*X118)+
 (0.00000735*X112+0.00000497*X113+0.00000329*X114)+
 (0.00002662*X108+0.00002042*X109+0.00001616*X110+0.00001242*X111)+
 (0.00000776*X102+0.00000525*X103+0.00000347*X104)+
 (0.00000829*X105+0.00000560*X106+0.00000371*X107)+
 (0.00004261*X97+0.00003371*X98+0.00002591*X99+0.00002044*X100+0.00001
 592*X101)+
 (0.00000501*X92+0.00000339*X93+0.00000224*X94)+
 (0.00000560*X95+0.00000371*X96)+
 (0.00005575*X87+0.00004285*X88+0.00003380*X89+0.00002633*X90+0.000020
 22*X91)+
 (0.00000370*X85+0.00000250*X86)+
 (0.00005236*X81+0.00004131*X82+0.00003218*X83+0.00002471*X84)+
 (0.00000022)+
 (0.00000292*X79+0.00000197*X80)+
 (0.00006552*X74+0.00005169*X75+0.00004027*X76+0.00003092*X77+0.000023
 72*X78)+
 (0.00011292*X1+0.00008663*X2+0.00005133*X3+0.00004065*X4) <=109-51-16;

✓ REPORT LINGO ΤΜΑΜΑΤΟΣ Α ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΓΙΑ
ΑΥΞΗΣΗ ΠΑΡΟΧΗΣ Q 20%

Global optimal solution found.
 Objective value: 27347.90
 Infeasibilities: 0.000000
 Total solver iterations: 18
 Elapsed runtime seconds: 0.09

Model Class: LP

Total variables: 73
 Nonlinear variables: 0
 Integer variables: 0

Total constraints: 118
 Nonlinear constraints: 0

Total nonzeros: 1214
 Nonlinear nonzeros: 0

	Variable	Value
Reduced Cost		
	X1	59.29000
0.000000	X2	0.000000
10.90000	X3	0.000000
26.90000	X4	0.000000
43.90000	X5	26.92000
0.000000	X6	0.000000
4.000000	X7	0.000000
16.20000	X8	0.000000
27.00000	X9	0.000000
37.90000	X10	42.07000
0.000000	X11	0.000000
4.000000	X12	0.000000
16.20000	X13	0.000000
27.00000	X14	97.11000
0.000000	X15	0.000000
4.000000	X16	0.000000
16.20000	X17	0.000000
27.00000		

0.000000	X18	115.7200
4.000000	X19	0.000000
16.20000	X20	0.000000
27.00000	X21	0.000000
0.000000	X22	180.3700
0.7000000	X23	0.000000
2.100000	X24	0.000000
0.000000	X25	86.93000
3.400000	X26	0.000000
5.500000	X27	0.000000
8.700000	X28	0.000000
0.000000	X29	197.5300
0.7000000	X30	0.000000
2.100000	X31	0.000000
0.000000	X32	138.0100
0.7000000	X33	0.000000
2.100000	X34	0.000000
0.000000	X35	90.59000
3.200000	X36	0.000000
6.000000	X37	0.000000
12.50000	X38	0.000000
0.000000	X39	99.69000
2.800000	X40	0.000000
9.300000	X41	0.000000
13.30000	X42	0.000000
25.50000	X43	0.000000
0.000000	X44	88.55000
2.800000	X45	0.000000
9.300000	X46	0.000000
13.30000	X47	0.000000

25.50000	X48	0.000000	
0.000000	X49	157.2100	
6.500000	X50	0.000000	
10.50000	X51	0.000000	
22.70000	X52	0.000000	
33.50000	X53	0.000000	
0.000000	X54	146.0100	
0.7000000	X55	0.000000	
2.100000	X56	0.000000	
0.000000	X57	206.6200	
0.7000000	X58	0.000000	
2.100000	X59	0.000000	
0.000000	X60	239.4200	
0.7000000	X61	0.000000	
2.100000	X62	0.000000	
0.000000	X63	257.9800	
1.400000	X64	0.000000	
2.700000	X65	0.000000	
0.000000	X66	239.4100	
0.7000000	X67	0.000000	
2.100000	X68	0.000000	
0.000000	X69	205.6100	
1.400000	X70	0.000000	
2.700000	X71	0.000000	
0.000000	X72	57.94000	
0.7000000	X73	0.000000	
	Row	Slack or Surplus	
Dual Price	1	27347.90	-
1.000000	2	0.000000	-
54.10000	3	0.000000	-
27.10000			

	4	0.000000	-
27.10000	5	0.000000	-
27.10000	6	0.000000	-
27.10000	7	0.000000	-
4.000000	8	0.000000	-
9.100000	9	0.000000	-
4.000000	10	0.000000	-
4.000000	11	0.000000	-
14.60000	12	0.000000	-
17.80000	13	0.000000	-
17.80000	14	0.000000	-
20.60000	15	0.000000	-
4.000000	16	0.000000	-
4.000000	17	0.000000	-
4.000000	18	0.000000	-
4.700000	19	0.000000	-
4.000000	20	0.000000	-
4.700000	21	0.000000	-
4.000000	22	59.29000	
0.000000	23	0.000000	
0.000000	24	0.000000	
0.000000	25	0.000000	
0.000000	26	26.92000	
0.000000	27	0.000000	
0.000000	28	0.000000	
0.000000	29	0.000000	
0.000000	30	0.000000	
0.000000	31	42.07000	
0.000000	32	0.000000	
0.000000	33	0.000000	

