



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΓΓΕΙΟΒΕΛΤΙΩΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

*Διπλωματική Εργασία*

# **ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΑΚΤΙΝΩΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΝΕΡΟΥ**

**ΕΚΠΟΝΗΣΗ: ΙΩΑΝΝΑ ΝΤΟΥΞΗ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Γ. ΤΣΑΚΙΡΗΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΜΠ**



*Αθήνα, Σεπτέμβριος 2014*



*Διπλωματική Εργασία*

# **ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΑΚΤΙΝΩΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΝΕΡΟΥ**

**Επιβλέπων :** Γιώργος Τσακίρης  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την \_\_ Οκτωβρίου 2014.

*(Υπογραφή)*

.....

Γιώργος Τσακίρης  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

*(Υπογραφή)*

.....

Σπύρος Γιακουμάκης  
Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

*(Υπογραφή)*

.....

Ιωάννης Ναλμπάντης  
Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

*(Υπογραφή)*

.....

ΙΩΑΝΝΑ ΝΤΟΥΞΗ

Διπλωματούχος Αγρονόμος Τοπογράφος Μηχανικός Ε.Μ.Π.

© 2014 – All rights reserved



Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται την οικονομικότητα των υλικών σωληνώσεων, καθώς και τη βελτιστοποίηση του κόστους των αγωγών υδρευτικών υπό πίεση δικτύων βαρύτητας. Η βελτιστοποίηση έγινε με τη μέθοδο του γραμμικού προγραμματισμού και τη χρήση του προγράμματος Lingo της LINDO Systems. Η εφαρμογή της μεθόδου έγινε στο υδρευτικό δίκτυο που τροφοδοτείται από την τεχνητή λίμνη Σμοκόβου Ν. Καρδίτσας. Σκοπός είναι η αναζήτηση της καλύτερης τεχνικοοικονομικής πρότασης για το εν λόγω δίκτυο.

Η εργασία πραγματοποιήθηκε στη Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου σε προπτυχιακό επίπεδο, στην εμβάθυνση "Υδατικοί Πόροι", υπό την επίβλεψη του καθηγητή της ΣΑΤΜ κ. Γιώργου Τσακίρη.

Από πλευράς μου θα ήθελα να ευχαριστήσω:

- ~ Τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Γιώργο Τσακίρη για την άριστη συνεργασία, την εμπιστοσύνη και την καθοδήγηση.
- ~ Τον μεταδιδακτορικό συνεργάτη της σχολής κ. Μιχάλη Σπηλιώτη για τις πολύτιμες υποδείξεις.
- ~ Τον κ. Χάρη Βαγγέλη, μέλος Ε.ΔΙ.Π, για τις εύστοχες παρατηρήσεις στην επιμέλεια του κειμένου.
- ~ Την οικογένεια μου, για τη μεγάλη προσπάθεια, αγάπη και υποστήριξη καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2014

Ιωάννα Ντούξη



Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η οικονομοτεχνική βελτιστοποίηση ακτινωτών δικτύων μεταφοράς νερού. Το δίκτυο διαστασιολογείται με τρόπο τέτοιο ώστε να είναι όσο το δυνατόν χαμηλότερο το συνολικό κόστος των σωληνώσεων και παράλληλα να ικανοποιούνται οι απαιτήσεις πίεσης του δικτύου ώστε να εξυπηρετεί τους οικισμούς απρόσκοπτα. Εξετάζεται επίσης η οικονομικότητα των συνηθέστερων υλικών σωληνώσεων του εμπορίου.

Στο 1<sup>ο</sup> Κεφάλαιο γίνεται μία περιγραφή των υδρευτικών έργων. Περιγράφεται το εσωτερικό και το εξωτερικό υδραγωγείο και η δεξαμενή ρύθμισης. Υπενθυμίζονται επίσης οι αρχές Υδραυλικής που ακολουθεί η λειτουργία των κλειστών υπό πίεση αγωγών.

Στο 2<sup>ο</sup> Κεφάλαιο αναλύονται και συγκρίνονται τα υλικά σωληνώσεων δικτύων ύδρευσης ως προς τις διαθέσιμες διαμέτρους και κλάσεις αλλά κυριότερα ως προς το κόστος τους.

Στο 3<sup>ο</sup> Κεφάλαιο παρουσιάζεται η γενική έννοια της βελτιστοποίησης με έμφαση στο γραμμικό προγραμματισμό από τη φυσική και τη μαθηματική του σκοπιά. Στη συνέχεια η ανάλυση εισχωρεί στην περίπτωση των ακτινωτών δικτύων βαρύτητας. Γίνεται επίσης μία εισαγωγή στο λογισμικό επίλυσης προβλημάτων γραμμικού προγραμματισμού Lingo.

Στο 4<sup>ο</sup> Κεφάλαιο, το θεωρητικό υπόβαθρο του προηγούμενου Κεφαλαίου βρίσκει εφαρμογή στο δίκτυο ύδρευσης της ανατολικής πλευράς του Νομού Καρδίτσας, το οποίο τροφοδοτείται από τον ταμειυτήρα Σμοκόβου, με τη βοήθεια του Lingo.

Στο 5<sup>ο</sup> Κεφάλαιο διατυπώνονται τα συμπεράσματα από την εφαρμογή και τονίζεται η σημασία της.



In this diploma thesis the method of linear programming is used in order to define the technical and economical elements, that optimize the operation of an urban water conveyance and distribution system. The water main is dimensioned in such a way as to be the lowest possible total cost of the pipes and at the same time to satisfy the pressure requirements in order to serve the municipality properly. Before the optimization a significant decision has to be taken, related to the pipe material. The selection of the material depends mainly on the cost and range of diameters and pressures.

In the *First Chapter* there is a description of the urban water distribution systems components and the hydraulic principles of the design of water supply networks.

The *Second Chapter* analyzes and compares various pipe materials due to available diameters, pressures and cost.

The *Third Chapter* presents the general framework of the optimization with emphasis on linear programming. Then the analysis focuses on non-looped water distribution systems where the water flow is carried out from high to lower heights due to gravity. There is also an introduction to Lingo, a program that solves linear and non-linear programming problems in order to curtail the duration of the computational procedures.

In *Chapter Four*, the method applies on the water distribution system of the eastern part of the Prefecture of Karditsa, which is sourced from Smokovo lake.

*Chapter Five* includes the conclusions of the implementation and highlights the importance of the method.



ΠΡΟΛΟΓΟΣ	5
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	7
ABSTRACT	9
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	15

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

### ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΥΔΡΕΥΤΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΚΑΙ ΑΡΧΕΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ

1.1 ΓΕΝΙΚΑ	17
1.2 ΤΥΠΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΔΙΚΤΥΩΝ ΥΔΡΕΥΣΗΣ	
1.2.1 Εξωτερικό Υδραγωγείο	18
1.2.2 Δεξαμενή ρύθμισης	19
1.2.3 Εσωτερικό Υδραγωγείο	21
1.3 ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΔΙΕΥΚΡΙΝΙΣΕΙΣ ΚΑΤΑ ΤΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ	
1.3.1 Η παροχή σχεδιασμού	21
1.3.2 Περιορισμοί πίεσης	21
1.3.3 Άλλοι περιορισμοί στους κλειστούς υπό πίεση αγωγούς βαρύτητας	22
1.4 ΤΥΠΟΙ ΔΙΚΤΥΩΝ	22
1.5 ΑΡΧΕΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΣΤΟΥΣ ΚΛΕΙΣΤΟΥΣ ΥΠΟ ΠΙΕΣΗ ΑΓΩΓΟΥΣ	
1.5.1 Η υπόθεση της μόνιμης και ομοιόμορφης ροής	23
1.5.2 Οι απώλειες ενέργειας στη μόνιμη ροή	25
1.5.3 Η διάμετρος των σωληνώσεων	25
1.5.4 Τα 3 βασικά προβλήματα Υδραυλικής κλειστών αγωγών	26

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### ΥΛΙΚΑ ΣΩΛΗΝΩΣΕΩΝ ΣΤΑ ΥΔΡΕΥΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ

2.1 ΣΚΟΠΟΣ	31
2.2 Η ΕΚΛΟΓΗ ΤΟΥ ΥΛΙΚΟΥ ΣΩΛΗΝΩΣΕΩΝ ΣΕ ΕΝΑ ΥΔΡΕΥΣΗΣ. ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΣΥΓΚΡΙΣΗ	
2.2.1 Η επιλογή του υλικού	32
2.2.2 Σύνοψη πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων των υλικών	33
2.3 ΟΙ ΠΛΑΣΤΙΚΟΙ ΑΓΩΓΟΙ ΣΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΥΔΡΕΥΣΗΣ	
2.3.1 Σωλήνες από Πολυαιθυλένιο (HDPE)	36
2.3.2 Σωλήνες από Πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC)	40
2.3.3 Σύγκριση HDPE-PVC	44
2.4 ΟΙ ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΙ ΑΓΩΓΟΙ ΣΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΥΔΡΕΥΣΗΣ	
2.4.1 Σωλήνες από Ελατό Χυτοσίδηρο (Ductile Iron)	45
2.4.2 Σωλήνες ελικοειδούς ραφής από Χάλυβα	49

2.4.3 Σύγκριση Ductile Iron-Χάλυβα	70
2.5 ΣΩΛΗΝΕΣ ΑΠΟ ΥΑΛΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΠΟΛΥΜΕΡΕΣ (GRP)	
2.5.1 Σωλήνες από Υαλοπλισμένο Πολυμερές (GRP)	71
2.5.2 Σύγκριση GRP-Ductile Iron-Χάλυβα	77
2.6 ΤΟ ΜΕΓΕΘΟΣ C/A	
	79
2.7 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΤΗΣ ΙΔΙΑΣ ΚΛΑΣΗΣ	
	81

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

#### ΕΦΑΡΜΟΖΟΜΕΝΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

3.1 Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ	87
3.2 ΕΙΔΗ ΚΑΙ ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ	
3.2.1 Ο γραμμικός προγραμματισμός	87
3.2.2 Ο μη γραμμικός προγραμματισμός	88
3.2.3 Ο δυναμικός προγραμματισμός	88
3.2.4 Η ασυνεχής μέθοδος του Labye	88
3.3 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ	88
3.4 Ο ΓΡΑΜΜΙΚΟΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ	
3.4.1 Γενικά	89
3.4.2 Μαθηματικοί ορισμοί	90
3.4.3 Βασικές υποθέσεις	91
3.4.4 Η μέθοδος Simplex	92
3.4.5 Παράδειγμα αναφοράς	92
3.5 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΓΡΑΜΜΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ ΣΕ ΑΚΤΙΝΩΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ	
3.5.1 Γενικά	94
3.5.2 Ακτινωτό δίκτυο βαρύτητας	95
3.5.3 Ζητούμενα, δεδομένα και περιορισμοί στην περίπτωση ακτινωτού δικτύου βαρύτητας	95
3.5.4 Διατύπωση του προβλήματος	96
3.5.5 Αλγόριθμος επίλυσης του προβλήματος	98
3.6 ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ LINGO	
3.6.1 Γενικά	104
3.6.2 Βασικές εντολές και χρήση παραδείγματος αναφοράς	105

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

#### ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΓΡΑΜΜΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΤΗΣ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΠΛΕΥΡΑΣ ΤΟΥ ΝΟΜΟΥ ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ

4.1 ΣΚΟΠΟΣ	113
4.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	113



4.3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ	117
4.4 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ	
4.4.1 Γενικά	119
4.4.2 Δεδομένα μελέτης	120
4.5 ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ	
4.5.1 Προσδιορισμός των αποδεκτών διαμέτρων και του υλικού των αγωγών	121
4.5.2 Κόστος ανά μέτρο μήκους αγωγού από HDPE κλάσης 20 atm	125
4.5.3 Υπολογισμός των γραμμικών απωλειών φορτίου ανά κλάδο ( $h_f$ ) και ανά μέτρο μήκους κλάδου (S)	126
4.6 Η ΜΟΡΦΗ ΤΟΥ ΓΡΑΜΜΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ	
4.6.1 Ορισμός των μεταβλητών απόφασης	129
4.6.2 Καθορισμός της συνάρτησης στόχου	132
4.6.3 Καθορισμός των γεωμετρικών περιορισμών	134
4.6.4 Καθορισμός των περιορισμών πιεζομετρικού φορτίου	134
4.7 ΕΠΙΛΥΣΗ	143
4.8 Η ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΙΚΗ ΓΡΑΜΜΗ	
4.8.1 Υπολογισμός ύψους ενέργειας στους κόμβους	146
4.8.2 Οπτικοποίηση της πιεζομετρικής γραμμής	148
4.9 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ	
4.9.1 Γενικά	148
4.9.2 Ανάλυση ευαισθησίας ως προς μεταβολές της παροχής ζήτησης των κλάδων	149
4.9.3 Ανάλυση ευαισθησίας ως προς μεταβολές του συντελεστή τραχύτητας του PE	151
4.9.4 Συμπέρασμα	153
4.10 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΥΠΑΡΧΟΥΣΑ ΜΕΛΕΤΗ	153
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5</b>	
<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ</b>	157
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b>	159
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ</b>	
1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΙΚΟ ΤΙΜΟΛΟΓΙΟ ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ	161
2 ΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗ ΧΑΛΥΒΟΣΩΛΗΝΩΝ	179
3 ΕΠΙΛΥΣΕΙΣ ΣΤΟ LINGO ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ	190
4 ΑΠΟΣΠΑΣΜΑ ΤΗΣ ΟΡΙΣΤΙΚΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	220
5 Η ΧΑΡΑΞΗ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ (ΟΠΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ)	225



Με την έννοια *βελτιστοποίηση* εκφράζεται η διαδικασία εύρεσης της λύσης εκείνης που επιλύει με τον καλύτερο δυνατό τρόπο ένα πρόβλημα, στο μικρότερο δυνατό κόστος (οικονομικό, ανθρώπινου δυναμικού, περιβαλλοντικό κτλ). Η λύση αυτή ανακύπτει από μία δέσμη υποψήφιων λύσεων, ειδάλλως αν ήταν μονοσήμαντη θα μιλούσαμε περισσότερο για σύστημα εξισώσεων παρά για βελτιστοποίηση. Ειδικά όταν οι σχέσεις που διέπουν το προς επίλυση πρόβλημα είναι γραμμικές, πρόκειται για πρόβλημα γραμμικού προγραμματισμού.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία εφαρμόζεται μία βελτιστοποίηση οικονομοτεχνικής φύσεως με τη μέθοδο του γραμμικού προγραμματισμού σε ένα ακτινωτό δίκτυο βαρύτητας. Πρόκειται για το δίκτυο ύδρευσης της ανατολικής πλευράς του Νομού Καρδίτσας, το οποίο τροφοδοτείται από τον ταμιευτήρα Σμοκόβου. Η εφαρμογή είναι *οικονομοτεχνική* διότι ο σκοπός της είναι διττός: αφενός το συνολικό κόστος του δικτύου να προκύψει το ελάχιστο δυνατό, αφετέρου οι υδραυλικές του απαιτήσεις να τηρηθούν απολύτως, με τα επίπεδα πίεσης αρκετά ώστε ακόμα και στους πιο κρίσιμους κόμβους του δικτύου, να φτάνει νερό.

Αναζητείται επομένως η λύση εκείνη, η "χρυσή τομή" που θα απομακρύνεται *ταυτόχρονα* από το σχεδιασμό ενός οικονομικά ασύμφορου δικτύου και ενός ανεπαρκούς δικτύου. Η λύση αυτή κρίνεται από την επιλογή των σωληνώσεων, καθώς ουσιαστικά αυτές στελεχώνουν το δίκτυο. Το υλικό της σωληνώσεως σε συνδυασμό με τη διάμετρο και το μήκος της καθορίζουν το κόστος και την υδραυλική της συμπεριφορά. Έτσι κι εδώ, αναζητήθηκε στο δίκτυο εφαρμογής ο συνδυασμός των σωληνώσεων εκείνων που καθιστούν το κόστος του δικτύου το ελάχιστο δυνατό, ώστε να ικανοποιηθεί δηλ. όπως λέγεται, η *συνάρτηση στόχου*.

Θεωρητικά το ελάχιστο δυνατό κόστος ενός δικτύου, είναι το μηδενικό κόστος δηλαδή το μη δίκτυο (!). Κάτι τέτοιο όμως δεν εξυπηρετεί το σκοπό της ύδρευσης. Εδώ έρχονται να τεθούν οι προϋποθέσεις, οι *περιορισμοί* των υποψήφιων σωληνώσεων-λύσεων, ή *μεταβλητών απόφασης*, που να συντάσσονται με τη γεωμετρία του δικτύου, τις απαιτήσεις πίεσης, ταχύτητας κτλ και φυσικά με το φυσικό νόημα όλων των σχετικών μεγεθών.

Έτσι, με τον καθορισμό της συνάρτησης στόχου και των περιορισμών, θα βρεθούν οι κατάλληλες μεταβλητές απόφασης από ένα ευρύτερο σύνολο υποψήφιων λύσεων, που θα εφαρμοστούν στο δίκτυο και θα το βελτιστοποιήσουν οικονομοτεχνικά.

Ωστόσο η βελτιστοποίηση, δεν εξαντλείται στη μαθηματική διατύπωση. Πριν την εφαρμογή της θα πρέπει να εκλεγεί το *υλικό*, απόφαση που απαιτεί διερεύνηση και που διαφοροποιείται ανάλογα με τις ιδιαιτερότητες ενός δικτύου. Για παράδειγμα, η μέγιστη πίεση στο δίκτυο θα υποδείξει την κλάση ή τις κλάσεις των αγωγών που θα χρησιμοποιηθούν στις οποίες δεν απαντώνται όλα τα υλικά. Αντίστοιχα οι περιορισμοί των διαμέτρων μπορούν να υποδείξουν την τάξη διαμέτρου που

επίσης ενδέχεται να μην απαντάται σε όλα τα υλικά. Αν μετά από αυτά δεν προκύψει ένα μόνο υλικό σωλήνωσης που να ικανοποιεί το δίπτυχο κλάση-διάμετρος, θα πρέπει να γίνει διερεύνηση του οικονομικότερου από τα υποψήφια υλικά.

Στο ζήτημα αυτό έρχεται να απαντήσει ένα μέρος της παρούσας εργασίας που προηγείται της βελτιστοποίησης και τα συμπεράσματα μπορούν να ληφθούν υπόψιν γενικότερα για τα δίκτυα ύδρευσης, τα υπάρχοντα και μελλοντικά. Στο μέρος αυτό, αναλύθηκαν τα υλικά σωληνώσεων και συγκρίθηκαν ως προς τα τεχνικά τους χαρακτηριστικά και φυσικά ως προς το κόστος τους. Εξήχθησαν κάποια χρήσιμα συμπεράσματα, που οδήγησαν μετέπειτα στην εφαρμογή σε μία εύκολη εκλογή του φθηνότερου υλικού.

# 1

## Στοιχεία υδρευτικών έργων και αρχές Υδραυλικής

### 1.1 ΓΕΝΙΚΑ

Τα αστικά υδραυλικά έργα σχετίζονται με την αξιοποίηση των υδατικών πόρων για την εξυπηρέτηση αστικών περιοχών και διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

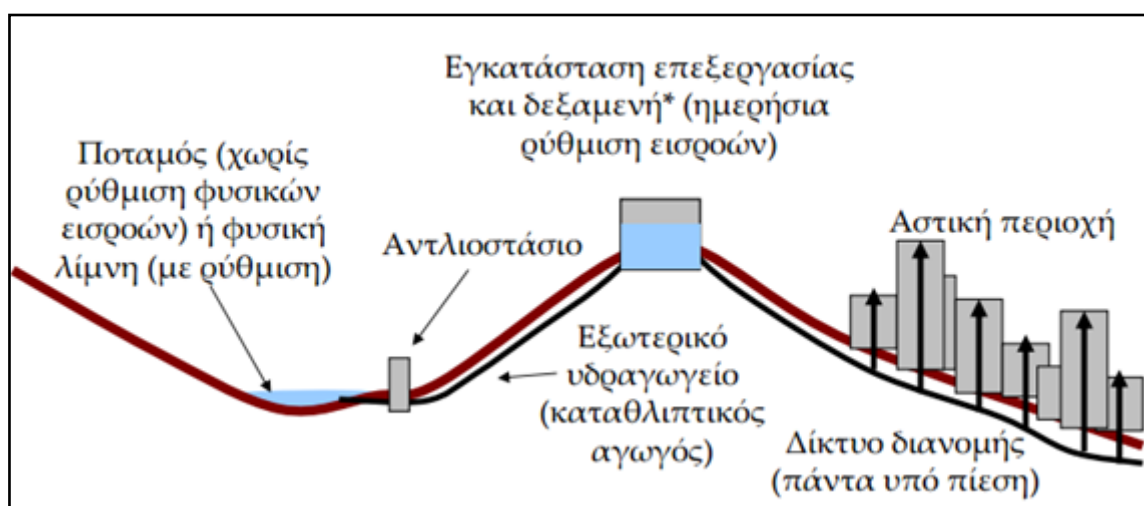
- Τα αποχετευτικά έργα (δίκτυα αποχέτευσης ακαθάρτων και ομβρίων υδάτων)
- Τα υδρευτικά έργα (δίκτυα μεταφοράς και διανομής νερού)

Τα υδρευτικά έργα εξυπηρετούν την υδροδότηση οικισμών και αστικών κέντρων και σκοπό έχουν την εξασφάλιση νερού στην επαρκή ποσότητα και κατάλληλη ποιότητα καθώς και την αξιόπιστη διανομή του σε έναν ή περισσότερους οικισμούς (Κουτσογιάννης και Ευστρατιάδης, 2007).

### 1.2 ΤΥΠΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΔΙΚΤΥΩΝ ΥΔΡΕΥΣΗΣ

Η γενική διάταξη ενός πλήρους δικτύου ύδρευσης περιλαμβάνει το εξωτερικό και το εσωτερικό υδραγωγείο, καθώς και τη δεξαμενή ρύθμισης που αποτελεί το κοινό τους σημείο.

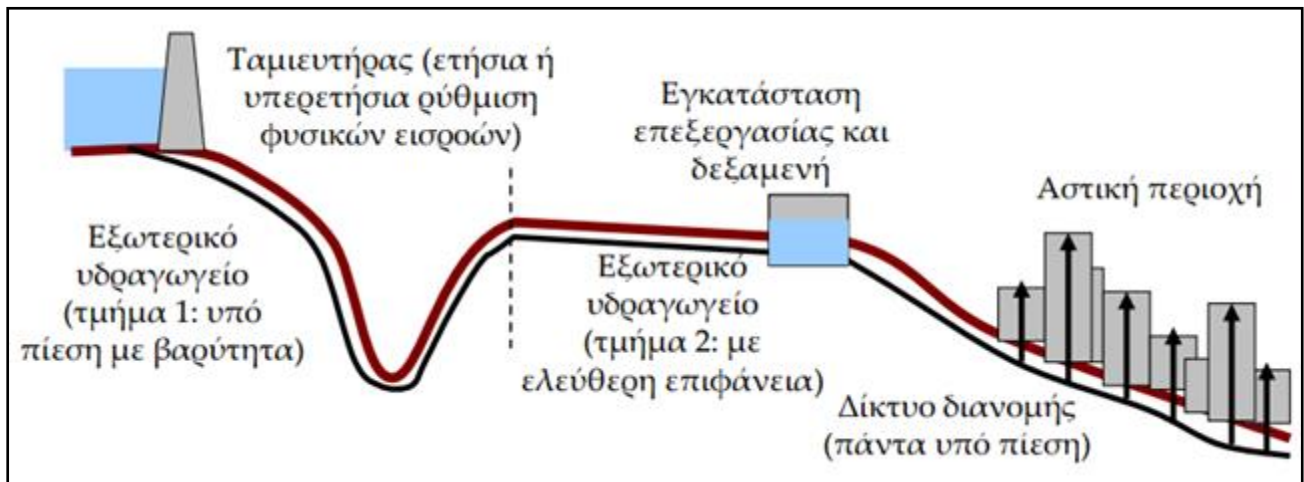
Μία συνήθης διάταξη (Σχ. 1.1 α) περιλαμβάνει την υδροληψία και άντληση από ποταμό ή λίμνη, ένα εξωτερικό υδραγωγείο (ανοιχτό αλλά συνηθέστερα κλειστό αγωγό) με κατάθλιψη και ένα εσωτερικό υδραγωγείο υπό πίεση.



Σχήμα 1.1 α Τυπική διάταξη συστήματος ύδρευσης

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

Άλλη συνήθης διάταξη (Σχ. 1.1 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 1.1 β** Τυπική διάταξη συστήματος ύδρευσης

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

### 1.2.1 Εξωτερικό Υδραγωγείο

Το εξωτερικό υδραγωγείο αναπτύσσεται έξω από την αστική περιοχή και στην πιο απλή του μορφή περιλαμβάνει (Τσακίρης, 2010):

- Την υδροληψία. Πρόκειται έργα σύλληψης και απόληψης νερού με βαρύτητα ή άντληση από την πηγή υδροληψίας ή οποία μπορεί να διαθέτει επιφανειακά, υπόγεια, όμβρια ή θαλάσσια/υφάλμυρα ύδατα.
- Το δίκτυο μεταφοράς. Πρόκειται για δίκτυο αγωγών μεταφοράς του νερού στις τοπικές δεξαμενές ή υδατόπυργους που τροφοδοτούν στη συνέχεια τα εσωτερικά υδραγωγεία.
- Τη δεξαμενή ρύθμισης, συνήθως 24ωρης, που είναι ταυτόχρονα το πέρας του εξωτερικού και η αρχή του εσωτερικού υδραγωγείου.

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 1.1** Τμήμα αγωγού μεταφοράς νερού  
*Πηγή: Ιστότοπος buildnet*

### 1.2.2 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.

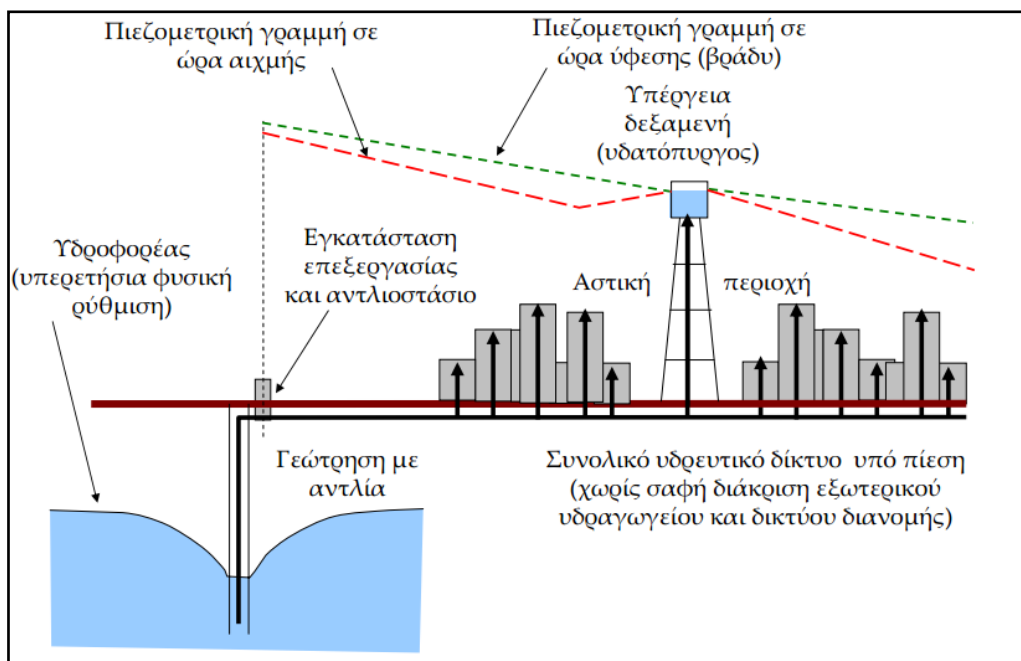
Ως συνέπεια της ρυθμιστικής λειτουργίας της δεξαμενής, η παροχή σχεδιασμού ( $\equiv$  μέγιστη παροχή) ανάντη είναι μικρότερη από την παροχή σχεδιασμού κατάντη. Μεγάλο υψόμετρο δεξαμενής, εφόσον η τροφοδοσία γίνεται με αντλιοστάσιο, απαιτεί μεγάλο μανομετρικό ύψος, άρα μεγαλύτερο κόστος άντλησης. Μικρό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



**Εικόνα 1.2** Υδατόπυργος στη Λεμεσό

Πηγή: Ιστότοπος *hellenica.de*

Παρουσία υδατόπυργου, μια μη τυπική διάταξη του υδρευτικού συστήματος (χωρίς σαφή διάκριση εξωτερικού και εσωτερικού υδραγωγείου) είναι η εξής:



**Σχήμα 1.2** Μη τυπική διάταξη συστήματος ύδρευσης

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



### 1.2.3 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 απ'ευθείας 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.

## 1.3 ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΔΙΕΥΚΡΙΝΙΣΕΙΣ ΚΑΤΑ ΤΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ

### 1.3.1 Η παροχή σχεδιασμού

Η ζήτηση νερού σε μια κατοικημένη περιοχή δεν είναι σταθερή, αλλά μεταβάλλεται ανάλογα με την εποχή, την ημέρα και την ώρα της ημέρας. Γι'αυτό το υδρευτικό σύστημα θα πρέπει να εγγυάται την κάλυψη της ζήτησης, αν όχι κάθε λεπτό, τουλάχιστον κάθε ένα χρονικό διάστημα μικρότερο της ώρας.

Όμως, διαστασιολόγηση του εξωτερικού υδραγωγείου με δεδομένη μέγιστη στιγμιαία ή και ωριαία παροχή, θα οδηγούσε σε πολύ υψηλό κατασκευαστικό κόστος. Γι'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 ( $Q_{HM}$ ) και αντίστοιχα το εσωτερικό υδραγωγείο την ωριαία αιχμή ( $Q_{OP}$ ) (Τσακίρης, 2010).

### 1.3.2 Περιορισμοί πίεσης

Στόχος του εσωτερικού υδραγωγείου είναι η διανομή πόσιμου νερού καλύπτοντας τη ζήτηση των καταναλωτών απρόσκοπτα. Για να επιτευχθεί ο στόχος αυτός, θα πρέπει κατά το σχεδιασμό να τίθενται ορισμένα όρια στην πίεση του δικτύου:

- 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.

- Συνήθως, για την Ελλάδα οι απαιτήσεις σε ύψος πίεσης των κτηρίων είναι (Τσακίρης, 2010):
  - ~ Μονώροφα, 12-15 m
  - ~ Διώροφα, 16-19 m
  - ~ Τριώροφα, 20-23 m

Στο εξωτερικό υδραγωγείο η πίεση μπορεί να φτάσει και ως τα 300-400 m, η ελάχιστη τιμή της όμως σε ακραίες περιπτώσεις μπορεί να πέσει κάτω από 0 m (ως και -7 m). Ουσιαστικά η μέγιστη πίεση εμφανίζεται όταν η ροή διακόπτεται, άρα θα πρέπει κατά το σχεδιασμό να ελεγχθεί η μέγιστη υψομετρική διαφορά στο δίκτυο ώστε να επιλεγθεί και η κατάλληλη κλάση (μέγιστη αντοχή σε πίεση) αγωγού, με τη μικρότερη επιτρεπόμενη στις 10 atm. Η πίεση ρυθμίζεται με ειδικές συσκευές ελέγχου και ασφαλείας (μειωτές, φρεάτια, αερεξαγωγοί κτλ).

### 1.3.3 Άλλοι περιορισμοί στους κλειστούς υπό πίεση αγωγούς βαρύτητας

Για την αποφυγή υπο- και υπερ-πιέσεων, τίθενται οι αντίστοιχοι περιορισμοί στην ταχύτητα ροής:

$$0.5 \leq V \leq 1.5 \text{ m/s}$$

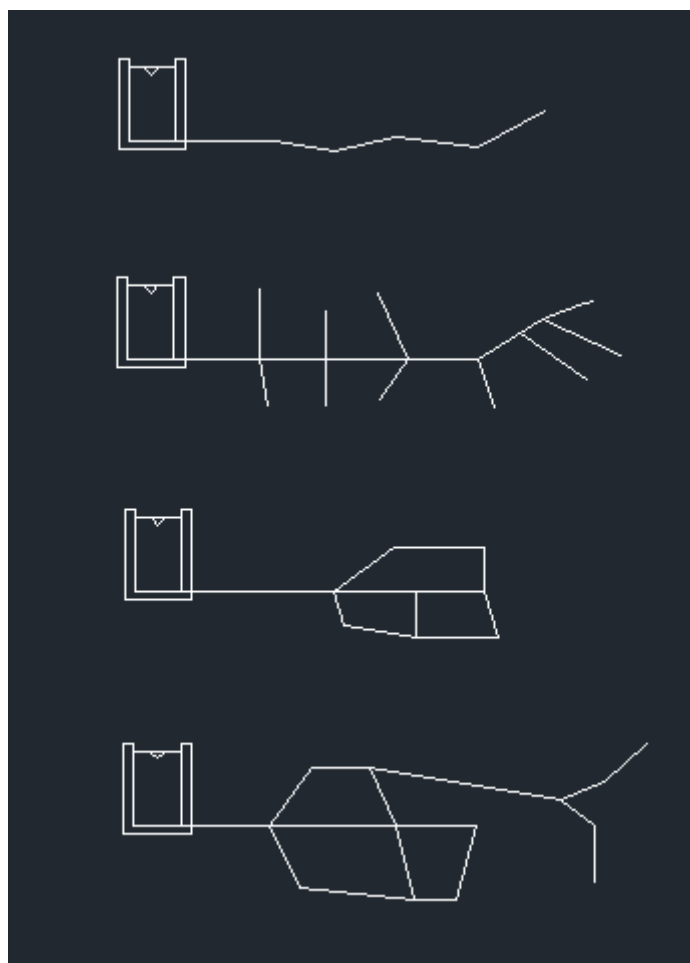
Η εμφάνιση υποπιέσεων στο δίκτυο (πιεζομετρική γραμμή κάτω από τον αγωγό), μπορεί να οδηγήσει σε προβλήματα σπηλαιώσης, όπου το νερό εξαερώνεται σε θερμοκρασίες λειτουργίας του δικτύου (18-23 °C). Η εμφάνιση υπερπιέσεων στο δίκτυο, μπορεί να οδηγήσει σε υδραυλικό πλήγμα στα τοιχώματα των αγωγών, τη στιγμή που ανοίγουν οι δικλείδες για να πραγματοποιηθεί η ροή ή όταν διακόπτεται απότομα η λειτουργία της αντλίας (για εξωτερικό υδραγωγείο). Σε ό,τι αφορά τη διάμετρο των αγωγών, η ελάχιστη ονομαστική επιτρεπόμενη είναι στα 90 mm (Φ90). Η ΕΥΔΑΠ πρακτικά εφαρμόζει σωληνώσεις από Φ100 και πάνω.

## 1.4 ΤΥΠΟΙ ΔΙΚΤΥΩΝ

Μια απλή διάταξη εξωτερικού υδραγωγείου (Σχ. 1.1) περιλαμβάνει συνήθως έναν αγωγό μεταφοράς από την υδροληψία στη δεξαμενή. Στη συνέχεια αναπτύσσεται το δίκτυο διανομής του νερού (εσωτερικό υδραγωγείο), το οποίο μπορεί να διακρίνεται (Σχ. 1.3) στους εξής σχηματισμούς (Τσακίρης, 2010):

1. *Σειριακό δίκτυο*: Υπάρχει ένας βασικός κλάδος, χωρίς άλλους κλάδους ή βρόχους. Χρησιμοποιούνται σπάνια και σε μικρούς οικισμούς. Δεν είναι πολύ αξιόπιστα, διότι μία αστοχία οδηγεί σε καθολική αστοχία του δικτύου. Επίσης στα σημεία με μικρές παροχές, το νερό δεν ανανεώνεται και εμφανίζονται προβλήματα ποιότητας.
2. *Ακτινωτό δίκτυο*: Είναι συνένωση σειριακών δικτύων. Εμφανίζουν τα ίδια μειονεκτήματα με αυτά, αλλά μικρότερης κλίμακας. Μία ενδεχόμενη αστοχία σε απομακρυσμένο κλάδο, έχει μικρότερο αντίκτυπο στους υπόλοιπους.
3. *Κλειστό δίκτυο*: Είναι σύνθεση βρόχων. Μειονέκτημά τους ο όγκος των υπολογισμών και το κόστος. Μία ενδεχόμενη αστοχία σε ένα κλάδο, δεν θα επηρεάσει το δίκτυο, εφόσον υπάρχει εναλλακτική διαδρομή για τη ροή του νερού. Επίσης η αλλαγή της του μέτρου και της φοράς της παροχής ανάλογα με τη ζήτηση, βελτιώνει τις συνθήκες πίεσης.

4. *Συνδυασμός των παραπάνω*: Πρακτικά πολλά δίκτυα είναι μεικτά και εμφανίζουν τα αντίστοιχα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.



**Σχήμα 1.3** (Από πάνω προς τα κάτω) Σειριακό, Ακτινωτό, Κλειστό και Μεικτό δίκτυο ύδρευσης  
*Σχέδιο στο Autocad 2012*

Σε μία λιγότερο συνηθισμένη διάταξη υδρευτικού συστήματος (Σχ. 1.2), όπου δεν υπάρχει σαφής διάκριση εξωτερικού και εσωτερικού υδραγωγείου, οι παραπάνω τύποι ανάπτυξης των κλάδων μπορούν να συναντηθούν και σε δίκτυα που απλά μεταφέρουν νερό, χωρίς διανομή.

## 1.5 ΑΡΧΕΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΣΤΟΥΣ ΚΛΕΙΣΤΟΥΣ ΥΠΟ ΠΙΕΣΗ ΑΓΩΓΟΥΣ

### 1.5.1 Η υπόθεση της μόνιμης και ομοιόμορφης ροής

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 (Μαντόγλου, 2009), αν και μπορεί να μεταβάλλεται με τη θέση. 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 (Τσακίρης, 2010):

1. *Εξίσωση συνέχειας*: Το άθροισμα των παροχών  $Q_1$  που εισρέουν σε ένα κόμβο διατομής  $A$  χωρίς αποθήκευση, ισούται με το άθροισμα των παροχών  $Q_2$  που εκρέουν:

$$\Sigma Q_1 = \Sigma Q_2 \quad [1.1]$$

$\Leftrightarrow$

$$\Sigma V_1 A_1 = \Sigma V_2 A_2 \quad [1.2]$$

2. *Αρχή διατήρησης της ενέργειας*: (Σχ. 1.4) 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):

$$H_1 = H_2 + \Sigma h_{f(1 \rightarrow 2)} \quad [1.3]$$

$\Leftrightarrow$

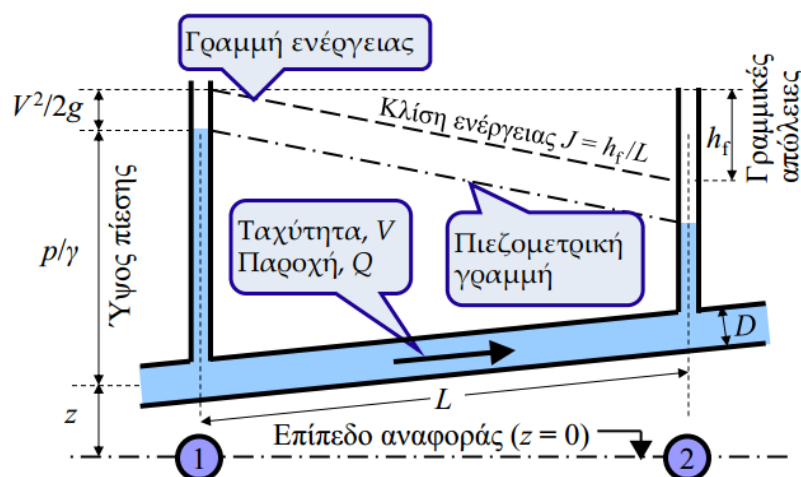
$$Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + \Sigma h_{f(1 \rightarrow 2)} \quad [1.4]$$

3. *Αρχή διατήρησης της ορμής*: Για ένα αγωγό με ομοιόμορφη μόνιμη ροή ισχύει:

$$\Sigma F_x = \rho * Q * (V^x_{\text{εκροής}} - V^x_{\text{εισροής}}) \quad [1.5]$$

$$\Sigma F_y = \rho * Q * (V^y_{\text{εκροής}} - V^y_{\text{εισροής}}) \quad [1.6]$$

Οι δυνάμεις  $F$  δρουν στην επιφάνεια του όγκου (βάρος, τριβές κτλ).



**Σχήμα 1.4** Αρχή διατήρησης ενέργειας στον αγωγό 1-2

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

### 1.5.2 Οι απώλειες ενέργειας στη μόνιμη ροή

Κατά τη ροή του νερού εμφανίζονται δυνάμεις τριβής μεταξύ αυτού και των εσωτερικών τοιχωμάτων του αγωγού. Γι'αυτό μέρος της ενέργειας που φέρει το νερό με τη ροή του από ένα ανάντη σημείο 1 προς ένα κατόντη σημείο 2, χάνεται κατά μήκος του αγωγού. Η απώλεια αυτή μετράται σε  $m$  και βάσει των Darcy-Weisbach είναι συνάρτηση του συντελεστή τριβής  $f$ , της διαμέτρου  $D$ , του μήκους  $L$  και της ταχύτητας  $V$  του αγωγού:

$$h_{f(1 \rightarrow 2)} = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \quad [1.7]$$

όπου  $g$  η επιτάχυνση της βαρύτητας ( $9.81 \text{ m/s}^2$ ).

Ισοδύναμα ισχύει:

$$h_{f(1 \rightarrow 2)} = \frac{8fLQ^2}{g\pi^2 D^5} \quad [1.8]$$

Εάν δε, το  $Q^2$  έρθει στο πρώτο μέλος, προκύπτει η ποσότητα  $R = \frac{h_{f(1 \rightarrow 2)}}{Q^2}$  που λέγεται αντίσταση του αγωγού και έχει μονάδες μέτρησης  $m/(m^3/s)^2$  (Τσακίρης, 2010). Τελικά είναι:

$$h_{f(1 \rightarrow 2)} = RQ^2 \quad [1.9]$$

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 -II- -II-.
- Αλλαγή κατεύθυνσης -II- -II-.
- Μη ευθύγραμμη τοποθέτηση -II- -II-.

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

### 1.5.3 Η διάμετρος των σωληνώσεων

Στα υδραυλικά έργα οι αγωγοί είναι συνήθως κυλινδρικοί. Έτσι η διάμετρος  $D$  (mm) είναι ένα μέγεθος χαρακτηριστικό του αγωγού, που επηρεάζει τη λειτουργία του και το κόστος του. Ένας αγωγός από κατασκευής του έχει ένα πάχος υλικού το οποίο διαχωρίζει το εσωτερικό του, στο οποίο ρέει το ρευστό, από το εξωτερικό περιβάλλον. Ως αποτέλεσμα, ο αγωγός ορίζεται από δύο διαμέτρους, την εσωτερική και την εξωτερική. Προφανώς, η εξωτερική διάμετρος περιλαμβάνει την εσωτερική συν το πάχος του αγωγού εις διπλούν. Επειδή η εσωτερική διάμετρος καθορίζει την περιοχή στην οποία ρέει το ρευστό, είναι εκείνη που χρησιμοποιείται πάντοτε στους υδραυλικούς

υπολογισμούς. Όπως θα ειπωθεί αναλυτικότερα παρακάτω, το πάχος σε έναν αγωγό για κατασκευαστικούς λόγους δεν είναι πάντοτε σταθερό, γι'αυτό οι διάμετροι του εμπορίου (ονομαστικές διαμέτροι) δεν ταυτίζονται πάντοτε με τις εσωτερικές.

#### 1.5.4 Τα 3 βασικά προβλήματα Υδραυλικής κλειστών αγωγών

Στα υδραυλικά έργα τα προβλήματα που προκύπτουν, θεωρώντας ως παροχή σχεδιασμού εκείνη της δυσμενέστερης περίπτωσης, συνοψίζονται στις παρακάτω κατηγορίες (Τσακίρης, 2010):

Το 1<sup>ο</sup> βασικό πρόβλημα: Προσδιορισμός της πιεζομετρικής γραμμής με γνωστή τη γεωμετρία, το υλικό και την παροχή σχεδιασμού του αγωγού

Έστω ένα δίκτυο βαρύτητας όπου το ύψος της πιεζομετρικής γραμμής (Π.Γ.) ξεκινά από τη δεξαμενή (Α.Κ.Σ ή Κ.Σ.Λ). Σε οποιοδήποτε κατάντη σημείο του δικτύου, το ύψος της Π.Γ. μπορεί να βρεθεί αν από το αρχικό της ύψος αφαιρεθούν οι αντίστοιχες απώλειες φορτίου. Θεωρείται  $\frac{v^2}{g} \approx 0$ , άρα πρακτικά η Π.Γ ταυτίζεται με τη γραμμή ενέργειας (Γ.Ε). Προσδιορίζονται κατά σειρά τα εξής υδραυλικά μεγέθη:

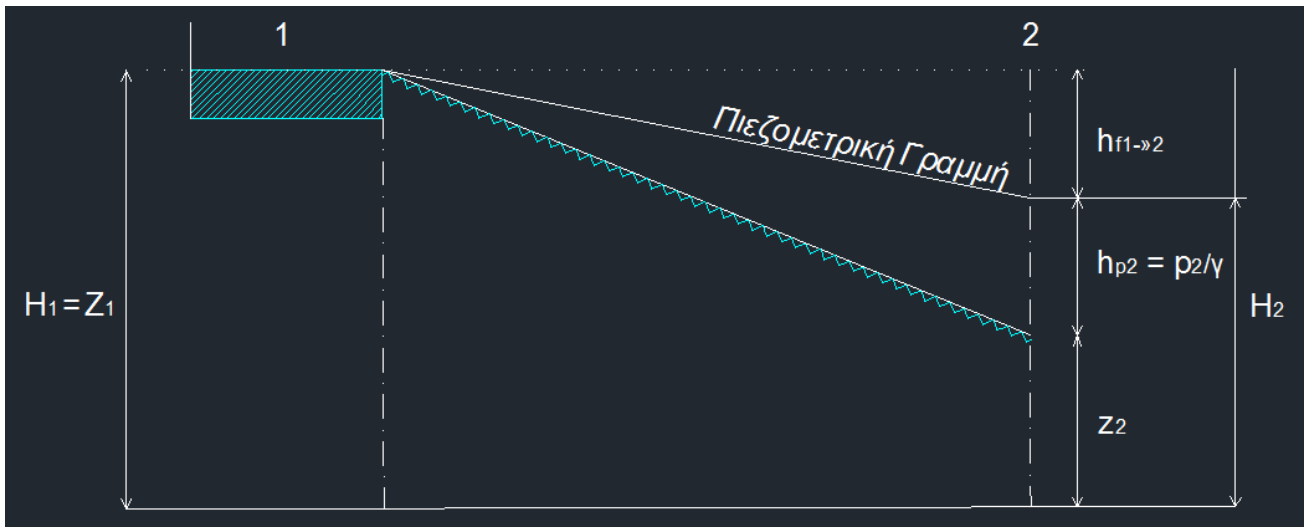
$$1. \text{ Ταχύτητα ροής: } V = \frac{4Q}{\pi D^2} \quad [1.10]$$

$$2. \text{ Συντελεστής τριβής: } f = \log \frac{0.25}{[\log \left( \frac{5.74}{Re^{0.9}} + \frac{k/D}{3.7} \right)]^2} \quad (\text{Swamee \& Jain, 1976}) \quad [1.11]$$

$$3. \text{ Αντίσταση αγωγού: } R = \frac{8fL}{g\pi^2 D^5} \quad [1.12]$$

$$4. \text{ Απώλειες φορτίου: } h_{f(1 \rightarrow 2)} = RQ^2 \quad [1.9]$$

$$5. \text{ Ύψος Π.Γ. (ή ύψος ενέργειας) στο κατάντη σημείο του αγωγού: } H_2 = H_1 - h_{f(1 \rightarrow 2)} \quad [1.13]$$



**Σχήμα 1.5** Προσδιορισμός του ύψους της Π.Γ. στον κόμβο 2  
*Σχέδιο στο Autocad 2012*

Αφού βρέθηκε το ύψος ενέργειας  $H$  στον κόμβο, αφαιρώντας το υψόμετρο εδάφους  $Z$ , μπορεί τώρα να υπολογιστεί το πιεζομετρικό φορτίο (ή ύψος πίεσης) του κόμβου 2:

$$h_{p2} = H_2 - Z_2 \quad [1.14]$$

Το 2<sup>ο</sup> βασικό πρόβλημα: Προσδιορισμός της παροχής σχεδιασμού με γνωστή την Π.Γ., τη γεωμετρία και το υλικό του αγωγού

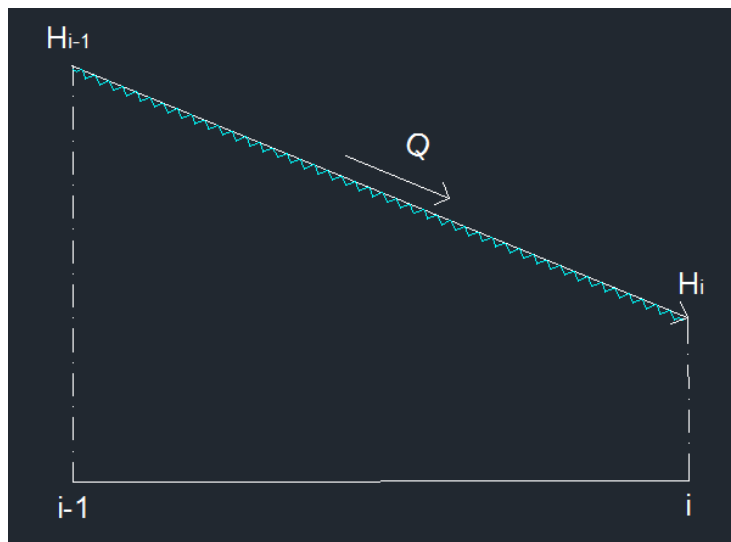
Έστω αγωγός με ανάντη και κατάντη κόμβο  $i-1$  και  $i$  αντίστοιχα (Σχ. 1.6). Υπολογίζονται:

1. Ταχύτητα ροής (προτεινόμενη ρητή εξίσωση για τυρβώδη ροή, με γνωστές τις γραμμικές και

αμελητέες τις τοπικές απώλειες): 
$$V = -2 \sqrt{\frac{2gh_{(i-1) \rightarrow i} D}{L}} \log\left(\frac{k}{3.7D} + \frac{2.51\nu}{D} + \sqrt{\frac{L}{2gh_{(i-1) \rightarrow i} D}}\right) \quad [1.15]$$

2. Εμβαδόν κυκλικής διατομής: 
$$A = \frac{\pi D^2}{4} \quad [1.16]$$

3. Παροχή σχεδιασμού: 
$$Q = VA \quad [1.17]$$



**Σχήμα 1.6** Το 2<sup>ο</sup> βασικό πρόβλημα υδραυλικής κλειστών αγωγών  
Σχέδιο στο Autocad 2012

Το 3<sup>ο</sup> βασικό πρόβλημα: Προσδιορισμός της διαμέτρου με γνωστή την Π.Γ., την παροχή σχεδιασμού και το υλικό του αγωγού

- 1<sup>ος</sup> τρόπος: επαναληπτική διαδικασία

Προσδιορίζονται:

1. Μέγιστο επιτρεπόμενο ύψος απωλειών φορτίου από την εξίσωση ενέργειας.

2. Διάμετρος:  $D = \sqrt[5]{\frac{8 \cdot f \cdot L \cdot Q^2}{g \cdot \pi^2 \cdot h_{f(1 \rightarrow 2)}}}$ , από την εξίσωση Darcy-Weisbach. [1.18]

3. Ταχύτητα και αριθμός Reynolds:  $V = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D^2}$  και  $Re = \frac{V \cdot D}{\nu}$  [1.10] & [1.19]

4. Συντελεστής τριβής:  $f = \log \frac{0.25}{[\log (\frac{5.74}{Re^{0.9}} + \frac{k/D}{3.7})]^2}$  (Swamee και Jain, 1976) [1.20]

Αν αυτός συμπέσει με την αρχική θεώρηση η διαδικασία σταματά. Αν όχι, με τη νέα τιμή του  $f$  επαναπροσδιορίζεται η παροχή  $Q$  με την εξίσωση Darcy-Weisbach (δηλ. επιστροφή στο βήμα 2) και επανάληψη της διαδικασίας μέχρις ότου να υπάρξει σύγκλιση.

- 2<sup>ος</sup> τρόπος: απ'ευθείας εξίσωση Swamee και Jain

$$D = 0.66 [k^{1.25} (\frac{LQ^2}{gh_{f(1 \rightarrow 2)}})^{4.75} + \nu Q^{9.4} (\frac{L}{gh_{f(1 \rightarrow 2)}})^{5.2}]^{0.04} \quad [1.21]$$

ή με σφάλμα  $\approx 3\%$ ,

$$D = 0.66 [(214.75 \frac{\nu L Q}{gh_{f(1 \rightarrow 2)}})^{6.25} + k^{1.25} (\frac{LQ^2}{gh_{f(1 \rightarrow 2)}})^{4.75} + \nu Q^{9.4} (\frac{L}{gh_{f(1 \rightarrow 2)}})^{5.2}]^{0.04} \quad [1.22]$$



- 3<sup>ος</sup> τρόπος: τυποποίηση εμπορίου

Στο εμπόριο, οι διάμετροι σωληνώσεων που διατίθενται έχουν ένα εύρος διακριτών τιμών από το οποίο θα πρέπει να γίνει η τελική επιλογή. Αυτό σημαίνει ότι η θεωρητική εύρεση του D είτε με τον 1<sup>ο</sup> είτε με τον 2<sup>ο</sup> τρόπο, προδιαθέτει μεν για την τάξη μεγέθους, όμως δεν μπορεί να εφαρμοστεί στην πράξη, εκτός κι αν συμπίπτει με κάποια τυποποιημένη τιμή. Θα πρέπει λοιπόν κάθε φορά να επιλέγεται η αμέσως μεγαλύτερη τιμή του D ή μία από τις αμέσως επόμενες από τη γκάμα του εμπορίου.

Το εύρος των δυνατών διαμέτρων καθορίζεται από τους περιορισμούς της ταχύτητας. Στη συνέχεια ελέγχεται κατά πόσο αυτές ικανοποιούν το επιθυμητό ύψος Π.Γ, μέσα από τη διαδικασία που αναφέρθηκε προηγουμένως (1<sup>η</sup> κατηγορία βασικών προβλημάτων Υδραυλικής).

Αναλυτική εφαρμογή της διαδικασίας αυτής θα υπάρξει και στο 4<sup>ο</sup> κεφάλαιο.



# 2

## Υλικά σωληνώσεων στα υδρευτικά δίκτυα

### 2.1 ΣΚΟΠΟΣ

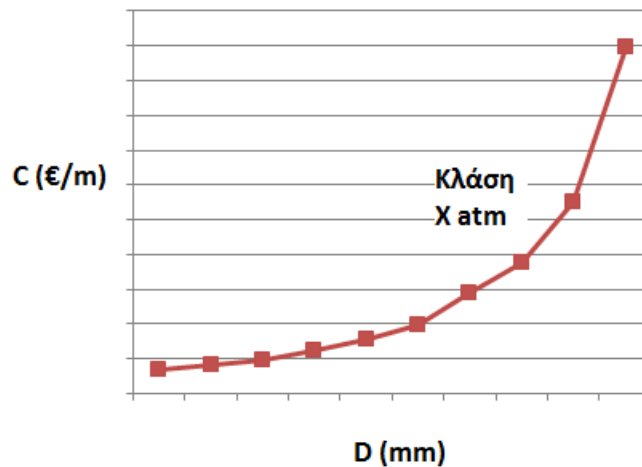
Σκοπός του παρόντος κεφαλαίου είναι η σύγκριση των υλικών σωληνώσεων ύδρευσης από πλευράς οικονομικότητας. Γι'αυτό απαραίτητη ήταν η παρουσία ενός συγκεντρωτικού πίνακα με τα κόστη ανά κατηγορία υλικού. Τα δεδομένα αυτά αντλήθηκαν από το τιμολόγιο της ΕΥΔΑΠ για το 2013 όπως αυτό έχει διαμορφωθεί από το Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής (ΥΠΕΚΑ) και αφορούν έργα 3 κατηγοριών προϋπολογισμού:

- ~ 1<sup>η</sup> κατηγορία, έργα < 1.5 εκ. €
- ~ 2<sup>η</sup> -II- , -II- 1.5-5.0 εκ. €
- ~ 3<sup>η</sup> -II- , -II- > 5.0 εκ. €

Προφανώς όσο μεγαλύτερη είναι η κλίμακα του έργου, τόσο μαζικότερη είναι η παραγωγή σωληνώσεων, καθιστώντας μικρότερο το κόστος ανά μονάδα προϊόντος. Να σημειωθεί ότι στην Ελλάδα η πλειοψηφία των έργων ύδρευσης υπάγεται στην 3<sup>η</sup> κατηγορία.

Στην αγορά τα υλικά σωλήνων ύδρευσης κυκλοφορούν σε μία ποικιλία κλάσεων και διαμέτρων. Άλλα υλικά είναι πλαστικά (PVC, HDPE), άλλα μεταλλικά (Χυτοσίδηρος, Χάλυβας) και τα τελευταία χρόνια έχει εισέλθει δυναμικά στην ελληνική αγορά το GRP.

Όσο μεγαλώνει η διάμετρος μεγαλώνει και το κόστος αγοράς του σωλήνα. Ταυτόχρονα όμως με την αύξηση της διαμέτρου μικραίνουν οι ενεργειακές απώλειες, κάτι το οποίο μικραίνει το κόστος για να διατηρηθεί η πιεζομετρική γραμμή στα προδιαγεγραμμένα επίπεδα. Η εξέλιξη του κόστους με την αύξηση της διαμέτρου μπορεί να φανεί σε μία οπτικοποίηση με τη μορφή καμπυλών σε άξονα ΧΥ. Η αναπαράσταση της σχέσης αυτής είναι αυτή της παρακάτω ποιοτικής μορφής:



**Σχήμα 2.1** Η μορφή των καμπυλών κόστους-διαμέτρου

Η συγκεντρωτική παράθεση και τακτοποίηση του τιμολογίου σε ό,τι αφορά τις σωληνώσεις δικτύων ύδρευσης, αποδείχθηκε χρήσιμη και στη μετέπειτα εφαρμογή της βελτιστοποίησης του κεφ. 4.

## 2.2 Η ΕΚΛΟΓΗ ΤΟΥ ΥΛΙΚΟΥ ΣΩΛΗΝΩΣΕΩΝ ΣΕ ΕΝΑ ΔΙΚΤΥΟ ΥΔΡΕΥΣΗΣ. ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΣΥΓΚΡΙΣΗ.

### 2.2.1 Η επιλογή του υλικού

Ένα υδρευτικό σύστημα κατασκευάζεται για να εξυπηρετήσει τις ανάγκες ενός πληθυσμού σε νερό, στην απαιτούμενη ποσότητα και ποιότητα. Αναπόσπαστο κομμάτι του συστήματος είναι το δίκτυο των αγωγών μεταφοράς και διανομής του νερού. Άρα επόμενο είναι το υλικό τους να σχετίζεται άμεσα με την ποιότητα του νερού, τις υδραυλικές συνθήκες του δικτύου (πιεζομετρικά φορτία, απώλειες ενέργειας κτλ) και φυσικά το κόστος κατασκευής.

Γι'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, 2012):

- Η επιτρεπόμενη γκάμα κλάσεων αντοχής
- Η -II- -II- διαμέτρων
- Το κόστος κατασκευής
- Ο χρόνος -II-
- 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

Στα σύγχρονα δίκτυα ύδρευσης τα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι τα εξής:

- Πλαστικά: πολυαιθυλένιο (HDPE) και μη πλαστικοποιημένο πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC)
- Μέταλλα: χυτοσίδηρος (Ductile Iron) και Χάλυβας (Steel)
- Υαλοπλισμένο πολυμερές (GRP)

Ακόμα κι αν για τις υδραυλικές απαιτήσεις ενός δικτύου, προκύψουν όλα τα υλικά κατάλληλα, τότε το κριτήριο επιλογής δεν μπορεί παρά να είναι η οικονομικότητά τους.

Στο παρελθόν εχρησιμοποιούντο εκτεταμένα αμιαντοσιμεντοσωλήνες, όμως η χρήση τους έχει περιοριστεί πλέον σήμερα στις αποχετεύσεις, καθώς έχουν εκφραστεί φόβοι για τη δημόσια υγεία. Συγκεκριμένα, η διαβρωτική ικανότητα του νερού, ιδιαίτερα αν αυτό είναι υψηλής σκληρότητας, μπορεί να φθείρει το εσωτερικό του σωλήνα και να απελευθερώσει στο πόσιμο νερό ψευδάργυρο, νικέλιο, μόλυβδο και μαγγάνιο, ουσίες καρκινογόνου δράσης με εισπνοή και κατάποση, σύμφωνα με το Διεθνές Κέντρο για την Έρευνα του Καρκίνου του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας.

Να σημειωθεί 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.

### **2.2.2 Σύνοψη πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων των υλικών**

Όπως προελέχθη, η επιλογή του υλικού στηρίζεται σε διάφορες παραμέτρους, οπότε δεν υπάρχει σε κάθε περίπτωση μία αμφιμονοσήμαντη λύση στο πρόβλημα. Η τελική απόφαση αφορά το Μηχανικό και είναι ένας συνδυασμός τεχνικών και τοπικών/ανθρωπογενών κριτηρίων. Ωστόσο, μια συγκεντρωτική παράθεση των κυριότερων πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων των υλικών σωληνώσεων, θα ήταν χρήσιμη υπόδειξη για κάθε ενδιαφερόμενο (Πίν. 2.1). Με έντονη γραμματοσειρά αναγράφονται τα δημοφιλέστερα υλικά που χρησιμοποιούνται σήμερα.

**Πίνακας 2.1** Τα κυριότερα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των υλικών σωλήνων ύδρευσης  
 Πηγή: *Pipe technologies for urban water conveyance distribution systems, Tsakiris G. & Tsakiris V., 2012*

ΥΛΙΚΟ ΣΩΛΗΝΑ	ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ	ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ
<p>AC Αμιαντοτσιμέντο (Asbestos Cement)</p>	<p>✓ Δυσκολία σε παραμόρφωση                      ✓ Αντίσταση σε διάβρωση στα περισσότερα εδάφη και στο νερό                      ✓ Εύχρηστα εξαρτήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για εκτροπές</p>	<p>✗ 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>
<p>CI Χυτοσίδηρος (Cast Iron)</p>	<p>✓ Δυσκολία σε παραμόρφωση                      ✓ Υψηλή μηχανική αντοχή                      ✓ Καλή αντίσταση σε διάβρωση                      ✓ Άμεση ανίχνευση της διαρροής</p>	<p>✗ Πολύ μεγάλο βάρος                      ✗ Δυνατό αλλά εύθραστο</p>
<p>DI Ελατός Χυτοσίδηρος (Ductile Iron)</p>	<p>✓ Υψηλή μηχανική αντοχή                      ✓ Καλή αντίσταση σε διάβρωση                      ✓ Ευκολία συνδέσεων                      ✓ Ευκολία τοποθέτησης                      ✓ Άμεση ανίχνευση της διαρροής</p>	<p>✗ 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>

(συνέχεια πίνακα)

<b>Χάλυβας (Steel)</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>✓ Υψηλή μηχανική αντοχή και αντίσταση στα χτυπήματα</li><li>✓ Δυνατότητα εκτροπής χωρίς σπάσιμο του σωλήνα</li><li>✓ Μικρότερο βάρος από των D.I σωλήνων</li><li>✓ Ευκολία κατασκευής μεγάλων σωλήνων</li><li>✓ Δυνατότητα συγκόλλησης ειδικών τεμαχίων</li><li>✓ Μεγάλη ποικιλία σε αντοχές</li><li>✓ Ευκολία τροποποιήσεων στο πεδίο</li><li>✓ Ευκολία επισκευής</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>✗ Ευαίσθητο στη διάβρωση (για την παλιά γενιά σωλήνων χωρίς εξωτερική επίστρωση από πολυαιθυλένιο)</li><li>✗ Απαιτείται διπλή επίστρωση</li></ul>
<b>GRP Υαλοπλισμένο Πολυμερές (Glass Reinforced Plastic)</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>✓ Μικρό βάρος</li><li>✓ Αντίσταση σε διάβρωση</li><li>✓ Ευκολία συνδέσεων</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>✗ Μικρή μηχανική αντοχή</li><li>✗ Δυσκολία τοποθέτησης</li><li>✗ Δυσκολία στην ανίχνευση της διαρροής</li></ul>
<b>PVC Πολυβινυλοχλωρίδιο (Polyvinyl Chloride)</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>✓ Μικρό βάρος</li><li>✓ Ελαστικότητα</li><li>✓ Αντίσταση σε διάβρωση</li><li>✓ Ευκολία συνδέσεων</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>✗ Καταστρέφεται εύκολα</li><li>✗ Υποβάθμιση των εκτεθειμένων σωλήνων λόγω υπεριώδους ακτινοβολίας</li><li>✗ Δυσκολία τοποθέτησης</li><li>✗ Δυσκολία στην ανίχνευση της διαρροής</li><li>✗ Ακατάλληλοι για μεγάλες διαμέτρους (<math>\geq 300</math> mm)</li></ul>
<b>HDPE/MDPE Πολυαιθυλένιο (Polyethylene)</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>✓ Μικρό βάρος</li><li>✓ Ελαστικότητα</li><li>✓ Αντίσταση σε διάβρωση</li><li>✓ Ευκολία στη συγκόλληση των συνδέσεων</li><li>✓ Μικρών διαμέτρων σωλήνες που επισκευάζονται εύκολα</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>✗ Δυσκολία τοποθέτησης</li><li>✗ Δυσκολία στην ανίχνευση της διαρροής</li><li>✗ Η σύνδεση απαιτεί εξειδικευμένους εγκαταστάτες και ειδικό εξοπλισμό</li><li>✗ Ακατάλληλοι για μεγάλες διαμέτρους</li></ul>

## 2.3 ΟΙ ΠΛΑΣΤΙΚΟΙ ΑΓΩΓΟΙ ΣΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΥΔΡΕΥΣΗΣ

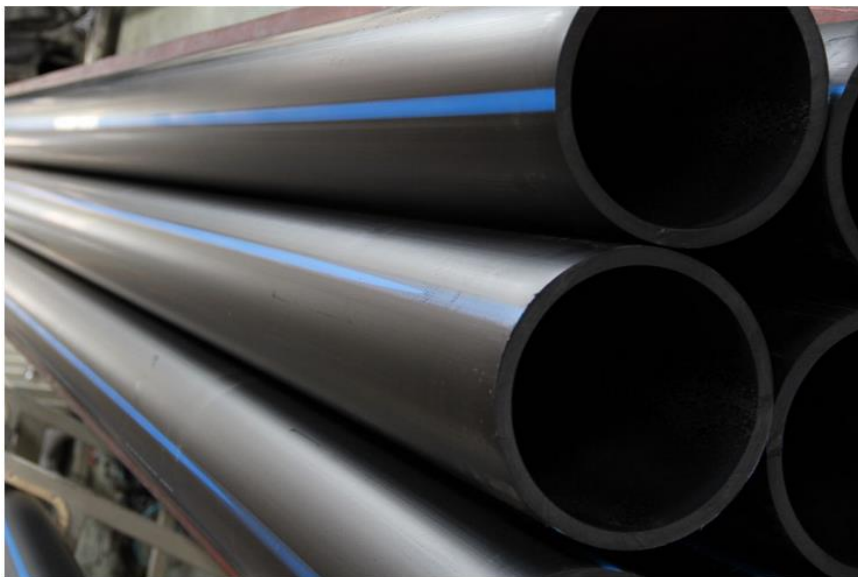
Η ευκαμψία των πλαστικών αγωγών, το μικρό τους βάρος, η δυνατότητα εύκολης σύνδεσης και η χαμηλή τους τιμή σε σχέση με τους αντίστοιχους μεταλλικούς, τους καθιστούν προτιμητέους για δίκτυα μικρών διαμέτρων σε οικισμούς λίγων κατοίκων με μικρές σχετικά απώλειες φορτίων. Οι πλαστικοί σωλήνες που χρησιμοποιούνται σήμερα μπορεί συνηθέστερα να είναι από HDPE ή από PVC. Στους πλαστικούς αγωγούς η ονομαστική διάμετρος ταυτίζεται με την εξωτερική.

### 2.3.1 Σωλήνες από Πολυαιθυλένιο (HDPE)

Το πολυαιθυλένιο (PE) είναι το απλούστερο πολυμερές και παράγεται από τον πολυμερισμό του αιθυλενίου. Οι ιδιότητές του εξαρτώνται από τη μέθοδο πολυμερισμού, γι' αυτό υπάρχουν 3 είδη PE. Οι σωλήνες πολυαιθυλενίου χρησιμοποιούνται κυρίως στην άρδευση και τη μεταφορά νερού υπό πίεση. Οι κατηγορίες πολυαιθυλενίου που χρησιμοποιούνται είναι (Δαηηλάτος, 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

Επειδή τόσο το κεφάλαιο όσο και η εργασία πραγματεύονται δίκτυα μεταφοράς νερού υπό πίεση, βαρύτητα δίνεται στο πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας HDPE.



**Εικόνα 2.1** Σωλήνες HDPE

Πηγή: Ιστότοπος [greek.polyethylenewaterpip.gr](http://greek.polyethylenewaterpip.gr)



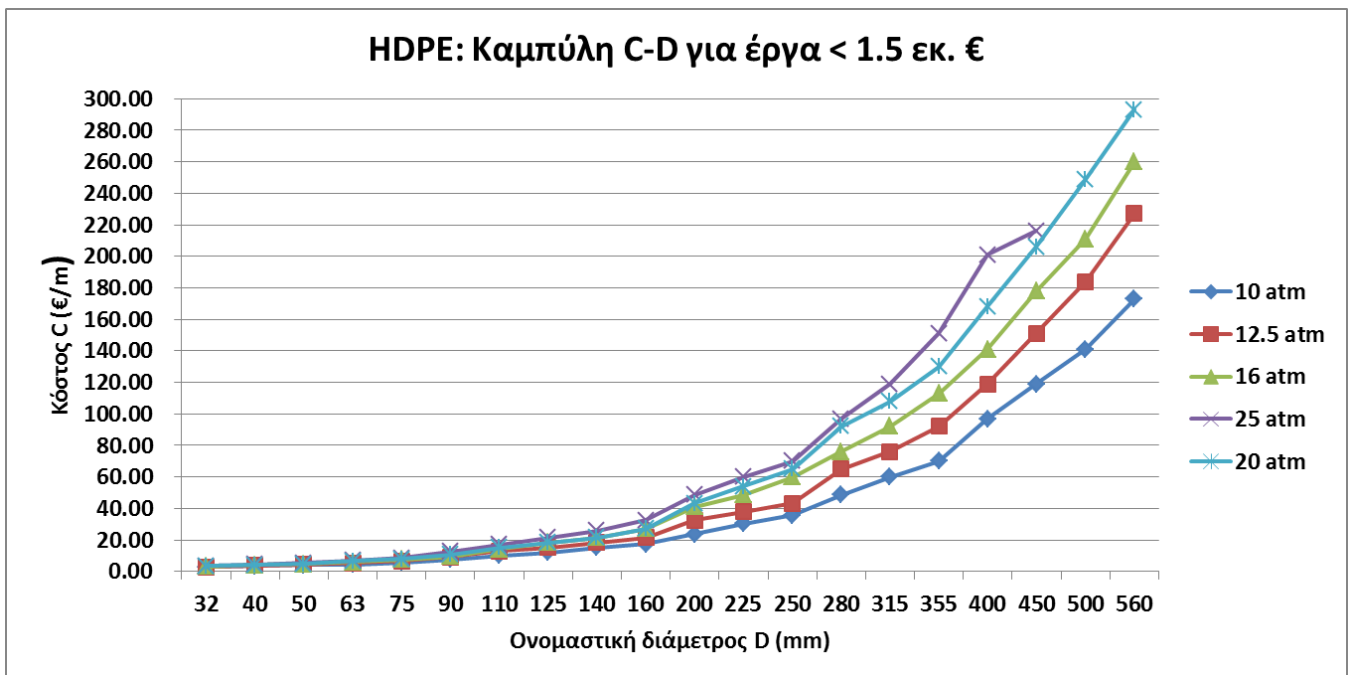
Από τα δεδομένα λοιπόν του τιμολογίου της ΕΥΔΑΠ για το 2014, οι αγωγοί από HDPE και για τις 3 κατηγορίες έργων, διατίθενται σε:

- ~ Εύρος ονομαστικών (εξωτερικών) διαμέτρων 32-560 mm
- ~ Κλάσεις 10, 12.5, 16, 20 και 25 atm

Κατασκευάστηκαν λοιπόν οι καμπύλες C-D που συσχετίζουν το κόστος με τη διάμετρο ανά κλάση. Πηγή όλων των δεδομένων ήταν το τιμολόγιο Υδραυλικών Έργων του ΥΠΕΚΑ για το 2013.

**Πίνακας 2.2** Πολυαιθυλένιο: Κόστος ανά μέτρο μήκους, 1<sup>η</sup> κατηγορία

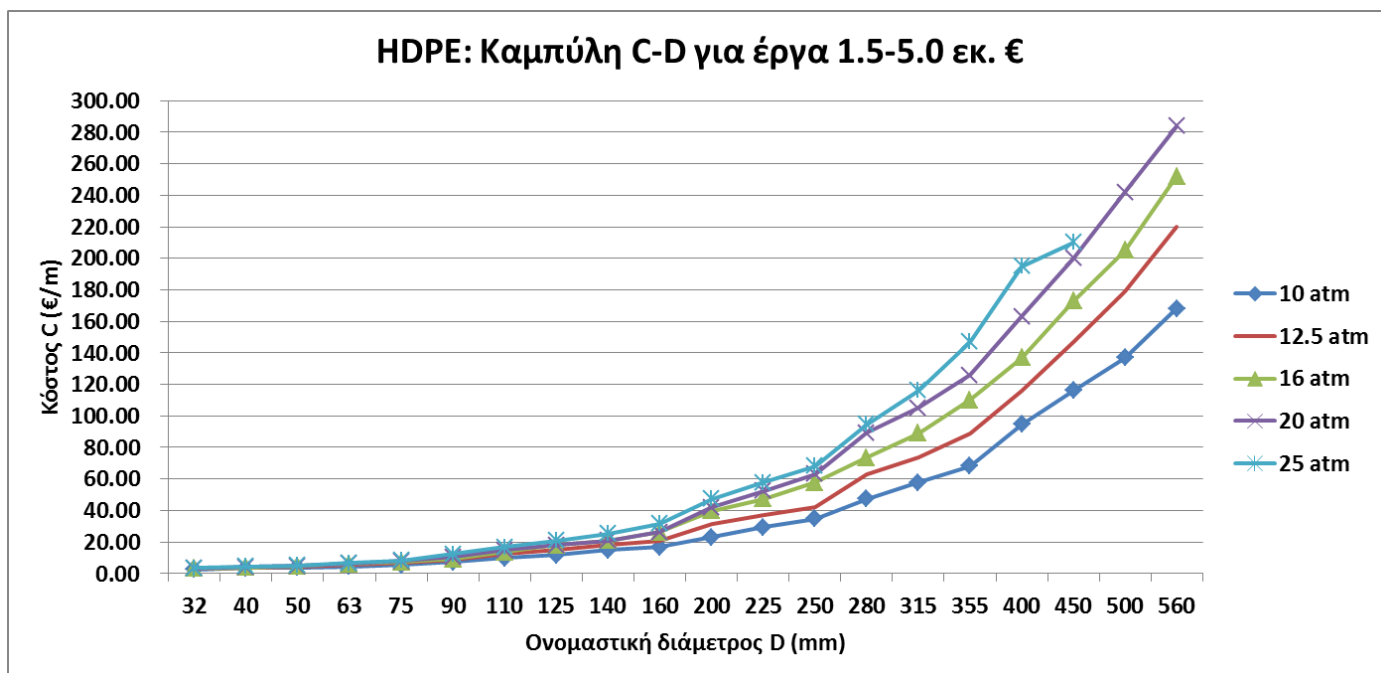
<b>1<sup>Η</sup> ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΕΡΓΩΝ: &lt; 1.5 εκ. €</b>					
<b>Ονομαστική Διάμετρος D (mm)</b>	<b>10 atm</b>	<b>12.5 atm</b>	<b>16 atm</b>	<b>20 atm</b>	<b>25 atm</b>
	<b>Κόστος (€/m)</b>				
32	2.80	3.00	3.30	3.40	3.60
40	3.50	3.70	4.00	4.10	4.50
50	4.00	4.30	4.80	4.90	5.30
63	4.60	5.50	6.10	6.50	7.00
75	5.60	6.70	7.60	8.00	8.50
90	7.60	9.10	9.60	10.80	12.60
110	10.10	13.00	14.10	15.10	17.10
125	11.90	15.10	18.40	18.40	21.60
140	15.10	18.40	21.60	21.60	26.00
160	17.30	21.60	27.10	27.10	32.40
200	23.80	32.40	41.10	43.30	48.70
225	30.30	37.90	48.70	54.10	60.00
250	35.70	43.30	60.00	65.00	70.00
280	48.70	65.00	76.00	92.00	97.00
315	60.00	76.00	92.00	108.00	119.00
355	70.00	92.00	113.00	130.00	151.00
400	97.00	119.00	141.00	168.00	201.00
450	119.00	151.00	178.00	206.00	216.00
500	141.00	184.00	211.00	249.00	-
560	173.00	227.00	260.00	293.00	-



Σχήμα 2.2 Πολυαιθυλένιο: Καμπύλη κόστους-διαμέτρου, 1<sup>η</sup> κατηγορία

Πίνακας 2.3 Πολυαιθυλένιο: Κόστος ανά μέτρο μήκους, 2<sup>η</sup> κατηγορία

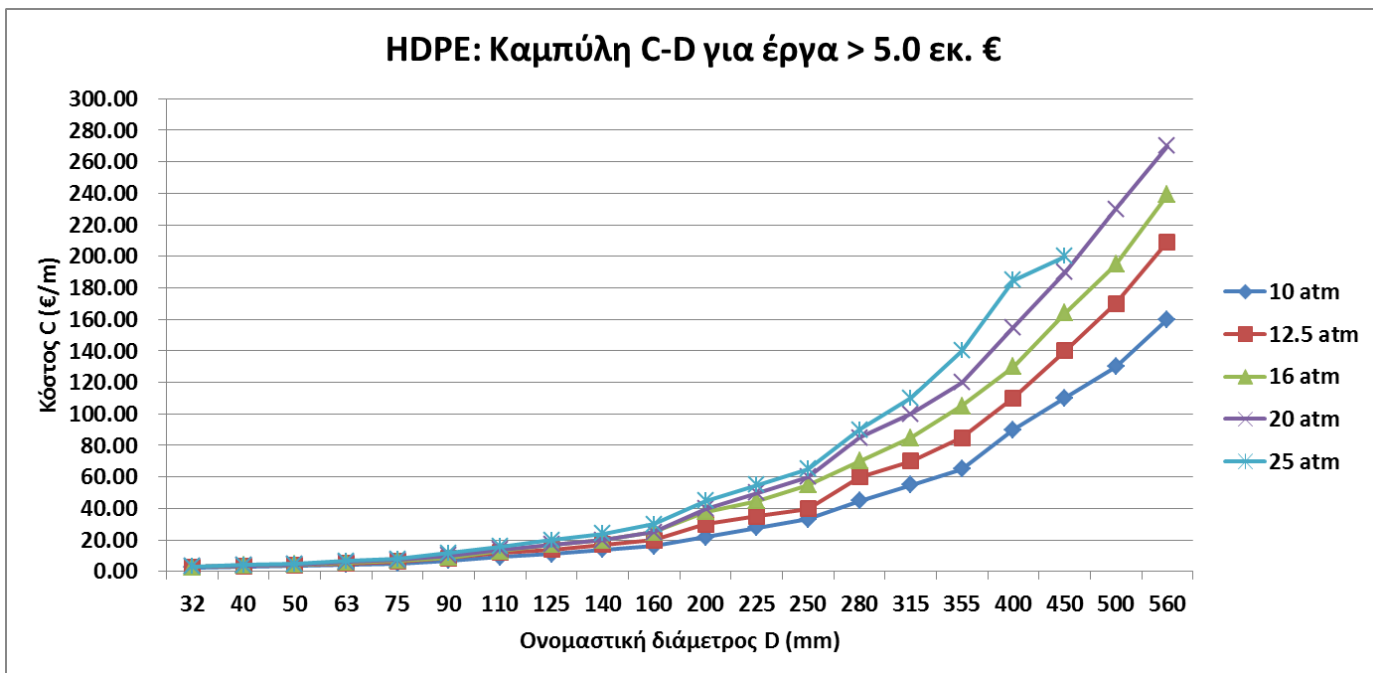
2 <sup>η</sup> ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΕΡΓΩΝ: 1.5 - 5.0 εκ. €					
Ονομαστική Διάμετρος D (mm)	10 atm	12.5 atm	16 atm	20 atm	25 atm
	Κόστος (€/m)				
32	2.70	2.90	3.20	3.30	3.50
40	3.40	3.60	3.90	4.00	4.40
50	3.90	4.20	4.70	4.80	5.10
63	4.50	5.30	5.90	6.30	6.80
75	5.40	6.50	7.40	7.80	8.30
90	7.40	8.80	9.30	10.50	12.20
110	9.80	12.60	13.70	14.70	16.60
125	11.60	14.70	17.90	17.90	21.00
140	14.70	17.90	21.00	21.00	25.20
160	16.80	21.00	26.30	26.30	31.50
200	23.10	31.50	39.90	42.00	47.30
225	29.40	36.80	47.30	52.50	57.80
250	34.70	42.00	57.80	63.00	68.30
280	47.30	63.00	73.50	89.30	94.50
315	57.80	73.50	89.00	105.00	116.00
355	68.30	89.00	110.00	126.00	147.00
400	94.50	116.00	137.00	163.00	195.00
450	116.00	147.00	173.00	200.00	210.00
500	137.00	179.00	205.00	242.00	-
560	168.00	220.00	252.00	284.00	-



Σχήμα 2.3 Πολυαιθυλένιο: Καμπύλη κόστους-διαμέτρου, 2<sup>η</sup> κατηγορία

Πίνακας 2.4 Πολυαιθυλένιο: Κόστος ανά μέτρο μήκους, 3<sup>η</sup> κατηγορία

3 <sup>η</sup> ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΕΡΓΩΝ: > 5.0 εκ. €					
Ονομαστική Διάμετρος D (mm)	10 atm	12.5 atm	16 atm	20 atm	25 atm
	Κόστος (€/m)				
32	2.60	2.80	3.00	3.10	3.30
40	3.20	3.40	3.70	3.80	4.20
50	3.70	4.00	4.50	4.60	4.80
63	4.30	5.00	5.60	6.00	6.50
75	5.10	6.20	7.00	7.40	7.90
90	7.00	8.40	8.80	10.00	11.60
110	9.30	12.00	13.00	14.00	15.80
125	11.00	14.00	17.00	17.00	20.00
140	14.00	17.00	20.00	20.00	23.90
160	16.00	20.00	25.00	25.00	29.90
200	21.90	29.90	37.90	39.90	44.90
225	27.90	35.00	44.90	49.90	55.00
250	33.00	39.90	55.00	60.00	65.00
280	44.90	60.00	70.00	85.00	90.00
315	55.00	70.00	85.00	100.00	110.00
355	65.00	85.00	105.00	120.00	140.00
400	90.00	110.00	130.00	155.00	185.00
450	110.00	140.00	164.00	190.00	200.00
500	130.00	170.00	195.00	230.00	-
560	160.00	209.00	239.00	270.00	-



**Σχήμα 2.4** Πολυαιθυλένιο: Καμπύλη κόστους-διαμέτρου, 3<sup>η</sup> κατηγορία

### 2.3.2 Σωλήνες από Πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC)

Ο πολυμερισμός του βινυλοχλωριδίου οδηγεί σε ένα πολυμερές που μοιάζει στη δομή με το πολυαιθυλένιο αλλά ανά 2 άτομα άνθρακα, 1 άτομο υδρογόνου έχει αντικατασταθεί με 1 άτομο χλωρίου. Τα 2/3 της ετήσιας παραγωγής PVC χρησιμοποιούνται στην κατασκευή πλαστικών σωλήνων. Το PVC και το PE έχουν τον ίδιο συντελεστή τραχύτητας (0.01 mm). Ομοίως κι εδώ κατασκευάστηκαν οι καμπύλες C-D που συσχετίζουν το κόστος με τη διάμετρο ανά κλάση.