0.000000	34	0.000000
0.000000	35	97.11000
0.000000	36	0.000000
0.000000	37	0.000000
0.000000	38	0.000000
0.000000	39	115.7200
0.000000	40	0.000000
0.000000	41	0.000000
0.000000	42	0.000000
0.000000	43	180.3700
0.000000	44	0.000000
0.000000	45	0.000000
0.000000	46	86.93000
0.000000	47	0.000000
0.000000	48	0.000000
0.000000	49	0.000000
0.000000	50	197.5300
0.000000	51	0.000000
0.000000	52	0.000000
0.000000	53	138.0100
0.000000	54	0.000000
0.000000	55	0.000000
0.000000	56	90.59000
0.000000	57	0.000000
0.000000	58	0.000000
0.000000	59	0.000000
0.000000	60	99.69000
0.000000	61	0.000000
0.000000	62	0.000000
0.000000	63	0.000000

0.000000	64	0.000000
0.000000	65	88.55000
0.000000	66	0.000000
0.000000	67	0.000000
0.000000	68	0.000000
0.000000	69	0.000000
0.000000	70	157.2100
0.000000	71	0.000000
0.000000	72	0.000000
0.000000	73	0.000000
0.000000	74	0.000000
0.000000	75	146.0100
0.000000	76	0.000000
0.000000	77	0.000000
0.000000	78	206.6200
0.000000	79	0.000000
0.000000	80	0.000000
0.000000	81	239.4200
0.000000	82	0.000000
0.000000	83	0.000000
0.000000	84	257.9800
0.000000	85	0.000000
0.000000	86	0.000000
0.000000	87	239.4100
0.000000	88	0.000000
0.000000	89	0.000000
0.000000	90	205.6100
0.000000	91	0.000000
0.000000	92	0.000000
0.000000	93	57.94000

0.000000	94	0.000000
0.000000	95	3.993305
0.000000	96	5.991841
0.000000	97	4.989593
0.000000	98	6.984549
0.000000	99	22.97893
0.000000	100	8.978932
0.000000	101	33.97075
0.000000	102	26.96982
0.000000	103	37.96552
0.000000	104	40.96407
0.000000	105	40.96056
0.000000	106	40.95846
0.000000	107	42.95846
0.000000	108	36.95600
0.000000	109	41.95552
0.000000	110	40.95471
0.000000	111	39.95471
0.000000	112	28.95114
0.000000	113	39.95032
0.000000	114	43.94934
0.000000	115	40.94934
0.000000	116	40.94934
0.000000	117	37.94780
0.000000	118	36.94780

✓ REPORT LINGO ΤΜΑΜΑΤΟΣ Β ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΓΙΑ
ΑΥΞΗΣΗ ΠΑΡΟΧΗΣ Q 20%

Global optimal solution found.
 Objective value: 27588.31
 Infeasibilities: 0.000000
 Total solver iterations: 15
 Elapsed runtime seconds: 0.06

Model Class: LP

Total variables: 74
 Nonlinear variables: 0
 Integer variables: 0

Total constraints: 112
 Nonlinear constraints: 0

Total nonzeros: 802
 Nonlinear nonzeros: 0

	Variable	Value
Reduced Cost		
0.000000	X1	59.29000
10.90000	X2	0.000000
26.90000	X3	0.000000
43.90000	X4	0.000000
0.000000	X74	183.0500
4.000000	X75	0.000000
16.20000	X76	0.000000
27.00000	X77	0.000000
37.90000	X78	0.000000
0.000000	X79	120.1800
0.7000000	X80	0.000000
0.000000	X81	93.43000
4.000000	X82	0.000000
16.20000	X83	0.000000
27.00000	X84	0.000000
0.000000	X85	187.5300
0.7000000	X86	0.000000

0.000000	X87	95.73000
6.500000	X88	0.000000
10.50000	X89	0.000000
22.70000	X90	0.000000
33.50000	X91	0.000000
0.000000	X92	217.5800
0.7000000	X93	0.000000
2.100000	X94	0.000000
0.000000	X95	279.7900
1.400000	X96	0.000000
0.000000	X97	86.56000
2.800000	X98	0.000000
9.300000	X99	0.000000
13.30000	X100	0.000000
25.50000	X101	0.000000
0.000000	X102	271.2700
0.7000000	X103	0.000000
2.100000	X104	0.000000
0.000000	X105	279.8700
0.7000000	X106	0.000000
2.100000	X107	0.000000
0.000000	X108	47.77000
3.200000	X109	0.000000
6.000000	X110	0.000000
12.50000	X111	0.000000
0.000000	X112	263.9800
0.7000000	X113	0.000000
2.100000	X114	0.000000
0.000000	X115	89.75000
2.100000	X116	0.000000

	3	0.000000	-
27.10000			
	4	0.000000	-
4.000000			
	5	0.000000	-
27.10000			
	6	0.000000	-
4.000000			
	7	0.000000	-
20.60000			
	8	0.000000	-
4.000000			
	9	0.000000	-
4.700000			
	10	0.000000	-
17.80000			
	11	0.000000	-
4.000000			
	12	0.000000	-
4.000000			
	13	0.000000	-
14.60000			
	14	0.000000	-
4.000000			
	15	0.000000	-
12.50000			
	16	0.000000	-
4.700000			
	17	0.000000	-
4.000000			
	18	0.000000	-
6.100000			
	19	0.000000	-
4.700000			
	20	59.29000	
0.000000			
	21	0.000000	
0.000000			
	22	0.000000	
0.000000			
	23	0.000000	
0.000000			
	24	0.000000	
0.000000			
	25	0.000000	
0.000000			
	26	0.000000	
0.000000			
	27	0.000000	
0.000000			
	28	0.000000	
0.000000			
	29	0.000000	
0.000000			
	30	0.000000	
0.000000			
	31	0.000000	
0.000000			
	32	0.000000	
0.000000			

0.000000	33	0.000000
0.000000	34	0.000000
0.000000	35	183.0500
0.000000	36	0.000000
0.000000	37	0.000000
0.000000	38	0.000000
0.000000	39	0.000000
0.000000	40	120.1800
0.000000	41	0.000000
0.000000	42	93.43000
0.000000	43	0.000000
0.000000	44	0.000000
0.000000	45	0.000000
0.000000	46	187.5300
0.000000	47	0.000000
0.000000	48	95.73000
0.000000	49	0.000000
0.000000	50	0.000000
0.000000	51	0.000000
0.000000	52	0.000000
0.000000	53	217.5800
0.000000	54	0.000000
0.000000	55	0.000000
0.000000	56	279.7900
0.000000	57	0.000000
0.000000	58	86.56000
0.000000	59	0.000000
0.000000	60	0.000000
0.000000	61	0.000000
0.000000	62	0.000000

0.000000	63	271.2700
0.000000	64	0.000000
0.000000	65	0.000000
0.000000	66	279.8700
0.000000	67	0.000000
0.000000	68	0.000000
0.000000	69	47.77000
0.000000	70	0.000000
0.000000	71	0.000000
0.000000	72	0.000000
0.000000	73	263.9800
0.000000	74	0.000000
0.000000	75	0.000000
0.000000	76	89.75000
0.000000	77	0.000000
0.000000	78	0.000000
0.000000	79	0.000000
0.000000	80	287.2600
0.000000	81	0.000000
0.000000	82	0.000000
0.000000	83	244.7500
0.000000	84	0.000000
0.000000	85	0.000000
0.000000	86	134.0500
0.000000	87	0.000000
0.000000	88	0.000000
0.000000	89	0.000000
0.000000	90	368.6200
0.000000	91	0.000000
0.000000	92	0.000000

0.000000	93	0.000000
0.000000	94	3.993305
0.000000	95	14.98131
0.000000	96	6.980961
0.000000	97	7.980960
0.000000	98	6.976068
0.000000	99	24.97537
0.000000	100	20.97004
0.000000	101	40.96895
0.000000	102	21.96847
0.000000	103	36.96369
0.000000	104	41.96159
0.000000	105	38.96137
0.000000	106	39.95800
0.000000	107	39.95606
0.000000	108	40.95408
0.000000	109	41.95239
0.000000	110	38.95253
0.000000	111	42.94924
0.000000	112	41.94566

✓ ΚΟΣΤΟΣ ΤΩΝ ΥΠΟ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΑΓΩΓΩΝ ΓΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΜΕ ΑΥΞΗΣΗ ΠΑΡΟΧΗΣ Q 10%