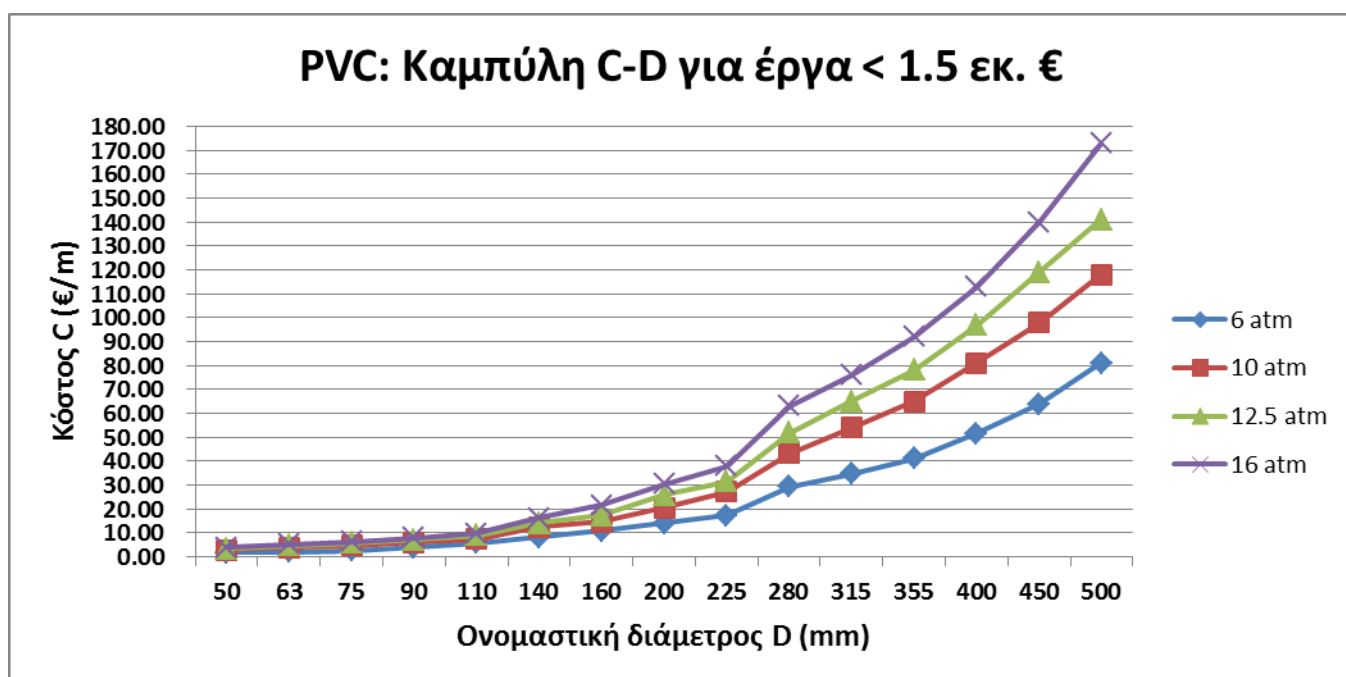


**Εικόνα 2.2** Σωλήνες PVC

Πηγή: Ιστότοπος [toptsis.gr](http://toptsis.gr)

Πίνακας 2.5 PVC: Κόστος ανά μέτρο μήκους, 1<sup>η</sup> κατηγορία

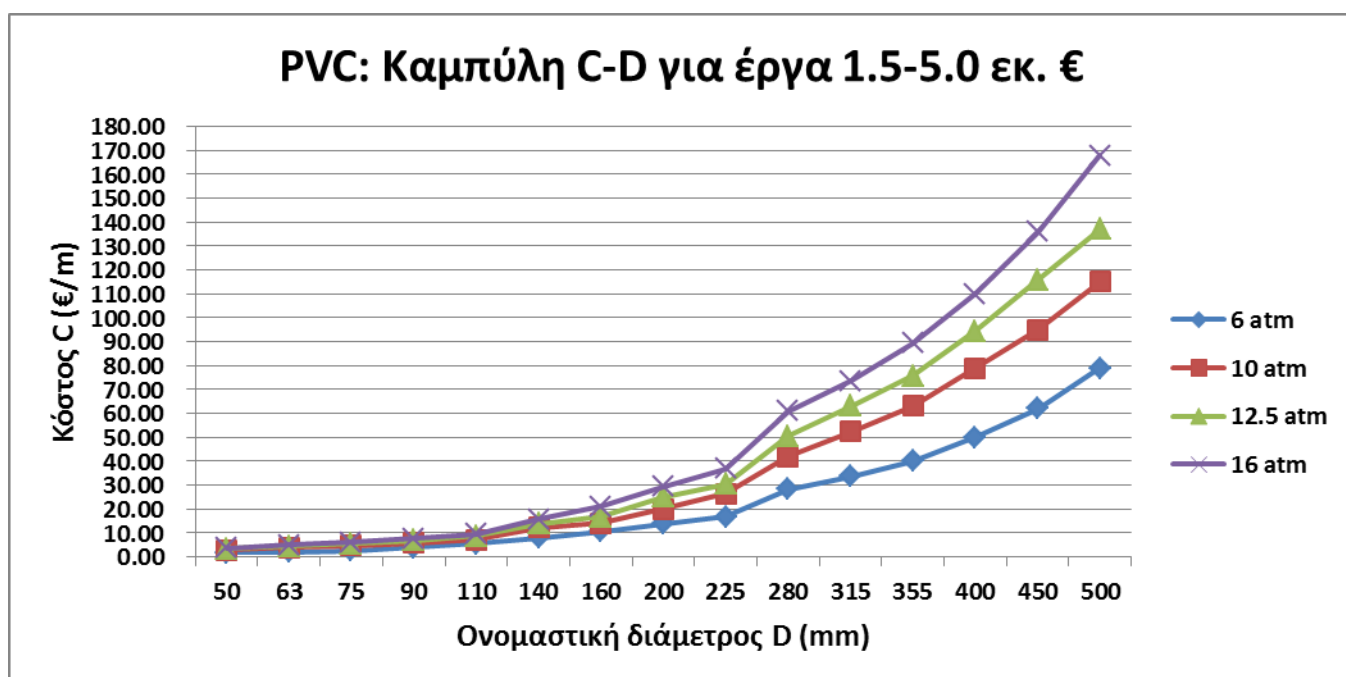
1 <sup>Η</sup> ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΕΡΓΩΝ: < 1.5 εκ. €				
Ονομαστική Διάμετρος D (mm)	6 atm	10 atm	12.5 atm	16 atm
	Κόστος (€/m)			
50	1.75	2.90	3.40	3.80
63	2.10	4.00	4.60	5.20
75	2.70	4.70	5.80	6.20
90	3.90	6.10	7.00	7.80
110	5.70	7.40	8.90	9.90
140	8.10	12.50	14.10	16.30
160	10.80	14.60	17.30	21.60
200	14.10	20.60	26.00	30.30
225	17.30	27.10	31.40	37.90
280	29.30	43.30	51.90	63.00
315	34.60	54.10	65.00	76.00
355	41.20	65.00	78.00	92.00
400	51.50	81.00	97.00	113.00
450	64.00	98.00	119.00	140.00
500	81.00	118.00	141.00	173.00



Σχήμα 2.5 Πολυαιθυλένιο: Καμπύλη κόστους-διαμέτρου, 3<sup>η</sup> κατηγορία

Πίνακας 2.6 PVC: Κόστος ανά μέτρο μήκους, 2<sup>η</sup> κατηγορία

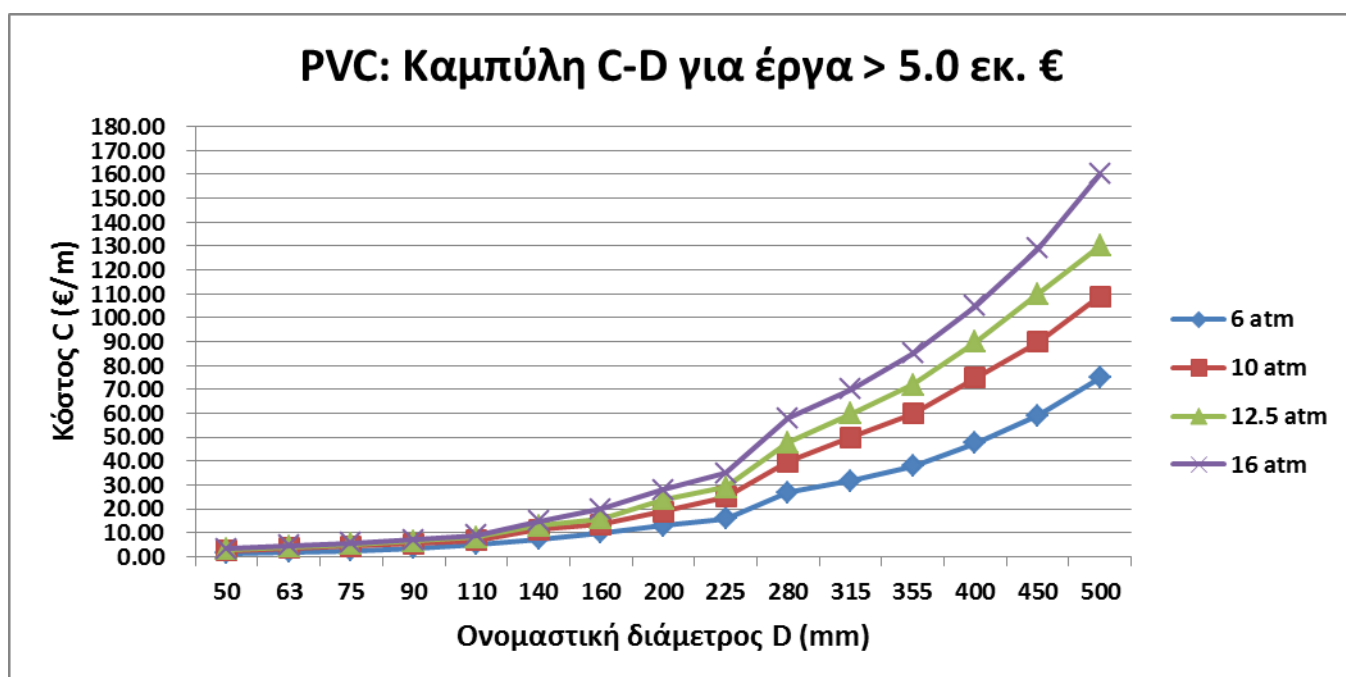
2 <sup>Η</sup> ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΕΡΓΩΝ: 1.5 - 5.0 εκ. €				
Ονομαστική Διάμετρος D (mm)	6 atm	10 atm	12.5 atm	16 atm
	Κόστος (€/m)			
50	1.70	2.80	3.30	3.70
63	2.00	3.90	4.50	5.00
75	2.60	4.60	5.60	6.00
90	3.80	5.90	6.80	7.60
110	5.50	7.20	8.60	9.60
140	7.90	12.10	13.70	15.80
160	10.50	14.20	16.80	21.00
200	13.70	20.00	25.20	29.40
225	16.80	26.30	30.50	36.80
280	28.40	42.00	50.40	60.90
315	33.60	52.50	63.00	73.50
355	40.00	63.00	75.60	89.30
400	50.00	78.80	94.50	110.00
450	62.00	95.00	116.00	136.00
500	79.00	115.00	137.00	168.00



Σχήμα 2.6 PVC: Καμπύλη κόστους-διαμέτρου, 2<sup>η</sup> κατηγορία

Πίνακας 2.7 PVC: Κόστος ανά μέτρο μήκους, 3<sup>η</sup> κατηγορία

3 <sup>η</sup> ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΕΡΓΩΝ: > 5.0 εκ. €				
Ονομαστική Διάμετρος D (mm)	6 atm	10 atm	12.5 atm	16 atm
	Κόστος (€/m)			
50	1.62	2.70	3.10	3.50
63	1.90	3.70	4.30	4.80
75	2.50	4.40	5.30	5.70
90	3.60	5.60	6.50	7.20
110	5.20	6.80	8.20	9.10
140	7.50	11.50	13.00	15.00
160	10.00	13.50	16.00	20.00
200	13.00	19.00	23.90	27.90
225	16.00	25.00	29.00	35.00
280	27.00	39.90	47.90	58.00
315	31.90	49.90	60.00	70.00
355	38.00	60.00	72.00	85.00
400	47.50	75.00	90.00	105.00
450	59.00	90.00	110.00	129.00
500	75.00	109.00	130.00	160.00



Σχήμα 2.7 PVC: Καμπύλη κόστους-διαμέτρου, 3<sup>η</sup> κατηγορία

### 2.3.3 Σύγκριση HDPE – PVC

Στο στάδιο αυτό, γίνεται μία σύγκριση των δύο πλαστικών υλικών. Όπως προελέχθη, οι 3 κατηγορίες έργων παρουσιάζουν διαφορές στο κόστος σωληνώσεων, οι διαφορές όμως μεταξύ PE και PVC σε κάθε κατηγορία είναι ίδιες τηρουμένων των αναλογιών. Δεδομένου μάλιστα ότι τα περισσότερα υδραυλικά έργα στην Ελλάδα υπάγονται στην 3<sup>η</sup> κατηγορία, θεωρήθηκε δόκιμο να γίνει σύγκριση στα πλαίσια αυτής και να γενικευθεί και για τις υπόλοιπες κατηγορίες. Αυτό τηρήθηκε και στα επόμενα υλικά (χυτοσίδηρος, χάλυβας, GRP). Πάντως και το γεγονός ότι τα 2 υλικά έχουν τον ίδιο συντελεστή τραχύτητας, ο οποίος επηρεάζει πάρα πολύ τις απώλειες του δικτύου, διευκολύνει τη σύγκριση. Παρατηρούνται επομένως 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) με τους σωλήνες PVC να μην μπορούν να εφαρμοστούν σε δίκτυα με στατική πίεση μεγαλύτερη από 16 atm, αλλά και αντίστοιχα οι σωλήνες HDPE δεν μπορούν να εφαρμοστούν σε δίκτυα από 10 atm και κάτω.

2. Το εύρος ονομαστικών (εξωτερικών) διαμέτρων στις οποίες παράγονται οι HDPE αγωγοί είναι 32-560 mm, ενώ για τους PVC είναι 50-500 mm. Δεδομένου ότι στα δίκτυα εφαρμόζονται διάμετροι Φ90 και πάνω και ειδικά για πλαστικά μέχρι Φ300, αυτόματα τα εύρη γίνονται 90-300 και 90-300 και στα δύο υλικά. Ωστόσο στο PE υπάρχουν μικρότερα βήματα στις διαμέτρους, όπως πχ η Φ125 και η Φ250, που δεν υπάρχουν στο GRP (ή τουλάχιστον δεν έχει προβλεφθεί από το Κρατικό Τιμολόγιο).

3. Από άποψη κόστους, για τις κοινές διαμέτρους και κλάσεις τα δεδομένα έχουν ως εξής (έργα 3<sup>ης</sup> κατηγορίας):

**Πίνακας 2.8** Σύγκριση του κόστους των αγωγών υπό πίεση από HDPE και PVC

Πηγή: Τιμολόγιο Υδραυλικών Έργων ΥΠΕΚΑ, 2013

Ονομαστική Διάμετρος D (mm)	Κόστος (€/m)											
	10 atm				12.5 atm				16 atm			
	HDPE	PVC	Διαφορά	% Αύξησης	HDPE	PVC	Διαφορά	% Αύξησης	HDPE	PVC	Διαφορά	% Αύξησης
90	7.0	5.6	1.4	25.0	8.4	6.5	1.9	29.2	8.8	7.2	1.6	22.2
110	9.3	6.8	2.5	36.8	12.0	8.2	3.8	46.3	13.0	9.1	3.9	42.9
140	14.0	11.5	2.5	21.7	17.0	13.0	4.0	30.8	20.0	15.0	5.0	33.3
160	16.0	13.5	2.5	18.5	20.0	16.0	4.0	25.0	25.0	20.0	5.0	25.0
200	21.9	19.0	2.9	15.3	29.9	23.9	6.0	25.1	37.9	27.9	10.0	35.8
225	27.9	25.0	2.9	11.6	35.0	29.0	6.0	20.7	44.9	35.0	9.9	28.3
280	44.9	39.9	5.0	12.5	60.0	47.9	12.1	25.3	70.0	58.0	12.0	20.7

Στον παραπάνω πίνακα η διαφορά για κάθε μέτρο μήκους ξεκινά από τα 1.4 € (Φ90 10 atm) και φτάνει μέχρι και τα 12.1 € (Φ280 12.5 atm).

Σε κάθε κλάση η 4<sup>η</sup> στήλη δείχνει σε τι ποσοστό του φθηνότερου PVC το HDPE είναι ομόλογα ακριβότερο, με τα κόκκινα γράμματα να δείχνουν σε ποια κλάση κάθε φορά υπάρχει η εντονότερη



αύξηση της τιμής για την ίδια διάμετρο. Για παράδειγμα για  $\Phi 200$  στις 16 atm το ποσοστό κατά το οποίο το HDPE είναι ακριβότερο του PVC (35.8 %) , είναι πολύ μεγαλύτερο από των άλλων μικρότερων κλάσεων.

➔ Γενικά όσο μεγαλώνει η κλάση, τόσο μεγαλώνει η διαφορά των δύο υλικών από πλευράς οικονομικότητας, με το PVC να επικρατεί εκ των πραγμάτων.

## 2.4 ΟΙ ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΙ ΑΓΩΓΟΙ ΣΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΥΔΡΕΥΣΗΣ

Παρά το χαμηλό τους κόστος, οι πλαστικοί αγωγοί δεν είναι κατάλληλοι για μεγάλες πιέσεις και διαμέτρους ( $\geq \Phi 300$ ) σε ένα δίκτυο, γι'αυτό σε τέτοιες περιπτώσεις εφαρμόζονται σωλήνες από χάλυβα ή χυτοσίδηρο (μεταλλικοί) ή τα τελευταία χρόνια από GRP.

### 2.4.1 Σωλήνες από Ελατό Χυτοσίδηρο (Ductile Iron)

Ο πρωτογενής χυτοσίδηρος παράγεται με αναγωγή σιδηρομεταλλευμάτων στην υψικάμινο και χύνεται με μορφή μικρών πλινθωμάτων. 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 2.3** Σωλήνες από ελατό χυτοσίδηρο δικτύου ύδρευσης  
Πηγή: Ιστότοπος [xinxingpipes.en.ecplaza.net](http://xinxingpipes.en.ecplaza.net)

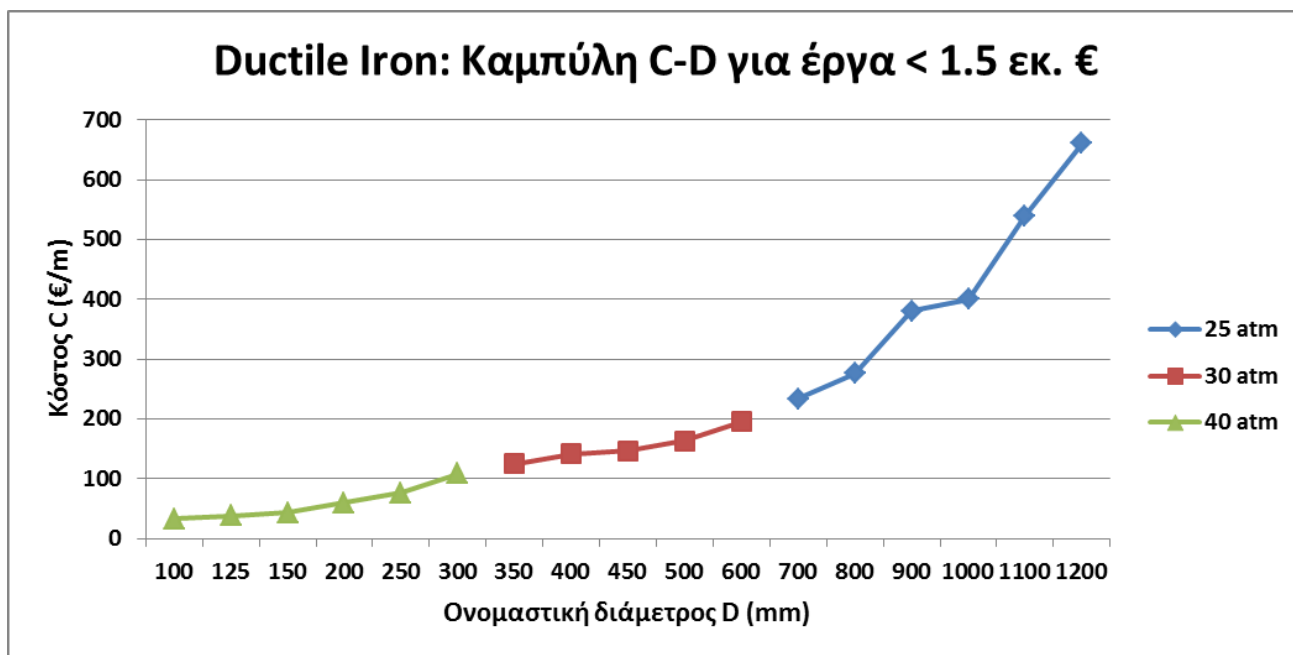
Από τα δεδομένα λοιπόν του τιμολογίου της ΕΥΔΑΠ για το 2014, οι αγωγοί από HDPE και για τις 3 κατηγορίες έργων, διατίθενται σε:

- ~ Εύρος ονομαστικών (εσωτερικών) διαμέτρων 100-1200 mm
- ~ Κλάσεις 25, 30 και 40 atm

Κατασκευάστηκαν λοιπόν οι καμπύλες C-D που συσχετίζουν το κόστος με τη διάμετρο ανά κλάση. Από 100 mm ως και 300 mm η διαθέσιμη κλάση είναι 40 atm, από 350 mm ως και 600 mm είναι 30 atm και από 700 mm ως και 1200 mm είναι 25 atm. Έτσι στη γραφική παράσταση κόστους-διαμέτρου, η καμπύλη δεν είναι ενιαία αλλά "σπάει" σε 2 σημεία.

**Πίνακας 2.9** Ductile Iron: Κόστος ανά μέτρο μήκους, 1<sup>η</sup> κατηγορία

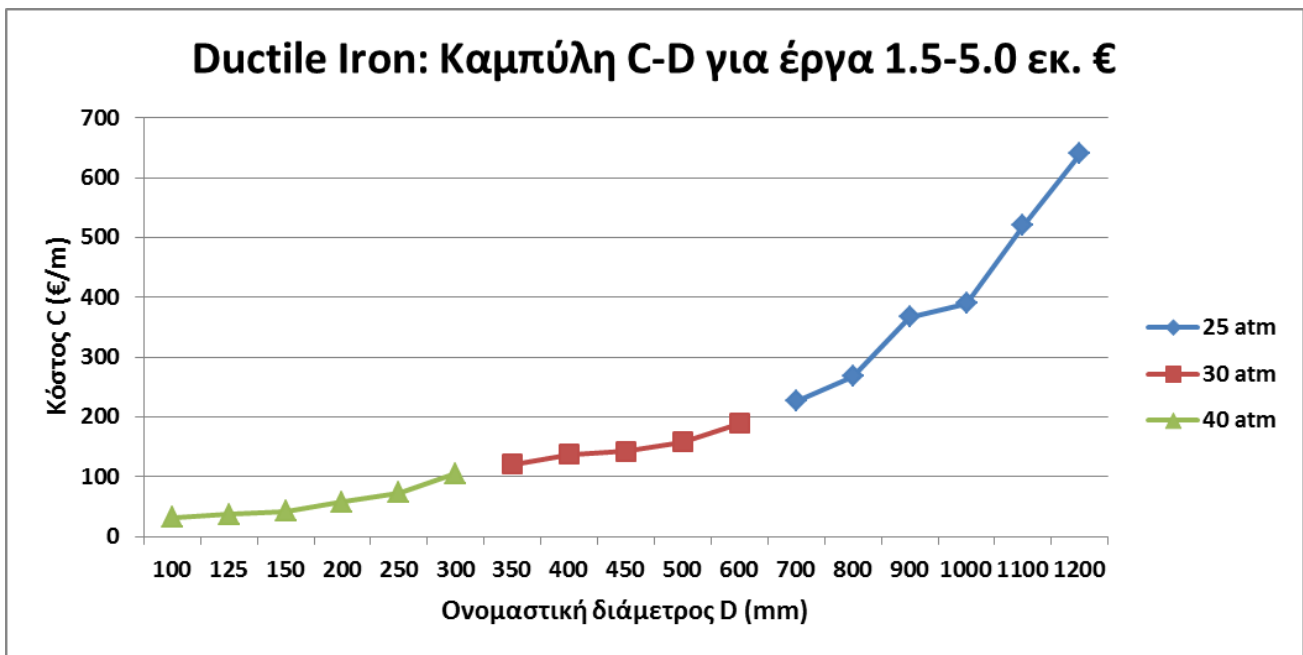
<b>1<sup>η</sup> ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΕΡΓΩΝ: &lt; 1.5 εκ. €</b>			
<b>Ονομαστική Διάμετρος D (mm)</b>	<b>25 atm</b>	<b>30 atm</b>	<b>40 atm</b>
	<b>Κόστος (€/m)</b>		
100			32.40
125			37.90
150			43.30
200			60.00
250			76.00
300			108.00
350		125.00	
400		141.00	
450		146.00	
500		163.00	
600		195.00	
700	233.00		
800	276.00		
900	380.00		
1000	400.00		
1100	540.00		
1200	660.00		



Σχήμα 2.8 Ductile Iron: Καμπύλη κόστους-διαμέτρου, 1<sup>η</sup> κατηγορία

Πίνακας 2.10 Ductile Iron: Κόστος ανά μέτρο μήκους, 2<sup>η</sup> κατηγορία

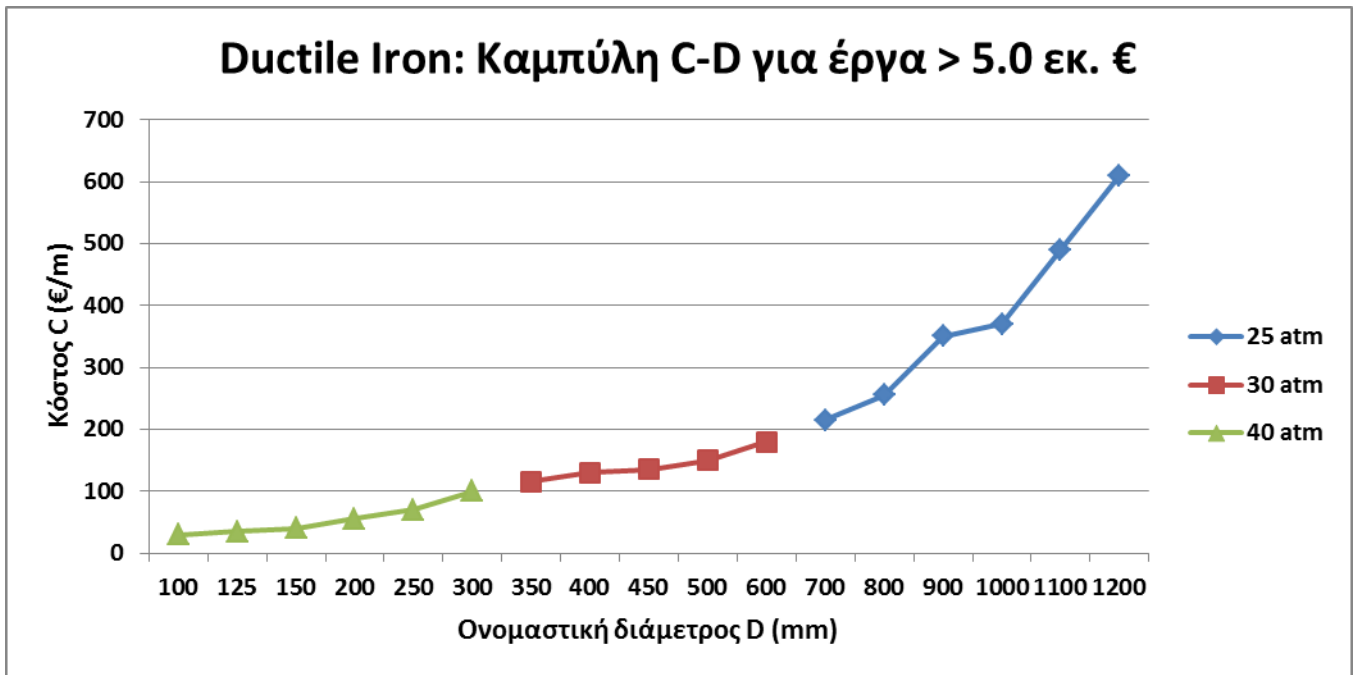
2 <sup>η</sup> ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΕΡΓΩΝ: 1.5 - 5.0 εκ. €			
Ονομαστική Διάμετρος D (mm)	25 atm	30 atm	40 atm
	Κόστος (€/m)		
100			31.50
125			36.80
150			42.00
200			57.80
250			73.50
300			105.00
350		121.00	
400		137.00	
450		142.00	
500		158.00	
600		189.00	
700	226.00		
800	268.00		
900	367.00		
1000	390.00		
1100	520.00		
1200	640.00		



Σχήμα 2.9 Ductile Iron: Καμπύλη κόστους-διαμέτρου, 2<sup>η</sup> κατηγορία

Πίνακας 2.11 Ductile Iron: Κόστος ανά μέτρο μήκους, 3<sup>η</sup> κατηγορία

<b>3<sup>η</sup> ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΕΡΓΩΝ: &gt; 5.0 εκ. €</b>			
Ονομαστική Διάμετρος D (mm)	25 atm	30 atm	40 atm
	Κόστος (€/m)		
100			29.90
125			35.00
150			39.90
200			55.00
250			70.00
300			100.00
350		115.00	
400		130.00	
450		135.00	
500		150.00	
600		180.00	
700	215.00		
800	255.00		
900	350.00		
1000	370.00		
1100	490.00		
1200	610.00		



**Σχήμα 2.10** Ductile Iron: Καμπύλη κόστους-διαμέτρου, 3<sup>η</sup> κατηγορία

#### 2.4.2 Σωλήνες ελικοειδούς ραφής από Χάλυβα

Ο χάλυβας (κοινώς ασάλι) 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.



**Εικόνα 2.4** Χαλυβωσολήνες νερού και φυσικού αερίου

Πηγή: Ιστότοπος [irisltd.net](http://irisltd.net)

Στο εμπόριο παράγονται χαλυβοσωλήνες με 3 είδη επίστρωσης:

~ Εσωτερική επένδυση με λιθανθρακόπισσα ασφαλικής βάσης και εξωτερική επένδυση με λιθανθρακόπισσα ασφαλικής βάσης και διπλή στρώση υαλόπανου.

~ Εσωτερική επένδυση με εποξειδική ρητίνη και εξωτερική επένδυση με λιθανθρακόπισσα ασφαλικής βάσης και φύλλο πολυαιθυλενίου.

~ Εσωτερική επένδυση με σκυρόδεμα εφαρμοζόμενο φυγοκεντρικά (τσιμεντοκονίαμα) και εξωτερική επένδυση με λιθανθρακόπισσα ασφαλικής βάσης και φύλλο πολυαιθυλενίου.

Η νέα παραγωγή χαλυβοσωλήνων 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 χαλυβοσωλήνων (Tsakiris, 2012).

Για την επίστρωση αυτή λοιπόν, το κόστος είναι:

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

Σύμφωνα με τον Βιομηχανικό Όμιλο Επεξεργασίας και Εμπορίας Χάλυβα (<http://www.profishol.gr/>) οι χαλυβοσωλήνες ελικοειδούς ραφής παράγονται σε (για το πρωτότυπο τυποποίησης βλ. Παράρτημα):

~ Εύρος ονομαστικών (εξωτερικών) διαμέτρων 323.8-1727.2 mm

~ 3 ποιότητες ελάσματος, ST37-2, ST44 και ST52

~ Πιέσεις δοκιμής και λειτουργίας διαφορετικές για κάθε τύπο ελάσματος και εφαρμοζόμενες ξεχωριστά σε κάθε δυνατή διάμετρο (ζεύγη D-p, βλ. Παράρτημα)

Το ΥΠΕΚΑ κοστολογεί τους χαλυβοσωλήνες ανά κιλό και όχι ανά μέτρο μήκους, όπως γίνεται στους υπόλοιπους αγωγούς. Για να υπάρχει ένα κοινό μέτρο σύγκρισης με τα άλλα είδη σωλήνων, προέκυψε η ανάγκη:

- Αναγωγής του κόστους ανά κιλό ( $C_{kg}$ ) της επίστρωσης ενδιαφέροντος, σε κόστος ανά μέτρο μήκους ( $C_m$ ) και για τις 3 κατηγορίες έργων, γνωρίζοντας από το πρωτότυπο τυποποίησης τη μάζα που αντιστοιχεί σε 1 m σωλήνωσης ( $W$ ). Είναι δηλαδή:  $C_m = C_{kg} * W$ .
- Υπαγωγής ενός μέρους των κρίσιμων πιέσεων δοκιμής σε 3 κατηγορίες των 25, 30 και 40 atm συγκεντρώνοντας σε αυτές τις ομάδες πιέσεις με  $\pm 2$  atm απόκλιση. Ο λόγος που γίνεται αυτό είναι για να υπάρξει μία δόκιμη σύγκριση κυρίως με τον ελατό χυτοσίδηρο, ο οποίος όπως προελέχθη, παράγεται μόνο στις κλάσεις 25, 30, 40 atm.

Τα αποτελέσματα της αναγωγής σε κόστος ανά μέτρο μήκους ήταν:

**Πίνακας 2.12** Κόστος ανά μέτρο μήκους για χαλυβωσλήνες ενισχυμένους εσωτερικά με πολυαιθυλένιο

Εξωτερική Διάμετρος (mm)	Πάχος (mm)	Εσωτερική (Ονομαστική) Διάμετρος (mm)	Εξωτερική μόνωση με λιθανθρακόπισσα και πολυαιθυλένιο και εσωτερική μόνωση με εποξειδική ρητίνη		
			ΕΡΓΑ < 1.5 εκ. € Κόστος	ΕΡΓΑ 1.5- 5.0 εκ. € Κόστος	ΕΡΓΑ > 5.0 εκ. € Κόστος
			2.01 €/kg	1.95 €/kg	1.85 €/kg
Κόστος C (€/m)					
323.8	4.0	315.8	63.41	61.52	58.36
	4.5	314.8	71.22	69.10	65.55
	4.8	314.2	75.90	73.64	69.86
	5.0	313.8	79.01	76.66	72.72
	5.2	313.4	82.12	79.67	75.59
	5.6	312.6	88.33	85.69	81.30
	6.0	311.8	94.52	91.70	87.00
	6.4	311.0	100.69	97.69	92.68
	7.0	309.8	109.93	106.64	101.18
	7.1	309.6	111.46	108.13	102.59
	7.9	308.0	123.71	120.01	113.86
	8.0	307.8	125.23	121.49	115.26
	8.2	307.4	128.28	124.45	118.07
	8.3	307.2	129.81	125.93	119.47
	9.0	305.8	140.44	136.25	129.26
	9.6	304.6	149.52	145.05	137.62
	10.3	303.2	160.06	155.28	147.32
11.1	301.6	172.05	166.92	158.36	
12.7	298.4	195.85	190.00	180.26	

## (συνέχεια πίνακα)

355.6	4.0	347.6	69.71	67.63	64.17
	4.5	346.6	78.32	75.98	72.08
	4.8	346.0	83.47	80.98	76.82
	5.0	345.6	86.90	84.30	79.98
	5.2	345.2	90.32	87.62	83.13
	5.6	344.4	97.16	94.26	89.42
	6.0	343.6	103.98	100.87	95.70
	6.4	342.8	110.78	107.48	101.96
	7.0	341.6	120.96	117.35	111.33
	7.1	341.4	122.65	118.99	112.89
	7.9	339.8	136.16	132.09	125.32
	8.0	339.6	137.84	133.73	126.87
	8.2	339.2	141.21	136.99	129.97
	9.0	337.6	154.63	150.01	142.32
	9.6	336.4	164.65	159.74	151.54
	10.3	335.0	176.30	171.04	162.27
11.1	333.4	189.55	183.89	174.46	
12.7	330.2	215.87	209.42	198.68	
406.4	4.5	397.4	89.65	86.97	82.51
	4.8	396.8	95.55	92.70	87.95
	5.0	396.4	99.49	96.52	91.57
	5.2	396.0	103.41	100.33	95.18
	5.6	395.2	111.26	107.94	102.40
	6.0	394.4	119.09	115.53	109.61
	6.4	393.6	126.90	123.11	116.80
	7.0	392.4	138.59	134.45	127.55
	7.1	392.2	140.53	136.34	129.34
	7.9	390.6	156.05	151.39	143.63
	8.0	390.4	157.99	153.27	145.41
	8.2	390	161.86	157.03	148.97
	9.0	388.4	177.29	172.00	163.18
	9.5	387.4	186.90	181.33	172.03
	10.0	386.4	196.49	190.63	180.85
	11.0	384.4	215.60	209.16	198.44
12.0	382.4	234.60	227.60	215.93	
12.7	381.0	247.85	240.45	228.12	



## (συνέχεια πίνακα)

457.2	4.5	448.2	100.98	97.97	92.94
	4.8	447.6	107.64	104.43	99.07
	5.0	447.2	112.08	108.73	103.16
	5.2	446.8	116.51	113.03	107.23
	5.6	446.0	125.36	121.62	115.38
	6.0	445.2	134.19	130.19	123.51
	6.4	444.4	143.01	138.75	131.63
	7.0	443.2	156.21	151.55	143.78
	7.1	443.0	158.41	153.68	145.80
	7.9	441.4	175.95	170.69	161.94
	8.0	441.2	178.13	172.82	163.95
	8.2	440.8	182.51	177.06	167.98
	9.0	439.2	199.95	193.99	184.04
	9.5	438.2	210.83	204.53	194.04
	10.0	437.2	221.68	215.06	204.03
	11.0	435.2	243.30	236.03	223.93
12.0	433.2	264.82	256.92	243.74	
12.7	431.8	279.83	271.47	257.55	
508.0	5.0	498.0	124.67	120.95	114.74
	5.2	497.6	129.60	125.73	119.29
	5.6	496.8	139.46	135.30	128.36
	6.0	496.0	149.30	144.85	137.42
	6.4	495.2	159.13	154.38	146.46
	7.0	494.0	173.84	168.65	160.00
	7.1	493.8	176.29	171.03	162.26
	7.9	492.2	195.84	189.99	180.25
	8.0	492.0	198.28	192.36	182.50
	8.2	491.6	203.15	197.09	186.98
	9.0	490.0	222.62	215.97	204.90
	9.5	489.0	234.75	227.74	216.06
	10.0	488.0	246.86	239.49	227.21
	11.0	486.0	271.00	262.91	249.43
12.0	484.0	295.04	286.23	271.55	
12.7	482.6	311.81	302.50	286.99	

(συνέχεια πίνακα)

558.8	5.0	548.8	137.26	133.16	126.33
	5.2	548.4	142.70	138.44	131.34
	5.6	547.6	153.56	148.98	141.34
	6.0	546.8	164.41	159.50	151.32
	6.4	546.0	175.25	170.02	161.30
	7.0	544.8	191.47	185.75	176.23
	7.1	544.6	194.17	188.37	178.71
	7.9	543.0	215.73	209.29	198.56
	8.0	542.8	218.42	211.90	201.04
	8.2	542.4	223.80	217.12	205.99
	9.0	540.8	245.28	237.96	225.76
	9.5	539.8	258.67	250.95	238.08
	10.0	538.8	272.04	263.92	250.38
	11.0	536.8	298.70	289.78	274.92
	12.0	534.8	325.26	315.55	299.36
12.7	533.4	343.79	333.53	316.42	
609.6	5.6	598.4	167.66	162.66	154.32
	6.0	597.6	179.52	174.16	165.23
	6.4	596.8	191.36	185.65	176.13
	7.0	595.6	209.09	202.85	192.45
	7.1	595.4	212.05	205.72	195.17
	7.9	593.8	235.63	228.59	216.87
	8.0	593.6	238.57	231.45	219.58
	8.2	593.2	244.45	237.15	224.99
	9.0	591.6	267.94	259.95	246.61
	9.5	590.6	282.59	274.16	260.10
	10.0	589.6	297.22	288.35	273.56
	11.0	587.6	326.40	316.65	300.41
	12.0	585.6	355.47	344.86	327.18
	12.7	584.2	375.77	364.55	345.86
	13.0	583.6	384.45	372.98	353.85
14.3	581.0	421.98	409.38	388.39	

## (συνέχεια πίνακα)

660.4	5.6	649.2	181.77	176.34	167.30
	6.0	648.4	194.63	188.82	179.14
	6.4	647.6	207.48	201.29	190.96
	7.0	646.4	226.72	219.95	208.67
	7.1	646.2	229.93	223.06	211.62
	7.9	644.6	255.52	247.89	235.18
	8.0	644.4	258.71	250.99	238.12
	8.2	644.0	265.10	257.19	244.00
	9.0	642.4	290.61	281.93	267.47
	9.5	641.4	306.52	297.37	282.12
	10.0	640.4	322.40	312.78	296.74
	10.7	639.0	344.60	334.31	317.17
	11.0	638.4	354.10	343.53	325.91
	12.0	636.4	385.69	374.18	354.99
	12.7	635.0	407.75	395.58	375.29
13.0	634.4	417.19	404.73	383.98	
14.3	631.8	457.99	444.31	421.53	
711.2	5.6	700.0	195.87	190.02	180.28
	6.0	699.2	209.74	203.48	193.04
	6.4	698.4	223.59	216.92	205.80
	7.0	697.2	244.35	237.05	224.90
	7.1	697.0	247.80	240.41	228.08
	7.9	695.4	275.41	267.19	253.49
	8.0	695.2	278.86	270.53	256.66
	8.2	694.8	285.75	277.22	263.00
	9.0	693.2	313.27	303.92	288.33
	9.5	692.2	330.44	320.57	304.13
	10.0	691.2	347.58	337.21	319.91
	10.7	689.8	371.54	360.45	341.97
	11.0	689.2	381.80	370.40	351.40
	12.0	687.2	415.91	403.49	382.80
	12.7	685.8	439.73	426.60	404.73
13.0	685.2	449.92	436.49	414.11	
14.3	682.6	493.99	479.25	454.67	
762.0	6.4	749.2	239.71	232.56	220.63
	7.1	747.8	265.68	257.75	244.53
	7.9	746.2	295.31	286.49	271.80
	8.0	746.0	299.00	290.08	275.20
	9.0	744.0	335.93	325.91	309.19
	9.5	743.0	354.36	343.78	326.15
	10.0	742.0	372.76	361.64	343.09
	12.0	738.0	446.13	432.81	410.61
	12.7	736.6	471.71	457.63	434.16
	13.0	736.0	482.66	468.25	444.24
14.3	733.4	530.00	514.18	487.81	

## (συνέχεια πίνακα)

812.8	6.4	800.0	255.83	248.19	235.46
	7.0	798.8	279.60	271.26	257.35
	7.1	798.6	283.56	275.10	260.99
	7.9	797.0	315.20	305.79	290.11
	8.0	796.8	319.15	309.62	293.74
	8.2	796.4	327.05	317.28	301.01
	9.0	794.8	358.60	347.89	330.05
	9.5	793.8	378.28	366.99	348.17
	10.0	792.8	397.94	386.07	366.27
	10.7	791.4	425.43	412.73	391.56
	11.0	790.8	437.19	424.14	402.39
	12.0	788.8	476.34	462.12	438.43
	12.5	787.8	495.88	481.08	456.41
	13.0	786.8	515.40	500.01	474.37
14.3	784.2	566.01	549.12	520.96	
914.4	7.0	900.4	314.86	305.46	289.79
	7.1	900.2	319.32	309.79	293.90
	8.0	898.4	359.44	348.71	330.83
	8.2	898.0	368.34	357.35	339.02
	9.0	896.4	403.92	391.87	371.77
	9.5	895.4	426.13	413.41	392.21
	10.0	894.4	448.31	434.93	412.62
	10.7	893.0	479.32	465.01	441.16
	11.0	892.4	492.59	477.89	453.38
	12.0	890.4	536.78	520.76	494.05
	12.5	889.4	558.84	542.15	514.35
	12.7	889.0	567.65	550.71	522.46
	13.0	888.4	580.87	563.53	534.63
	14.3	885.8	638.03	618.99	587.24
1016.0	7.1	1001.8	355.08	344.48	326.81
	7.9	1000.2	394.77	382.99	363.35
	8.0	1000.0	399.73	387.80	367.91
	8.2	999.6	409.64	397.41	377.03
	9.0	998.0	449.25	435.84	413.49
	9.5	997.0	473.97	459.82	436.24
	10.0	996.0	498.67	483.78	458.98
	11.0	994.0	547.99	531.63	504.37
	12.0	992.0	597.21	579.39	549.68
	12.5	991.0	621.79	603.23	572.29
	12.7	990.6	631.61	612.76	581.33
	13.0	990.0	646.34	627.04	594.89
	14.3	987.4	710.05	688.86	653.53

## (συνέχεια πίνακα)

1117.6	7.9	1101.8	434.56	421.59	399.97
	8.0	1101.6	440.02	426.88	404.99
	8.2	1101.2	450.94	437.48	415.04
	9.0	1099.6	494.58	479.81	455.21
	9.5	1098.6	521.82	506.24	480.28
	10.0	1097.6	549.03	532.64	505.33
	11.0	1095.6	603.39	585.38	555.36
	12.0	1093.6	657.65	638.02	605.30
	12.5	1092.6	684.74	664.30	630.24
	12.7	1092.2	695.57	674.81	640.20
	13.0	1091.6	711.81	690.56	655.15
	14.3	1089.0	782.07	758.72	719.82
1219.2	7.9	1203.4	474.35	460.19	436.59
	8.0	1203.2	480.31	465.97	442.08
	8.2	1202.8	492.24	477.54	453.05
	9.0	1201.2	539.90	523.79	496.93
	9.5	1200.2	569.66	552.66	524.32
	10.0	1199.2	599.40	581.50	551.68
	10.7	1197.8	640.98	621.85	589.96
	11.0	1197.2	658.79	639.12	606.35
	11.7	1195.8	700.31	679.40	644.56
	12.0	1195.2	718.09	696.65	660.92
	12.5	1194.2	747.70	725.38	688.18
	12.7	1193.8	759.53	736.86	699.07
13.0	1193.2	777.28	754.08	715.41	
14.3	1190.6	854.09	828.59	786.10	
1320.8	8.0	1304.8	520.60	505.06	479.16
	8.2	1304.4	533.53	517.61	491.06
	9.0	1302.8	585.23	567.76	538.64
	9.5	1301.8	617.51	599.07	568.35
	10.0	1300.8	649.76	630.36	598.04
	10.7	1299.4	694.87	674.13	639.56
	11.0	1298.8	714.19	692.87	657.34
	12.0	1296.8	778.52	755.28	716.55
	12.5	1295.8	810.65	786.45	746.12
	12.7	1295.4	823.49	798.91	757.94
	13.0	1294.8	842.75	817.60	775.67
	14.3	1292.2	926.11	898.46	852.39

## (συνέχεια πίνακα)

1422.4	8.0	1406.4	560.89	544.15	516.24
	8.2	1406.0	574.83	557.67	529.07
	9.0	1404.4	630.56	611.73	580.36
	9.5	1403.4	665.35	645.49	612.39
	10.0	1402.4	700.12	679.22	644.39
	10.7	1401.0	748.76	726.41	689.16
	11.0	1400.4	769.59	746.62	708.33
	12.0	1398.4	838.96	813.91	772.17
	12.5	1397.4	873.60	847.52	804.06
	12.7	1397.0	887.45	860.96	816.81
	13.0	1396.4	908.22	881.11	835.93
	14.3	1393.8	998.13	968.33	918.67
1524.0	8.2	1507.6	616.13	597.74	567.08
	9.0	1506.0	675.88	655.71	622.08
	9.5	1505.0	713.20	691.91	656.42
	10.0	1504.0	750.48	728.08	690.74
	10.7	1502.6	802.65	778.69	738.75
	11.0	1502.0	824.99	800.36	759.32
	11.7	1500.6	877.08	850.90	807.26
	12.0	1500.0	899.39	872.54	827.80
	12.5	1499.0	936.56	908.60	862.00
	12.7	1498.6	951.41	923.01	875.68
	13.0	1498.0	973.70	944.63	896.19
	14.3	1495.4	1070.14	1038.20	984.96
1625.6	8.2	1609.2	657.43	637.80	605.09
	9.0	1607.6	721.21	699.68	663.80
	9.5	1606.6	761.04	738.32	700.46
	10.0	1605.6	800.85	776.94	737.10
	10.7	1604.2	856.53	830.97	788.35
	11.0	1603.6	880.39	854.11	810.31
	11.7	1602.2	936.00	908.06	861.50
	12.0	1601.6	959.83	931.17	883.42
	12.5	1600.6	999.51	969.67	919.95
	12.7	1600.2	1015.38	985.07	934.55
	13.0	1599.6	1039.17	1008.15	956.45
	14.3	1597.0	1142.16	1108.07	1051.24

## (συνέχεια πίνακα)

1727.2	9.0	1709.2	766.53	743.65	705.52
	9.5	1708.2	808.88	784.74	744.50
	10.0	1707.2	851.21	825.80	783.45
	10.7	1705.8	910.42	883.25	837.95
	11.0	1705.2	935.79	907.85	861.29
	11.7	1703.8	994.93	965.23	915.73
	12.0	1703.2	1020.26	989.81	939.05
	12.5	1702.2	1062.46	1030.75	977.89
	12.7	1701.8	1079.34	1047.12	993.42
	13.0	1701.2	1104.64	1071.66	1016.71
	14.3	1698.6	1214.18	1177.94	1117.53
1828.8	9.0	1810.8	811.86	787.63	747.24
	10.0	1808.8	901.57	874.66	829.81
	10.5	1807.8	946.39	918.14	871.06
	10.7	1807.4	964.31	935.53	887.55
	11.0	1806.8	991.18	961.60	912.28
	11.7	1805.4	1053.85	1022.40	969.96
	12.0	1804.8	1080.70	1048.44	994.67
	12.5	1803.8	1125.42	1091.82	1035.83
	12.7	1803.4	1143.30	1109.17	1052.29
	13.0	1802.8	1170.11	1135.18	1076.97
	14.3	1800.2	1286.20	1247.81	1183.82
1930.4	9.0	1912.4	857.19	831.60	788.95
	10.0	1910.4	951.93	923.52	876.16
	10.7	1909.0	1018.20	987.81	937.15
	11.0	1908.4	1046.58	1015.34	963.27
	11.7	1907.0	1112.78	1079.56	1024.20
	12.0	1906.4	1141.13	1107.07	1050.30
	12.5	1905.4	1188.37	1152.90	1093.77
	12.7	1905.0	1207.26	1171.22	1111.16
	13.0	1904.4	1235.58	1198.70	1137.23
	14.3	1901.8	1358.22	1317.68	1250.10
	2032.0	9.0	2014.0	902.51	875.57
10.0		2012.0	1002.30	972.38	922.51
11.0		2010.0	1101.98	1069.09	1014.26
11.7		2008.6	1171.70	1136.73	1078.43
12.0		2008.0	1201.57	1165.70	1105.92
12.5		2007.0	1251.32	1213.97	1151.72
12.7		2006.6	1271.22	1233.27	1170.03
13.0		2006.0	1301.05	1262.22	1197.49
14.3		2003.4	1430.24	1387.54	1316.39

Στη συνέχεια έγινε η ομαδοποίηση των πιέσεων δοκιμής (κλάσεων) για την 3<sup>η</sup> κατηγορία έργων, ώστε να κατασκευαστούν οι καμπύλες κόστους-διαμέτρων.

Πίνακας 2.12 Οι πιέσεις δοκιμής για τις παραγόμενες διαμέτρους χαλυβωσλήνων

Εσωτερική (Ονομαστική) Διάμετρος D (mm)	Πίεση δοκιμής (atm) S235JRG2 (ST 37-2)	Πίεση δοκιμής (atm) S275JR (ST 44)	Πίεση δοκιμής (atm) S355J2G4 (ST 52)	Εξωτερική μόνωση με λιθανθρακόπισσα και πολυαιθυλένιο και εσωτερική μόνωση με εποξειδική ρητίνη ΕΡΓΑ > 5.0 εκ. € Κόστος 1.85 €/kg
				Κόστος C (€/m)
315.8	<u>26</u>	33	<u>41</u>	58.36
314.8	<u>31</u>	39	48	65.55
314.2	34	43	53	69.86
313.8	36	45	56	72.72
313.4	38	47	59	75.59
312.6	42	52	65	81.30
311.8	45	57	71	87.00
311.0	49	61	75	92.68
309.8	55	69	86	101.18
309.6	56	71	88	102.59
308.0	64	80	100	113.86
307.8	65	81	101	115.26
307.4	67	84	104	118.07
307.2	68	85	106	119.47
305.8	75	94	116	129.26
304.6	80	101	125	137.62
303.2	87	109	136	147.32
301.6	95	119	148	158.36
298.4	110	138	172	180.26
347.6	<u>24</u>	<u>30</u>	37	64.17
346.6	28	35	44	72.08
346.0	31	<u>39</u>	48	76.82
345.6	33	41	51	79.98
345.2	34	43	54	83.13
344.4	38	48	59	89.42
343.6	41	52	65	95.70
342.8	44	56	69	101.96
341.6	50	63	78	111.33
341.4	51	64	80	112.89
339.8	58	73	91	125.32
339.6	59	74	92	126.87
339.2	61	76	95	129.97
337.6	68	85	106	142.32
336.4	73	92	114	151.54
335.0	79	100	124	162.27
333.4	86	108	134	174.46
330.2	100	126	156	198.68



(συνέχεια πίνακα)

397.4	<u>25</u>	<u>31</u>	<u>38</u>	82.51
396.8	27	34	42	87.95
396.4	29	36	44	91.57
396.0	30	38	47	95.18
395.2	33	42	52	102.40
394.4	36	45	56	109.61
393.6	39	49	61	116.80
392.4	44	55	68	127.55
392.2	45	56	70	129.34
390.6	51	64	79	143.63
390.4	52	65	80	145.41
390.0	53	67	83	148.97
388.4	59	75	92	163.18
387.4	63	80	99	172.03
386.4	67	84	104	180.85
384.4	75	94	116	198.44
382.4	82	104	128	215.93
381.0	88	110	137	228.12
448.2	22	<u>28</u>	34	92.94
447.6	<u>24</u>	30	37	99.07
447.2	25	32	<u>39</u>	103.16
446.8	27	34	42	107.23
446.0	29	37	46	115.38
445.2	32	40	50	123.51
444.4	35	43	54	131.63
443.2	39	49	61	143.78
443.0	40	50	62	145.80
441.4	45	57	71	161.94
441.2	46	58	72	163.95
440.8	47	59	74	167.98
439.2	53	66	82	184.04
438.2	56	71	88	194.04
437.2	60	75	93	204.03
435.2	66	83	104	223.93
433.2	73	92	114	243.74
431.8	78	98	122	257.55

(συνέχεια πίνακα)

498.0	<u>23</u>	<u>29</u>	36	114.74
497.6	24	30	37	119.29
496.8	27	33	<u>41</u>	128.36
496.0	29	36	45	137.42
495.2	31	39	49	146.46
494.0	35	44	55	160.00
493.8	36	45	56	162.26
492.2	41	51	64	180.25
492.0	41	52	64	182.50
491.6	43	53	66	186.98
490.0	47	60	74	204.90
489.0	51	64	79	216.06
488.0	54	67	84	227.21
486.0	60	75	93	249.43
484.0	66	83	103	271.55
482.6	70	88	110	286.99
548.8	21	<u>26</u>	<u>32</u>	126.33
548.4	22	27	34	131.34
547.6	24	30	<u>38</u>	141.34
546.8	26	33	41	151.32
546.0	28	36	44	161.30
544.8	32	40	50	176.23
544.6	33	41	51	178.71
543.0	37	47	58	198.56
542.8	38	47	59	201.04
542.4	39	49	60	205.99
540.8	43	54	67	225.76
539.8	46	58	72	238.08
538.8	49	61	76	250.38
536.8	54	68	85	274.92
534.8	60	75	93	299.36
533.4	64	80	100	316.42

(συνέχεια πίνακα)

598.4	22	28	34	154.32
597.6	<u>24</u>	<u>30</u>	<u>38</u>	165.23
596.8	26	33	40	176.13
595.6	29	37	46	192.45
595.4	30	37	47	195.17
593.8	34	43	53	216.87
593.6	34	43	54	219.58
593.2	35	45	55	224.99
591.6	40	50	62	246.61
590.6	42	53	66	260.10
589.6	45	56	70	273.56
587.6	50	63	78	300.41
585.6	55	69	86	327.18
584.2	59	74	91	345.86
583.6	60	75	94	353.85
581.0	67	84	104	388.39
649.2	20	<u>26</u>	<u>32</u>	167.30
648.4	22	28	35	179.14
647.6	24	30	37	190.96
646.4	27	34	<u>42</u>	208.67
646.2	28	35	43	211.62
644.6	31	39	49	235.18
644.4	32	40	50	238.12
644.0	33	41	51	244.00
642.4	37	46	57	267.47
641.4	39	49	61	282.12
640.4	41	52	64	296.74
639.0	45	56	69	317.17
638.4	46	58	72	325.91
636.4	51	64	79	354.99
635.0	54	68	84	375.29
634.4	56	70	86	383.98
631.8	62	77	96	421.53

(συνέχεια πίνακα)

700.0	19	<u>24</u>	<u>30</u>	180.28
699.2	21	26	32	193.04
698.4	22	28	35	205.80
697.2	25	32	<u>39</u>	224.90
697.0	26	32	40	228.08
695.4	29	37	45	253.49
695.2	30	37	46	256.66
694.8	30	38	47	263.00
693.2	34	43	53	288.33
692.2	36	45	56	304.13
691.2	38	48	60	319.91
689.8	41	52	65	341.97
689.2	43	54	67	351.40
687.2	47	59	73	382.80
685.8	50	63	78	404.73
685.2	52	65	80	414.11
682.6	57	72	89	454.67
749.2	21	<u>26</u>	33	220.63
747.8	24	<u>30</u>	37	244.53
746.2	27	34	<u>42</u>	271.80
746.0	28	35	43	275.20
744.0	32	40	49	309.19
743.0	34	42	53	326.15
742.0	36	45	56	343.09
738.0	44	55	69	410.61
736.6	47	59	73	434.16
736.0	48	60	75	444.24
733.4	53	67	83	487.81
800.0	19	<u>24</u>	<u>30</u>	235.46
798.8	22	28	34	257.35
798.6	22	28	35	260.99
797.0	26	32	<u>40</u>	290.11
796.8	26	32	40	293.74
796.4	27	33	41	301.01
794.8	30	37	46	330.05
793.8	32	40	49	348.17
792.8	34	42	52	366.27
791.4	36	45	56	391.56
790.8	37	47	58	402.39
788.8	41	52	64	438.43
787.8	43	54	67	456.41
786.8	45	57	70	474.37
784.2	50	63	78	520.96

(συνέχεια πίνακα)

900.4	20	<u>25</u>	<u>30</u>	289.79
900.2	20	25	31	293.90
898.4	23	29	36	330.83
898.0	24	30	37	339.02
896.4	26	33	<u>41</u>	371.77
895.4	28	35	44	392.21
894.4	30	37	46	412.62
893.0	32	40	50	441.16
892.4	33	42	52	453.38
890.4	37	46	57	494.05
889.4	38	48	60	514.35
889.0	39	49	61	522.46
888.4	40	50	62	534.63
885.8	45	56	69	587.24
1001.8	18	22	<u>28</u>	326.81
1000.2	20	<u>26</u>	32	363.35
1000.0	21	26	32	367.91
999.6	21	27	33	377.03
998.0	24	30	37	413.49
997.0	25	32	<u>39</u>	436.24
996.0	27	34	42	458.98
994.0	30	38	47	504.37
992.0	33	41	51	549.68
991.0	35	43	54	572.29
990.6	35	44	55	581.33
990.0	36	45	56	594.89
987.4	40	50	62	653.53
1101.8	19	23	<u>29</u>	399.97
1101.6	19	<u>24</u>	29	404.99
1101.2	19	24	30	415.04
1099.6	22	27	34	455.21
1098.6	23	29	36	480.28
1097.6	24	31	<u>38</u>	505.33
1095.6	27	34	42	555.36
1093.6	30	38	47	605.30
1092.6	31	39	49	630.24
1092.2	32	40	50	640.20
1091.6	33	41	51	655.15
1089.0	36	46	57	719.82

(συνέχεια πίνακα)

1203.4	17	21	<u>26</u>	436.59
1203.2	17	22	27	442.08
1202.8	18	22	28	453.05
1201.2	20	25	<u>31</u>	496.93
1200.2	21	27	33	524.32
1199.2	22	28	35	551.68
1197.8	24	30	38	589.96
1197.2	25	31	<u>39</u>	606.35
1195.8	27	34	42	644.56
1195.2	27	35	43	660.92
1194.2	29	36	45	688.18
1193.8	29	37	46	699.07
1193.2	30	38	47	715.41
1190.6	33	42	52	786.10
1304.8	16	20	<u>25</u>	479.16
1304.4	16	21	25	491.06
1302.8	18	23	28	538.64
1301.8	20	24	<u>30</u>	568.35
1300.8	21	26	32	598.04
1299.4	22	28	35	639.56
1298.8	23	29	36	657.34
1296.8	25	32	<u>40</u>	716.55
1295.8	27	33	41	746.12
1295.4	27	34	42	757.94
1294.8	28	35	43	775.67
1292.2	31	39	48	852.39
1406.4	15	19	23	516.24
1406.0	15	19	24	529.07
1404.4	17	21	26	580.36
1403.4	18	23	28	612.39
1402.4	19	24	30	644.39
1401.0	21	26	32	689.16
1400.4	21	27	33	708.33
1398.4	24	30	37	772.17
1397.4	25	31	38	804.06
1397.0	25	32	39	816.81
1396.4	26	32	40	835.93
1393.8	29	36	45	918.67

(συνέχεια πίνακα)

1507.6	14	18	22	567.08
1506.0	16	20	25	622.08
1505.0	17	21	26	656.42
1504.0	18	22	28	690.74
1502.6	19	24	30	738.75
1502.0	20	25	31	759.32
1500.6	21	27	33	807.26
1500.0	22	28	34	827.80
1499.0	23	29	36	862.00
1498.6	23	29	37	875.68
1498.0	24	30	37	896.19
1495.4	27	34	42	984.96
1609.2	13	17	21	605.09
1607.6	15	19	23	663.80
1606.6	16	20	25	700.46
1605.6	17	21	26	737.10
1604.2	18	23	28	788.35
1603.6	19	23	29	810.31
1602.2	20	25	31	861.50
1601.6	21	26	32	883.42
1600.6	22	27	34	919.95
1600.2	22	28	34	934.55
1599.6	23	28	35	956.45
1597.0	25	31	39	1051.24
1709.2	14	18	22	705.52
1708.2	15	19	23	744.50
1707.2	16	20	25	783.45
1705.8	17	21	27	837.95
1705.2	18	22	27	861.29
1703.8	19	24	29	915.73
1703.2	19	24	30	939.05
1702.2	20	26	32	977.89
1701.8	21	26	32	993.42
1701.2	21	27	33	1016.71
1698.6	24	30	37	1117.53

(συνέχεια πίνακα)

1810.8	13	17	21	747.24
1808.8	15	19	23	829.81
1807.8	16	20	25	871.06
1807.4	16	20	25	887.55
1806.8	17	21	26	912.28
1805.4	18	22	28	969.96
1804.8	18	23	29	994.67
1803.8	19	24	30	1035.83
1803.4	20	25	30	1052.29
1802.8	20	25	31	1076.97
1800.2	22	28	35	1183.82
1912.4	12	16	19	788.95
1910.4	14	18	22	876.16
1909.0	15	19	24	937.15
1908.4	16	20	25	963.27
1907.0	17	21	26	1024.20
1906.4	17	22	27	1050.30
1905.4	18	23	28	1093.77
1905.0	19	23	29	1111.16
1904.4	19	24	30	1137.23
1901.8	21	26	33	1250.10
2014.0	12	15	18	830.67
2012.0	13	17	21	922.51
2010.0	15	19	23	1014.26
2008.6	16	20	25	1078.43
2008.0	16	21	26	1105.92
2007.0	17	22	27	1151.72
2006.6	18	22	27	1170.03
2006.0	18	23	28	1197.49
2003.4	20	25	31	1316.39

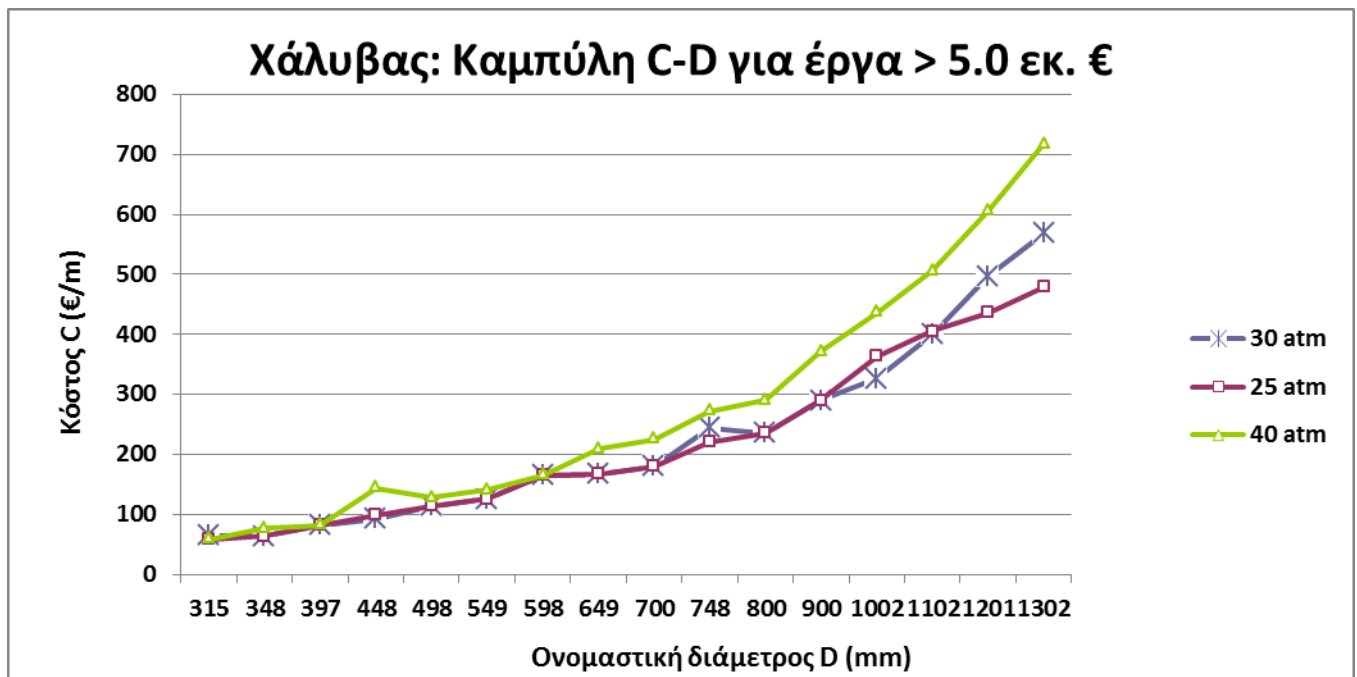


Όσες πιέσεις δοκιμής είναι με έντονη και υπογραμμισμένη γραμματοσειρά, μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε μία από τις κλάσεις 25, 30, 40 atm. Έτσι, από τον πίνακα 2.12 , για τα έργα 3<sup>ης</sup> κατηγορίας προέκυψαν τα παρακάτω:

**Πίνακας 2.13 α, β, γ Ομαδοποίηση των παραγόμενων διαμέτρων χαλυβοσωλήνων σε κλάσεις**

Εσωτερική (Ονομαστική) Διάμετρος D (mm)	25 atm	Εσωτερική (Ονομαστική) Διάμετρος D (mm)	30 atm	Εσωτερική (Ονομαστική) Διάμετρος D (mm)	40 atm
	Κόστος (€/m)		Κόστος (€/m)		Κόστος (€/m)
315.8	58.36	314.8	65.55	315.8	58.36
347.6	64.17	347.6	64.17	346.0	76.82
397.4	82.51	397.4	82.51	397.4	82.51
447.6	99.07	448.2	92.94	447.2	143.78
498.0	114.74	498	114.74	496.8	128.36
548.8	126.33	548.8	126.33	547.6	141.34
597.6	165.23	597.6	165.23	597.6	165.23
649.2	167.30	649.2	167.30	646.4	208.67
700.0	180.28	700.0	180.28	697.2	224.90
749.2	220.63	747.8	244.53	746.2	271.80
800.0	235.46	800.0	235.46	797.0	290.11
900.4	289.79	900.4	289.79	896.4	371.77
1000.2	363.35	1001.8	326.81	997	436.24
1101.6	404.99	1101.8	399.97	1097.6	505.33
1203.4	436.59	1201.2	496.93	1197.2	606.35
1304.8	479.16	1301.8	568.35	1296.8	716.55

Με το ίδιο σκεπτικό μπορούν να ομαδοποιηθούν και οι διάμετροι για 16, 20 atm κ.ο.κ. Από τον πίνακα 2.13, μπορεί να κατασκευαστεί η καμπύλη κόστους-διαμέτρων:



Σχήμα 2.11 Χάλυβας: Καμπύλη κόστους-διαμέτρου, 3<sup>η</sup> κατηγορία

#### 2.4.3 Σύγκριση Ductile Iron-Χάλυβα

Στο στάδιο αυτό γίνεται μία σύγκριση των σωλήνων ελατού χυτοσίδηρου και χάλυβα. Τα δύο υλικά έχουν τον ίδιο συντελεστή τραχύτητας και το ζήτημα έχει ως εξής:

1. Οι διαθέσιμες κλάσεις για τον ελατό χυτοσίδηρο είναι 3 (25, 30, 40 atm), με τους σωλήνες Ductile Iron να μην μπορούν να εφαρμοστούν σε δίκτυα με στατική πίεση μεγαλύτερη από 40 atm και από 25 atm και κάτω. Αντίθετα για τους χαλυβδοσωλήνες υπάρχει τεράστια ποικιλία πιέσεων που μπορεί να ξεπεράσει και τις 100 atm. Μάλιστα για κάθε διάμετρο, ανάλογα με την ποιότητα του ελάσματος μπορούν να υπάρξουν 3 διαφορετικές 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 το χυτοσίδηρο, του οποίου οι κλάσεις όχι μόνο είναι περιορισμένες, αλλά και κάθε μία απαντάται στη δική της μοναδική ομάδα διαμέτρων.
2. Το εύρος εσωτερικών διαμέτρων στις οποίες παράγονται οι Ductile Iron αγωγοί είναι 100-1200 mm, ενώ για τους χαλυβδοσωλήνες είναι 298.4-2014.0 mm. Δεδομένου ότι στα δίκτυα εφαρμόζονται διαμέτροι Φ90 και πάνω και για μεταλλικούς αγωγούς από Φ300 και πάνω, αυτόματα τα εύρη γίνονται 300-1200 και 315.8-2014.0 αντίστοιχα. Εντούτοις και εδώ ο χάλυβας επικρατεί, καθώς οι διαμέτροί του διατίθενται σε πολύ μεγαλύτερο εύρος και σε πολύ μικρότερα βήματα.
3. Από άποψη κόστους, για τις κοινές διαμέτρους και κλάσεις τα δεδομένα έχουν ως εξής (έργα 3<sup>ης</sup> κατηγορίας):

**Πίνακας 2.14** Σύγκριση του κόστους των αγωγών υπό πίεση από Ελατό Χυτοσίδηρο και Χάλυβα  
 Πηγή: Τιμολόγιο Υδραυλικών Έργων ΥΠΕΚΑ, 2013

Εσωτερική Διάμετρος D (mm)	Κόστος (€/m)												
	25 atm				30 atm				40 atm				
D. Iron	Χάλυβας	D. Iron	Χάλυβας	Διαφορά	% Αύξησης	D. Iron	Χάλυβας	Διαφορά	% Αύξησης	D. Iron	Χάλυβας	Διαφορά	% Αύξησης
300	≈ 315		58.36							100.0	58.36	41.6	71.4
350	≈ 347		64.17			115.0	64.17	50.8	79.2				
400	≈ 400		82.51			130.0	82.51	47.5	57.6				
450	≈ 448		99.07			135.0	92.94	42.1	45.3				
500	≈ 498		114.74			150.0	114.74	35.3	30.7				
600	≈ 598		165.23			180.0	165.23	14.8	8.9				
700	≈ 700	215.0	180.28	34.7	19.3								
800	≈ 800	255.0	235.46	19.5	8.3								
900	≈ 900	350.0	289.79	60.2	20.8								
1000	≈ 1000	370.0	363.35	6.6	1.8								
1100	≈ 1101	490.0	404.99	85.0	21.0								
1200	≈ 1201	610.0	436.59	173.4	39.7								

Στον παραπάνω πίνακα, η διαφορά για κάθε μέτρο μήκους ξεκινά από τα 6.6 € (Φ1000 25 atm) και φτάνει μέχρι και τα 173.4 € (Φ1200 25 atm).

Σε κάθε κλάση η 4<sup>η</sup> στήλη δείχνει σε τι ποσοστό του (φθηνότερου) χάλυβα ο χυτοσίδηρος είναι ομόλογα ακριβότερος, με τα κόκκινα γράμματα να δείχνουν σε ποια διάμετρο κάθε φορά υπάρχει η εντονότερη αύξηση της τιμής για την ίδια κλάση. Σε ορισμένες περιπτώσεις η αύξηση είναι μεγαλύτερη του 50%.

➔ Από οικονομικής σκοπιάς, χωρίς αμφιβολία ο ελατός χυτοσίδηρος είναι ακριβότερος από τον ευέλικτο στην παραγωγή χάλυβα. Δεν πρέπει όμως να παραλειφθεί η υψηλή αντιδιαβρωτική ικανότητα όμως του πρώτου, 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 χαλυβοσωλήνων με εξωτερική επένδυση από πολυαιθυλένιο.

## 2.5 ΣΩΛΗΝΕΣ ΑΠΟ ΥΑΛΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΠΟΛΥΜΕΡΕΣ (GRP)

### 2.5.1 Σωλήνες από Υαλοπλισμένο Πολυμερές (GRP)

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



**Εικόνα 2.5** Σωλήνες GRP

Πηγή: Ιστότοπος [timzhifu.en.made-in-china](http://timzhifu.en.made-in-china)

Για δακτυλοειδή ακαμψία  $2.5 \text{ kN/m}^2$  το τιμολόγιο της ΕΥΔΑΠ αφορά σε αγωγούς ονομαστικής πίεσης 1 atm. Δίνει δε κάποιους συντελεστές, έναν για κάθε ονομαστική πίεση, οι οποίοι πολλαπλασιαζόμενοι με τα κόστη του τιμολογίου, έχουν ως αποτέλεσμα τα κόστη για τις 6, 10, 12, 16, 25 και 32 atm.