ΑΓΩΓΟΙ	ΜΗΚΟΣ (m)	ΠΑΡΟΧΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ Q (m ³ /s)	ΑΠΟΔΕΚΤΕΣ ΕΣΩΤ. ΔΙΑΜΕΤΡΟΙ D (mm)	ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ X (m)	ΚΟΣΤΟΣ	MIN Z
1	59,29	0,076681	281,60	X1	54,1 €	3.207,6 €
			317,40	X2	65,0 €	0,0 €
			402,20	X3	81,0 €	0,0 €
2	26,92	0,036564	178,40	X4	20,6 €	554,6 €
			200,80	X5	27,1 €	0,0 €
			223,40	X6	31,1 €	0,0 €
			250,00	X7	43,3 €	0,0 €
3	42,07	0,036234	281,60	X8	54,1 €	0,0 €
			178,40	X9	20,6 €	866,6 €
			200,80	X10	27,1 €	0,0 €
			223,40	X11	31,1 €	0,0 €
4	97,11	0,035728	250,00	X12	43,3 €	0,0 €
			281,60	X13	54,1 €	0,0 €
			178,40	X14	20,6 €	2.000,5 €
			200,80	X15	27,1 €	0,0 €
5	115,72	0,03454	223,40	X16	31,1 €	0,0 €
			250,00	X17	43,3 €	0,0 €
			281,60	X18	54,1 €	0,0 €
			178,40	X19	20,6 €	2.383,8 €
6	180,37	0,003168	200,80	X20	27,1 €	0,0 €
			223,40	X21	31,1 €	0,0 €
			250,00	X22	43,3 €	0,0 €
			281,60	X23	54,1 €	0,0 €
7	79,9	0,000968	56,00	X24	4,0 €	721,5 €
			66,60	X25	4,7 €	0,0 €
			80,00	X26	6,1 €	0,0 €
8	86,93	0,010439	56,00		4,0 €	319,6 €
			97,80	X27	7,4 €	643,3 €
			111,40	X28	9,1 €	0,0 €
			124,80	X29	12,5 €	0,0 €
9	197,53	0,002409	142,60	X30	14,6 €	0,0 €
			56,00	X31	4,0 €	790,1 €
			66,60	X32	4,7 €	0,0 €
10	138,01	0,002717	56,00	X33	4,0 €	552,0 €
			66,60	X34	4,7 €	0,0 €
			80,00	X35	6,1 €	0,0 €

11	85,27	0,001034	56,00		4,0 €	341,1 €
12	90,59	0,017622	124,80	X36	12,5 €	1.132,4 €
			142,60	X37	14,6 €	0,0 €
			160,60	X38	17,8 €	0,0 €
			178,40	X39	20,6 €	0,0 €
			200,80	X40	27,1 €	0,0 €
13	99,69	0,022946	142,60	X41	14,6 €	1.455,5 €
			160,60	X42	17,8 €	0,0 €
			178,40	X43	20,6 €	0,0 €
			200,80	X44	27,1 €	0,0 €
			223,40	X45	31,1 €	0,0 €
14	88,55	0,026928	160,60	X46	17,8 €	1.574,7 €
			178,40	X47	20,6 €	0,0 €
			200,80	X48	27,1 €	0,0 €
			223,40	X49	31,1 €	0,0 €
			250,00	X50	43,3 €	0,0 €
15	157,21	0,031361	178,40	X51	20,6 €	3.238,5 €
			200,80	X52	27,1 €	0,0 €
			223,40	X53	31,1 €	0,0 €
			250,00	X54	43,3 €	0,0 €
			281,60	X55	54,1 €	0,0 €
16	146,01	0,001782	56,00	X56	4,0 €	584,0 €
			66,60	X57	4,7 €	0,0 €
17	206,62	0,002508	56,00	X58	4,0 €	826,5 €
			66,60	X59	4,7 €	0,0 €
18	239,42	0,002915	56,00	X60	4,0 €	957,7 €
			66,60	X61	4,7 €	0,0 €
			80,00	X62	6,1 €	0,0 €
19	257,98	0,004114	66,60	X63	4,7 €	1.212,5 €
			80,00	X64	6,1 €	0,0 €
			97,80	X65	7,4 €	0,0 €
20	79,78	0,000968	56,00		4,0 €	319,1 €
21	239,41	0,002915	56,00	X66	4,0 €	957,6 €
			66,60	X67	4,7 €	0,0 €
			80,00	X68	6,1 €	0,0 €
22	205,61	0,004257	66,60	X69	4,7 €	966,4 €
			80,00	X70	6,1 €	0,0 €
			97,80	X71	7,4 €	0,0 €
23	57,94	0,00176	56,00		4,0 €	231,8 €
24	86,45	0,001056	56,00		4,0 €	345,8 €
25	183,05	0,040128	200,80	X72	27,1 €	4.960,7 €
			223,40	X73	31,1 €	0,0 €
			250,00	X74	43,3 €	0,0 €

			281,60	X75	54,1 €	0,0 €
			317,40	X76	65,0 €	0,0 €
26	120,18	0,002024	56,00	X77	4,0 €	480,7 €
			66,60	X78	4,7 €	0,0 €
27	46,52	0,000561	56,00		4,0 €	186,1 €
			178,40	X79	20,6 €	1.924,7 €
			200,80	X80	27,1 €	0,0 €
28	93,43	0,035871	223,40	X81	31,1 €	0,0 €
			250,00	X82	43,3 €	0,0 €
			281,60	X83	54,1 €	0,0 €
29	187,53	0,002277	56,00	X84	4,0 €	750,1 €
			66,60	X85	4,7 €	0,0 €
			178,40	X86	20,6 €	1.972,0 €
			200,80	X87	27,1 €	0,0 €
30	95,73	0,03245	223,40	X88	31,1 €	0,0 €
			250,00	X89	43,3 €	0,0 €
			281,60	X90	54,1 €	0,0 €
31	217,58	0,002651	56,00	X91	4,0 €	870,3 €
			66,60	X92	4,7 €	0,0 €
			56,00	X93	4,0 €	1.119,2 €
32	279,79	0,00341	66,60	X94	4,7 €	0,0 €
			80,00	X95	6,1 €	0,0 €
			160,60	X96	17,8 €	1.539,3 €
			178,40	X97	20,6 €	0,0 €
33	86,56	0,025234	200,80	X98	27,1 €	0,0 €
			223,40	X99	31,1 €	0,0 €
			250,00	X100	43,3 €	0,0 €
			56,00	X101	4,0 €	1.085,1 €
34	271,27	0,0033	66,60	X102	4,7 €	0,0 €
			80,00	X103	6,1 €	0,0 €
			56,00	X104	4,0 €	1.119,5 €
35	279,87	0,00341	66,60	X105	4,7 €	0,0 €
			80,00	X106	6,1 €	0,0 €
			124,80	X107	12,5 €	597,1 €
			142,60	X108	14,6 €	0,0 €
36	47,77	0,017468	160,60	X109	17,8 €	0,0 €
			178,40	X110	20,6 €	0,0 €
			200,80	X111	27,1 €	0,0 €
			56,00	X112	4,0 €	1.055,9 €
37	263,98	0,003212	66,60	X113	4,7 €	0,0 €
			80,00	X114	6,1 €	0,0 €
			111,40	X115	9,1 €	818,4 €
38	89,75	0,013684	124,80	X116	12,5 €	0,0 €

			142,60	X117	14,6 €	0,0 €
			160,60	X118	17,8 €	0,0 €
			178,40	X119	20,6 €	0,0 €
39	287,26	0,003498	56,00	X120	4,0 €	1.149,0 €
			66,60	X121	4,7 €	0,0 €
			80,00	X122	6,1 €	0,0 €
40	244,75	0,002981	56,00	X123	4,0 €	979,0 €
			66,60	X124	4,7 €	0
			80,00	X125	6,1 €	0
41	134,05	0,006116	80,00	X126	6,1 €	817,7 €
			97,80	X127	7,4 €	0
			111,40	X128	9,1 €	0
			124,80	X129	12,5 €	0
42	368,62	0,004488	66,60	X130	4,7 €	1.732,5 €
			80,00	X131	6,1 €	0,0 €
			97,80	X132	7,4 €	0,0 €
ΒΕΛΤΙΣΤΟ ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΓΙΑ ΠΑΡΟΧΗ Q 10%						49.340,6 €

Πίνακας V.7: Βέλτιστο Κόστος Ανάλυσης Ευαισθησίας -Q10%
Υπολογισμός σε MS Excel

✓ ΚΟΣΤΟΣ ΤΩΝ ΥΠΟ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΑΓΩΓΩΝ ΓΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗ
ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΜΕ ΑΥΞΗΣΗ ΠΑΡΟΧΗΣ Q 15%

ΑΓΩΓΟΙ	ΜΗΚΟΣ (m)	ΠΑΡΟΧΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ Q (m ³ /s)	ΑΠΟΔΕΚΤΕΣ ΕΣΩΤ. ΔΙΑΜΕΤΡΟΙ D (mm)	ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ X (m)	ΚΟΣΤΟΣ	MIN Z
1	59,29	0,0801665	281,60	X1	54,1 €	3.207,6 €
			317,40	X2	65,0 €	0,0 €
			402,20	X3	81,0 €	0,0 €
			447	X4	98,0 €	0,0 €
2	26,92	0,038226	200,80	X5	27,1 €	729,5 €
			223,40	X6	31,1 €	0,0 €
			250,00	X7	43,3 €	0,0 €
			281,60	X8	54,1 €	0,0 €
3	42,07	0,037881	200,80	X9	27,1 €	1.140,1 €
			223,40	X10	31,1 €	0,0 €
			250,00	X11	43,3 €	0,0 €
			281,60	X12	54,1 €	0,0 €
4	97,11	0,037352	200,80	X13	27,1 €	2.631,7 €
			223,40	X14	31,1 €	0,0 €
			250,00	X15	43,3 €	0,0 €
			281,60	X16	54,1 €	0,0 €
5	115,72	0,03611	178,40	X17	27,1 €	3.136,0 €
			200,80	X18	31,1 €	0,0 €
			223,40	X19	43,3 €	0,0 €
			250,00	X20	54,1 €	0,0 €
			281,60	X21	65,0 €	0,0 €
6	180,37	0,003312	56,00	X22	4,0 €	721,5 €
			66,60	X23	4,7 €	0,0 €
			80,00	X24	6,1 €	0,0 €
7	79,9	0,001012	56,00		4,0 €	319,6 €
8	86,93	0,0109135	97,80	X25	7,4 €	643,3 €
			111,40	X26	9,1 €	0,0 €
			124,80	X27	12,5 €	0,0 €
			142,60	X28	14,6 €	0,0 €
			160,60	X29	17,8 €	0,0 €
9	197,53	0,0025185	56,00	X30	4,0 €	790,1 €
			66,60	X31	4,7 €	0,0 €
			80,00	X32	6,1 €	0,0 €
10	138,01	0,0028405	56,00	X33	4,0 €	552,0 €
			66,60	X34	4,7 €	0,0 €
			80,00	X35	6,1 €	0,0 €
11	85,27	0,001081	56,00		4,0 €	341,1 €