**12.40.01** Με σωλήνες δακτυλοειδούς ακαμψίας  $SN 2,5 \text{ kN/m}^2$   
Βασικές τιμές που αντιστοιχούν σε σωλήνες PN 1,0 atm  
Οι τιμές μονάδας του παρόντος άρθρου (βασικές τιμές, BT), ανάλογα με την ονομαστική πίεση των σωλήνων, προσαρμόζονται με βάση τους ακόλουθους συντελεστές::

- σωλήνες PN 1 atm : T.E. = BT x 1,000
- σωλήνες PN 6 atm : T.E. = BT x 1,075
- σωλήνες PN 10 atm : T.E. = BT x 1,125
- σωλήνες PN 12 atm : T.E. = BT x 1,150
- σωλήνες PN 16 atm : T.E. = BT x 1,225
- σωλήνες PN 20 atm : T.E. = BT x 1,275
- σωλήνες PN 25 atm : T.E. = BT x 1,350
- σωλήνες PN 32 atm : T.E. = BT x 1,500

**Εικόνα 2.6** Εξαγωγή του τιμολογίου για διάφορες κλάσεις αγωγών GRP

Πηγή: Τιμολόγιο Υδραυλικών Έργων ΥΠΕΚΑ, 2013

Συγκεντρωτικά οι GRP σωλήνες παράγονται σε:

- ~ Εύρος ονομαστικών (εσωτερικών) διαμέτρων 300-2400 mm
- ~ Κλάσεις 6, 10, 12, 16, 20, 25 και 32 atm
- ~ Δακτυλοειδή ακαμψία 2.5 και 5 kN/m<sup>2</sup>

**Πίνακας 2.15** GRP: Κόστος ανά μέτρο μήκους, 1<sup>η</sup> κατηγορία

<b>1<sup>H</sup> ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΕΡΓΩΝ: &lt; 1.5 εκ. €</b>							
Ονομαστική Διάμετρος D (mm)	6 atm	10 atm	12 atm	16 atm	20 atm	25 atm	32 atm
	Κόστος C (€/m)						
300	55.36	57.94	59.23	63.09	65.66	69.53	77.25
350	66.65	69.75	71.30	75.95	79.05	83.70	93.00
400	77.40	81.00	82.80	88.20	91.80	97.20	108.00
450	82.78	86.63	88.55	94.33	98.18	103.95	115.50
500	99.98	104.63	106.95	113.93	118.58	125.55	139.50
600	121.48	127.13	129.95	138.43	144.08	152.55	169.50
700	154.80	162.00	165.60	176.40	183.60	194.40	216.00
800	198.88	208.13	212.75	226.63	235.88	249.75	277.50
900	237.58	248.63	254.15	270.73	281.78	298.35	331.50
1000	282.73	295.88	302.45	322.18	335.33	355.05	394.50
1100	337.55	353.25	361.10	384.65	400.35	423.90	471.00
1200	376.25	393.75	402.50	428.75	446.25	472.50	525.00
1300	440.75	461.25	471.50	502.25	522.75	553.50	615.00
1400	494.50	517.50	529.00	563.50	586.50	621.00	690.00
1500	559.00	585.00	598.00	637.00	663.00	702.00	780.00
1600	634.25	663.75	678.50	722.75	752.25	796.50	885.00
1700	698.75	731.25	747.50	796.25	828.75	877.50	975.00
1800	774.00	810.00	828.00	882.00	918.00	972.00	1,080.00
1900	838.50	877.50	897.00	955.50	994.50	1,053.00	1,170.00
2000	935.25	978.75	1,000.50	1,065.75	1,109.25	1,174.50	1,305.00
2100	1,021.25	1,068.75	1,092.50	1,163.75	1,211.25	1,282.50	1,425.00
2200	1,107.25	1,158.75	1,184.50	1,261.75	1,313.25	1,390.50	1,545.00
2300	1,193.25	1,248.75	1,276.50	1,359.75	1,415.25	1,498.50	1,665.00
2400	1,354.50	1,417.50	1,449.00	1,543.50	1,606.50	1,701.00	1,890.00

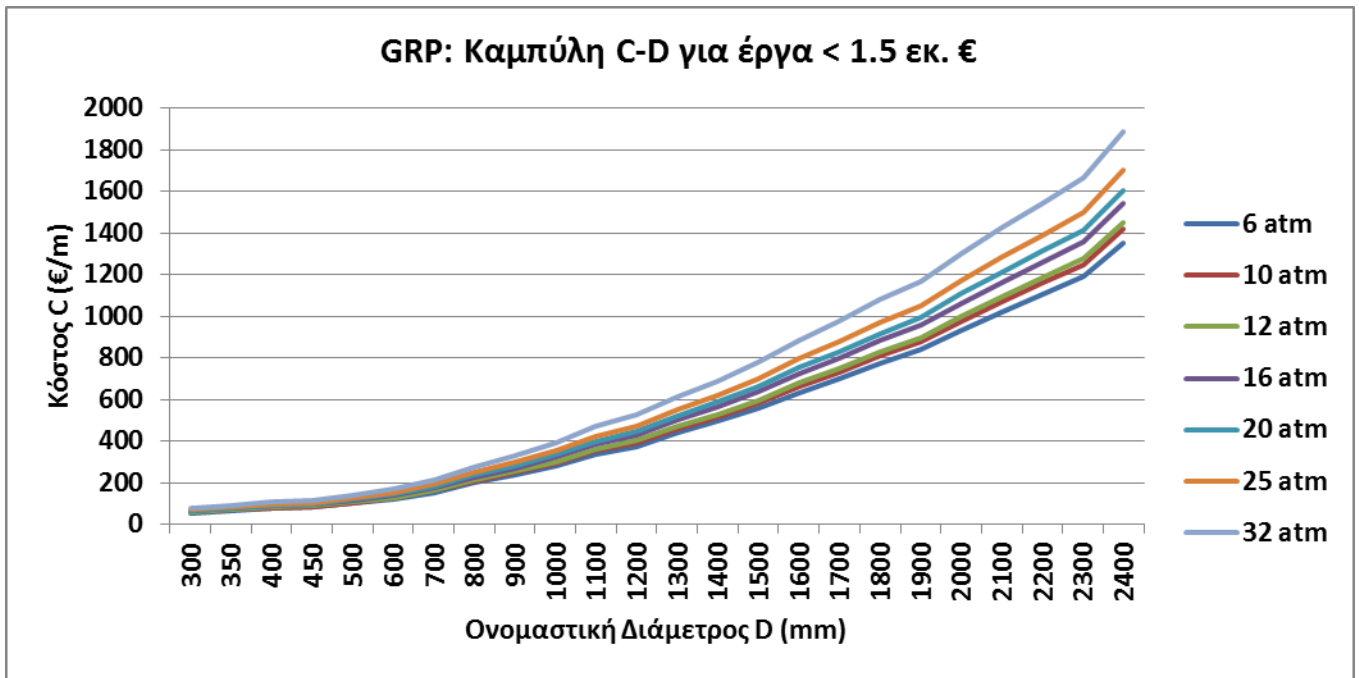
Πίνακας 2.16 GRP: Κόστος ανά μέτρο μήκους, 2<sup>η</sup> κατηγορία

2 <sup>η</sup> ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΕΡΓΩΝ: 1.5 - 5.0 εκ. €							
Ονομαστική Διάμετρος D (mm)	6 atm	10 atm	12 atm	16 atm	20 atm	25 atm	32 atm
	Κόστος C (€/m)						
300	53.75	56.25	57.50	61.25	63.75	67.50	75.00
350	64.50	67.50	69.00	73.50	76.50	81.00	90.00
400	75.25	78.75	80.50	85.75	89.25	94.50	105.00
450	80.63	84.38	86.25	91.88	95.63	101.25	112.50
500	96.75	101.25	103.50	110.25	114.75	121.50	135.00
600	118.25	123.75	126.50	134.75	140.25	148.50	165.00
700	150.50	157.50	161.00	171.50	178.50	189.00	210.00
800	193.50	202.50	207.00	220.50	229.50	243.00	270.00
900	231.13	241.88	247.25	263.38	274.13	290.25	322.50
1000	274.13	286.88	293.25	312.38	325.13	344.25	382.50
1100	327.88	343.13	350.75	373.63	388.88	411.75	457.50
1200	365.50	382.50	391.00	416.50	433.50	459.00	510.00
1300	430.00	450.00	460.00	490.00	510.00	540.00	600.00
1400	478.38	500.63	511.75	545.13	567.38	600.75	667.50
1500	542.88	568.13	580.75	618.63	643.88	681.75	757.50
1600	612.75	641.25	655.50	698.25	726.75	769.50	855.00
1700	677.25	708.75	724.50	771.75	803.25	850.50	945.00
1800	747.13	781.88	799.25	851.38	886.13	938.25	1,042.50
1900	817.00	855.00	874.00	931.00	969.00	1,026.00	1,140.00
2000	903.00	945.00	966.00	1,029.00	1,071.00	1,134.00	1,260.00
2100	989.00	1,035.00	1,058.00	1,127.00	1,173.00	1,242.00	1,380.00
2200	1,075.00	1,125.00	1,150.00	1,225.00	1,275.00	1,350.00	1,500.00
2300	1,161.00	1,215.00	1,242.00	1,323.00	1,377.00	1,458.00	1,620.00
2400	1,311.50	1,372.50	1,403.00	1,494.50	1,555.50	1,647.00	1,830.00

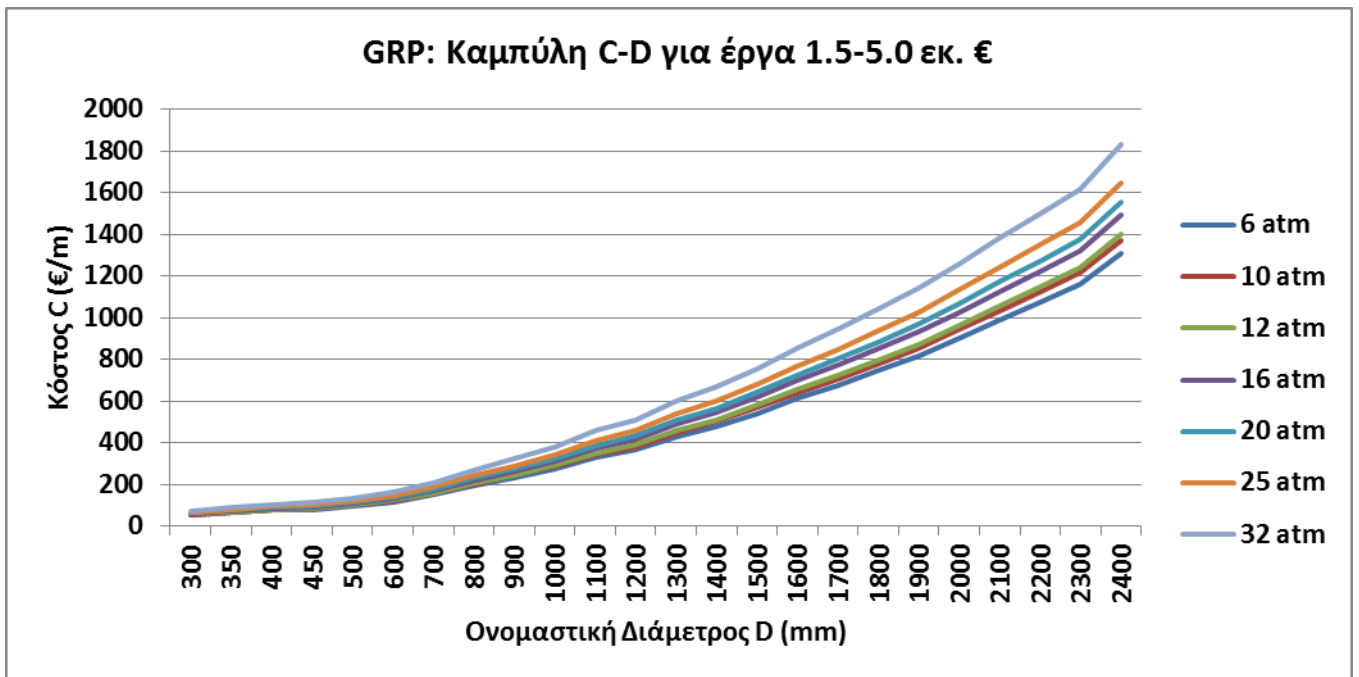
Πίνακας 2.17 GRP: Κόστος ανά μέτρο μήκους, 3<sup>η</sup> κατηγορία

3 <sup>η</sup> ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΕΡΓΩΝ: > 5.0 εκ. €							
Ονομαστική Διάμετρος D (mm)	6 atm	10 atm	12 atm	16 atm	20 atm	25 atm	32 atm
	Κόστος C (€/m)						
300	51.06	53.44	54.63	58.19	60.56	64.13	71.25
350	61.28	64.13	65.55	69.83	72.68	76.95	85.50
400	72.03	75.38	77.05	82.08	85.43	90.45	100.50
450	76.33	79.88	81.65	86.98	90.53	95.85	106.50
500	92.45	96.75	98.90	105.35	109.65	116.10	129.00
600	112.88	118.13	120.75	128.63	133.88	141.75	157.50
700	142.98	149.63	152.95	162.93	169.58	179.55	199.50
800	183.83	192.38	196.65	209.48	218.03	230.85	256.50
900	219.30	229.50	234.60	249.90	260.10	275.40	306.00
1000	260.15	272.25	278.30	296.45	308.55	326.70	363.00
1100	311.75	326.25	333.50	355.25	369.75	391.50	435.00
1200	344.00	360.00	368.00	392.00	408.00	432.00	480.00
1300	408.50	427.50	437.00	465.50	484.50	513.00	570.00
1400	451.50	472.50	483.00	514.50	535.50	567.00	630.00
1500	516.00	540.00	552.00	588.00	612.00	648.00	720.00
1600	580.50	607.50	621.00	661.50	688.50	729.00	810.00
1700	645.00	675.00	690.00	735.00	765.00	810.00	900.00
1800	709.50	742.50	759.00	808.50	841.50	891.00	990.00
1900	774.00	810.00	828.00	882.00	918.00	972.00	1,080.00
2000	860.00	900.00	920.00	980.00	1,020.00	1,080.00	1,200.00
2100	935.25	978.75	1,000.50	1,065.75	1,109.25	1,174.50	1,305.00
2200	1,021.25	1,068.75	1,092.50	1,163.75	1,211.25	1,282.50	1,425.00
2300	1,107.25	1,158.75	1,184.50	1,261.75	1,313.25	1,390.50	1,545.00
2400	1,247.00	1,305.00	1,334.00	1,421.00	1,479.00	1,566.00	1,740.00



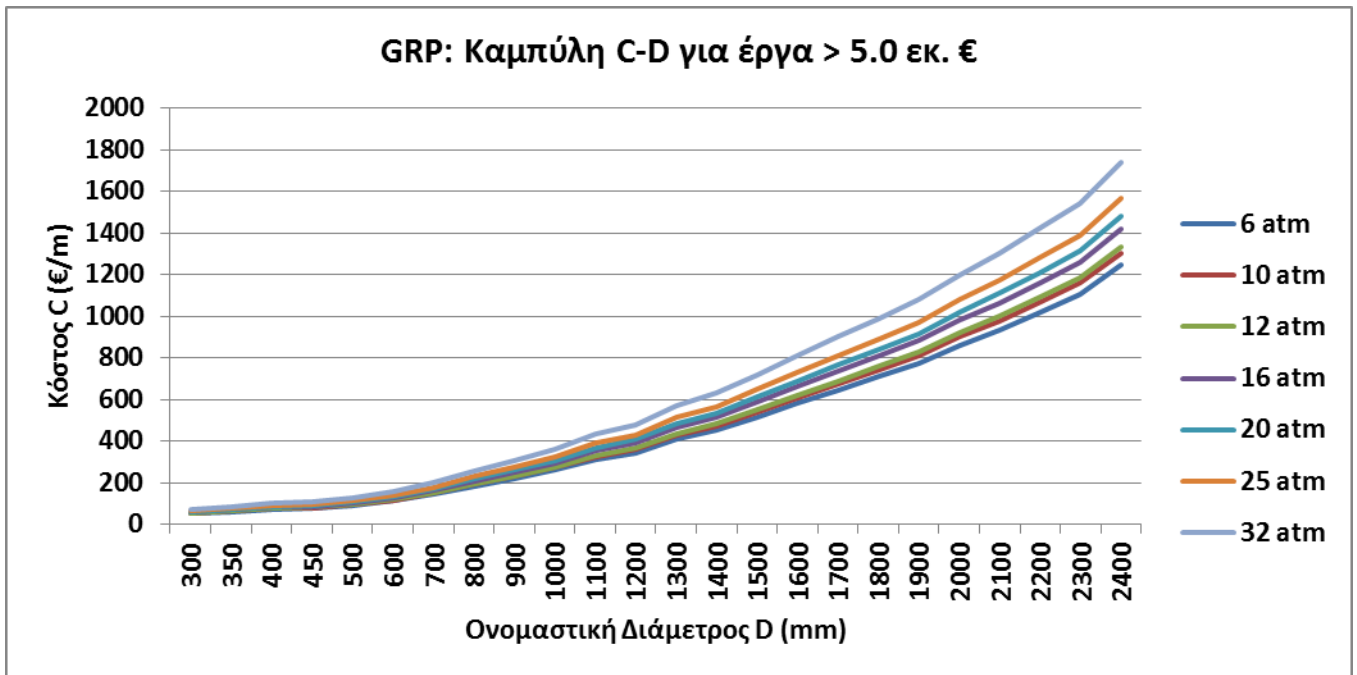


Σχήμα 2.12 GRP: Καμπύλη κόστους-διαμέτρου, 1<sup>η</sup> κατηγορία



Σχήμα 2.13 GRP: Καμπύλη κόστους-διαμέτρου, 2<sup>η</sup> κατηγορία





**Σχήμα 2.14** GRP: Καμπύλη κόστους-διαμέτρου, 3<sup>η</sup> κατηγορία

### 2.5.2 Σύγκριση GRP-Ductile Iron-Χάλυβα

Όπως συνήχθη προηγουμένως, οι χαλυβωσωλήνες είναι γενικά οικονομικότεροι από τους σωλήνες από ελατό χυτοσίδηρο. Στο στάδιο αυτό θα γίνει μία σύγκριση των δύο αυτών μεταλλικών υλικών με το νεοεμφανιζόμενο GRP. Έτσι θα γίνει μία τελική, όχι απόλυτη, εκτίμηση για "το φθηνότερο υλικό της ομάδας των μεγάλων διαμέτρων", έχοντας ήδη ως δεδομένη την εκτίμηση του PVC ως "το φθηνότερο υλικό της ομάδας των μικρών διαμέτρων". Τα δεδομένα επομένως έχουν ως εξής:

1. Όπως προελέχθη, οι διαθέσιμες κλάσεις για τον ελατό χυτοσίδηρο είναι 3 (25, 30, 40 atm) και για τον χάλυβα υπάρχει μία μεγάλη ποικιλία πιέσεων που μπορεί να ξεπεράσει και τις 100 atm. Μάλιστα για κάθε διάμετρο, ανάλογα με την ποιότητα του ελάσματος μπορούν να υπάρξουν 3 διαφορετικές πιέσεις. Για το GRP οι διαθέσιμες κλάσεις είναι 7 (6, 10, 12, 16, 20, 25, 32 atm) και σίγουρα η διαθέσιμη γκάμα το καθιστά επικρατέστερο του χυτοσίδηρου από άποψη κλάσεων.

2. Το εύρος εσωτερικών διαμέτρων για αγωγούς υπό πίεση είναι 300-1200 mm για Ductile Iron αγωγούς και 315.8-2014.0 mm για χαλυβωσωλήνες. Για το GRP το εύρος διαμέτρων είναι 300-2400 mm. Από άποψη ποικιλίας διαμέτρων το GRP είναι ικανοποιητικότερο κι αν μην διαθέτει τα μικρά βήματα του χάλυβα.

3. Από άποψη κόστους, για τις κοινές διαμέτρους και κλάσεις τα δεδομένα έχουν ως εξής (έργα 3<sup>ης</sup> κατηγορίας):

**Πίνακας 2.18** Σύγκριση του κόστους των αγωγών υπό πίεση από GRP, Ελατό Χυτοσίδηρο και Χάλυβα

Πηγή: Τιμολόγιο Υδραυλικών Έργων ΥΠΕΚΑ, 2013

Όνομαστική Διάμετρος D (mm)	Κόστος (€/m)											
	25 atm											
GRP	D. Iron	Χάλυβας	GRP	D. Iron	Διαφορά	% Αύξησης	GRP	Χάλυβας	Διαφορά	% Αύξησης		
700			179.55	215.00	35.5	19.7	179.55	180.28	0.7	0.4		
800			230.85	255.00	24.2	10.5	230.85	235.46	4.6	2.0		
900			275.40	350.00	74.6	27.1	275.40	289.79	14.4	5.2		
1000			326.70	370.00	43.3	13.3	326.70	363.35	36.7	11.2		
1100			391.50	490.00	98.5	25.2	391.50	404.99	13.5	3.4		
1200			432.00	610.00	178.0	41.2	432.00	436.59	4.6	1.1		
			30 atm									
GRP	D. Iron	Χάλυβας	GRP	D. Iron	Διαφορά	% Αύξησης	GRP	Χάλυβας	Διαφορά	% Αύξησης		
350			85.50	115.00	29.5	34.5	85.50	64.17	21.3	33.2		
400			100.50	130.00	29.5	29.4	100.50	82.51	18.0	21.8		
450			106.50	135.00	28.5	26.8	106.50	92.94	13.6	14.6		
500			129.00	150.00	21.0	16.3	129.00	114.74	14.3	12.4		
600			157.50	180.00	22.5	14.3	157.50	165.23	7.7	4.9		

Στον παραπάνω πίνακα, η διαφορά GRP-Χυτοσίδηρου για κάθε μέτρο μήκους ξεκινά από τα 21 € (Φ500 30 atm) και φτάνει μέχρι και τα 178 € (Φ1200 25 atm).

Επίσης, από τη σύγκριση GRP-Χάλυβα, φαίνεται ότι στις μικρότερες διαμέτρους το GRP είναι ακριβότερο από το χάλυβα (για την ακρίβεια, η κλάση του GRP είναι 32 atm, αλλά στρογγυλοποιείται για τη σύγκριση) έως και κατά 33.2%. Από την Φ600 και μετά όμως, όσο μεγαλώνει η διάμετρος και η κλάση, αντιστρέφεται η εικόνα, με τον χάλυβα να είναι ακριβότερος του GRP ακόμα και κατά 11.2%.

➔ Από τα παραπάνω, με μία γενική διάταξη για μεγάλες διαμέτρους, ισχύει ως προς την οικονομικότητα:

$$GRP < Steel < D. Iron$$

, με το χυτοσίδηρο να είναι το ακριβότερο υλικό. Πρέπει όμως να επισημανθεί ότι βιομηχανία παραγωγής GRP σωλήνων δεν υπάρχει στην Ελλάδα. Αυτό έχει αντίκτυπο αφενός στην εύρεση ανταλλακτικών, αφετέρου στο χρόνο επισκευής του σωλήνα σε περίπτωση βλάβης. Η απόφαση επαφίεται σε τελευταία ανάλυση στον ίδιο το Μηχανικό.

## 2.6 ΤΟ ΜΕΓΕΘΟΣ C/A

Η ποικιλία κλάσεων και διαμέτρων, η χρήση εξωτερικών διαμέτρων ως ονομαστικές στα πλαστικά και το GRP και αντίστοιχα των εσωτερικών στα μέταλλα καθώς και το γεγονός ότι η κοστολόγηση του χάλυβα γίνεται σε €/kg ενώ των υπόλοιπων υλικών σε €/m, καθιστά δύσκολη τη σύγκριση των υλικών μεταξύ τους και την εξαγωγή ενός ξεκάθਾਰου συμπεράσματος για το ποιο υλικό είναι πραγματικά το οικονομικότερο. Προηγουμένως, η σύγκριση έγινε για ορισμένες κλάσεις και ομάδες διαμέτρων που απαντώνται από κοινού στα υλικά που συγκρίνονται.

Εμφανίζεται επομένως η ανάγκη δημιουργίας ενός μέτρου σύγκρισης, ενός "κοινού παρονομαστή", στον οποίο να μην εμπλέκονται μονάδες μέτρησης κόστους, διαμέτρων ή κλάσης (δηλ. οι μονάδες του να μην έχουν κανένα φυσικό νόημα), για να τελεσφορήσει η σύγκριση.

Ο συντελεστής που επιλέχθηκε, ήταν ο λόγος κόστους και εμβαδού διατομής  $\frac{C}{A}$ . Το εμβαδόν της κυκλικής διατομής περικλείει την εσωτερική διάμετρο ( $A = \frac{\pi D^2}{4}$ ), επομένως μπορούν τα υλικά σε ένα κοινό εύρος κλάσεων να συγκριθούν. Προφανώς όσο μικρότερος είναι ο λόγος, τόσο οικονομικότερο θα είναι το υλικό, διότι ένας συνδυασμός μικρού κόστους που θα ελαττώσει τον αριθμητή και μεγάλης διαμέτρου που θα αυξήσει στο τετράγωνο τον παρονομαστή, είναι και το επιθυμητό.

Οπότε ο παρακάτω πίνακας, συγκεντρώνει όλες τις κλάσεις και διαμέτρους και περιλαμβάνει όλα τα C/A, καθιστώντας εύκολη τη σύγκριση των υλικών. Στην περίπτωση του χάλυβα παρατίθενται τα C/A μόνο στις κλάσεις του χυτοσίδηρου.

Όπως αναμενόταν, το GRP συγκρινόμενο τόσο με τα πλαστικά, όσο και με τα μέταλλα, προκύπτει να είναι το φθηνότερο υλικό. Μία απευθείας σύγκριση μεταξύ πλαστικών και μεταλλικών υλικών θα γινόταν αν αυτά παράγονταν σε τουλάχιστον μία κοινή κλάση. Όμως τα πλαστικά εκ των πραγμάτων δεν αντέχουν σε μεγάλες κλάσεις, δηλ. στην καλύτερη περίπτωση επιλέγονται 20 atm.

Να σημειωθεί ότι στα πλαστικά, επειδή η ονομαστική διάμετρος τα ταυτίζεται με την εξωτερική, υπολογίστηκε η εσωτερική διάμετρος αφαιρώντας το διπλάσιο του πάχους (τα πάχη μπορούν να αναζητηθούν στην ιστοσελίδα οποιασδήποτε εταιρίας παραγωγής πλαστικών σωλήνων) και στη συνέχεια υπολογίστηκε το εμβαδόν της διατομής.

**Πίνακας 2.19** Το αδιάστατο μέγεθος C/A, κριτήριο σύγκρισης της οικονομικότητας των υλικών σωληνώσεων

Πηγή: Τιμολόγιο Υδραυλικών Έργων ΥΠΕΚΑ, 2013

(επόμενη σελίδα)

Κλάση → Ονομαστική ή Διάμετρος D (mm)	6 atm	10 atm	12-12.5 atm	16 atm	20 atm	25 atm	30-32 atm	40 atm
90	601.43	1,435.34	1,837.13	2108.33	2705.59			
100	575.06	1,274.20	1,758.97	2075.63	2502.38			3806.99
110	575.06	773.48	952.42	1083.70	2348.64			2852.06
125		1,161.71	1,586.45	2105.15	2203.55			
140	512.51	808.20	931.52	1101.11				2257.88
150								
160	523.19	726.66	878.27	1124.26	2103.97			
200	434.85	654.19	839.41	1004.01	2153.28			1750.70
225	422.83	679.73	804.77	995.28	2122.85			
250	460.93	869.70	1,128.22	1696.00	2065.87			1426.03
280	430.11	700.50	858.08	1066.02	2334.75			
300								
315	403.45	692.49	848.83	1015.18	2170.51			1414.71
350	636.88	666.50	681.31	725.75	755.37			745.10
355	397.22	655.44	801.96	970.72	2047.06			888.67
400	389.79	599.82	613.14	653.13	719.78			1195.29
450	401.48	502.22	513.38	546.86	602.67			676.16
500	470.84	492.74	503.69	536.54	591.29			799.80
550								676.16
560								665.24
600	399.21	417.78	427.07	454.92	473.49			669.63
650								848.83
700	371.51	388.79	397.43	423.35	440.63			589.09
750								505.41
800	365.71	382.72	391.22	416.74	433.75			518.39
900	344.72	360.75	368.77	392.82	408.85			510.29
1000	331.23	346.64	354.34	377.45	392.86			556.77
1100	328.04	343.30	350.93	373.82	389.07			510.29
1200	304.16	318.31	325.38	346.60	360.75			481.00
1300	307.76	322.08	329.23	350.71	365.02			462.44
1400	293.30	306.94	313.76	334.23	347.87			457.73
1500	292.00	305.58	312.37	332.74	346.32			424.41
1600	288.72	302.15	308.86	329.00	342.43			429.44
1700	284.17	297.38	303.99	323.82	337.03			409.26
1800	278.82	291.78	298.27	317.72	330.69			407.44
1900	272.99	285.69	292.03	311.08	323.78			402.86
2000	273.75	286.48	292.85	311.94	324.68			396.51
2100	270.02	282.58	288.86	307.70	320.26			389.05
2200	268.66	281.15	287.40	306.14	318.64			381.97
2300	266.50	278.90	285.09	303.69	316.08			376.77
2400	275.65	288.47	294.88	314.11	326.93			374.87
								371.86
								384.62

## 2.7 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΤΗΣ ΙΔΙΑΣ ΚΛΑΣΗΣ

Στο στάδιο αυτό, θεωρήθηκε δόκιμη και μία παράθεση στο ίδιο σύστημα κόστος-διάμετρος ταυτόχρονα των υλικών σωληνώσεων. Επιλέχθηκε για κάθε ομάδα (PE-PVC και Ductile Iron-GRP-Χάλυβας) από μία κοινή κλάση, για τα πλαστικά οι 16 atm και για τα άλλα οι 30 atm. Κλάση που να απαντάται ταυτόχρονα και στα 5 υλικά δεν υπάρχει.

Όσο πιο ψηλά είναι η καμπύλη, τόσο προφανώς ακριβότερο είναι το υλικό, καθώς μεγαλώνουν οι τιμές του άξονα Y που είναι ο άξονας του κόστους ανά μέτρο μήκους.

Έτσι, για την ομάδα Ductile Iron-GRP-Χάλυβας χρησιμοποιήθηκαν από το τιμολόγιο του ΥΠΕΚΑ κατά τα γνωστά τα εξής δεδομένα κλάσης 30 atm (κρίθηκαν όπως φαίνεται σκόπιμες κάποιες στρογγυλοποιήσεις):

**Πίνακας 2.20** Κόστος ανά μέτρο μήκους κλάσης 30 atm για GRP, Ductile Iron και Χάλυβα, 3<sup>η</sup> Κατηγορία

Πηγή: Τιμολόγιο Υδραυλικών Έργων ΥΠΕΚΑ, 2013

GRP	
Ονομαστική Διάμετρος D (mm)	32 atm (≈ 30) Κόστος (€/m)
300	71.25
350	85.50
400	100.50
450	106.50
500	129.00
600	157.50
700	199.50
800	256.50
900	306.00
1000	363.00
1100	435.00
1200	480.00
1300	570.00
1400	630.00
1500	720.00
1600	810.00
1700	900.00
1800	990.00
1900	1,080.00
2000	1,200.00
2100	1,305.00
2200	1,425.00
2300	1,545.00
2400	1,740.00

DUCTILE IRON	
Ονομαστική Διάμετρος D (mm)	30 atm Κόστος (€/m)
100	
125	
150	
200	
250	
300	
350	115.00
400	130.00
450	135.00
500	150.00
600	180.00
700	
800	
900	
1000	
1100	
1200	

ΧΑΛΥΒΑΣ	
Εσωτερική (Ονομαστική) Διάμετρος D (mm)	30 atm Κόστος (€/m)
347.6 ≈ 350	64.17
397.4 ≈ 400	82.51
448.2 ≈ 450	92.94
498 ≈ 500	114.74
548.8 ≈ 550	126.33
597.6 ≈ 600	165.23
649.2 ≈ 650	167.30
700.0	180.28
747.8 ≈ 750	244.53
800.0	235.46
900.4 ≈ 900	289.79
1001.8 ≈ 1000	326.81
1101.8 ≈ 1100	399.97
1201.2 ≈ 1200	496.93
1301.8 ≈ 1300	568.35

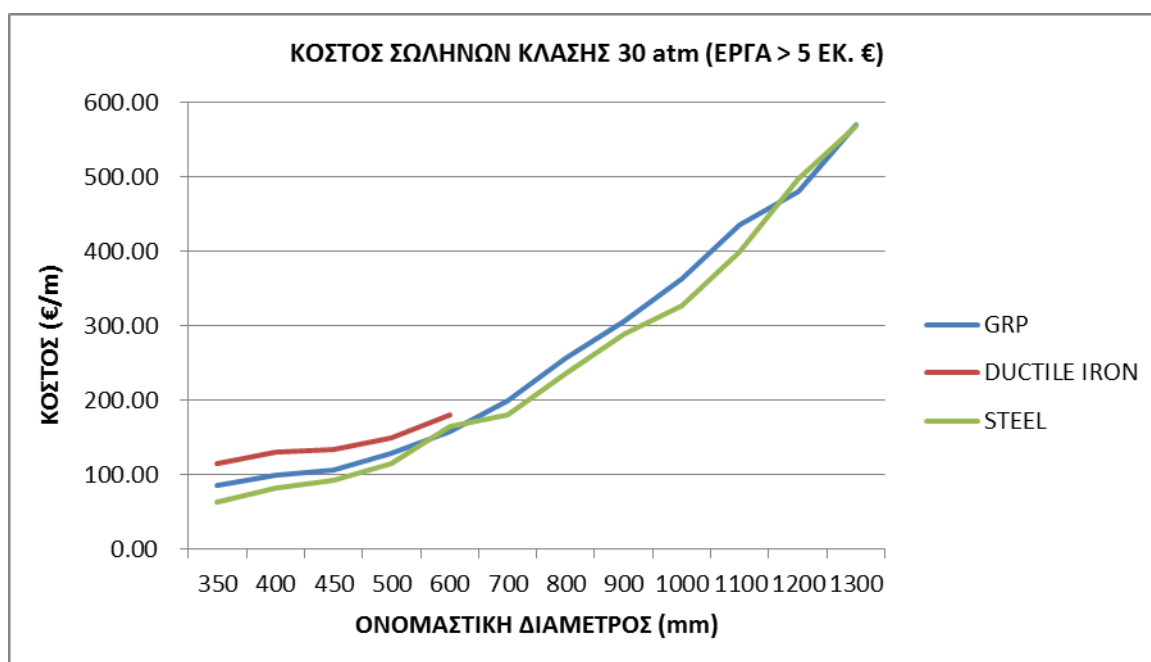
Ο παραπάνω πίνακας συνοψίζεται στον ακόλουθο:

**Πίνακας 2.21** Σύνοψη κόστους ανά μέτρο μήκους κλάσης 30 atm για GRP, Ductile Iron και Χάλυβα, 3<sup>η</sup> Κατηγορία

Πηγή: Τιμολόγιο Υδραυλικών Έργων ΥΠΕΚΑ, 2013

ΣΥΝΟΨΗ			
30 atm			
Όνομαστική Διάμετρος (mm)	Κόστος (€/m)		
	GRP	DUCTILE IRON	STEEL
350	85.50	115.00	64.17
400	100.50	130.00	82.51
450	106.50	135.00	92.94
500	129.00	150.00	114.74
600	157.50	180.00	165.23
700	199.50		180.28
800	256.50		235.46
900	306.00		289.79
1000	363.00		326.81
1100	435.00		399.97
1200	480.00		496.93
1300	570.00		568.35

και απεικονίζεται στην παρακάτω καμπύλη:



**Σχήμα 2.15** GRP, Ductile Iron, Χάλυβας: Καμπύλη κόστους-διαμέτρου κλάσης 30 atm, 3<sup>η</sup> κατηγορία

Τα παραπάνω έρχονται να επιβεβαιώσουν ξανά ότι ο χυτοσίδηρος είναι το ακριβότερο υλικό, ενώ η κάπως ανταγωνιστική σχέση GRP-Χάλυβα εξισορροπείται μετά τη διάμετρο Φ100, με το GRP εντούτοις να είναι εν τέλει και εν γένει φθηνότερο.

Ομοίως για την ομάδα PE-PVC χρησιμοποιήθηκαν από το τιμολόγιο του ΥΠΕΚΑ κατά τα γνωστά τα εξής δεδομένα κλάσης 16 atm:

**Πίνακας 2.22** Κόστος ανά μέτρο μήκους κλάσης 16 atm για HDPE και PVC, 3<sup>η</sup> Κατηγορία  
*Πηγή: Τιμολόγιο Υδραυλικών Έργων ΥΠΕΚΑ, 2013*

PVC	
Όνομαστική Διάμετρος D (mm)	16 atm
	Κόστος (€/m)
50	3.50
63	4.80
75	5.70
90	7.20
110	9.10
140	15.00
160	20.00
200	27.90
225	35.00
280	58.00
315	70.00
355	85.00
400	105.00
450	129.00
500	160.00

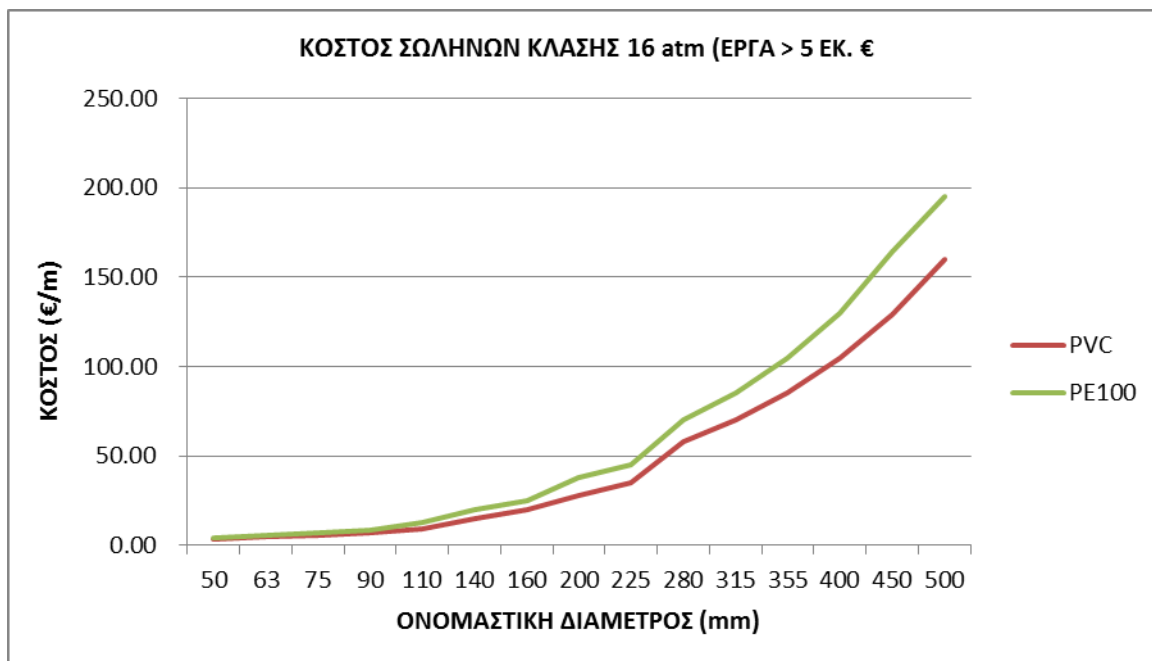
HDPE	
Όνομαστική Διάμετρος D (mm)	16 atm
	Κόστος (€/m)
32	3.00
40	3.70
50	4.50
63	5.60
75	7.00
90	8.80
110	13.00
125	17.00
140	20.00
160	25.00
200	37.90
225	44.90
250	55.00
280	70.00
315	85.00
355	105.00
400	130.00
450	164.00
500	195.00
560	239.00

Ο παραπάνω πίνακας συνοψίζεται στον ακόλουθο:

**Πίνακας 2.23** Σύνοψη κόστους ανά μέτρο μήκους κλάσης 16 atm για HDPE και PVC, 3<sup>η</sup> Κατηγορία  
 Πηγή: Τιμολόγιο Υδραυλικών Έργων ΥΠΕΚΑ, 2013

ΣΥΝΟΨΗ		
16 atm		
Όνομαστική Διάμετρος (mm)	Κόστος (€/m)	
	PVC	PE100
50	3.50	4.50
63	4.80	5.60
75	5.70	7.00
90	7.20	8.80
110	9.10	13.00
140	15.00	20.00
160	20.00	25.00
200	27.90	37.90
225	35.00	44.90
280	58.00	70.00
315	70.00	85.00
355	85.00	105.00
400	105.00	130.00
450	129.00	164.00
500	160.00	195.00

και απεικονίζεται στην παρακάτω καμπύλη:



**Σχήμα 2.16** HDPE, PVC: Καμπύλη κόστους-διαμέτρου κλάσης 16 atm, 3<sup>η</sup> κατηγορία



Τα παραπάνω έρχονται να επιβεβαιώσουν ξανά ότι το PVC είναι φθηνότερο υλικό από το πολυαιθυλένιο σε όλη τη γκάμα των κοινών τους διαμέτρων. Το μειονέκτημα βέβαια του PVC είναι ότι η αντοχή του δεν μπορεί να ξεπεράσει τις 16 atm, ενώ το HDPE μπορεί να εφαρμοστεί μέχρι και τις 25 atm.



# 3

### 3.1 Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ

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). Με την έννοια 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).

Ειδικότερα, 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.

### 3.2 ΕΙΔΗ ΚΑΙ ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ

Παρακάτω αναφέρονται οι μέθοδοι βελτιστοποίησης και η ιστορική τους εξέλιξη, η οποία συνέτρεξε με την ανάπτυξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών (Κατσίμπα, 2009). Ο μεγάλος όγκος υπολογισμών ήταν αδύνατον να επιλυθεί με το χέρι και ως τότε η επίλυση του εκάστοτε προβλήματος ηρκείτο σε διαδοχικές δοκιμές, χωρίς να βρίσκεται η βέλτιστη λύση και εν προκειμένω η οικονομικότερη διαστασιολόγηση του δικτύου.

#### 3.2.1 Ο γραμμικός προγραμματισμός

Ο Dantzig θεωρείται ο πατέρας της θεωρίας του γραμμικού προγραμματισμού. Το 1947 παρουσίασε τη μέθοδο Simplex σε μία προσπάθεια να επιλύσει προβλήματα επιχειρησιακής έρευνας. Αργότερα, σε συνεργασία με τον Hays (Ψωινός, 1989) ανέπτυξαν την αναθεωρημένη μέθοδο Simplex, η οποία αποτελεσματικότερη της απλής μεθόδου και η επικρατέστερη σε εφαρμογή σήμερα. Στην Ελλάδα με το θέμα αυτό ασχολήθηκαν οι: Παυλίδου το 1972, Ξηροκώστας το 1974, Αγραφιώτης το 1999 και άλλοι.

Ο Smith (1966) θεωρείται πρωτοπόρος του γραμμικού προγραμματισμού σε δίκτυα. Μετά την πρώτη εμφάνιση της μεθόδου, έγινε προσπάθεια να συμπεριληφθεί και το κόστος του αντλιοστασίου στο μοντέλο. Με το θέμα αυτό ασχολήθηκαν οι: Karmeli et al. (1968), Robinson and Austin (1976), Alperovits and Shamir (1977). Οι Alperovits and Shamir δημιούργησαν μία

παραλλαγή της μεθόδου, την Linear Programming Gradient, προσθέτοντας στις εως τότε μεταβλητές αποφάσεων που ήταν οι διάμετροι των αγωγών και τα μήκη τους.

Ο γραμμικός προγραμματισμός (πρόγραμμα LINDO) σε δίκτυα υπό πίεση παρουσιάστηκε αναλυτικά και χρησιμοποιήθηκε στην Ελλάδα από τον Ιωαννίδη (1992) και ο ίδιος μαζί με τον Τζιμόπουλο (1997) εφήρμοσαν τη μέθοδο σε περιοχή της Β. Ελλάδος. Αναλυτική παρουσίαση της μεθόδου στην Ελλάδα έγινε επίσης από τον Θεοχάρη (2004). Σήμερα, η μέθοδος βρίσκει εφαρμογή τόσο σε ακτινωτά όσο και σε βροχοειδούς μορφής δίκτυα.

### **3.2.2 Ο μη γραμμικός προγραμματισμός**

Ο Νουτσόπουλος (1969) παρουσίασε για πρώτη φορά στην Ελλάδα τη μέθοδο του μη γραμμικού προγραμματισμού για ακτινωτά δίκτυα βαρύτητας. Το 1973 οι Swamee et. al. επέκτεινε 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.

### **3.2.3 Ο δυναμικός προγραμματισμός**

Πρόκειται για μία μέθοδο βελτιστοποίησης βασιζόμενη στην αρχή των Bellman and Dreyfous (1962) ότι η βέλτιστη λύση σε ένα πρόβλημα ευρίσκεται με τη λήψη μιας αλληλουχίας αποφάσεων. Στο πεδίο των αστικών δικτύων ο δυναμικός προγραμματισμός πρωτοεμφανίστηκε το 1971 από τον Liang, ενώ το 1975 οι Yang et al. Εφήρμοσαν τη μέθοδο σε δίκτυα με διακλαδώσεις. Ο Yakowitz (1982) σε εργασία του περιγράφει και κατατάσσει αναλυτικά προβλήματα που επιλύονται με δυναμικό προγραμματισμό.

### **3.2.4 Η ασυνεχής μέθοδος του Labye**

Η μέθοδος αυτή εφαρμόστηκε από τον Γάλλο μηχανικό Labye το 1964 στη διδακτορική του διατριβή. 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. Οι Λειβαδίτης (1972), Τζιμόπουλος το 1991 και Θεοχάρης το 2004 παρουσίασαν τη μέθοδο αυτή αναλυτικά στην Ελλάδα.

## **3.3 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ**

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 (decision variables).

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 (decision space). Ο χώρος αποφάσεων μπορεί να είναι συνεχής, αν οι μεταβλητές απόφασης είναι συνεχείς, συνήθως πραγματικοί αριθμοί, ή διακριτός αν αυτές παίρνουν διακριτές τιμές και απεικονίζονται ως σημεία στο χώρο αυτό (Ναλμπάντης, 2007)

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) και ακολούθως εφικτή χαρακτηρίζεται η αντίστοιχη περιοχή – τμήμα του χώρου αποφάσεων (feasible region).

Σε αυτό τον χώρο εφικτών αποφάσεων, σκοπός είναι να επιλεγεί η καλύτερη (εφικτή) απόφαση. Γι' αυτό ορίζεται η συνάρτηση στόχου ή κριτήριο απόφασης ή κριτήριο βελτιστοποίησης. Πρόκειται για μια σχέση συναρτησιακής μορφής με ανεξάρτητες μεταβλητές  $X_j$  τις μεταβλητές απόφασης και εξαρτημένη μεταβλητή  $f(X)$  το κριτήριο βελτιστοποίησης, δηλαδή το μέγεθος που είναι επιθυμητό να ελαχιστοποιηθεί ( $\min f(X)$ ) ή να μεγιστοποιηθεί ( $\max f(X)$ ) και να υπαγορεύσει τη λήψη της καλύτερης απόφασης.

### 3.4 Ο ΓΡΑΜΜΙΚΟΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ

Στην ενότητα αυτή γίνεται εκτενής ανάλυση σε ό,τι αφορά τον γραμμικό προγραμματισμό, καθώς αυτός ως εφαρμοζόμενη μεθοδολογία χρησιμοποιείται στην παρούσα διπλωματική. Η ανάλυση αυτή αφορά τόσο στη φυσική του σημασία όσο και στη μαθηματική του υπόσταση.

#### 3.4.1 Γενικά

Ο γραμμικός προγραμματισμός (linear programming) είναι ίσως η δημοφιλέστερη μέθοδος βελτιστοποίησης. Επιλύει υπό προϋποθέσεις το πρόβλημα της κατανομής περιορισμένων πόρων ή μέσων μεταξύ διάφορων ανταγωνιστικών και εναλλακτικών δραστηριοτήτων. Δίνει δηλαδή την απάντηση στο πρόβλημα κατανομής της στάθμης των δραστηριοτήτων με τρόπο τινά ώστε αφενός να ικανοποιούνται οι διάφοροι φύσεων περιορισμοί, αφετέρου να επιτυγχάνεται η βελτιστοποίηση του τελικού αποτελέσματος (Ξηροκώστας, 1999).

Ο γραμμικός προγραμματισμός εφαρμόζεται σε ένα ευρύτατο πεδίο επιστημών. Από την εθνική οικονομία ως τις μικρές ιδιωτικές επιχειρήσεις, χρησιμοποιείται για την επίλυση προβλημάτων:

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

Είναι από τις λίγες μαθηματικές τεχνικές που πολύ σύντομα μετά την ανακάλυψή της επεκτάθηκε δραστικά σε τόσες επιστημονικές περιοχές βρίσκοντας ευρεία αποδοχή χάρη στο ισχυρό και εμπειριστατωμένο θεωρητικό του υπόβαθρο και την άμεση αποτελεσματικότητά του.

Και η έννοια αποτελεσματικότητα έγκειται στην επίτευξη του επιθυμητού αποτελέσματος που είναι η εκάστοτε μεγιστοποίηση ή ελαχιστοποίηση του κέρδους (στις πωλήσεις, στην απασχόληση κτλ.) ή του κόστους (στην παραγωγή, στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις κτλ.) αντίστοιχα στην οικονομική μονάδα.

Σε κάθε πρόβλημα βελτιστοποίησης, επομένως και σε κάθε πρόβλημα που είναι επιλύσιμο με γραμμικό προγραμματισμό, υπάρχουν όπως αναφέρθηκε παραπάνω διάφοροι περιορισμοί. Αυτοί μπορεί να είναι (Ναλμπάντης, 2007):

- Φυσικοί περιορισμοί, να απορρέουν δηλ. από φυσικούς νόμους.
- Τεχνολογικοί περιορισμοί, να εξαρτώνται δηλ. από την υπάρχουσα τεχνολογία.
- Οικονομικοί και κοινωνικοί περιορισμοί, να απορρέουν από χρονικά και χωρικά όρια που θέτει μία κοινωνία με πεπερασμένες οικονομικές δυνατότητες.
- Περιβαλλοντικοί περιορισμοί, με σκοπό την αποφυγή υποβάθμισης του περιβάλλοντος.

Ο ρόλος των περιορισμών δεν είναι τόσο να καθορίζουν αυστηρά ένα μονοδιάστατο τρόπο δράσης, όσο να αφήνουν περιθώρια για περισσότερες από μία εναλλακτικές λύσεις. Από αυτές τις εναλλακτικές λύσεις θα επιλεγεί εκείνη που θα ικανοποιήσει με τον καλύτερο τρόπο τη μεγιστοποίηση του κέρδους ή ελαχιστοποίηση του κόστους ή κατά γενίκευση, του κριτηρίου επιλογής (Ξηροκώστας, 1999).

### 3.4.2 Μαθηματικοί ορισμοί

Το επίθετο «γραμμικός» στον γραμμικό προγραμματισμό χρησιμοποιείται διότι όλες οι μαθηματικές σχέσεις του προβλήματος είναι γραμμικές. Όταν ο στόχος του προβλήματος είναι απλός, υπάρχει μία συνάρτηση στόχου ή κριτήριο απόφασης ή κριτήριο βελτιστοποίησης που πρόκειται να μεγιστοποιηθεί ή να ελαχιστοποιηθεί και ο γραμμικός προγραμματισμός είναι μονοκριτηριακός. Πολυκριτηριακός είναι στην περίπτωση πιο περίπλοκων προβλημάτων όπου τίθενται πολλαπλά κριτήρια απόφασης και η συνάρτηση στόχου είναι διανυσματικής μορφής. Στον μονοκριτηριακό γραμμικό προγραμματισμό, το μοντέλο του προβλήματος έχει ως εξής (Ναλμπάντης, 2007 · Κολέτσος, 2006):

- Η συνάρτηση στόχου είναι γραμμική συνάρτηση των μεταβλητών απόφασης  $x_j$ , της μορφής

$$z = [\max] \text{ or } [\min] f(x) = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n,$$

όπου:

$c_j$ , ο συντελεστής της συνάρτησης στόχου της μεταβλητής  $j$  ( $j = 1, 2, \dots, n$ )

- Οι περιορισμοί που επιβάλλονται στις μεταβλητές απόφασης  $x_j$ , είναι γραμμικοί με τη μορφή ανισοεξισώσεων:

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \geq, =, \leq b_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \geq, =, \leq b_2$$

...

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n \geq, =, \leq b_m$$

$$\text{και } x_j \geq 0$$

όπου:

$b_i$ , στο δεξιό μέλος ο συντελεστής του περιορισμού  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ )

$a_{ij}$ , ο τεχνολογικός συντελεστής της μεταβλητής  $j$  ( $j = 1, 2, \dots, n$ ) στον περιορισμό  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ )

Στην πρότυπη μορφή το μοντέλο του γενικού προβλήματος διατυπώνεται ως εξής:

Συνάρτηση στόχου:  $z = [\max] \text{ or } [\min] f(x) = c^T x$

Υπό τους περιορισμούς:  $Ax \geq, =, \leq b$  και  $x \geq 0$

Όπου:

$c^T$ , η μήτρα των συντελεστών  $c_j$  της συνάρτησης στόχου σε ανάστροφη μορφή διαστάσεων  $(1 \times n)$  και  $x$ , η μήτρα των μεταβλητών απόφασης  $x_j$  διαστάσεων  $(n \times 1)$ , που είναι και το τελικό ζητούμενο  $A$ , η μήτρα των συντελεστών  $a_{ij}$  διαστάσεων  $(m \times n)$

$b$ , η μήτρα των συντελεστών περιορισμού  $b_i$  διαστάσεων  $(m \times 1)$

$0$ , ένα διάνυσμα με  $n$  μηδενικά στοιχεία διαστάσεων  $(n \times 1)$ , που δεσμεύει τη μη αρνητικότητα των μεταβλητών  $x_j$

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mn} \end{bmatrix} \quad b = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_m \end{bmatrix} \quad x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} \quad c = \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ \vdots \\ c_n \end{bmatrix}$$

### 3.4.3 Βασικές υποθέσεις

Για να ευσταθεί ένα πρόβλημα γραμμικού προγραμματισμού πρέπει όλες οι μαθηματικές σχέσεις να είναι γραμμικές ως προς τις μεταβλητές. Όταν εμφανιστεί ένα οποιοδήποτε πρόβλημα θα πρέπει να εξεταστούν κάποιες παραδοχές ώστε να διαπιστωθεί αν μπορεί να εφαρμοστεί ικανοποιητικά η μέθοδος. Αυτές είναι (Κολέτσος, 2006):

- Η αναλογικότητα ή γραμμικότητα. Βάσει αυτής, κάθε μεταβλητή συνεισφέρει στη συνάρτηση στόχου ευθέως ανάλογα της τιμής της. Στην αντίθετη περίπτωση το πρόβλημα υπάγεται στο πεδίο του μη γραμμικού προγραμματισμού.
- Η προσθετικότητα. Βάσει αυτής, η συνάρτηση στόχου είναι το άθροισμα των συνεισφορών των μεταβλητών απόφασης. Με το ίδιο σκεπτικό η αριστερή πλευρά κάθε περιορισμού είναι και πρέπει να είναι το άθροισμα των διαθέσιμων πόρων που χρησιμοποιούνται σε κάθε μεταβλητή.
- Η διαιρετότητα. Βάσει αυτής, οι μεταβλητές απόφασης διαιρούνται δυνητικά όσες φορές χρειαστεί ώστε ακόμα κι αν προκύψουν μη ακέραιες (και μη αρνητικές) τιμές, η λύση να είναι αποδεκτή. Όταν οι μεταβλητές δεσμεύονται να πάρουν μόνο ακέραιες τιμές (π.χ. αριθμός εργατών, αποδοχή ή όχι μιας άποψης κτλ), πρόκειται για πρόβλημα ακέραιου γραμμικού προγραμματισμού. Όταν δεν υπάρχει αυτή η δέσμευση για τις μεταβλητές (π.χ. μονάδες μήκους, μάζας κτλ.), πρόκειται για πρόβλημα μεικτού γραμμικού προγραμματισμού.

- Η προσδιοριστικότητα ή βεβαιότητα. Βάσει αυτής, όλες οι τιμές  $a_{ij}$ ,  $b_i$ ,  $c_j$  είναι γνωστές σταθερές με απόλυτη βεβαιότητα. Αν δεν ισχύει αυτό απολύτως, οι μεταβλητές ακολουθούν τους νόμους της στατιστικής και ο προγραμματισμός είναι στοχαστικός (stochastic linear programming). Αν επίσης κάποιοι συντελεστές είναι κατά προσέγγιση γνωστοί, ανήκουν δηλαδή ασαφώς σε διαστήματα τιμών, το πρόβλημα εμπίπτει στον ασαφή προγραμματισμό (fuzzy linear programming).

Σε κάθε περίπτωση, μετά την εύρεση της βέλτιστης λύσης, για να διαπιστωθεί η εγκυρότητα των φαινομενικά βέλτων παραμέτρων του μοντέλου, ενδείκνυται να γίνει μία ανάλυση ευαισθησίας. Σε προβλήματα βελτιστοποίησης από την ανάλυση ευαισθησίας ως προς τις παραμέτρους και τους περιορισμούς προκύπτει διαφορετική λύση. Επομένως είναι αναγκαίο το μοντέλο να έχει μία ευστάθεια.

#### 3.4.4 Η μέθοδος Simplex

Η μέθοδος Simplex είναι η πλέον γνωστή μέθοδος επίλυσης ενός γραμμικού προβλήματος. Αναπτύχθηκε από τον George Dantzig. Η μέθοδος αυτή αποτελεί μια αλγεβρική επαναληπτική διαδικασία η οποία επιλύει με ακρίβεια ένα πρόβλημα γραμμικού προγραμματισμού, σε ένα πεπερασμένο πλήθος βημάτων. Η επίλυση στο χέρι αποτελεί ιδιαίτερα χρονοβόρα διαδικασία και απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή λόγω των πολλών αριθμητικών πράξεων.

#### 3.4.5 Παράδειγμα αναφοράς

Στο σημείο αυτό παρατίθεται ένα ζητούμενο το οποίο επιλύεται με γραμμικό προγραμματισμό, για την καλύτερη κατανόηση της μεθόδου. Πρόκειται για μια χαρακτηριστική περίπτωση αναζήτησης της επικερδέστερης σύνθεσης προϊόντων (Ξηροκόστας, 1999)

##### *Ζητούμενο*

Μια βιομηχανία αποφασίζει τη διακοπή της παραγωγής ενός από τα προϊόντα της, που πλέον δεν είναι επικερδές. Ως αποτέλεσμα, η παραγωγική ικανότητα αποδεδεσμεύεται και η διεύθυνση σκέφτεται να διαθέσει την πλεονάζουσα αυτή παραγωγική ικανότητα για την παραγωγή ενός ή περισσότερων εκ των τριών νέων προϊόντων 1, 2 και 3. Η διαθέσιμη παραγωγική ικανότητα των μηχανών της επιχείρησης έχει ως εξής:

Μηχανή	Παραγωγική ικανότητα (ώρες/εβδ.)
1	200
2	100
3	50

Οι μηχανώρες που απαιτούνται για κάθε μονάδα προϊόντος έχουν ως εξής:



Μηχανή	Προϊόν		
	1	2	3
1	8	2	3
2	4	3	-
3	2	-	1

Το τμήμα πωλήσεων εκτιμά ότι η δυνατότητα πωλήσεων για τα προϊόντα 1 και 2 ξεπερνά τις ποσότητες που μπορούν να παραχθούν, ενώ για το προϊόν 3 είναι 20 μονάδες/εβδομάδα. Το κέρδος ανά μονάδα προβλέπεται να είναι 20, 6 και 8 € για τα προϊόντα 1, 2 και 3 αντίστοιχα.

Το αντικείμενο απόφασης είναι επομένως ποιά ποσότητα πρέπει να παραχθεί από κάθε προϊόν, ώστε η επιχείρηση εξαντλώντας τη μέγιστη παραγωγικότητά της, να μεγιστοποιήσει το κέρδος της. Την απάντηση δίνει η κατάστρωση ενός μοντέλου γραμμικού προγραμματισμού.

*Βήμα 1<sup>ο</sup>: Ορισμός μεταβλητών απόφασης*

Οι ως άνω ποσότητες θα καθορίσουν τη φύση της απόφασης, επομένως κάθε μία ποσότητα από κάθε προϊόν αποτελεί και μία μεταβλητή απόφασης. Έστω επομένως  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$  οι ποσότητες από τα προϊόντα 1, 2 και 3 αντίστοιχα.

*Βήμα 2<sup>ο</sup>: Καθορισμός συνάρτησης στόχου*

Σκοπός της επιχείρησης είναι να μεγιστοποιήσει το κέρδος της, επομένως η γραμμική σχέση αυτού με τις μεταβλητές απόφασης είναι:

$$\max z = 20X_1 + 6X_2 + 8X_3$$

*Βήμα 3<sup>ο</sup>: Καθορισμός των περιορισμών*

Η συνάρτηση στόχου στη διαδικασία μεγιστοποίησής της περιορίζεται από τις συνθήκες που επιβάλλει το πρόβλημα. Εν προκειμένω αυτές αφορούν στην παραγωγική ικανότητα των μηχανών σε μηχανώρες/εβδομάδα και στις πωλήσεις των προϊόντων (τεχνολογικοί περιορισμοί). Θα πρέπει επίσης να ληφθεί υπ'όψιν ότι επειδή πρόκειται για φυσικά μεγέθη, οι μεταβλητές απόφασης δεν πρέπει να είναι αρνητικές (φυσικοί περιορισμοί). Επομένως είναι:

$$(Μηχανή 1) \quad 8X_1 + 2X_2 + 3X_3 \leq 200 \quad [1]$$

$$(Μηχανή 2) \quad 4X_1 + 3X_2 \leq 100 \quad [2]$$

$$(Μηχανή 3) \quad 2X_1 + X_3 \leq 50 \quad [3]$$

$$(Πωλήσεις) \quad X_3 \leq 20 \quad [4]$$

$$(Μη αρνητικότητα) \quad X_1 \geq 0 \quad [5]$$

$$X_2 \geq 0 \quad [6]$$

$$X_3 \geq 0 \quad [7]$$

Σε συμπυκνωμένη μορφή πινάκων, οι ανισότητες γράφονται:

$$A = \begin{bmatrix} 8 & 2 & 3 \\ 4 & 3 & 0 \\ 2 & 0 & 3 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad b = \begin{bmatrix} 200 \\ 100 \\ 50 \\ 20 \end{bmatrix} \quad X = \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \end{bmatrix} \quad c = \begin{bmatrix} 20 \\ 6 \\ 8 \end{bmatrix}$$

Όπου η μητρική διατύπωση είναι:

$$c^T X = [\max] f(X)$$

$$AX \leq b$$

$$X \geq 0$$

Απλές εξισώσεις όπως οι παραπάνω απαιτούν μικρή υπολογιστική ισχύ και μπορούν με προσοχή να επιλυθούν στο χέρι. Επειδή όμως τα περισσότερα ζητήματα βελτιστοποίησης είναι πολύ πιο περίπλοκα, χρησιμοποιούνται λογισμικά επίλυσης (π.χ. Lingo) που δίνουν τη βέλτιστη λύση μέσα σε λίγα δευτερόλεπτα.

### 3.5 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΓΡΑΜΜΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ ΣΕ ΑΚΤΙΝΩΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζεται η μεθοδολογία του γραμμικού προγραμματισμού με σκοπό την οικονομοτεχνική βελτιστοποίηση ακτινωτών δικτύων βαρύτητας.

#### 3.5.1 Γενικά

Όπως προαναφέρθηκε, βελτιστοποίηση ενός δικτύου μεταφοράς νερού, είναι η εύρεση του βέλτιστου οικονομοτεχνικά συνδυασμού διαμέτρων των αγωγών βάσει προκαθορισμένων προδιαγραφών λειτουργίας του δικτύου. Η διαδικασία αυτή έπεται της χάραξης του δικτύου και του υπολογισμού των παροχών σχεδιασμού. Αυτό σημαίνει ότι θα πρέπει κανείς να έχει στη διάθεσή του τα εξής δεδομένα:

- Παροχή σχεδιασμού σε όλους τους κλάδους του δικτύου.

Κάθε κλάδος ενώνει έναν ανάντη κόμβο με έναν κατόντη. Μέρος της παροχής καταναλώνεται κατά μήκος του κλάδου (παροχή κατανάλωσης) και το υπόλοιπο καταναλώνεται από τους κατόντη 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 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). Συνηθίζεται να λαμβάνονται υπόψη και οι τοπικές απώλειες φορτίου της τάξης του 10% των γραμμικών απωλειών (Τσακίρης, 2006)

### 3.5.2 Ακτινωτό δίκτυο βαρύτητας

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.

### 3.5.3 Ζητούμενα, δεδομένα και περιορισμοί στην περίπτωση ακτινωτού δικτύου βαρύτητας

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.

Τα δεδομένα, όπως αναφέρθηκαν στο 3.5.1 είναι:

- Παροχή σχεδιασμού σε όλους τους κλάδους του δικτύου
- Χάραξη του δικτύου σε οριζοντιογραφία
- Ελάχιστη πιεζομετρική στάθμη υδροληψίας
- Φυσικά και εμπορικά χαρακτηριστικά των υποψήφιων υλικών των αγωγών
- Τα υψόμετρα εδάφους Z των κόμβων του δικτύου.

Οι περιορισμοί που τίθενται είναι (Τσακίρης, 2006):

- 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.

### 3.5.4 Διατύπωση του προβλήματος

Έστω ακτινωτό δίκτυο βαρύτητας  $m$  κλάδων, στο οποίο έχει προεπιλεχθεί ενιαίο υλικό σωληνώσεων και ενιαία κλάση αγωγών πριν από τη βελτιστοποίηση. Το κόστος των σωληνώσεων περιλαμβάνει το κόστος αγοράς, μεταφοράς στο εργοτάξιο, εκσκαφής, διάστρωσης, σύνδεσης, επίχωσης, καθώς και το κόστος των 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

Οι ως άνω διάμετροι θα καθορίσουν την απόφαση, επομένως κάθε μία διάμετρος αποτελεί και μία μεταβλητή απόφασης  $X$ . Εδώ όμως τίθενται δύο ζητήματα:

1<sup>ο</sup>, 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 – διαμέτρου δεν είναι ευθέως ανάλογη, διότι εισχωρεί ο παράγοντας του μήκους που δεν είναι προκαθορισμένος. Η σχέση όμως κόστους – μήκους είναι ευθέως ανάλογη και αυτό θα αξιοποιηθεί στη συνέχεια.

2<sup>ο</sup>, οι γραμμικές απώλειες φορτίου εξαρτώνται μη γραμμικά από τις διαμέτρους, οι οποίες όπως προελέχθη, συνήθως διαφοροποιούνται από κλάδο σε κλάδο ή ακόμα και κατά μήκος ενός κλάδου. Ωστόσο, οι γραμμικές απώλειες είναι γραμμικώς συσχετισμένες με τη μήκος.

Τα παραπάνω συνηγορούν στο ότι καθώς πρόκειται για γραμμικό προγραμματισμό θα πρέπει η σχέση συνάρτησης στόχου (κόστος) και μεταβλητών απόφασης (διάμετροι) να γραμμικοποιηθεί. Γι'αυτό κάθε μήκος σωλήνωσης σε συγκεκριμένο κλάδο που αντιστοιχεί αμφιμονοσήμαντα σε διαφορετική διάμετρο, θεωρείται μία μεταβλητή απόφασης.

Έτσι τελικά οι μεταβλητές απόφασης είναι τα διάφορα μήκη σωληνώσεων  $X_1, X_2, \dots, X_n$ .

#### Καθορισμός συνάρτησης στόχου

Όπως προελέχθη, κριτήριο της απόφασης που πρέπει να ελαχιστοποιηθεί είναι το συνολικό κόστος του δικτύου, οπότε η συνάρτηση στόχου  $z$ , είναι:

$$z = [\min] f(X) = c_1X_1 + c_2X_2 + \dots + c_nX_n,$$

Όπου:

$X_j$ : τα μήκη των σωληνώσεων σε μέτρα ( $m$ ) ( $j = 1, 2, \dots, n$ )

$c_j$ : το κόστος ανά μέτρο μήκους σωλήνωσης σε ευρώ ανά μέτρο ( $\text{€/m}$ ) ( $j = 1, 2, \dots, n$ ).

### Καθορισμός των περιορισμών

Η συνάρτηση στόχου στη διαδικασία μεγιστοποίησής της περιορίζεται από τις συνθήκες που επιβάλλει το πρόβλημα. Εν προκειμένω αυτές 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:

$$\begin{aligned}X_1 + X_2 + \dots + X_k &= L_1 \\X_{k+1} + X_{k+2} + \dots + X_{\dots} &= L_2 \\&\dots \\X_{\dots} + X_{\dots+1} + \dots + X_n &= L_m\end{aligned}$$

Όπου:

$X_j$ : τα μήκη των σωληνώσεων σε μέτρα (m) ( $j = 1, 2, \dots, n$ )

$L_i$ : τα μήκη των κλάδων σε μέτρα (m) ( $i = 1, 2, \dots, m$ ).

- Περιορισμοί απωλειών φορτίου. Σε καμία περίπτωση δεν θα πρέπει οι απώλειες ενέργειας να είναι μεγαλύτερες από την υψομετρική διαφορά δεξαμενής – κόμβου. Ξεκινώντας από τα ανάντη προς τα κατόντη και αριθμίζοντας τους κόμβους από 0 ως  $m$ , είναι:

$$\begin{aligned}\sum h_{f(0 \rightarrow 1)} &\leq Z_0 - Z_1 \\ \sum h_{f(0 \rightarrow 2)} &\leq Z_0 - Z_2 \\ &\dots \\ \sum h_{f(0 \rightarrow m)} &\leq Z_0 - Z_m\end{aligned}$$

Όπου:

$\sum h_{f(0 \rightarrow i)}$ , οι γραμμικές απώλειες φορτίου (προσαύξηση τοπικών απωλειών αμελητέα) κατά μήκος του κλάδου  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ ) εκπεφρασμένες συναρτήσει των μήκων σωλήνωσης  $X_j$   $Z_{i-1}$ , το υψόμετρο εδάφους στους κόμβους σε μέτρα (m) ( $i = 1, 2, \dots, m$ )

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

$$X_j \geq 0$$

Όπου:

$X_j$ : τα μήκη των σωληνώσεων σε μέτρα (m) ( $j = 1, 2, \dots, n$ ).

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

$$c^T X = [\max] f(X)$$

$$S X \leq h$$

$$A X = L$$

$$X \geq 0$$

Όπου:

$c^T$ , η μήτρα με τα κόστη  $c_j$  της συνάρτησης στόχου σε ανάστροφη μορφή διαστάσεων (1x $n$ ) σε €/m

$X$ , η μήτρα με τα επιμέρους μήκη σωλήνωσης  $X_j$  διαστάσεων ( $n \times 1$ ) σε m

$S$ , η μήτρα με τις γραμμικές απώλειες ανά μέτρο μήκους σε κάθε κλάδο  $S_{ij}$  διαστάσεων ( $m \times n$ )

$h$ , η μήτρα με τα επιτρεπόμενα ύψη απωλειών φορτίου  $h_{fi}$  διαστάσεων ( $m \times 1$ ) σε m

$A$ , μια μήτρα με τα στοιχεία 0 ή 1 διαστάσεων ( $m \times n$ )

$L$ , η μήτρα με τα μήκη όλων των κλάδων του δικτύου  $L_i$  διαστάσεων ( $m \times 1$ )

$O$ , ένα διάνυσμα με  $n$  μηδενικά στοιχεία διαστάσεων ( $n \times 1$ ), που δεσμεύει τη μη αρνητικότητα των μεταβλητών  $X_j$

### 3.5.5 Αλγόριθμος επίλυσης του προβλήματος

Μετά τη μαθηματική διατύπωση του προβλήματος, ακολουθεί η διαδικασία επίλυσης. Υποτίθεται ότι είναι γνωστό το μήκος  $L_i$  και η παροχή  $Q_i$  (σταθερή) του κάθε κλάδου του θεωρητικού ακτινωτού δικτύου βαρύτητας που εξετάζεται.

#### Βήμα 1<sup>ο</sup>: Ορισμός των μεταβλητών απόφασης $X_j$

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

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi V}}$$

Έτσι 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  $D_{\min}$ , διότι η ταχύτητα είναι αντιστρόφως ανάλογη του τετραγώνου της διαμέτρου. Οι περιορισμοί των ταχυτήτων αναφέρονται στη μέγιστη επιτρεπτή ταχύτητα των 1.5 για την αποφυγή υδραυλικού πλήγματος και στην ελάχιστη επιτρεπτή ταχύτητα των 0.5 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 διάμετροι μπορεί να είναι εσωτερικές ή εξωτερικές. Αν είναι εσωτερικές χρησιμοποιούνται ως έχουν, στην περίπτωση όπου για παράδειγμα ο αγωγός είναι από χάλυβα ή χυτοσίδηρο, ενώ αν είναι εξωτερικές, όπως για παράδειγμα στους πλαστικούς αγωγούς, αφαιρείται κάθε φορά το διπλάσιο του πάχους τους για να βρεθούν οι εσωτερικές, δηλαδή:

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

Όπου:

$D_{\text{εσωτ.}}$ , η εσωτερική διάμετρος που θα χρησιμοποιηθεί στους υδραυλικούς υπολογισμούς (mm)

$D_{\text{εξωτ.}}$ , η εξωτερική διάμετρος όπως αυτή αναγράφεται στην εμπορική της ονομασία (mm)

d, το πάχος ενός σωλήνα με την επονομαζόμενη εξωτερική διάμετρο (mm)

Οι υποψήφιες αυτές διαμέτροι που καταλαμβάνουν τμήμα  $X_i$  του μήκους του κλάδου, διατάσσονται σε αύξουσα σειρά και αριθμούνται διαδοχικά από τον πρώτο ως τον τελευταίο κατάντη κλάδο ( $X_1, X_2 \dots$  κτλ). Προφανώς η επανεμφάνιση της ίδιας διαμέτρου σε άλλον κλάδο δεν υπαγορεύει την ίδια αρίθμηση στην αντίστοιχη μεταβλητή  $X_i$  (Τσακίρης, 2006).

Γενικά η ελάχιστη ονομαστική διάμετρος που επιτρέπεται να έχει ένας κλάδος είναι 90 mm (Τσακίρης, 2006). Έτσι, αν από τους υπολογισμούς προκύψει σε κάποιον κλάδο άνω όριο ονομαστικών διαμέτρων μικρότερο από 90 mm, επιλέγεται  $D = 90$  mm μονοσήμαντα χωρίς να εισχωρήσουν άλλες μεταβλητές απόφασης, ενώ ταυτόχρονα ελαχιστοποιείται εκ των πραγμάτων το κόστος του εν λόγω κλάδου.

Έτσι τελικά, γνωρίζοντας τις μεταβλητές απόφασης και τα κόστη ανά διάμετρο και κλάση, μπορεί καταρχάς να διατυπωθεί η συνάρτηση στόχου. 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 2<sup>ο</sup>: Υπολογισμός απωλειών φορτίου ανά μήκος ( $h_f$ ) και ανά μέτρο μήκους ( $S$ )

Χρησιμοποιώντας τις υποψήφιες τυποποιημένες εσωτερικές διαμέτρους  $D'$ , επανεκλέγονται οι ταχύτητες ροής  $V'$ :

$$V' = \frac{4Q}{\pi D'^2}$$

, καθώς επίσης και ο αριθμός Reynolds:

$$Re = \frac{V' D'}{\nu}$$

Όπου:

$D'$ , η εσωτερική διάμετρος εμπορίου (mm)

$V'$ , οι ταχύτητες ροής με χρήση των  $D'$  (m/s)

$Q$ , η παροχή στον κάθε κλάδο ( $m^3/s$ )

$Re$ , ο αριθμός Reynolds (αδιάστατος)

$\nu$ , η κινηματική συνεκτικότητα του ρευστού ( $m/s^2$ )

Στη συνέχεια υπολογίζεται ο συντελεστής τριβής  $f$  κατά Swamee & Jain:

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

Όπου:

f, ο συντελεστής τριβής (αδιάστατος)

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

Κατόπιν υπολογίζεται η αντίσταση του αγωγού R:

$$R = \frac{8fL}{g\pi^2 D^5}$$

Όπου:

R, η αντίσταση του αγωγού ( $s^2/m^5$ )

f, ο συντελεστής τριβής (αδιάστατος)

L, το μήκος του κλάδου (m)

g, η επιτάχυνση της βαρύτητας, 9.81 ( $m/s^2$ )

$\pi$ , ο άρρητος αριθμός 3.141592654

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

$$\Sigma h_f = RQ^2$$

Όπου:

$\Sigma h_f$ , το συνολικό ύψος απωλειών στον κλάδο (m)

Q, η παροχή στον κάθε κλάδο ( $m^3/s$ )

R, η αντίσταση του αγωγού ( $s^2/m^5$ )

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.

Όπως είναι εμφανές, στον υπολογισμό των γραμμικών απωλειών, υπεισέρχεται το μήκος σωλήνωσης. Επομένως από τη στιγμή που κάθε μήκος σωλήνωσης με διαφορετική διάμετρο ελήφθη ως μεταβλητή απόφασης  $X_i$ , το συνολικό ύψος απωλειών είναι κάθε φορά ανάλογο του ή των  $X_i$ . Γι'αυτό χρησιμοποιούνται οι απώλειες ανά μέτρο μήκους ή κλίση απωλειών φορτίου S που είναι:

$$S = \frac{\Sigma hf}{L}$$



Όπου:

$S$ , η κλίση απωλειών φορτίου  $S$  (m/m)

$\Sigma h_f$ , το συνολικό ύψος απωλειών στον κλάδο (m)

$L$ , το μήκος του κλάδου (m)

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

$$\Sigma h_{f(0 \rightarrow 1)} = S_1 X_1 + S_2 X_2 + \dots + S_k X_k$$

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

$$\Sigma h_{f(1 \rightarrow 2)} = S_{k+1} X_{k+1} + S_{k+2} X_{k+2} + \dots + S_{k+p} X_{k+p} \text{ κ.ο.κ}$$

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

$$\Sigma h_{f(m-1 \rightarrow m)} = S_{\dots} X_{\dots} + S_{\dots+1} X_{\dots+1} + \dots + S_m X_m$$

Προφανώς αν κάποιος κλάδος διαστασιολογείται μονοσήμαντα με  $D = 90$  mm οι απώλειες του είναι γνωστές και ανεξάρτητες από τη διαδικασία βελτιστοποίησης.

Εκείνο που πρέπει να εξασφαλιστεί είναι στον κόμβο πέρατος  $i$  το υψόμετρο της πιεζομετρικής γραμμής να είναι τουλάχιστον ίσο με το υψόμετρο εδάφους του εν λόγω κόμβου, αυξημένο κατά ένα διάστημα ασφαλείας  $\delta$ , η τιμή του οποίου εξαρτάται από την απαίτηση της γραμμής ύδρευσης, δηλαδή:

$$H_{i-1} \geq Z_{i-1} + \delta$$

$$\Leftrightarrow$$

$$H_0 - \Sigma h_{f(0 \rightarrow i-1)} \geq Z_{i-1} + \delta$$

$$(H_0 \equiv Z_0)$$

$$\Leftrightarrow$$

$$\Sigma h_{f(0 \rightarrow i-1)} \leq Z_0 - Z_{i-1} - \delta$$

Όπου:

$Z_{i-1}$ , το υψόμετρο εδάφους του κόμβου  $i-1$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ )

$\Sigma h_{f(0 \rightarrow i-1)}$ , οι συνολικές γραμμικές απώλειες κατά μήκος του κλάδου  $i$  σε μέτρα (m) ( $i = 1, 2, \dots, m$ )

$H_{i-1}$ , το υψόμετρο της πιεζομετρικής γραμμής του κόμβου  $i-1$  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)

$\delta$ , ένα διάστημα ασφαλείας (εδώ 1 ή 5 m) ανάλογα με τη θέση του κόμβου

$Z_{i-1}$ , το υψόμετρο εδάφους του κόμβου  $i-1$  σε μέτρα (m)

Υπενθυμίζεται ότι στο παρόν κεφάλαιο οι κλάδοι συμβολίζονται με  $i$  αριθμώντας τον πρώτο κλάδο με 1 και τον τελευταίο  $m$  και οι κόμβοι με  $i-1$  αριθμώντας τον πρώτο κόμβο (δεξαμενή) με 0 και τον τελευταίο με  $m$ . Έτσι, αφού εφαρμοστεί η παραπάνω σχέση για κάθε κόμβο του δικτύου από τα ανάντη προς τα κατόντη, σχηματίζεται το ένα από τα τρία σκέλη των περιορισμών, εκείνο των περιορισμών του πιεζομετρικού φορτίου.

Εφόσον οι συνολικές απώλειες εκφράζονται συναρτήσει των κλίσεων απωλειών φορτίου, σε έναν κόμβο  $i-1$  του δικτύου ο περιορισμός διατυπώνεται ως εξής:

$$S_1X_1 + S_2X_2 + \dots + S_kX_k \leq Z_0 - Z_{(i-1)} - \delta$$

Όπου:

$S_1, S_2, \dots, S_k$ , οι κλίσεις απωλειών φορτίου όλων των ανάντη κλάδων

$X_1, X_2, \dots, X_k$ , κάθε μήκος σωλήνωσης με διαφορετική διάμετρο

$Z_{(i-1)}$ , το υψόμετρο εδάφους του κόμβου  $i-1$

$\delta$ , ένα διάστημα ασφαλείας (εδώ 1 ή 5 m) ανάλογα με τη θέση του κόμβου

$H_0$ , το ύψος της γραμμής ενέργειας στη δεξαμενή που ταυτίζεται και με το υψόμετρό της  $Z_0$  στην κατώτατη στάθμη λειτουργίας

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

### Βήμα 3<sup>ο</sup>: Επίλυση

Η συνάρτηση στόχου 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 επιλεγθεί η εμφάνιση μονοσήμαντης λύσης για κάθε κλάδο, ακέραιης, ή μονοσήμαντης και ακέραιης. Ωστόσο 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 4<sup>ο</sup>: 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 για την διάμετρο που προέκυψε και για την κλάση που έχει προεπιλεχθεί, μπορεί να εξαχθεί το συνολικό κόστος του δικτύου. Αν για παράδειγμα οι τελικές λύσεις είναι:  $X_1, X_6, X_8, X_{11}$  για ένα μικρό δίκτυο τεσσάρων κλάδων, το κόστος του θα είναι  $C_{ολ} = C_1X_1 + C_6X_6 + C_8X_8 + C_{11}X_{11}$ .

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 5<sup>ο</sup>: Υπολογισμός των τελικών απωλειών

Καθ'ότι οι γραμμικές απώλειες είναι ανάλογες του μήκους σωλήνωσης, μετά την επίλυση εύκολα μπορούν να προκύψουν οι απώλειες κάθε κλάδου. Έτσι στο παράδειγμα του μικρού δικτύου των τεσσάρων κλάδων, η απώλειες για κάθε κλάδο είναι  $\Sigma h_f = S \cdot X$ , με  $X$  τη λύση για τον κλάδο και  $S$  την κλίση της γραμμής απωλειών που αντιστοιχεί στην επιλεγείσα διάμετρο.

Αν κάποιος κλάδος του δικτύου είναι εκ των προτέρων διαστασιολογημένος με την ελάχιστη διάμετρο Φ90 βάσει των περιορισμών ταχύτητας που αναφέρθηκαν παραπάνω, οι γραμμικές του απώλειες είναι γνωστές και ανεξάρτητες από τη διαδικασία της βελτιστοποίησης.

#### Βήμα 6<sup>ο</sup>: Χάραξη της πιεζομετρικής γραμμής Π.Γ

Μετά τη διαστασιολόγηση του δικτύου και τον προσδιορισμό του συνολικού κόστους του, το τελευταίο στάδιο είναι η χάραξη της πιεζομετρικής γραμμής που συνεπάγεται και την εύρεση του ύψους πίεσης σε κάθε κόμβο του για να ελεγχθεί αν και κατά πόσο επαρκεί για την ύδρευση. Σε ένα κλάδο με κόμβο αρχής  $i-1$  και κόμβο πέρατος  $i$  ισχύει:

$$\Sigma h_{f(i-1) \rightarrow i} = H_{(i-1)} - H_i$$

$$\Leftrightarrow$$

$$\Sigma h_{f(i-1) \rightarrow i} = H_{(i-1)} - Z_i - h_{pi}$$

Όπου:

$Z_i$ , το υψόμετρο εδάφους του κόμβου πέρατος  $i$  σε έναν κλάδο  $i$  σε μέτρα (m) ( $i = 1, 2, \dots, m$ )

$\Sigma h_{f(i-1) \rightarrow i}$ , οι συνολικές γραμμικές απώλειες κατά μήκος του κλάδου  $i$  σε μέτρα (m) ( $i = 1, 2, \dots, m$ )

$h_{pi}$ , το ύψος πίεσης στον κόμβο πέρατος  $i$  σε μέτρα (m) ( $i = 1, 2, \dots, m$ )

$H_{(i-1)}$ ,  $H_i$ , το υψόμετρο της πιεζομετρικής γραμμής ή γραμμής ενέργειας στους κόμβους αρχής  $i-1$  και πέραςτος  $i$  αντίστοιχα σε μέτρα (m) ( $i = 1, 2, \dots, m$ )

Έτσι με γνωστές πλέον τις απώλειες και γνωστό το ύψος ενέργειας στο υψηλότερο σημείο του δικτύου μπορούν διαδοχικά να υπολογιστούν από τα ανάντη προς τα κατόντη τα υψόμετρα πιεζομετρικής γραμμής  $H$  σε όλους τους κόμβους του δικτύου. Στη συνέχεια, αφαιρώντας διαδοχικά από τα υψόμετρα πιεζομετρικής γραμμής  $H$  τα υψόμετρα εδάφους  $Z$ , βρίσκονται τα ύψη πίεσης  $h_p$ .

Στην περίπτωση που κάποια πίεση είναι μικρότερη από την εκείνη που έχει απαιτηθεί στους περιορισμούς πιεζομετρικού φορτίου, μπορεί να συμβαίνει το εξής:

- Αριθμητικό λάθος από το χειριστή στη διατύπωση των εξισώσεων λόγω του μεγάλου όγκου υπολογισμών.
- Λόγω της μη ακεραιότητας των αποτελεσμάτων η στρογγυλοποίηση κάποιων μεγεθών ενδέχεται να επηρεάσει τους επόμενους υπολογισμούς.

### 3.6 ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ LINGO

Η εφαρμογή του γραμμικού προγραμματισμού στα υδρευτικά δίκτυα, μπορεί να γίνει πιο κατανοητή με τη διαστασιολόγηση ενός υπάρχοντος δικτύου και την επίλυση των ανισοεξισώσεων σε κατάλληλο λογισμικό βελτιστοποίησης. Πολύ διαδεδομένο σε αυτές τις περιπτώσεις είναι σήμερα το LINGO της LINDO Systems.

#### 3.6.1 Γενικά

Για να διευκολυνθεί ο υπολογισμός των μεγάλων υδρευτικών δικτύων βαρύτητας, χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα LINDO για πρώτη φορά στην Ελλάδα από τον Ιωαννίδη το 1992 <sup>[2]</sup>. 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 περιελάμβανε 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).

Έκτοτε το LINGO διατίθεται σε εκδόσεις που έχουν επιδεχθεί μικροβελτιώσεις. Το πρόγραμμα σε μια Demo δωρεάν έκδοση στην οποία, στο κομμάτι του γραμμικού προγραμματισμού μπορούν να επιλυθούν μοντέλα με τη δυνατότητα έως και:

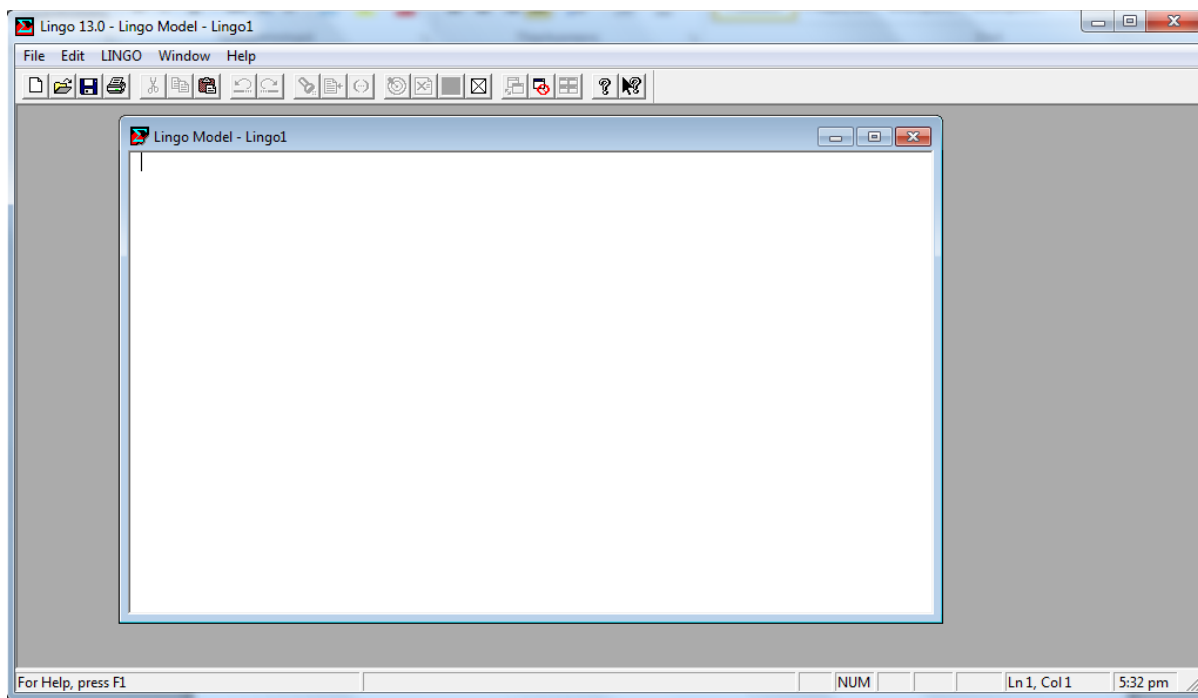
- 150 περιορισμών
- 300 μεταβλητών
- 30 ακέραιων μεταβλητών

και χορηγείται από την ιστοσελίδα

[http://www.lindo.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=34&Itemid=15](http://www.lindo.com/index.php?option=com_content&view=article&id=34&Itemid=15) της LINDO Systems.