12	90,59	0,018423	142,60	X36	14,6 €	1.322,6 €
			160,60	X37	17,8 €	0,0 €
			178,40	X38	20,6 €	0,0 €
			200,80	X39	27,1 €	0,0 €
13	99,69	0,023989	160,60	X40	17,8 €	1.772,8 €
			178,40	X41	20,6 €	0,0 €
			200,80	X42	27,1 €	0,0 €
			223,40	X43	31,1 €	0,0 €
14	88,55	0,028152	160,60	X44	17,8 €	1.574,7 €
			178,40	X45	20,6 €	0,0 €
			200,80	X46	27,1 €	0,0 €
			223,40	X47	31,1 €	0,0 €
			250,00	X48	43,3 €	0,0 €
15	157,21	0,0327865	178,40	X49	20,6 €	3.238,5 €
			200,80	X50	27,1 €	0,0 €
			223,40	X51	31,1 €	0,0 €
			250,00	X52	43,3 €	0,0 €
			281,60	X53	54,1 €	0,0 €
16	146,01	0,001863	56,00	X54	4,0 €	584,0 €
			66,60	X55	4,7 €	0,0 €
17	206,62	0,002622	56,00	X56	4,0 €	826,5 €
			66,60	X57	4,7 €	0,0 €
			80,00	X58	6,1 €	0,0 €
18	239,42	0,0030475	56,00	X59	4,0 €	957,7 €
			66,60	X60	4,7 €	0,0 €
			80,00	X61	6,1 €	0,0 €
19	257,98	0,004301	66,60	X62	4,7 €	1.212,5 €
			80,00	X63	6,1 €	0,0 €
			97,80	X64	7,4 €	0,0 €
20	79,78	0,001012	56,00		4,0 €	319,1 €
21	239,41	0,0030475	56,00	X65	4,0 €	957,6 €
			66,60	X66	4,7 €	0,0 €
			80,00	X67	6,1 €	0,0 €
22	205,61	0,0044505	66,60	X68	4,7 €	966,4 €
			80,00	X69	6,1 €	0,0 €
			97,80	X70	7,4 €	0,0 €
23	57,94	0,0018400	56,00	X71	4,0 €	231,8 €
			66,60	X72	4,7 €	0,0 €
24	86,45	0,001104	56,00		4,0 €	345,8 €
25	183,05	0,041952	200,80	X73	27,1 €	4.960,7 €
			223,40	X74	31,1 €	0,0 €
			250,00	X75	43,3 €	0,0 €
			281,60	X76	54,1 €	0,0 €

			317,40	X77	65,0 €	0,0 €
26	120,18	0,002116	56,00	X78	4,0 €	480,7 €
			66,60	X79	4,7 €	0,0 €
27	46,52	0,0005865	56,00		4,0 €	186,1 €
28	93,43	0,0375015	200,80	X80	27,1 €	2.532,0 €
			223,40	X81	31,1 €	0,0 €
			250,00	X82	43,3 €	0,0 €
			281,60	X83	54,1 €	0,0 €
29	187,53	0,0023805	56,00	X84	4,0 €	750,1 €
			66,60	X85	4,7 €	0,0 €
30	95,73	0,033925	178,40	X86	20,6 €	1.972,0 €
			200,80	X87	27,1 €	0,0 €
			223,40	X88	31,1 €	0,0 €
			250,00	X89	43,3 €	0,0 €
			281,60	X90	54,1 €	0,0 €
31	217,58	0,0027715	56,00	X91	4,0 €	870,3 €
			66,60	X92	4,7 €	0,0 €
			80,00	X93	6,1 €	0,0 €
32	279,79	0,003565	56,00	X94	4,0 €	1.119,2 €
			66,60	X95	4,7 €	0,0 €
			80,00	X96	6,1 €	0,0 €
33	86,56	0,026381	160,60	X97	17,8 €	1.539,3 €
			178,40	X98	20,6 €	0,0 €
			200,80	X99	27,1 €	0,0 €
			223,40	X100	31,1 €	0,0 €
			250,00	X101	43,3 €	0,0 €
34	271,27	0,00345	56,00	X102	4,0 €	1.085,1 €
			66,60	X103	4,7 €	0,0 €
			80,00	X104	6,1 €	0,0 €
35	279,87	0,003565	56,00	X105	4,0 €	1.119,5 €
			66,60	X106	4,7 €	0,0 €
			80,00	X107	6,1 €	0,0 €
36	47,77	0,018262	124,80	X108	12,5 €	597,1 €
			142,60	X109	14,6 €	0,0 €
			160,60	X110	17,8 €	0,0 €
			178,40	X111	20,6 €	0,0 €
			200,80	X112	27,1 €	0,0 €
37	263,98	0,003358	56,00	X113	4,0 €	1.055,9 €
			66,60	X114	4,7 €	0,0 €
			80,00	X115	6,1 €	0,0 €
38	89,75	0,014306	111,40	X116	9,1 €	818,4 €
			124,80	X117	12,5 €	0,0 €
			142,60	X118	14,6 €	0,0 €

			160,60	X119	17,8 €	0,0 €
			178,40	X120	20,6 €	0,0 €
39	287,26	0,003657	56,00	X121	4,0 €	1.149,0 €
			66,60	X122	4,7 €	0,0 €
			80,00	X123	6,1 €	0,0 €
40	244,75	0,0031165	56,00	X124	4,0 €	979,0 €
			66,60	X125	4,7 €	0,0 €
			80,00	X126	6,1 €	0,0 €
41	134,05	0,006394	80,00	X127	6,1 €	817,7 €
			97,80	X128	7,4 €	0,0 €
			111,40	X129	9,1 €	0,0 €
			124,80	X130	12,5 €	0,0 €
42	368,62	0,004692	66,60	X131	4,7 €	1.732,5 €
			80,00	X132	6,1 €	0,0 €
			97,80	X133	7,4 €	0,0 €
ΒΕΛΤΙΣΤΟ ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΓΙΑ ΠΑΡΟΧΗ Q 15%						52.287,3 €

*Πίνακας V.8: Βέλτιστο Κόστος Ανάλυσης Ευαισθησίας -Q15%
Υπολογισμός σε MS Excel*

✓ ΚΟΣΤΟΣ ΤΩΝ ΥΠΟ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΑΓΩΓΩΝ ΓΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗ
ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΜΕ ΑΥΞΗΣΗ ΠΑΡΟΧΗΣ Q 20%

ΑΓΩΓΟΙ	ΜΗΚΟΣ (m)	ΠΑΡΟΧΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ Q (m ³ /s)	ΑΠΟΔΕΚΤΕΣ ΕΣΩΤ. ΔΙΑΜΕΤΡΟΙ D (mm)	ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ X (m)	ΚΟΣΤΟΣ	MIN Z
1	59,29	0,039528	281,60	X1	54,1 €	3.207,6 €
			317,40	X2	65,0 €	0,0 €
			402,20	X3	81,0 €	0,0 €
			447	X4	98,0 €	0,0 €
2	26,92	0,038976	200,80	X5	27,1 €	729,5 €
			223,40	X6	31,1 €	0,0 €
			250,00	X7	43,3 €	0,0 €
			281,60	X8	54,1 €	0,0 €
			317,4	X9	65,0 €	0,0 €
3	42,07	0,03768	200,80	X10	27,1 €	1.140,1 €
			223,40	X11	31,1 €	0,0 €
			250,00	X12	43,3 €	0,0 €
			281,60	X13	54,1 €	0,0 €
4	97,11	0,003456	200,80	X14	27,1 €	2.631,7 €
			223,40	X15	31,1 €	0,0 €
			250,00	X16	43,3 €	0,0 €
			281,60	X17	54,1 €	0,0 €
5	115,72	0,001056	200,80	X18	27,1 €	3.136,0 €
			223,40	X19	31,1 €	0,0 €
			250,00	X20	43,3 €	0,0 €
			281,60	X21	54,1 €	0,0 €
6	180,37	0,011388	56,00	X22	4,0 €	721,5 €
			66,60	X23	4,7 €	0,0 €
			80,00	X24	6,1 €	0,0 €
7	79,9	0,002628	56,00		4,0 €	319,6 €
8	86,93	0,002964	111,40	X25	9,1 €	792,7 €
			124,80	X26	12,5 €	0,0 €
			142,60	X27	14,6 €	0,0 €
			160,60	X28	17,8 €	0,0 €
9	197,53	0,001128	56,00	X29	4,0 €	790,1 €
			66,60	X30	4,7 €	0,0 €
			80,00	X31	6,1 €	0,0 €
10	138,01	0,019224	56,00	X32	4,0 €	552,0 €
			66,60	X33	4,7 €	0,0 €
			80,00	X34	6,1 €	0,0 €
11	85,27	0,025032	56,00		4,0 €	341,1 €
12	90,59	0,029376	142,60	X35	14,6 €	1.322,6 €