### 3.6.2 Βασικές εντολές και χρήση παραδείγματος αναφοράς

Στο στάδιο αυτό χρησιμοποιείται το παράδειγμα αναφοράς του κεφαλαίου 3.4.4 προς επίλυση με το πρόγραμμα LINGO. Ανοίγοντας το LINGO εμφανίζεται μια κενή σελίδα που προορίζεται για την κατάστρωση της συνάρτησης στόχου και των περιορισμών.

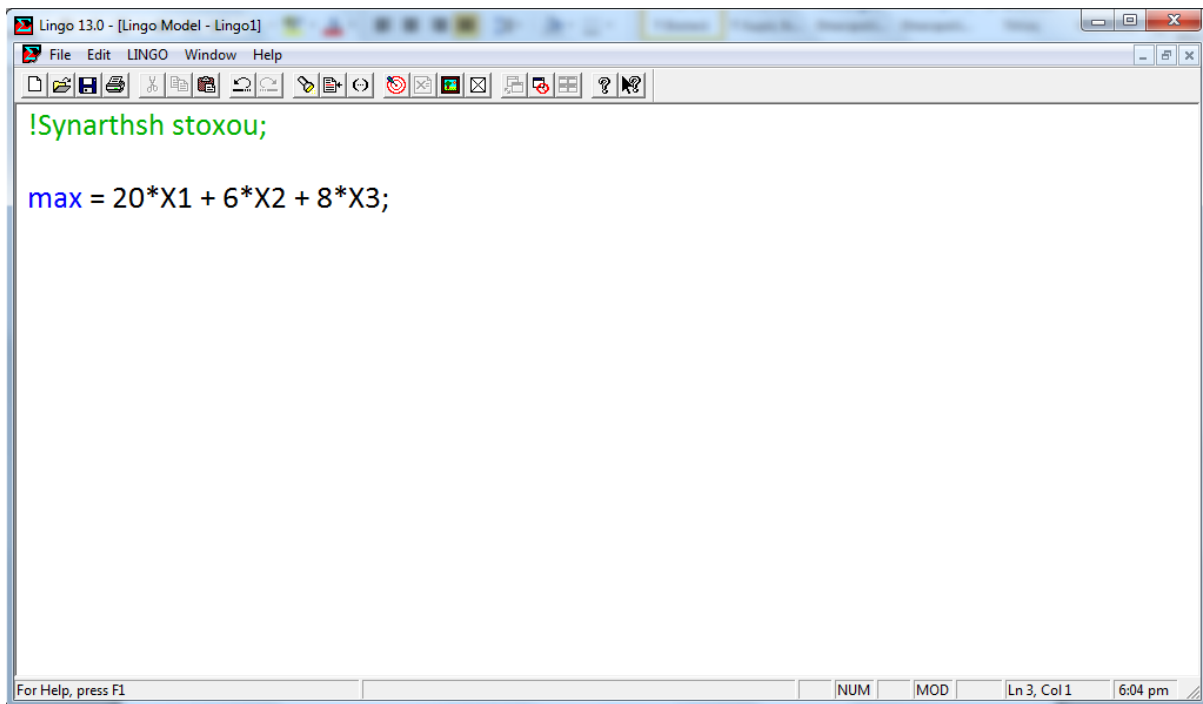


**Εικόνα 3.1** Έναρξη του LINGO

Για τη σωστή αναγραφή των εντολών θα πρέπει 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.

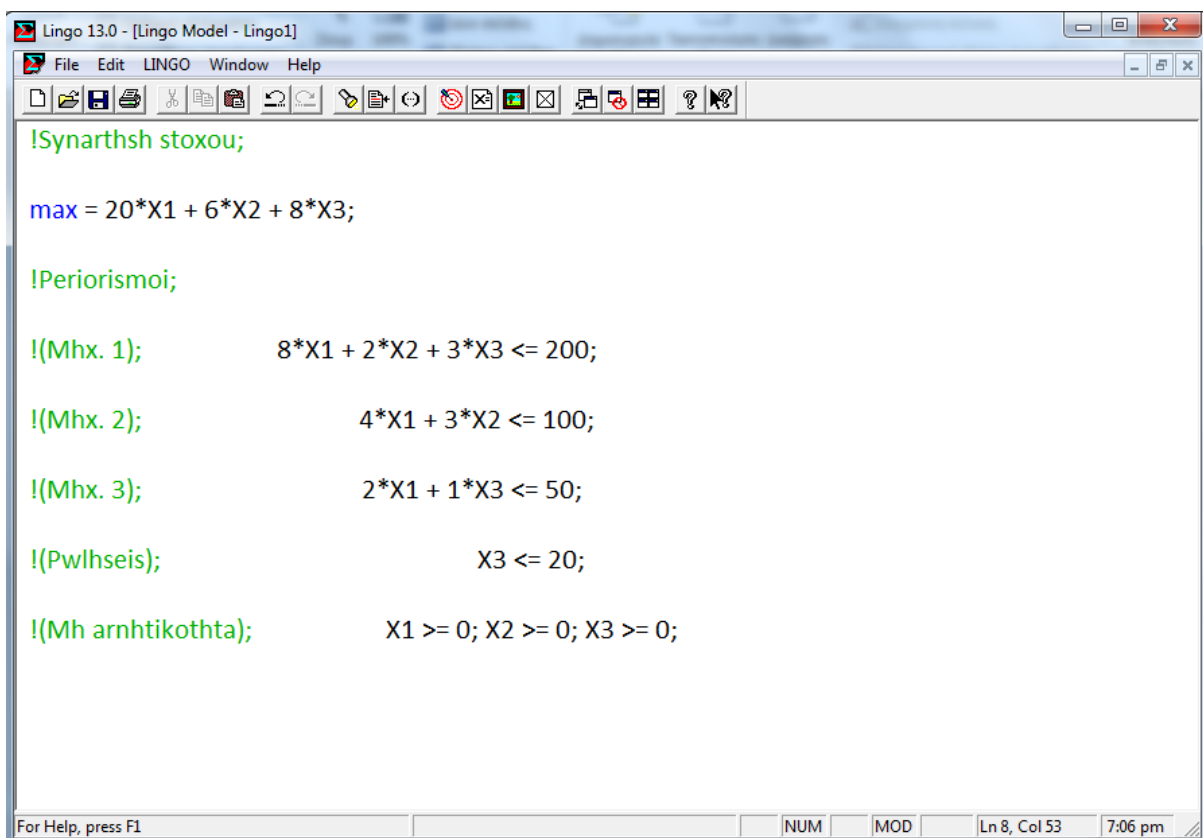
Τα σύμβολα των πράξεων είναι κατά τα γνωστά, " + " για την πρόσθεση, " - " για την αφαίρεση, " \* " για τον πολλαπλασιασμό και " : " για τη διαίρεση.

Το πρόγραμμα δεν απαιτεί καμία προκαθορισμένη ρύθμιση. Έτσι διατυπώνεται απ'ευθείας 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 συναρτήσει των μεταβλητών. Ομοίως, αν πρόκειται για κόστος, η συνάρτηση παίρνει το πρόθεμα  $\min$ . Χρησιμοποιώντας ενδεικτικά το παράδειγμα αναφοράς του υποκεφαλαίου 3.4.4, η 1<sup>η</sup> ενδεικτική επίλυση είναι:




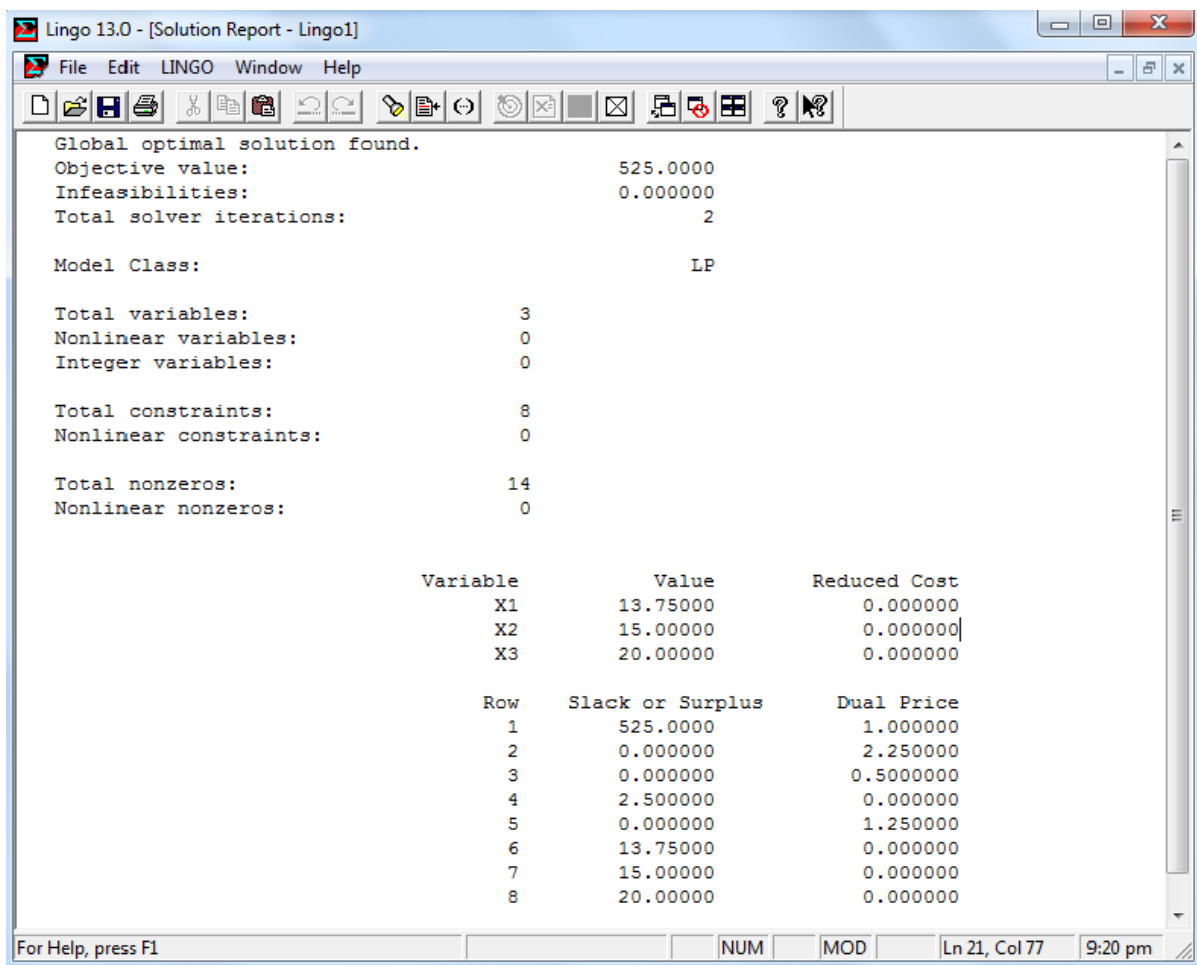
**Εικόνα 3.2** Παράδειγμα συνάρτησης στόχου

Στη συνέχεια καταστρώνονται οι περιορισμοί.



**Εικόνα 4.3** Παράδειγμα περιορισμών

Με την εντολή Solve (  ) γίνεται η επίλυση και παρουσιάζεται ένα νέο φύλλο με τα αποτελέσματα:



**Εικόνα 4.4** Η επίλυση του προβλήματος

Ακολουθεί η επεξήγηση των σειρών:

Objective value: είναι η τιμή της συνάρτησης στόχου ή αντικειμενικής συνάρτησης που προκύπτει από την επίλυση, το μέγιστο δηλ. κέρδος που μπορεί να 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 ( $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$ )

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.

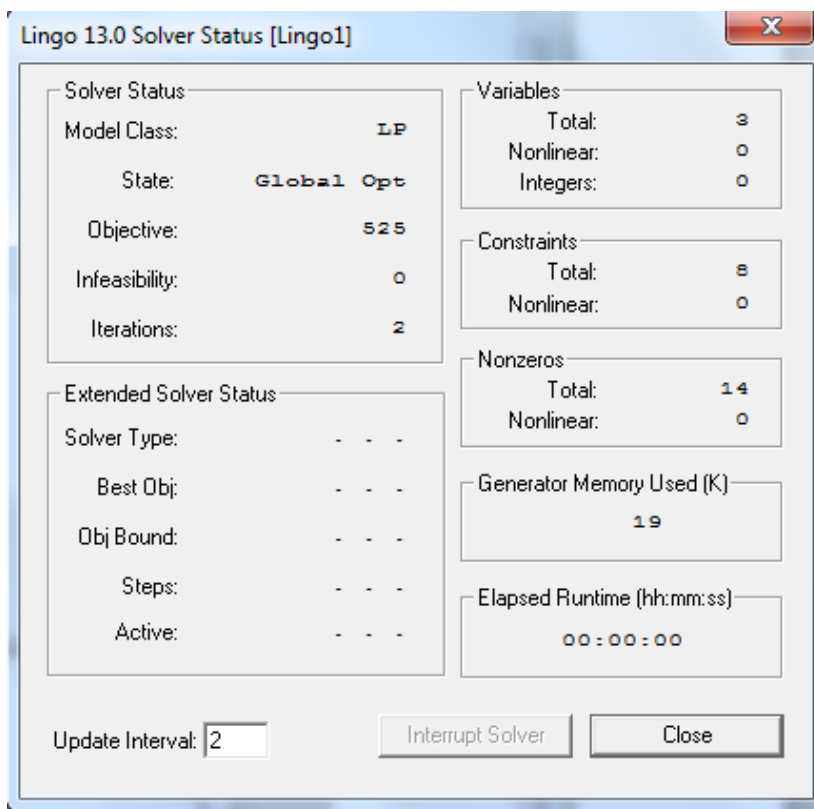
Nonlinear nonzeros: το πλήθος των μη μηδενικών συντελεστών των μεταβλητών απόφασης στις μη γραμμικές σχέσεις.

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.

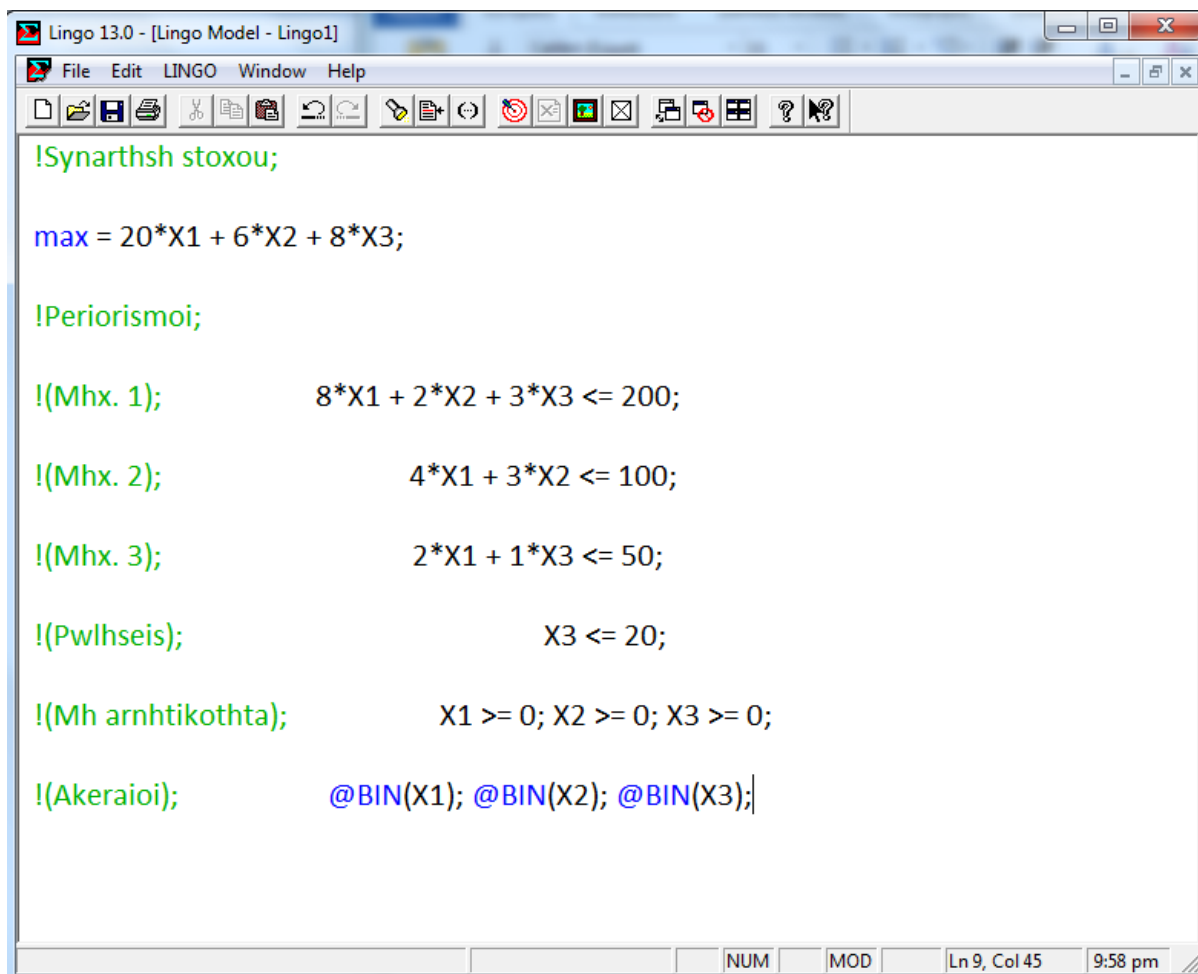
Το φύλλο των αποτελεσμάτων συνοδεύεται από ένα μικρό πίνακα που επεξηγεί τα χαρακτηριστικά της επίλυσης, όπως και στο πάνω μέρος του report της επίλυσης.



Εικόνα 4.5 Πίνακας χαρακτηριστικών της επίλυσης



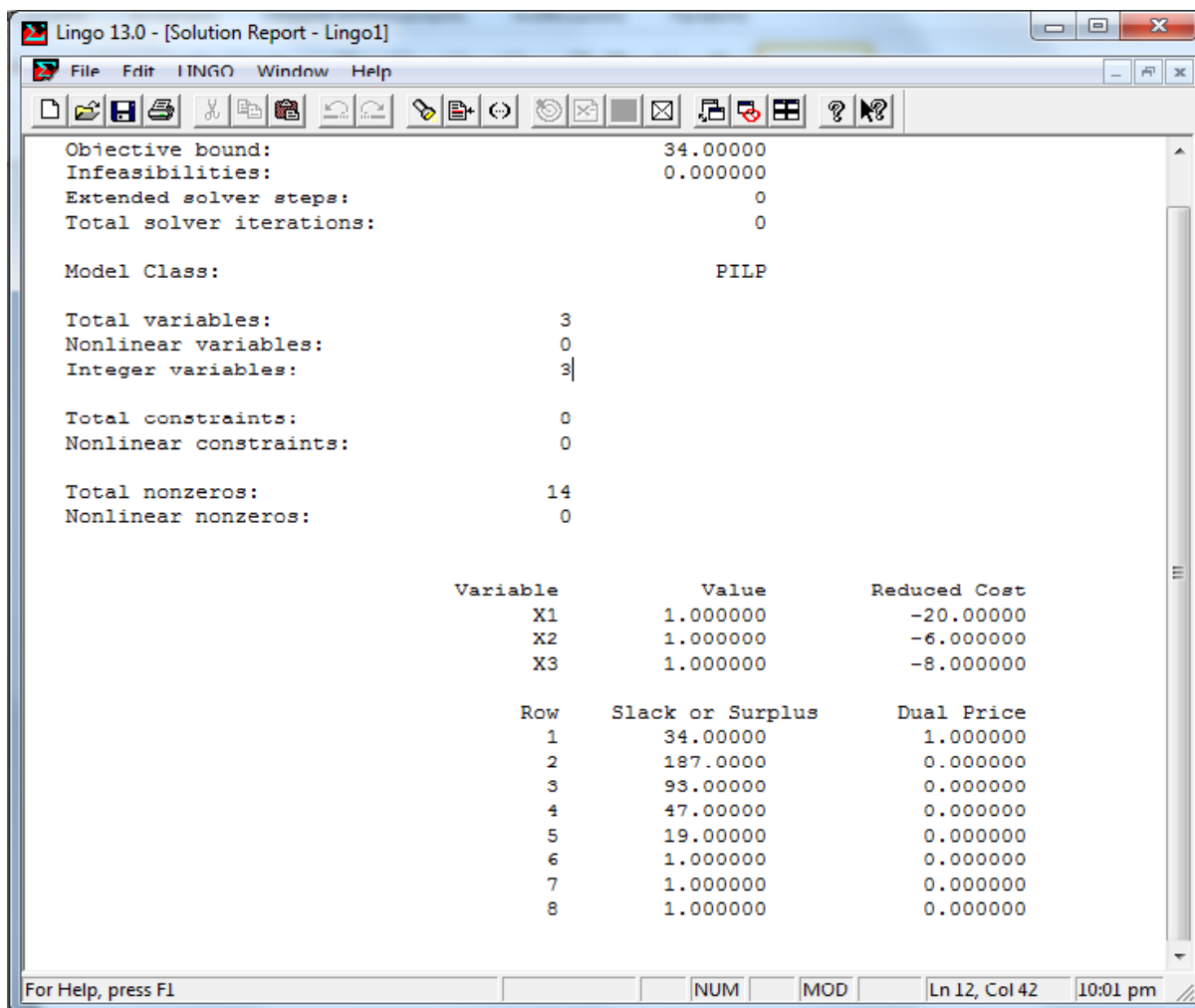
Αν είναι επιθυμητό τα αποτελέσματα να παίρνουν μόνο ακέραιες τιμές, έστω και για τις τρεις μεταβλητές, προστίθεται στους περιορισμούς η εντολή @BIN ως πρόθεμα σε κάθε μία υπό παρένθεση μεταβλητή. Δηλαδή:



```
Lingo 13.0 - [Lingo Model - Lingo1]
File Edit LINGO Window Help
!Synarthsh stoxou;
max = 20*X1 + 6*X2 + 8*X3;
!Periorismoι;
!(Mhx. 1);      8*X1 + 2*X2 + 3*X3 <= 200;
!(Mhx. 2);      4*X1 + 3*X2 <= 100;
!(Mhx. 3);      2*X1 + 1*X3 <= 50;
!(Pwlhseis);    X3 <= 20;
!(Mh arnhtikohtta); X1 >= 0; X2 >= 0; X3 >= 0;
!(Akeraiοi);    @BIN(X1); @BIN(X2); @BIN(X3);
NUM MOD Ln 9, Col 45 9:58 pm
```

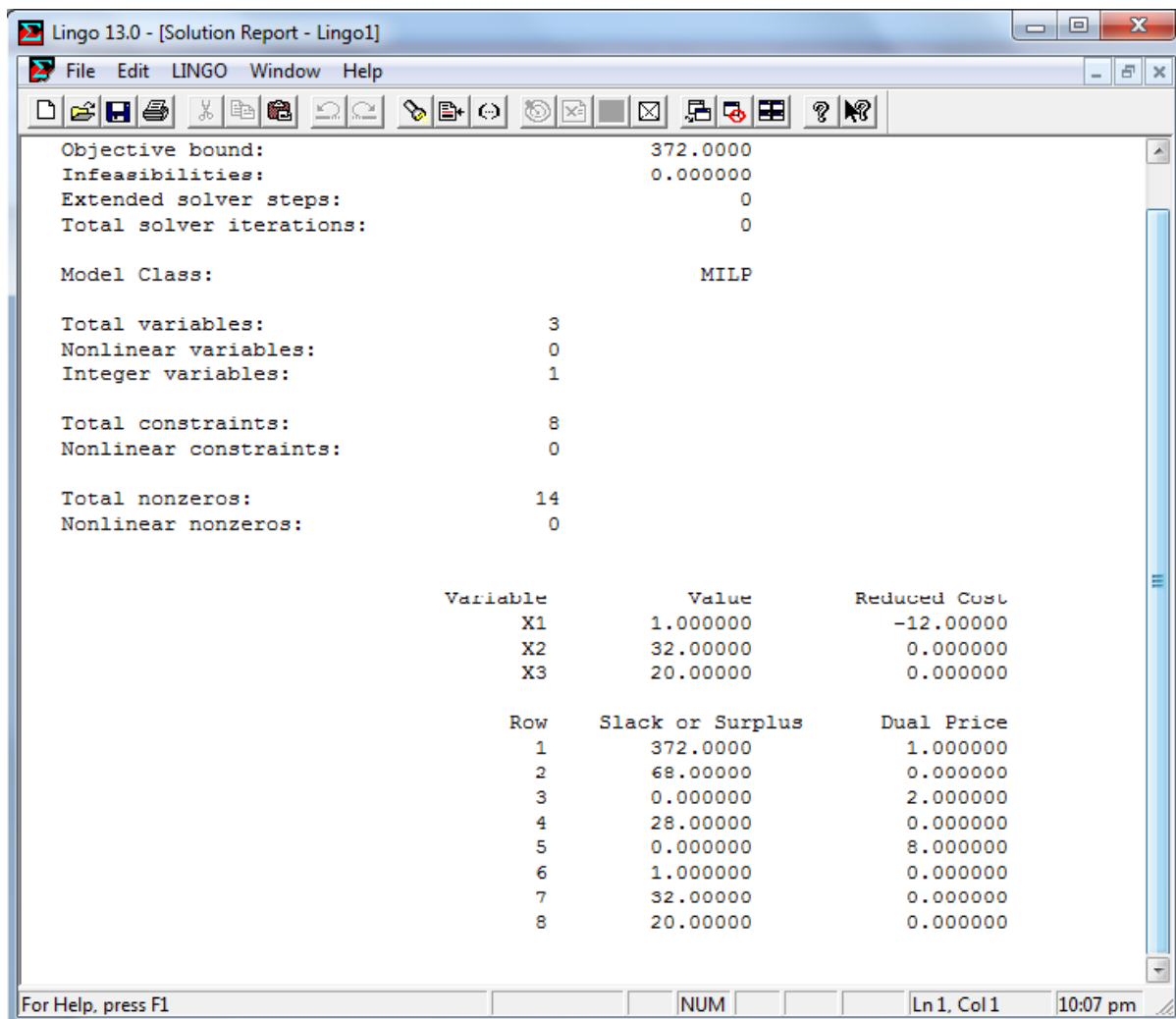
**Εικόνα 4.6** Παράδειγμα περιορισμών με @BIN στις  $X_1, X_2, X_3$

Όπως είναι επόμενο, η επίλυση δίνει μόνο ακέραια αποτελέσματα, αλλά το κέρδος τώρα είναι πολύ μικρότερο από ότι προηγουμένως και προκύπτει μόνο από την παραγωγή μίας μονάδας από το κάθε προϊόν. Έτσι σε μια 2<sup>η</sup> ενδεικτική επίλυση προκύπτει:



Εικόνα 4.7 Η επίλυση του προβλήματος με @BIN στις  $X_1, X_2, X_3$

Ακολουθεί ενδεικτικά η 3<sup>η</sup> επίλυση με την απαίτηση ακεραιότητας μόνο στην  $X_1$  μεταβλητή.



The screenshot shows the Lingo 13.0 Solution Report window. The title bar reads 'Lingo 13.0 - [Solution Report - Lingo1]'. The menu bar includes 'File', 'Edit', 'LINGO', 'Window', and 'Help'. The toolbar contains various icons for file operations and solver control. The main text area displays the following information:

Objective bound: 372.0000  
Infeasibilities: 0.000000  
Extended solver steps: 0  
Total solver iterations: 0

Model Class: MILP

Total variables: 3  
Nonlinear variables: 0  
Integer variables: 1

Total constraints: 8  
Nonlinear constraints: 0

Total nonzeros: 14  
Nonlinear nonzeros: 0

Variable	Value	Reduced Cost
X1	1.000000	-12.000000
X2	32.000000	0.000000
X3	20.000000	0.000000

Row	Slack or Surplus	Dual Price
1	372.000000	1.000000
2	68.000000	0.000000
3	0.000000	2.000000
4	28.000000	0.000000
5	0.000000	8.000000
6	1.000000	0.000000
7	32.000000	0.000000
8	20.000000	0.000000

At the bottom of the window, there is a status bar with the text 'For Help, press F1', a 'NUM' indicator, 'Ln 1, Col 1', and the time '10:07 pm'.

**Εικόνα 4.8** Η επίλυση του προβλήματος με @BIN στην  $X_1$

Πρέπει να σημειωθεί ότι παρόλο που στην 1<sup>η</sup> ενδεικτική επίλυση προέκυψε δεκαδική τιμή μόνο για την  $X_1$  (13.75 μονάδες του προϊόντος 1), η απαίτηση ακεραιότητας της στην 3<sup>η</sup> επίλυση, δεν εξασφαλίζει οπωσδήποτε ότι οι υπόλοιπες μεταβλητές θα προκύψουν ξανά ακέραιες (αν και κάτι τέτοιο έτυχε να συμβεί εδώ).

Αυτό σημαίνει ότι κάθε φορά που προστίθεται ένας περιορισμός σε μια μεταβλητή απόφασης, για να ικανοποιηθεί αυτός επηρεάζονται οι υπόλοιπες πολλές φορές σε πολύ μεγαλύτερο βαθμό από ότι αν ο περιορισμός εξαρχής δεν ετίθετο.

Οι ανισοεξισώσεις και τα αποτελέσματα αποθηκεύονται με την εντολή File και Save στο φάκελο του LINGO ή File και Save as στο φάκελο προορισμού που επιθυμεί ο χρήστης.



# 4

## *Εφαρμογή του γραμμικού προγραμματισμού στο δίκτυο ύδρευσης της ανατολικής πλευράς του Νομού Καρδίτσας*

### **4.1 ΣΚΟΠΟΣ**

Σκοπός της οικονομοτεχνικής βελτιστοποίησης είναι η εύρεση του συνδυασμού εκείνου των διαμέτρων στο ακτινωτό δίκτυο βαρύτητας, ο οποίος να καθιστά το συνολικό κόστος των σωληνώσεων το ελάχιστο δυνατό. 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 υδρευτικές απαιτήσεις του δικτύου, αφετέρου να ελαχιστοποιείται το κόστος του. Η μέθοδος αυτή, που παρουσιάστηκε αναλυτικά στο κεφάλαιο 3, βρίσκει εφαρμογή σε κλάδο του δικτύου ύδρευσης ανατολικής πλευράς του Νομού Καρδίτσας με χρήση του προγράμματος LINGO.

### **4.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ**

Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στο ανατολικό τμήμα του Νομού Καρδίτσας με πρωτεύουσα την Καρδίτσα στη Δυτική Θεσσαλία. Πρόκειται για ολόκληρο το τμήμα του Νομού ανατολικά της πόλης της Καρδίτσας. Το δημοτικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας αποτελείται από τους νομούς Καρδίτσας, Τρικάλων Λάρισας και Μαγνησίας. Ο Ν. Καρδίτσας και Ν. Τρικάλων βρίσκονται στο κέντρο σχεδόν της ηπειρωτικής Ελλάδας και συνορεύουν προς τα δυτικά με την οροσειρά της Πίνδου. Ο Ν. Λάρισας και ο Ν. Μαγνησίας έχουν έξοδο προς τα δυτικά στο Αιγαίο Πέλαγος. Η περιοχή μελέτης καλύπτει στο μεγαλύτερο μέρος της τις πεδινές εκτάσεις του ανατολικού τμήματος του Νομού, εκτός από το νότιο μέρος που συνορεύει με τους πρόποδες των εκεί ορεινών όγκων (οροσειρές Τυμφρηστού, Όθρυος κτλ) (Ρόικος, Μπουλουγούρης, Τσίτσης, 2011).



**Εικόνα 4.1** Ο νομός Καρδίτσας

*Πηγή: Ιστότοπος hello Greece*

Το έργο περιλαμβάνει τα έργα μεταφοράς και διανομής ύδατος σε 39 οικισμούς της ανατολικής πλευράς του Νομού Καρδίτσας από τη λίμνη του Σμοκόβου, τα οποία ξεκινούν από την δεξαμενή διωλισμένου ύδατος, κατάντη του Διυλιστηρίου Πόσιμου Νερού το οποίο τροφοδοτείται από την λιμνοδεξαμενή δίπλα στην έξοδο της σήραγγας Λεονταρίου. Από τους οικισμούς, οι 34 ίδρυσαν το 1994 τον Σύνδεσμο Ύδρευσης Σμοκόβου με αποκλειστικό σκοπό την υλοποίηση των έργων υδροδότησης από τα νερά της τεχνητής λίμνης Σμοκόβου. Οι οικισμοί αυτοί είναι:

Τέως ΔΗΜΟΣ	ΟΙΚΙΣΜΟΣ	Τέως ΔΗΜΟΣ	ΟΙΚΙΣΜΟΣ
<b>ΤΑΜΑΣΙΟΥ</b>	ΑΣΗΜΟΧΩΡΙ	<b>ΑΡΝΗΣ</b>	ΚΥΨΕΛΗ
	ΑΧΛΑΔΕΑ		ΠΥΡΓΟΣ ΚΙΕΡΙΟΥ
	ΓΡΑΜΜΑΤΙΚΟ	<b>ΠΑΛΑΜΑ</b>	ΑΓ. ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ
	<b>ΛΕΟΝΤΑΡΙ</b>		ΒΛΟΧΟΣ
	ΝΕΟ ΙΚΟΝΙΟ		ΚΑΛΥΒΑΚΙΑ
	ΚΟΣΚΙΝΑΣ		
	ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΣΗ		
<b>ΚΑΛΛΙΦΩΝΕΙΟΥ</b>	ΔΑΦΝΟΣΠΗΛΙΑ	<b>ΠΑΛΑΜΑΣ</b>	ΑΓΙΟΣ ΒΗΣΣΑΡΙΟΣ
	ΖΑΪΜΙΟ		ΑΜΠΕΛΟΣ
	<b>ΚΑΛΛΙΦΩΝΙΟ</b>		ΑΝΩΓΕΙΟ
	ΠΑΛΙΟΥΡΙ		ΓΕΦΥΡΙΑ
<b>ΜΕΝΕΛΑΪΔΑΣ</b>	<b>ΚΕΔΡΟΣ</b>	<b>ΣΟΦΑΔΩΝ</b>	ΔΑΣΟΧΩΡΙ
	ΛΟΥΤΡΟ		ΚΑΠΑΔΟΚΙΚΟ
<b>ΦΥΛΛΟΥ</b>	ΑΣΤΡΙΤΣΑ		ΜΑΥΡΑΧΑΔΕΣ
	ΗΛΙΑΣ		ΜΕΛΙΣΣΟΧΩΡΙ
	<b>ΙΤΕΑ</b>		ΜΟΣΧΟΛΟΥΡΙ
	ΛΕΥΚΗ		ΠΑΣΧΑΛΙΤΣΑ
	ΟΡΦΑΝΑ		<b>ΣΟΦΑΔΕΣ</b>
	ΠΕΤΡΙΝΟ		ΦΙΛΙΑ
	ΣΥΚΕΑΙ		
	ΦΥΛΟ		

**Εικόνα 4.2** Οι οικισμοί της περιοχής μελέτης

Πηγή: Ρόικος, Μπουλουγούρης, Τσίτσης, Οριστική μελέτη ύδρευσης Αν. Ν. Καρδίτσας, 2011

Ο πληθυσμός των περισσότερων υπό υδροδότηση οικισμών είναι 200-700 κάτοικοι. Κάποιοι έχουν 1000 περίπου κατοίκους, ενώ οι οικισμοί Σοφάδες και Παλαμάς αποτελούνται από 5000-6000. Σε ό,τι αφορά τη διαστασιολόγηση και μόνο του δικτύου, συμπεριλήφθηκαν και οι οικισμοί Ματαράγκα, Ερμήτσιο, Μάρκος, Γοργοβίτες, Ψαθοχώρι, Αμπελών, Εργατικές Κατοικίες Τσιγγάνων και Βιομηχανικό Πάρκο Παλαμά, των οποίων η τροφοδότηση νερού ικανοποιείται από άλλα έργα στην περιοχή (Ρόικος, Μπουλουγούρης, Τσίτσης, 2011). Το συνολικό μήκος των δικτύων ανέρχεται σε 186.8 km περίπου και περιλαμβάνει 3 τοπικά αντλιοστάσια ανύψωσης.

Ολόκληρο το εγχείρημα περιλαμβάνει το σχεδιασμό έργων:

- Κεφαλής (έργα υδροληψίας από τον ταμιευτήρα, αγωγός μεταφοράς, λιμνοδεξαμενή προαποθήκευσης ανεπεξέργαστου ύδατος και αγωγός τροφοδοσίας διυλιστηρίου).
- Επεξεργασίας νερού (διυλιστήριο πόσιμου νερού και δεξαμενή διυλισμένου νερού κατάντη του διυλιστηρίου).
- Μεταφοράς και διανομής ύδατος στους οικισμούς της περιοχής μελέτης.
- Τοπικών δεξαμενών νερού ή υδατόπυργων.

Οι ανάδοχοι για την εκπόνησή του ήταν η εταιρία ΡΟΪΚΟΣ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ Α.Ε και οι πολιτικοί μηχανικοί Β. Μπουλουγούρης και Α. Τσίτσης.

Ειδικότερα, τα έργα μεταφοράς και διανομής ύδατος (εξωτερικά υδραγωγεία) ξεκινούν από τη δεξαμενή διυλισμένου νερού και τροφοδοτούν τις τοπικές δεξαμενές ή τους υδατόπυργους που με τη σειρά τους τροφοδοτούν τα εσωτερικά δίκτυα. Τα εξωτερικά υδραγωγεία (δίκτυα Α', Β', Γ') κατασκευάζονται με τρόπο τέτοιο ώστε να επιτυγχάνεται η μέγιστη δυνατή ευθυγραμμία μέσα από καλλιεργήσιμες εκτάσεις και να περιοριστεί κατα το δυνατόν το συνολικό μήκος του δικτύου.



**Εικόνα 4.3** Ο ταμιευτήρας Σμοκόβου και τα πρώτα τμήματα των κλάδων Α', Β' και Γ'  
Πηγή: Ρόικος, Μπουλουγούρης, Τσίτσης, Οριστική μελέτη ύδρευσης Αν. Ν. Καρδίτσας, 2011



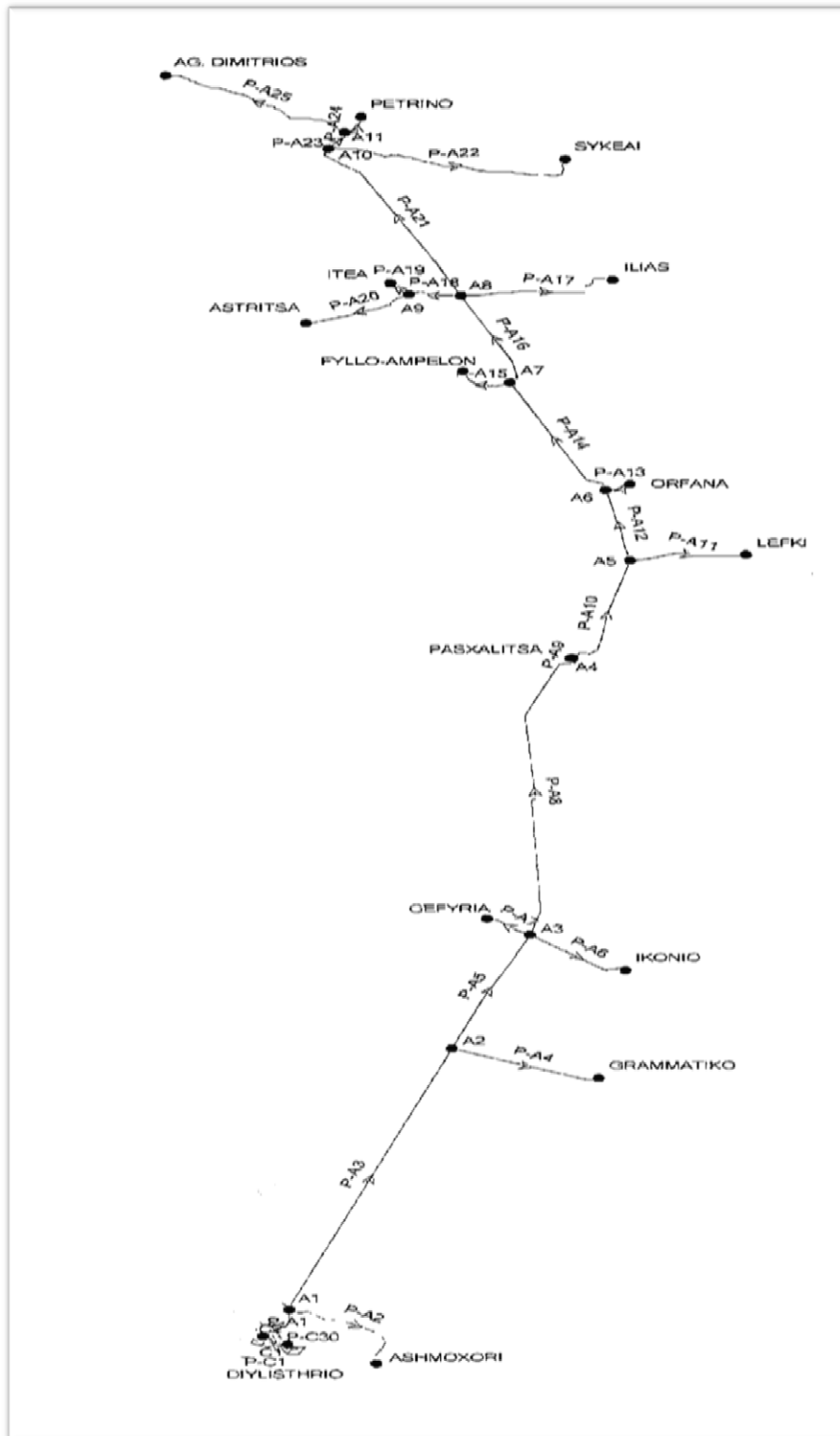
### 4.3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

Στην παρούσα εργασία η εφαρμογή του γραμμικού προγραμματισμού έγινε στο δίκτυο Α', το οποίο είναι ακτινωτό βαρύτητας. Αναπτύσσεται βορειοανατολικά διακλαδιζόμενο βόρεια προς τον οικισμό Πέτρινο και δυτικά προς τον οικισμό Αγίου Δημητρίου. Από τα νότια προς τα βόρεια το δίκτυο τροφοδοτεί τις τοπικές δεξαμενές ή υδατόπυργους των οικισμών: Ασημοχώρι, Γραμματικό, Νέο Ικόνιο, Γεφύρια, Πασχαλίτσα, Λεύκη, Ορφανά, Ηλίας, Ιτέα, Αστρίτσα, Συκέαι, Πέτρινο και Άγιο Δημήτριο.

Το συνολικό μήκος αγωγών του είναι 72 km και έχει εύρος διαμέτρων Φ110 – DN300. Τα υλικά κατασκευής του είναι:

- Πλαστικοί σωλήνες πολυαιθυλενίου (HDPE)
- Σωλήνες από ελατό χυτοσίδηρο (Ductile Iron)

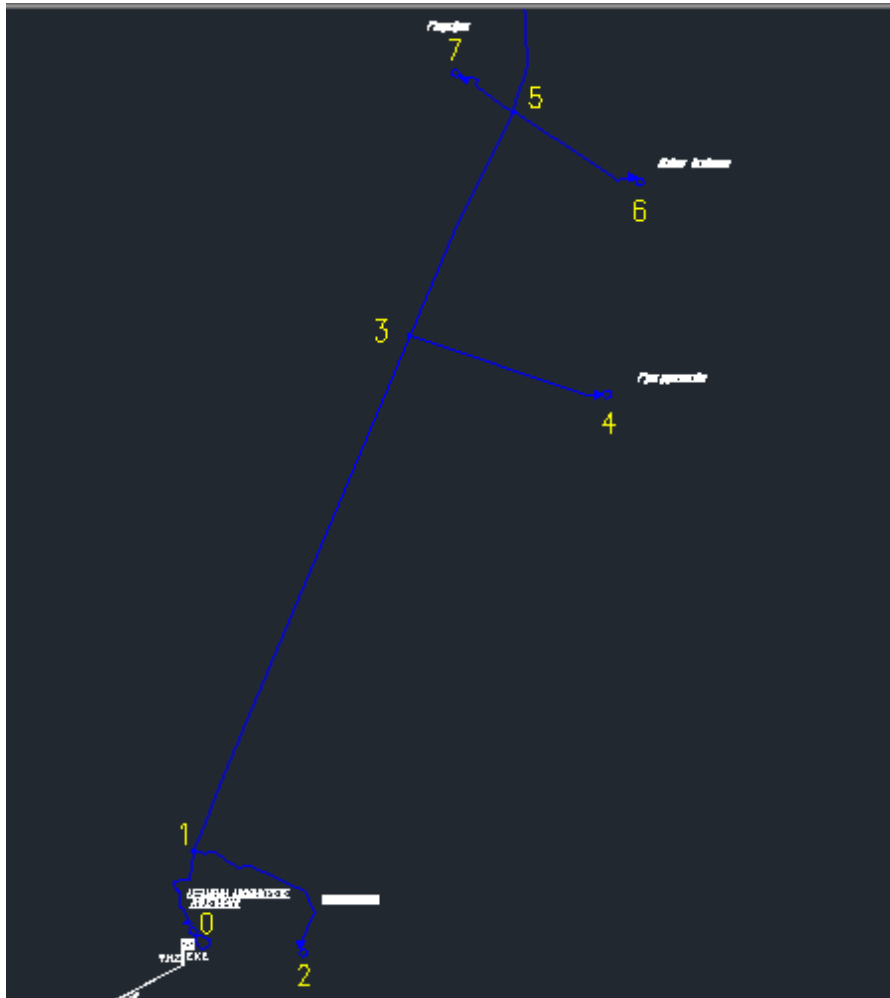
Ο κυρίως κλάδος που ξεκινά από τη δεξαμενή αποθήκευσης διυλιστηρίου και οι δύο διαδοχικοί κατάντη κύριοι κλάδοι, είναι κατασκευασμένοι από ελατό χυτοσίδηρο. Οι υπόλοιποι κλάδοι από είναι από πολυαιθυλένιο κλάσης 20 atm, πλην του αγωγού που τροφοδοτεί τη δεξαμενή στο Ασημοχώριον που είναι 16 atm (Ρόικος, Μπουλουγούρης, Τσίτσης, 2011). Ολόκληρος ο κλάδος μελέτης απεικονίζεται παρακάτω:



**Εικόνα 4.4** Το υπό εξέταση δίκτυο

Πηγή: Ρόικος, Μπουλουγούρης, Τσίσης, Οριστική μελέτη ύδρευσης Αν. Ν. Καρδίτσας, 2011

Προς διευκόλυνση της εφαρμογής, στον κλάδο μελέτης Α', οι κόμβοι μετονομάστηκαν από τα ανάντη προς τα κατόντη σε 0, 1, 2 ... 25 σε περιβάλλον Autocad 2012, ξεκινώντας από τη δεξαμενή αποθήκευσης. Αντίστοιχα οι κλάδοι προσδιορίστηκαν σε 0-1, 1-2 ... 24-25. Ενδεικτικά:



Εικόνα 4.5 Αρίθμηση τμήματος του υπό εξέταση δικτύου στο Autocad

#### 4.4 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ

##### 4.4.1 Γενικά

Πριν τη βελτιστοποίηση θα πρέπει καθοριστούν:

- Το υλικό των αγωγών. Θα πρέπει να είναι ενιαίο για όλο το δίκτυο διότι κάθε υλικό έχει διαφορετική τραχύτητα και δεν ανταποκρίνεται πάντοτε στο ίδιο εύρος διαμέτρων και κλάσεων. Ένα κριτήριο της επιλογής των υλικών πέρα από την οικονομικότητά τους είναι και η αρχή ότι η χρήση πλαστικών σωλήνων αποφεύγεται αν εσωτερική διάμετρος ξεπερνά τα 300 mm.
- Η κλάση των αγωγών. Προκύπτει από τη διαφορά πίεσης μεταξύ του υψηλότερου και του χαμηλότερου σημείου του δικτύου και επιλέγεται από μία γκάμα διακριτών τιμών του εμπορίου για το εκάστοτε υλικό.

Τα δεδομένα που αξιοποιούνται από την οριστική μελέτη για τους υδραυλικούς υπολογισμούς και τη βελτιστοποίηση, είναι:

- Τα μήκη των κλάδων, τα οποία μετρήθηκαν στο Autocad για έλεγχο.
- Οι παροχές των κλάδων, οι οποίες επανυπολογίστηκαν για έλεγχο.

- Τα υψόμετρα εδάφους Z των κόμβων.
- Το κόστος ανά μέτρο μήκους των σωληνώσεων. Αυτό αποτελείται από το κόστος αγοράς, μεταφοράς στο εργοτάξιο, το κόστος ειδικών τεμαχίων και το κόστος εκσκαφής, διάστρωσης, σύνδεσης και επίχωσης σωλήνων ανά υλικό, διάμετρο και κλάση. Τα κόστη αντλήθηκαν από το τιμολόγιο υδραυλικών έργων του ΥΠΕΚΑ για το 2013.

#### 4.4.2 Δεδομένα μελέτης

Βάσει των παραπάνω, η παροχή και τα μήκη των κλάδων είναι τα εξής:

**Πίνακας 4.2** Κλάδοι, παροχή και μήκη του δικτύου

Πηγή: Οριστική μελέτη ύδρευσης Αν. Ν. Καρδίτσας

Κόμβος	Υψόμετρο εδάφους Z (m)	Παροχή ζήτησης (L/s)	Κλάδος	Μήκος L (m)	Παροχή Q (L/s)
25	158.34	1.34	23-25	4149.2	34.91
24	136.22	2.04	23-24	732.2	1.59
23	101.50	0.00	21-23	717.3	33.32
22	125.33	1.08	21-22	5336.3	1.59
21	91.53	8.45	18-20	2404.5	31.73
20	108.80	0.00	18-19	561.3	1.02
19	106.61	0.47	16-21	5158.7	2.88
18	117.13	0.00	16-18	1166.0	27.83
17	106.61	5.73	16-17	3389.9	2.88
16	91.53	0.00	14-16	2929.6	24.95
15	111.83	2.38	14-15	1187.1	1.67
14	99.25	0.00	12-14	3841.4	23.28
13	121.19	1.67	12-13	636.3	2.38
12	104.63	0.00	10-12	2136.0	20.9
11	129.76	2.88	10-11	2342.5	5.73
10	104.55	0.00	8-10	3422.2	15.17
9	119.16	2.88	8-9	170.1	0.47
8	104.60	0.00	5-8	8666.4	9.53
7	134.41	2.88	5-7	1089.6	5.17
6	131.92	1.02	5-6	2406.4	8.45
5	110.96	0.00	3-5	3677.3	1.08
4	135.56	1.59	3-4	3155.9	1.79
3	114.71	0.00	1-3	8445.7	3.38
2	244.80	1.59	1-2	3011.3	2.04
1	151.45	0.00	0-1	1446.0	1.34
0 (Δεξαμενή)	265.00	0.00			

Για τυπικό έλεγχο υπολογίστηκε ξανά η παροχή κάθε κλάδου ξεκινώντας από τον κόμβο 25 προς τα ανάντη. Ο γενικός κανόνας είναι ότι η παροχή σχεδιασμού του κάθε κλάδου ισούται με την παροχή κατανάλωσης του αμέσως κατάντη κόμβου συν την παροχή σχεδιασμού των αμέσως κατάντη κλάδων (Τσακίρης, 2010).

Σε ό,τι αφορά την κλάση των αγωγών από τα δεδομένα της οριζοντιογραφίας, η υψομετρική διαφορά μεταξύ του υψηλότερου σημείου (δεξαμενή αποθήκευσης,  $Z_0 = +265.00$  m) και του

χαμηλότερου (εσωτερικά σημεία 16 και 21,  $Z = +91.53 \text{ m}$ ), προκύπτει  $\Delta Z_{\max} = 173.47 \text{ m}$ . Επομένως, γνωρίζοντας ότι  $1 \text{ atm}$  αντιστοιχεί σε  $\frac{p}{\gamma} = 9.81 \text{ m}$ , η πίεση που το δίκτυο καλείται να παρέχει στη δυσμενέστερη περίπτωση, είναι  $(\frac{p}{\gamma})_{\max} \approx 17.7 \text{ atm}$  και έτσι η απαιτούμενη κλάση αγωγού είναι η πλησιέστερη του εμπορίου στην τιμή αυτή, δηλ.  $20 \text{ atm}$  (για χυτοσίδηρο και χάλυβα η πλησιέστερη κλάση είναι  $25 \text{ atm}$ ).

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  $(0.5 - 1.5 \text{ ή } 2.0) \text{ m/s}$  για την αποφυγή υδραυλικού πλήγματος.
- Η ελάχιστη ονομαστική διάμετρος θα πρέπει να είναι  $90 \text{ mm}$ .

Σε ό,τι αφορά την επιλογή του υλικού, αυτή θα εξαρτηθεί από την τάξη των διαμέτρων. Αν από τους υδραυλικούς υπολογισμούς προκύψουν επιτρεπόμενες διάμετροι ίσες ή μεγαλύτερες των  $300 \text{ mm}$  τότε ενδείκνυται η χρήση χυτοσίδηρου ή χάλυβα με οικονομικότερο τον χάλυβα, διαφορετικά σε μικρότερες διαμέτρους μπορούν να ανταποκριθούν τα ιδιαίτερα οικονομικά πλαστικά, όπως πχ το πολυαιθυλένιο (HDPE). Ωστόσο στην κλάση των  $20 \text{ atm}$  το PVC δεν παράγεται, οπότε η επιλογή πλαστικού θα αφορά το πολυαιθυλένιο.

#### 4.5 ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

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.

##### 4.5.1 Προσδιορισμός των αποδεκτών διαμέτρων και του υλικού των αγωγών

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:

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi V}}$$

**Πίνακας 4.3** Τα εύρη των αποδεκτών εσωτερικών διαμέτρων

Κλάδος	Μήκος L (m)	Παροχή Q (L/s)	Άνω όριο $V_{max}$	Κάτω όριο $V_{min}$
			1.5	0.5
			$D_{min}$ (mm)	$D_{max}$ (mm)
0-1	1446.0	34.91	172.14	298.16
1-2	3011.3	1.59	36.74	63.63
1-3	8445.7	33.32	168.18	291.29
3-4	3155.9	1.59	36.74	63.63
3-5	3677.3	31.73	164.11	284.25
5-6	2406.4	1.02	29.42	50.96
5-7	1089.6	2.88	49.44	85.64
5-8	8666.4	27.83	153.70	266.21
8-9	170.1	2.88	49.44	85.64
8-10	3422.2	24.95	145.53	252.06
10-11	2342.5	1.67	37.65	65.21
10-12	2136.0	23.28	140.57	243.48
12-13	636.3	2.38	44.95	77.85
12-14	3841.4	20.9	133.19	230.70
14-15	1187.1	5.73	69.74	120.79
14-16	2929.6	15.17	113.48	196.55
16-17	3389.9	0.47	19.97	34.60
16-18	1166.0	9.53	89.94	155.78
16-21	5158.7	5.17	66.25	114.74
18-19	561.3	8.45	84.69	146.69
18-20	2404.5	1.08	30.28	52.44
21-22	5336.3	1.79	38.98	67.51
21-23	717.3	3.38	53.56	92.77
23-24	732.2	2.04	41.61	72.08
23-25	4149.2	1.34	33.73	58.41

Η μέγιστη διάμετρος που απαντάται είναι τα 298.16 mm στον κλάδο 0-1, μικρότερη των 300 mm και στους υπόλοιπους κλάδους τα εύρη των διαμέτρων είναι αρκετά μικρότερα. Οπότε κρίνεται ως οικονομικότερη η επιλογή του πολυαιθυλενίου (HDPE) για το δίκτυο. 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  $D_{εσωτ.}$  :

$$D_{εσωτ.} = D_{εξωτ.} - 2*d$$

Οι αγωγοί πολυαιθυλενίου για έργα προϋπολογισμού τουλάχιστον 5 εκατ. € (όπως είναι και η πλειοψηφία των υδραυλικών έργων στην Ελλάδα) διατίθενται στο εμπόριο στις εξής διαμέτρους και κλάσεις:

**Πίνακας 4.4** Ονομαστικές διαμέτροι και πάχη ανά κλάση σε αγωγούς από HDPE

Πηγή: Ιστότοπος Faso - plast

<b>Πολυαιθυλένιο (HDPE): 3<sup>H</sup> ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΕΡΓΩΝ: &gt; 5.0 εκ. €</b>					
<b>ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΕΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΙ</b>					
<b>D<sub>ονομ</sub> (mm)</b>	<b>10 atm</b>	<b>12.5 atm</b>	<b>16 atm</b>	<b>20 atm</b>	<b>25 atm</b>
	<b>Πάχος (mm)</b>				
90	5.4	6.6	8.2	10.1	12.3
110	6.6	8.1	10.0	12.3	15.1
125	7.4	9.2	11.4	14.0	17.1
140	8.3	10.3	12.7	15.7	19.2
160	9.5	11.8	14.6	17.9	21.9
180	10.7	13.3	16.4	20.1	24.6
200	11.9	14.7	18.2	22.4	27.3
225	13.4	16.6	20.5	25.1	30.8
250	14.8	18.4	22.7	27.9	34.2
280	16.6	20.6	25.4	31.3	38.3
315	18.7	23.2	28.6	35.2	43.0
355	21.1	26.1	32.2	39.6	48.5
400	23.7	29.4	36.3	44.7	54.6
450	26.7	33.1	40.9	50.2	61.5
500	29.6	36.8	45.4	55.8	
560	33.2	41.2	50.8	62.5	

Έτσι, για την κλάση των 20 atm, με εφαρμογή του τύπου, προκύπτουν οι εσωτερικές τυποποιημένες διαμέτροι.

**Πίνακας 4.5** Εσωτερικές τυποποιημένες διαμέτροι ανά κλάση σε αγωγούς από HDPE

Πολυαιθυλένιο (HDPE): 3 <sup>Η</sup> ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΕΡΓΩΝ: > 5.0 εκ. €					
ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΕΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΙ					
D <sub>ονομ</sub> (mm)	10 atm	12.5 atm	16 atm	20 atm	25 atm
	D (mm) εσωτερική				
90	79.2	76.8	73.6	69.8	65.4
110	96.8	93.8	90.0	85.4	79.8
125	110.2	106.6	102.2	97.0	90.8
140	123.4	119.4	114.6	108.6	101.6
160	141.0	136.4	130.8	124.2	116.2
180	158.6	153.4	147.2	139.8	130.8
200	176.2	170.6	163.6	155.2	145.4
225	198.2	191.8	184.0	174.8	163.4
250	220.4	213.2	204.6	194.2	181.6
280	246.8	238.8	229.2	217.4	203.4
315	277.6	268.6	257.8	244.6	229.0
355	312.8	302.8	290.6	275.8	258.0
400	352.6	341.2	327.4	310.6	290.8
450	396.6	383.8	368.2	349.6	327.0
500	440.8	426.4	409.2	388.4	
560	493.6	477.6	458.4	435.0	

Σε κάθε κλάδο, μεταξύ των  $D_{\min}$  και  $D_{\max}$  παρεμβάλλεται ένα πλήθος τυποποιημένων εσωτερικών διαμέτρων για την κλάση των 20 atm, όπως αυτές προσδιορίστηκαν στον πίνακα 5.2 και οι οποίες διατάσσονται σε αύξουσα σειρά. Υπενθυμίζεται ότι η ελάχιστη ονομαστική διάμετρος που επιτρέπεται να έχει ένας κλάδος είναι 90 mm, άρα για το HDPE στις 20 atm η ελάχιστη εσωτερική επιτρεπόμενη διάμετρος είναι 69.8 mm.

Έτσι, σε όποιον κλάδο προέκυψε από τους υδραυλικούς υπολογισμούς  $D_{\min} < 69.8$  mm, υιοθετήθηκε η ελάχιστη εσωτερική επιτρεπόμενη διάμετρος των 69.8 mm και σε όποιον κλάδο προέκυψε  $D_{\max} < 69.8$  mm, εξελέγη μονοσήμαντα Φ90. 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.

Ακολουθεί επομένως ο πίνακας με τις αποδεκτές τυποποιημένες εσωτερικές διαμέτρους για το πολυαιθυλένιο HDPE κλάσης 20 atm.



**Πίνακας 4.6** Αποδεκτές εσωτερικές διαμέτρους ανά κλάδο του δικτύου (HDPE 20 atm)

		Άνω όριο $V_{max}$ (m/s) 1.5		Επιλέχθησαν αγωγοί 20 atm					Κάτω όριο $V_{min}$ (m/s) 0.5	
Κλάδος	Μήκος L (m)	Παροχή Q (L/s)	$D_{min}$ (mm)	Αποδεκτές εσωτερικές διαμέτρους D (mm)					$D_{max}$ (mm)	
0-1	1446.0	34.91	172.14	174.8	194.2	217.4	244.6	275.8	298.16	
1-2	3011.3	1.59	36.74	69.8					63.63	
1-3	8445.7	33.32	168.18	174.8	194.2	217.4	244.6	275.8	291.29	
3-4	3155.9	1.59	36.74	69.8					63.63	
3-5	3677.3	31.73	164.11	174.8	194.2	217.4	244.6	275.8	284.25	
5-6	2406.4	1.02	29.42	69.8					50.96	
5-7	1089.6	2.88	49.44	69.8	85.4				85.64	
5-8	8666.4	27.83	153.70	155.2	174.8	194.2	217.4	244.6	266.21	
8-9	170.1	2.88	49.44	69.8	85.4				85.64	
8-10	3422.2	24.95	145.53	155.2	174.8	194.2	217.4	244.6	252.06	
10-11	2342.5	1.67	37.65	69.8					65.21	
10-12	2136.0	23.28	140.57	155.2	174.8	194.2	217.4		243.48	
12-13	636.3	2.38	44.95	69.8					77.85	
12-14	3841.4	20.9	133.19	139.8	155.2	174.8	194.2	217.4	230.70	
14-15	1187.1	5.73	69.74	69.8	85.4	97.0	108.6		120.79	
14-16	2929.6	15.17	113.48	124.2	139.8	155.2	174.8	194.2	196.55	
16-17	3389.9	0.47	19.97	69.8					34.60	
16-18	1166.0	9.53	89.94	97.0	108.6	124.2	139.8	155.2	155.78	
16-21	5158.7	5.17	66.25	69.8	85.4	97.0	108.6		114.74	
18-19	561.3	8.45	84.69	85.4	97.0	108.6	124.2	139.8	146.69	
18-20	2404.5	1.08	30.28	69.8					52.44	
21-22	5336.3	1.79	38.98	69.8					67.51	
21-23	717.3	3.38	53.56	69.8	85.4				92.77	
23-24	732.2	2.04	41.61	69.8					72.08	
23-25	4149.2	1.34	33.73	69.8					58.41	

#### 4.5.2 Κόστος ανά μέτρο μήκους αγωγού από HDPE κλάσης 20 atm

Από το τιμολόγιο υδραυλικών έργων του ΥΠΕΚΑ για το 2013, διατίθενται τα κόστη σε € ανά μέτρο μήκους του αγωγού για κάθε διάμετρο και για την κλάση των 20 atm στο πολυαιθυλένιο (HDPE). Να διευκρινιστεί ότι το τιμολόγιο δεν έχει παρουσιάσει διαφοροποιήσεις από το 2009 και μετά σε ό,τι αφορά τις σωληνώσεις. Κάθε μία τιμή περιλαμβάνει το κόστος αγοράς, μεταφοράς στο εργοτάξιο, το κόστος ειδικών τεμαχίων και το κόστος εκσκαφής, διάστρωσης, σύνδεσης και επίχωσης σωλήνων.

**Πίνακας 4.7** Κόστος του HDPE ανά μέτρο μήκους στις 20 atm

Πηγή: ΥΠΕΧΩΔΕ, Τιμολόγιο υδραυλικών έργων, 2013

Πολυαιθυλένιο (HDPE): 3 <sup>η</sup> ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΕΡΓΩΝ:			
> 5.0 εκ. €			
20 atm			
D <sub>ονομ</sub> (mm) εξωτερική	Πάχος (mm)	D (mm) εσωτερική	Κόστος (€/m)
90	10.1	69.8	10.0
110	12.3	85.4	14.0
125	14	97.0	17.0
140	15.7	108.6	20.0
160	17.9	124.2	25.0
180	20.1	139.8	32.0
200	22.4	155.2	39.9
225	25.1	174.8	49.9
250	27.9	194.2	60.0
280	31.3	217.4	85.0
315	35.2	244.6	100.0
355	39.6	275.8	120.0
400	44.7	310.6	155.0
450	50.2	349.6	190.0
500	55.8	388.4	230.0
560	62.5	435.0	270.0

#### 4.5.3 Υπολογισμός των γραμμικών απωλειών φορτίου ανά κλάδο ( $h_f$ ) και ανά μέτρο μήκους κλάδου (S)

Αφού εξελέγησαν οι αποδεκτές εσωτερικές διαμέτροι του εμπορίου  $D'$ , θα πρέπει να υπολογιστούν σε κάθε κλάδο οι απώλειες που αυτές επιφέρει η εφαρμογή τους ανά μήκος και ανά μέτρο μήκους. Έτσι επανυπολογίζονται (Μαντόγλου, 2009):

οι ταχύτητες  $V$

$$V' = \frac{4Q}{\pi D'^2},$$

οι αριθμοί Reynolds  $Re$

$$Re = \frac{V'D'}{\nu},$$

οι συντελεστές τριβής  $f$  κατά Swamee & Jain

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

οι αντιστάσεις των αγωγών  $R$

$$R = \frac{8fL}{g\pi^2 D^5},$$

και τέλος οι γραμμικές απώλειες  $\Sigma h_f$

$$\Sigma h_f = RQ^2$$

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)  
 $\nu$ , 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 ( $9.81 m/s^2$ )  
 $\pi$ , ο άρρητος αριθμός (3.141592654)  
 $\Sigma h_f$ , 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

$$S = \frac{\Sigma h_f}{L}$$

Όπου:

$S$ , η κλίση απωλειών φορτίου  $S$  (m/m)  
 $\Sigma h_f$ , το συνολικό ύψος απωλειών στον κλάδο (m)  
 $L$ , το μήκος του κλάδου (m)  
Ακολουθεί ο πίνακας των υπολογισμών.

**Πίνακας 4.8** Οι συνολικές απώλειες φορτίου ανά μήκος και μέτρο μήκους

Κλάδος	Μήκος L (m)	Παροχ ή Q (L/s)	Αποδεκτές εσωτ. διάμετροι D (mm)	Νέες ταχύτητες V' (m/s)	Κινηματική συνεκτικότητα $\alpha \nu$ (m <sup>2</sup> /s)	Αριθμός Reynolds Re	Τραχύτητα PE k (mm)	Συντελ. τριβής f	Αντίσταση αγωγού R (s <sup>2</sup> /m <sup>5</sup> )	Συνολικές γραμμικές απώλειες ΣΗ <sub>f</sub> (m)	Απώλειες ανά m μήκους S (m)
0-1	1446.0	34.91	174.8	1.455	0.000001	254283.7100	0.1	0.019	13869.7572	16.903	0.011689617
			194.2	1.179	0.000001	228881.5268	0.1	0.019	8129.5279	9.908	0.006851675
			217.4	0.940	0.000001	204456.2673	0.1	0.019	4596.1578	5.601	0.003873703
			244.6	0.743	0.000001	181720.3291	0.1	0.019	2540.5161	3.096	0.002141181
			275.8	0.584	0.000001	161163.1345	0.1	0.019	1393.2915	1.698	0.001174285
1-2	3011.3	1.59	69.8	0.416	0.000001	29003.5942	0.1	0.027	4098019.7347	10.360	0.003440442
1-3	8445.7	33.32	174.8	1.388	0.000001	242702.1832	0.1	0.019	81287.4219	90.247	0.010685570
			194.2	1.125	0.000001	218456.9600	0.1	0.019	47666.6868	52.921	0.006265984
			217.4	0.898	0.000001	195144.1657	0.1	0.019	26962.7790	29.935	0.003544369
			244.6	0.709	0.000001	173443.7515	0.1	0.019	14911.7799	16.555	0.001960216
			275.8	0.558	0.000001	153822.8485	0.1	0.019	8182.6714	9.085	0.001075646
3-4	3155.9	1.59	69.8	0.416	0.000001	29003.5942	0.1	0.027	4294803.0687	10.858	0.003440442
3-5	3677.3	31.73	174.8	1.322	0.000001	231120.6565	0.1	0.019	35524.1713	35.765	0.009726017
			194.2	1.071	0.000001	208032.3931	0.1	0.019	20841.2262	20.983	0.005706034
			217.4	0.855	0.000001	185832.0642	0.1	0.019	11795.2274	11.875	0.003229367
			244.6	0.675	0.000001	165167.1740	0.1	0.019	6527.1312	6.571	0.001787037
			275.8	0.531	0.000001	146482.5625	0.1	0.019	3583.8210	3.608	0.000981200
5-6	2406.4	1.02	69.8	0.267	0.000001	18606.0793	0.1	0.029	3526987.4766	3.669	0.001524883
5-7	1089.6	2.88	69.8	0.753	0.000001	52534.8122	0.1	0.025	1370806.4992	11.370	0.010435038
			85.4	0.503	0.000001	42938.2891	0.1	0.025	498779.4812	4.137	0.003796876
5-8	8666.4	27.83	155.2	1.471	0.000001	228313.5085	0.1	0.019	154758.2207	119.862	0.013830612
			174.8	1.160	0.000001	202713.1380	0.1	0.019	84603.8994	65.526	0.007560980
			194.2	0.940	0.000001	182462.7010	0.1	0.019	49700.5306	38.494	0.004441695
			217.4	0.750	0.000001	162991.0604	0.1	0.019	28169.6566	21.818	0.002517499
			244.6	0.592	0.000001	144866.1346	0.1	0.019	15612.7235	12.092	0.001395296
8-9	170.1	2.88	69.8	0.753	0.000001	52534.8122	0.1	0.025	213949.4799	1.775	0.010435038
			85.4	0.503	0.000001	42938.2891	0.1	0.025	77847.3188	0.646	0.003796876
8-10	3422.2	24.95	155.2	1.319	0.000001	204686.3830	0.1	0.020	61612.8706	38.354	0.011207459
			174.8	1.040	0.000001	181735.2782	0.1	0.019	33723.6837	20.993	0.006134381
			194.2	0.842	0.000001	163580.4667	0.1	0.019	19833.3443	12.346	0.003607710
			217.4	0.672	0.000001	146123.8576	0.1	0.019	11255.3360	7.006	0.002047360
			244.6	0.531	0.000001	129874.5979	0.1	0.019	6246.3885	3.888	0.001136226
10-11	2342.5	1.67	69.8	0.436	0.000001	30462.8945	0.1	0.027	3164437.9442	8.825	0.003767471
10-12	2136.0	23.28	155.2	1.231	0.000001	190985.9317	0.1	0.020	38667.6474	20.956	0.009810981
			174.8	0.970	0.000001	169571.0332	0.1	0.020	21181.3832	11.479	0.005374264
			194.2	0.786	0.000001	152631.3934	0.1	0.020	12466.1457	6.756	0.003162983
			217.4	0.627	0.000001	136343.2226	0.1	0.019	7080.1529	3.837	0.001796418
12-13	636.3	2.38	69.8	0.622	0.000001	43414.1850	0.1	0.026	818932.5094	4.639	0.007289982
			139.8	1.362	0.000001	190348.4012	0.1	0.020	119242.4747	52.086	0.013559199
			155.2	1.105	0.000001	171460.7376	0.1	0.020	70169.2270	30.651	0.007979023
			174.8	0.871	0.000001	152235.1629	0.1	0.020	38485.7309	16.811	0.004376257
			194.2	0.706	0.000001	137027.3248	0.1	0.020	22676.6563	9.905	0.002578589
14-15	1187.1	5.73	124.2	1.252	0.000001	155515.6513	0.1	0.021	170154.6173	39.157	0.013366157
			139.8	0.988	0.000001	138161.9735	0.1	0.021	93429.1692	21.501	0.007339143
			155.2	0.802	0.000001	124452.6024	0.1	0.021	55161.3724	12.694	0.004333092
			174.8	0.632	0.000001	110497.9628	0.1	0.020	30372.8511	6.990	0.002385879
16-17	3389.9	0.47	194.2	0.512	0.000001	99459.5463	0.1	0.020	17959.5683	4.133	0.001410778
			69.8	0.123	0.000001	8573.3895	0.1	0.035	5842127.5726	1.291	0.000380697

(συνέχεια πίνακα)

κλάδος	Μήκος L (m)	Παροχή Q (l/s)	Αποδεκτές εσωτ. διαμέτροι D (mm)	Νέες ταχύτητες V' (m/s)	Κινηματική συνεκτικότητα α ν (m <sup>2</sup> /s)	Αριθμός Reynolds Re	Τραχύτητα PE k (mm)	Συντελ. τριβής f	Αντίσταση αγωγού R (s <sup>2</sup> /m <sup>5</sup> )	Συνολικές γραμμικές απώλειες ΣH <sub>f</sub> (m)	Απώλειες ανά m μήκους S (m)
16-18	1166.0	9.53	97.0	1.290	0.000001	125092.5037	0.1	0.022	247033.8956	22.436	0.019241716
			108.6	1.029	0.000001	111730.8735	0.1	0.022	139243.2198	12.646	0.010845793
			124.2	0.787	0.000001	97697.0440	0.1	0.022	70719.9651	6.423	0.005508448
			139.8	0.621	0.000001	86795.2279	0.1	0.022	39053.3206	3.547	0.003041902
			155.2	0.504	0.000001	78182.8148	0.1	0.022	23176.8535	2.105	0.001805268
16-21	5158.7	5.17	69.8	1.351	0.000001	94307.2843	0.1	0.024	6135682.3034	164.000	0.031790963
			85.4	0.903	0.000001	77080.1926	0.1	0.023	2203488.5934	58.897	0.011416990
			97.0	0.700	0.000001	67862.3551	0.1	0.023	1159874.6137	31.002	0.006009687
			108.6	0.558	0.000001	60613.7058	0.1	0.023	658628.4774	17.604	0.003412568
18-19	561.3	8.45	85.4	1.475	0.000001	125982.1329	0.1	0.022	229695.0711	16.401	0.029219316
			97.0	1.143	0.000001	110916.2284	0.1	0.022	120122.8434	8.577	0.015280726
			108.6	0.912	0.000001	99068.8228	0.1	0.022	67801.6712	4.841	0.008624993
			124.2	0.697	0.000001	86625.3957	0.1	0.022	34494.7106	2.463	0.004388043
			139.8	0.550	0.000001	76959.0426	0.1	0.022	19078.3696	1.362	0.002426943
18-20	2404.5	1.08	69.8	0.282	0.000001	19700.5546	0.1	0.029	3488048.1018	4.068	0.001692019
21-22	5336.3	1.79	69.8	0.468	0.000001	32651.8451	0.1	0.027	7135920.2064	22.864	0.004284655
21-23	717.3	3.38	69.8	0.883	0.000001	61655.4393	0.1	0.025	886920.5630	10.133	0.014125938
			85.4	0.590	0.000001	50392.8532	0.1	0.025	321511.8100	3.673	0.005120702
23-24	732.2	2.04	69.8	0.533	0.000001	37212.1586	0.1	0.026	961427.0909	4.001	0.005464456
23-25	4149.2	1.34	69.8	0.350	0.000001	24443.2807	0.1	0.028	5800996.3369	10.416	0.002510428

#### 4.6 Η ΜΟΡΦΗ ΤΟΥ ΓΡΑΜΜΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

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.

##### 4.6.1 Ορισμός των μεταβλητών απόφασης

Κάθε κλάδος μπορεί να διαστασιολογηθεί με μία (ή και περισσότερες) εκ των υποψήφιων διαμέτρων όπως αυτές καθορίστηκαν στον Πίν. 4.6. Κάθε υποψήφια 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 Φ90 (εσωτερική διάμετρος 69.8 mm) δεν έχει νόημα να τεθούν μεταβλητές, όπως φαίνεται και στον πίνακα, διότι είναι εκ των πραγμάτων οι βέλτιστες αποδεκτές επιλογές. Όπως προελέχθη, αξιοποιούνται τα ύψη των απωλειών τους που επηρεάζουν τους κατόντη κλάδους.

Πίνακας 4.9 Οι μεταβλητές απόφασης

Κλάδος	Μήκος L (m)	Παροχή Q (L/s)	Αποδεκτές εσωτ. διάμετροι D (mm)	Μεταβλητή X (m)
0-1	1446.0	34.91	174.8	X <sub>1</sub>
			194.2	X <sub>2</sub>
			217.4	X <sub>3</sub>
			244.6	X <sub>4</sub>
			275.8	X <sub>5</sub>
1-2	3011.3	1.59	69.8	
1-3	8445.7	33.32	174.8	X <sub>6</sub>
			194.2	X <sub>7</sub>
			217.4	X <sub>8</sub>
			244.6	X <sub>9</sub>
			275.8	X <sub>10</sub>
3-4	3155.9	1.59	69.8	
3-5	3677.3	31.73	174.8	X <sub>11</sub>
			194.2	X <sub>12</sub>
			217.4	X <sub>13</sub>
			244.6	X <sub>14</sub>
			275.8	X <sub>15</sub>
5-6	2406.4	1.02	69.8	
5-7	1089.6	2.88	69.8	X <sub>16</sub>
			85.4	X <sub>17</sub>
5-8	8666.4	27.83	155.2	X <sub>18</sub>
			174.8	X <sub>19</sub>
			194.2	X <sub>20</sub>
			217.4	X <sub>21</sub>
			244.6	X <sub>22</sub>
8-9	170.1	2.88	69.8	X <sub>23</sub>
			85.4	X <sub>24</sub>
8-10	3422.2	24.95	155.2	X <sub>25</sub>
			174.8	X <sub>26</sub>
			194.2	X <sub>27</sub>
			217.4	X <sub>28</sub>
			244.6	X <sub>29</sub>
10-11	2342.5	1.67	69.8	
10-12	2136.0	23.28	155.2	X <sub>30</sub>
			174.8	X <sub>31</sub>
			194.2	X <sub>32</sub>
			217.4	X <sub>33</sub>
12-13	636.3	2.38	69.8	

(συνέχεια πίνακα)

κλάδος	Μήκος L (m)	Παροχή Q (L/s)	Αποδεκτές εσωτ. διαμέτροι D (mm)	Μεταβλητή X (m)
12-14	3841.4	20.9	139.8	X <sub>34</sub>
			155.2	X <sub>35</sub>
			174.8	X <sub>36</sub>
			194.2	X <sub>37</sub>
			217.4	X <sub>38</sub>
14-15	1187.1	5.73	69.8	X <sub>39</sub>
			85.4	X <sub>40</sub>
			97.0	X <sub>41</sub>
			108.6	X <sub>42</sub>
14-16	2929.6	15.17	124.2	X <sub>43</sub>
			139.8	X <sub>44</sub>
			155.2	X <sub>45</sub>
			174.8	X <sub>46</sub>
			194.2	X <sub>47</sub>
16-17	3389.9	0.47	69.8	
16-18	1166.0	9.53	97.0	X <sub>48</sub>
			108.6	X <sub>49</sub>
			124.2	X <sub>50</sub>
			139.8	X <sub>51</sub>
			155.2	X <sub>52</sub>
16-21	5158.7	5.17	69.8	X <sub>53</sub>
			85.4	X <sub>54</sub>
			97.0	X <sub>55</sub>
			108.6	X <sub>56</sub>
18-19	561.3	8.45	85.4	X <sub>57</sub>
			97.0	X <sub>58</sub>
			108.6	X <sub>59</sub>
			124.2	X <sub>60</sub>
			139.8	X <sub>61</sub>
18-20	2404.5	1.08	69.8	
21-22	5336.3	1.79	69.8	
21-23	717.3	3.38	69.8	X <sub>62</sub>
			85.4	X <sub>63</sub>
23-24	732.2	2.04	69.8	
23-25	4149.2	1.34	69.8	

#### 4.6.2 Καθορισμός της συνάρτησης στόχου

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 για το πολυαιθυλένιο κλάσης 20 atm, μπορεί να κατασκευαστεί η συναρτησιακή σχέση.