			160,60	X36	17,8 €	0,0 €
			178,40	X37	20,6 €	0,0 €
			200,80	X38	27,1 €	0,0 €
13	99,69	0,034212	160,60	X39	17,8 €	1.772,8 €
			178,40	X40	20,6 €	0,0 €
			200,80	X41	27,1 €	0,0 €
			223,40	X42	31,1 €	0,0 €
			250	X43	43,3 €	0,0 €
14	88,55	0,001944	160,60	X44	17,8 €	1.574,7 €
			178,40	X45	20,6 €	0,0 €
			200,80	X46	27,1 €	0,0 €
			223,40	X47	31,1 €	0,0 €
			250,00	X48	43,3 €	0,0 €
15	157,21	0,002736	178,40	X49	20,6 €	3.238,5 €
			200,80	X50	27,1 €	0,0 €
			223,40	X51	31,1 €	0,0 €
			250,00	X52	43,3 €	0,0 €
			281,60	X53	54,1 €	0,0 €
16	146,01	0,00318	56,00	X54	4,0 €	584,0 €
			66,60	X55	4,7 €	0,0 €
			80,00	X56	6,1 €	0,0 €
17	206,62	0,004488	56,00	X57	4,0 €	826,5 €
			66,60	X58	4,7 €	0,0 €
			80,00	X59	6,1 €	0,0 €
18	239,42	0,001056	56,00	X60	4,0 €	957,7 €
			66,60	X61	4,7 €	0,0 €
			80,00	X62	6,1 €	0,0 €
19	257,98	0,00318	66,60	X63	4,7 €	1.212,5 €
			80,00	X64	6,1 €	0,0 €
			97,80	X65	7,4 €	0,0 €
20	79,78	0,004644	56,00		4,0 €	319,1 €
21	239,41	0,00192	56,00	X66	4,0 €	957,6 €
			66,60	X67	4,7 €	0,0 €
			80,00	X68	6,1 €	0,0 €
22	205,61	0,001152	66,60	X69	4,7 €	966,4 €
			80,00	X70	6,1 €	0,0 €
			97,80	X71	7,4 €	0,0 €
23	57,94	0,0437760	56,00	X72	4,0 €	231,8 €
			66,60	X73	4,7 €	0,0 €
24	86,45	0,002208	56,00		4,0 €	345,8 €
25	183,05	0,000612	200,80	X74	27,1 €	4.960,7 €
			223,40	X75	31,1 €	0,0 €
			250,00	X76	43,3 €	0,0 €

			281,60	X77	54,1 €	0,0 €
			317,40	X78	65,0 €	0,0 €
26	120,18	0,039132	56,00	X79	4,0 €	480,7 €
			66,60	X80	4,7 €	0,0 €
27	46,52	0,002484	56,00		4,0 €	186,1 €
			200,80	X81	27,1 €	2.532,0 €
			223,40	X82	31,1 €	0,0 €
28	93,43	0,0354	250,00	X83	43,3 €	0,0 €
			281,60	X84	54,1 €	0,0 €
			56,00	X85	4,0 €	750,1 €
29	187,53	0,002892	66,60	X86	4,7 €	0,0 €
			178,40	X87	20,6 €	1.972,0 €
			200,80	X88	27,1 €	0,0 €
30	95,73	0,00372	223,40	X89	31,1 €	0,0 €
			250,00	X90	43,3 €	0,0 €
			281,60	X91	54,1 €	0,0 €
			56,00	X92	4,0 €	870,3 €
31	217,58	0,027528	66,60	X93	4,7 €	0,0 €
			80,00	X94	6,1 €	0,0 €
			66,60	X95	4,7 €	1.315,0 €
32	279,79	0,0036	80,00	X96	6,1 €	0,0 €
			160,60	X97	17,8 €	1.539,3 €
			178,40	X98	20,6 €	0,0 €
33	86,56	0,00372	200,80	X99	27,1 €	0,0 €
			223,40	X100	31,1 €	0,0 €
			250,00	X101	43,3 €	0,0 €
			56,00	X102	4,0 €	1.085,1 €
34	271,27	0,019056	66,60	X103	4,7 €	0,0 €
			80,00	X104	6,1 €	0,0 €
			56,00	X105	4,0 €	1.119,5 €
35	279,87	0,003504	66,60	X106	4,7 €	0,0 €
			80,00	X107	6,1 €	0,0 €
			142,60	X108	14,6 €	697,4 €
36	47,77	0,014928	160,60	X109	17,8 €	0,0 €
			178,40	X110	20,6 €	0,0 €
			200,80	X111	27,1 €	0,0 €
			56,00	X112	4,0 €	1.055,9 €
37	263,98	0,003816	66,60	X113	4,7 €	0,0 €
			80,00	X114	6,1 €	0,0 €
			124,80	X115	12,5 €	1.121,9 €
38	89,75	0,003252	142,60	X116	14,6 €	0,0 €
			160,60	X117	17,8 €	0,0 €
			178,40	X118	20,6 €	0,0 €

39	287,26	0,006672	66,60	X119	4,7 €	1.350,1 €
			80,00	X120	6,1 €	0,0 €
			97,8	X121	7,4 €	0,0 €
40	244,75	0,004896	56,00	X122	4,0 €	979,0 €
			66,60	X123	4,7 €	0,0 €
			80,00	X124	6,1 €	0,0 €
41	134,05	0	80,00	X125	6,1 €	817,7 €
			97,80	X126	7,4 €	0,0 €
			111,40	X127	9,1 €	0,0 €
			124,80	X128	12,5 €	0,0 €
42	368,62	0	66,60	X129	4,7 €	1.732,5 €
			80,00	X130	6,1 €	0,0 €
			97,80	X131	7,4 €	0,0 €
			111,40	X132	9,1 €	0,0 €
ΒΕΛΤΙΣΤΟ ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΓΙΑ ΠΑΡΟΧΗ Q 20%						53.237,4 €

*Πίνακας V.9: Βέλτιστο Κόστος Ανάλυσης Ευαισθησίας -Q20%
Υπολογισμός σε MS Excel*