**Πίνακας 4.10** Τα κόστη των κλάδων

Κλάδος	Μήκος L (m)	Παροχή Q (L/s)	Αποδεκτές εσωτ. διάμετροι D (mm)	Μεταβλητή X (m)	Κόστος (€/m)	Συνολικό Κόστος (€)
0-1	1446.0	34.91	174.8	X <sub>1</sub>	49.9	49.9*X <sub>1</sub>
			194.2	X <sub>2</sub>	60.0	60.0*X <sub>2</sub>
			217.4	X <sub>3</sub>	85.0	85.0*X <sub>3</sub>
			244.6	X <sub>4</sub>	100.0	100.0*X <sub>4</sub>
			275.8	X <sub>5</sub>	120.0	120.0*X <sub>5</sub>
1-2	3011.3	1.59	69.8		10.0	30113.0
1-3	8445.7	33.32	174.8	X <sub>6</sub>	49.9	49.9*X <sub>6</sub>
			194.2	X <sub>7</sub>	60.0	60.0*X <sub>7</sub>
			217.4	X <sub>8</sub>	85.0	85.0*X <sub>8</sub>
			244.6	X <sub>9</sub>	100.0	100.0*X <sub>9</sub>
			275.8	X <sub>10</sub>	120.0	120.0*X <sub>10</sub>
3-4	3155.9	1.59	69.8		10.0	31559.0
3-5	3677.3	31.73	174.8	X <sub>11</sub>	49.9	49.9*X <sub>11</sub>
			194.2	X <sub>12</sub>	60.0	60.0*X <sub>12</sub>
			217.4	X <sub>13</sub>	85.0	85.0*X <sub>13</sub>
			244.6	X <sub>14</sub>	100.0	100.0*X <sub>14</sub>
			275.8	X <sub>15</sub>	120.0	120.0*X <sub>15</sub>
5-6	2406.4	1.02	69.8		10.0	24064.0
5-7	1089.6	2.88	69.8	X <sub>16</sub>	10.0	10.00*X <sub>16</sub>
			85.4	X <sub>17</sub>	14.0	14.00*X <sub>17</sub>
5-8	8666.4	27.83	155.2	X <sub>18</sub>	39.9	39.90*X <sub>18</sub>
			174.8	X <sub>19</sub>	49.9	49.90*X <sub>19</sub>
			194.2	X <sub>20</sub>	60.0	60.0*X <sub>20</sub>
			217.4	X <sub>21</sub>	85.0	85.0*X <sub>21</sub>
			244.6	X <sub>22</sub>	100.0	100.0*X <sub>22</sub>
8-9	170.1	2.88	69.8	X <sub>23</sub>	10.0	10.0*X <sub>23</sub>
			85.4	X <sub>24</sub>	14.0	14.0*X <sub>24</sub>
8-10	3422.2	24.95	155.2	X <sub>25</sub>	39.9	39.9*X <sub>25</sub>
			174.8	X <sub>26</sub>	49.9	49.9*X <sub>26</sub>
			194.2	X <sub>27</sub>	60.0	60.0*X <sub>27</sub>
			217.4	X <sub>28</sub>	85.0	85.0*X <sub>28</sub>
			244.6	X <sub>29</sub>	100.0	100.0*X <sub>29</sub>
10-11	2342.5	1.67	69.8		10.0	23425.0
10-12	2136.0	23.28	155.2	X <sub>30</sub>	39.9	39.9*X <sub>30</sub>
			174.8	X <sub>31</sub>	49.9	49.9*X <sub>31</sub>
			194.2	X <sub>32</sub>	60.0	60.0*X <sub>32</sub>
			217.4	X <sub>33</sub>	85.0	85.0*X <sub>33</sub>



## (συνέχεια πίνακα)

κλάδος	Μήκος L (m)	Παροχή Q (L/s)	Αποδεκτές εσωτ. διαμέτροι D (mm)	Μεταβλητή X (m)	Κόστος (€/m)	Συνολικό Κόστος (€)
12-13	636.3	2.38	69.8		10.0	6363.2
12-14	3841.4	20.9	139.8	X <sub>34</sub>	32.0	32.0*X <sub>34</sub>
			155.2	X <sub>35</sub>	39.9	39.9*X <sub>35</sub>
			174.8	X <sub>36</sub>	49.9	49.9*X <sub>36</sub>
			194.2	X <sub>37</sub>	60.0	60.0*X <sub>37</sub>
			217.4	X <sub>38</sub>	85.0	85.0*X <sub>38</sub>
14-15	1187.1	5.73	69.8	X <sub>39</sub>	10.0	10.0*X <sub>39</sub>
			85.4	X <sub>40</sub>	14.0	14.0*X <sub>40</sub>
			97.0	X <sub>41</sub>	17.0	17.0*X <sub>41</sub>
			108.6	X <sub>42</sub>	20.0	20.0*X <sub>42</sub>
14-16	2929.6	15.17	124.2	X <sub>43</sub>	25.0	25.0*X <sub>43</sub>
			139.8	X <sub>44</sub>	32.0	32.0*X <sub>44</sub>
			155.2	X <sub>45</sub>	39.9	39.9*X <sub>45</sub>
			174.8	X <sub>46</sub>	49.9	49.9*X <sub>46</sub>
			194.2	X <sub>47</sub>	60.0	60.0*X <sub>47</sub>
16-17	3389.9	0.47	69.8		10.0	33899.0
16-18	1166.0	9.53	97.0	X <sub>48</sub>	17.0	17.0*X <sub>48</sub>
			108.6	X <sub>49</sub>	20.0	20.0*X <sub>49</sub>
			124.2	X <sub>50</sub>	25.0	25.0*X <sub>50</sub>
			139.8	X <sub>51</sub>	32.0	32.0*X <sub>51</sub>
			155.2	X <sub>52</sub>	39.9	39.9*X <sub>52</sub>
16-21	5158.7	5.17	69.8	X <sub>53</sub>	10.0	10.0*X <sub>53</sub>
			85.4	X <sub>54</sub>	14.0	14.0*X <sub>54</sub>
			97.0	X <sub>55</sub>	17.0	17.0*X <sub>55</sub>
			108.6	X <sub>56</sub>	20.0	20.0*X <sub>56</sub>
18-19	561.3	8.45	85.4	X <sub>57</sub>	14.0	14.0*X <sub>57</sub>
			97.0	X <sub>58</sub>	17.0	17.0*X <sub>58</sub>
			108.6	X <sub>59</sub>	20.0	20.0*X <sub>59</sub>
			124.2	X <sub>60</sub>	25.0	25.0*X <sub>60</sub>
			139.8	X <sub>61</sub>	32.0	32.0*X <sub>61</sub>
18-20	2404.5	1.08	69.8		10.0	24045.0
21-22	5336.3	1.79	69.8		10.0	53363.0
21-23	717.3	3.38	69.8	X <sub>62</sub>	10.0	10.0*X <sub>62</sub>
			85.4	X <sub>63</sub>	14.0	14.0*X <sub>63</sub>
23-24	732.2	2.04	69.8		10.0	7322.0
23-25	4149.2	1.34	69.8		10.0	41492.0

Επομένως είναι:

$$Z = 49.9 \cdot X_1 + 60 \cdot X_2 + 85 \cdot X_3 + 100 \cdot X_4 + 120 \cdot X_5 + 49.9 \cdot X_6 + 60 \cdot X_7 + 85 \cdot X_8 + 100 \cdot X_9 + 120 \cdot X_{10} + 49.9 \cdot X_{11} + 60 \cdot X_{12} + 85 \cdot X_{13} + 100 \cdot X_{14} + 120 \cdot X_{15} + 10 \cdot X_{16} + 14 \cdot X_{17} + 39.9 \cdot X_{18} + 49.9 \cdot X_{19} + 60 \cdot X_{20} + 85 \cdot X_{21} + 100 \cdot X_{22} + 10 \cdot X_{23} + 14 \cdot X_{24} + 39.9 \cdot X_{25} + 49.9 \cdot X_{26} + 60 \cdot X_{27} + 85 \cdot X_{28} + 100 \cdot X_{29} + 39.9 \cdot X_{30} + 49.9 \cdot X_{31} + 60 \cdot X_{32} + 85 \cdot X_{33} + 32 \cdot X_{34} + 39.9 \cdot X_{35} + 49.9 \cdot X_{36} + 60 \cdot X_{37} + 85 \cdot X_{38} + 10 \cdot X_{39} + 14 \cdot X_{40} + 17 \cdot X_{41} + 20 \cdot X_{42} + 25 \cdot X_{43} + 32 \cdot X_{44} + 39.9 \cdot X_{45} + 49.9 \cdot X_{46} + 60 \cdot X_{47} + 17 \cdot X_{48} + 20 \cdot X_{49} + 25 \cdot X_{50} + 32 \cdot X_{51} + 39.9 \cdot X_{52} + 10 \cdot X_{53} + 14 \cdot X_{54} + 17 \cdot X_{55} + 20 \cdot X_{56} + 14 \cdot X_{57} + 17 \cdot X_{58} + 20 \cdot X_{59} + 25 \cdot X_{60} + 32 \cdot X_{61} + 10 \cdot X_{62} + 14 \cdot X_{63}$$

Τονίζεται ότι το κόστος των αγωγών Φ90 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. Όλοι οι υπολογισμοί έγιναν στο MS Excel.

#### 4.6.3 Καθορισμός των 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:

$$X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 = L_{0-1} = 1446 \text{ m}$$

$$X_6 + X_7 + X_8 + X_9 + X_{10} = L_{1-3} = 8445.7 \text{ m}$$

$$X_{11} + X_{12} + X_{13} + X_{14} + X_{15} = L_{3-5} = 3677.3 \text{ m}$$

$$X_{16} + X_{17} = L_{5-7} = 1089.6 \text{ m}$$

$$X_{18} + X_{19} + X_{20} + X_{21} + X_{22} = L_{5-8} = 8666.4 \text{ m}$$

$$X_{23} + X_{24} = L_{8-9} = 170.1 \text{ m}$$

$$X_{25} + X_{26} + X_{27} + X_{28} + X_{29} = L_{8-10} = 3422.2 \text{ m}$$

$$X_{30} + X_{31} + X_{32} + X_{33} = L_{10-12} = 2136.0 \text{ m}$$

$$X_{34} + X_{35} + X_{36} + X_{37} + X_{38} = L_{12-14} = 3841.4 \text{ m}$$

$$X_{39} + X_{40} + X_{41} + X_{42} = L_{14-15} = 1187.1 \text{ m}$$

$$X_{43} + X_{44} + X_{45} + X_{46} + X_{47} = L_{10-11} = 2929.6 \text{ m}$$

$$X_{48} + X_{49} + X_{50} + X_{51} + X_{52} = L_{16-18} = 1166.0 \text{ m}$$

$$X_{53} + X_{54} + X_{55} + X_{56} = L_{16-21} = 5158.7 \text{ m}$$

$$X_{57} + X_{58} + X_{59} + X_{60} + X_{61} = L_{18-19} = 561.3 \text{ m}$$

$$X_{62} + X_{63} = L_{21-23} = 717.3 \text{ m}$$

Βέβαια δεν παραλείπεται και η μη αρνητικότητα των μεταβλητών (επιπλέον 63 περιορισμοί):

$$X_1 \geq 0, X_2 \geq 0, [\dots], X_{63} \geq 0$$

#### 4.6.4 Καθορισμός των περιορισμών πιεζομετρικού φορτίου

Για κάθε κλάδο, θα πρέπει να επιλεχθεί τέτοια διάμετρος ώστε οι συνολικές απώλειες φορτίου από τη δεξαμενή να είναι το πολύ ίσες με την υψομετρική διαφορά μεταξύ της δεξαμενής και του κόμβου πέρατος. Αν είναι μικρότερες, υπάρχει (επιθυμητή) περίσσεια υδραυλικού φορτίου. Αν

είναι ίσες, το πιεζομετρικό φορτίο προκύπτει μηδενικό, οπότε για να αποφευχθεί το ενδεχόμενο ελλείματος φορτίου τίθεται ένα διάστημα ασφαλείας  $\delta$ :

- Στους κόμβους – δεξαμενές/υδατόπυργους εσωτερικών υδραγωγείων, οι επιτρεπόμενες απώλειες μειώνονται κατά 1 m.
- Στους εσωτερικούς κόμβους του δικτύου που είναι πιο αβέβαιοι, οι επιτρεπόμενες απώλειες μειώνονται κατά 5 m.

Επειδή πρόκειται για δίκτυο βαρύτητας, αν τα παραπάνω δεν κατοχυρωθούν, λόγω ελλείματος υδραυλικού φορτίου δεν θα αρκέσει το νερό για τα κατάντη σημεία του δικτύου. Σε έναν τέτοιο κλάδο, η πιεζομετρική γραμμή θα καταλήξει να τέμνει το έδαφος στον κόμβο πέρατος.

Τα παραπάνω για ένα κόμβο  $i$ , συνοψίζονται στη σχέση:

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

Όπου:

$Z_0$ , το υψόμετρο της δεξαμενής στην Κ.Σ.Λ

$Z_i$ , το υψόμετρο εδάφους του κόμβου  $i$

$\delta$ , ένα διάστημα ασφαλείας 1 ή 5 m ανάλογα με τη θέση του κόμβου

Εφόσον υπολογίστηκαν οι κλίσεις απωλειών φορτίου στον Πίν. 4.11, μπορούν να διατυπωθούν οι γραμμικές απώλειες σε κάθε κλάδο, συναρτήσει των μεταβλητών απόφασης, δίχως προσαύξηση για τις τοπικές απώλειες, οποίες για κλάδους με μεγάλα μήκη θεωρούνται αμελητέες (Τσακίρης, 2010). Το υψόμετρο της δεξαμενής είναι +265 m και τα υψόμετρα των κόμβων παρουσιάζονται στον πίνακα 4.2.

Πίνακας 4.11 Υπολογισμός απωλειών φορτίου ανά κλάδο

Κλάδος	Μήκος L (m)	Παροχή Q (L/s)	Αποδεκτές εσωτ. διαμέτροι D (mm)	Απώλειες ανά m μήκους S (m)	Μεταβλητή (m)	Συνολικές γραμμικές απώλειες ΣΗ <sub>f</sub> (m)
0-1	1446.0	34.91	174.8	0.0117	X <sub>1</sub>	0.0117*X <sub>1</sub>
			194.2	0.0069	X <sub>2</sub>	0.0069*X <sub>2</sub>
			217.4	0.0039	X <sub>3</sub>	0.0039*X <sub>3</sub>
			244.6	0.0021	X <sub>4</sub>	0.0021*X <sub>4</sub>
			275.8	0.0012	X <sub>5</sub>	0.0012*X <sub>5</sub>
1-2	3011.3	1.59	69.8	0.0034		10.360
1-3	8445.7	33.32	174.8	0.0107	X <sub>6</sub>	0.0107*X <sub>6</sub>
			194.2	0.0063	X <sub>7</sub>	0.0063*X <sub>7</sub>
			217.4	0.0035	X <sub>8</sub>	0.0035*X <sub>8</sub>
			244.6	0.0020	X <sub>9</sub>	0.0020*X <sub>9</sub>
			275.8	0.0011	X <sub>10</sub>	0.0011*X <sub>10</sub>
3-4	3155.9	1.59	69.8	0.0034		10.858
3-5	3677.3	31.73	174.8	0.0097	X <sub>11</sub>	0.0097*X <sub>11</sub>
			194.2	0.0057	X <sub>12</sub>	0.0057*X <sub>12</sub>
			217.4	0.0032	X <sub>13</sub>	0.0032*X <sub>13</sub>
			244.6	0.0018	X <sub>14</sub>	0.0018*X <sub>14</sub>
			275.8	0.0010	X <sub>15</sub>	0.0010*X <sub>15</sub>
5-6	2406.4	1.02	69.8	0.0015		3.669
5-7	1089.6	2.88	69.8	0.0104	X <sub>16</sub>	0.0104*X <sub>16</sub>
			85.4	0.0038	X <sub>17</sub>	0.0038*X <sub>17</sub>
5-8	8666.4	27.83	155.2	0.0138	X <sub>18</sub>	0.0138*X <sub>18</sub>
			174.8	0.0076	X <sub>19</sub>	0.0076*X <sub>19</sub>
			194.2	0.0044	X <sub>20</sub>	0.0044*X <sub>20</sub>
			217.4	0.0025	X <sub>21</sub>	0.0025*X <sub>21</sub>
			244.6	0.0014	X <sub>22</sub>	0.0014*X <sub>22</sub>
8-9	170.1	2.88	69.8	0.0104	X <sub>23</sub>	0.0104*X <sub>23</sub>
			85.4	0.0038	X <sub>24</sub>	0.0038*X <sub>24</sub>
8-10	3422.2	24.95	155.2	0.0112	X <sub>25</sub>	0.0112*X <sub>25</sub>
			174.8	0.0061	X <sub>26</sub>	0.0061*X <sub>26</sub>
			194.2	0.0036	X <sub>27</sub>	0.0036*X <sub>27</sub>
			217.4	0.0020	X <sub>28</sub>	0.0020*X <sub>28</sub>
			244.6	0.0011	X <sub>29</sub>	0.0011*X <sub>29</sub>
10-11	2342.5	1.67	69.8	0.0038		8.825

## (συνέχεια πίνακα)

Κλάδος	Μήκος L (m)	Παροχή Q (L/s)	Αποδεκτές εσωτ. διάμετροι D (mm)	Απώλειες ανά m μήκους S (m)	Μεταβλητή (m)	Συνολικές γραμμικές απώλειες Σητ (m)
10-12	2136.0	23.28	155.2	0.0098	X30	0.0098*X <sub>30</sub>
			174.8	0.0054	X31	0.0054*X <sub>31</sub>
			194.2	0.0032	X32	0.0032*X <sub>32</sub>
			217.4	0.0018	X33	0.0018*X <sub>33</sub>
12-13	636.3	2.38	69.8	0.0073		4.639
12-14	3841.4	20.9	139.8	0.0136	X <sub>34</sub>	0.0136*X <sub>34</sub>
			155.2	0.0080	X <sub>35</sub>	0.0080*X <sub>35</sub>
			174.8	0.0044	X <sub>36</sub>	0.0044*X <sub>36</sub>
			194.2	0.0026	X <sub>37</sub>	0.0026*X <sub>37</sub>
			217.4	0.0015	X <sub>38</sub>	0.0015*X <sub>38</sub>
14-15	1187.1	5.73	69.8	0.0387	X <sub>39</sub>	0.0387*X <sub>39</sub>
			85.4	0.0139	X <sub>40</sub>	0.0139*X <sub>40</sub>
			97.0	0.0073	X <sub>41</sub>	0.0073*X <sub>41</sub>
			108.6	0.0041	X <sub>42</sub>	0.0041*X <sub>42</sub>
14-16	2929.6	15.17	124.2	0.0134	X <sub>43</sub>	0.0134*X <sub>43</sub>
			139.8	0.0073	X <sub>44</sub>	0.0073*X <sub>44</sub>
			155.2	0.0043	X <sub>45</sub>	0.0043*X <sub>45</sub>
			174.8	0.0024	X <sub>46</sub>	0.0024*X <sub>46</sub>
			194.2	0.0014	X <sub>47</sub>	0.0014*X <sub>47</sub>
16-17	3389.9	0.47	69.8	0.0004		1.291
16-18	1166.0	9.53	97.0	0.0192	X <sub>48</sub>	0.0192*X <sub>48</sub>
			108.6	0.0108	X <sub>49</sub>	0.0108*X <sub>49</sub>
			124.2	0.0055	X <sub>50</sub>	0.0055*X <sub>50</sub>
			139.8	0.0030	X <sub>51</sub>	0.0030*X <sub>51</sub>
			155.2	0.0018	X <sub>52</sub>	0.0018*X <sub>52</sub>
16-21	5158.7	5.17	69.8	0.0318	X <sub>53</sub>	0.0318*X <sub>53</sub>
			85.4	0.0114	X <sub>54</sub>	0.0114*X <sub>54</sub>
			97.0	0.0060	X <sub>55</sub>	0.0060*X <sub>55</sub>
			108.6	0.0034	X <sub>56</sub>	0.0034*X <sub>56</sub>
18-19	561.3	8.45	85.4	0.0292	X <sub>57</sub>	0.0292*X <sub>57</sub>
			97.0	0.0153	X <sub>58</sub>	0.0153*X <sub>58</sub>
			108.6	0.0086	X <sub>59</sub>	0.0086*X <sub>59</sub>
			124.2	0.0044	X <sub>60</sub>	0.0044*X <sub>60</sub>
			139.8	0.0024	X <sub>61</sub>	0.0024*X <sub>61</sub>
18-20	2404.5	1.08	69.8	0.0017		4.068
21-22	5336.3	1.79	69.8	0.0043		22.864
21-23	717.3	3.38	69.8	0.0141	X <sub>62</sub>	0.0141*X <sub>62</sub>
			85.4	0.0051	X <sub>63</sub>	0.0051*X <sub>63</sub>
23-24	732.2	2.04	69.8	0.0055		4.001
23-25	4149.2	1.34	69.8	0.0025		10.416

Έτσι, οι περιορισμοί διαμορφώνονται ως εξής:

**(Κόμβος 1, εσωτερικός)**

$$0.0117 \cdot X_1 + 0.0069 \cdot X_2 + 0.0039 \cdot X_3 + 0.0021 \cdot X_4 + 0.0012 \cdot X_5 \leq 265 - 151.45 - 5 \quad [1]$$

*Απώλειες κλάδου 0-1*

**(Κόμβος 2, ακραίος)**

$$0.0117 \cdot X_1 + 0.0069 \cdot X_2 + 0.0039 \cdot X_3 + 0.0021 \cdot X_4 + 0.0012 \cdot X_5 + 10.360 \leq 265 - 244.80 - 1 \quad [2]$$

*Απώλειες κλάδου 1-2*

**(Κόμβος 3, εσωτερικός)**

$$0.0117 \cdot X_1 + 0.0069 \cdot X_2 + 0.0039 \cdot X_3 + 0.0021 \cdot X_4 + 0.0012 \cdot X_5 + 0.0107 \cdot X_6 + 0.0063 \cdot X_7 + 0.0035 \cdot X_8 + 0.0020 \cdot X_9 + 0.0011 \cdot X_{10} \leq 265 - 114.71 - 5 \quad [3]$$

*Απώλειες κλάδου 1-3*

**(Κόμβος 4, ακραίος)**

$$0.0117 \cdot X_1 + 0.0069 \cdot X_2 + 0.0039 \cdot X_3 + 0.0021 \cdot X_4 + 0.0012 \cdot X_5 + 0.0107 \cdot X_6 + 0.0063 \cdot X_7 + 0.0035 \cdot X_8 + 0.0020 \cdot X_9 + 0.0011 \cdot X_{10} + 10.858 \leq 265 - 135.56 - 1 \quad [4]$$

*Απώλειες κλάδου 3-4*

**(Κόμβος 5, εσωτερικός)**

$$0.0117 \cdot X_1 + 0.0069 \cdot X_2 + 0.0039 \cdot X_3 + 0.0021 \cdot X_4 + 0.0012 \cdot X_5 + 0.0107 \cdot X_6 + 0.0063 \cdot X_7 + 0.0035 \cdot X_8 + 0.0020 \cdot X_9 + 0.0011 \cdot X_{10} + 0.0097 \cdot X_{11} + 0.0057 \cdot X_{12} + 0.0032 \cdot X_{13} + 0.0018 \cdot X_{14} + 0.0010 \cdot X_{15} \leq 265 - 110.96 - 5 \quad [5]$$

*Απώλειες κλάδου 3-5*

**(Κόμβος 6, ακραίος)**

$$0.0117 \cdot X_1 + 0.0069 \cdot X_2 + 0.0039 \cdot X_3 + 0.0021 \cdot X_4 + 0.0012 \cdot X_5 + 0.0107 \cdot X_6 + 0.0063 \cdot X_7 + 0.0035 \cdot X_8 + 0.0020 \cdot X_9 + 0.0011 \cdot X_{10} + 0.0097 \cdot X_{11} + 0.0057 \cdot X_{12} + 0.0032 \cdot X_{13} + 0.0018 \cdot X_{14} + 0.0010 \cdot X_{15} + 3.669 \leq 265 - 131.92 - 1 \quad [6]$$

*Απώλειες κλάδου 5-6*

**(Κόμβος 7, ακραίος)**

$$0.0117 \cdot X_1 + 0.0069 \cdot X_2 + 0.0039 \cdot X_3 + 0.0021 \cdot X_4 + 0.0012 \cdot X_5 + 0.0107 \cdot X_6 + 0.0063 \cdot X_7 + 0.0035 \cdot X_8 + 0.0020 \cdot X_9 + 0.0011 \cdot X_{10} + 0.0097 \cdot X_{11} + 0.0057 \cdot X_{12} + 0.0032 \cdot X_{13} + 0.0018 \cdot X_{14} + 0.0010 \cdot X_{15} + 0.0104 \cdot X_{16} + 0.0038 \cdot X_{17} \leq 265-134.41-1 \quad [7]$$

Απώλειες κλάδου 5-7

**(Κόμβος 8,εσωτερικός)**

$$0.0117 \cdot X_1 + 0.0069 \cdot X_2 + 0.0039 \cdot X_3 + 0.0021 \cdot X_4 + 0.0012 \cdot X_5 + 0.0107 \cdot X_6 + 0.0063 \cdot X_7 + 0.0035 \cdot X_8 + 0.0020 \cdot X_9 + 0.0011 \cdot X_{10} + 0.0097 \cdot X_{11} + 0.0057 \cdot X_{12} + 0.0032 \cdot X_{13} + 0.0018 \cdot X_{14} + 0.0010 \cdot X_{15} + 0.0138 \cdot X_{18} + 0.0076 \cdot X_{19} + 0.0044 \cdot X_{20} + 0.0025 \cdot X_{21} + 0.0014 \cdot X_{22} \leq 265-104.6-5 \quad [8]$$

Απώλειες κλάδου 5-8

**(Κόμβος 9, ακραίος)**

$$0.0117 \cdot X_1 + 0.0069 \cdot X_2 + 0.0039 \cdot X_3 + 0.0021 \cdot X_4 + 0.0012 \cdot X_5 + 0.0107 \cdot X_6 + 0.0063 \cdot X_7 + 0.0035 \cdot X_8 + 0.0020 \cdot X_9 + 0.0011 \cdot X_{10} + 0.0097 \cdot X_{11} + 0.0057 \cdot X_{12} + 0.0032 \cdot X_{13} + 0.0018 \cdot X_{14} + 0.0010 \cdot X_{15} + 0.0138 \cdot X_{18} + 0.0076 \cdot X_{19} + 0.0044 \cdot X_{20} + 0.0025 \cdot X_{21} + 0.0014 \cdot X_{22} + 0.0104 \cdot X_{23} + 0.0038 \cdot X_{24} \leq 265-119.16-1 \quad [9]$$

Απώλειες κλάδου 8-9

**(Κόμβος 10, εσωτερικός)**

$$0.0117 \cdot X_1 + 0.0069 \cdot X_2 + 0.0039 \cdot X_3 + 0.0021 \cdot X_4 + 0.0012 \cdot X_5 + 0.0107 \cdot X_6 + 0.0063 \cdot X_7 + 0.0035 \cdot X_8 + 0.0020 \cdot X_9 + 0.0011 \cdot X_{10} + 0.0097 \cdot X_{11} + 0.0057 \cdot X_{12} + 0.0032 \cdot X_{13} + 0.0018 \cdot X_{14} + 0.0010 \cdot X_{15} + 0.0138 \cdot X_{18} + 0.0076 \cdot X_{19} + 0.0044 \cdot X_{20} + 0.0025 \cdot X_{21} + 0.0014 \cdot X_{22} + 0.0112 \cdot X_{25} + 0.0061 \cdot X_{26} + 0.0036 \cdot X_{27} + 0.0020 \cdot X_{28} + 0.0011 \cdot X_{29} \leq 265-104.55-5 \quad [10]$$

Απώλειες κλάδου 5-8

**(Κόμβος 11, ακραίος)**

$$0.0117 \cdot X_1 + 0.0069 \cdot X_2 + 0.0039 \cdot X_3 + 0.0021 \cdot X_4 + 0.0012 \cdot X_5 + 0.0107 \cdot X_6 + 0.0063 \cdot X_7 + 0.0035 \cdot X_8 + 0.0020 \cdot X_9 + 0.0011 \cdot X_{10} + 0.0097 \cdot X_{11} + 0.0057 \cdot X_{12} + 0.0032 \cdot X_{13} + 0.0018 \cdot X_{14} + 0.0010 \cdot X_{15} + 0.0138 \cdot X_{18} + 0.0076 \cdot X_{19} + 0.0044 \cdot X_{20} + 0.0025 \cdot X_{21} + 0.0014 \cdot X_{22} + 0.0112 \cdot X_{25} + 0.0061 \cdot X_{26} + 0.0036 \cdot X_{27} + 0.0020 \cdot X_{28} + 0.0011 \cdot X_{29} + 8.825 \leq 265-129.76-1 \quad [11]$$

Απώλειες κλάδου 5-8

**(Κόμβος 12, εσωτερικός)**

$$0.0117 \cdot X_1 + 0.0069 \cdot X_2 + 0.0039 \cdot X_3 + 0.0021 \cdot X_4 + 0.0012 \cdot X_5 + 0.0107 \cdot X_6 + 0.0063 \cdot X_7 + 0.0035 \cdot X_8 + 0.0020 \cdot X_9 + 0.0011 \cdot X_{10} + 0.0097 \cdot X_{11} + 0.0057 \cdot X_{12} + 0.0032 \cdot X_{13} + 0.0018 \cdot X_{14} + 0.0010 \cdot X_{15} + 0.0138 \cdot X_{18} + 0.0076 \cdot X_{19} + 0.0044 \cdot X_{20} + 0.0025 \cdot X_{21} + 0.0014 \cdot X_{22} + 0.0112 \cdot X_{25} + 0.0061 \cdot X_{26} + 0.0036 \cdot X_{27} + 0.0020 \cdot X_{28} + 0.0011 \cdot X_{29} + 0.0098 \cdot X_{30} + 0.0054 \cdot X_{31} + 0.0032 \cdot X_{32} + 0.0018 \cdot X_{33} \leq 265-104.63-5$$

[12]

Απώλειες κλάδου 10-12

**(Κόμβος 13, ακραίος)**

$$0.0117 \cdot X_1 + 0.0069 \cdot X_2 + 0.0039 \cdot X_3 + 0.0021 \cdot X_4 + 0.0012 \cdot X_5 + 0.0107 \cdot X_6 + 0.0063 \cdot X_7 + 0.0035 \cdot X_8 + 0.0020 \cdot X_9 + 0.0011 \cdot X_{10} + 0.0097 \cdot X_{11} + 0.0057 \cdot X_{12} + 0.0032 \cdot X_{13} + 0.0018 \cdot X_{14} + 0.0010 \cdot X_{15} + 0.0138 \cdot X_{18} + 0.0076 \cdot X_{19} + 0.0044 \cdot X_{20} + 0.0025 \cdot X_{21} + 0.0014 \cdot X_{22} + 0.0112 \cdot X_{25} + 0.0061 \cdot X_{26} + 0.0036 \cdot X_{27} + 0.0020 \cdot X_{28} + 0.0011 \cdot X_{29} + 0.0098 \cdot X_{30} + 0.0054 \cdot X_{31} + 0.0032 \cdot X_{32} + 0.0018 \cdot X_{33} + 4.639 \leq 265-121.19-1$$

[13]

Απώλειες κλάδου 12-13

**(Κόμβος 14, εσωτερικός)**

$$0.0117 \cdot X_1 + 0.0069 \cdot X_2 + 0.0039 \cdot X_3 + 0.0021 \cdot X_4 + 0.0012 \cdot X_5 + 0.0107 \cdot X_6 + 0.0063 \cdot X_7 + 0.0035 \cdot X_8 + 0.0020 \cdot X_9 + 0.0011 \cdot X_{10} + 0.0097 \cdot X_{11} + 0.0057 \cdot X_{12} + 0.0032 \cdot X_{13} + 0.0018 \cdot X_{14} + 0.0010 \cdot X_{15} + 0.0138 \cdot X_{18} + 0.0076 \cdot X_{19} + 0.0044 \cdot X_{20} + 0.0025 \cdot X_{21} + 0.0014 \cdot X_{22} + 0.0112 \cdot X_{25} + 0.0061 \cdot X_{26} + 0.0036 \cdot X_{27} + 0.0020 \cdot X_{28} + 0.0011 \cdot X_{29} + 0.0098 \cdot X_{30} + 0.0054 \cdot X_{31} + 0.0032 \cdot X_{32} + 0.0018 \cdot X_{33} + 0.0136 \cdot X_{34} + 0.0080 \cdot X_{35} + 0.0044 \cdot X_{36} + 0.0026 \cdot X_{37} + 0.0015 \cdot X_{38} \leq 265-99.25-5$$

[14]

Απώλειες κλάδου 12-14

**(Κόμβος 15, ακραίος)**

$$0.0117 \cdot X_1 + 0.0069 \cdot X_2 + 0.0039 \cdot X_3 + 0.0021 \cdot X_4 + 0.0012 \cdot X_5 + 0.0107 \cdot X_6 + 0.0063 \cdot X_7 + 0.0035 \cdot X_8 + 0.0020 \cdot X_9 + 0.0011 \cdot X_{10} + 0.0097 \cdot X_{11} + 0.0057 \cdot X_{12} + 0.0032 \cdot X_{13} + 0.0018 \cdot X_{14} + 0.0010 \cdot X_{15} + 0.0138 \cdot X_{18} + 0.0076 \cdot X_{19} + 0.0044 \cdot X_{20} + 0.0025 \cdot X_{21} + 0.0014 \cdot X_{22} + 0.0112 \cdot X_{25} + 0.0061 \cdot X_{26} + 0.0036 \cdot X_{27} + 0.0020 \cdot X_{28} + 0.0011 \cdot X_{29} + 0.0098 \cdot X_{30} + 0.0054 \cdot X_{31} + 0.0032 \cdot X_{32} + 0.0018 \cdot X_{33} + 0.0136 \cdot X_{34} + 0.0080 \cdot X_{35} + 0.0044 \cdot X_{36} + 0.0026 \cdot X_{37} + 0.0015 \cdot X_{38} + 0.0387 \cdot X_{39} + 0.0139 \cdot X_{40} + 0.0073 \cdot X_{41} + 0.0041 \cdot X_{42} \leq 265-111.83-1$$

[15]

Απώλειες κλάδου 14-15

**(Κόμβος 16, εσωτερικός)**

$$0.0117 \cdot X_1 + 0.0069 \cdot X_2 + 0.0039 \cdot X_3 + 0.0021 \cdot X_4 + 0.0012 \cdot X_5 + 0.0107 \cdot X_6 + 0.0063 \cdot X_7 + 0.0035 \cdot X_8 + 0.0020 \cdot X_9 + 0.0011 \cdot X_{10} + 0.0097 \cdot X_{11} + 0.0057 \cdot X_{12} + 0.0032 \cdot X_{13} + 0.0018 \cdot X_{14} + 0.0010 \cdot X_{15} + 0.0138 \cdot X_{18} + 0.0076 \cdot X_{19} + 0.0044 \cdot X_{20} + 0.0025 \cdot X_{21} + 0.0014 \cdot X_{22} + 0.0112 \cdot X_{25} + 0.0061 \cdot X_{26} + 0.0036 \cdot X_{27} + 0.0020 \cdot X_{28} + 0.0011 \cdot X_{29} + 0.0098 \cdot X_{30} + 0.0054 \cdot X_{31} + 0.0032 \cdot X_{32} + 0.0018 \cdot X_{33} + 0.0136 \cdot X_{34} + 0.0080 \cdot X_{35} + 0.0044 \cdot X_{36} + 0.0026 \cdot X_{37} + 0.0015 \cdot X_{38} +$$



$$0.0134 \cdot X_{43} + 0.0073 \cdot X_{44} + 0.0043 \cdot X_{45} + 0.0024 \cdot X_{46} + 0.0014 \cdot X_{47} \leq 265 - 91.53 - 5 \quad [16]$$

Απώλειες κλάδου 14-16

**(Κόμβος 17, ακραίος)**

$$0.0117 \cdot X_1 + 0.0069 \cdot X_2 + 0.0039 \cdot X_3 + 0.0021 \cdot X_4 + 0.0012 \cdot X_5 + 0.0107 \cdot X_6 + 0.0063 \cdot X_7 + 0.0035 \cdot X_8 + 0.0020 \cdot X_9 + 0.0011 \cdot X_{10} + 0.0097 \cdot X_{11} + 0.0057 \cdot X_{12} + 0.0032 \cdot X_{13} + 0.0018 \cdot X_{14} + 0.0010 \cdot X_{15} + 0.0138 \cdot X_{18} + 0.0076 \cdot X_{19} + 0.0044 \cdot X_{20} + 0.0025 \cdot X_{21} + 0.0014 \cdot X_{22} + 0.0112 \cdot X_{25} + 0.0061 \cdot X_{26} + 0.0036 \cdot X_{27} + 0.0020 \cdot X_{28} + 0.0011 \cdot X_{29} + 0.0098 \cdot X_{30} + 0.0054 \cdot X_{31} + 0.0032 \cdot X_{32} + 0.0018 \cdot X_{33} + 0.0136 \cdot X_{34} + 0.0080 \cdot X_{35} + 0.0044 \cdot X_{36} + 0.0026 \cdot X_{37} + 0.0015 \cdot X_{38} + 0.0134 \cdot X_{43} + 0.0073 \cdot X_{44} + 0.0043 \cdot X_{45} + 0.0024 \cdot X_{46} + 0.0014 \cdot X_{47} + 1.291 \leq 265 - 108.80 - 1 \quad [17]$$

Απώλειες κλάδου 16-17

**(Κόμβος 18, εσωτερικός)**

$$0.0117 \cdot X_1 + 0.0069 \cdot X_2 + 0.0039 \cdot X_3 + 0.0021 \cdot X_4 + 0.0012 \cdot X_5 + 0.0107 \cdot X_6 + 0.0063 \cdot X_7 + 0.0035 \cdot X_8 + 0.0020 \cdot X_9 + 0.0011 \cdot X_{10} + 0.0097 \cdot X_{11} + 0.0057 \cdot X_{12} + 0.0032 \cdot X_{13} + 0.0018 \cdot X_{14} + 0.0010 \cdot X_{15} + 0.0138 \cdot X_{18} + 0.0076 \cdot X_{19} + 0.0044 \cdot X_{20} + 0.0025 \cdot X_{21} + 0.0014 \cdot X_{22} + 0.0112 \cdot X_{25} + 0.0061 \cdot X_{26} + 0.0036 \cdot X_{27} + 0.0020 \cdot X_{28} + 0.0011 \cdot X_{29} + 0.0098 \cdot X_{30} + 0.0054 \cdot X_{31} + 0.0032 \cdot X_{32} + 0.0018 \cdot X_{33} + 0.0136 \cdot X_{34} + 0.0080 \cdot X_{35} + 0.0044 \cdot X_{36} + 0.0026 \cdot X_{37} + 0.0015 \cdot X_{38} + 0.0134 \cdot X_{43} + 0.0073 \cdot X_{44} + 0.0043 \cdot X_{45} + 0.0024 \cdot X_{46} + 0.0014 \cdot X_{47} + 0.0192 \cdot X_{48} + 0.0108 \cdot X_{49} + 0.0055 \cdot X_{50} + 0.0030 \cdot X_{51} + 0.0018 \cdot X_{52} \leq 265 - 106.61 - 5 \quad [18]$$

Απώλειες κλάδου 16-18

**(Κόμβος 19, ακραίος)**

$$0.0117 \cdot X_1 + 0.0069 \cdot X_2 + 0.0039 \cdot X_3 + 0.0021 \cdot X_4 + 0.0012 \cdot X_5 + 0.0107 \cdot X_6 + 0.0063 \cdot X_7 + 0.0035 \cdot X_8 + 0.0020 \cdot X_9 + 0.0011 \cdot X_{10} + 0.0097 \cdot X_{11} + 0.0057 \cdot X_{12} + 0.0032 \cdot X_{13} + 0.0018 \cdot X_{14} + 0.0010 \cdot X_{15} + 0.0138 \cdot X_{18} + 0.0076 \cdot X_{19} + 0.0044 \cdot X_{20} + 0.0025 \cdot X_{21} + 0.0014 \cdot X_{22} + 0.0112 \cdot X_{25} + 0.0061 \cdot X_{26} + 0.0036 \cdot X_{27} + 0.0020 \cdot X_{28} + 0.0011 \cdot X_{29} + 0.0098 \cdot X_{30} + 0.0054 \cdot X_{31} + 0.0032 \cdot X_{32} + 0.0018 \cdot X_{33} + 0.0136 \cdot X_{34} + 0.0080 \cdot X_{35} + 0.0044 \cdot X_{36} + 0.0026 \cdot X_{37} + 0.0015 \cdot X_{38} + 0.0134 \cdot X_{43} + 0.0073 \cdot X_{44} + 0.0043 \cdot X_{45} + 0.0024 \cdot X_{46} + 0.0014 \cdot X_{47} + 0.0192 \cdot X_{48} + 0.0108 \cdot X_{49} + 0.0055 \cdot X_{50} + 0.0030 \cdot X_{51} + 0.0018 \cdot X_{52} + 0.0292 \cdot X_{57} + 0.0153 \cdot X_{58} + 0.0086 \cdot X_{59} + 0.0044 \cdot X_{60} + 0.0024 \cdot X_{61} \leq 265 - 117.13 - 1 \quad [19]$$

Απώλειες κλάδου 18-19

**(Κόμβος 20, ακραίος)**

$$0.0117 \cdot X_1 + 0.0069 \cdot X_2 + 0.0039 \cdot X_3 + 0.0021 \cdot X_4 + 0.0012 \cdot X_5 + 0.0107 \cdot X_6 + 0.0063 \cdot X_7 + 0.0035 \cdot X_8 + 0.0020 \cdot X_9 + 0.0011 \cdot X_{10} + 0.0097 \cdot X_{11} + 0.0057 \cdot X_{12} + 0.0032 \cdot X_{13} + 0.0018 \cdot X_{14} + 0.0010 \cdot X_{15} + 0.0138 \cdot X_{18} + 0.0076 \cdot X_{19} + 0.0044 \cdot X_{20} + 0.0025 \cdot X_{21} + 0.0014 \cdot X_{22} + 0.0112 \cdot X_{25} + 0.0061 \cdot X_{26} + 0.0036 \cdot X_{27} + 0.0020 \cdot X_{28} + 0.0011 \cdot X_{29} + 0.0098 \cdot X_{30} + 0.0054 \cdot X_{31} + 0.0032 \cdot X_{32} + 0.0018 \cdot X_{33} + 0.0136 \cdot X_{34} + 0.0080 \cdot X_{35} + 0.0044 \cdot X_{36} + 0.0026 \cdot X_{37} + 0.0015 \cdot X_{38} + 0.0134 \cdot X_{43} + 0.0073 \cdot X_{44} + 0.0043 \cdot X_{45} + 0.0024 \cdot X_{46} + 0.0014 \cdot X_{47} + 0.0192 \cdot X_{48} + 0.0108 \cdot X_{49} + 0.0055 \cdot X_{50} + 0.0030 \cdot X_{51} +$$

$$0.0018 \cdot X_{52} + 4.068 \leq 265 - 106.61 - 1$$


[20]

  
Απώλειες κλάδου 18-20

**(Κόμβος 21, εσωτερικός)**

$$\begin{aligned} &0.0117 \cdot X_1 + 0.0069 \cdot X_2 + 0.0039 \cdot X_3 + 0.0021 \cdot X_4 + 0.0012 \cdot X_5 + 0.0107 \cdot X_6 + 0.0063 \cdot X_7 + 0.0035 \cdot X_8 + \\ &0.0020 \cdot X_9 + 0.0011 \cdot X_{10} + 0.0097 \cdot X_{11} + 0.0057 \cdot X_{12} + 0.0032 \cdot X_{13} + 0.0018 \cdot X_{14} + 0.0010 \cdot X_{15} + \\ &0.0138 \cdot X_{18} + 0.0076 \cdot X_{19} + 0.0044 \cdot X_{20} + 0.0025 \cdot X_{21} + 0.0014 \cdot X_{22} + 0.0112 \cdot X_{25} + 0.0061 \cdot X_{26} + \\ &0.0036 \cdot X_{27} + 0.0020 \cdot X_{28} + 0.0011 \cdot X_{29} + 0.0098 \cdot X_{30} + 0.0054 \cdot X_{31} + 0.0032 \cdot X_{32} + 0.0018 \cdot X_{33} + \\ &0.0136 \cdot X_{34} + 0.0080 \cdot X_{35} + 0.0044 \cdot X_{36} + 0.0026 \cdot X_{37} + 0.0015 \cdot X_{38} + 0.0134 \cdot X_{43} + 0.0073 \cdot X_{44} + \\ &0.0043 \cdot X_{45} + 0.0024 \cdot X_{46} + 0.0014 \cdot X_{47} + \\ &0.0318 \cdot X_{53} + 0.0114 \cdot X_{54} + 0.0060 \cdot X_{55} + 0.0034 \cdot X_{56} \leq 265 - 91.53 - 5 \end{aligned}$$


[21]

  
Απώλειες κλάδου 16-21

**(Κόμβος 22, ακραίος)**

$$\begin{aligned} &0.0117 \cdot X_1 + 0.0069 \cdot X_2 + 0.0039 \cdot X_3 + 0.0021 \cdot X_4 + 0.0012 \cdot X_5 + 0.0107 \cdot X_6 + 0.0063 \cdot X_7 + 0.0035 \cdot X_8 + \\ &0.0020 \cdot X_9 + 0.0011 \cdot X_{10} + 0.0097 \cdot X_{11} + 0.0057 \cdot X_{12} + 0.0032 \cdot X_{13} + 0.0018 \cdot X_{14} + 0.0010 \cdot X_{15} + \\ &0.0138 \cdot X_{18} + 0.0076 \cdot X_{19} + 0.0044 \cdot X_{20} + 0.0025 \cdot X_{21} + 0.0014 \cdot X_{22} + 0.0112 \cdot X_{25} + 0.0061 \cdot X_{26} + \\ &0.0036 \cdot X_{27} + 0.0020 \cdot X_{28} + 0.0011 \cdot X_{29} + 0.0098 \cdot X_{30} + 0.0054 \cdot X_{31} + 0.0032 \cdot X_{32} + 0.0018 \cdot X_{33} + \\ &0.0136 \cdot X_{34} + 0.0080 \cdot X_{35} + 0.0044 \cdot X_{36} + 0.0026 \cdot X_{37} + 0.0015 \cdot X_{38} + 0.0134 \cdot X_{43} + 0.0073 \cdot X_{44} + \\ &0.0043 \cdot X_{45} + 0.0024 \cdot X_{46} + 0.0014 \cdot X_{47} + 0.0318 \cdot X_{53} + 0.0114 \cdot X_{54} + 0.0060 \cdot X_{55} + 0.0034 \cdot X_{56} + \\ &22.864 \leq 265 - 125.33 - 1 \end{aligned}$$

[22]

  
Απώλειες κλάδου 21-22

**(Κόμβος 23, εσωτερικός)**

$$\begin{aligned} &0.0117 \cdot X_1 + 0.0069 \cdot X_2 + 0.0039 \cdot X_3 + 0.0021 \cdot X_4 + 0.0012 \cdot X_5 + 0.0107 \cdot X_6 + 0.0063 \cdot X_7 + 0.0035 \cdot X_8 + \\ &0.0020 \cdot X_9 + 0.0011 \cdot X_{10} + 0.0097 \cdot X_{11} + 0.0057 \cdot X_{12} + 0.0032 \cdot X_{13} + 0.0018 \cdot X_{14} + 0.0010 \cdot X_{15} + \\ &0.0138 \cdot X_{18} + 0.0076 \cdot X_{19} + 0.0044 \cdot X_{20} + 0.0025 \cdot X_{21} + 0.0014 \cdot X_{22} + 0.0112 \cdot X_{25} + 0.0061 \cdot X_{26} + \\ &0.0036 \cdot X_{27} + 0.0020 \cdot X_{28} + 0.0011 \cdot X_{29} + 0.0098 \cdot X_{30} + 0.0054 \cdot X_{31} + 0.0032 \cdot X_{32} + 0.0018 \cdot X_{33} + \\ &0.0136 \cdot X_{34} + 0.0080 \cdot X_{35} + 0.0044 \cdot X_{36} + 0.0026 \cdot X_{37} + 0.0015 \cdot X_{38} + 0.0134 \cdot X_{43} + 0.0073 \cdot X_{44} + \\ &0.0043 \cdot X_{45} + 0.0024 \cdot X_{46} + 0.0014 \cdot X_{47} + 0.0318 \cdot X_{53} + 0.0114 \cdot X_{54} + 0.0060 \cdot X_{55} + 0.0034 \cdot X_{56} + \\ &0.0141 \cdot X_{62} + 0.0051 \cdot X_{63} \leq 265 - 101.5 - 5 \end{aligned}$$

[23]

  
Απώλειες κλάδου 21-23

**(Κόμβος 24, ακραίος)**

$$\begin{aligned} &0.0117 \cdot X_1 + 0.0069 \cdot X_2 + 0.0039 \cdot X_3 + 0.0021 \cdot X_4 + 0.0012 \cdot X_5 + 0.0107 \cdot X_6 + 0.0063 \cdot X_7 + 0.0035 \cdot X_8 + \\ &0.0020 \cdot X_9 + 0.0011 \cdot X_{10} + 0.0097 \cdot X_{11} + 0.0057 \cdot X_{12} + 0.0032 \cdot X_{13} + 0.0018 \cdot X_{14} + 0.0010 \cdot X_{15} + \\ &0.0138 \cdot X_{18} + 0.0076 \cdot X_{19} + 0.0044 \cdot X_{20} + 0.0025 \cdot X_{21} + 0.0014 \cdot X_{22} + 0.0112 \cdot X_{25} + 0.0061 \cdot X_{26} + \\ &0.0036 \cdot X_{27} + 0.0020 \cdot X_{28} + 0.0011 \cdot X_{29} + 0.0098 \cdot X_{30} + 0.0054 \cdot X_{31} + 0.0032 \cdot X_{32} + 0.0018 \cdot X_{33} + \\ &0.0136 \cdot X_{34} + 0.0080 \cdot X_{35} + 0.0044 \cdot X_{36} + 0.0026 \cdot X_{37} + 0.0015 \cdot X_{38} + 0.0134 \cdot X_{43} + 0.0073 \cdot X_{44} + \end{aligned}$$

$$0.0043 \cdot X_{45} + 0.0024 \cdot X_{46} + 0.0014 \cdot X_{47} + 0.0318 \cdot X_{53} + 0.0114 \cdot X_{54} + 0.0060 \cdot X_{55} + 0.0034 \cdot X_{56} + 0.0141 \cdot X_{62} + 0.0051 \cdot X_{63} + 4.001 \leq 265 - 136.22 - 1 \quad [24]$$

Απώλειες κλάδου 21-24

### (Κόμβος 25, ακραίος)

$$0.0117 \cdot X_1 + 0.0069 \cdot X_2 + 0.0039 \cdot X_3 + 0.0021 \cdot X_4 + 0.0012 \cdot X_5 + 0.0107 \cdot X_6 + 0.0063 \cdot X_7 + 0.0035 \cdot X_8 + 0.0020 \cdot X_9 + 0.0011 \cdot X_{10} + 0.0097 \cdot X_{11} + 0.0057 \cdot X_{12} + 0.0032 \cdot X_{13} + 0.0018 \cdot X_{14} + 0.0010 \cdot X_{15} + 0.0138 \cdot X_{18} + 0.0076 \cdot X_{19} + 0.0044 \cdot X_{20} + 0.0025 \cdot X_{21} + 0.0014 \cdot X_{22} + 0.0112 \cdot X_{25} + 0.0061 \cdot X_{26} + 0.0036 \cdot X_{27} + 0.0020 \cdot X_{28} + 0.0011 \cdot X_{29} + 0.0098 \cdot X_{30} + 0.0054 \cdot X_{31} + 0.0032 \cdot X_{32} + 0.0018 \cdot X_{33} + 0.0136 \cdot X_{34} + 0.0080 \cdot X_{35} + 0.0044 \cdot X_{36} + 0.0026 \cdot X_{37} + 0.0015 \cdot X_{38} + 0.0134 \cdot X_{43} + 0.0073 \cdot X_{44} + 0.0043 \cdot X_{45} + 0.0024 \cdot X_{46} + 0.0014 \cdot X_{47} + 0.0318 \cdot X_{53} + 0.0114 \cdot X_{54} + 0.0060 \cdot X_{55} + 0.0034 \cdot X_{56} + 0.0141 \cdot X_{62} + 0.0051 \cdot X_{63} + 10.416 \leq 265 - 158.34 - 1 \quad [25]$$

Απώλειες κλάδου 23-25

## 4.7 ΕΠΙΛΥΣΗ

Μετά την κατάστρωση των ανισοεξισώσεων, ακολουθεί η διατύπωσή τους στο LINGO. Έτσι αρχικά εισάγεται η συνάρτηση στόχου:

**!SYNARTHSH STOXOY;**

```

MIN = 49.9*X1 + 60*X2 + 85*X3 + 100*X4 + 120*X5
      + 49.9*X6 + 60*X7 + 85*X8 + 100*X9 + 120*X10
      + 49.9*X11 + 60*X12 + 85*X13 + 100*X14 + 120*X15
      + 10*X16 + 14*X17
      + 39.9*X18 + 49.9*X19 + 60*X20 + 85*X21 + 100*X22
      + 10*X23 + 14*X24
      + 39.9*X25 + 49.9*X26 + 60*X27 + 85*X28
      + 100*X29
      + 39.9*X30 + 49.9*X31 + 60*X32 + 85*X33
      + 32*X34 + 39.9*X35 + 49.9*X36 + 60*X37 + 85*X38
      + 10*X39 + 14*X40 + 17*X41 + 20*X42 + 25*X43
      + 32*X44 + 39.9*X45 + 49.9*X46 + 60*X47
      + 17*X48 + 20*X49 + 25*X50 + 32*X51 + 39.9*X52
      + 10*X53 + 14*X54 + 17*X55 + 20*X56
      + 14*X57 + 17*X58 + 20*X59 + 25*X60 + 32*X61
      + 10*X62 + 14*X63;

```

Στη συνέχεια εισάγονται οι γεωμετρικοί και φυσικοί περιορισμοί:

**!PERIORISMOI MHKOUS;**

$X1 + X2 + X3 + X4 + X5 = 1446;$   
 $X6 + X7 + X8 + X9 + X10 = 8445.7;$   
 $X11 + X12 + X13 + X14 + X15 = 3677.3;$   
 $X16 + X17 = 1089.6;$   
 $X18 + X19 + X20 + X21 + X22 = 8666.4;$   
 $X23 + X24 = 170.1;$   
 $X25 + X26 + X27 + X28 + X29 = 3422.2;$   
 $X30 + X31 + X32 + X33 = 2136.0;$   
 $X34 + X35 + X36 + X37 + X38 = 3841.4;$   
 $X39 + X40 + X41 + X42 = 1187.1;$   
 $X43 + X44 + X45 + X46 + X47 = 2929.6;$   
 $X48 + X49 + X50 + X51 + X52 = 1166.0;$   
 $X53 + X54 + X55 + X56 = 5158.7;$   
 $X57 + X58 + X59 + X60 + X61 = 561.3;$   
 $X62 + X63 = 717.3;$

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

Τέλος εισάγονται οι περιορισμοί πιεζομετρικού φορτίου ξεκινώντας από τα ανάντη,

**!PERIORISMOI PIEZOMETRIKOY FORTIOY;**

$0.0117 * X1 + 0.0069 * X2 + 0.0039 * X3 + 0.0021 * X4 + 0.0012 * X5 \leq 265 - 151.45 - 5; !0-1; !eswteriko;$

$0.0117 * X1 + 0.0069 * X2 + 0.0039 * X3 + 0.0021 * X4 + 0.0012 * X5 + 10.360 \leq 265 - 244.80 - 1; !0-2; !dexamenh;$

[...]

προς τα κατόντη ως και τον πιο απομακρυσμένο κόμβο:

$0.0117 * X1 + 0.0069 * X2 + 0.0039 * X3 + 0.0021 * X4 + 0.0012 * X5 + 0.0107 * X6 + 0.0063 * X7 + 0.0035 * X8 + 0.0020 * X9 +$   
 $0.0011 * X10 + 0.0097 * X11 + 0.0057 * X12 + 0.0032 * X13 + 0.0018 * X14 + 0.0010 * X15 + 0.0138 * X18 + 0.0076 * X19 +$   
 $0.0044 * X20 + 0.0025 * X21 + 0.0014 * X22 + 0.0112 * X25 + 0.0061 * X26 + 0.0036 * X27 + 0.0020 * X28 + 0.0011 * X29 +$   
 $0.0098 * X30 + 0.0054 * X31 + 0.0032 * X32 + 0.0018 * X33 + 0.0136 * X34 + 0.0080 * X35 + 0.0044 * X36 + 0.0026 * X37 +$   
 $0.0015 * X38 + 0.0134 * X43 + 0.0073 * X44 + 0.0043 * X45 + 0.0024 * X46 + 0.0014 * X47 + 0.0318 * X53 + 0.0114 * X54 +$   
 $0.0060 * X55 + 0.0034 * X56 + 0.0141 * X62 + 0.0051 * X63 + 4.001 \leq 265 - 136.22 - 1; !0-24; !dexamenh;$

$0.0117 * X1 + 0.0069 * X2 + 0.0039 * X3 + 0.0021 * X4 + 0.0012 * X5 + 0.0107 * X6 + 0.0063 * X7 + 0.0035 * X8 + 0.0020 * X9 +$   
 $0.0011 * X10 + 0.0097 * X11 + 0.0057 * X12 + 0.0032 * X13 + 0.0018 * X14 + 0.0010 * X15 + 0.0138 * X18 + 0.0076 * X19 +$   
 $0.0044 * X20 + 0.0025 * X21 + 0.0014 * X22 + 0.0112 * X25 + 0.0061 * X26 + 0.0036 * X27 + 0.0020 * X28 + 0.0011 * X29 +$   
 $0.0098 * X30 + 0.0054 * X31 + 0.0032 * X32 + 0.0018 * X33 + 0.0136 * X34 + 0.0080 * X35 + 0.0044 * X36 + 0.0026 * X37 +$   
 $0.0015 * X38 + 0.0134 * X43 + 0.0073 * X44 + 0.0043 * X45 + 0.0024 * X46 + 0.0014 * X47 + 0.0318 * X53 + 0.0114 * X54 +$   
 $0.0060 * X55 + 0.0034 * X56 + 0.0141 * X62 + 0.0051 * X63 + 10.416 \leq 265 - 158.34 - 1; !0-25; !dexamenh;$

Στη συνέχεια γίνεται η επίλυση από το πρόγραμμα από την οποία εξήχθησαν οι τιμές των μεταβλητών απόφασης X καθώς και το συνολικό κόστος των σωληνώσεων. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον παρακάτω πίνακα Excel.

**Πίνακας 4.12** Διαστασιολόγηση και κοστολόγηση του δικτύου

Κλάδος	Μεταβλητή (m)	Μήκος L (m)	Εσωτερική διάμετρος D (mm)	Ονομαστική διάμετρος D <sub>ονομ</sub> (mm)	Απώλειες ανά m μήκους S (m)	Συνολικές γραμμικές απώλειες Ση <sub>f</sub> (m)	Κόστος (€/m)	Κόστος (€)	Κόστος Γρ. Προγρ. (€)	Κόστος Λουπών Κλάδων (€)
0-1	X <sub>4</sub>	1446.0	244.6	315	0.0021	3.096	100	144600.00	3099722	275645
1-2		3011.3	69.8	90	0.0034	10.360	10	30113.00	LINGO: 3099722	
1-3	X <sub>9</sub>	8445.7	244.6	315	0.0020	16.555	100	844570.00	<b>Σύνολικό κόστος (€)</b>	
3-4		3155.9	69.8	90	0.0034	10.858	10	31559.00	<b>3375367</b>	
3-5	X <sub>14</sub>	3677.3	244.6	315	0.0018	6.571	100	367730.00		
5-6		2406.4	69.8	90	0.0015	3.669	10	24064.00		
5-7	X <sub>16</sub>	1089.6	69.8	90	0.0104	11.370	10	10896.00		
5-8	X <sub>21</sub>	1929.0	217.4	280	0.0025	4.856	85	163964.24		
	X <sub>22</sub>	6737.4	244.6	315	0.0014	9.401	100	673740.90		
8-9	X <sub>23</sub>	170.1	69.8	90	0.0104	1.775	10	1701.00		
8-10	X <sub>27</sub>	3422.2	194.2	250	0.0036	12.346	60	205332.00		
10-11		2342.5	69.8	90	0.0038	8.825	10	23425.00		
10-12	X <sub>32</sub>	2136.0	194.2	250	0.0032	6.756	60	128160.00		
12-13		636.3	69.8	90	0.0073	4.639	10	6363.20		
12-14	X <sub>37</sub>	3841.4	194.2	250	0.0026	9.905	60	230484.00		
14-15	X <sub>39</sub>	1187.1	69.8	90	0.0387	45.991	10	11871.00		
14-16	X <sub>47</sub>	2929.6	194.2	250	0.0014	4.133	60	175776.00		
16-17		3389.9	69.8	90	0.0004	1.291	10	33899.00		
16-18	X <sub>48</sub>	1166.0	97.0	125	0.0192	22.436	17	19822.00		
16-21	X <sub>56</sub>	5158.7	108.6	140	0.0034	17.604	20	103174.00		
18-19	X <sub>57</sub>	561.3	85.4	110	0.0292	16.401	14	7858.20		
18-20		2404.5	69.8	90	0.0017	4.068	10	24045.00		
21-22		5336.3	69.8	90	0.0043	22.864	10	53363.00		
21-23	X <sub>63</sub>	717.3	85.4	110	0.0051	3.673	14	10042.20		
23-24		732.2	69.8	90	0.0055	4.001	10	7322.00		
23-25		4149.2	69.8	90	0.0025	10.416	10	41492.00		

Ο υπολογισμός του κόστους έγινε βάσει του τιμολογίου στον Πίν. 4.7. Στον Πίν. 4.13, με κόκκινο είναι οι διάμετροι που τελικώς εφαρμόζονται στο δίκτυο.

*Παρατήρηση:* στον κλάδο 5-8 οι λύσεις είναι δύο. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, προτιμάται η εφαρμογή της μικρότερης διαμέτρου από τα ανάντη προς τα κατόντη για να μειωθεί η πιθανότητα ελλείμματος φορτίου. Στην περίπτωση αυτή ωστόσο, για λόγους οικονομικότητας, εφόσον ο ανάντη κλάδος 3-5 είναι Φ315, εφαρμόζεται στον 5-8 Φ315 στα πρώτα 6737.4 km και στη συνέχεια Φ280 μέχρι το πέρας του.

**Πίνακας 4.13** Κόστος ανά μέτρο μήκους αγωγού και επιλεγμένες διαμέτροι

D <sub>ονομ</sub> (mm) <u>εξωτερική</u>	D (mm) <u>εσωτερική</u>	Κόστος (€/m)
<b>20 atm</b>		
90	69.8	10.00
110	85.4	14.00
125	97.0	17.00
140	108.6	20.00
160	124.2	25.00
180	139.8	32.00
200	155.2	39.90
225	174.8	49.90
250	194.2	60.00
280	217.4	85.00
315	244.6	100.00
355	275.8	120.00
400	310.6	155.00
450	349.6	190.00
500	388.4	230.00
560	435.0	270.00

Η δαπάνη των υπό βελτιστοποίηση αγωγών ανέρχεται στα **3.099.722 €**. Η επιπλέον δαπάνη των Φ90 αγωγών είναι **275.645 €**. Έτσι, η συνολική δαπάνη του δικτύου ανέρχεται στα **3.375.267 €**. Στο παράρτημα παρουσιάζεται η οριζοντιογραφία του δικτύου με τις διαμέτρους που υπολογίστηκαν καθώς και το report της επίλυσης του LINGO.

#### 4.8 Η ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΙΚΗ ΓΡΑΜΜΗ

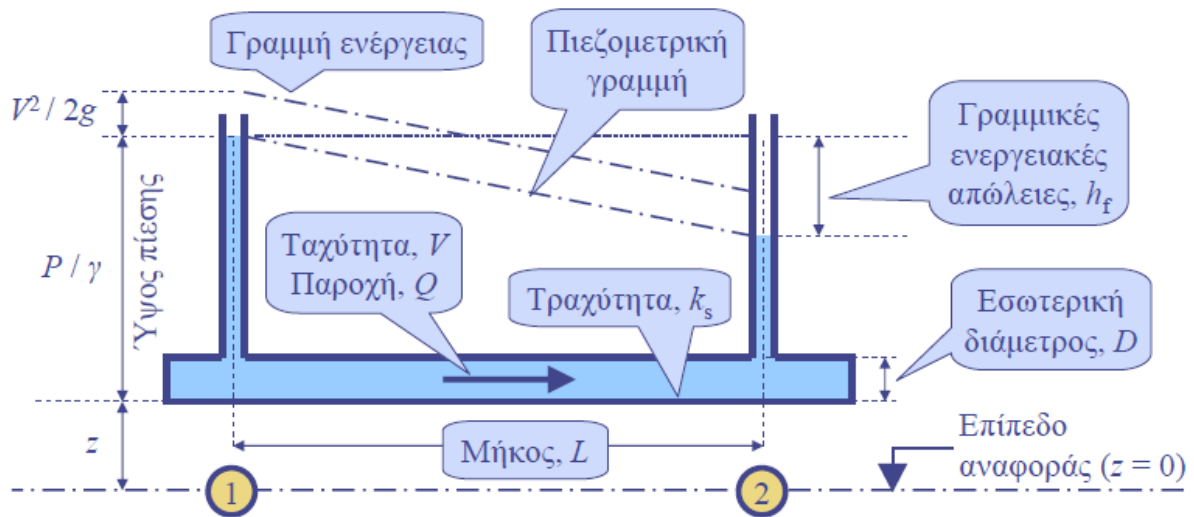
Το τελευταίο στάδιο μετά τη διαστασιολόγηση του δικτύου, είναι ο προσδιορισμός του ύψους ενέργειας σε κάθε κόμβο. Υπολογίζεται επίσης το ύψος πίεσης. Στη συνέχεια γίνεται η απεικόνιση της γραμμής ενέργειας/πιεζομετρικής γραμμής στις τρεις διαστάσεις σε περιβάλλον Autocad 3D.

##### 4.8.1 Υπολογισμός ύψους ενέργειας στους κόμβους

Η γραμμή ενέργειας είναι μια συνεχής γραμμή που δίνει την ολική ενέργεια  $H$  (m) στον αντίστοιχο κόμβο του δικτύου. Στους κλειστούς αγωγούς ισχύει ότι:

$$H = Z + \frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} \rightarrow H = Z + \frac{p}{\gamma}$$

Η πιεζομετρική γραμμή είναι πάντα παράλληλη στη γραμμή ενέργειας και χαμηλότερη αυτής κατά  $\frac{v^2}{2g}$ . Το ύψος της κινητικής ενέργειας  $\frac{v^2}{2g}$  για μικρές ταχύτητες όπως οι παρούσες θεωρείται αμελητέο, επομένως εδώ η γραμμή ενέργειας ταυτίζεται με την πιεζομετρική γραμμή.



**Εικόνα 4.6** Γραμμή ενέργειας και πιεζομετρική γραμμή

Πηγή: Ευστρατιάδης & Κουτσογιάννης, Σημειώσεις μαθήματος «Τυπικά υδραυλικά έργα», 2005-6

Με γνωστές πλέον τις διαμέτρους των σωληνώσεων, καθώς και τα μήκη στα οποία αυτές εφαρμόζονται, υπολογίστηκαν οι γραμμικές απώλειες  $\Sigma h_f$  (πίνακας 4.12) σε κάθε κλάδο. Γνωρίζοντας τη στάθμη της δεξαμενής ( $Z_0 = +265 \text{ m} = H_0$ ), προέκυψαν διαδοχικά, από τα ανάντη προς τα κατόντη τα ύψη ενέργειας όλων των κόμβων. Σε κάθε κλάδο, η ενέργεια  $H$  του κόμβου πέρατος  $i$  προέκυπτε από την αφαίρεση των συνολικών απωλειών  $\Sigma h_f$  από το ύψος ενέργειας του κόμβου αρχής  $i-1$ . Δηλαδή:

$$H_i = H_{i-1} - \Sigma h_{f(i-1 \rightarrow i)}$$

Στη συνέχεια, με αφαίρεση του υψομέτρου εδάφους  $Z$  από την ενέργεια  $H$ , προκύπτει το ύψος πίεσης  $h_p$  του κόμβου. Οι τιμές του ύψους πίεσης, με τη μικρότερη να είναι  $+6.74 \text{ m}$ , είναι αρκετά μεγαλύτερες από το μηδέν, επομένως εξασφαλίζεται η επάρκεια υδραυλικού φορτίου ακόμα και στους πιο απομακρυσμένους κόμβους.

**Πίνακας 4.14** Γραμμή ενέργειας και ύψη πίεσης

ΚΟΜΒΟΣ	ΚΛΑΔΟΣ	$\Sigma_{hf}$ (m)	H (m)	Z (m)	$h_p$ (m)
<u>Δεξαμενή</u>			<u>265.00</u>	<u>265.00</u>	<u>0.00</u>
1	0-1	3.096	261.90	151.45	110.45
2	1-2	10.360	251.54	244.80	6.74
3	1-3	16.555	245.35	114.71	130.64
4	3-4	10.858	234.49	135.56	98.93
5	3-5	6.571	238.78	110.96	127.82
6	5-6	3.669	235.11	131.92	103.19
7	5-7	11.370	227.41	134.41	93.00
8	5-8	4.856	224.52	104.60	119.92
		9.401			
9	8-9	1.775	222.75	119.16	103.59
10	8-10	12.346	212.17	104.55	107.62
11	10-11	8.825	203.35	129.76	73.59
12	10-12	6.756	205.42	104.63	100.79
13	12-13	4.639	200.78	121.19	79.59
14	12-14	9.905	195.51	99.25	96.26
15	14-15	45.991	149.52	111.83	37.69
16	14-16	4.133	191.38	91.53	99.85
18	16-18	1.291	190.09	106.61	83.48
19	18-19	22.436	167.65	117.13	50.52
20	18-20	17.604	172.48	106.61	65.87
17	16-17	16.401	174.98	108.80	66.18
21	16-21	4.068	187.31	91.53	95.78
22	21-22	22.864	164.45	125.33	39.12
23	21-23	3.673	183.64	101.50	82.14
24	23-24	4.001	179.64	136.22	43.42
25	23-25	10.416	173.22	158.34	14.88

#### 4.8.2 Οπτικοποίηση της πιεζομετρικής γραμμής

Η πιεζομετρική γραμμή ταυτίζεται με τη γραμμή ενέργειας. Το σχέδιο είναι συνημμένο σε ηλεκτρονική μορφή (βλ. Παράρτημα 5).

### 4.9 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ

#### 4.9.1 Γενικά

Στην ανάλυση ευαισθησίας αναζητώνται οι επιπτώσεις που επιφέρει στη βέλτιστη λύση:

- Η μεταβολή των αντικειμενικών συντελεστών  $c_j$
- Η μεταβολή των όρων  $b_i$  στο δεξιό μέλος του συστήματος των περιορισμών
- Η μεταβολή των συντελεστών  $a_{ij}$  του συστήματος των περιορισμών
- Η προσθήκη/αφαίρεση περιορισμών
- Η προσθήκη/αφαίρεση μεταβλητών



Κάθε φορά πρέπει να εφαρμόζεται μία περίπτωση από τις παραπάνω (Τσάντας, Μαθηματική σχολή Παν. Πατρών).

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

#### **4.9.2 Ανάλυση ευαισθησίας ως προς μεταβολές της παροχής ζήτησης των κλάδων**

Εδώ εξετάζεται πώς και κατά πόσο μεταβάλλεται το κόστος, όταν μεταβάλλεται η παροχή ζήτησης των κλάδων Q. 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.

Τελικά επανεπιλύθηκε το δίκτυο και έγινε βελτιστοποίηση αυτού, για αύξηση της παροχής 10%, 15% και 20%, διατηρώντας τις ίδιες μεταβλητές απόφασης. Έτσι, ουσιαστικά η μόνη διαφοροποίηση κάθε φορά έγκειται στην κατάστρωση των περιορισμών απωλειών φορτίου (οι οποίες προφανώς αυξάνονται με την αύξηση της παροχής). Να προστεθεί ότι η διατήρηση των ίδιων μεταβλητών απόφασης, οδηγεί στη διατήρηση του κόστους των Φ90 αγωγών που δεν εισάγονται στο γραμμικό πρόγραμμα.

Στο Παράρτημα παρατίθενται οι υδραυλικοί υπολογισμοί και το γραμμικό πρόγραμμα (εξισώσεις και reports επιλύσεων) στο LINGO για κάθε μία από τις περιπτώσεις αυτές.

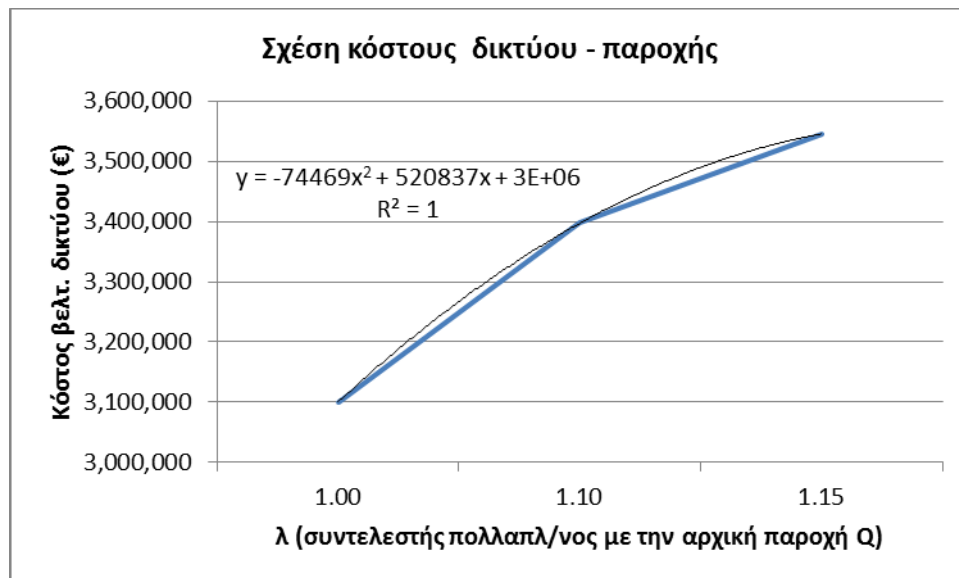
**Πίνακας 4.15** Αυξήσεις της παροχής

Κλάδος	L (m)	Q (L/s)	1.10Q (L/s)	1.15Q (L/s)	1.20Q (L/s)
0-1	1446.0	34.91	38.40	40.15	41.89
1-2	3011.3	1.59	1.75	1.83	1.91
1-3	8445.7	33.32	36.65	38.32	39.98
3-4	3155.9	1.59	1.75	1.83	1.91
3-5	3677.3	31.73	34.90	36.49	38.08
5-6	2406.4	1.02	1.12	1.17	1.22
5-7	1089.6	2.88	3.17	3.31	3.46
5-8	8666.4	27.83	30.61	32.00	33.40
8-9	170.1	2.88	3.17	3.31	3.46
8-10	3422.2	24.95	27.45	28.69	29.94
10-11	2342.5	1.67	1.84	1.92	2.00
10-12	2136.0	23.28	25.61	26.77	27.94
12-13	636.3	2.38	2.62	2.74	2.86
12-14	3841.4	20.9	22.99	24.04	25.08
14-15	1187.1	5.73	6.30	6.59	6.88
14-16	2929.6	15.17	16.69	17.45	18.20
16-17	3389.9	0.47	0.52	0.54	0.56
16-18	1166.0	9.53	10.48	10.96	11.44
16-21	5158.7	5.17	5.69	5.95	6.20
18-19	561.3	8.45	9.30	9.72	10.14
18-20	2404.5	1.08	1.19	1.24	1.30
21-22	5336.3	1.79	1.97	2.06	2.15
21-23	717.3	3.38	3.72	3.89	4.06
23-24	732.2	2.04	2.24	2.35	2.45
23-25	4149.2	1.34	1.47	1.54	1.61

Έτσι μετά την επίλυση προέκυψε:

- Για την παρούσα πραγματική παροχή Q, το κόστος των υπο βελτιστοποίηση αγωγών ανήλθε στα **3.099.722 €**. Το κόστος των λοιπών κλάδων είναι **275.645 €**. Έτσι, το συνολικό κόστος του δικτύου ανήλθε στα **3.375.267 €** (βλ. Κεφ. 4.7).
- Για αύξηση της παροχής κατά 10% ( $Q' = 1.1Q$ ), το κόστος των υπο βελτιστοποίηση αγωγών ανήλθε στα **3.397.150 €**. Το κόστος των λοιπών κλάδων είναι **275.645 €** (αφού διαστασιολογήθηκαν ξανά Φ90). Έτσι, το συνολικό κόστος του δικτύου ανήλθε στα **3.672.795 €**.
- Για αύξηση της παροχής κατά 15% ( $Q'' = 1.15Q$ ), το κόστος των υπο βελτιστοποίηση αγωγών ανήλθε στα **3.545.639 €**. Το κόστος των λοιπών κλάδων είναι **275.645 €** (αφού διαστασιολογήθηκαν ξανά Φ90). Έτσι, το συνολικό κόστος του δικτύου ανήλθε στα **3.821.284 €**.
- Για αύξηση της παροχής κατά 20%, το κόστος, δεν βρέθηκε εφικτή λύση που να ικανοποιεί όλους τους περιορισμούς ταυτόχρονα.

Τα παραπάνω συνοψίζονται και απεικονίζονται στην καμπύλη που ακολουθεί:



Σχήμα 4.1 Σχέση συνολικού κόστους – παροχής

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

$$C(\lambda) = -74.469\lambda^2 + 520.837\lambda + 3 \cdot 10^6$$

Με εφαρμογή της εξίσωσης προκύπτει:

$C(1) = 3.446.368$  € αντί του πραγματικού **3.099.722** €.

$C(1.1) = 3.482.813$  € αντί του πραγματικού **3.397.150** €.

$C(1.15) = 3.500.477$  € αντί του πραγματικού **3.821.284** €.

Έτσι αν για παράδειγμα το δίκτυο με αύξηση της παροχής κατά 20% ήταν εφικτό να επιλυθεί, το κόστος του θα ήταν περίπου:  $C(1.2) = 3.517.769$  €

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 λ, τόσο λιγότερη ευαισθησία παρουσιάζει η τελική λύση.

#### 4.9.3 Ανάλυση ευαισθησίας ως προς μεταβολές του συντελεστή τραχύτητας του PE

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. 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.

Τελικά επανεπιλύθηκε το δίκτυο και έγινε βελτιστοποίηση αυτού, για αύξηση της τραχύτητας 10%, 15% και 20%, διατηρώντας τις ίδιες μεταβλητές απόφασης.

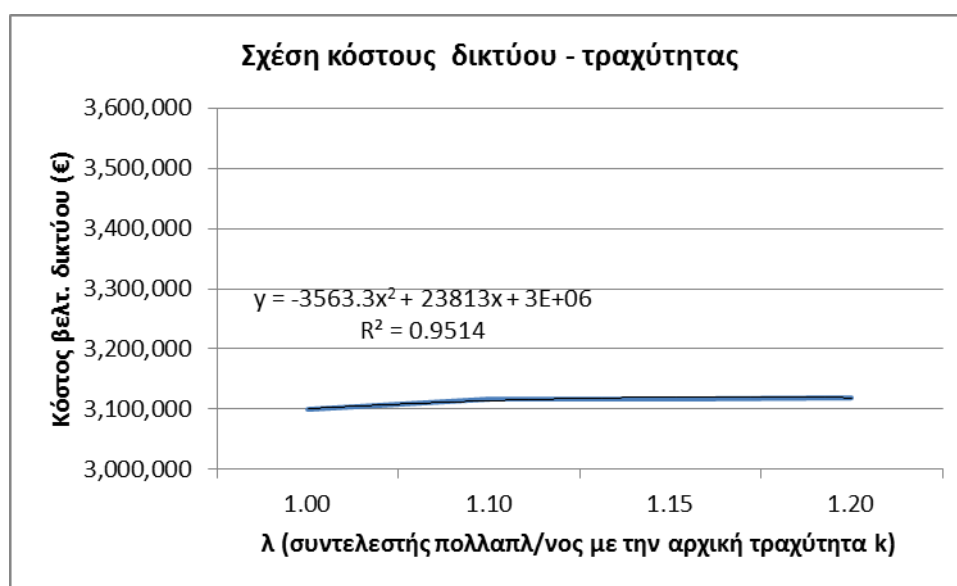
**Πίνακας 4.16** Μεταβολές της τραχύτητας

Τραχύτητα PE k (mm)	Τραχύτητα PE 1.1k (mm)	Τραχύτητα PE 1.15k (mm)	Τραχύτητα PE 1.2k (mm)
0.100	0.110	0.115	0.120

Έτσι μετά την επίλυση προέκυψε:

- Για την παρούσα πραγματική τραχύτητα k, το κόστος των υπο βελτιστοποίηση αγωγών ανήλθε στα **3.099.722 €**. Το κόστος των λοιπών κλάδων είναι **275.645 €**. Έτσι, το συνολικό κόστος του δικτύου ανήλθε στα **3.375.267 €** (βλ. Κεφ. 4.7).
- Για αύξηση της τραχύτητας κατά 10% ( $k' = 1.1k$ ), το κόστος των υπο βελτιστοποίηση αγωγών ανήλθε στα **3.115.914 €**. Το κόστος των λοιπών κλάδων είναι **275.645 €** (αφού διαστασιολογήθηκαν ξανά Φ90). Έτσι, το συνολικό κόστος του δικτύου ανήλθε στα **3.391.559 €**.
- Για αύξηση της τραχύτητας κατά 15% ( $k'' = 1.15k$ ), το κόστος των υπο βελτιστοποίηση αγωγών ανήλθε στα **3.117.308 €**. Το κόστος των λοιπών κλάδων είναι **275.645 €** (αφού διαστασιολογήθηκαν ξανά Φ90). Έτσι, το συνολικό κόστος του δικτύου ανήλθε στα **3.392.953 €**.
- Για αύξηση της τραχύτητας κατά 20% ( $k''' = 1.20k$ ), το κόστος των υπο βελτιστοποίηση αγωγών ανήλθε στα **3.119.247 €**. Το κόστος των λοιπών κλάδων είναι **275.645 €** (αφού διαστασιολογήθηκαν ξανά Φ90). Έτσι, το συνολικό κόστος του δικτύου ανήλθε στα **3.394.892 €**.

Τα παραπάνω συνοψίζονται και απεικονίζονται στην καμπύλη που ακολουθεί:



**Σχήμα 4.2** Σχέση συνολικού κόστους – τραχύτητας

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

$$C(\lambda) = -3.563,3\lambda^2 + 23.813\lambda + 3 \cdot 10^6$$

Με εφαρμογή της εξίσωσης προκύπτει:

$C(1) = 3.020.250 \text{ €}$  αντί του πραγματικού **3.099.722 €**.

$C(1.1) = 3.021.883 \text{ €}$  αντί του πραγματικού **3.115.914 €**.

$C(1.15) = 3.022.672 \text{ €}$  αντί του πραγματικού **3.117.308 €**.

$C(1.2) = 3.023.444 \text{ €}$  αντί του πραγματικού **3.119.247 €**.

Επειδή τα σημεία είναι λίγα οι εκτιμήσεις είναι λίγο αδρομερείς. Εντούτοις η καμπύλη δείχνει ότι με την αύξηση της τραχύτητας αυξάνεται το κόστος των υπό βελτιστοποίηση κλάδων, αλλά σε καμία περίπτωση με την ίδια ευαισθησία με την οποία αυξάνεται για ισοποσοστιαίες αυξήσεις τις παροχής.

#### **4.9.4 Συμπέρασμα**

Συμπερασματικά, οι διαφορές της δαπάνης και στις δύο περιπτώσεις (στη 2<sup>η</sup> σε μεγαλύτερο βαθμό) 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. Μια τέτοια λύση είναι και η εκτίμηση των μελετητών στο εν λόγω δίκτυο.

#### **4.10 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΥΠΑΡΧΟΥΣΑ ΜΕΛΕΤΗ**

Στο δίκτυο ύδρευσης της ανατολικής πλευράς του Ν. Καρδίτσας, ακολουθεί μία σύγκριση μεταξύ του δικτύου της μελέτης η διαστασιολόγηση του οποίου δεν εξήχθη από βελτιστοποίηση και του ίδιου δικτύου με βελτιστοποίηση διαστασιολογημένου όπως έγινε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Εφόσον και στη μία και στην άλλη περίπτωση ικανοποιούνται όλοι οι περιορισμοί (κάτι το οποίο καταδεικνύεται στις τιμές των υψών πίεσης  $h_p$  που εν τέλει προέκυψαν), η σύγκριση έγκειται στην οικονομικότητα του δικτύου, δηλαδή στο τελικό συνολικό του κόστος.

Έτσι λοιπόν, στο δίκτυο της οριστικής μελέτης (Ρόικος, Μπουλουγούρης, Τσίτσης, 2011) και στο βελτιστοποιημένο δίκτυο, οι διάμετροι ήταν οι εξής:

Πίνακας 4.17 Διαστασιολόγηση και κοστολόγηση του δικτύου με τη μέθοδο του γραμμικού προγραμματισμού

<b>ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ</b>				
<b>Κλάδος</b>	<b>Εσωτερική διάμετρος D (mm)</b>	<b>Κόστος (€)</b>	<b>Υλικό</b>	<b>Σύνολικό κόστος (€)</b>
0-1	244.6	144600.00	PE 20 atm	<b>3,375,367</b>
1-2	69.8	30113.00	PE 20 atm	
1-3	244.6	844570.00	PE 20 atm	
3-4	69.8	31559.00	PE 20 atm	
3-5	244.6	367730.00	PE 20 atm	
5-6	69.8	24064.00	PE 20 atm	
5-7	69.8	10896.00	PE 20 atm	
5-8	217.4	163964.24	PE 20 atm	
	244.6	673740.90	PE 20 atm	
8-9	69.8	1701.00	PE 20 atm	
8-10	194.2	205332.00	PE 20 atm	
10-11	69.8	23425.00	PE 20 atm	
10-12	194.2	128160.00	PE 20 atm	
12-13	69.8	6363.20	PE 20 atm	
12-14	194.2	230484.00	PE 20 atm	
14-15	69.8	11871.00	PE 20 atm	
14-16	194.2	175776.00	PE 20 atm	
16-17	69.8	33899.00	PE 20 atm	
16-18	97.0	19822.00	PE 20 atm	
16-21	108.6	103174.00	PE 20 atm	
18-19	85.4	7858.20	PE 20 atm	
18-20	69.8	24045.00	PE 20 atm	
21-22	69.8	53363.00	PE 20 atm	
21-23	85.4	10042.20	PE 20 atm	
23-24	69.8	7322.00	PE 20 atm	
23-25	69.8	41492.00	PE 20 atm	

**Πίνακας 4.18** Διαστασιολόγηση και κοστολόγηση του δικτύου από την οριστική μελέτη

ΜΕΛΕΤΗ						
Κλάδος	Μήκος L (m)	Εσωτερική διάμετρος D (mm)	Κόστος (€/m)	Υλικό	Κόστος (€)	Σύνολικό κόστος (€)
0-1	1446.0	300	100.00	Duc. Iron	144600.00	<b>3,456,850</b>
1-2	3011.3	90	13.00	PE 16 atm	39146.90	
1-3	8445.7	300	100.00	Duc. Iron	844570.00	
3-4	3155.9	85.4	14.00	PE 20 atm	44182.60	
3-5	3677.3	300	100.00	Duc. Iron	367730.00	
5-6	2406.4	85.4	14.00	PE 20 atm	33689.60	
5-7	1089.6	85.4	14.00	PE 20 atm	15254.40	
5-8	8666.4	217.4	85.00	PE 20 atm	736644.00	
8-9	170.1	85.4	14.00	PE 20 atm	2381.40	
8-10	3422.2	217.4	85.00	PE 20 atm	290887.00	
10-11	2342.5	85.4	14.00	PE 20 atm	32795.00	
10-12	2136.0	194.2	60.00	PE 20 atm	128160.00	
12-13	636.3	85.4	14.00	PE 20 atm	8908.20	
12-14	3841.4	194.2	60.00	PE 20 atm	230484.00	
14-15	1187.1	97.0	17.00	PE 20 atm	20180.70	
14-16	2929.6	155.2	39.90	PE 20 atm	116891.04	
16-17	3389.9	85.4	14.00	PE 20 atm	47458.60	
16-18	1166.0	108.6	20.00	PE 20 atm	23320.00	
16-21	5158.7	124.2	25.00	PE 20 atm	128967.50	
18-19	561.3	97.0	17.00	PE 20 atm	9542.10	
18-20	2404.5	85.4	14.00	PE 20 atm	33663.00	
21-22	5336.3	85.4	14.00	PE 20 atm	74708.20	
21-23	717.3	108.6	20.00	PE 20 atm	14346.00	
23-24	732.2	85.4	14.00	PE 20 atm	10250.80	
23-25	4149.2	85.4	14.00	PE 20 atm	58088.80	

Το συνολικό κόστος του δικτύου μετά τη βελτιστοποίηση ανέρχεται στα **3.375.367 €**, ενώ το αντίστοιχο της μελέτης ανέρχεται στα **3.456.850 €**.

Πρόκειται δηλαδή για εξοικονόμηση **81.483 €**, ποσό πολύ σημαντικό, ανεξάρτητα από την κλίμακα του έργου. Αν αναλογιστεί κανείς μάλιστα ότι το δίκτυο αποτελείται από 3 κλάδους (Α', Β', Γ') συνολικά ο περιορισμός της δαπάνης γίνεται ακόμα μεγαλύτερος. Ποσοστιαία, η εξοικονόμηση είναι  $\approx 2.5\%$ .

Μία δεύτερη σύγκριση μπορεί να γίνει ανάμεσα στα ύψη πίεσης.

**Πίνακας 4.19** Σύγκριση των υψών πίεσης

ΚΟΜΒΟΣ	h <sub>p</sub> (m)		
	ΒΕΛΤ/ΣΗΣ	ΜΕΛΕΤΗΣ	Διαφορά
Δεξαμενή	0.00	0.00	0.00
1	110.45	112.32	-1.87
2	6.74	15.79	-9.05
3	130.64	142.46	-11.82
4	98.93	117.31	-18.38
5	127.82	143.59	-15.77
6	103.19	121.14	-17.95
7	93.00	115.81	-22.81
8	119.92	127.45	-7.53
9	103.59	112.79	-9.20
10	107.62	120.25	-12.63
11	73.59	91.56	-17.97
12	100.79	113.21	-12.42
13	79.59	94.90	-15.31
14	96.26	108.36	-12.10
15	37.69	86.86	-49.17
16	99.85	103.02	-3.17
18	83.48	75.05	8.43
19	50.52	55.83	-5.31
20	65.87	73.41	-7.54
17	66.18	85.20	-19.02
21	95.78	93.51	2.27
22	39.12	50.73	-11.61
23	82.14	82.37	-0.23
24	43.42	46.09	-2.67
25	14.88	21.36	-6.48

Παρατηρείται ότι το ύψος πίεσης στους περισσότερους κόμβους μειώνεται, ούτως ή άλλως όμως και στις δύο περιπτώσεις η πίεση θα ρυθμιστεί με βαλβίδες ελέγχου.



# 5

## Συμπεράσματα εφαρμογής

Η βελτιστοποίηση με τη μέθοδο του γραμμικού προγραμματισμού στο ακτινωτό δίκτυο βαρύτητας του προηγούμενου κεφαλαίου, οδήγησε στην εύρεση της οικονομικότερης λύσης. Πριν από αυτό το τελικό σημείο απαραίτητη ήταν η κατανόηση του φυσικού νοήματος των εξισώσεων και η πολύ μεγάλη προσοχή στη διατύπωσή τους λόγω του μεγάλου αριθμητικού όγκου. Απαιτήθηκαν πολλές επαναλήψεις της επίλυσης και κάθε φορά σχολαστική ερμηνεία των λύσεων καθώς και επαληθεύσεις του συνολικού κόστους που έδινε κάθε λύση με το κόστος που απευθείας υπολόγιζε το Lingo.

Τελικά η λύση αυτή, έχοντας πλέον με βεβαιότητα καταλήξει στο σωστό γραμμικό πρόγραμμα, βρέθηκε και ήταν βεβαίως πιο συμφέρουσα από την εμπειρική εκτίμηση του μελετητή.

Από τα παραπάνω καθώς και από όλα τα κεφάλαια αξίζει να σημειωθεί συμπερασματικά:

1. Η διαδικασία είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για την οικονομική κλίμακα στην οποία θα κυμανθεί το έργο. Με τη χρήση λογισμικών όπως το Lingo αλλά και τα Matlab, Excel η επίλυση είναι αυτοματοποιημένη και πολύ γρήγορη.
2. Το Lingo σε σύγκριση με τα άλλα προγράμματα έχει το μεγάλο πλεονέκτημα ότι δεν απαιτεί γλώσσα σύνταξης και γενικά καμία κωδικοποίηση των σχέσεων. Οι εξισώσεις εισάγονται ακριβώς όπως γράφονται στο χαρτί και η συνάρτηση στόχου διατυπώνεται απλώς ως  $\min z$ .
3. Η βελτιστοποιημένη λύση ήταν οικονομικά πιο συμφέρουσα από την εκτίμηση της μελέτης περίπου 2.5 %.
4. Το τιμολόγιο που χρησιμοποιήθηκε στη βελτιστοποίηση είναι διαμορφωμένο από το ΥΠ.Ε.Κ.Α και προφανώς ακριβότερο από τις τιμές πώλησης της αγοράς οι οποίες σε εργολαβίες και ανάλογα με το μέγεθος του έργου είναι διαπραγματεύσιμες, άρα μη βέβαιες.
5. Από το 4<sup>ο</sup> συμπέρασμα συνάγεται ότι η μέθοδος αφορά στο κόστος σχεδιασμού και όχι κατασκευής. Εντούτοις, η λύση έστω και με ακριβότερες τιμές προέκυψε οικονομικότερη, πόσο μάλλον με τις πραγματικές.
6. Η επιλογή των υλικών απαιτεί πολύ μεγάλη προσοχή. Δεν είναι μόνο το κόστος αυτό καθαυτό που θα κρίνει την απόφαση, αλλά και κάποια ειδικά χαρακτηριστικά όπως η αντοχή σε διάβρωση, το βάρος για τη μεταφορά, ο χρόνος ζωής, η ευκολία συναρμολόγησης και εύρεσης των ειδικών τεμαχίων, η τεχνογνωσία κτλ. Η διαθεσιμότητά του υλικού στην περιοχή/χώρα κατασκευής του

έργου μπορεί επίσης να παίξει ρόλο και να αποκλείσει την εκλογή αν π.χ σε περίπτωση βλάβης δεν είναι άμεσα διαθέσιμα τα ανταλλακτικά.

7. Η όλη διαδικασία αφορά αποκλειστικά και μόνο σε δίκτυα πίεσης με βαρύτητα (ακτινωτά). Δεν υπάρχει δηλ. κόστος άντλησης παρά μόνο διαστασιολόγησης των σωληνώσεων. Επίσης στο ακτινωτό δίκτυο είναι γνωστές οι παροχές που θα δώσουν μετά τα εύρη των διαμέτρων.

8. Το κόστος που υπολογίστηκε αφορά στη διαστασιολόγηση του δικτύου και μόνο και θεωρείται αρχικό κόστος. Για καταθλιπτικούς αγωγούς, όπου παίζει ρόλο η άντληση, λαμβάνεται υπόψιν και το κόστος άντλησης όχι μόνο το παροντικό αλλά και το μελλοντικό, δηλ. για το χρόνο ζωής του έργου.

### Ελληνική

- Αγραφιώτης, Γ., 1999. «Μαθηματικός προγραμματισμός», σημειώσεις, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
- Δανηλάτος, Κ., 1994. «Βιομηχανική δραστηριότητα σωλήνων στην Ελλάδα», Διπλωματική Εργασία στη Σχολή Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π., Αθήνα.
- ΕΥΔΑΠ, 2013. «Περιγραφικό Τιμολόγιο Υδραυλικών Έργων NET ΥΔΡ – ΕΚΔΟΣΗ 3.0», ΥΠ.Ε.Κ.Α..
- Ευστρατιάδης, Α. & Κουτσογιάννης, Δ., 2005. «Τυπικά υδραυλικά έργα», σημειώσεις, Ε.Μ.Π., Αθήνα.
- Θεοχάρης, Μ., 2004. «Βελτιστοποίηση των αρδευτικών δικτύων. Εύρεση των οικονομικών διαμέτρων», Διδακτορική Διατριβή στο Τμήμα Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη.
- Ιωαννίδης, Δ.Α., 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 στη Γεωπονική Σχολή Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη.
- Κατσίμπα, Ζ., 2009. «Βελτιστοποίηση του κόστους αγωγών αρδευτικών δικτύων υπό πίεση, με εφαρμογή της ασυνεχούς μεθόδου του Labye και χρήση του προγράμματος Coram. Εφαρμογή στο αρδευτικό δίκτυο Καβάσιλων Ημαθίας», Μεταπτυχιακή Διατριβή στο Τμήμα Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη, σ. 4-8.
- Κολέτσος, Ι., 2006. «Εισαγωγή στην Επιχειρησιακή Έρευνα: Γραμμικός Προγραμματισμός», σημειώσεις, Ε.Μ.Π., Αθήνα.
- Κουτσογιάννης, Δ. & Ευστρατιάδης, Α., 2007. «Αστικά Υδραυλικά Έργα», σημειώσεις, Ε.Μ.Π., Αθήνα.
- Λειβαδίτης, Ε., 1972. «Η ασυνεχής μέθοδος του Labye δια τον υπολογισμόν του οικονομικού σχεδιασμού διαμέτρων, σωληνωτών δικτύων αρδεύσεως», Τεχνικά χρονικά, Μάιος: σ. 393-412.
- Μαντόγλου, Α., 2009. «Μηχανική Ρευστών και Εφαρμοσμένη Υδραυλική», Ε.Μ.Π., Αθήνα.
- Ναλμπάντης, Ι., 2007. «Προστασία και διαχείριση υδατικών πόρων», Ε.Μ.Π., Αθήνα.
- Νουτσόπουλος, Γ. & Χριστοδούλου, Γ., 1996. «Μαθήματα Μηχανικής Ρευστών», Ε.Μ.Π., Αθήνα.
- Ξηροκώστας, Δ., 1999. «Επιχειρησιακή Έρευνα», Συμμετρία, Αθήνα.
- Ρόικος, Α.Ε, Μπουλουγούρης, Β., Τσίτσης, Α., 2011. «Οριστική μελέτη ύδρευσης ανατολικής πλευράς Ν. Καρδίτσας από τη λίμνη Σμοκόβου: Έργα μεταφοράς και διανομής ύδατος».
- Τζιμόπουλος, Χ. & Ιωαννίδης, Δ., 1997. «Βελτιστοποίηση αρδευτικού δικτύου με τη μέθοδο Simplex», Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη.
- Τσακίρης, Γ., 2010. «Υδραυλικά έργα. Σχεδιασμός και Διαχείριση Ι. Αστικά Υδραυλικά Έργα», Συμμετρία, Αθήνα.

Τσακίρης, Γ., 2006. «Υδραυλικά έργα. Σχεδιασμός και Διαχείριση II. Εγγειοβελτιωτικά Έργα», Συμμετρία, Αθήνα, σ. 475-492.

Τσάντας, Ν., 2014. «Ανάλυση ευαισθησίας», σημειώσεις, Πανεπιστήμιο Πατρών.

Ψωινός, Δ.Π., 1989. «Ποσοτική ανάλυση Τόμος Ι», Ζήτη, Θεσσαλονίκη.

### **Διεθνής**

Alperovits, E. & Shamir, U., 1977. «Design of optimal water distribution systems», Journal Water Resources Research, 13(6): 885-900.

Bellman E.R. & Dreyfous E.S., 1962. «Applied dynamic programming», Princeton University Press, Princeton, N.J.

Karmeli, D., Gadish, Y. & Meyers, S., 1968. «Design of optimal water distribution networks», Jour. Pipeline Div., ASCE, 94(1): 1-10.

LINDO Systems Inc., LINGO user's guide, LINDO Systems Inc, Chicago Illinois 2011.

Robinson, R.B. & Austin, T.A., 1976. « Cost optimization of rural water systems», Jour. Hyd. Div., ASCE, 102(8): 1119-1134.

Smith, D.V., 1966. «Minimum cost design of linearly restrained water distribution networks», M.Sc. Thesis, Dept. of Civil Eng., Mass. Inst. Of Technol., Cambridge.

Tsakiris, G. & Tsakiris, V., 2012. «Pipe technologies for urban water conveyance distribution systems», E.W Publications.

Yakowitz, S., 1982. «Dynamic programming applications in water resources», Journal Water Resources. Research, 18(4): 673-696.

### **Διαδίκτυο**

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

<http://www.profisol.gr/media/20873/xalivdosolines%20%20elikoeidous%20rafis.pdf>

<http://technoroi.com/>

<http://tamdidpipes.com/>

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

<http://www.hellogreece.gr/thesalia/karditsa2.html>

<http://www.fasoplast.gr/products6.php?wh=1&lang=1&the1id=8&the2id=100&theid=100&open1=8&open2=100>

[http://www.math.upatras.gr/~tsantas/DownloadFiles/LP\\_12.pdf](http://www.math.upatras.gr/~tsantas/DownloadFiles/LP_12.pdf)

[http://www.lindo.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=34&Itemid=15](http://www.lindo.com/index.php?option=com_content&view=article&id=34&Itemid=15)

### 1. ΠΕΡΙΓΡΑΦΙΚΟ ΤΙΜΟΛΟΓΙΟ ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ

## NET ΥΔΡ - ΕΚΔΟΣΗ 3.0 (Διορθώθηκε την 20/3/2013)

### ΓΕΝΙΚΟΙ ΟΡΟΙ

Αντικείμενο του παρόντος τιμολογίου είναι ο καθορισμός τιμών μονάδος των εργασιών, που είναι απαραίτητες για την έντεχνη ολοκλήρωση του Έργου, όπως προδιαγράφεται στα λοιπά Τεύχη Δημοπράτησης που ορίζονται στη Διακήρυξη.

- 1.1 Οι τιμές μονάδας του παρόντος Τιμολογίου αναφέρονται σε μονάδες πλήρως περαιωμένων εργασιών, όπως περιγράφονται αναλυτικά παρακάτω, οι οποίες θα εκτελεστούν στην περιοχή του Έργου. Οι τιμές μονάδος περιλαμβάνουν όλες τις δαπάνες που αναφέρονται στην περιγραφή των εργασιών, καθώς και όσες απαιτούνται για την πλήρη και έντεχνη εκτέλεση των εργασιών, σύμφωνα και με τα λοιπά Τεύχη Δημοπράτησης.

Καμιά αξίωση ή αμφισβήτηση δεν μπορεί να θεμελιωθεί, ως προς το είδος και την απόδοση των μηχανημάτων, τις ειδικότητες και τον αριθμό του εργατοτεχνικού προσωπικού και την δυνατότητα χρησιμοποίησης ή μή μηχανικών μέσων, εκτός αν άλλως ορίζεται στα άρθρα του παρόντος.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, στις τιμές μονάδος του παρόντος Τιμολογίου, ενδεικτικά και όχι περιοριστικά περιλαμβάνονται τα κάτωθι:

- 1.1.1 Κάθε είδους επιβάρυνση των ενσωματωμένων υλικών από φόρους, τέλη, δασμούς, έξοδα εκτελωνισμού, ειδικούς φόρους κλπ πλην του Φ.Π.Α. Ο Ανάδοχος δεν απαλλάσσεται από τα τέλη διοδίων των κάθε είδους μεταφορικών του μέσων.
- 1.1.2 Οι δαπάνες προμηθείας των πάσης φύσεως, ενσωματωμένων και μη, κυρίων και βοηθητικών υλικών, μεταφοράς τους στις θέσεις εκτέλεσης των εργασιών, αποθήκευσης, φύλαξης, επεξεργασίας τους (αν απαιτείται) και προσέγγισής τους, με τις απαιτούμενες φορτοεκφορτώσεις, τις ασφαλίσσεις των μεταφορών, τις σταλίες των μεταφορικών μέσων και τις απαιτούμενες πλάγιες μεταφορές, εκτός των ειδικών περιπτώσεων, που η μεταφορά πληρώνεται ιδιαίτερα με αντίστοιχα άρθρα του Τιμολογίου.

Ομοίως οι δαπάνες για την φορτοεκφόρτωση και μεταφορά (με την σταλία μεταφορικών μέσων) των πλεοναζόντων ή/και ακατάλληλων προϊόντων εκσκαφών και λοιπων υλικών, σε κατάλληλους χώρους απόρριψης, λαμβανομένων υπόψη των ισχυόντων Περιβαλλοντικών Όρων, σύμφωνα με την Ε.Σ.Υ. και τους λοιπούς όρους δημοπράτησης.

1.1.3 Οι δαπάνες μισθών, ημερομισθίων, υπερωριών, υπερεργασιών, ασφαλιστικών εισφορών (στο Ι.Κ.Α., σε ασφαλιστικές εταιρείες, ή σε άλλους ημεδαπούς ή/και αλλοδαπούς ασφαλιστικούς οργανισμούς κλπ.), δώρων εορτών, επιδομάτων που καθορίζονται από τις ισχύουσες εκάστοτε Συλλογικές Συμβάσεις Εργασίας (αδείας, οικογενειακού, θέσεως, ανθυγιεινής εργασίας, εξαιρεσίμων αργιών κλπ), νυκτερινής απασχόλησης (πλην των έργων που η εκτέλεσή τους προβλέπεται κατά τις νυκτερινές ώρες και τιμολογούνται ιδιαιτέρως) κλπ, του πάσης φύσεως προσωπικού (επιστημονικού, εργατοτεχνικού όλων των ειδικοτήτων, υπαλλήλων εργοταξιακών γραφείων, οδηγών και χειριστών οχημάτων και μηχανημάτων, τεχνιτών συνεργείων κλπ.) ημεδαπού ή αλλοδαπού που απασχολείται για την κατασκευή του έργου, επί τόπου ή οπουδήποτε αλλού.

1.1.4 Οι δαπάνες εξασφάλισης εργοταξιακών χώρων, διαρρύθμισης αυτών, ανέγερσης γραφείων, εργαστηρίων και λοιπών εγκαταστάσεων του Αναδόχου, εξασφάλισης ύδρευσης, ηλεκτρικού ρεύματος, τηλεφωνικής σύνδεσης και αποχέτευσης των εργοταξιακών εγκαταστάσεων, καθώς και λοιπών απαιτούμενων ευκολιών, σύμφωνα με τους όρους δημοπράτησης.

1.1.5 Οι δαπάνες λειτουργίας όλων των εργοταξιακών εγκαταστάσεων και ευκολιών, απομάκρυνσής τους μετά την περαίωση του έργου, καθώς και οι δαπάνες αποκατάστασης των χώρων κατά τρόπο αποδεκτό από την Υπηρεσία και σύμφωνα με τους εγκεκριμένους Περιβαλλοντικούς Όρους.

1.1.6 Οι κάθε είδους δαπάνες για την εγκατάσταση, εξοπλισμό και λειτουργία εργοταξιακού εργαστηρίου, εάν προβλέπεται, την λήψη και μεταφορά των δοκιμών και την εκτέλεση ελέγχων και δοκιμών, είτε στο εργοταξιακό εργαστήριο ή σε κρατικό ή σε ιδιωτικό της εγκρίσεως της Υπηρεσίας, σύμφωνα με τους όρους δημοπράτησης.

1.1.7 Οι δαπάνες εγκατάστασης και λειτουργίας μονάδων παραγωγής προκατα-σκευασμένων στοιχείων, εφ' όσον προβλέπονται από τους όρους δημοπράτησης, συγκροτήματων παραγωγής θραυστών υλικών (σπαστηρο-τριβείο), σκυροδέματος, κλπ, στον εργοταξιακό χώρο ή εκτός αυτού.

Στις δαπάνες αυτές περιλαμβάνονται: η εξασφάλιση του απαιτούμενου χώρου, η κατασκευή των υποδομών, κτιριακών και λοιπών έργων των μονάδων, η εγκατάσταση του απαιτούμενου κατά περίπτωση εξοπλισμού, οι λειτουργικές δαπάνες πάσης φύσεως, οι φορτοεκφορτώσεις και μεταφορές των πρώτων υλών στην μονάδα και των παραγομένων προϊόντων μέχρι τις θέσεις ενσωμάτωσής τους στο Έργο, καθώς και η αποσυναρμολόγηση των εγκαταστάσεων μετά το πέρας των εργασιών, η καθαίρεση των υποδομών τους (βάσεις, τοιχία κλπ κατασκευές από σκυρόδεμα ή

οποιοδήποτε άλλο υλικό) και αποκατάστασης του χώρου σε βαθμό αποδεκτό από την Υπηρεσία και σύμφωνα με τους ισχύοντες Περιβαλλοντικούς όρους.

Οι ως άνω όροι για την αποξήλωση των μονάδων και αποκατάσταση των χώρων έχουν εφαρμογή στις ακόλουθες περιπτώσεις:

- (α) Όταν η εγκατάσταση των μονάδων έχει γίνει σε χώρο που έχει παραχωρηθεί από το Δημόσιο
- (β) Όταν οι μονάδες έχουν ανεγερθεί μεν σε χώρους που έχει εξασφαλίσει ο Ανάδοχος, αλλά έχει δοθεί προσωρινή άδεια εγκατάστασης-λειτουργίας για τις ανάγκες του συγκεκριμένου έργου.

- 1.1.8 Τα πάσης φύσεως ασφάλιστρα για το προσωπικό του Έργου, τις μεταφορές, τα μεταφορικά μέσα, τα μηχανήματα έργων και τις εγκαταστάσεις, καθώς και τις λοιπές ασφαλιστικές καλύψεις όπως καθορίζονται στην Ειδική Συγγραφή Υποχρεώσεων του Έργου.
- 1.1.9 Οι επιβαρύνσεις από την εκτέλεση των εργασιών υπό ταυτόχρονη διεξαγωγή της κυκλοφορίας και την λήψη των απαιτούμενων προστατευτικών μέτρων, οι δαπάνες των μέτρων προστασίας των όμορων κατασκευών των χώρων εκτέλεσης των εργασιών, της πρόληψης ατυχημάτων εργαζομένων ή τρίτων, της αποφυγής βλαβών σε κινητά ή ακίνητα πράγματα τρίτων, της αποφυγής ρύπανσης ρεμάτων, ποταμών, ακτών κλπ, καθώς και οι δαπάνες των μέτρων προστασίας των έργων σε κάθε φάση της κατασκευής τους ανεξαρτήτως της εποχής του έτους (εκσκαφές, θεμελιώσεις, ικριώματα, σκυροδετήσεις κλπ) και μέχρι την οριστική παραλαβή τους.
- 1.1.10 Οι δαπάνες διεξαγωγής των ελέγχων ποιότητας και οι δαπάνες κατασκευής των πάσης φύσεως “δοκιμαστικών τμημάτων” που προβλέπονται στην μελέτη, τις προδιαγραφές και τους λοιπούς όρους δημοπράτησης (μετρήσεις, εργαστηριακοί έλεγχοι και δοκιμές, αξία υλικών, χρήση μηχανημάτων, εργασία κλπ.)
- 1.1.11 Οι δαπάνες διάθεσης, προσκόμισης και λειτουργίας του κυρίου και βοηθητικού μηχανικού εξοπλισμού και μέσων (π.χ. ικριωμάτων, εργαλείων) που απαιτούνται για την κατασκευή του έργου στο πλαίσιο του εγκεκριμένου χρονοδιαγράμματος, στις οποίες περιλαμβάνονται τα μισθώματα, η μεταφορά επί τόπου, η συναρμολόγηση (όταν απαιτείται), η αποθήκευση, η φύλαξη, η ασφάλιση, οι αποδοχές οδηγών, χειριστών, βοηθών και τεχνιτών, τα καύσιμα, τα λιπαντικά και λοιπά αναλώσιμα, τα ανταλλακτικά, οι επισκευές, οι μετακινήσεις στον χώρο του έργου, οι ημεραργίες για οποιαδήποτε αιτία, οι πάσης φύσεως σταλίες και καθυστερήσεις (που δεν οφείλονται σε υπαιτιότητα του Κυρίου του Έργου), η αποσυναρμολόγησή τους (εάν απαιτείται) και η απομάκρυνσή τους από το Έργο.

Περιλαμβάνονται επίσης οι πάσης φύσεως δαπάνες του εφεδρικού εξοπλισμού που διατηρείται σε ετοιμότητα για την αντιμετώπιση βλαβών ή για οποιαδήποτε άλλη αιτία.

- 1.1.12 Οι δαπάνες προμηθείας ή παραγωγής, φορτοεκφόρτωσης και μεταφοράς στη θέση ενσωμάτωσης και τυχόν προσωρινών αποθέσεων και επαναφορτώσεων αδρανών υλικών προέλευσης λατομείων, ορυχείων κλπ. πλην των περιπτώσεων που στα οικεία άρθρα του παρόντος Τιμολογίου αναφέρεται ρητά ότι η μεταφορά πληρώνεται ιδιαίτερα (άρθρα που επισημαίνονται με αστερίσκο [\*]).

Περιλαμβάνονται οι δαπάνες πλύσεως, ανάμιξης ή εμπλουτισμού των υλικών, ώστε να ανταποκρίνονται στις προβλεπόμενες από την Μελέτη του Έργου προδιαγραφές, λαμβανομένων υπόψη των σχετικών περιβαλλοντικών όρων.

- 1.1.13 Οι επιβαρύνσεις από καθυστερήσεις, μειωμένη απόδοση και μετακινήσεις μηχανημάτων και προσωπικού που οφείλονται:

- (α) σε εμπόδια στο χώρο εκτέλεσης των εργασιών (αρχαιολογικά ευρήματα, δίκτυα Ο.Κ.Ω. κλπ.),
- (β) στην μη ολοκλήρωση των διαδικασιών απαλλοτρίωσης τμημάτων του χώρου εκτέλεσης των εργασιών (υπό την προϋπόθεση ότι παρέχεται η δυνατότητα τμηματικής εκτέλεσης των εργασιών),
- (γ) στις τυχόν ιδιαίτερες απαιτήσεις αντιμετώπισης των εμποδίων από τους αρμόδιους για αυτά φορείς (ΥΠ.ΠΟ, Δ.Ε.Η, ΔΕΥΑχ κλπ.),
- (δ) στην ενδεχόμενη εκτέλεση των εργασιών κατά φάσεις λόγω των ως άνω εμποδίων,
- (ε) στην διενέργεια των απαιτούμενων μετρήσεων, ελέγχων και ερευνών (τοπογραφικών, εργαστηριακών, γεωτεχνικών κ.α.), καθώς και στις λοιπές υποχρεώσεις του Αναδόχου που προβλέπονται στα τεύχη δημοπράτησης, είτε τα ως άνω αποζημιώνονται ιδιαίτερα είτε είναι ανηγμένα στο ποσοστό Γ.Ε.& Ο.Ε. ή σε άλλα άρθρα του παρόντος Τιμολογίου
- (στ) στην λήψη μέτρων για την εξασφάλιση της κυκλοφορίας πεζών και οχημάτων,
- (ζ) σε προσωρινές ή μόνιμες κυκλοφοριακές ρυθμίσεις στην ευρύτερη περιοχή του έργου για οποιαδήποτε αιτία (π.χ. εορτές, εργασίες συντήρησης οδικού δικτύου και υποδομών, βλάβες σε άλλα έργα, εκτέλεση άλλων έργων κλπ.).

- 1.1.14 Οι δαπάνες λήψης μέτρων για την ομαλή και ασφαλή διακίνηση πεζών και οχημάτων στις θέσεις εκτέλεσης των εργασιών, όπως ενδεικτικά:



- (1) Οι δαπάνες προσωρινών γεφυρώσεων ορυγμάτων πλάτους έως 3,0 m, για την αποκατάσταση της κυκλοφορίας πεζών και οχημάτων, όταν τούτο κρίνεται απαραίτητο από την Υπηρεσία ή τις αρμόδιες Αρχές, εκτός αν προβλέπεται ιδιαίτερη τιμολόγηση αυτών στα συμβατικά τεύχη του έργου.
  - (2) Οι δαπάνες λήψης προστατευτικών μέτρων για την απρόσκοπτη και ασφαλή κυκλοφορία πεζών και οχημάτων στην περίμετρο των χώρων εκτέλεσης των εργασιών, όπου απαιτείται, ήτοι για την περιφράξη των ορυγμάτων και γενικά των χώρων εκτέλεσης εργασιών, την ενημέρωση του κοινού, την σήμανση και φωτεινή σηματοδότηση του εργοταξιακού χώρου (πλην εκείνης που προκύπτει από μελέτη σήμανσης και τιμολογείται ιδιαίτερω), την προσωρινή διευθέτηση και αποκατάσταση της κυκλοφορίας κλπ. καθώς και οι δαπάνες για την απομάκρυνση των παραπάνω προσωρινών κατασκευών και σήμανσης μετά την περαίωση των εργασιών και την πλήρη αποκατάσταση της αρχικής σήμανσης, εκτός αν προβλέπεται ιδιαίτερη τιμολόγηση αυτών στα συμβατικά τεύχη του έργου.
- 1.1.15 Οι δαπάνες των τοπογραφικών εργασιών (αποτυπώσεων, πασσαλώσεων, αναπασσαλώσεων, πύκνωσης τριγωνομετρικού και πολυγωνομετρικού δικτύου, εγκατάστασης των χωροσταθμικών αφετηριών κλπ) που απαιτούνται για την χάραξη των επιμέρους στοιχείων του έργου, εκτός αν άλλως ορίζεται στην Ε.Σ.Υ., οι δαπάνες σύνταξης μελετών εφαρμογής (όταν απαιτείται για την προσαρμογή των στοιχείων της οριστικής μελέτης στο ακριβές ανάγλυφο του εδάφους, υφιστάμενες κατασκευές κ.ο.κ.), κατασκευαστικών σχεδίων και σχεδίων λεπτομερειών, οι δαπάνες ανίχνευσης και εντοπισμού εμποδίων στον χώρο εκτέλεσης του έργου και εκπόνησης μελετών αντιμετώπισης αυτών (λ.χ. υπάρχοντα θεμέλια, υψηλός οριζοντας υπογείων υδάτων, δίκτυα Οργανισμών Κοινής Ωφελείας [ΟΚΩ]), σύμφωνα με τα καθοριζόμενα στην Τ.Σ.Υ. και γενικότερα στα τεύχη δημοπράτησης του έργου, καθώς οι δαπάνες σύνταξης του Προγράμματος Ποιότητας του Έργου (ΠΠΕ), του Σχεδίου Ασφάλειας και Υγείας, του Φακέλου Ασφάλειας και Υγείας του Έργου (ΣΑΥ-ΦΑΥ) και του Μητρώου Έργου και παραγωγής του αριθμού αντιτύπων αυτών που προβλέπονται στα τεύχη δημοπράτησης.
- 1.1.16 Οι δαπάνες αποτύπωσης τεχνικών έργων και λοιπών εγκαταστάσεων που απαντώνται στο χώρο του έργου, οι δαπάνες επαλήθευσης των στοιχείων εδάφους με τοπογραφικές μεθόδους καθώς και οι δαπάνες λήψης επιμετρητικών στοιχείων κατ' αντιπαράσταση με επρόσωπο της Υπηρεσίας και σύνταξης των πάσης φύσεως επιμετρητικών σχεδίων, πινάκων και υπολογισμών που θα υποβληθούν στην Υπηρεσία προς έλεγχο.
- 1.1.17 Η δαπάνη σύνταξης των αναπτυγμάτων και πινάκων οπλισμού σκυροδεμάτων (όταν αυτοί δεν περιλαμβάνονται στη μελέτη).
- 1.1.18 Οι δαπάνες ενημέρωσης των οριζοντιογραφιών της μελέτης με τα στοιχεία των εντοπιζομένων με ερευνητικές τομές ή κατά την εκτέλεση των εργασιών δικτύων Ο.Κ.Ω.

- 1.1.19 Οι δαπάνες των αντλήσεων (πλην των αντλήσεων κατά την κατασκευή τεχνικών εντός κοίτης ποταμών ή στην περίπτωση που δεν υπάρχει δυνατότητα παροχέτευσης προς φυσικό ή τεχνητό αποδέκτη υδάτων) καθώς και των προσωρινών διευθετήσεων για την αντιμετώπιση των επιφανειακών, υπογείων και πηγαίων νερών, ώστε να προστατεύονται τόσο τα κατασκευαζόμενα όσο και τα υπάρχοντα έργα και το περιβάλλον γενικότερα, εκτός αν αναφέρεται διαφορετικά στα τεύχη δημοπράτησης.
- 1.1.20 Οι δαπάνες διατήρησης, κατά την περίοδο εκτέλεσης των εργασιών, του χώρου του έργου καθαρού και απαλλαγμένου από ξένα προς το έργο αντικείμενα, προϊόντα εκσκαφών κλπ, καθώς και οι δαπάνες για την απόδοση, μετά το τέλος των εργασιών, του χώρου καθαρού και ελεύθερου από οποιοσδήποτε κατασκευές και εμπόδια και όπως στους εγκεκριμένους περιβαλλοντικούς όρους ορίζεται.
- 1.1.21 Οι δαπάνες που απορρέουν από δικαιώματα κατοχυρωμένων μεθόδων και ευρεσιτεχνιών που εφαρμόζονται κατά οποιονδήποτε τρόπο για την εκτέλεση των εργασιών.
- 1.1.22 Οι δαπάνες διαμόρφωσης προσβάσεων, προσπελάσεων και δαπέδων εργασίας στα διάφορα τμήματα του έργου, και γενικά κάθε βοηθητικής κατασκευής που θα απαιτηθεί σε οποιοδήποτε στάδιο των εργασιών, όταν δεν προβλέπεται ιδιαίτερη επιμέτρηση αυτών στα συμβατικά τεύχη, καθώς και οι δαπάνες αποξήλωσης των προσωρινών κατασκευών και περιβαλλοντικής αποκατάστασης των χώρων (προσβάσεων, προσπελάσεων, δαπέδων εργασίας κ.λ.π.), εκτός εάν υπάρχει έγγραφη αποδοχή της Υπηρεσίας για την διατήρησή τους.
- 1.1.23 Οι δαπάνες για την προστασία και την εξασφάλιση της λειτουργίας των δικτύων Ο.Κ.Ω. που διασχίζουν εγκάρσια τα ορύγματα ή επηρεάζονται τοπικά από τις εκτελούμενες εργασίες, Την αποκλειστική ευθύνη για την πρόκληση ζημιών και φθορών στα δίκτυα αυτά θα φέρει, τόσο αστικά όσο και ποινικά και μέχρι περαίωσης των εργασιών, ο Ανάδοχος του Έργου.
- 1.1.24 Οι δαπάνες πρόληψης και αποκατάστασης κάθε είδους ζημιάς καθώς και οι αποζημιώσεις για κάθε είδους βλάβη ή μη συνήθη φθορά επί υφισταμένων κατασκευών κατά την εκτέλεση των εργασιών ή την διακίνηση βαρέως εξοπλισμού του Αναδόχου (π.χ. μεταφορικών μέσων μεγάλης χωρητικότητας, ερπυστριοφόρων μηχανημάτων κλπ) που οφείλονται σε μη τήρηση των συμβατικών όρων, των υποδείξεων της Υπηρεσίας, των ισχυουσών διατάξεων και γενικότερα σε υπαιτιότητα του Αναδόχου.
- 1.1.25 Οι δαπάνες διάθεσης γραφείων και λουπών ευκολιών στην Επιβλέπουσα Υπηρεσία, σύμφωνα με όσα αναφέρονται στην Ε.Σ.Υ και στους λοιπούς όρους δημοπράτησης.

- 1.1.26 Εφ' όσον δεν προβλέπεται ιδιαίτερη πληρωμή στα συμβατικά τεύχη: Οι πάσης φύσεως δαπάνες για τις εργοταξιακές οδούς που απαιτούνται για την ασφαλή διακίνηση εξοπλισμού και υλικών κατασκευής του Έργου (μίσθωση ή εξασφάλιση δικαιωμάτων διέλευσης από ιδιωτική έκταση, κατασκευή των οδών ή βελτίωση υπαρχουσών, σήμανση, συντήρηση), καθώς και οι δαπάνες εξασφάλισης των αναγκαίων χώρων απόθεσης των πλεοναζόντων ή ακαταλλήλων προϊόντων εκσκαφών (καταβολή τιμήματος προς ιδιοκτήτες, αν απαιτείται, εξασφάλιση σχετικών αδειών, κατασκευή οδών προσπέλασης ή επέκταση ή βελτίωση υπαρχουσών και τελική διαμόρφωση των χώρων μετά την περαίωση των εργασιών), σύμφωνα με τους εγκεκριμένους περιβαλλοντικούς όρους.
- 1.1.27 Οι δαπάνες διάνοιξης τομών ή οπών στα τοιχώματα υφισταμένων αγωγών, φρεατίων, τεχνικών έργων κ.λ.π., με οποιαδήποτε μέσα, για τη σύνδεση νέων συμβαλλόντων αγωγών, εκτός αν προβλέπεται ιδιαίτερη πληρωμή προς τούτο στα τεύχη δημοπράτησης.
- 1.1.28 Οι δαπάνες των ειδικών μελετών, που προβλέπεται στα τεύχη δημοπράτησης να εκπονηθούν από τον Ανάδοχο χωρίς ιδιαίτερη αμοιβή, όπως μελέτες σύνθεσης σκυροδεμάτων και ασφαλτομιγμάτων, μελέτες ευστάθειας πρανών, μελέτες ικριωμάτων, μελέτες εξυγίανσης εδάφους κλπ.
- 1.1.29 Οι δαπάνες έκδοσης των απαιτούμενων αδειών εκτέλεσης εργασιών από τις αρμόδιες Δημόσιες Επιχειρήσεις, την Πολεοδομία και τους Οργανισμούς Κοινής Ωφελείας (Δ.Ε.Κ.Ο. ή Ο.Κ.Ω.), εκτός αν προβλέπεται ιδιαίτερη πληρωμή προς τούτο στα τεύχη δημοπράτησης.
- 1.1.30 Οι δαπάνες λήψης μέτρων για την προστασία του περιβάλλοντος, από την εγκατάσταση του Αναδόχου στο Έργο μέχρι και την παραλαβή του Έργου, όπως αυτά καθορίζονται στις σχετικές μελέτες και στους περιβαλλοντικούς όρους, εκτός αν προβλέπεται ιδιαίτερη πληρωμή προς τούτο στα τεύχη δημοπράτησης.
- 1.1.31 Οι δαπάνες δημοσίευσης της διακήρυξης και κατάρτισης του συμφωνητικού και γενικά όλες οι υπόλοιπες ειδικές δαπάνες που βαρύνουν τον Ανάδοχο, όπως αυτές αναφέρονται στους υπόλοιπους όρους δημοπράτησης του Έργου.
- 1.1.32 Οι δαπάνες λήψης μέτρων για την εξασφάλιση της συνεχούς και απρόσκοπτης λειτουργίας των υπαρχόντων στην περιοχή του Έργου δικτύων (δίκτυα ύδρευσης, άρδευσης, αποχέτευσης και αποστράγγισης, τάφροι, διώρυγες, υδατορέματα κλπ), τα οποία επηρεάζονται από την εκτέλεση των εργασιών, και ιδιαίτερα όταν:

(1) τα δίκτυα είναι σχετικά ανεπαρκή και ευαίσθητα σε δυσμενή μεταχείριση,

- (2) Θα επιβαρυνθεί υπέρμετρα η λειτουργικότητα των δικτύων αν ο Ανάδοχος δεν λάβει μέτρα για να αποτρέψει την είσοδο φερτών υλών από τις χωματοουργικές, κυρίως, ή άλλες εργασίες.

1.1.33 Οι δαπάνες συντήρησης του έργου μέχρι την οριστική του παραλαβή.

1.2 Οι τιμές μονάδας του παρόντος Τιμολογίου προσαυξάνονται κατά το ποσοστό Γενικών Εξόδων (Γ.Ε.) και Οφέλους (Ο.Ε.) του Αναδόχου, στο οποίο περιλαμβάνονται οι πάσης φύσεως κρατήσεις ή υποχρεώσεις αυτού, όπως δαπάνες διοίκησης και επίβλεψης του Έργου, σήμανσης εργοταξίων, φόροι, δασμοί, ασφάλιστρα, τόκοι κεφαλαίων κίνησης, προμήθειες εγγυητικών επιστολών, έξοδα λειτουργίας γραφείων κ.λ.π. , τα επισφαλή έξοδα πάσης φύσεως καθώς και το προσδοκώμενο κέρδος από την εκτέλεση των εργασιών.

Το ως άνω ποσοστό Γ.Ε. & Ο.Ε., ανέρχεται σε δέκα οκτώ τοις εκατό (18%) ή είκοσι οκτώ τοις εκατό (28%) του προϋπολογισμού των εργασιών, όπως αυτός προκύπτει βάσει των τιμών του Τιμολογίου Προσφοράς του αναδόχου, σύμφωνα με τις κείμενες διατάξεις.

1.3 Ο Φόρος Προστιθέμενης Αξίας (Φ.Π.Α) επί των λογαριασμών του Αναδόχου βαρύνει τον Κύριο του Έργου.

1.4 Εάν προκύψει ανάγκη εκτέλεσης εργασιών που παρουσιάζουν διαφορετικά χαρακτηριστικά έναντι παρεμφερών προς αυτές εργασιών που περιλαμβάνονται στο παρόν Τιμολόγιο, αποδεκτά σύμφωνα με τους όρους δημοπράτησης, ή εργασιών που επιμετρώνται διαφορετικά, οι εργασίες αυτές είναι δυνατόν να αναχθούν σε άρθρα του παρόντος Τιμολογίου με αναγωγή των μεγεθών τους σύμφωνα με το ακόλουθο παράδειγμα:

Διάτρητοι σωλήνες στραγγιστηρίων, αγωγοί αποχέτευσης ομβρίων και ακαθάρτων από σκυρόδεμα, PVC, GRP κλπ

Για ονομαστική διάμετρο  $D_N$  χρησιμοποιούμενου σωλήνα διαφορετική από τις αναφερόμενες στα υποάρθρα των αντιστοιχών άρθρων του παρόντος Τιμολογίου και για αντίστοιχο υλικό κατασκευής, κατηγορία αντοχής και μέθοδο προστασίας, θα γίνεται αναγωγή του μήκους του χρησιμοποιούμενου σε μήκος σωλήνα της αμέσως μικρότερης στο παρόν Τιμολόγιο ονομαστικής διαμέτρου, με βάση το λόγο:

$$D_N / D_M$$

όπου  $D_N$ : Ονομαστική διάμετρος του χρησιμοποιούμενου σωλήνα

$D_M$ : Η αμέσως μικρότερη διάμετρος σωλήνα που περιλαμβάνεται στο παρόν Τιμολόγιο.

Αν δεν υπάρχει μικρότερη διάμετρος ως  $D_M$  θα χρησιμοποιείται η αμέσως μεγαλύτερη υπάρχουσα διάμετρος.

Παρεμφερής πρακτική μπορεί να έχει εφαρμογή και σε άλλες περιπτώσεις άρθρων του παρόντος Τιμολογίου

**Οι τιμές μονάδος του παρόντος Τιμολογίου που φέρουν την σήμανση [\*] παραπλεύρως της αναγραφόμενης τιμής σε ΕΥΡΩ δεν συμπεριλαμβάνουν την δαπάνη της καθαρής μεταφοράς των, κατά περίπτωση, υλικών ή προϊόντων.**

**Η Δημοπρατούσα Αρχή θα προσθέτει στις τιμές αυτές την δαπάνη του μεταφορικού έργου, με βάση τα στοιχεία της μελέτης και τις συνθήκες εκτέλεσης του έργου.**

**Για τον προσδιορισμό της ως άνω δαπάνης του μεταφορικού έργου καθορίζονται οι ακόλουθες τιμές μονάδας σε €/m<sup>3</sup>.km**

<b>Σε αστικές περιοχές</b>	
- απόσταση < 5 km	<b>0,28</b>
- απόσταση ≥ 5 km	<b>0,21</b>
<b>Εκτός πόλεως</b>	
<b>· οδοί καλής βατότητας</b>	
- απόσταση < 5 km	<b>0,20</b>
- απόσταση ≥ 5 km	<b>0,19</b>
<b>· οδοί κακής βατότητας</b>	
- απόσταση < 5 km	<b>0,25</b>
- απόσταση ≥ 5 km	<b>0,21</b>
<b>· εργοταξιακές οδοί</b>	
- απόσταση < 3 km	<b>0,22</b>
- απόσταση ≥ 3 km	<b>0,20</b>
<b>Πρόσθετη τιμή για παρατεταμένη αναμονή φορτοεκφόρτωσης (ασφαλτικά, εκσκαφές θεμελίων και χανδάκων, μικρής κλίμακας εκσκαφές)</b>	<b>0,03</b>

**Οι τιμές αυτές έχουν εφαρμογή στον προσδιορισμό της τιμής του αστερίσκου [\*] των άρθρων του παρόντος τιμολογίου των οποίων οι εργασίες επιμετρώνται σε κυβικά μέτρα (m<sup>3</sup>), κατά τον τρόπο**

*που καθορίζεται σε έκαστο άρθρο.*

*Σε καμία περίπτωση δεν εφαρμόζεται συντελεστής επιπλήσματος ή οποιαδήποτε άλλη προσαύξηση και ο υπολογισμός γίνεται με βάση τα επιμετρούμενα  $m^3$  κάθε εργασίας, όπως καθορίζεται στο αντίστοιχο άρθρο.*

*Η δαπάνη του μεταφορικού έργου, όπως προσδιορίζεται στο παρόν τιμολόγιο, προστίθεται στην τιμή βάσεως των άρθρων που επισημαίνονται με [\*], και αναθεωρείται με βάση τον εκάστοτε καθοριζόμενο κωδικό αναθεώρησης (δεν προβλέπεται άλλη, ιδιαίτερη αναθεώρηση του μεταφορικού έργου).*

## **A. ΤΙΜΟΛΟΓΙΟ ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ**

α/α	ΚΩΔΙΚΟΣ	ΣΥΝΤΟΜΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	Κωδικός Αναθ/σης	Μον. Μετρ.	ΕΡΓΑ έως 1,5 εκ. €	ΕΡΓΑ 1,5 - 5,0 εκ. €	ΕΡΓΑ > 5,0 εκ. €
I. ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΕΡΓΑ							
ΚΩΔΙΚΟΣ	ΣΥΝΤΟΜΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	Κωδικός Αναθ/σης	Μον. Μετρ.	ΕΡΓΑ έως 1,5 εκ. €	ΕΡΓΑ 1,5 - 5,0 εκ. €	ΕΡΓΑ > 5,0 εκ. €	Μεταφορές
<b>12. ΣΩΛΗΝΩΣΕΙΣ - ΔΙΚΤΥΑ</b>							
	<b>12.13</b>	<b>Αγωγοί υπό πίεση από σωλήνες PVC-U</b>					
	<b>12.13.01</b>	<i>Ονομαστικής πίεσης 6 at</i>					
2	12.13.01.01	Ονομαστικής διαμέτρου D 50 mm	ΥΔΡ 6620.1	m	1.75	1.70	1.62
3	12.13.01.02	Ονομαστικής διαμέτρου D 63 mm	ΥΔΡ 6620.1	m	2.10	2.00	1.90
4	12.13.01.03	Ονομαστικής διαμέτρου D 75 mm	ΥΔΡ 6620.1	m	2.70	2.60	2.50
5	12.13.01.04	Ονομαστικής διαμέτρου D 90 mm	ΥΔΡ 6620.1	m	3.90	3.80	3.60
6	12.13.01.05	Ονομαστικής διαμέτρου D110 mm	ΥΔΡ 6620.1	m	5.70	5.50	5.20
7	12.13.01.06	Ονομαστικής διαμέτρου D140 mm	ΥΔΡ 6620.2	m	8.10	7.90	7.50
8	12.13.01.07	Ονομαστικής διαμέτρου D160 mm	ΥΔΡ 6620.3	m	10.80	10.50	10.00
9	12.13.01.08	Ονομαστικής διαμέτρου D200 mm	ΥΔΡ 6620.4	m	14.10	13.70	13.00
10	12.13.01.09	Ονομαστικής διαμέτρου D225 mm	ΥΔΡ 6620.5	m	17.30	16.80	16.00
11	12.13.01.10	Ονομαστικής διαμέτρου D280 mm	ΥΔΡ 6620.6	m	29.30	28.40	27.00
12	12.13.01.11	Ονομαστικής διαμέτρου D315 mm	ΥΔΡ 6620.7	m	34.60	33.60	31.90
13	12.13.01.12	Ονομαστικής διαμέτρου D355 mm	ΥΔΡ 6620.8	m	41.20	40.00	38.00
14	12.13.01.13	Ονομαστικής διαμέτρου D400 mm	ΥΔΡ 6620.9	m	51.50	50.00	47.50
15	12.13.01.14	Ονομαστικής διαμέτρου D450 mm	ΥΔΡ 6620.9	m	64.00	62.00	59.00
16	12.13.01.15	Ονομαστικής διαμέτρου D500 mm	ΥΔΡ 6620.9	m	81.00	79.00	75.00
	12.13.02	<i>Ονομαστικής πίεσης 10 at</i>					
17	12.13.02.01	Ονομαστικής διαμέτρου D 50 mm	ΥΔΡ 6621.1	m	2.90	2.80	2.70
18	12.13.02.02	Ονομαστικής διαμέτρου D 63 mm	ΥΔΡ 6621.1	m	4.00	3.90	3.70
19	12.13.02.03	Ονομαστικής διαμέτρου D 75 mm	ΥΔΡ 6621.1	m	4.70	4.60	4.40
20	12.13.02.04	Ονομαστικής διαμέτρου D 90 mm	ΥΔΡ 6621.1	m	6.10	5.90	5.60
21	12.13.02.05	Ονομαστικής διαμέτρου D110 mm	ΥΔΡ 6621.1	m	7.40	7.20	6.80
22	12.13.02.06	Ονομαστικής διαμέτρου D140 mm	ΥΔΡ 6621.2	m	12.50	12.10	11.50
23	12.13.02.07	Ονομαστικής διαμέτρου D160 mm	ΥΔΡ 6621.3	m	14.60	14.20	13.50
24	12.13.02.08	Ονομαστικής διαμέτρου D200 mm	ΥΔΡ 6621.4	m	20.60	20.00	19.00
25	12.13.02.09	Ονομαστικής διαμέτρου D225 mm	ΥΔΡ 6621.5	m	27.10	26.30	25.00
26	12.13.02.10	Ονομαστικής διαμέτρου D280 mm	ΥΔΡ 6621.6	m	43.30	42.00	39.90
27	12.13.02.11	Ονομαστικής διαμέτρου D315 mm	ΥΔΡ 6621.7	m	54.10	52.50	49.90
28	12.13.02.12	Ονομαστικής διαμέτρου D355 mm	ΥΔΡ 6621.8	m	65.00	63.00	60.00
29	12.13.02.13	Ονομαστικής διαμέτρου D400 mm	ΥΔΡ 6621.9	m	81.00	78.80	75.00
30	12.13.02.14	Ονομαστικής διαμέτρου D450 mm	ΥΔΡ 6621.9	m	98.00	95.00	90.00
31	12.13.02.15	Ονομαστικής διαμέτρου D500 mm	ΥΔΡ 6621.9	m	118.00	115.00	109.00

28	12.13.02.12	Ονομαστικής διαμέτρου D355 mm	ΥΔΡ 6621.8	m	65.00	63.00	60.00
29	12.13.02.13	Ονομαστικής διαμέτρου D400 mm	ΥΔΡ 6621.9	m	81.00	78.80	75.00
30	12.13.02.14	Ονομαστικής διαμέτρου D450 mm	ΥΔΡ 6621.9	m	98.00	95.00	90.00
31	12.13.02.15	Ονομαστικής διαμέτρου D500 mm	ΥΔΡ 6621.9	m	118.00	115.00	109.00
	12.13.03	<i>Ονομαστικής πίεσης 12,5 at</i>					
32	12.13.03.01	Ονομαστικής διαμέτρου D 50 mm	ΥΔΡ 6621.1	m	3.40	3.30	3.10
33	12.13.03.02	Ονομαστικής διαμέτρου D 63 mm	ΥΔΡ 6621.1	m	4.60	4.50	4.30
34	12.13.03.03	Ονομαστικής διαμέτρου D 75 mm	ΥΔΡ 6621.1	m	5.80	5.60	5.30
35	12.13.03.04	Ονομαστικής διαμέτρου D 90 mm	ΥΔΡ 6621.1	m	7.00	6.80	6.50
36	12.13.03.05	Ονομαστικής διαμέτρου D110 mm	ΥΔΡ 6621.1	m	8.90	8.60	8.20
37	12.13.03.06	Ονομαστικής διαμέτρου D140 mm	ΥΔΡ 6621.2	m	14.10	13.70	13.00
38	12.13.03.07	Ονομαστικής διαμέτρου D160 mm	ΥΔΡ 6621.3	m	17.30	16.80	16.00
39	12.13.03.08	Ονομαστικής διαμέτρου D200 mm	ΥΔΡ 6621.4	m	26.00	25.20	23.90
40	12.13.03.09	Ονομαστικής διαμέτρου D225 mm	ΥΔΡ 6621.5	m	31.40	30.50	29.00
41	12.13.03.10	Ονομαστικής διαμέτρου D280 mm	ΥΔΡ 6621.6	m	51.90	50.40	47.90
42	12.13.03.11	Ονομαστικής διαμέτρου D315 mm	ΥΔΡ 6621.7	m	65.00	63.00	60.00
43	12.13.03.12	Ονομαστικής διαμέτρου D355 mm	ΥΔΡ 6621.8	m	78.00	75.60	72.00
44	12.13.03.13	Ονομαστικής διαμέτρου D400 mm	ΥΔΡ 6621.9	m	97.00	94.50	90.00
45	12.13.03.14	Ονομαστικής διαμέτρου D450 mm	ΥΔΡ 6621.9	m	119.00	116.00	110.00
46	12.13.03.15	Ονομαστικής διαμέτρου D500 mm	ΥΔΡ 6621.9	m	141.00	137.00	130.00
	12.13.04	<i>Ονομαστικής πίεσης 16 at</i>					
47	12.13.04.01	Ονομαστικής διαμέτρου D 50 mm	ΥΔΡ 6622.1	m	3.80	3.70	3.50
48	12.13.04.02	Ονομαστικής διαμέτρου D 63 mm	ΥΔΡ 6622.1	m	5.20	5.00	4.80
49	12.13.04.03	Ονομαστικής διαμέτρου D 75 mm	ΥΔΡ 6622.1	m	6.20	6.00	5.70
50	12.13.04.04	Ονομαστικής διαμέτρου D 90 mm	ΥΔΡ 6622.1	m	7.80	7.60	7.20
51	12.13.04.05	Ονομαστικής διαμέτρου D110 mm	ΥΔΡ 6622.1	m	9.90	9.60	9.10
52	12.13.04.06	Ονομαστικής διαμέτρου D140 mm	ΥΔΡ 6622.2	m	16.30	15.80	15.00
53	12.13.04.07	Ονομαστικής διαμέτρου D160 mm	ΥΔΡ 6622.3	m	21.60	21.00	20.00
54	12.13.04.08	Ονομαστικής διαμέτρου D200 mm	ΥΔΡ 6622.3	m	30.30	29.40	27.90
55	12.13.04.09	Ονομαστικής διαμέτρου D225 mm	ΥΔΡ 6622.3	m	37.90	36.80	35.00
56	12.13.04.10	Ονομαστικής διαμέτρου D280 mm	ΥΔΡ 6622.3	m	63.00	60.90	58.00
57	12.13.04.11	Ονομαστικής διαμέτρου D315 mm	ΥΔΡ 6622.3	m	76.00	73.50	70.00
58	12.13.04.12	Ονομαστικής διαμέτρου D355 mm	ΥΔΡ 6622.3	m	92.00	89.30	85.00
59	12.13.04.13	Ονομαστικής διαμέτρου D400 mm	ΥΔΡ 6622.3	m	113.00	110.00	105.00
60	12.13.04.14	Ονομαστικής διαμέτρου D450 mm	ΥΔΡ 6622.3	m	140.00	136.00	129.00
61	12.13.04.15	Ονομαστικής διαμέτρου D500 mm	ΥΔΡ 6622.3	m	173.00	168.00	160.00



59	12.13.04.13	Ονομαστικής διαμέτρου D400 mm	ΥΔΡ 6622.3	m	113.00	110.00	105.00
60	12.13.04.14	Ονομαστικής διαμέτρου D450 mm	ΥΔΡ 6622.3	m	140.00	136.00	129.00
61	12.13.04.15	Ονομαστικής διαμέτρου D500 mm	ΥΔΡ 6622.3	m	173.00	168.00	160.00
	<b>12.14</b>	<b>Σωληνώσεις πίεσεως από σωλήνες πολυαιθυλενίου (PE) με συμπαγές τοίχωμα κατά ΕΛΟΤ EN 12201-2</b>					
	<b>12.14.01</b>	<i>Σωληνώσεις πίεσεως από σωλήνες πολυαιθυλενίου PE 100 (με ελάχιστη απαιτούμενη αντοχή MRS10 = 10 MPa), με συμπαγές τοίχωμα, κατά EN 12201-2</i>					
62	12.14.01.01	Όνομ. διαμέτρου DN 32 mm / PN 10 atm	ΥΔΡ 6621.1	m	2.80	2.70	2.60
63	12.14.01.02	Όνομ. διαμέτρου DN 40 mm / PN 10 atm	ΥΔΡ 6621.1	m	3.50	3.40	3.20
64	12.14.01.03	Όνομ. διαμέτρου DN 50 mm / PN 10 atm	ΥΔΡ 6621.1	m	4.00	3.90	3.70
65	12.14.01.04	Όνομ. διαμέτρου DN 63 mm / PN 10 atm	ΥΔΡ 6621.1	m	4.60	4.50	4.30
66	12.14.01.05	Όνομ. διαμέτρου DN 75 mm / PN 10 atm	ΥΔΡ 6621.1	m	5.60	5.40	5.10
67	12.14.01.06	Όνομ. διαμέτρου DN 90 mm / PN 10 atm	ΥΔΡ 6621.1	m	7.60	7.40	7.00
68	12.14.01.07	Όνομ. διαμέτρου DN 110 mm / PN 10 atm	ΥΔΡ 6621.1	m	10.10	9.80	9.30
69	12.14.01.08	Όνομ. διαμέτρου DN 125 mm / PN 10 atm	ΥΔΡ 6621.2	m	11.90	11.60	11.00
70	12.14.01.09	Όνομ. διαμέτρου DN 140 mm / PN 10 atm	ΥΔΡ 6621.2	m	15.10	14.70	14.00
71	12.14.01.10	Όνομ. διαμέτρου DN 160 mm / PN 10 atm	ΥΔΡ 6621.3	m	17.30	16.80	16.00
72	12.14.01.11	Όνομ. διαμέτρου DN 200 mm / PN 10 atm	ΥΔΡ 6621.4	m	23.80	23.10	21.90
73	12.14.01.12	Όνομ. διαμέτρου DN 225 mm / PN 10 atm	ΥΔΡ 6621.5	m	30.30	29.40	27.90
74	12.14.01.13	Όνομ. διαμέτρου DN 250 mm / PN 10 atm	ΥΔΡ 6621.6	m	35.70	34.70	33.00
75	12.14.01.14	Όνομ. διαμέτρου DN 280 mm / PN 10 atm	ΥΔΡ 6621.6	m	48.70	47.30	44.90
76	12.14.01.15	Όνομ. διαμέτρου DN 315 mm / PN 10 atm	ΥΔΡ 6621.7	m	60.00	57.80	55.00
77	12.14.01.16	Όνομ. διαμέτρου DN 355 mm / PN 10 atm	ΥΔΡ 6621.8	m	70.00	68.30	65.00
78	12.14.01.17	Όνομ. διαμέτρου DN 400 mm / PN 10 atm	ΥΔΡ 6621.9	m	97.00	94.50	90.00
79	12.14.01.18	Όνομ. διαμέτρου DN 450 mm / PN 10 atm	ΥΔΡ 6621.9	m	119.00	116.00	110.00
80	12.14.01.19	Όνομ. διαμέτρου DN 500 mm / PN 10 atm	ΥΔΡ 6621.9	m	141.00	137.00	130.00
81	12.14.01.20	Όνομ. διαμέτρου DN 560 mm / PN 10 atm	ΥΔΡ 6621.9	m	173.00	168.00	160.00
82	12.14.01.21	Όνομ. διαμέτρου DN 32 mm / PN 12,5 atm	ΥΔΡ 6622.1	m	3.00	2.90	2.80
83	12.14.01.22	Όνομ. διαμέτρου DN 40 mm / PN 12,5 atm	ΥΔΡ 6622.1	m	3.70	3.60	3.40
84	12.14.01.23	Όνομ. διαμέτρου DN 50 mm / PN 12,5 atm	ΥΔΡ 6622.1	m	4.30	4.20	4.00
85	12.14.01.24	Όνομ. διαμέτρου DN 63 mm / PN 12,5 atm	ΥΔΡ 6622.1	m	5.50	5.30	5.00
86	12.14.01.25	Όνομ. διαμέτρου DN 75 mm / PN 12,5 atm	ΥΔΡ 6622.1	m	6.70	6.50	6.20
87	12.14.01.26	Όνομ. διαμέτρου DN 90 mm / PN 12,5 atm	ΥΔΡ 6622.1	m	9.10	8.80	8.40

86	12.14.01.25	Όνομ. διαμέτρου DN 75 mm / PN 12,5 atm	ΥΔΡ 6622.1	m	6.70	6.50	6.20
87	12.14.01.26	Όνομ. διαμέτρου DN 90 mm / PN 12,5 atm	ΥΔΡ 6622.1	m	9.10	8.80	8.40
88	12.14.01.27	Όνομ. διαμέτρου DN 110 mm / PN 12,5 atm	ΥΔΡ 6622.1	m	13.00	12.60	12.00
89	12.14.01.28	Όνομ. διαμέτρου DN 125 mm / PN 12,5 atm	ΥΔΡ 6622.2	m	15.10	14.70	14.00
90	12.14.01.29	Όνομ. διαμέτρου DN 140 mm / PN 12,5 atm	ΥΔΡ 6622.2	m	18.40	17.90	17.00
91	12.14.01.30	Όνομ. διαμέτρου DN 160 mm / PN 12,5 atm	ΥΔΡ 6622.3	m	21.60	21.00	20.00
92	12.14.01.31	Όνομ. διαμέτρου DN 200 mm / PN 12,5 atm	ΥΔΡ 6622.3	m	32.40	31.50	29.90
93	12.14.01.32	Όνομ. διαμέτρου DN 225 mm / PN 12,5 atm	ΥΔΡ 6622.3	m	37.90	36.80	35.00
94	12.14.01.33	Όνομ. διαμέτρου DN 250 mm / PN 12,5 atm	ΥΔΡ 6622.3	m	43.30	42.00	39.90
95	12.14.01.34	Όνομ. διαμέτρου DN 280 mm / PN 12,5 atm	ΥΔΡ 6622.3	m	65.00	63.00	60.00
96	12.14.01.35	Όνομ. διαμέτρου DN 315 mm / PN 12,5 atm	ΥΔΡ 6622.3	m	76.00	73.50	70.00
97	12.14.01.36	Όνομ. διαμέτρου DN 355 mm / PN 12,5 atm	ΥΔΡ 6622.3	m	92.00	89.00	85.00
98	12.14.01.37	Όνομ. διαμέτρου DN 400 mm / PN 12,5 atm	ΥΔΡ 6622.3	m	119.00	116.00	110.00
99	12.14.01.38	Όνομ. διαμέτρου DN 450 mm / PN 12,5 atm	ΥΔΡ 6622.3	m	151.00	147.00	140.00
100	12.14.01.39	Όνομ. διαμέτρου DN 500 mm / PN 12,5 atm	ΥΔΡ 6622.3	m	184.00	179.00	170.00
101	12.14.01.40	Όνομ. διαμέτρου DN 560 mm / PN 12,5 atm	ΥΔΡ 6622.3	m	227.00	220.00	209.00
102	12.14.01.41	Όνομ. διαμέτρου DN 32 mm / PN 16 atm	ΥΔΡ 6622.1	m	3.30	3.20	3.00
103	12.14.01.42	Όνομ. διαμέτρου DN 40 mm / PN 16 atm	ΥΔΡ 6622.1	m	4.00	3.90	3.70
104	12.14.01.43	Όνομ. διαμέτρου DN 50 mm / PN 16 atm	ΥΔΡ 6622.1	m	4.80	4.70	4.50
105	12.14.01.44	Όνομ. διαμέτρου DN 63 mm / PN 16 atm	ΥΔΡ 6622.1	m	6.10	5.90	5.60
106	12.14.01.45	Όνομ. διαμέτρου DN 75 mm / PN 16 atm	ΥΔΡ 6622.1	m	7.60	7.40	7.00
107	12.14.01.46	Όνομ. διαμέτρου DN 90 mm / PN 16 atm	ΥΔΡ 6622.1	m	9.60	9.30	8.80
108	12.14.01.47	Όνομ. διαμέτρου DN 110 mm / PN 16 atm	ΥΔΡ 6622.1	m	14.10	13.70	13.00
109	12.14.01.48	Όνομ. διαμέτρου DN 125 mm / PN 16 atm	ΥΔΡ 6622.2	m	18.40	17.90	17.00
110	12.14.01.49	Όνομ. διαμέτρου DN 140 mm / PN 16 atm	ΥΔΡ 6622.2	m	21.60	21.00	20.00
111	12.14.01.50	Όνομ. διαμέτρου DN 160 mm / PN 16 atm	ΥΔΡ 6622.3	m	27.10	26.30	25.00
112	12.14.01.51	Όνομ. διαμέτρου DN 200 mm / PN 16 atm	ΥΔΡ 6622.3	m	41.10	39.90	37.90
113	12.14.01.52	Όνομ. διαμέτρου DN 225 mm / PN 16 atm	ΥΔΡ 6622.3	m	48.70	47.30	44.90
114	12.14.01.53	Όνομ. διαμέτρου DN 250 mm / PN 16 atm	ΥΔΡ 6622.3	m	60.00	57.80	55.00
115	12.14.01.54	Όνομ. διαμέτρου DN 280 mm / PN 16 atm	ΥΔΡ 6622.3	m	76.00	73.50	70.00

116	12.14.01.55	Όνομ. διαμέτρου DN 315 mm / PN 16 atm	ΥΔΡ 6622.3	m	92.00	89.00	85.00
117	12.14.01.56	Όνομ. διαμέτρου DN 355 mm / PN 16 atm	ΥΔΡ 6622.3	m	113.00	110.00	105.00
118	12.14.01.57	Όνομ. διαμέτρου DN 400 mm / PN 16 atm	ΥΔΡ 6622.3	m	141.00	137.00	130.00
119	12.14.01.58	Όνομ. διαμέτρου DN 450 mm / PN 16 atm	ΥΔΡ 6622.3	m	178.00	173.00	164.00
120	12.14.01.59	Όνομ. διαμέτρου DN 500 mm / PN 16 atm	ΥΔΡ 6622.3	m	211.00	205.00	195.00
121	12.14.01.60	Όνομ. διαμέτρου DN 560 mm / PN 16 atm	ΥΔΡ 6622.3	m	260.00	252.00	239.00
122	12.14.01.61	Όνομ. διαμέτρου DN 32 mm / PN 20 atm	ΥΔΡ 6622.1	m	3.40	3.30	3.10
123	12.14.01.62	Όνομ. διαμέτρου DN 40 mm / PN 20 atm	ΥΔΡ 6622.1	m	4.10	4.00	3.80
124	12.14.01.63	Όνομ. διαμέτρου DN 50 mm / PN 20 atm	ΥΔΡ 6622.1	m	4.90	4.80	4.60
125	12.14.01.64	Όνομ. διαμέτρου DN 63 mm / PN 20 atm	ΥΔΡ 6622.1	m	6.50	6.30	6.00
126	12.14.01.65	Όνομ. διαμέτρου DN 75 mm / PN 20 atm	ΥΔΡ 6622.1	m	8.00	7.80	7.40
127	12.14.01.66	Όνομ. διαμέτρου DN 90 mm / PN 20 atm	ΥΔΡ 6622.1	m	10.80	10.50	10.00
128	12.14.01.67	Όνομ. διαμέτρου DN 110 mm / PN 20 atm	ΥΔΡ 6622.1	m	15.10	14.70	14.00
129	12.14.01.68	Όνομ. διαμέτρου DN 125 mm / PN 20 atm	ΥΔΡ 6622.2	m	18.40	17.90	17.00
130	12.14.01.69	Όνομ. διαμέτρου DN 140 mm / PN 20 atm	ΥΔΡ 6622.2	m	21.60	21.00	20.00
131	12.14.01.70	Όνομ. διαμέτρου DN 160 mm / PN 20 atm	ΥΔΡ 6622.3	m	27.10	26.30	25.00
132	12.14.01.71	Όνομ. διαμέτρου DN 200 mm / PN 20 atm	ΥΔΡ 6622.3	m	43.30	42.00	39.90
133	12.14.01.72	Όνομ. διαμέτρου DN 225 mm / PN 20 atm	ΥΔΡ 6622.3	m	54.10	52.50	49.90
134	12.14.01.73	Όνομ. διαμέτρου DN 250 mm / PN 20 atm	ΥΔΡ 6622.3	m	65.00	63.00	60.00
135	12.14.01.74	Όνομ. διαμέτρου DN 280 mm / PN 20 atm	ΥΔΡ 6622.3	m	92.00	89.30	85.00
136	12.14.01.75	Όνομ. διαμέτρου DN 315 mm / PN 20 atm	ΥΔΡ 6622.3	m	108.00	105.00	100.00
137	12.14.01.76	Όνομ. διαμέτρου DN 355 mm / PN 20 atm	ΥΔΡ 6622.3	m	130.00	126.00	120.00
138	12.14.01.77	Όνομ. διαμέτρου DN 400 mm / PN 20 atm	ΥΔΡ 6622.3	m	168.00	163.00	155.00
139	12.14.01.78	Όνομ. διαμέτρου DN 450 mm / PN 20 atm	ΥΔΡ 6622.3	m	206.00	200.00	190.00
140	12.14.01.79	Όνομ. διαμέτρου DN 500 mm / PN 20 atm	ΥΔΡ 6622.3	m	249.00	242.00	230.00
141	12.14.01.80	Όνομ. διαμέτρου DN 560 mm / PN 20 atm	ΥΔΡ 6622.3	m	293.00	284.00	270.00
142	12.14.01.81	Όνομ. Διαμέτρου DN 32 mm / PN 25 atm	ΥΔΡ 6622.1	m	3.60	3.50	3.30
143	12.14.01.82	Όνομ. διαμέτρου DN 40 mm / PN 25 atm	ΥΔΡ 6622.1	m	4.50	4.40	4.20
144	12.14.01.83	Όνομ. διαμέτρου DN 50 mm / PN 25 atm	ΥΔΡ 6622.1	m	5.30	5.10	4.80
145	12.14.01.84	Όνομ. διαμέτρου DN 63 mm / PN 25 atm	ΥΔΡ 6622.1	m	7.00	6.80	6.50
146	12.14.01.85	Όνομ. διαμέτρου DN 75 mm / PN 25 atm	ΥΔΡ 6622.1	m	8.50	8.30	7.90

147	12.14.01.86	Όνομ. διαμέτρου DN 90 mm / PN 25 atm	ΥΔΡ 6622.1	m	12.60	12.20	11.60
148	12.14.01.87	Όνομ. διαμέτρου DN 110 mm / PN 25 atm	ΥΔΡ 6622.1	m	17.10	16.60	15.80
149	12.14.01.88	Όνομ. διαμέτρου DN 125 mm / PN 25 atm	ΥΔΡ 6622.2	m	21.60	21.00	20.00
150	12.14.01.89	Όνομ. διαμέτρου DN 140 mm / PN 25 atm	ΥΔΡ 6622.2	m	26.00	25.20	23.90
151	12.14.01.90	Όνομ. διαμέτρου DN 160 mm / PN 25 atm	ΥΔΡ 6622.3	m	32.40	31.50	29.90
152	12.14.01.91	Όνομ. διαμέτρου DN 200 mm / PN 25 atm	ΥΔΡ 6622.3	m	48.70	47.30	44.90
153	12.14.01.92	Όνομ. διαμέτρου DN 225 mm / PN 25 atm	ΥΔΡ 6622.3	m	60.00	57.80	55.00
154	12.14.01.93	Όνομ. διαμέτρου DN 250 mm / PN 25 atm	ΥΔΡ 6622.3	m	70.00	68.30	65.00
155	12.14.01.94	Όνομ. διαμέτρου DN 280 mm / PN 25 atm	ΥΔΡ 6622.3	m	97.00	94.50	90.00
156	12.14.01.95	Όνομ. διαμέτρου DN 315 mm / PN 25 atm	ΥΔΡ 6622.3	m	119.00	116.00	110.00
157	12.14.01.96	Όνομ. διαμέτρου DN 355 mm / PN 25 atm	ΥΔΡ 6622.3	m	151.00	147.00	140.00
158	12.14.01.97	Όνομ. διαμέτρου DN 400 mm / PN 25 atm	ΥΔΡ 6622.3	m	201.00	195.00	185.00
159	12.14.01.98	Όνομ. διαμέτρου DN 450 mm / PN 25 atm	ΥΔΡ 6622.3	m	216.00	210.00	200.00
	<b>12.15</b>	<b>Δίκτυα υπό πίεση από σωλήνες ελατού χυτοσιδήρου (ductile iron)</b>					
160	12.15.01	Με σωλήνες DN 100 mm / κλάσης C40, κατά ΕΛΟΤ EN 545	ΥΔΡ 6623	m	32.40	31.50	29.90
161	12.15.02	Με σωλήνες DN 125 mm / κλάσης C40, κατά ΕΛΟΤ EN 545	ΥΔΡ 6623	m	37.90	36.80	35.00
162	12.15.03	Με σωλήνες DN 150 mm / κλάσης C40, κατά ΕΛΟΤ EN 545	ΥΔΡ 6623	m	43.30	42.00	39.90
163	12.15.04	Με σωλήνες DN 200 mm / κλάσης C40, κατά ΕΛΟΤ EN 545	ΥΔΡ 6623	m	60.00	57.80	55.00
164	12.15.05	Με σωλήνες DN 250 mm / κλάσης C40, κατά ΕΛΟΤ EN 545	ΥΔΡ 6623	m	76.00	73.50	70.00
165	12.15.06	Με σωλήνες DN 300 mm / κλάσης C40, κατά ΕΛΟΤ EN 545	ΥΔΡ 6623	m	108.00	105.00	100.00
166	12.15.07	Με σωλήνες DN 350 mm / κλάσης C30, κατά ΕΛΟΤ EN 545	ΥΔΡ 6623	m	125.00	121.00	115.00
167	12.15.08	Με σωλήνες DN 400 mm / κλάσης C30, κατά ΕΛΟΤ EN 545	ΥΔΡ 6623	m	141.00	137.00	130.00
168	12.15.09	Με σωλήνες DN 450 mm / κλάσης C30, κατά ΕΛΟΤ EN 545	ΥΔΡ 6623	m	146.00	142.00	135.00
169	12.15.10	Με σωλήνες DN 500 mm / κλάσης C30, κατά ΕΛΟΤ EN 545	ΥΔΡ 6623	m	163.00	158.00	150.00
170	12.15.11	Με σωλήνες DN 600 mm / κλάσης C30, κατά ΕΛΟΤ EN 545	ΥΔΡ 6623	m	195.00	189.00	180.00
171	12.15.12	Με σωλήνες DN 700 mm / κλάσης C25, κατά ΕΛΟΤ EN 545	ΥΔΡ 6623	m	233.00	226.00	215.00
172	12.15.13	Με σωλήνες DN 800 mm / κλάσης C25, κατά ΕΛΟΤ EN 545	ΥΔΡ 6623	m	276.00	268.00	255.00
173	12.15.14	Με σωλήνες DN 900 mm / κλάσης C25, κατά ΕΛΟΤ EN 545	ΥΔΡ 6623	m	380.00	367.00	350.00
174	12.15.15	Με σωλήνες DN 1000 mm / κλάσης C25, κατά ΕΛΟΤ EN 545	ΥΔΡ 6623	m	400.00	390.00	370.00
175	12.15.16	Με σωλήνες DN 1100 mm / κλάσης C25, κατά ΕΛΟΤ EN 545	ΥΔΡ 6623	m	540.00	520.00	490.00
176	12.15.17	Με σωλήνες DN 1200 mm / κλάσης C25, κατά ΕΛΟΤ EN 545	ΥΔΡ 6623	m	660.00	640.00	610.00

	<b>12.18</b>	<b>Κατασκευή ευθυγράμμων τμημάτων δικτύου με χαλυβδοσωλήνες</b>					
177	<b>12.18.01</b>	Με χρήση χαλυβδοσωλήνων με εσωτερική προστασία από λιθανθρακόπισσα (ασφαλτικής βάσης) και εξωτερική προστασία με λιθανθρακόπισσα (ασφαλτικής βάσης) και διπλή στρώση υαλοπλάστου.	ΥΔΡ 6630.1	kg	1.96	1.9	1.81
178	<b>12.18.02</b>	Με χρήση χαλυβδοσωλήνων με εξωτερική μόνωση με λιθανθρακόπισσα (ασφαλτικής βάσης) και φύλλο πολυαιθυλενίου και εσωτερική μόνωση με εποξειδική ρητίνη.	ΥΔΡ 6630.1	kg	2.01	1.95	1.85
179	<b>12.18.03</b>	Με χρήση χαλυβδοσωλήνων με εξωτερική μόνωση με λιθανθρακόπισσα (ασφαλτικής βάσης) και φύλλο πολυαιθυλενίου και εσωτερική μόνωση με σκυρόδεμα εφαρμοζόμενο φυγοκεντρικά (τσιμεντοκονίαμα)	ΥΔΡ 6630.1	kg	2.1	2	1.9
	<b>12.40</b>						
	<b>12.40.01</b>	<b>Δίκτυα από σωλήνες υαλοπλισμένου πολυμερούς κατασκευασμένους με περιέλιξη του υαλονήματος (FW - GRP: Filament Winding - Glass Reinforced Polymers), χωρίς τα ειδικά τεμάχια.</b>					
837	12.40.01.01	<b>Με σωλήνες δακτυλιοειδούς ακαμψίας SN 2,5 kN/m<sup>2</sup>. Βασικές τιμές που αντιστοιχούν σε σωλήνες PN 1,0 atm</b>	ΥΔΡ 6621.5	m	51.50	50.00	47.50
838	12.40.01.02	Ονομαστικής διαμέτρου/πίεσης DN 300 mm	ΥΔΡ 6621.5	m	62.00	60.00	57.00
839	12.40.01.03	Ονομαστικής διαμέτρου/πίεσης DN 350 mm	ΥΔΡ 6621.5	m	72.00	70.00	67.00
840	12.40.01.04	Ονομαστικής διαμέτρου/πίεσης DN 400 mm	ΥΔΡ 6621.5	m	77.00	75.00	71.00
841	12.40.01.05	Ονομαστικής διαμέτρου/πίεσης DN 450 mm	ΥΔΡ 6621.5	m	93.00	90.00	86.00
842	12.40.01.06	Ονομαστικής διαμέτρου/πίεσης DN 500 mm	ΥΔΡ 6621.5	m	113.00	110.00	105.00
843	12.40.01.07	Ονομαστικής διαμέτρου/πίεσης DN 600 mm	ΥΔΡ 6621.5	m	144.00	140.00	133.00
844	12.40.01.08	Ονομαστικής διαμέτρου/πίεσης DN 700 mm	ΥΔΡ 6621.5	m	185.00	180.00	171.00
845	12.40.01.09	Ονομαστικής διαμέτρου/πίεσης DN 800 mm	ΥΔΡ 6621.5	m	221.00	215.00	204.00
846	12.40.01.10	Ονομαστικής διαμέτρου/πίεσης DN 900 mm	ΥΔΡ 6621.5	m	263.00	255.00	242.00
847	12.40.01.11	Ονομαστικής διαμέτρου/πίεσης DN 1000 mm	ΥΔΡ 6621.5	m	314.00	305.00	290.00
848	12.40.01.12	Ονομαστικής διαμέτρου/πίεσης DN 1100 mm	ΥΔΡ 6621.5	m	350.00	340.00	320.00
849	12.40.01.13	Ονομαστικής διαμέτρου/πίεσης DN 1200 mm	ΥΔΡ 6621.5	m	410.00	400.00	380.00
850	12.40.01.14	Ονομαστικής διαμέτρου/πίεσης DN 1300 mm	ΥΔΡ 6621.5	m	460.00	445.00	420.00
851	12.40.01.15	Ονομαστικής διαμέτρου/πίεσης DN 1400 mm	ΥΔΡ 6621.5	m	520.00	505.00	480.00
852	12.40.01.16	Ονομαστικής διαμέτρου/πίεσης DN 1500 mm	ΥΔΡ 6621.5	m	590.00	570.00	540.00
853	12.40.01.17	Ονομαστικής διαμέτρου/πίεσης DN 1600 mm	ΥΔΡ 6621.5	m	650.00	630.00	600.00
854	12.40.01.18	Ονομαστικής διαμέτρου/πίεσης DN 1700 mm	ΥΔΡ 6621.5	m	720.00	695.00	660.00
855	12.40.01.19	Ονομαστικής διαμέτρου/πίεσης DN 1800 mm	ΥΔΡ 6621.5	m	780.00	760.00	720.00
856	12.40.01.20	Ονομαστικής διαμέτρου/πίεσης DN 1900 mm	ΥΔΡ 6621.5	m	870.00	840.00	800.00
857	12.40.01.21	Ονομαστικής διαμέτρου/πίεσης DN 2000 mm	ΥΔΡ 6621.5	m	950.00	920.00	870.00
858	12.40.01.22	Ονομαστικής διαμέτρου/πίεσης DN 2100 mm	ΥΔΡ 6621.5	m	1,030.00	1,000.00	950.00
859	12.40.01.23	Ονομαστικής διαμέτρου/πίεσης DN 2200 mm	ΥΔΡ 6621.5	m	1,110.00	1,080.00	1,030.00

852	12.40.01.16	Ονομαστικής διαμέτρου/πίεσης DN 1500 mm	ΥΔΡ 6621.5	m	590.00	570.00	540.00
853	12.40.01.17	Ονομαστικής διαμέτρου/πίεσης DN 1600 mm	ΥΔΡ 6621.5	m	650.00	630.00	600.00
854	12.40.01.18	Ονομαστικής διαμέτρου/πίεσης DN 1700 mm	ΥΔΡ 6621.5	m	720.00	695.00	660.00
855	12.40.01.19	Ονομαστικής διαμέτρου/πίεσης DN 1800 mm	ΥΔΡ 6621.5	m	780.00	760.00	720.00
856	12.40.01.20	Ονομαστικής διαμέτρου/πίεσης DN 1900 mm	ΥΔΡ 6621.5	m	870.00	840.00	800.00
857	12.40.01.21	Ονομαστικής διαμέτρου/πίεσης DN 2000 mm	ΥΔΡ 6621.5	m	950.00	920.00	870.00
858	12.40.01.22	Ονομαστικής διαμέτρου/πίεσης DN 2100 mm	ΥΔΡ 6621.5	m	1,030.00	1,000.00	950.00
859	12.40.01.23	Ονομαστικής διαμέτρου/πίεσης DN 2200 mm	ΥΔΡ 6621.5	m	1,110.00	1,080.00	1,030.00
860	12.40.01.24	Ονομαστικής διαμέτρου/πίεσης DN 2300 mm	ΥΔΡ 6621.5	m	1,260.00	1,220.00	1,160.00
	<b>12.40.11</b>						
861	12.40.11.01	<b>Με σωλήνες δακτυλιοειδούς ακαμψίας SN 5 kN/m2. Βασικές τιμές που αντιστοιχούν σε σωλήνες PN 1,0 atm</b>	ΥΔΡ 6621.5	m	57.00	55.00	52.00
862	12.40.11.02	Ονομαστικής διαμέτρου/πίεσης DN 300 mm	ΥΔΡ 6621.5	m	67.00	65.00	62.00
863	12.40.11.03	Ονομαστικής διαμέτρου/πίεσης DN 350 mm	ΥΔΡ 6621.5	m	77.00	75.00	71.00
864	12.40.11.04	Ονομαστικής διαμέτρου/πίεσης DN 400 mm	ΥΔΡ 6621.5	m	82.00	80.00	76.00
865	12.40.11.05	Ονομαστικής διαμέτρου/πίεσης DN 450 mm	ΥΔΡ 6621.5	m	98.00	95.00	90.00
866	12.40.11.06	Ονομαστικής διαμέτρου/πίεσης DN 500 mm	ΥΔΡ 6621.5	m	124.00	120.00	114.00
867	12.40.11.07	Ονομαστικής διαμέτρου/πίεσης DN 600 mm	ΥΔΡ 6621.5	m	155.00	150.00	143.00
868	12.40.11.08	Ονομαστικής διαμέτρου/πίεσης DN 700 mm	ΥΔΡ 6621.5	m	196.00	190.00	181.00
869	12.40.11.09	Ονομαστικής διαμέτρου/πίεσης DN 800 mm	ΥΔΡ 6621.5	m	237.00	230.00	219.00
870	12.40.11.10	Ονομαστικής διαμέτρου/πίεσης DN 900 mm	ΥΔΡ 6621.5	m	278.00	270.00	257.00
871	12.40.11.11	Ονομαστικής διαμέτρου/πίεσης DN 1000 mm	ΥΔΡ 6621.5	m	330.00	320.00	300.00
872	12.40.11.12	Ονομαστικής διαμέτρου/πίεσης DN 1100 mm	ΥΔΡ 6621.5	m	370.00	360.00	340.00
873	12.40.11.13	Ονομαστικής διαμέτρου/πίεσης DN 1200 mm	ΥΔΡ 6621.5	m	430.00	420.00	400.00
874	12.40.11.14	Ονομαστικής διαμέτρου/πίεσης DN 1300 mm	ΥΔΡ 6621.5	m	480.00	470.00	450.00
875	12.40.11.15	Ονομαστικής διαμέτρου/πίεσης DN 1400 mm	ΥΔΡ 6621.5	m	550.00	530.00	500.00
876	12.40.11.16	Ονομαστικής διαμέτρου/πίεσης DN 1500 mm	ΥΔΡ 6621.5	m	620.00	600.00	570.00
877	12.40.11.17	Ονομαστικής διαμέτρου/πίεσης DN 1600 mm	ΥΔΡ 6621.5	m	680.00	660.00	630.00
878	12.40.11.18	Ονομαστικής διαμέτρου/πίεσης DN 1700 mm	ΥΔΡ 6621.5	m	750.00	730.00	690.00
879	12.40.11.19	Ονομαστικής διαμέτρου/πίεσης DN 1800 mm	ΥΔΡ 6621.5	m	820.00	800.00	760.00
880	12.40.11.20	Ονομαστικής διαμέτρου/πίεσης DN 1900 mm	ΥΔΡ 6621.5	m	910.00	880.00	840.00
881	12.40.11.21	Ονομαστικής διαμέτρου/πίεσης DN 2000 mm	ΥΔΡ 6621.5	m	1,000.00	975.00	930.00
882	12.40.11.22	Ονομαστικής διαμέτρου/πίεσης DN 2100 mm	ΥΔΡ 6621.5	m	1,080.00	1,050.00	1,000.00
883	12.40.11.23	Ονομαστικής διαμέτρου/πίεσης DN 2200 mm	ΥΔΡ 6621.5	m	1,180.00	1,150.00	1,090.00
884	12.40.11.24	Ονομαστικής διαμέτρου/πίεσης DN 2300 mm	ΥΔΡ 6621.5	m	1,340.00	1,300.00	1,240.00
885	12.40.11.25	Ονομαστικής διαμέτρου/πίεσης DN 2400 mm	ΥΔΡ 6621.5	m	1,490.00	1,450.00	1,380.00
886	12.40.11.26	Ονομαστικής διαμέτρου/πίεσης DN 2500 mm	ΥΔΡ 6621.5	m	1,650.00	1,600.00	1,520.00
887	12.40.11.27	Ονομαστικής διαμέτρου/πίεσης DN 2600 mm	ΥΔΡ 6621.5	m	1,800.00	1,750.00	1,660.00
888	12.40.11.28	Ονομαστικής διαμέτρου/πίεσης DN 2700 mm	ΥΔΡ 6621.5	m	2,010.00	1,950.00	1,850.00
889	12.40.11.29	Ονομαστικής διαμέτρου/πίεσης DN 2800 mm	ΥΔΡ 6621.5	m	2,210.00	2,150.00	2,040.00



883	12.40.11.23	Όνομαστικής διαμέτρου/πίεσης DN 2200 mm	ΥΔΡ 6621.5	m	1,180.00	1,150.00	1,090.00
884	12.40.11.24	Όνομαστικής διαμέτρου/πίεσης DN 2300 mm	ΥΔΡ 6621.5	m	1,340.00	1,300.00	1,240.00
885	12.40.11.25	Όνομαστικής διαμέτρου/πίεσης DN 2400 mm	ΥΔΡ 6621.5	m	1,490.00	1,450.00	1,380.00
886	12.40.11.26	Όνομαστικής διαμέτρου/πίεσης DN 2500 mm	ΥΔΡ 6621.5	m	1,650.00	1,600.00	1,520.00
887	12.40.11.27	Όνομαστικής διαμέτρου/πίεσης DN 2600 mm	ΥΔΡ 6621.5	m	1,800.00	1,750.00	1,660.00
888	12.40.11.28	Όνομαστικής διαμέτρου/πίεσης DN 2700 mm	ΥΔΡ 6621.5	m	2,010.00	1,950.00	1,850.00
889	12.40.11.29	Όνομαστικής διαμέτρου/πίεσης DN 2800 mm	ΥΔΡ 6621.5	m	2,210.00	2,150.00	2,040.00

## 2. ΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗ ΧΑΛΥΒΟΣΩΛΗΝΩΝ

Βιομηχανικός Όμιλος Επεξεργασίας  
& Εμπορίας Χάλυβα (BOEEX)  
Industrial Steel Processing  
& Trading Group (ISPTG)

**ΧΑΛΥΒΔΟΣΩΛΗΝΕΣ ΕΛΙΚΟΕΙΔΟΥΣ ΡΑΦΗΣ**  
**SPIRALLY WELDED STEEL PIPES**



ΠΙΝΑΚΑΣ ΒΑΡΩΝ & ΠΙΕΣΕΩΝ ΔΟΚΙΜΗΣ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΧΑΛΥΒΔΟΣΩΛΗΝΩΝ ΕΛΙΚΟΕΙΔΟΥΣ ΡΑΦΗΣ  
WIDTH AND PRESURE OF PIPES SPIRALLY WELDED

EXT DIAMETER INCHES	EXT MM IN MM	WIDTH METER IN MM	WEIGHT PER METER R IN KGS	PRESSURES TESTING IN ATM	PRESSURES FUNCTION IN ATM	PRESSURES TESTING IN ATM	PRESSURES FUNCTION IN ATM	PRESSURES TESTING IN ATM	PRESSURES FUNCTION IN ATM
ΕΞΟΤ ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΙΝΤΣΗΣ	ΕΞΟΤ ΧΙΛΙΣΤ ΣΕ ΜΜ	ΠΑΧΟΣ ΣΕ ΜΜ	ΒΑΡΟΣ ΑΝΑ ΜΕΤΡΟ ΣΕ ΚΓΣ	ΠΙΕΣΕΙΣ ΔΟΚΙΜΗΣ ΣΕ ΑΤΜ S235JRG2 (ST 37-2)	ΠΙΕΣΕΙΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΣΕ ΑΤΜ S235JRG2 (ST 37-2)	ΠΙΕΣΕΙΣ ΔΟΚΙΜΗΣ ΣΕ ΑΤΜ S275JR (ST 44)	ΠΙΕΣΕΙΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΣΕ ΑΤΜ S275JR (ST 44)	ΠΙΕΣΕΙΣ ΔΟΚΙΜΗΣ ΣΕ ΑΤΜ S355J2G4 (ST 52)	ΠΙΕΣΕΙΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΣΕ ΑΤΜ S355J2G4 (ST 52)

12 3/4 "	323,8	4,0	31,57	26	17	33	22	41	27
	323,8	4,5	35,46	31	21	39	26	48	32
	323,8	4,8	37,79	34	23	43	28	53	35
	323,8	5,0	39,34	36	24	45	30	56	37
	323,8	5,2	40,89	38	25	47	32	59	39
	323,8	5,6	43,98	42	28	52	35	65	43
	323,8	6,0	47,06	45	30	57	38	71	47
	323,8	6,4	49,75	49	33	61	41	76	51
	323,8	7,0	54,73	55	37	69	46	86	57
	323,8	7,1	55,57	56	37	71	47	88	58
	323,8	7,9	61,74	64	43	80	54	100	67
	323,8	8,0	62,35	65	43	81	54	101	67
	323,8	8,2	63,87	67	45	84	56	104	69
	323,8	8,3	64,78	68	45	85	57	106	71
	323,8	9,0	69,92	75	50	94	62	116	77
	323,8	9,6	74,44	80	54	101	67	125	83
	323,8	10,3	79,69	87	58	109	73	136	90
323,8	11,1	85,89	95	63	119	80	148	99	
323,8	12,7	97,51	110	74	138	92	172	115	

14 "	355,6	4,0	34,71	24	16	30	20	37	25
	355,6	4,5	38,99	28	19	35	24	44	29
	355,6	4,8	41,56	31	21	39	26	48	32
	355,6	5,0	43,26	33	22	41	27	51	34
	355,6	5,2	44,97	34	23	43	29	54	36
	355,6	5,6	48,37	38	25	48	32	59	39
	355,6	6,0	51,77	41	28	52	35	65	43
	355,6	6,4	54,73	44	30	56	37	69	46
	355,6	7,0	60,23	50	33	63	42	78	52
	355,6	7,1	61,15	51	34	64	43	80	53
	355,6	7,9	67,96	58	39	73	49	91	61
	355,6	8,0	68,63	59	39	74	49	92	61
	355,6	8,2	70,31	61	41	76	51	95	63
	355,6	9,0	76,99	68	45	85	57	106	70
	355,6	9,6	81,98	73	49	92	61	114	76
	355,6	10,3	87,78	79	53	100	66	124	82
	355,6	11,1	94,38	86	58	108	72	134	90
355,6	12,7	107,48	100	67	126	84	156	104	



16 *	406,4	4,5	44,64	25	16	31	21	38	26
	406,4	4,8	47,58	27	18	34	23	42	28
	406,4	5,0	49,53	29	19	36	24	44	30
	406,4	5,2	51,49	30	20	38	25	47	31
	406,4	5,6	55,39	33	22	42	28	52	34
	406,4	6,0	59,29	36	24	45	30	56	38
	406,4	6,4	62,70	39	26	49	33	61	40
	406,4	7,0	69,00	44	29	55	37	68	46
	406,4	7,1	70,07	45	30	56	37	70	47
	406,4	7,9	77,89	51	34	64	43	79	53
	406,4	8,0	78,66	52	34	65	43	80	54
	406,4	8,2	80,59	53	35	67	45	83	55
	406,4	9,0	88,27	59	40	75	50	92	62
	406,4	9,5	93,25	63	42	80	53	99	66
	406,4	10,0	97,83	67	45	84	56	104	70
	406,4	11,0	107,34	75	50	94	63	116	78
	406,4	12,0	116,81	82	55	104	69	128	86
	406,4	12,7	123,40	88	59	110	74	137	91

18 *	457,2	4,5	50,28	22	15	28	18	34	23
	457,2	4,8	53,59	24	16	30	20	37	25
	457,2	5,0	55,80	25	17	32	21	39	26
	457,2	5,2	58,01	27	18	34	22	42	28
	457,2	5,6	62,42	29	20	37	25	46	31
	457,2	6,0	66,81	32	21	40	27	50	33
	457,2	6,4	70,66	35	23	43	29	54	36
	457,2	7,0	77,78	39	26	49	33	61	41
	457,2	7,1	78,98	40	27	50	33	62	41
	457,2	7,9	87,82	45	30	57	38	71	47
	457,2	8,0	88,69	46	31	58	38	72	48
	457,2	8,2	90,87	47	32	59	40	74	49
	457,2	9,0	99,56	53	35	66	44	82	55
	457,2	9,5	105,19	56	38	71	47	88	58
	457,2	10,0	110,37	60	40	75	50	93	62
	457,2	11,0	121,14	66	44	83	56	104	69
	457,2	12,0	131,85	73	49	92	61	114	76
	457,2	12,7	139,32	78	52	98	65	122	81

20 *	508	5,0	62,07	23	15	29	19	36	24
	508	5,2	64,53	24	16	30	20	37	25
	508	5,6	69,44	27	18	33	22	41	28
	508	6,0	74,34	29	19	36	24	45	30
	508	6,4	78,62	31	21	39	26	49	32
	508	7,0	86,55	35	23	44	29	55	37
	508	7,1	87,89	36	24	45	30	56	37
	508	7,9	97,75	41	27	51	34	64	42
	508	8,0	98,72	41	28	52	35	64	43
	508	8,2	101,15	43	28	53	36	66	44
	508	9,0	110,84	47	32	60	40	74	49
	508	9,5	117,12	51	34	64	42	79	53
	508	10,0	122,91	54	36	67	45	84	56
	508	11,0	134,93	60	40	75	50	93	62
	508	12,0	146,90	66	44	83	55	103	69
	508	12,7	155,25	70	47	88	59	110	73
22 *	558,8	5,0	68,34	21	14	26	17	32	22
	558,8	5,2	71,05	22	15	27	18	34	23
	558,8	5,6	76,46	24	16	30	20	38	25
	558,8	6,0	81,86	26	18	33	22	41	27
	558,8	6,4	86,58	28	19	36	24	44	29
	558,8	7,0	95,33	32	21	40	27	50	33
	558,8	7,1	96,81	33	22	41	27	51	34
	558,8	7,9	107,68	37	25	47	31	58	39
	558,8	8,0	108,75	38	25	47	31	59	39
	558,8	8,2	111,43	39	26	49	32	60	40
	558,8	9,0	122,12	43	29	54	36	67	45
	558,8	9,5	129,06	46	31	58	39	72	48
	558,8	10,0	135,45	49	33	61	41	76	51
	558,8	11,0	148,72	54	36	68	46	85	56
	558,8	12,0	161,94	60	40	75	50	93	62
	558,8	12,7	171,17	64	43	80	53	100	66

24 *	609,6	5,6	83,48	22	15	28	18	34	23
	609,6	6,0	89,38	24	16	30	20	38	25
	609,6	6,4	94,54	26	17	33	22	40	27
	609,6	7,0	104,11	29	20	37	25	46	30
	609,6	7,1	105,72	30	20	37	25	47	31
	609,6	7,9	117,61	34	23	43	28	53	35
	609,6	8,0	118,78	34	23	43	29	54	36
	609,6	8,2	121,71	35	24	45	30	55	37
	609,6	9,0	133,41	40	26	50	33	62	41
	609,6	9,5	140,99	42	28	53	35	66	44
	609,6	10,0	147,98	45	30	56	37	70	46
	609,6	11,0	162,51	50	33	63	42	78	52
	609,6	12,0	176,99	55	37	69	46	86	57
	609,6	12,7	187,09	59	39	74	49	91	61
	609,6	13,0	191,42	60	40	75	50	94	62
	609,6	14,3	210,10	67	45	84	56	104	69
26 *	660,4	5,6	90,50	20	14	26	17	32	21
	660,4	6,0	96,91	22	15	28	19	35	23
	660,4	6,4	102,50	24	16	30	20	37	25
	660,4	7,0	112,88	27	18	34	23	42	28
	660,4	7,1	114,64	28	18	35	23	43	29
	660,4	7,9	127,54	31	21	39	26	49	33
	660,4	8,0	128,81	32	21	40	27	50	33
	660,4	8,2	131,99	33	22	41	27	51	34
	660,4	9,0	144,69	37	24	46	31	57	38
	660,4	9,5	152,93	39	26	49	33	61	40
	660,4	10,0	160,52	41	28	52	35	64	43
	660,4	10,7	171,57	45	30	56	37	69	46
	660,4	11,0	176,30	46	31	58	39	72	48
	660,4	12,0	192,03	51	34	64	42	79	53
	660,4	12,7	203,02	54	36	68	45	84	56
	660,4	13,0	207,72	56	37	70	46	86	58
660,4	14,3	228,03	62	41	77	52	96	64	

28 *	711,2	5,6	97,52	19	13	24	16	30	20
	711,2	6,0	104,43	21	14	26	17	32	22
	711,2	6,4	110,46	22	15	28	19	35	23
	711,2	7,0	121,66	25	17	32	21	39	26
	711,2	7,1	123,55	26	17	32	21	40	27
	711,2	7,9	137,47	29	19	37	24	45	30
	711,2	8,0	138,84	30	20	37	25	46	31
	711,2	8,2	142,27	30	20	38	25	47	32
	711,2	9,0	155,98	34	23	43	28	53	35
	711,2	9,5	164,86	36	24	45	30	56	38
	711,2	10,0	173,06	38	26	48	32	60	40
	711,2	10,7	184,99	41	28	52	35	65	43
	711,2	11,0	190,09	43	28	54	36	67	44
	711,2	12,0	207,08	47	31	59	39	73	49
	711,2	12,7	218,94	50	33	63	42	78	52
	711,2	13,0	224,01	52	34	65	43	80	54
	711,2	14,3	245,96	57	38	72	48	89	59

30 *	762	6,4	119,35	21	14	26	18	33	22
	762	7,1	132,47	24	16	30	20	37	25
	762	7,9	147,40	27	18	34	23	42	28
	762	8,0	148,87	28	18	35	23	43	29
	762	9,0	167,26	32	21	40	26	49	33
	762	9,5	176,43	34	22	42	28	53	35
	762	10,0	185,60	36	24	45	30	56	37
	762	12,0	222,12	44	29	55	37	69	46
	762	12,7	234,86	47	31	59	39	73	49
	762	13,0	240,31	48	32	60	40	75	50
	762	14,3	263,89	53	36	67	45	83	56

32 *	812,8	6,4	126,39	19	13	24	16	30	20
	812,8	7,0	139,21	22	15	28	18	34	23
	812,8	7,1	141,38	22	15	28	19	35	23
	812,8	7,9	157,33	26	17	32	21	40	26
	812,8	8,0	158,90	26	17	32	22	40	27
	812,8	8,2	162,83	27	18	33	22	41	28
	812,8	9,0	178,54	30	20	37	25	46	31
	812,8	9,5	188,74	32	21	40	27	49	33
	812,8	10,0	198,13	34	22	42	28	52	35
	812,8	10,7	211,82	36	24	45	30	56	38
	812,8	11,0	217,68	37	25	47	31	58	39
	812,8	12,0	237,17	41	27	52	35	64	43
	812,8	12,5	246,90	43	29	54	36	67	45
	812,8	13,0	256,61	45	30	57	38	70	47
	812,8	14,3	281,81	50	33	63	42	78	52

36 *	914,4	7,0	156,76	20	13	25	16	30	20
	914,4	7,1	159,21	20	13	25	17	31	21
	914,4	8,0	178,96	23	15	29	19	36	24
	914,4	8,2	183,40	24	16	30	20	37	25
	914,4	9,0	201,11	26	18	33	22	41	27
	914,4	9,5	212,61	28	19	35	24	44	29
	914,4	10,0	223,21	30	20	37	25	46	31
	914,4	10,7	238,65	32	21	40	27	50	33
	914,4	11,0	245,26	33	22	42	28	52	35
	914,4	12,0	267,26	37	24	46	31	57	38
	914,4	12,5	278,24	38	26	48	32	60	40
	914,4	12,7	282,63	39	26	49	33	61	41
	914,4	13,0	289,21	40	27	50	34	62	42
	914,4	14,3	317,67	45	30	56	37	69	46

40 *	1016	7,1	177,04	18	12	22	15	28	19
	1016	7,9	197,05	20	14	26	17	32	21
	1016	8,0	199,02	21	14	26	17	32	21
	1016	8,2	203,96	21	14	27	18	33	22
	1016	9,0	223,68	24	16	30	20	37	25
	1016	9,5	236,48	25	17	32	21	39	26
	1016	10,0	248,28	27	18	34	22	42	28
	1016	11,0	272,84	30	20	38	25	47	31
	1016	12,0	297,35	33	22	41	28	51	34
	1016	12,5	309,58	35	23	43	29	54	36
	1016	12,7	314,48	35	23	44	29	55	37
	1016	13,0	321,81	36	24	45	30	56	37
	1016	14,3	353,53	40	27	50	34	62	42

44 *	1117,6	7,9	216,91	19	12	23	16	29	19
	1117,6	8,0	219,08	19	13	24	16	29	20
	1117,6	8,2	224,52	19	13	24	16	30	20
	1117,6	9,0	246,25	22	14	27	18	34	22
	1117,6	9,5	260,35	23	15	29	19	36	24
	1117,6	10,0	273,36	24	16	31	20	38	25
	1117,6	11,0	300,42	27	18	34	23	42	28
	1117,6	12,0	327,44	30	20	38	25	47	31
	1117,6	12,5	340,93	31	21	39	26	49	33
	1117,6	12,7	346,32	32	21	40	27	50	33
	1117,6	13,0	354,41	33	22	41	27	51	34
	1117,6	14,3	389,39	36	24	46	31	57	38

48 *	1219,2	7,9	236,77	17	11	21	14	26	18
	1219,2	8,0	239,14	17	11	22	14	27	18
	1219,2	8,2	245,08	18	12	22	15	28	18
	1219,2	9,0	268,81	20	13	25	17	31	21
	1219,2	9,5	284,22	21	14	27	18	33	22
	1219,2	10,0	298,44	22	15	28	19	35	23
	1219,2	10,7	319,14	24	16	30	20	38	25
	1219,2	11,0	328,01	25	17	31	21	39	26
	1219,2	11,7	348,68	27	18	34	22	42	28
	1219,2	12,0	357,53	27	18	35	23	43	29
	1219,2	12,5	372,27	29	19	36	24	45	30
	1219,2	12,7	378,17	29	20	37	25	46	30
	1219,2	13,0	387,00	30	20	38	25	47	31
	1219,2	14,3	425,25	33	22	42	28	52	35

52 *	1320,8	8,0	259,20	16	11	20	13	25	17
	1320,8	8,2	265,64	16	11	21	14	25	17
	1320,8	9,0	291,38	18	12	23	15	28	19
	1320,8	9,5	308,09	20	13	24	16	30	20
	1320,8	10,0	323,51	21	14	26	17	32	21
	1320,8	10,7	345,97	22	15	28	19	35	23
	1320,8	11,0	355,59	23	15	29	19	36	24
	1320,8	12,0	387,62	25	17	32	21	40	26
	1320,8	12,5	403,62	27	18	33	22	41	28
	1320,8	12,7	410,01	27	18	34	23	42	28
	1320,8	13,0	419,60	28	19	35	23	43	29
	1320,8	14,3	461,10	31	21	39	26	48	32

54 *	1422,4	8,0	279,26	15	10	19	12	23	15
	1422,4	8,2	286,20	15	10	19	13	24	16
	1422,4	9,0	313,95	17	11	21	14	26	18
	1422,4	9,5	331,97	18	12	23	15	28	19
	1422,4	10,0	348,59	19	13	24	16	30	20
	1422,4	10,7	372,80	21	14	26	17	32	22
	1422,4	11,0	383,17	21	14	27	18	33	22
	1422,4	12,0	417,71	24	16	30	20	37	24
	1422,4	12,5	434,96	25	16	31	21	38	26
	1422,4	12,7	441,86	25	17	32	21	39	26
	1422,4	13,0	452,20	26	17	32	22	40	27
	1422,4	14,3	496,96	29	19	36	24	45	30

60 *	1524	8,2	306,77	14	9	18	12	22	15
	1524	9,0	336,52	16	11	20	13	25	16
	1524	9,5	355,84	17	11	21	14	26	18
	1524	10,0	373,66	18	12	22	15	28	19
	1524	10,7	399,63	19	13	24	16	30	20
	1524	11,0	410,76	20	13	25	17	31	21
	1524	11,7	436,69	21	14	27	18	33	22
	1524	12,0	447,80	22	15	28	18	34	23
	1524	12,5	466,31	23	15	29	19	36	24
	1524	12,7	473,70	23	16	29	20	37	24
	1524	13,0	484,80	24	16	30	20	37	25
	1524	14,3	532,82	27	18	34	22	42	28

64 *	1625,6	8,2	327,33	13	9	17	11	21	14
	1625,6	9,0	359,09	15	10	19	12	23	15
	1625,6	9,5	379,71	16	11	20	13	25	16
	1625,6	10,0	398,74	17	11	21	14	26	17
	1625,6	10,7	426,46	18	12	23	15	28	19
	1625,6	11,0	438,34	19	12	23	16	29	19
	1625,6	11,7	466,03	20	13	25	17	31	21
	1625,6	12,0	477,89	21	14	26	17	32	21
	1625,6	12,5	497,65	22	14	27	18	34	22
	1625,6	12,7	505,55	22	15	28	18	34	23
	1625,6	13,0	517,39	23	15	28	19	35	23
	1625,6	14,3	568,68	25	17	31	21	39	26

68 *	1727,2	9,0	381,65	14	9	18	12	22	15
	1727,2	9,5	403,58	15	10	19	12	23	15
	1727,2	10,0	423,81	16	11	20	13	25	16
	1727,2	10,7	453,29	17	11	21	14	27	18
	1727,2	11,0	465,92	18	12	22	15	27	18
	1727,2	11,7	495,37	19	13	24	16	29	20
	1727,2	12,0	507,98	19	13	24	16	30	20
	1727,2	12,5	528,99	20	14	26	17	32	21
	1727,2	12,7	537,39	21	14	26	17	32	21
	1727,2	13,0	549,99	21	14	27	18	33	22
	1727,2	14,3	604,53	24	16	30	20	37	24

72 *	1828,8	9,0	404,22	13	9	17	11	21	14
	1828,8	10,0	448,89	15	10	19	12	23	15
	1828,8	10,5	471,20	16	11	20	13	25	16
	1828,8	10,7	480,12	16	11	20	13	25	17
	1828,8	11,0	493,50	17	11	21	14	26	17
	1828,8	11,7	524,71	18	12	22	15	28	19
	1828,8	12,0	538,07	18	12	23	15	29	19
	1828,8	12,5	560,34	19	13	24	16	30	20
	1828,8	12,7	569,24	20	13	25	16	30	20
	1828,8	13,0	582,59	20	13	25	17	31	21
	1828,8	14,3	640,39	22	15	28	19	35	23

76 *	1930,4	9,0	426,79	12	8	16	10	19	13
	1930,4	10,0	473,96	14	9	18	12	22	15
	1930,4	10,7	506,95	15	10	19	13	24	16
	1930,4	11,0	521,09	16	10	20	13	25	16
	1930,4	11,7	554,05	17	11	21	14	26	18
	1930,4	12,0	568,16	17	12	22	15	27	18
	1930,4	12,5	591,68	18	12	23	15	28	19
	1930,4	12,7	601,09	19	12	23	15	29	19
	1930,4	13,0	615,19	19	13	24	16	30	20
	1930,4	14,3	676,25	21	14	26	18	33	22

80 *	2032	9,0	449,36	12	8	15	10	18	12
	2032	10,0	499,04	13	9	17	11	21	14
	2032	11,0	548,67	15	10	19	13	23	16
	2032	11,7	583,38	16	11	20	13	25	17
	2032	12,0	598,25	16	11	21	14	26	17
	2032	12,5	623,03	17	12	22	14	27	18
	2032	12,7	632,93	18	12	22	15	27	18
	2032	13,0	647,79	18	12	23	15	28	19
	2032	14,3	712,11	20	13	25	17	31	21



## ΕΠΙΚΑΛΥΨΕΙΣ ΣΩΛΗΝΩΝ

1. ΤΥΠΟΙ ΜΕΤΑΛΛΩΝ	<p>1.1. ΕΥΘΕΙΑ ΡΑΦΗ ERW/HF: ST 37,2 κατά DIN 17100 (S235JRG2 - EN 10125) &amp; ST 44 κατά DIN 17100 (S275JR - EN 10125)</p> <p>1.2. ΕΛΙΚΟΕΙΔΗΣ ΡΑΦΗ SAW: ST 37,2 κατά DIN 17100 (S235JRG2 - EN 10125) ST 44 κατά DIN 17100 (S275JR - EN 10125) ST 52 κατά DIN 17100 (S355J2G4 - EN 10125)</p>
2. ΠΑΧΟΣ ΤΟΙΧΩΜΑΤΟΣ ΧΑΛΥΒΔΟΣΩΛΗΝΩΝ	<p>2.1. Για χαλυβδοσωλήνες ευθείας ραφής που παράγονται σύμφωνα με ERW/HF ELECTRIC RESISTANCE WELDED (HIGH FREQUENCY METHOD) και DIN 1626/2458 and AWWA C200. Από Φ60,3 (2 ίντσες) - Φ88,9 (3 ίντσες) 3 mm έως 5 mm Από Φ114,3 (4 ½ ίντσες) - Φ168,3 (6 5/8 ίντσες) 3 mm έως 6,35 mm Από Φ193,7 (7 5/8 ίντσες) - Φ406,4 (16 ίντσες) 3 mm έως 7,11 mm</p> <p>2.2. Για χαλυβδοσωλήνες ελικοειδούς ραφής που παράγονται σύμφωνα με SAW/HF (Submerged Arc Welded Method) και DIN 1626/2458 and AWWA C200 Από Φ323,8 (12 ίντσες) - Φ609,6 (24 ίντσες) 5 mm έως 13 mm. Από Φ711,2 (28 ίντσες) - Φ2032 (80 ίντσες) 6 mm έως 14,3 mm.</p>
3. ΓΑΛΒΑΝΙΣΜΑ ΕΝ ΘΕΡΜΩ ΓΙΑ ΔΙΚΤΥΑ ΠΥΡΟΣΒΕΣΗΣ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ DIN 2444	<p>Υπάρχει η δυνατότητα για Grooved ends σε διαμέτρους από Φ60,3 (2") - Φ219,1(8 5/8 ") για συνδέσμους τύπου Victaulic.</p>
4. ΓΡΑΜΜΕΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ ΧΑΛΥΒΔΟΣΩΛΗΝΩΝ	<p>4.1. ΕΠΕΝΔΥΣΗ ΜΕ ΠΟΛΥΕΘΥΛΑΙΝΙΟ ΕΞΩΤΕΡΙΚΑ ΚΑΤΑ DIN 30670 Η δυνατότητά μας κατά την παρούσα φάση της εξωτερικής επένδυσης των χαλυβδοσωλήνων κατά DIN 30670 με πολυαιθυλένιο χαμηλής πυκνότητας είναι: από Φ 88,9 (3" ίντσες) έως και Φ 1625,6 (64" ίντσες) προς το παρόν.</p> <p>4.2. ΕΠΕΝΔΥΣΗ ΜΕ ΤΣΙΜΕΝΤΟΚΟΝΙΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΑ ΚΑΤΑ DIN 2614 Η δυνατότητά μας κατά την παρούσα φάση της εσωτερικής επένδυσης των χαλυβδοσωλήνων κατά DIN 2614 με τσιμεντοκονία είναι: από Φ 168,3 (6 5/8" ίντσες) έως και Φ 1625,6 (64" ίντσες).</p> <p>4.3. ΕΠΕΝΔΥΣΗ ΜΕ ΑΣΦΑΛΤΙΚΑ ΜΕΣΑ ΚΑΙ ΕΞΩ ΚΑΤΑ BS 4147/80 Κατά BS 4147/80 (ασφαλτική μαστίχη) από Φ114 (4 ίντσες) έως και Φ2000 (80 ίντσες).</p> <p>4.4. ΕΠΕΝΔΥΣΗ ΜΟΝΟ ΕΞΩΤΕΡΙΚΑ ΜΕ ΠΙΣΣΑ ΚΑΤΑ BS 4147/80 Κατά BS 4147/80 (ασφαλτική μαστίχη) το Φ60 (2 ίντσες) και το Φ88,9 (3 ίντσες) διότι εσωτερικά είναι ανέφικτη η επένδυσή τους με πίσσα.</p> <p>4.5. ΕΠΕΝΔΥΣΗ ΜΕ PRIMER ΤΑΧΕΙΑΣ ΞΗΡΑΝΣΕΩΣ TYPE C Είτε εσωτερικά και εξωτερικά, είτε μόνο εσωτερικά, είτε μόνο εξωτερικά. Από Φ88,9(3 ίντσες) έως και Φ2000 (80 ίντσες).</p>

ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Οι 2" ίντσες Φ60,3 μονώνεται με primer μόνο εξωτερικά, διότι είναι ανέφικτο εσωτερικά.

### 3. ΕΠΙΛΥΣΕΙΣ ΣΤΟ LINGO ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ

#### Περίπτωση 1<sup>η</sup>: Αύξηση του Q κατά 10%

##### Γραμμικό Πρόγραμμα:

!SYNARTHSHS STOXOY;

MIN = 49.9\*X1 + 60\*X2 + 85\*X3 + 100\*X4 + 120\*X5 + 49.9\*X6 + 60\*X7 + 85\*X8 + 100\*X9 + 120\*X10 + 49.9\*X11 + 60\*X12 + 85\*X13 + 100\*X14 + 120\*X15 + 10\*X16 + 14\*X17 + 39.9\*X18 + 49.9\*X19 + 60\*X20 + 85\*X21 + 100\*X22 + 10\*X23 + 14\*X24 + 39.9\*X25 + 49.9\*X26 + 60\*X27 + 85\*X28 + 100\*X29 + 39.9\*X30 + 49.9\*X31 + 60\*X32 + 85\*X33 + 32\*X34 + 39.9\*X35 + 49.9\*X36 + 60\*X37 + 85\*X38 + 10\*X39 + 14\*X40 + 17\*X41 + 20\*X42 + 25\*X43 + 32\*X44 + 39.9\*X45 + 49.9\*X46 + 60\*X47 + 17\*X48 + 20\*X49 + 25\*X50 + 32\*X51 + 39.9\*X52 + 10\*X53 + 14\*X54 + 17\*X55 + 20\*X56 + 14\*X57 + 17\*X58 + 20\*X59 + 25\*X60 + 32\*X61 + 10\*X62 + 14\*X63;

!PERIORISMOI MHKOUS;

X1 + X2 + X3 + X4 + X5 = 1446;  
X6 + X7 + X8 + X9 + X10 = 8445.7;  
X11 + X12 + X13 + X14 + X15 = 3677.3;  
X16 + X17 = 1089.6;  
X18 + X19 + X20 + X21 + X22 = 8666.4;  
X23 + X24 = 170.1;  
X25 + X26 + X27 + X28 + X29 = 3422.2;  
X30 + X31 + X32 + X33 = 2136.0;  
X34 + X35 + X36 + X37 + X38 = 3841.4;  
X39 + X40 + X41 + X42 = 1187.1;  
X43 + X44 + X45 + X46 + X47 = 2929.6;  
X48 + X49 + X50 + X51 + X52 = 1166.0;  
X53 + X54 + X55 + X56 = 5158.7;  
X57 + X58 + X59 + X60 + X61 = 561.3;  
X62 + X63 = 717.3;

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;

!PERIORISMOI PIEZOMETRIKOY FORTIOY;

0.0141\*X1 + 0.0082\*X2 + 0.0046\*X3 + 0.0026\*X4 + 0.0014\*X5 <= 265-151.45-5; !0-1;!eswteriko;

0.0141\*X1 + 0.0082\*X2 + 0.0046\*X3 + 0.0026\*X4 + 0.0014\*X5 + 12.359 <= 265-244.80-1; !0-2;!dexamenh;

0.0141\*X1 + 0.0082\*X2 + 0.0046\*X3 + 0.0026\*X4 + 0.0014\*X5 + 0.0128\*X6 + 0.0075\*X7 + 0.0043\*X8 + 0.0023\*X9 + 0.0013\*X10 <= 265-114.71-5; !0-3;!eswteriko;

0.0141\*X1 + 0.0082\*X2 + 0.0046\*X3 + 0.0026\*X4 + 0.0014\*X5 + 0.0128\*X6 + 0.0075\*X7  
+ 0.0043\*X8 +  
0.0023\*X9 + 0.0013\*X10 + 12.953 <= 265-135.56-1; !0-4;!dexamenh;

0.0141\*X1 + 0.0082\*X2 + 0.0046\*X3 + 0.0026\*X4 + 0.0014\*X5 + 0.0128\*X6 + 0.0075\*X7  
+ 0.0043\*X8 +  
0.0023\*X9 + 0.0013\*X10 + 0.0117\*X11 + 0.0068\*X12 + 0.0039\*X13 +  
0.0021\*X14 + 0.0012\*X15 <= 265-110.96-5; !0-5;!eswteriko;

0.0141\*X1 + 0.0082\*X2 + 0.0046\*X3 + 0.0026\*X4 + 0.0014\*X5 + 0.0128\*X6 + 0.0075\*X7  
+ 0.0043\*X8 +  
0.0023\*X9 + 0.0013\*X10 + 0.0117\*X11 + 0.0068\*X12 + 0.0039\*X13 +  
0.0021\*X14 + 0.0012\*X15 + 4.365 <= 265-131.92-1; !0-6;!dexamenh;

0.0141\*X1 + 0.0082\*X2 + 0.0046\*X3 + 0.0026\*X4 + 0.0014\*X5 + 0.0128\*X6 + 0.0075\*X7  
+ 0.0043\*X8 +  
0.0023\*X9 + 0.0013\*X10 + 0.0117\*X11 + 0.0068\*X12 + 0.0039\*X13 +  
0.0021\*X14 + 0.0012\*X15 + 0.0125\*X16 + 0.0045\*X17 <= 265-134.41-1; !0-  
7;!dexamenh;

0.0141\*X1 + 0.0082\*X2 + 0.0046\*X3 + 0.0026\*X4 + 0.0014\*X5 + 0.0128\*X6 + 0.0075\*X7  
+ 0.0043\*X8 +  
0.0023\*X9 + 0.0013\*X10 + 0.0117\*X11 + 0.0068\*X12 + 0.0039\*X13 +  
0.0021\*X14 + 0.0012\*X15 + 0.0166\*X18 + 0.0091\*X19 + 0.0053\*X20 + 0.0030\*X21 +  
0.0017\*X22  
<=265-104.6-5; !0-8;!eswteriko;

0.0141\*X1 + 0.0082\*X2 + 0.0046\*X3 + 0.0026\*X4 + 0.0014\*X5 + 0.0128\*X6 + 0.0075\*X7  
+ 0.0043\*X8 +  
0.0023\*X9 + 0.0013\*X10 + 0.0117\*X11 + 0.0068\*X12 + 0.0039\*X13 +  
0.0021\*X14 + 0.0012\*X15 + 0.0166\*X18 + 0.0091\*X19 + 0.0053\*X20 + 0.0030\*X21 +  
0.0017\*X22 +  
0.0125\*X23 + 0.0045\*X24 <= 265-119.16-1; !0-9;!dexamenh;

0.0141\*X1 + 0.0082\*X2 + 0.0046\*X3 + 0.0026\*X4 + 0.0014\*X5 + 0.0128\*X6 + 0.0075\*X7  
+ 0.0043\*X8 +  
0.0023\*X9 + 0.0013\*X10 + 0.0117\*X11 + 0.0068\*X12 + 0.0039\*X13 +  
0.0021\*X14 + 0.0012\*X15 + 0.0166\*X18 + 0.0091\*X19 + 0.0053\*X20 + 0.0030\*X21 +  
0.0017\*X22 +  
0.0135\*X25 + 0.0074\*X26 + 0.0043\*X27 + 0.0025\*X28 + 0.0014\*X29  
<= 265-104.55-5; !0-10;!eswteriko;

0.0141\*X1 + 0.0082\*X2 + 0.0046\*X3 + 0.0026\*X4 + 0.0014\*X5 + 0.0128\*X6 + 0.0075\*X7  
+ 0.0043\*X8 +  
0.0023\*X9 + 0.0013\*X10 + 0.0117\*X11 + 0.0068\*X12 + 0.0039\*X13 +  
0.0021\*X14 + 0.0012\*X15 + 0.0166\*X18 + 0.0091\*X19 + 0.0053\*X20 + 0.0030\*X21 +  
0.0017\*X22 +  
0.0135\*X25 + 0.0074\*X26 + 0.0043\*X27 + 0.0025\*X28 + 0.0014\*X29 + 10.532  
<= 265-129.76-1; !0-11;!dexamenh;

0.0141\*X1 + 0.0082\*X2 + 0.0046\*X3 + 0.0026\*X4 + 0.0014\*X5 + 0.0128\*X6 + 0.0075\*X7  
+ 0.0043\*X8 +  
0.0023\*X9 + 0.0013\*X10 + 0.0117\*X11 + 0.0068\*X12 + 0.0039\*X13 +  
0.0021\*X14 + 0.0012\*X15 + 0.0166\*X18 + 0.0091\*X19 + 0.0053\*X20 + 0.0030\*X21 +  
0.0017\*X22 +  
0.0135\*X25 + 0.0074\*X26 + 0.0043\*X27 + 0.0025\*X28 + 0.0014\*X29 +

0.0118\*X30 + 0.0064\*X31 + 0.0038\*X32 + 0.0022\*X33 <= 265-104.63-5; !0-12;!eswteriko;

0.0141\*X1 + 0.0082\*X2 + 0.0046\*X3 + 0.0026\*X4 + 0.0014\*X5 + 0.0128\*X6 + 0.0075\*X7 + 0.0043\*X8 +  
0.0023\*X9 + 0.0013\*X10 + 0.0117\*X11 + 0.0068\*X12 + 0.0039\*X13 +  
0.0021\*X14 + 0.0012\*X15 + 0.0166\*X18 + 0.0091\*X19 + 0.0053\*X20 + 0.0030\*X21 +  
0.0017\*X22 +  
0.0135\*X25 + 0.0074\*X26 + 0.0043\*X27 + 0.0025\*X28 + 0.0014\*X29 +  
0.0118\*X30 + 0.0064\*X31 + 0.0038\*X32 + 0.0022\*X33 + 5.548 <= 265-121.19-1; !0-13;!dexamenh;

0.0141\*X1 + 0.0082\*X2 + 0.0046\*X3 + 0.0026\*X4 + 0.0014\*X5 + 0.0128\*X6 + 0.0075\*X7 + 0.0043\*X8 +  
0.0023\*X9 + 0.0013\*X10 + 0.0117\*X11 + 0.0068\*X12 + 0.0039\*X13 +  
0.0021\*X14 + 0.0012\*X15 + 0.0166\*X18 + 0.0091\*X19 + 0.0053\*X20 + 0.0030\*X21 +  
0.0017\*X22 +  
0.0135\*X25 + 0.0074\*X26 + 0.0043\*X27 + 0.0025\*X28 + 0.0014\*X29 +  
0.0118\*X30 + 0.0064\*X31 + 0.0038\*X32 + 0.0022\*X33 + 0.0163\*X34 + 0.0096\*X35 +  
0.0052\*X36 +  
0.0031\*X37 + 0.0018\*X38 <= 265-99.25-5; !0-14;!eswteriko;

0.0141\*X1 + 0.0082\*X2 + 0.0046\*X3 + 0.0026\*X4 + 0.0014\*X5 + 0.0128\*X6 + 0.0075\*X7 + 0.0043\*X8 +  
0.0023\*X9 + 0.0013\*X10 + 0.0117\*X11 + 0.0068\*X12 + 0.0039\*X13 +  
0.0021\*X14 + 0.0012\*X15 + 0.0166\*X18 + 0.0091\*X19 + 0.0053\*X20 + 0.0030\*X21 +  
0.0017\*X22 +  
0.0135\*X25 + 0.0074\*X26 + 0.0043\*X27 + 0.0025\*X28 + 0.0014\*X29 +  
0.0118\*X30 + 0.0064\*X31 + 0.0038\*X32 + 0.0022\*X33 + 0.0163\*X34 + 0.0096\*X35 +  
0.0052\*X36 +  
0.0031\*X37 + 0.0018\*X38 + 0.0466\*X39 + 0.0167\*X40 + 0.0087\*X41 +  
0.0050\*X42 <= 265-111.83-1; !0-15;!dexamenh;

0.0141\*X1 + 0.0082\*X2 + 0.0046\*X3 + 0.0026\*X4 + 0.0014\*X5 + 0.0128\*X6 + 0.0075\*X7 + 0.0043\*X8 +  
0.0023\*X9 + 0.0013\*X10 + 0.0117\*X11 + 0.0068\*X12 + 0.0039\*X13 +  
0.0021\*X14 + 0.0012\*X15 + 0.0166\*X18 + 0.0091\*X19 + 0.0053\*X20 + 0.0030\*X21 +  
0.0017\*X22 +  
0.0135\*X25 + 0.0074\*X26 + 0.0043\*X27 + 0.0025\*X28 + 0.0014\*X29 +  
0.0118\*X30 + 0.0064\*X31 + 0.0038\*X32 + 0.0022\*X33 + 0.0163\*X34 + 0.0096\*X35 +  
0.0052\*X36 +  
0.0031\*X37 + 0.0018\*X38 + 0.0161\*X43 + 0.0088\*X44 + 0.0052\*X45 +  
0.0029\*X46 + 0.0017\*X47 <= 265-91.53-5; !0-16;!eswteriko;

0.0141\*X1 + 0.0082\*X2 + 0.0046\*X3 + 0.0026\*X4 + 0.0014\*X5 + 0.0128\*X6 + 0.0075\*X7 + 0.0043\*X8 +  
0.0023\*X9 + 0.0013\*X10 + 0.0117\*X11 + 0.0068\*X12 + 0.0039\*X13 +  
0.0021\*X14 + 0.0012\*X15 + 0.0166\*X18 + 0.0091\*X19 + 0.0053\*X20 + 0.0030\*X21 +  
0.0017\*X22 +  
0.0135\*X25 + 0.0074\*X26 + 0.0043\*X27 + 0.0025\*X28 + 0.0014\*X29 +  
0.0118\*X30 + 0.0064\*X31 + 0.0038\*X32 + 0.0022\*X33 + 0.0163\*X34 + 0.0096\*X35 +  
0.0052\*X36 +  
0.0031\*X37 + 0.0018\*X38 + 0.0161\*X43 + 0.0088\*X44 + 0.0052\*X45 +  
0.0029\*X46 + 0.0017\*X47 + 1.527 <= 265-108.80-1; !0-17;!dexamenh;

0.0141\*X1 + 0.0082\*X2 + 0.0046\*X3 + 0.0026\*X4 + 0.0014\*X5 + 0.0128\*X6 + 0.0075\*X7 + 0.0043\*X8 +  
0.0023\*X9 + 0.0013\*X10 + 0.0117\*X11 + 0.0068\*X12 + 0.0039\*X13 +

0.0021\*X14 + 0.0012\*X15 + 0.0166\*X18 + 0.0091\*X19 + 0.0053\*X20 + 0.0030\*X21 +  
0.0017\*X22 +  
0.0135\*X25 + 0.0074\*X26 + 0.0043\*X27 + 0.0025\*X28 + 0.0014\*X29 +  
0.0118\*X30 + 0.0064\*X31 + 0.0038\*X32 + 0.0022\*X33 + 0.0163\*X34 + 0.0096\*X35 +  
0.0052\*X36 +  
0.0031\*X37 + 0.0018\*X38 + 0.0161\*X43 + 0.0088\*X44 + 0.0052\*X45 +  
0.0029\*X46 + 0.0017\*X47 + 0.0231\*X48 + 0.0130\*X49 + 0.0066\*X50 + 0.0036\*X51 +  
0.0022\*X52  
<= 265-106.61-5; !0-18;!eswteriko;

0.0141\*X1 + 0.0082\*X2 + 0.0046\*X3 + 0.0026\*X4 + 0.0014\*X5 + 0.0128\*X6 + 0.0075\*X7  
+ 0.0043\*X8 +  
0.0023\*X9 + 0.0013\*X10 + 0.0117\*X11 + 0.0068\*X12 + 0.0039\*X13 +  
0.0021\*X14 + 0.0012\*X15 + 0.0166\*X18 + 0.0091\*X19 + 0.0053\*X20 + 0.0030\*X21 +  
0.0017\*X22 +  
0.0135\*X25 + 0.0074\*X26 + 0.0043\*X27 + 0.0025\*X28 + 0.0014\*X29 +  
0.0118\*X30 + 0.0064\*X31 + 0.0038\*X32 + 0.0022\*X33 + 0.0163\*X34 + 0.0096\*X35 +  
0.0052\*X36 +  
0.0031\*X37 + 0.0018\*X38 + 0.0161\*X43 + 0.0088\*X44 + 0.0052\*X45 +  
0.0029\*X46 + 0.0017\*X47 + 0.0231\*X48 + 0.0130\*X49 + 0.0066\*X50 + 0.0036\*X51 +  
0.0022\*X52 +  
0.0351\*X57 + 0.0183\*X58 + 0.0103\*X59 + 0.0053\*X60 + 0.0029\*X61  
<= 265-117.13-1; !0-19;!dexamenh;

0.0141\*X1 + 0.0082\*X2 + 0.0046\*X3 + 0.0026\*X4 + 0.0014\*X5 + 0.0128\*X6 + 0.0075\*X7  
+ 0.0043\*X8 +  
0.0023\*X9 + 0.0013\*X10 + 0.0117\*X11 + 0.0068\*X12 + 0.0039\*X13 +  
0.0021\*X14 + 0.0012\*X15 + 0.0166\*X18 + 0.0091\*X19 + 0.0053\*X20 + 0.0030\*X21 +  
0.0017\*X22 +  
0.0135\*X25 + 0.0074\*X26 + 0.0043\*X27 + 0.0025\*X28 + 0.0014\*X29 +  
0.0118\*X30 + 0.0064\*X31 + 0.0038\*X32 + 0.0022\*X33 + 0.0163\*X34 + 0.0096\*X35 +  
0.0052\*X36 +  
0.0031\*X37 + 0.0018\*X38 + 0.0161\*X43 + 0.0088\*X44 + 0.0052\*X45 +  
0.0029\*X46 + 0.0017\*X47 + 0.0231\*X48 + 0.0130\*X49 + 0.0066\*X50 + 0.0036\*X51 +  
0.0022\*X52 + 4.841  
<= 265-106.61-1; !0-20;!dexamenh;

0.0141\*X1 + 0.0082\*X2 + 0.0046\*X3 + 0.0026\*X4 + 0.0014\*X5 + 0.0128\*X6 + 0.0075\*X7  
+ 0.0043\*X8 +  
0.0023\*X9 + 0.0013\*X10 + 0.0117\*X11 + 0.0068\*X12 + 0.0039\*X13 +  
0.0021\*X14 + 0.0012\*X15 + 0.0166\*X18 + 0.0091\*X19 + 0.0053\*X20 + 0.0030\*X21 +  
0.0017\*X22 +  
0.0135\*X25 + 0.0074\*X26 + 0.0043\*X27 + 0.0025\*X28 + 0.0014\*X29 +  
0.0118\*X30 + 0.0064\*X31 + 0.0038\*X32 + 0.0022\*X33 + 0.0163\*X34 + 0.0096\*X35 +  
0.0052\*X36 +  
0.0031\*X37 + 0.0018\*X38 + 0.0161\*X43 + 0.0088\*X44 + 0.0052\*X45 +  
0.0029\*X46 + 0.0017\*X47 + 0.0382\*X53 + 0.0137\*X54 + 0.0072\*X55 + 0.0041\*X56  
<= 265-91.53-5; !0-21;!eswteriko;

0.0141\*X1 + 0.0082\*X2 + 0.0046\*X3 + 0.0026\*X4 + 0.0014\*X5 + 0.0128\*X6 + 0.0075\*X7  
+ 0.0043\*X8 +  
0.0023\*X9 + 0.0013\*X10 + 0.0117\*X11 + 0.0068\*X12 + 0.0039\*X13 +  
0.0021\*X14 + 0.0012\*X15 + 0.0166\*X18 + 0.0091\*X19 + 0.0053\*X20 + 0.0030\*X21 +  
0.0017\*X22 +  
0.0135\*X25 + 0.0074\*X26 + 0.0043\*X27 + 0.0025\*X28 + 0.0014\*X29 +  
0.0118\*X30 + 0.0064\*X31 + 0.0038\*X32 + 0.0022\*X33 + 0.0163\*X34 + 0.0096\*X35 +  
0.0052\*X36 +  
0.0031\*X37 + 0.0018\*X38 + 0.0161\*X43 + 0.0088\*X44 + 0.0052\*X45 +  
0.0029\*X46 + 0.0017\*X47 + 0.0382\*X53 + 0.0137\*X54 + 0.0072\*X55 + 0.0041\*X56 +  
27.297

<= 265-125.33-1; !0-22;!dexamenh;

0.0141\*X1 + 0.0082\*X2 + 0.0046\*X3 + 0.0026\*X4 + 0.0014\*X5 + 0.0128\*X6 + 0.0075\*X7  
+ 0.0043\*X8 +  
0.0023\*X9 + 0.0013\*X10 + 0.0117\*X11 + 0.0068\*X12 + 0.0039\*X13 +  
0.0021\*X14 + 0.0012\*X15 + 0.0166\*X18 + 0.0091\*X19 + 0.0053\*X20 + 0.0030\*X21 +  
0.0017\*X22 +  
0.0135\*X25 + 0.0074\*X26 + 0.0043\*X27 + 0.0025\*X28 + 0.0014\*X29 +  
0.0118\*X30 + 0.0064\*X31 + 0.0038\*X32 + 0.0022\*X33 + 0.0163\*X34 + 0.0096\*X35 +  
0.0052\*X36 +  
0.0031\*X37 + 0.0018\*X38 + 0.0161\*X43 + 0.0088\*X44 + 0.0052\*X45 +  
0.0029\*X46 + 0.0017\*X47 + 0.0382\*X53 + 0.0137\*X54 + 0.0072\*X55 + 0.0041\*X56 +  
0.0169\*X62 +  
0.0061\*X63 <= 265-101.5-5; !0-23;!eswteriko;

0.0141\*X1 + 0.0082\*X2 + 0.0046\*X3 + 0.0026\*X4 + 0.0014\*X5 + 0.0128\*X6 + 0.0075\*X7  
+ 0.0043\*X8 +  
0.0023\*X9 + 0.0013\*X10 + 0.0117\*X11 + 0.0068\*X12 + 0.0039\*X13 +  
0.0021\*X14 + 0.0012\*X15 + 0.0166\*X18 + 0.0091\*X19 + 0.0053\*X20 + 0.0030\*X21 +  
0.0017\*X22 +  
0.0135\*X25 + 0.0074\*X26 + 0.0043\*X27 + 0.0025\*X28 + 0.0014\*X29 +  
0.0118\*X30 + 0.0064\*X31 + 0.0038\*X32 + 0.0022\*X33 + 0.0163\*X34 + 0.0096\*X35 +  
0.0052\*X36 +  
0.0031\*X37 + 0.0018\*X38 + 0.0161\*X43 + 0.0088\*X44 + 0.0052\*X45 +  
0.0029\*X46 + 0.0017\*X47 + 0.0382\*X53 + 0.0137\*X54 + 0.0072\*X55 + 0.0041\*X56 +  
0.0169\*X62 +  
0.0061\*X63 + 4.781 <= 265-136.22-1; !0-24;!dexamenh;

0.0141\*X1 + 0.0082\*X2 + 0.0046\*X3 + 0.0026\*X4 + 0.0014\*X5 + 0.0128\*X6 + 0.0075\*X7  
+ 0.0043\*X8 +  
0.0023\*X9 + 0.0013\*X10 + 0.0117\*X11 + 0.0068\*X12 + 0.0039\*X13 +  
0.0021\*X14 + 0.0012\*X15 + 0.0166\*X18 + 0.0091\*X19 + 0.0053\*X20 + 0.0030\*X21 +  
0.0017\*X22 +  
0.0135\*X25 + 0.0074\*X26 + 0.0043\*X27 + 0.0025\*X28 + 0.0014\*X29 +  
0.0118\*X30 + 0.0064\*X31 + 0.0038\*X32 + 0.0022\*X33 + 0.0163\*X34 + 0.0096\*X35 +  
0.0052\*X36 +  
0.0031\*X37 + 0.0018\*X38 + 0.0161\*X43 + 0.0088\*X44 + 0.0052\*X45 +  
0.0029\*X46 + 0.0017\*X47 + 0.0382\*X53 + 0.0137\*X54 + 0.0072\*X55 + 0.0041\*X56 +  
0.0169\*X62 +  
0.0061\*X63 + 12.413 <= 265-158.34-1; !0-25;!dexamenh;

## Report:

Global optimal solution found.

Objective value:	3397150.
Infeasibilities:	0.000000
Total solver iterations:	47

Model Class:	LP
--------------	----

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

Total constraints:	104
Nonlinear constraints:	0

Total nonzeros:	924
Nonlinear nonzeros:	0

Variable	Value	Reduced Cost
X1	0.000000	174.1308
X2	0.000000	70.76923
X3	0.000000	26.53846
X4	0.000000	3.076923
X5	1446.000	0.000000
X6	0.000000	151.8231
X7	0.000000	60.00000
X8	0.000000	23.46154
X9	8445.700	0.000000
X10	0.000000	0.7692308
X11	0.000000	134.5154
X12	0.000000	50.38462
X13	0.000000	19.61538
X14	3677.300	0.000000
X15	0.000000	2.692308
X16	1089.600	0.000000
X17	0.000000	4.000000
X18	0.000000	226.4385
X19	0.000000	92.20769
X20	0.000000	29.23077
X21	0.000000	10.00000
X22	8666.400	0.000000
X23	170.1000	0.000000
X24	0.000000	4.000000
X25	0.000000	172.5923
X26	0.000000	65.28462
X27	0.000000	15.76923
X28	0.000000	6.153846
X29	3422.200	0.000000
X30	0.000000	139.5154
X31	0.000000	45.66923
X32	0.000000	5.769231
X33	2136.000	0.000000
X34	0.000000	225.8462
X35	0.000000	104.9000
X36	0.000000	30.28462
X37	1869.969	0.000000
X38	1971.431	0.000000
X39	1187.100	0.000000
X40	0.000000	4.000000
X41	0.000000	7.000000
X42	0.000000	10.00000
X43	0.000000	241.9231
X44	0.000000	108.5385
X45	0.000000	47.20769
X46	0.000000	12.97692
X47	2929.600	0.000000
X48	1166.000	0.000000
X49	0.000000	3.000000
X50	0.000000	8.000000
X51	0.000000	15.00000
X52	0.000000	22.90000
X53	0.000000	645.7692
X54	0.000000	178.6154
X55	0.000000	56.61538
X56	5158.700	0.000000
X57	561.3000	0.000000
X58	0.000000	3.000000
X59	0.000000	6.000000
X60	0.000000	11.00000
X61	0.000000	18.00000

X62	0.000000	203.6923
X63	717.3000	0.00000

### Περίπτωση<sup>2</sup>: Αύξηση του Q κατά 15%

#### Γραμμικό Πρόγραμμα:

!SYNARTHSH STOXΟΥ;

MIN = 49.9\*X1 + 60\*X2 + 85\*X3 + 100\*X4 + 120\*X5  
+ 49.9\*X6 + 60\*X7 + 85\*X8 + 100\*X9 + 120\*X10  
+ 49.9\*X11 + 60\*X12 + 85\*X13 + 100\*X14 + 120\*X15  
+ 10\*X16 + 14\*X17  
+ 39.9\*X18 + 49.9\*X19 + 60\*X20 + 85\*X21 + 100\*X22  
+ 10\*X23 + 14\*X24  
+ 39.9\*X25 + 49.9\*X26 + 60\*X27 + 85\*X28  
+ 100\*X29  
+ 39.9\*X30 + 49.9\*X31 + 60\*X32 + 85\*X33  
+ 32\*X34 + 39.9\*X35 + 49.9\*X36 + 60\*X37 + 85\*X38  
+ 10\*X39 + 14\*X40 + 17\*X41 + 20\*X42 + 25\*X43  
+ 32\*X44 + 39.9\*X45 + 49.9\*X46 + 60\*X47  
+ 17\*X48 + 20\*X49 + 25\*X50 + 32\*X51 + 39.9\*X52  
+ 10\*X53 + 14\*X54 + 17\*X55 + 20\*X56  
+ 14\*X57 + 17\*X58 + 20\*X59 + 25\*X60 + 32\*X61  
+ 10\*X62 + 14\*X63;

!PERIORISMOI ΜΗΚΟΥΣ;

X1 + X2 + X3 + X4 + X5 = 1446;  
X6 + X7 + X8 + X9 + X10 = 8445.7;  
X11 + X12 + X13 + X14 + X15 = 3677.3;  
X16 + X17 = 1089.6;  
X18 + X19 + X20 + X21 + X22 = 8666.4;  
X23 + X24 = 170.1;  
X25 + X26 + X27 + X28 + X29 = 3422.2;  
X30 + X31 + X32 + X33 = 2136.0;  
X34 + X35 + X36 + X37 + X38 = 3841.4;  
X39 + X40 + X41 + X42 = 1187.1;  
X43 + X44 + X45 + X46 + X47 = 2929.6;  
X48 + X49 + X50 + X51 + X52 = 1166.0;  
X53 + X54 + X55 + X56 = 5158.7;  
X57 + X58 + X59 + X60 + X61 = 561.3;  
X62 + X63 = 717.3;

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;



!PERIORISMOI PIEZOMETRIKOY FORTIOY;

$0.0153 \cdot X_1 + 0.0090 \cdot X_2 + 0.0051 \cdot X_3 + 0.0028 \cdot X_4 + 0.0015 \cdot X_5 \leq 265 - 151.45 - 5$ ; !0-1;!eswteriko;

$0.0153 \cdot X_1 + 0.0090 \cdot X_2 + 0.0051 \cdot X_3 + 0.0028 \cdot X_4 + 0.0015 \cdot X_5 + 13.422 \leq 265 - 244.80 - 1$ ; !0-2;!dexamenh;

$0.0153 \cdot X_1 + 0.0090 \cdot X_2 + 0.0051 \cdot X_3 + 0.0028 \cdot X_4 + 0.0015 \cdot X_5 + 0.0140 \cdot X_6 + 0.0082 \cdot X_7 + 0.0046 \cdot X_8 + 0.0026 \cdot X_9 + 0.0014 \cdot X_{10} \leq 265 - 114.71 - 5$ ; !0-3;!eswteriko;

$0.0153 \cdot X_1 + 0.0090 \cdot X_2 + 0.0051 \cdot X_3 + 0.0028 \cdot X_4 + 0.0015 \cdot X_5 + 0.0140 \cdot X_6 + 0.0082 \cdot X_7 + 0.0046 \cdot X_8 + 0.0026 \cdot X_9 + 0.0014 \cdot X_{10} + 14.067 \leq 265 - 135.56 - 1$ ; !0-4;!dexamenh;

$0.0153 \cdot X_1 + 0.0090 \cdot X_2 + 0.0051 \cdot X_3 + 0.0028 \cdot X_4 + 0.0015 \cdot X_5 + 0.0140 \cdot X_6 + 0.0082 \cdot X_7 + 0.0046 \cdot X_8 + 0.0026 \cdot X_9 + 0.0014 \cdot X_{10} + 0.0127 \cdot X_{11} + 0.0075 \cdot X_{12} + 0.0042 \cdot X_{13} + 0.0023 \cdot X_{14} + 0.0013 \cdot X_{15} \leq 265 - 110.96 - 5$ ; !0-5;!eswteriko;

$0.0153 \cdot X_1 + 0.0090 \cdot X_2 + 0.0051 \cdot X_3 + 0.0028 \cdot X_4 + 0.0015 \cdot X_5 + 0.0140 \cdot X_6 + 0.0082 \cdot X_7 + 0.0046 \cdot X_8 + 0.0026 \cdot X_9 + 0.0014 \cdot X_{10} + 0.0127 \cdot X_{11} + 0.0075 \cdot X_{12} + 0.0042 \cdot X_{13} + 0.0023 \cdot X_{14} + 0.0013 \cdot X_{15} + 4.712 \leq 265 - 131.92 - 1$ ; !0-6;!dexamenh;

$0.0153 \cdot X_1 + 0.0090 \cdot X_2 + 0.0051 \cdot X_3 + 0.0028 \cdot X_4 + 0.0015 \cdot X_5 + 0.0140 \cdot X_6 + 0.0082 \cdot X_7 + 0.0046 \cdot X_8 + 0.0026 \cdot X_9 + 0.0014 \cdot X_{10} + 0.0127 \cdot X_{11} + 0.0075 \cdot X_{12} + 0.0042 \cdot X_{13} + 0.0023 \cdot X_{14} + 0.0013 \cdot X_{15} + 0.0136 \cdot X_{16} + 0.0049 \cdot X_{17} \leq 265 - 134.41 - 1$ ; !0-7;!dexamenh;

$0.0153 \cdot X_1 + 0.0090 \cdot X_2 + 0.0051 \cdot X_3 + 0.0028 \cdot X_4 + 0.0015 \cdot X_5 + 0.0140 \cdot X_6 + 0.0082 \cdot X_7 + 0.0046 \cdot X_8 + 0.0026 \cdot X_9 + 0.0014 \cdot X_{10} + 0.0127 \cdot X_{11} + 0.0075 \cdot X_{12} + 0.0042 \cdot X_{13} + 0.0023 \cdot X_{14} + 0.0013 \cdot X_{15} + 0.0181 \cdot X_{18} + 0.0099 \cdot X_{19} + 0.0058 \cdot X_{20} + 0.0033 \cdot X_{21} + 0.0018 \cdot X_{22} \leq 265 - 104.6 - 5$ ; !0-8;!eswteriko;

$0.0153 \cdot X_1 + 0.0090 \cdot X_2 + 0.0051 \cdot X_3 + 0.0028 \cdot X_4 + 0.0015 \cdot X_5 + 0.0140 \cdot X_6 + 0.0082 \cdot X_7 + 0.0046 \cdot X_8 + 0.0026 \cdot X_9 + 0.0014 \cdot X_{10} + 0.0127 \cdot X_{11} + 0.0075 \cdot X_{12} + 0.0042 \cdot X_{13} + 0.0023 \cdot X_{14} + 0.0013 \cdot X_{15} + 0.0181 \cdot X_{18} + 0.0099 \cdot X_{19} + 0.0058 \cdot X_{20} + 0.0033 \cdot X_{21} + 0.0018 \cdot X_{22} + 0.0136 \cdot X_{23} + 0.0049 \cdot X_{24} \leq 265 - 119.16 - 1$ ; !0-9;!dexamenh;

$0.0153 \cdot X_1 + 0.0090 \cdot X_2 + 0.0051 \cdot X_3 + 0.0028 \cdot X_4 + 0.0015 \cdot X_5 + 0.0140 \cdot X_6 + 0.0082 \cdot X_7 + 0.0046 \cdot X_8 + 0.0026 \cdot X_9 + 0.0014 \cdot X_{10} + 0.0127 \cdot X_{11} + 0.0075 \cdot X_{12} + 0.0042 \cdot X_{13} + 0.0023 \cdot X_{14} + 0.0013 \cdot X_{15} + 0.0181 \cdot X_{18} + 0.0099 \cdot X_{19} + 0.0058 \cdot X_{20} + 0.0033 \cdot X_{21} + 0.0018 \cdot X_{22} + 0.0147 \cdot X_{25} + 0.0080 \cdot X_{26} + 0.0047 \cdot X_{27} + 0.0027 \cdot X_{28} + 0.0015 \cdot X_{29} \leq 265 - 104.55 - 5$ ; !0-10;!eswteriko;

0.0153\*X1 + 0.0090\*X2 + 0.0051\*X3 + 0.0028\*X4 + 0.0015\*X5 + 0.0140\*X6 + 0.0082\*X7  
+ 0.0046\*X8 +  
0.0026\*X9 + 0.0014\*X10 + 0.0127\*X11 + 0.0075\*X12 + 0.0042\*X13 +  
0.0023\*X14 + 0.0013\*X15 + 0.0181\*X18 + 0.0099\*X19 + 0.0058\*X20 + 0.0033\*X21 +  
0.0018\*X22 +  
0.0147\*X25 + 0.0080\*X26 + 0.0047\*X27 + 0.0027\*X28 + 0.0015\*X29 + 11.434  
<= 265-129.76-1; !0-11;!dexamenh;

0.0153\*X1 + 0.0090\*X2 + 0.0051\*X3 + 0.0028\*X4 + 0.0015\*X5 + 0.0140\*X6 + 0.0082\*X7  
+ 0.0046\*X8 +  
0.0026\*X9 + 0.0014\*X10 + 0.0127\*X11 + 0.0075\*X12 + 0.0042\*X13 +  
0.0023\*X14 + 0.0013\*X15 + 0.0181\*X18 + 0.0099\*X19 + 0.0058\*X20 + 0.0033\*X21 +  
0.0018\*X22 +  
0.0147\*X25 + 0.0080\*X26 + 0.0047\*X27 + 0.0027\*X28 + 0.0015\*X29 +  
0.0128\*X30 + 0.0070\*X31 + 0.0041\*X32 + 0.0023\*X33 <= 265-104.63-5; !0-  
12;!eswteriko;

0.0153\*X1 + 0.0090\*X2 + 0.0051\*X3 + 0.0028\*X4 + 0.0015\*X5 + 0.0140\*X6 + 0.0082\*X7  
+ 0.0046\*X8 +  
0.0026\*X9 + 0.0014\*X10 + 0.0127\*X11 + 0.0075\*X12 + 0.0042\*X13 +  
0.0023\*X14 + 0.0013\*X15 + 0.0181\*X18 + 0.0099\*X19 + 0.0058\*X20 + 0.0033\*X21 +  
0.0018\*X22 +  
0.0147\*X25 + 0.0080\*X26 + 0.0047\*X27 + 0.0027\*X28 + 0.0015\*X29 +  
0.0128\*X30 + 0.0070\*X31 + 0.0041\*X32 + 0.0023\*X33 + 6.045 <= 265-121.19-1; !0-  
13;!dexamenh;

0.0153\*X1 + 0.0090\*X2 + 0.0051\*X3 + 0.0028\*X4 + 0.0015\*X5 + 0.0140\*X6 + 0.0082\*X7  
+ 0.0046\*X8 +  
0.0026\*X9 + 0.0014\*X10 + 0.0127\*X11 + 0.0075\*X12 + 0.0042\*X13 +  
0.0023\*X14 + 0.0013\*X15 + 0.0181\*X18 + 0.0099\*X19 + 0.0058\*X20 + 0.0033\*X21 +  
0.0018\*X22 +  
0.0147\*X25 + 0.0080\*X26 + 0.0047\*X27 + 0.0027\*X28 + 0.0015\*X29 +  
0.0128\*X30 + 0.0070\*X31 + 0.0041\*X32 + 0.0023\*X33 + 0.0178\*X34 + 0.0104\*X35 +  
0.0057\*X36 +  
0.0034\*X37 + 0.0019\*X38 <= 265-99.25-5; !0-14;!eswteriko;

0.0153\*X1 + 0.0090\*X2 + 0.0051\*X3 + 0.0028\*X4 + 0.0015\*X5 + 0.0140\*X6 + 0.0082\*X7  
+  
0.0046\*X8 + 0.0026\*X9 + 0.0014\*X10 + 0.0127\*X11 + 0.0075\*X12 + 0.0042\*X13 +  
0.0023\*X14 + 0.0013\*X15 + 0.0181\*X18 + 0.0099\*X19 + 0.0058\*X20 + 0.0033\*X21 +  
0.0018\*X22 + 0.0147\*X25 + 0.0080\*X26 + 0.0047\*X27 + 0.0027\*X28 + 0.0015\*X29 +  
0.0128\*X30 + 0.0070\*X31 + 0.0041\*X32 + 0.0023\*X33 + 0.0178\*X34 + 0.0104\*X35 +  
0.0057\*X36 + 0.0034\*X37 + 0.0019\*X38 + 0.0507\*X39 + 0.0181\*X40 + 0.0095\*X41 +  
0.0054\*X42 <= 265-111.83-1; !0-15;!dexamenh;

0.0153\*X1 + 0.0090\*X2 + 0.0051\*X3 + 0.0028\*X4 + 0.0015\*X5 + 0.0140\*X6 + 0.0082\*X7  
+  
0.0046\*X8 + 0.0026\*X9 + 0.0014\*X10 + 0.0127\*X11 + 0.0075\*X12 + 0.0042\*X13 +  
0.0023\*X14 + 0.0013\*X15 + 0.0181\*X18 + 0.0099\*X19 + 0.0058\*X20 + 0.0033\*X21 +  
0.0018\*X22 + 0.0147\*X25 + 0.0080\*X26 + 0.0047\*X27 + 0.0027\*X28 + 0.0015\*X29 +  
0.0128\*X30 + 0.0070\*X31 + 0.0041\*X32 + 0.0023\*X33 + 0.0178\*X34 + 0.0104\*X35 +  
0.0057\*X36 + 0.0034\*X37 + 0.0019\*X38 + 0.0175\*X43 + 0.0096\*X44 + 0.0057\*X45 +  
0.0031\*X46 + 0.0018\*X47 <= 265-91.53-5; !0-16;!eswteriko;

0.0153\*X1 + 0.0090\*X2 + 0.0051\*X3 + 0.0028\*X4 + 0.0015\*X5 + 0.0140\*X6 + 0.0082\*X7  
+  
0.0046\*X8 + 0.0026\*X9 + 0.0014\*X10 + 0.0127\*X11 + 0.0075\*X12 + 0.0042\*X13 +  
0.0023\*X14 + 0.0013\*X15 + 0.0181\*X18 + 0.0099\*X19 + 0.0058\*X20 + 0.0033\*X21 +

0.0018\*X22 + 0.0147\*X25 + 0.0080\*X26 + 0.0047\*X27 + 0.0027\*X28 + 0.0015\*X29 +  
0.0128\*X30 + 0.0070\*X31 + 0.0041\*X32 + 0.0023\*X33 + 0.0178\*X34 + 0.0104\*X35 +  
0.0057\*X36 + 0.0034\*X37 + 0.0019\*X38 + 0.0175\*X43 + 0.0096\*X44 + 0.0057\*X45 +  
0.0031\*X46 + 0.0018\*X47 + 1.650 <= 265-108.80-1; !0-17;!dexamenh;

0.0153\*X1 + 0.0090\*X2 + 0.0051\*X3 + 0.0028\*X4 + 0.0015\*X5 + 0.0140\*X6 + 0.0082\*X7  
+  
0.0046\*X8 + 0.0026\*X9 + 0.0014\*X10 + 0.0127\*X11 + 0.0075\*X12 + 0.0042\*X13 +  
0.0023\*X14 + 0.0013\*X15 + 0.0181\*X18 + 0.0099\*X19 + 0.0058\*X20 + 0.0033\*X21 +  
0.0018\*X22 + 0.0147\*X25 + 0.0080\*X26 + 0.0047\*X27 + 0.0027\*X28 + 0.0015\*X29 +  
0.0128\*X30 + 0.0070\*X31 + 0.0041\*X32 + 0.0023\*X33 + 0.0178\*X34 + 0.0104\*X35 +  
0.0057\*X36 + 0.0034\*X37 + 0.0019\*X38 + 0.0175\*X43 + 0.0096\*X44 + 0.0057\*X45 +  
0.0031\*X46 + 0.0018\*X47 + 0.0252\*X48 + 0.0142\*X49 + 0.0072\*X50 + 0.0040\*X51 +  
0.0023\*X52 <= 265-106.61-5; !0-18;!eswteriko;

0.0153\*X1 + 0.0090\*X2 + 0.0051\*X3 + 0.0028\*X4 + 0.0015\*X5 + 0.0140\*X6 + 0.0082\*X7  
+  
0.0046\*X8 + 0.0026\*X9 + 0.0014\*X10 + 0.0127\*X11 + 0.0075\*X12 + 0.0042\*X13 +  
0.0023\*X14 + 0.0013\*X15 + 0.0181\*X18 + 0.0099\*X19 + 0.0058\*X20 + 0.0033\*X21 +  
0.0018\*X22 + 0.0147\*X25 + 0.0080\*X26 + 0.0047\*X27 + 0.0027\*X28 + 0.0015\*X29 +  
0.0128\*X30 + 0.0070\*X31 + 0.0041\*X32 + 0.0023\*X33 + 0.0178\*X34 + 0.0104\*X35 +  
0.0057\*X36 + 0.0034\*X37 + 0.0019\*X38 + 0.0175\*X43 + 0.0096\*X44 + 0.0057\*X45 +  
0.0031\*X46 + 0.0018\*X47 + 0.0252\*X48 + 0.0142\*X49 + 0.0072\*X50 + 0.0040\*X51 +  
0.0023\*X52 + 0.0383\*X57 + 0.0200\*X58 + 0.0113\*X59 + 0.0057\*X60 + 0.0032\*X61  
<= 265-117.13-1; !0-19;!dexamenh;

0.0153\*X1 + 0.0090\*X2 + 0.0051\*X3 + 0.0028\*X4 + 0.0015\*X5 + 0.0140\*X6 + 0.0082\*X7  
+  
0.0046\*X8 + 0.0026\*X9 + 0.0014\*X10 + 0.0127\*X11 + 0.0075\*X12 + 0.0042\*X13 +  
0.0023\*X14 + 0.0013\*X15 + 0.0181\*X18 + 0.0099\*X19 + 0.0058\*X20 + 0.0033\*X21 +  
0.0018\*X22 + 0.0147\*X25 + 0.0080\*X26 + 0.0047\*X27 + 0.0027\*X28 + 0.0015\*X29 +  
0.0128\*X30 + 0.0070\*X31 + 0.0041\*X32 + 0.0023\*X33 + 0.0178\*X34 + 0.0104\*X35 +  
0.0057\*X36 + 0.0034\*X37 + 0.0019\*X38 + 0.0175\*X43 + 0.0096\*X44 + 0.0057\*X45 +  
0.0031\*X46 + 0.0018\*X47 + 0.0252\*X48 + 0.0142\*X49 + 0.0072\*X50 + 0.0040\*X51 +  
0.0023\*X52 + 5.236 <= 265-106.61-1; !0-20;!dexamenh;

0.0153\*X1 + 0.0090\*X2 + 0.0051\*X3 + 0.0028\*X4 + 0.0015\*X5 + 0.0140\*X6 + 0.0082\*X7  
+  
0.0046\*X8 + 0.0026\*X9 + 0.0014\*X10 + 0.0127\*X11 + 0.0075\*X12 + 0.0042\*X13 +  
0.0023\*X14 + 0.0013\*X15 + 0.0181\*X18 + 0.0099\*X19 + 0.0058\*X20 + 0.0033\*X21 +  
0.0018\*X22 + 0.0147\*X25 + 0.0080\*X26 + 0.0047\*X27 + 0.0027\*X28 + 0.0015\*X29 +  
0.0128\*X30 + 0.0070\*X31 + 0.0041\*X32 + 0.0023\*X33 + 0.0178\*X34 + 0.0104\*X35 +  
0.0057\*X36 + 0.0034\*X37 + 0.0019\*X38 + 0.0175\*X43 + 0.0096\*X44 + 0.0057\*X45 +  
0.0031\*X46 + 0.0018\*X47 + 0.0417\*X53 + 0.0149\*X54 + 0.0078\*X55 + 0.0044\*X56  
<= 265-91.53-5; !0-21;!eswteriko;

0.0153\*X1 + 0.0090\*X2 + 0.0051\*X3 + 0.0028\*X4 + 0.0015\*X5 + 0.0140\*X6 + 0.0082\*X7  
+  
0.0046\*X8 + 0.0026\*X9 + 0.0014\*X10 + 0.0127\*X11 + 0.0075\*X12 + 0.0042\*X13 +  
0.0023\*X14 + 0.0013\*X15 + 0.0181\*X18 + 0.0099\*X19 + 0.0058\*X20 + 0.0033\*X21 +  
0.0018\*X22 + 0.0147\*X25 + 0.0080\*X26 + 0.0047\*X27 + 0.0027\*X28 + 0.0015\*X29 +  
0.0128\*X30 + 0.0070\*X31 + 0.0041\*X32 + 0.0023\*X33 + 0.0178\*X34 + 0.0104\*X35 +  
0.0057\*X36 + 0.0034\*X37 + 0.0019\*X38 + 0.0175\*X43 + 0.0096\*X44 + 0.0057\*X45 +  
0.0031\*X46 + 0.0018\*X47 + 0.0417\*X53 + 0.0149\*X54 + 0.0078\*X55 + 0.0044\*X56 +  
29.695  
<= 265-125.33-1; !0-22;!dexamenh;

0.0153\*X1 + 0.0090\*X2 + 0.0051\*X3 + 0.0028\*X4 + 0.0015\*X5 + 0.0140\*X6 + 0.0082\*X7  
+  
0.0046\*X8 + 0.0026\*X9 + 0.0014\*X10 + 0.0127\*X11 + 0.0075\*X12 + 0.0042\*X13 +  
0.0023\*X14 + 0.0013\*X15 + 0.0181\*X18 + 0.0099\*X19 + 0.0058\*X20 + 0.0033\*X21 +  
0.0018\*X22 + 0.0147\*X25 + 0.0080\*X26 + 0.0047\*X27 + 0.0027\*X28 + 0.0015\*X29 +  
0.0128\*X30 + 0.0070\*X31 + 0.0041\*X32 + 0.0023\*X33 + 0.0178\*X34 + 0.0104\*X35 +  
0.0057\*X36 + 0.0034\*X37 + 0.0019\*X38 + 0.0175\*X43 + 0.0096\*X44 + 0.0057\*X45 +  
0.0031\*X46 + 0.0018\*X47 + 0.0417\*X53 + 0.0149\*X54 + 0.0078\*X55 + 0.0044\*X56 +  
0.0185\*X62 + 0.0067\*X63 <= 265-101.5-5; !0-23;!eswteriko;

0.0153\*X1 + 0.0090\*X2 + 0.0051\*X3 + 0.0028\*X4 + 0.0015\*X5 + 0.0140\*X6 + 0.0082\*X7  
+  
0.0046\*X8 + 0.0026\*X9 + 0.0014\*X10 + 0.0127\*X11 + 0.0075\*X12 + 0.0042\*X13 +  
0.0023\*X14 + 0.0013\*X15 + 0.0181\*X18 + 0.0099\*X19 + 0.0058\*X20 + 0.0033\*X21 +  
0.0018\*X22 + 0.0147\*X25 + 0.0080\*X26 + 0.0047\*X27 + 0.0027\*X28 + 0.0015\*X29 +  
0.0128\*X30 + 0.0070\*X31 + 0.0041\*X32 + 0.0023\*X33 + 0.0178\*X34 + 0.0104\*X35 +  
0.0057\*X36 + 0.0034\*X37 + 0.0019\*X38 + 0.0175\*X43 + 0.0096\*X44 + 0.0057\*X45 +  
0.0031\*X46 + 0.0018\*X47 + 0.0417\*X53 + 0.0149\*X54 + 0.0078\*X55 + 0.0044\*X56 +  
0.0185\*X62 + 0.0067\*X63 + 5.212 <= 265-136.22-1; !0-24;!dexamenh;

0.0153\*X1 + 0.0090\*X2 + 0.0051\*X3 + 0.0028\*X4 + 0.0015\*X5 + 0.0140\*X6 + 0.0082\*X7  
+  
0.0046\*X8 + 0.0026\*X9 + 0.0014\*X10 + 0.0127\*X11 + 0.0075\*X12 + 0.0042\*X13 +  
0.0023\*X14 + 0.0013\*X15 + 0.0181\*X18 + 0.0099\*X19 + 0.0058\*X20 + 0.0033\*X21 +  
0.0018\*X22 + 0.0147\*X25 + 0.0080\*X26 + 0.0047\*X27 + 0.0027\*X28 + 0.0015\*X29 +  
0.0128\*X30 + 0.0070\*X31 + 0.0041\*X32 + 0.0023\*X33 + 0.0178\*X34 + 0.0104\*X35 +  
0.0057\*X36 + 0.0034\*X37 + 0.0019\*X38 + 0.0175\*X43 + 0.0096\*X44 + 0.0057\*X45 +  
0.0031\*X46 + 0.0018\*X47 + 0.0417\*X53 + 0.0149\*X54 + 0.0078\*X55 + 0.0044\*X56 +  
0.0185\*X62 + 0.0067\*X63 + 13.457 <= 265-158.34-1; !0-25;!dexamenh;

## Report:

Global optimal solution found.

Objective value: 3545639.  
Infeasibilities: 0.000000  
Total solver iterations: 49

Model Class: LP

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

Total constraints: 104  
Nonlinear constraints: 0

Total nonzeros: 924  
Nonlinear nonzeros: 0

Variable	Value	Reduced Cost
X1	0.000000	159.9000
X2	0.000000	65.00000
X3	0.000000	25.00000
X4	0.000000	1.666667
X5	1446.000	0.000000
X6	0.000000	139.9000
X7	0.000000	53.33333
X8	0.000000	18.33333

X9	3358.733	0.000000
X10	5086.967	0.000000
X11	0.000000	123.2333
X12	0.000000	46.66667
X13	0.000000	16.66667
X14	3677.300	0.000000
X15	0.000000	3.333333
X16	1089.600	0.000000
X17	0.000000	4.000000
X18	0.000000	211.5667
X19	0.000000	84.90000
X20	0.000000	26.66667
X21	0.000000	10.00000
X22	8666.400	0.000000
X23	170.1000	0.000000
X24	0.000000	4.000000
X25	0.000000	159.9000
X26	0.000000	58.23333
X27	0.000000	13.33333
X28	0.000000	5.000000
X29	3422.200	0.000000
X30	0.000000	129.9000
X31	0.000000	43.23333
X32	0.000000	5.000000
X33	2136.000	0.000000
X34	0.000000	212.0000
X35	0.000000	96.56667
X36	0.000000	28.23333
X37	0.000000	0.000000
X38	3841.400	0.000000
X39	1187.100	0.000000
X40	0.000000	4.000000
X41	0.000000	7.000000
X42	0.000000	10.00000
X43	0.000000	226.6667
X44	0.000000	102.0000
X45	0.000000	44.90000
X46	0.000000	11.56667
X47	2929.600	0.000000
X48	1166.000	0.000000
X49	0.000000	3.000000
X50	0.000000	8.000000
X51	0.000000	15.00000
X52	0.000000	22.90000
X53	0.000000	611.6667
X54	0.000000	169.0000
X55	0.000000	53.66667
X56	5158.700	0.000000
X57	561.3000	0.000000
X58	0.000000	3.000000
X59	0.000000	6.000000
X60	0.000000	11.00000
X61	0.000000	18.00000
X62	0.000000	192.6667
X63	717.3000	0.000000

### Περίπτωση 3<sup>η</sup>: Αύξηση του Q κατά 20%

Lingo 13.0 Solver Status [Lingo1]

Solver Status	
Model Class:	LP
State:	<b>Infeasible</b>
Objective:	350.221
Infeasibility:	700.441
Iterations:	68

Variables	
Total:	63
Nonlinear:	0
Integers:	0

Constraints	
Total:	104
Nonlinear:	0

Nonzeros	
Total:	924
Nonlinear:	0

Generator Memory Used (K)	
85	

Elapsed Runtime (hh:mm:ss)	
00:00:00	

Extended Solver Status	
Solver Type:	- - -
Best Obj:	- - -
Obj Bound:	- - -
Steps:	- - -
Active:	- - -

Update Interval:

LINGO Error Message

Error Code:

Error Text:  
**No feasible solution found.**

## Περίπτωση 4<sup>η</sup>: Αύξηση του k κατά 10%

### Γραμμικό Πρόγραμμα:

!SYNARTHSH STOXOY;

MIN = 49.9\*X1 + 60\*X2 + 85\*X3 + 100\*X4 + 120\*X5 + 49.9\*X6 + 60\*X7 + 85\*X8 + 100\*X9 + 120\*X10 + 49.9\*X11 + 60\*X12 + 85\*X13 + 100\*X14 + 120\*X15 + 10\*X16 + 14\*X17 + 39.9\*X18 + 49.9\*X19 + 60\*X20 + 85\*X21 + 100\*X22 + 10\*X23 + 14\*X24 + 39.9\*X25 + 49.9\*X26 + 60\*X27 + 85\*X28 + 100\*X29 + 39.9\*X30 + 49.9\*X31 + 60\*X32 + 85\*X33 + 32\*X34 + 39.9\*X35 + 49.9\*X36 + 60\*X37 + 85\*X38 + 10\*X39 + 14\*X40 + 17\*X41 + 20\*X42 + 25\*X43 + 32\*X44 + 39.9\*X45 + 49.9\*X46 + 60\*X47 + 17\*X48 + 20\*X49 + 25\*X50 + 32\*X51 + 39.9\*X52 + 10\*X53 + 14\*X54 + 17\*X55 + 20\*X56 + 14\*X57 + 17\*X58 + 20\*X59 + 25\*X60 + 32\*X61 + 10\*X62 + 14\*X63;

!PERIORISMOI MHKOUS;

X1 + X2 + X3 + X4 + X5 = 1446;  
X6 + X7 + X8 + X9 + X10 = 8445.7;  
X11 + X12 + X13 + X14 + X15 = 3677.3;  
X16 + X17 = 1089.6;  
X18 + X19 + X20 + X21 + X22 = 8666.4;  
X23 + X24 = 170.1;  
X25 + X26 + X27 + X28 + X29 = 3422.2;  
X30 + X31 + X32 + X33 = 2136.0;  
X34 + X35 + X36 + X37 + X38 = 3841.4;  
X39 + X40 + X41 + X42 = 1187.1;  
X43 + X44 + X45 + X46 + X47 = 2929.6;  
X48 + X49 + X50 + X51 + X52 = 1166.0;  
X53 + X54 + X55 + X56 = 5158.7;  
X57 + X58 + X59 + X60 + X61 = 561.3;  
X62 + X63 = 717.3;

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;

!PERIORISMOI PIEZOMETRIKOY FORTIOY;

0.0119\*X1 + 0.0070\*X2 + 0.0039\*X3 + 0.0022\*X4 + 0.0012\*X5 <= 265-151.45-5; !0-1;!eswteriko;

0.0119\*X1 + 0.0070\*X2 + 0.0039\*X3 + 0.0022\*X4 + 0.0012\*X5 + 10.481 <= 265-244.80-1; !0-2;!dexamenh;

0.0119\*X1 + 0.0070\*X2 + 0.0039\*X3 + 0.0022\*X4 + 0.0012\*X5 + 0.0108\*X6 + 0.0064\*X7 + 0.0036\*X8 + 0.0020\*X9 + 0.0011\*X10 <= 265-114.71-5; !0-3;!eswteriko;

0.0119\*X1 + 0.0070\*X2 + 0.0039\*X3 + 0.0022\*X4 + 0.0012\*X5 + 0.0108\*X6 + 0.0064\*X7 + 0.0036\*X8 + 0.0020\*X9 + 0.0011\*X10 + 10.985 <= 265-135.56-1; !0-4;!dexamenh;

0.0119\*X1 + 0.0070\*X2 + 0.0039\*X3 + 0.0022\*X4 + 0.0012\*X5 + 0.0108\*X6 + 0.0064\*X7  
+  
0.0036\*X8 + 0.0020\*X9 + 0.0011\*X10 + 0.0099\*X11 + 0.0058\*X12 + 0.0033\*X13 +  
0.0018\*X14 + 0.0010\*X15 <= 265-110.96-5; !0-5;!eswteriko;

0.0119\*X1 + 0.0070\*X2 + 0.0039\*X3 + 0.0022\*X4 + 0.0012\*X5 + 0.0108\*X6 + 0.0064\*X7  
+  
0.0036\*X8 + 0.0020\*X9 + 0.0011\*X10 + 0.0099\*X11 + 0.0058\*X12 + 0.0033\*X13 +  
0.0018\*X14 + 0.0010\*X15 + 3.704 <= 265-131.92-1; !0-6;!dexamenh;

0.0119\*X1 + 0.0070\*X2 + 0.0039\*X3 + 0.0022\*X4 + 0.0012\*X5 + 0.0108\*X6 + 0.0064\*X7  
+  
0.0036\*X8 + 0.0020\*X9 + 0.0011\*X10 + 0.0099\*X11 + 0.0058\*X12 + 0.0033\*X13 +  
0.0018\*X14 + 0.0010\*X15 + 0.0106\*X16 + 0.0038\*X17 <= 265-134.41-1; !0-  
7;!dexamenh;

0.0119\*X1 + 0.0070\*X2 + 0.0039\*X3 + 0.0022\*X4 + 0.0012\*X5 + 0.0108\*X6 + 0.0064\*X7  
+  
0.0036\*X8 + 0.0020\*X9 + 0.0011\*X10 + 0.0099\*X11 + 0.0058\*X12 + 0.0033\*X13 +  
0.0018\*X14 + 0.0010\*X15 + 0.0141\*X18 + 0.0077\*X19 + 0.0045\*X20 + 0.0025\*X21 +  
0.0014\*X22 <=265-104.6-5; !0-8;!eswteriko;

0.0119\*X1 + 0.0070\*X2 + 0.0039\*X3 + 0.0022\*X4 + 0.0012\*X5 + 0.0108\*X6 + 0.0064\*X7  
+  
0.0036\*X8 + 0.0020\*X9 + 0.0011\*X10 + 0.0099\*X11 + 0.0058\*X12 + 0.0033\*X13 +  
0.0018\*X14 + 0.0010\*X15 + 0.0141\*X18 + 0.0077\*X19 + 0.0045\*X20 + 0.0025\*X21 +  
0.0014\*X22 + 0.0106\*X23 + 0.0038\*X24 <= 265-119.16-1; !0-9;!dexamenh;

0.0119\*X1 + 0.0070\*X2 + 0.0039\*X3 + 0.0022\*X4 + 0.0012\*X5 + 0.0108\*X6 + 0.0064\*X7  
+  
0.0036\*X8 + 0.0020\*X9 + 0.0011\*X10 + 0.0099\*X11 + 0.0058\*X12 + 0.0033\*X13 +  
0.0018\*X14 + 0.0010\*X15 + 0.0141\*X18 + 0.0077\*X19 + 0.0045\*X20 + 0.0025\*X21 +  
0.0014\*X22 +  
0.0114\*X25 + 0.0062\*X26 + 0.0037\*X27 + 0.0021\*X28 + 0.0011\*X29  
<= 265-104.55-5; !0-10;!eswteriko;

0.0119\*X1 + 0.0070\*X2 + 0.0039\*X3 + 0.0022\*X4 + 0.0012\*X5 + 0.0108\*X6 + 0.0064\*X7  
+  
0.0036\*X8 + 0.0020\*X9 + 0.0011\*X10 + 0.0099\*X11 + 0.0058\*X12 + 0.0033\*X13 +  
0.0018\*X14 + 0.0010\*X15 + 0.0141\*X18 + 0.0077\*X19 + 0.0045\*X20 + 0.0025\*X21 +  
0.0014\*X22 +  
0.0114\*X25 + 0.0062\*X26 + 0.0037\*X27 + 0.0021\*X28 + 0.0011\*X29 + 8.931  
<= 265-129.76-1; !0-11;!dexamenh;

0.0119\*X1 + 0.0070\*X2 + 0.0039\*X3 + 0.0022\*X4 + 0.0012\*X5 + 0.0108\*X6 + 0.0064\*X7  
+  
0.0036\*X8 + 0.0020\*X9 + 0.0011\*X10 + 0.0099\*X11 + 0.0058\*X12 + 0.0033\*X13 +  
0.0018\*X14 + 0.0010\*X15 + 0.0141\*X18 + 0.0077\*X19 + 0.0045\*X20 + 0.0025\*X21 +  
0.0014\*X22 +  
0.0114\*X25 + 0.0062\*X26 + 0.0037\*X27 + 0.0021\*X28 + 0.0011\*X29 +  
0.0100\*X30 + 0.0054\*X31 + 0.0032\*X32 + 0.0018\*X33 <= 265-104.63-5; !0-  
12;!eswteriko;

0.0119\*X1 + 0.0070\*X2 + 0.0039\*X3 + 0.0022\*X4 + 0.0012\*X5 + 0.0108\*X6 + 0.0064\*X7  
+



0.0036\*X8 + 0.0020\*X9 + 0.0011\*X10 + 0.0099\*X11 + 0.0058\*X12 + 0.0033\*X13 +  
0.0018\*X14 + 0.0010\*X15 + 0.0141\*X18 + 0.0077\*X19 + 0.0045\*X20 + 0.0025\*X21 +  
0.0014\*X22 +  
0.0114\*X25 + 0.0062\*X26 + 0.0037\*X27 + 0.0021\*X28 + 0.0011\*X29 +  
0.0100\*X30 + 0.0054\*X31 + 0.0032\*X32 + 0.0018\*X33 + 4.703 <= 265-121.19-1; !0-  
13;!dexamenh;

0.0119\*X1 + 0.0070\*X2 + 0.0039\*X3 + 0.0022\*X4 + 0.0012\*X5 + 0.0108\*X6 + 0.0064\*X7  
+  
0.0036\*X8 + 0.0020\*X9 + 0.0011\*X10 + 0.0099\*X11 + 0.0058\*X12 + 0.0033\*X13 +  
0.0018\*X14 + 0.0010\*X15 + 0.0141\*X18 + 0.0077\*X19 + 0.0045\*X20 + 0.0025\*X21 +  
0.0014\*X22 +  
0.0114\*X25 + 0.0062\*X26 + 0.0037\*X27 + 0.0021\*X28 + 0.0011\*X29 +  
0.0100\*X30 + 0.0054\*X31 + 0.0032\*X32 + 0.0018\*X33 + 0.0138\*X34 + 0.0081\*X35 +  
0.0044\*X36 +  
0.0026\*X37 + 0.0015\*X38 <= 265-99.25-5; !0-14;!eswteriko;

0.0119\*X1 + 0.0070\*X2 + 0.0039\*X3 + 0.0022\*X4 + 0.0012\*X5 + 0.0108\*X6 + 0.0064\*X7  
+  
0.0036\*X8 + 0.0020\*X9 + 0.0011\*X10 + 0.0099\*X11 + 0.0058\*X12 + 0.0033\*X13 +  
0.0018\*X14 + 0.0010\*X15 + 0.0141\*X18 + 0.0077\*X19 + 0.0045\*X20 + 0.0025\*X21 +  
0.0014\*X22 +  
0.0114\*X25 + 0.0062\*X26 + 0.0037\*X27 + 0.0021\*X28 + 0.0011\*X29 +  
0.0100\*X30 + 0.0054\*X31 + 0.0032\*X32 + 0.0018\*X33 + 0.0138\*X34 + 0.0081\*X35 +  
0.0044\*X36 +  
0.0026\*X37 + 0.0015\*X38 + 0.0394\*X39 + 0.0141\*X40 + 0.0074\*X41 +  
0.0042\*X42 <= 265-111.83-1; !0-15;!dexamenh;

0.0119\*X1 + 0.0070\*X2 + 0.0039\*X3 + 0.0022\*X4 + 0.0012\*X5 + 0.0108\*X6 + 0.0064\*X7  
+  
0.0036\*X8 + 0.0020\*X9 + 0.0011\*X10 + 0.0099\*X11 + 0.0058\*X12 + 0.0033\*X13 +  
0.0018\*X14 + 0.0010\*X15 + 0.0141\*X18 + 0.0077\*X19 + 0.0045\*X20 + 0.0025\*X21 +  
0.0014\*X22 + 0.0114\*X25 + 0.0062\*X26 + 0.0037\*X27 + 0.0021\*X28 + 0.0011\*X29 +  
0.0100\*X30 + 0.0054\*X31 + 0.0032\*X32 + 0.0018\*X33 + 0.0138\*X34 + 0.0081\*X35 +  
0.0044\*X36 + 0.0026\*X37 + 0.0015\*X38 + 0.0136\*X43 + 0.0074\*X44 + 0.0044\*X45 +  
0.0024\*X46 + 0.0014\*X47 <= 265-91.53-5; !0-16;!eswteriko;

0.0119\*X1 + 0.0070\*X2 + 0.0039\*X3 + 0.0022\*X4 + 0.0012\*X5 + 0.0108\*X6 + 0.0064\*X7  
+  
0.0036\*X8 + 0.0020\*X9 + 0.0011\*X10 + 0.0099\*X11 + 0.0058\*X12 + 0.0033\*X13 +  
0.0018\*X14 + 0.0010\*X15 + 0.0141\*X18 + 0.0077\*X19 + 0.0045\*X20 + 0.0025\*X21 +  
0.0014\*X22 + 0.0114\*X25 + 0.0062\*X26 + 0.0037\*X27 + 0.0021\*X28 + 0.0011\*X29 +  
0.0100\*X30 + 0.0054\*X31 + 0.0032\*X32 + 0.0018\*X33 + 0.0138\*X34 + 0.0081\*X35 +  
0.0044\*X36 + 0.0026\*X37 + 0.0015\*X38 + 0.0136\*X43 + 0.0074\*X44 + 0.0044\*X45 +  
0.0024\*X46 + 0.0014\*X47 + 1.298 <= 265-108.80-1; !0-17;!dexamenh;

0.0119\*X1 + 0.0070\*X2 + 0.0039\*X3 + 0.0022\*X4 + 0.0012\*X5 + 0.0108\*X6 + 0.0064\*X7  
+  
0.0036\*X8 + 0.0020\*X9 + 0.0011\*X10 + 0.0099\*X11 + 0.0058\*X12 + 0.0033\*X13 +  
0.0018\*X14 + 0.0010\*X15 + 0.0141\*X18 + 0.0077\*X19 + 0.0045\*X20 + 0.0025\*X21 +  
0.0014\*X22 + 0.0114\*X25 + 0.0062\*X26 + 0.0037\*X27 + 0.0021\*X28 + 0.0011\*X29 +  
0.0100\*X30 + 0.0054\*X31 + 0.0032\*X32 + 0.0018\*X33 + 0.0138\*X34 + 0.0081\*X35 +  
0.0044\*X36 + 0.0026\*X37 + 0.0015\*X38 + 0.0136\*X43 + 0.0074\*X44 + 0.0044\*X45 +  
0.0024\*X46 + 0.0014\*X47 + 0.0196\*X48 + 0.0110\*X49 + 0.0056\*X50 + 0.0031\*X51 +  
0.0018\*X52 <= 265-106.61-5; !0-18;!eswteriko;

0.0119\*X1 + 0.0070\*X2 + 0.0039\*X3 + 0.0022\*X4 + 0.0012\*X5 + 0.0108\*X6 + 0.0064\*X7  
+

0.0036\*X8 + 0.0020\*X9 + 0.0011\*X10 + 0.0099\*X11 + 0.0058\*X12 + 0.0033\*X13 +  
0.0018\*X14 + 0.0010\*X15 + 0.0141\*X18 + 0.0077\*X19 + 0.0045\*X20 + 0.0025\*X21 +  
0.0014\*X22 + 0.0114\*X25 + 0.0062\*X26 + 0.0037\*X27 + 0.0021\*X28 + 0.0011\*X29 +  
0.0100\*X30 + 0.0054\*X31 + 0.0032\*X32 + 0.0018\*X33 + 0.0138\*X34 + 0.0081\*X35 +  
0.0044\*X36 + 0.0026\*X37 + 0.0015\*X38 + 0.0136\*X43 + 0.0074\*X44 + 0.0044\*X45 +  
0.0024\*X46 + 0.0014\*X47 + 0.0196\*X48 + 0.0110\*X49 + 0.0056\*X50 + 0.0031\*X51 +  
0.0018\*X52 + 0.0297\*X57 + 0.0155\*X58 + 0.0088\*X59 + 0.0044\*X60 + 0.0025\*X61  
<= 265-117.13-1; !0-19;!dexamenh;

0.0119\*X1 + 0.0070\*X2 + 0.0039\*X3 + 0.0022\*X4 + 0.0012\*X5 + 0.0108\*X6 + 0.0064\*X7  
+  
0.0036\*X8 + 0.0020\*X9 + 0.0011\*X10 + 0.0099\*X11 + 0.0058\*X12 + 0.0033\*X13 +  
0.0018\*X14 + 0.0010\*X15 + 0.0141\*X18 + 0.0077\*X19 + 0.0045\*X20 + 0.0025\*X21 +  
0.0014\*X22 + 0.0114\*X25 + 0.0062\*X26 + 0.0037\*X27 + 0.0021\*X28 + 0.0011\*X29 +  
0.0100\*X30 + 0.0054\*X31 + 0.0032\*X32 + 0.0018\*X33 + 0.0138\*X34 + 0.0081\*X35 +  
0.0044\*X36 + 0.0026\*X37 + 0.0015\*X38 + 0.0136\*X43 + 0.0074\*X44 + 0.0044\*X45 +  
0.0024\*X46 + 0.0014\*X47 + 0.0196\*X48 + 0.0110\*X49 + 0.0056\*X50 + 0.0031\*X51 +  
0.0018\*X52 + 4.108 <= 265-106.61-1; !0-20;!dexamenh;

0.0119\*X1 + 0.0070\*X2 + 0.0039\*X3 + 0.0022\*X4 + 0.0012\*X5 + 0.0108\*X6 + 0.0064\*X7  
+  
0.0036\*X8 + 0.0020\*X9 + 0.0011\*X10 + 0.0099\*X11 + 0.0058\*X12 + 0.0033\*X13 +  
0.0018\*X14 + 0.0010\*X15 + 0.0141\*X18 + 0.0077\*X19 + 0.0045\*X20 + 0.0025\*X21 +  
0.0014\*X22 + 0.0114\*X25 + 0.0062\*X26 + 0.0037\*X27 + 0.0021\*X28 + 0.0011\*X29 +  
0.0100\*X30 + 0.0054\*X31 + 0.0032\*X32 + 0.0018\*X33 + 0.0138\*X34 + 0.0081\*X35 +  
0.0044\*X36 + 0.0026\*X37 + 0.0015\*X38 + 0.0136\*X43 + 0.0074\*X44 + 0.0044\*X45 +  
0.0024\*X46 + 0.0014\*X47 + 0.0324\*X53 + 0.0116\*X54 + 0.0061\*X55 + 0.0035\*X56  
<= 265-91.53-5; !0-21;!eswteriko;

0.0119\*X1 + 0.0070\*X2 + 0.0039\*X3 + 0.0022\*X4 + 0.0012\*X5 + 0.0108\*X6 + 0.0064\*X7  
+  
0.0036\*X8 + 0.0020\*X9 + 0.0011\*X10 + 0.0099\*X11 + 0.0058\*X12 + 0.0033\*X13 +  
0.0018\*X14 + 0.0010\*X15 + 0.0141\*X18 + 0.0077\*X19 + 0.0045\*X20 + 0.0025\*X21 +  
0.0014\*X22 + 0.0114\*X25 + 0.0062\*X26 + 0.0037\*X27 + 0.0021\*X28 + 0.0011\*X29 +  
0.0100\*X30 + 0.0054\*X31 + 0.0032\*X32 + 0.0018\*X33 + 0.0138\*X34 + 0.0081\*X35 +  
0.0044\*X36 + 0.0026\*X37 + 0.0015\*X38 + 0.0136\*X43 + 0.0074\*X44 + 0.0044\*X45 +  
0.0024\*X46 + 0.0014\*X47 + 0.0324\*X53 + 0.0116\*X54 + 0.0061\*X55 + 0.0035\*X56 +  
23.146 <= 265-125.33-1; !0-22;!dexamenh;

0.0119\*X1 + 0.0070\*X2 + 0.0039\*X3 + 0.0022\*X4 + 0.0012\*X5 + 0.0108\*X6 + 0.0064\*X7  
+  
0.0036\*X8 + 0.0020\*X9 + 0.0011\*X10 + 0.0099\*X11 + 0.0058\*X12 + 0.0033\*X13 +  
0.0018\*X14 + 0.0010\*X15 + 0.0141\*X18 + 0.0077\*X19 + 0.0045\*X20 + 0.0025\*X21 +  
0.0014\*X22 + 0.0114\*X25 + 0.0062\*X26 + 0.0037\*X27 + 0.0021\*X28 + 0.0011\*X29 +  
0.0100\*X30 + 0.0054\*X31 + 0.0032\*X32 + 0.0018\*X33 + 0.0138\*X34 + 0.0081\*X35 +  
0.0044\*X36 + 0.0026\*X37 + 0.0015\*X38 + 0.0136\*X43 + 0.0074\*X44 + 0.0044\*X45 +  
0.0024\*X46 + 0.0014\*X47 + 0.0324\*X53 + 0.0116\*X54 + 0.0061\*X55 + 0.0035\*X56 +  
0.0143\*X62 + 0.0052\*X63 <= 265-101.5-5; !0-23;!eswteriko;

0.0119\*X1 + 0.0070\*X2 + 0.0039\*X3 + 0.0022\*X4 + 0.0012\*X5 + 0.0108\*X6 + 0.0064\*X7  
+  
0.0036\*X8 + 0.0020\*X9 + 0.0011\*X10 + 0.0099\*X11 + 0.0058\*X12 + 0.0033\*X13 +  
0.0018\*X14 + 0.0010\*X15 + 0.0141\*X18 + 0.0077\*X19 + 0.0045\*X20 + 0.0025\*X21 +  
0.0014\*X22 + 0.0114\*X25 + 0.0062\*X26 + 0.0037\*X27 + 0.0021\*X28 + 0.0011\*X29 +  
0.0100\*X30 + 0.0054\*X31 + 0.0032\*X32 + 0.0018\*X33 + 0.0138\*X34 + 0.0081\*X35 +  
0.0044\*X36 + 0.0026\*X37 + 0.0015\*X38 + 0.0136\*X43 + 0.0074\*X44 + 0.0044\*X45 +  
0.0024\*X46 + 0.0014\*X47 + 0.0324\*X53 + 0.0116\*X54 + 0.0061\*X55 + 0.0035\*X56 +  
0.0143\*X62 + 0.0052\*X63 + 4.053 <= 265-136.22-1; !0-24;!dexamenh;

$0.0119 \cdot X_1 + 0.0070 \cdot X_2 + 0.0039 \cdot X_3 + 0.0022 \cdot X_4 + 0.0012 \cdot X_5 + 0.0108 \cdot X_6 + 0.0064 \cdot X_7$   
 $+ 0.0036 \cdot X_8 + 0.0020 \cdot X_9 + 0.0011 \cdot X_{10} + 0.0099 \cdot X_{11} + 0.0058 \cdot X_{12} + 0.0033 \cdot X_{13} +$   
 $0.0018 \cdot X_{14} + 0.0010 \cdot X_{15} + 0.0141 \cdot X_{18} + 0.0077 \cdot X_{19} + 0.0045 \cdot X_{20} + 0.0025 \cdot X_{21} +$   
 $0.0014 \cdot X_{22} + 0.0114 \cdot X_{25} + 0.0062 \cdot X_{26} + 0.0037 \cdot X_{27} + 0.0021 \cdot X_{28} + 0.0011 \cdot X_{29} +$   
 $0.0100 \cdot X_{30} + 0.0054 \cdot X_{31} + 0.0032 \cdot X_{32} + 0.0018 \cdot X_{33} + 0.0138 \cdot X_{34} + 0.0081 \cdot X_{35} +$   
 $0.0044 \cdot X_{36} + 0.0026 \cdot X_{37} + 0.0015 \cdot X_{38} + 0.0136 \cdot X_{43} + 0.0074 \cdot X_{44} + 0.0044 \cdot X_{45} +$   
 $0.0024 \cdot X_{46} + 0.0014 \cdot X_{47} + 0.0324 \cdot X_{53} + 0.0116 \cdot X_{54} + 0.0061 \cdot X_{55} + 0.0035 \cdot X_{56} +$   
 $0.0143 \cdot X_{62} + 0.0052 \cdot X_{63} + 10.529 \leq 265 - 158.34 - 1; !0-25;!dexamenh;$

## Report:

Global optimal solution found.

Objective value: 3115914.  
 Infeasibilities: 0.000000  
 Total solver iterations: 44

Model Class: LP

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

Total constraints: 104  
 Nonlinear constraints: 0

Total nonzeros: 924  
 Nonlinear nonzeros: 0

Variable	Value	Reduced Cost
X1	0.000000	82.17273
X2	0.000000	25.45455
X3	0.000000	8.181818
X4	1446.000	0.000000
X5	0.000000	6.363636
X6	0.000000	69.90000
X7	0.000000	20.00000
X8	0.000000	6.818182
X9	8445.700	0.000000
X10	0.000000	7.727273
X11	0.000000	60.35455
X12	0.000000	14.54545
X13	0.000000	5.454545
X14	3677.300	0.000000
X15	0.000000	9.090909
X16	1089.600	0.000000
X17	0.000000	4.000000
X18	0.000000	113.0818
X19	0.000000	35.80909
X20	0.000000	2.272727
X21	849.5182	0.000000
X22	7816.882	0.000000
X23	170.1000	0.000000
X24	0.000000	4.000000
X25	0.000000	84.90000
X26	0.000000	23.99091
X27	3422.200	0.000000
X28	0.000000	3.181818
X29	0.000000	4.545455

X30	0.000000	72.62727
X31	0.000000	19.90000
X32	2136.000	0.000000
X33	0.000000	5.909091
X34	0.000000	124.7273
X35	0.000000	54.90000
X36	0.000000	14.44545
X37	3841.400	0.000000
X38	0.000000	10.00000
X39	1187.100	0.000000
X40	0.000000	4.000000
X41	0.000000	7.000000
X42	0.000000	10.00000
X43	0.000000	131.3636
X44	0.000000	53.81818
X45	0.000000	20.80909
X46	0.000000	3.536364
X47	2929.600	0.000000
X48	1166.000	0.000000
X49	0.000000	3.000000
X50	0.000000	8.000000
X51	0.000000	15.00000
X52	0.000000	22.90000
X53	0.000000	384.0909
X54	0.000000	104.4545
X55	0.000000	32.45455
X56	5158.700	0.000000
X57	561.3000	0.000000
X58	0.000000	3.000000
X59	0.000000	6.000000
X60	0.000000	11.00000
X61	0.000000	18.00000
X62	0.000000	120.0909
X63	717.3000	0.000000

### Περίπτωση 5<sup>η</sup>: Αύξηση του k κατά 15%

#### Γραμμικό Πρόγραμμα:

!SYNARTHSH STOXΟΥ;

MIN = 49.9\*X1 + 60\*X2 + 85\*X3 + 100\*X4 + 120\*X5 + 49.9\*X6 + 60\*X7 + 85\*X8 + 100\*X9 + 120\*X10 + 49.9\*X11 + 60\*X12 + 85\*X13 + 100\*X14 + 120\*X15 + 10\*X16 + 14\*X17 + 39.9\*X18 + 49.9\*X19 + 60\*X20 + 85\*X21 + 100\*X22 + 10\*X23 + 14\*X24 + 39.9\*X25 + 49.9\*X26 + 60\*X27 + 85\*X28 + 100\*X29 + 39.9\*X30 + 49.9\*X31 + 60\*X32 + 85\*X33 + 32\*X34 + 39.9\*X35 + 49.9\*X36 + 60\*X37 + 85\*X38 + 10\*X39 + 14\*X40 + 17\*X41 + 20\*X42 + 25\*X43 + 32\*X44 + 39.9\*X45 + 49.9\*X46 + 60\*X47 + 17\*X48 + 20\*X49 + 25\*X50 + 32\*X51 + 39.9\*X52 + 10\*X53 + 14\*X54 + 17\*X55 + 20\*X56 + 14\*X57 + 17\*X58 + 20\*X59 + 25\*X60 + 32\*X61 + 10\*X62 + 14\*X63;

!PERIORISMOI ΜΗΚΟΥΣ;

X1 + X2 + X3 + X4 + X5 = 1446;  
X6 + X7 + X8 + X9 + X10 = 8445.7;  
X11 + X12 + X13 + X14 + X15 = 3677.3;  
X16 + X17 = 1089.6;

X18 + X19 + X20 + X21 + X22 = 8666.4;  
X23 + X24 = 170.1;  
X25 + X26 + X27 + X28 + X29 = 3422.2;  
X30 + X31 + X32 + X33 = 2136.0;  
X34 + X35 + X36 + X37 + X38 = 3841.4;  
X39 + X40 + X41 + X42 = 1187.1;  
X43 + X44 + X45 + X46 + X47 = 2929.6;  
X48 + X49 + X50 + X51 + X52 = 1166.0;  
X53 + X54 + X55 + X56 = 5158.7;  
X57 + X58 + X59 + X60 + X61 = 561.3;  
X62 + X63 = 717.3;

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;

!PERIORISMOI PIEZOMETRIKOY FORTIOY;

0.0120\*X1 + 0.0070\*X2 + 0.0039\*X3 + 0.0022\*X4 + 0.0012\*X5 <= 265-151.45-5; !0-1;!eswteriko;

0.0120\*X1 + 0.0070\*X2 + 0.0039\*X3 + 0.0022\*X4 + 0.0012\*X5 + 10.541 <= 265-244.80-1; !0-2;!dexamenh;

0.0120\*X1 + 0.0070\*X2 + 0.0039\*X3 + 0.0022\*X4 + 0.0012\*X5 + 0.0109\*X6 + 0.0064\*X7 +  
0.0036\*X8 + 0.0020\*X9 + 0.0011\*X10 <= 265-114.71-5; !0-3;!eswteriko;

0.0120\*X1 + 0.0070\*X2 + 0.0039\*X3 + 0.0022\*X4 + 0.0012\*X5 + 0.0109\*X6 +  
0.0064\*X7 +  
0.0036\*X8 + 0.0020\*X9 + 0.0011\*X10 + 11.047 <= 265-135.56-1; !0-4;!dexamenh;

0.0120\*X1 + 0.0070\*X2 + 0.0039\*X3 + 0.0022\*X4 + 0.0012\*X5 + 0.0109\*X6 + 0.0064\*X7 +  
0.0036\*X8 + 0.0020\*X9 + 0.0011\*X10 + 0.0099\*X11 + 0.0058\*X12 + 0.0033\*X13 +  
0.0018\*X14 + 0.0010\*X15 <= 265-110.96-5; !0-5;!eswteriko;

0.0120\*X1 + 0.0070\*X2 + 0.0039\*X3 + 0.0022\*X4 + 0.0012\*X5 + 0.0109\*X6 + 0.0064\*X7 +  
0.0036\*X8 + 0.0020\*X9 + 0.0011\*X10 + 0.0099\*X11 + 0.0058\*X12 + 0.0033\*X13 +  
0.0018\*X14 + 0.0010\*X15 + 3.721 <= 265-131.92-1; !0-6;!dexamenh;

0.0120\*X1 + 0.0070\*X2 + 0.0039\*X3 + 0.0022\*X4 + 0.0012\*X5 + 0.0109\*X6 + 0.0064\*X7 +  
0.0036\*X8 + 0.0020\*X9 + 0.0011\*X10 + 0.0099\*X11 + 0.0058\*X12 + 0.0033\*X13 +  
0.0018\*X14 + 0.0010\*X15 + 0.0106\*X16 + 0.0038\*X17 <= 265-134.41-1; !0-7;!dexamenh;

0.0120\*X1 + 0.0070\*X2 + 0.0039\*X3 + 0.0022\*X4 + 0.0012\*X5 + 0.0109\*X6 + 0.0064\*X7 +  
0.0036\*X8 + 0.0020\*X9 + 0.0011\*X10 + 0.0099\*X11 + 0.0058\*X12 + 0.0033\*X13 +  
0.0018\*X14 + 0.0010\*X15 + 0.0142\*X18 + 0.0077\*X19 + 0.0045\*X20 + 0.0026\*X21 +

0.0014\*X22 <=265-104.6-5; !0-8;!eswteriko;

0.0120\*X1 + 0.0070\*X2 + 0.0039\*X3 + 0.0022\*X4 + 0.0012\*X5 + 0.0109\*X6 + 0.0064\*X7  
+  
0.0036\*X8 + 0.0020\*X9 + 0.0011\*X10 + 0.0099\*X11 + 0.0058\*X12 + 0.0033\*X13 +  
0.0018\*X14 + 0.0010\*X15 + 0.0142\*X18 + 0.0077\*X19 + 0.0045\*X20 + 0.0026\*X21 +  
0.0014\*X22 + 0.0106\*X23 + 0.0038\*X24 <= 265-119.16-1; !0-9;!dexamenh;

0.0120\*X1 + 0.0070\*X2 + 0.0039\*X3 + 0.0022\*X4 + 0.0012\*X5 + 0.0109\*X6 + 0.0064\*X7  
+  
0.0036\*X8 + 0.0020\*X9 + 0.0011\*X10 + 0.0099\*X11 + 0.0058\*X12 + 0.0033\*X13 +  
0.0018\*X14 + 0.0010\*X15 + 0.0142\*X18 + 0.0077\*X19 + 0.0045\*X20 + 0.0026\*X21 +  
0.0014\*X22 + 0.0114\*X25 + 0.0063\*X26 + 0.0037\*X27 + 0.0021\*X28 + 0.0011\*X29  
<= 265-104.55-5; !0-10;!eswteriko;

0.0120\*X1 + 0.0070\*X2 + 0.0039\*X3 + 0.0022\*X4 + 0.0012\*X5 + 0.0109\*X6 + 0.0064\*X7  
+  
0.0036\*X8 + 0.0020\*X9 + 0.0011\*X10 + 0.0099\*X11 + 0.0058\*X12 + 0.0033\*X13 +  
0.0018\*X14 + 0.0010\*X15 + 0.0142\*X18 + 0.0077\*X19 + 0.0045\*X20 + 0.0026\*X21 +  
0.0014\*X22 + 0.0114\*X25 + 0.0063\*X26 + 0.0037\*X27 + 0.0021\*X28 + 0.0011\*X29 +  
8.982  
<= 265-129.76-1; !0-11;!dexamenh;

0.0120\*X1 + 0.0070\*X2 + 0.0039\*X3 + 0.0022\*X4 + 0.0012\*X5 + 0.0109\*X6 +  
0.0064\*X7 +  
0.0036\*X8 + 0.0020\*X9 + 0.0011\*X10 + 0.0099\*X11 + 0.0058\*X12 + 0.0033\*X13 +  
0.0018\*X14 + 0.0010\*X15 + 0.0142\*X18 + 0.0077\*X19 + 0.0045\*X20 + 0.0026\*X21 +  
0.0014\*X22 +  
0.0114\*X25 + 0.0063\*X26 + 0.0037\*X27 + 0.0021\*X28 + 0.0011\*X29 +  
0.0100\*X30 + 0.0055\*X31 + 0.0032\*X32 + 0.0018\*X33 <= 265-104.63-5; !0-  
12;!eswteriko;

0.0120\*X1 + 0.0070\*X2 + 0.0039\*X3 + 0.0022\*X4 + 0.0012\*X5 + 0.0109\*X6 + 0.0064\*X7  
+  
0.0036\*X8 + 0.0020\*X9 + 0.0011\*X10 + 0.0099\*X11 + 0.0058\*X12 + 0.0033\*X13 +  
0.0018\*X14 + 0.0010\*X15 + 0.0142\*X18 + 0.0077\*X19 + 0.0045\*X20 + 0.0026\*X21 +  
0.0014\*X22 +  
0.0114\*X25 + 0.0063\*X26 + 0.0037\*X27 + 0.0021\*X28 + 0.0011\*X29 +  
0.0100\*X30 + 0.0055\*X31 + 0.0032\*X32 + 0.0018\*X33 + 4.73 <= 265-121.19-1; !0-  
13;!dexamenh;

0.0120\*X1 + 0.0070\*X2 + 0.0039\*X3 + 0.0022\*X4 + 0.0012\*X5 + 0.0109\*X6 + 0.0064\*X7  
+  
0.0036\*X8 + 0.0020\*X9 + 0.0011\*X10 + 0.0099\*X11 + 0.0058\*X12 + 0.0033\*X13 +  
0.0018\*X14 + 0.0010\*X15 + 0.0142\*X18 + 0.0077\*X19 + 0.0045\*X20 + 0.0026\*X21 +  
0.0014\*X22 +  
0.0114\*X25 + 0.0063\*X26 + 0.0037\*X27 + 0.0021\*X28 + 0.0011\*X29 +  
0.0100\*X30 + 0.0055\*X31 + 0.0032\*X32 + 0.0018\*X33 + 0.0139\*X34 + 0.0082\*X35 +  
0.0045\*X36 +  
0.0026\*X37 + 0.0015\*X38 <= 265-99.25-5; !0-14;!eswteriko;

0.0120\*X1 + 0.0070\*X2 + 0.0039\*X3 + 0.0022\*X4 + 0.0012\*X5 + 0.0109\*X6 + 0.0064\*X7  
+  
0.0036\*X8 + 0.0020\*X9 + 0.0011\*X10 + 0.0099\*X11 + 0.0058\*X12 + 0.0033\*X13 +  
0.0018\*X14 + 0.0010\*X15 + 0.0142\*X18 + 0.0077\*X19 + 0.0045\*X20 + 0.0026\*X21 +  
0.0014\*X22 + 0.0114\*X25 + 0.0063\*X26 + 0.0037\*X27 + 0.0021\*X28 + 0.0011\*X29 +

0.0100\*X30 + 0.0054\*X31 + 0.0032\*X32 + 0.0018\*X33 + 0.0139\*X34 + 0.0082\*X35 +  
0.0045\*X36 + 0.0026\*X37 + 0.0015\*X38 + 0.0394\*X39 + 0.0141\*X40 + 0.0074\*X41 +  
0.0042\*X42 <= 265-111.83-1; !0-15;!dexamenh;

0.0120\*X1 + 0.0070\*X2 + 0.0039\*X3 + 0.0022\*X4 + 0.0012\*X5 + 0.0109\*X6 + 0.0064\*X7  
+  
0.0036\*X8 + 0.0020\*X9 + 0.0011\*X10 + 0.0099\*X11 + 0.0058\*X12 + 0.0033\*X13 +  
0.0018\*X14 + 0.0010\*X15 + 0.0142\*X18 + 0.0077\*X19 + 0.0045\*X20 + 0.0026\*X21 +  
0.0014\*X22 + 0.0114\*X25 + 0.0063\*X26 + 0.0037\*X27 + 0.0021\*X28 + 0.0012\*X29 +  
0.0100\*X30 + 0.0055\*X31 + 0.0032\*X32 + 0.0018\*X33 + 0.0139\*X34 + 0.0082\*X35 +  
0.0045\*X36 + 0.0026\*X37 + 0.0015\*X38 + 0.0137\*X43 + 0.0075\*X44 + 0.0044\*X45 +  
0.0024\*X46 + 0.0014\*X47 <= 265-91.53-5; !0-16;!eswteriko;

0.0120\*X1 + 0.0070\*X2 + 0.0039\*X3 + 0.0022\*X4 + 0.0012\*X5 + 0.0109\*X6 + 0.0064\*X7  
+  
0.0036\*X8 + 0.0020\*X9 + 0.0011\*X10 + 0.0099\*X11 + 0.0058\*X12 + 0.0033\*X13 +  
0.0018\*X14 + 0.0010\*X15 + 0.0142\*X18 + 0.0077\*X19 + 0.0045\*X20 + 0.0026\*X21 +  
0.0014\*X22 + 0.0114\*X25 + 0.0063\*X26 + 0.0037\*X27 + 0.0021\*X28 + 0.0012\*X29 +  
0.0100\*X30 + 0.0055\*X31 + 0.0032\*X32 + 0.0018\*X33 + 0.0139\*X34 + 0.0082\*X35 +  
0.0045\*X36 + 0.0026\*X37 + 0.0015\*X38 + 0.0137\*X43 + 0.0075\*X44 + 0.0044\*X45 +  
0.0024\*X46 + 0.0014\*X47 + 1.302 <= 265-108.80-1; !0-17;!dexamenh;

0.0120\*X1 + 0.0070\*X2 + 0.0039\*X3 + 0.0022\*X4 + 0.0012\*X5 + 0.0109\*X6 + 0.0064\*X7  
+  
0.0036\*X8 + 0.0020\*X9 + 0.0011\*X10 + 0.0099\*X11 + 0.0058\*X12 + 0.0033\*X13 +  
0.0018\*X14 + 0.0010\*X15 + 0.0142\*X18 + 0.0077\*X19 + 0.0045\*X20 + 0.0026\*X21 +  
0.0014\*X22 + 0.0114\*X25 + 0.0063\*X26 + 0.0037\*X27 + 0.0021\*X28 + 0.0012\*X29 +  
0.0100\*X30 + 0.0055\*X31 + 0.0032\*X32 + 0.0018\*X33 + 0.0139\*X34 + 0.0082\*X35 +  
0.0045\*X36 + 0.0026\*X37 + 0.0015\*X38 + 0.0137\*X43 + 0.0075\*X44 + 0.0044\*X45 +  
0.0024\*X46 + 0.0014\*X47 + 0.0197\*X48 + 0.0111\*X49 + 0.0056\*X50 + 0.0031\*X51 +  
0.0018\*X52 <= 265-106.61-5; !0-18;!eswteriko;

0.0120\*X1 + 0.0070\*X2 + 0.0039\*X3 + 0.0022\*X4 + 0.0012\*X5 + 0.0109\*X6 + 0.0064\*X7  
+  
0.0036\*X8 + 0.0020\*X9 + 0.0011\*X10 + 0.0099\*X11 + 0.0058\*X12 + 0.0033\*X13 +  
0.0018\*X14 + 0.0010\*X15 + 0.0142\*X18 + 0.0077\*X19 + 0.0045\*X20 + 0.0026\*X21 +  
0.0014\*X22 + 0.0114\*X25 + 0.0063\*X26 + 0.0037\*X27 + 0.0021\*X28 + 0.0012\*X29 +  
0.0100\*X30 + 0.0055\*X31 + 0.0032\*X32 + 0.0018\*X33 + 0.0139\*X34 + 0.0082\*X35 +  
0.0045\*X36 + 0.0026\*X37 + 0.0015\*X38 + 0.0137\*X43 + 0.0075\*X44 + 0.0044\*X45 +  
0.0024\*X46 + 0.0014\*X47 + 0.0197\*X48 + 0.0111\*X49 + 0.0056\*X50 + 0.0031\*X51 +  
0.0018\*X52 + 0.0300\*X57 + 0.0156\*X58 + 0.0088\*X59 + 0.0045\*X60 + 0.0025\*X61  
<= 265-117.13-1; !0-19;!dexamenh;

0.0120\*X1 + 0.0070\*X2 + 0.0039\*X3 + 0.0022\*X4 + 0.0012\*X5 + 0.0109\*X6 + 0.0064\*X7  
+  
0.0036\*X8 + 0.0020\*X9 + 0.0011\*X10 + 0.0099\*X11 + 0.0058\*X12 + 0.0033\*X13 +  
0.0018\*X14 + 0.0010\*X15 + 0.0142\*X18 + 0.0077\*X19 + 0.0045\*X20 + 0.0026\*X21 +  
0.0014\*X22 + 0.0114\*X25 + 0.0063\*X26 + 0.0037\*X27 + 0.0021\*X28 + 0.0012\*X29 +  
0.0100\*X30 + 0.0055\*X31 + 0.0032\*X32 + 0.0018\*X33 + 0.0139\*X34 + 0.0082\*X35 +  
0.0045\*X36 + 0.0026\*X37 + 0.0015\*X38 + 0.0137\*X43 + 0.0075\*X44 + 0.0044\*X45 +  
0.0024\*X46 + 0.0014\*X47 + 0.0197\*X48 + 0.0111\*X49 + 0.0056\*X50 + 0.0031\*X51 +  
0.0018\*X52 + 4.127 <= 265-106.61-1; !0-20;!dexamenh;

0.0120\*X1 + 0.0070\*X2 + 0.0039\*X3 + 0.0022\*X4 + 0.0012\*X5 + 0.0109\*X6 + 0.0064\*X7  
+  
0.0036\*X8 + 0.0020\*X9 + 0.0011\*X10 + 0.0099\*X11 + 0.0058\*X12 + 0.0033\*X13 +  
0.0018\*X14 + 0.0010\*X15 + 0.0142\*X18 + 0.0077\*X19 + 0.0045\*X20 + 0.0026\*X21 +  
0.0014\*X22 + 0.0114\*X25 + 0.0063\*X26 + 0.0037\*X27 + 0.0021\*X28 + 0.0012\*X29 +

0.0100\*X30 + 0.0055\*X31 + 0.0032\*X32 + 0.0018\*X33 + 0.0139\*X34 + 0.0082\*X35 +  
0.0045\*X36 + 0.0026\*X37 + 0.0015\*X38 + 0.0137\*X43 + 0.0075\*X44 + 0.0044\*X45 +  
0.0024\*X46 + 0.0014\*X47 + 0.0326\*X53 + 0.0117\*X54 + 0.0061\*X55 + 0.0035\*X56  
<= 265-91.53-5; !0-21;!eswteriko;

0.0120\*X1 + 0.0070\*X2 + 0.0039\*X3 + 0.0022\*X4 + 0.0012\*X5 + 0.0109\*X6 + 0.0064\*X7  
+  
0.0036\*X8 + 0.0020\*X9 + 0.0011\*X10 + 0.0099\*X11 + 0.0058\*X12 + 0.0033\*X13 +  
0.0018\*X14 + 0.0010\*X15 + 0.0142\*X18 + 0.0077\*X19 + 0.0045\*X20 + 0.0026\*X21 +  
0.0014\*X22 + 0.0114\*X25 + 0.0062\*X26 + 0.0037\*X27 + 0.0021\*X28 + 0.0012\*X29 +  
0.0100\*X30 + 0.0055\*X31 + 0.0032\*X32 + 0.0018\*X33 + 0.0139\*X34 + 0.0082\*X35 +  
0.0045\*X36 + 0.0026\*X37 + 0.0015\*X38 + 0.0137\*X43 + 0.0075\*X44 + 0.0044\*X45 +  
0.0024\*X46 + 0.0014\*X47 + 0.0326\*X53 + 0.0117\*X54 + 0.0061\*X55 + 0.0035\*X56 +  
23.284 <= 265-125.33-1; !0-22;!dexamenh;

0.0120\*X1 + 0.0070\*X2 + 0.0039\*X3 + 0.0022\*X4 + 0.0012\*X5 + 0.0109\*X6 + 0.0064\*X7  
+  
0.0036\*X8 + 0.0020\*X9 + 0.0011\*X10 + 0.0099\*X11 + 0.0058\*X12 + 0.0033\*X13 +  
0.0018\*X14 + 0.0010\*X15 + 0.0142\*X18 + 0.0077\*X19 + 0.0045\*X20 + 0.0026\*X21 +  
0.0014\*X22 + 0.0114\*X25 + 0.0063\*X26 + 0.0037\*X27 + 0.0021\*X28 + 0.0012\*X29 +  
0.0100\*X30 + 0.0055\*X31 + 0.0032\*X32 + 0.0018\*X33 + 0.0139\*X34 + 0.0082\*X35 +  
0.0045\*X36 + 0.0026\*X37 + 0.0015\*X38 + 0.0137\*X43 + 0.0075\*X44 + 0.0044\*X45 +  
0.0024\*X46 + 0.0014\*X47 + 0.0326\*X53 + 0.0117\*X54 + 0.0061\*X55 + 0.0035\*X56 +  
0.0145\*X62 + 0.0052\*X63 <= 265-101.5-5; !0-23;!eswteriko;

0.0120\*X1 + 0.0070\*X2 + 0.0039\*X3 + 0.0022\*X4 + 0.0012\*X5 + 0.0109\*X6 + 0.0064\*X7  
+  
0.0036\*X8 + 0.0020\*X9 + 0.0011\*X10 + 0.0099\*X11 + 0.0058\*X12 + 0.0033\*X13 +  
0.0018\*X14 + 0.0010\*X15 + 0.0142\*X18 + 0.0077\*X19 + 0.0045\*X20 + 0.0026\*X21 +  
0.0014\*X22 + 0.0114\*X25 + 0.0063\*X26 + 0.0037\*X27 + 0.0021\*X28 + 0.0012\*X29 +  
0.0100\*X30 + 0.0055\*X31 + 0.0032\*X32 + 0.0018\*X33 + 0.0139\*X34 + 0.0082\*X35 +  
0.0045\*X36 + 0.0026\*X37 + 0.0015\*X38 + 0.0137\*X43 + 0.0075\*X44 + 0.0044\*X45 +  
0.0024\*X46 + 0.0014\*X47 + 0.0326\*X53 + 0.0117\*X54 + 0.0061\*X55 + 0.0035\*X56 +  
0.0145\*X62 + 0.0052\*X63 + 4.079 <= 265-136.22-1; !0-24;!dexamenh;

0.0120\*X1 + 0.0070\*X2 + 0.0039\*X3 + 0.0022\*X4 + 0.0012\*X5 + 0.0109\*X6 + 0.0064\*X7  
+  
0.0036\*X8 + 0.0020\*X9 + 0.0011\*X10 + 0.0099\*X11 + 0.0058\*X12 + 0.0033\*X13 +  
0.0018\*X14 + 0.0010\*X15 + 0.0142\*X18 + 0.0077\*X19 + 0.0045\*X20 + 0.0026\*X21 +  
0.0014\*X22 + 0.0114\*X25 + 0.0063\*X26 + 0.0037\*X27 + 0.0021\*X28 + 0.0012\*X29 +  
0.0100\*X30 + 0.0055\*X31 + 0.0032\*X32 + 0.0018\*X33 + 0.0139\*X34 + 0.0082\*X35 +  
0.0045\*X36 + 0.0026\*X37 + 0.0015\*X38 + 0.0137\*X43 + 0.0075\*X44 + 0.0044\*X45 +  
0.0024\*X46 + 0.0014\*X47 + 0.0326\*X53 + 0.0117\*X54 + 0.0061\*X55 + 0.0035\*X56 +  
0.0145\*X62 + 0.0052\*X63 + 10.584 <= 265-158.34-1; !0-25;!dexamenh;

## Report:

Global optimal solution found.

Objective value:	3117308.
Infeasibilities:	0.000000
Total solver iterations:	44

Model Class:	LP
--------------	----

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



Total constraints: 104  
 Nonlinear constraints: 0  
 Total nonzeros: 924  
 Nonlinear nonzeros: 0

Variable	Value	Reduced Cost
X1	0.000000	76.35161
X2	0.000000	21.93548
X3	0.000000	6.935484
X4	1446.000	0.000000
X5	0.000000	7.096774
X6	0.000000	64.73871
X7	0.000000	16.77419
X8	0.000000	5.645161
X9	8445.700	0.000000
X10	0.000000	8.387097
X11	0.000000	54.41613
X12	0.000000	11.61290
X13	0.000000	4.354839
X14	3677.300	0.000000
X15	0.000000	9.677419
X16	1089.600	0.000000
X17	0.000000	4.000000
X18	0.000000	105.0613
X19	0.000000	31.19032
X20	283.7000	0.000000
X21	0.000000	0.4838710
X22	8382.700	0.000000
X23	170.1000	0.000000
X24	0.000000	4.000000
X25	0.000000	80.54516
X26	0.000000	23.44839
X27	3422.200	0.000000
X28	0.000000	4.354839
X29	0.000000	7.741935
X30	0.000000	67.64194
X31	0.000000	19.57742
X32	2136.000	0.000000
X33	0.000000	6.935484
X34	0.000000	117.8065
X35	0.000000	52.15806
X36	0.000000	14.41613
X37	3841.400	0.000000
X38	0.000000	10.80645
X39	1187.100	0.000000
X40	0.000000	4.000000
X41	0.000000	7.000000
X42	0.000000	10.00000
X43	0.000000	123.7097
X44	0.000000	50.70968
X45	0.000000	18.60968
X46	0.000000	2.803226
X47	2929.600	0.000000
X48	1166.000	0.000000
X49	0.000000	3.000000
X50	0.000000	8.000000
X51	0.000000	15.00000
X52	0.000000	22.90000
X53	0.000000	365.4839
X54	0.000000	99.80645
X55	0.000000	30.54839

X56	5158.700	0.000000
X57	561.3000	0.000000
X58	0.000000	3.000000
X59	0.000000	6.000000
X60	0.000000	11.000000
X61	0.000000	18.000000
X62	0.000000	116.0000
X63	717.3000	0.000000

### Περίπτωση 6<sup>η</sup>: Αύξηση του $k$ κατά 20%

#### Γραμμικό Πρόγραμμα:

!SYNARTHSH STOXOY;

MIN = 49.9\*X1 + 60\*X2 + 85\*X3 + 100\*X4 + 120\*X5 + 49.9\*X6 + 60\*X7 + 85\*X8 + 100\*X9 + 120\*X10 + 49.9\*X11 + 60\*X12 + 85\*X13 + 100\*X14 + 120\*X15 + 10\*X16 + 14\*X17 + 39.9\*X18 + 49.9\*X19 + 60\*X20 + 85\*X21 + 100\*X22 + 10\*X23 + 14\*X24 + 39.9\*X25 + 49.9\*X26 + 60\*X27 + 85\*X28 + 100\*X29 + 39.9\*X30 + 49.9\*X31 + 60\*X32 + 85\*X33 + 32\*X34 + 39.9\*X35 + 49.9\*X36 + 60\*X37 + 85\*X38 + 10\*X39 + 14\*X40 + 17\*X41 + 20\*X42 + 25\*X43 + 32\*X44 + 39.9\*X45 + 49.9\*X46 + 60\*X47 + 17\*X48 + 20\*X49 + 25\*X50 + 32\*X51 + 39.9\*X52 + 10\*X53 + 14\*X54 + 17\*X55 + 20\*X56 + 14\*X57 + 17\*X58 + 20\*X59 + 25\*X60 + 32\*X61 + 10\*X62 + 14\*X63;

!PERIORISMOI MHKOUS;

X1 + X2 + X3 + X4 + X5 = 1446;  
X6 + X7 + X8 + X9 + X10 = 8445.7;  
X11 + X12 + X13 + X14 + X15 = 3677.3;  
X16 + X17 = 1089.6;  
X18 + X19 + X20 + X21 + X22 = 8666.4;  
X23 + X24 = 170.1;  
X25 + X26 + X27 + X28 + X29 = 3422.2;  
X30 + X31 + X32 + X33 = 2136.0;  
X34 + X35 + X36 + X37 + X38 = 3841.4;  
X39 + X40 + X41 + X42 = 1187.1;  
X43 + X44 + X45 + X46 + X47 = 2929.6;  
X48 + X49 + X50 + X51 + X52 = 1166.0;  
X53 + X54 + X55 + X56 = 5158.7;  
X57 + X58 + X59 + X60 + X61 = 561.3;  
X62 + X63 = 717.3;

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;

!PERIORISMOI PIEZOMETRIKOY FORTIOY;

0.0120\*X1 + 0.0070\*X2 + 0.0040\*X3 + 0.0022\*X4 + 0.0012\*X5 <= 265-151.45-5; !0-1;!eswteriko;

0.0120\*X1 + 0.0070\*X2 + 0.0040\*X3 + 0.0022\*X4 + 0.0012\*X5 + 10.600 <= 265-244.80-1; !0-2;!dexamenh;

0.0120\*X1 + 0.0070\*X2 + 0.0040\*X3 + 0.0022\*X4 + 0.0012\*X5 + 0.0110\*X6 + 0.0064\*X7 + 0.0036\*X8 + 0.0020\*X9 + 0.0011\*X10 <= 265-114.71-5; !0-3;!eswteriko;

0.0120\*X1 + 0.0070\*X2 + 0.0040\*X3 + 0.0022\*X4 + 0.0012\*X5 + 0.0110\*X6 + 0.0064\*X7 + 0.0036\*X8 + 0.0020\*X9 + 0.0011\*X10 + 11.109 <= 265-135.56-1; !0-4;!dexamenh;

0.0120\*X1 + 0.0070\*X2 + 0.0040\*X3 + 0.0022\*X4 + 0.0012\*X5 + 0.0110\*X6 + 0.0064\*X7 + 0.0036\*X8 + 0.0020\*X9 + 0.0011\*X10 + 0.0100\*X11 + 0.0059\*X12 + 0.0033\*X13 + 0.0018\*X14 + 0.0010\*X15 <= 265-110.96-5; !0-5;!eswteriko;

0.0120\*X1 + 0.0070\*X2 + 0.0040\*X3 + 0.0022\*X4 + 0.0012\*X5 + 0.0110\*X6 + 0.0064\*X7 + 0.0036\*X8 + 0.0020\*X9 + 0.0011\*X10 + 0.0100\*X11 + 0.0059\*X12 + 0.0033\*X13 + 0.0018\*X14 + 0.0010\*X15 + 3.738 <= 265-131.92-1; !0-6;!dexamenh;

0.0120\*X1 + 0.0070\*X2 + 0.0040\*X3 + 0.0022\*X4 + 0.0012\*X5 + 0.0110\*X6 + 0.0064\*X7 + 0.0036\*X8 + 0.0020\*X9 + 0.0011\*X10 + 0.0100\*X11 + 0.0059\*X12 + 0.0033\*X13 + 0.0018\*X14 + 0.0010\*X15 + 0.0107\*X16 + 0.0039\*X17 <= 265-134.41-1; !0-7;!dexamenh;

0.0120\*X1 + 0.0070\*X2 + 0.0040\*X3 + 0.0022\*X4 + 0.0012\*X5 + 0.0110\*X6 + 0.0064\*X7 + 0.0036\*X8 + 0.0020\*X9 + 0.0011\*X10 + 0.0100\*X11 + 0.0059\*X12 + 0.0033\*X13 + 0.0018\*X14 + 0.0010\*X15 + 0.0143\*X18 + 0.0078\*X19 + 0.0046\*X20 + 0.0026\*X21 + 0.0014\*X22 <=265-104.6-5; !0-8;!eswteriko;

0.0120\*X1 + 0.0070\*X2 + 0.0040\*X3 + 0.0022\*X4 + 0.0012\*X5 + 0.0110\*X6 + 0.0064\*X7 + 0.0036\*X8 + 0.0020\*X9 + 0.0011\*X10 + 0.0100\*X11 + 0.0059\*X12 + 0.0033\*X13 + 0.0018\*X14 + 0.0010\*X15 + 0.0143\*X18 + 0.0078\*X19 + 0.0046\*X20 + 0.0026\*X21 + 0.0014\*X22 + 0.0107\*X23 + 0.0039\*X24 <= 265-119.16-1; !0-9;!dexamenh;

0.0120\*X1 + 0.0070\*X2 + 0.0040\*X3 + 0.0022\*X4 + 0.0012\*X5 + 0.0110\*X6 + 0.0064\*X7 + 0.0036\*X8 + 0.0020\*X9 + 0.0011\*X10 + 0.0100\*X11 + 0.0059\*X12 + 0.0033\*X13 + 0.0018\*X14 + 0.0010\*X15 + 0.0143\*X18 + 0.0078\*X19 + 0.0046\*X20 + 0.0026\*X21 + 0.0014\*X22 + 0.0115\*X25 + 0.0065\*X26 + 0.0037\*X27 + 0.0021\*X28 + 0.0012\*X29 <= 265-104.55-5; !0-10;!eswteriko;

0.0120\*X1 + 0.0070\*X2 + 0.0040\*X3 + 0.0022\*X4 + 0.0012\*X5 + 0.0110\*X6 + 0.0064\*X7 + 0.0036\*X8 + 0.0020\*X9 + 0.0011\*X10 + 0.0100\*X11 + 0.0059\*X12 + 0.0033\*X13 + 0.0018\*X14 + 0.0010\*X15 + 0.0143\*X18 + 0.0078\*X19 + 0.0046\*X20 + 0.0026\*X21 + 0.0014\*X22 + 0.0115\*X25 + 0.0065\*X26 + 0.0037\*X27 + 0.0021\*X28 + 0.0012\*X29 + 9.034 <= 265-129.76-1; !0-11;!dexamenh;

0.0120\*X1 + 0.0070\*X2 + 0.0040\*X3 + 0.0022\*X4 + 0.0012\*X5 + 0.0110\*X6 + 0.0064\*X7  
+  
0.0036\*X8 + 0.0020\*X9 + 0.0011\*X10 + 0.0100\*X11 + 0.0059\*X12 + 0.0033\*X13 +  
0.0018\*X14 + 0.0010\*X15 + 0.0143\*X18 + 0.0078\*X19 + 0.0046\*X20 + 0.0026\*X21 +  
0.0014\*X22 + 0.0115\*X25 + 0.0065\*X26 + 0.0037\*X27 + 0.0021\*X28 + 0.0012\*X29 +  
0.0101\*X30 + 0.0055\*X31 + 0.0032\*X32 + 0.0018\*X33 <= 265-104.63-5; !0-  
12;!eswteriko;

0.0120\*X1 + 0.0070\*X2 + 0.0040\*X3 + 0.0022\*X4 + 0.0012\*X5 + 0.0110\*X6 + 0.0064\*X7  
+  
0.0036\*X8 + 0.0020\*X9 + 0.0011\*X10 + 0.0100\*X11 + 0.0059\*X12 + 0.0033\*X13 +  
0.0018\*X14 + 0.0010\*X15 + 0.0143\*X18 + 0.0078\*X19 + 0.0046\*X20 + 0.0026\*X21 +  
0.0014\*X22 + 0.0115\*X25 + 0.0065\*X26 + 0.0037\*X27 + 0.0021\*X28 + 0.0012\*X29 +  
0.0101\*X30 + 0.0055\*X31 + 0.0032\*X32 + 0.0018\*X33 + 4.765  
<= 265-121.19-1; !0-13;!dexamenh;

0.0120\*X1 + 0.0070\*X2 + 0.0040\*X3 + 0.0022\*X4 + 0.0012\*X5 + 0.0110\*X6 + 0.0064\*X7  
+  
0.0036\*X8 + 0.0020\*X9 + 0.0011\*X10 + 0.0100\*X11 + 0.0059\*X12 + 0.0033\*X13 +  
0.0018\*X14 + 0.0010\*X15 + 0.0143\*X18 + 0.0078\*X19 + 0.0046\*X20 + 0.0026\*X21 +  
0.0014\*X22 + 0.0115\*X25 + 0.0065\*X26 + 0.0037\*X27 + 0.0021\*X28 + 0.0012\*X29 +  
0.0101\*X30 + 0.0055\*X31 + 0.0032\*X32 + 0.0018\*X33 + 0.0140\*X34 + 0.0082\*X35 +  
0.0045\*X36 + 0.0026\*X37 + 0.0015\*X38 <= 265-99.25-5; !0-14;!eswteriko;

0.0120\*X1 + 0.0070\*X2 + 0.0040\*X3 + 0.0022\*X4 + 0.0012\*X5 + 0.0110\*X6 + 0.0064\*X7  
+  
0.0036\*X8 + 0.0020\*X9 + 0.0011\*X10 + 0.0100\*X11 + 0.0059\*X12 + 0.0033\*X13 +  
0.0018\*X14 + 0.0010\*X15 + 0.0143\*X18 + 0.0078\*X19 + 0.0046\*X20 + 0.0026\*X21 +  
0.0014\*X22 + 0.0115\*X25 + 0.0065\*X26 + 0.0037\*X27 + 0.0021\*X28 + 0.0012\*X29 +  
0.0101\*X30 + 0.0055\*X31 + 0.0032\*X32 + 0.0018\*X33 + 0.0140\*X34 + 0.0082\*X35 +  
0.0045\*X36 + 0.0026\*X37 + 0.0015\*X38 + 0.0401\*X39 + 0.0143\*X40 + 0.0075\*X41 +  
0.0042\*X42 <= 265-111.83-1; !0-15;!dexamenh;

0.0120\*X1 + 0.0070\*X2 + 0.0040\*X3 + 0.0022\*X4 + 0.0012\*X5 + 0.0110\*X6 + 0.0064\*X7  
+  
0.0036\*X8 + 0.0020\*X9 + 0.0011\*X10 + 0.0100\*X11 + 0.0059\*X12 + 0.0033\*X13 +  
0.0018\*X14 + 0.0010\*X15 + 0.0143\*X18 + 0.0078\*X19 + 0.0046\*X20 + 0.0026\*X21 +  
0.0014\*X22 + 0.0115\*X25 + 0.0065\*X26 + 0.0037\*X27 + 0.0021\*X28 + 0.0012\*X29 +  
0.0101\*X30 + 0.0055\*X31 + 0.0032\*X32 + 0.0018\*X33 + 0.0140\*X34 + 0.0082\*X35 +  
0.0045\*X36 + 0.0026\*X37 + 0.0015\*X38 + 0.0138\*X43 + 0.0075\*X44 + 0.0044\*X45 +  
0.0024\*X46 + 0.0014\*X47 <= 265-91.53-5; !0-16;!eswteriko;

0.0120\*X1 + 0.0070\*X2 + 0.0040\*X3 + 0.0022\*X4 + 0.0012\*X5 + 0.0110\*X6 + 0.0064\*X7  
+  
0.0036\*X8 + 0.0020\*X9 + 0.0011\*X10 + 0.0100\*X11 + 0.0059\*X12 + 0.0033\*X13 +  
0.0018\*X14 + 0.0010\*X15 + 0.0143\*X18 + 0.0078\*X19 + 0.0046\*X20 + 0.0026\*X21 +  
0.0014\*X22 + 0.0115\*X25 + 0.0065\*X26 + 0.0037\*X27 + 0.0021\*X28 + 0.0012\*X29 +  
0.0101\*X30 + 0.0055\*X31 + 0.0032\*X32 + 0.0018\*X33 + 0.0140\*X34 + 0.0082\*X35 +  
0.0045\*X36 + 0.0026\*X37 + 0.0015\*X38 + 0.0138\*X43 + 0.0075\*X44 + 0.0044\*X45 +  
0.0024\*X46 + 0.0014\*X47 + 1.306 <= 265-108.80-1; !0-17;!dexamenh;

0.0120\*X1 + 0.0070\*X2 + 0.0040\*X3 + 0.0022\*X4 + 0.0012\*X5 + 0.0110\*X6 + 0.0064\*X7  
+  
0.0036\*X8 + 0.0020\*X9 + 0.0011\*X10 + 0.0100\*X11 + 0.0059\*X12 + 0.0033\*X13 +  
0.0018\*X14 + 0.0010\*X15 + 0.0143\*X18 + 0.0078\*X19 + 0.0046\*X20 + 0.0026\*X21 +  
0.0014\*X22 + 0.0115\*X25 + 0.0065\*X26 + 0.0037\*X27 + 0.0021\*X28 + 0.0012\*X29 +  
0.0101\*X30 + 0.0055\*X31 + 0.0032\*X32 + 0.0018\*X33 + 0.0140\*X34 + 0.0082\*X35 +  
0.0045\*X36 + 0.0026\*X37 + 0.0015\*X38 + 0.0138\*X43 + 0.0075\*X44 + 0.0044\*X45 +

0.0024\*X46 + 0.0014\*X47 + 0.0199\*X48 + 0.0112\*X49 + 0.0057\*X50 + 0.0031\*X51 +  
0.0018\*X52 <= 265-106.61-5; !0-18;!eswteriko;

0.0120\*X1 + 0.0070\*X2 + 0.0040\*X3 + 0.0022\*X4 + 0.0012\*X5 + 0.0110\*X6 + 0.0064\*X7  
+  
0.0036\*X8 + 0.0020\*X9 + 0.0011\*X10 + 0.0100\*X11 + 0.0059\*X12 + 0.0033\*X13 +  
0.0018\*X14 + 0.0010\*X15 + 0.0143\*X18 + 0.0078\*X19 + 0.0046\*X20 + 0.0026\*X21 +  
0.0014\*X22 + 0.0115\*X25 + 0.0065\*X26 + 0.0037\*X27 + 0.0021\*X28 + 0.0012\*X29 +  
0.0101\*X30 + 0.0055\*X31 + 0.0032\*X32 + 0.0018\*X33 + 0.0140\*X34 + 0.0082\*X35 +  
0.0045\*X36 + 0.0026\*X37 + 0.0015\*X38 + 0.0138\*X43 + 0.0075\*X44 + 0.0044\*X45 +  
0.0024\*X46 + 0.0014\*X47 + 0.0199\*X48 + 0.0112\*X49 + 0.0057\*X50 + 0.0031\*X51 +  
0.0018\*X52 + 0.0302\*X57 + 0.0158\*X58 + 0.0089\*X59 + 0.0045\*X60 + 0.0025\*X61  
<= 265-117.13-1; !0-19;!dexamenh;

0.0120\*X1 + 0.0070\*X2 + 0.0040\*X3 + 0.0022\*X4 + 0.0012\*X5 + 0.0110\*X6 + 0.0064\*X7  
+  
0.0036\*X8 + 0.0020\*X9 + 0.0011\*X10 + 0.0100\*X11 + 0.0059\*X12 + 0.0033\*X13 +  
0.0018\*X14 + 0.0010\*X15 + 0.0143\*X18 + 0.0078\*X19 + 0.0046\*X20 + 0.0026\*X21 +  
0.0014\*X22 + 0.0115\*X25 + 0.0065\*X26 + 0.0037\*X27 + 0.0021\*X28 + 0.0012\*X29 +  
0.0101\*X30 + 0.0055\*X31 + 0.0032\*X32 + 0.0018\*X33 + 0.0140\*X34 + 0.0082\*X35 +  
0.0045\*X36 + 0.0026\*X37 + 0.0015\*X38 + 0.0138\*X43 + 0.0075\*X44 + 0.0044\*X45 +  
0.0024\*X46 + 0.0014\*X47 + 0.0199\*X48 + 0.0112\*X49 + 0.0057\*X50 + 0.0031\*X51 +  
0.0018\*X52 + 4.127 <= 265-106.61-1; !0-20;!dexamenh;

0.0120\*X1 + 0.0070\*X2 + 0.0040\*X3 + 0.0022\*X4 + 0.0012\*X5 + 0.0110\*X6 + 0.0064\*X7  
+  
0.0036\*X8 + 0.0020\*X9 + 0.0011\*X10 + 0.0100\*X11 + 0.0059\*X12 + 0.0033\*X13 +  
0.0018\*X14 + 0.0010\*X15 + 0.0143\*X18 + 0.0078\*X19 + 0.0046\*X20 + 0.0026\*X21 +  
0.0014\*X22 + 0.0115\*X25 + 0.0065\*X26 + 0.0037\*X27 + 0.0021\*X28 + 0.0012\*X29 +  
0.0101\*X30 + 0.0055\*X31 + 0.0032\*X32 + 0.0018\*X33 + 0.0140\*X34 + 0.0082\*X35 +  
0.0045\*X36 + 0.0026\*X37 + 0.0015\*X38 + 0.0138\*X43 + 0.0075\*X44 + 0.0044\*X45 +  
0.0024\*X46 + 0.0014\*X47 + 0.0329\*X53 + 0.0118\*X54 + 0.0062\*X55 + 0.0035\*X56  
<= 265-91.53-5; !0-21;!eswteriko;

0.0120\*X1 + 0.0070\*X2 + 0.0040\*X3 + 0.0022\*X4 + 0.0012\*X5 + 0.0110\*X6 + 0.0064\*X7  
+  
0.0036\*X8 + 0.0020\*X9 + 0.0011\*X10 + 0.0100\*X11 + 0.0059\*X12 + 0.0033\*X13 +  
0.0018\*X14 + 0.0010\*X15 + 0.0143\*X18 + 0.0078\*X19 + 0.0046\*X20 + 0.0026\*X21 +  
0.0014\*X22 + 0.0115\*X25 + 0.0065\*X26 + 0.0037\*X27 + 0.0021\*X28 + 0.0012\*X29 +  
0.0101\*X30 + 0.0055\*X31 + 0.0032\*X32 + 0.0018\*X33 + 0.0140\*X34 + 0.0082\*X35 +  
0.0045\*X36 + 0.0026\*X37 + 0.0015\*X38 + 0.0138\*X43 + 0.0075\*X44 + 0.0044\*X45 +  
0.0024\*X46 + 0.0014\*X47 + 0.0329\*X53 + 0.0118\*X54 + 0.0062\*X55 + 0.0035\*X56 +  
23.420 <= 265-125.33-1; !0-22;!dexamenh;

0.0120\*X1 + 0.0070\*X2 + 0.0040\*X3 + 0.0022\*X4 + 0.0012\*X5 + 0.0110\*X6 + 0.0064\*X7  
+  
0.0036\*X8 + 0.0020\*X9 + 0.0011\*X10 + 0.0100\*X11 + 0.0059\*X12 + 0.0033\*X13 +  
0.0018\*X14 + 0.0010\*X15 + 0.0143\*X18 + 0.0078\*X19 + 0.0046\*X20 + 0.0026\*X21 +  
0.0014\*X22 + 0.0115\*X25 + 0.0065\*X26 + 0.0037\*X27 + 0.0021\*X28 + 0.0012\*X29 +  
0.0101\*X30 + 0.0055\*X31 + 0.0032\*X32 + 0.0018\*X33 + 0.0140\*X34 + 0.0082\*X35 +  
0.0045\*X36 + 0.0026\*X37 + 0.0015\*X38 + 0.0138\*X43 + 0.0075\*X44 + 0.0044\*X45 +  
0.0024\*X46 + 0.0014\*X47 + 0.0329\*X53 + 0.0118\*X54 + 0.0062\*X55 + 0.0035\*X56 +  
0.0146\*X62 + 0.0053\*X63 <= 265-101.5-5; !0-23;!eswteriko;

0.0120\*X1 + 0.0070\*X2 + 0.0040\*X3 + 0.0022\*X4 + 0.0012\*X5 + 0.0110\*X6 + 0.0064\*X7  
+  
0.0036\*X8 + 0.0020\*X9 + 0.0011\*X10 + 0.0100\*X11 + 0.0059\*X12 + 0.0033\*X13 +  
0.0018\*X14 + 0.0010\*X15 + 0.0143\*X18 + 0.0078\*X19 + 0.0046\*X20 + 0.0026\*X21 +

0.0014\*X22 + 0.0115\*X25 + 0.0065\*X26 + 0.0037\*X27 + 0.0021\*X28 + 0.0012\*X29 +  
 0.0101\*X30 + 0.0055\*X31 + 0.0032\*X32 + 0.0018\*X33 + 0.0140\*X34 + 0.0082\*X35 +  
 0.0045\*X36 + 0.0026\*X37 + 0.0015\*X38 + 0.0138\*X43 + 0.0075\*X44 + 0.0044\*X45 +  
 0.0024\*X46 + 0.0014\*X47 + 0.0329\*X53 + 0.0118\*X54 + 0.0062\*X55 + 0.0035\*X56 +  
 0.0146\*X62 + 0.0053\*X63 + 4.104 <= 265-136.22-1; !0-24;!dexamenh;

0.0120\*X1 + 0.0070\*X2 + 0.0040\*X3 + 0.0022\*X4 + 0.0012\*X5 + 0.0110\*X6 + 0.0064\*X7  
 +  
 0.0036\*X8 + 0.0020\*X9 + 0.0011\*X10 + 0.0100\*X11 + 0.0059\*X12 + 0.0033\*X13 +  
 0.0018\*X14 + 0.0010\*X15 + 0.0143\*X18 + 0.0078\*X19 + 0.0046\*X20 + 0.0026\*X21 +  
 0.0014\*X22 + 0.0115\*X25 + 0.0065\*X26 + 0.0037\*X27 + 0.0021\*X28 + 0.0012\*X29 +  
 0.0101\*X30 + 0.0055\*X31 + 0.0032\*X32 + 0.0018\*X33 + 0.0140\*X34 + 0.0082\*X35 +  
 0.0045\*X36 + 0.0026\*X37 + 0.0015\*X38 + 0.0138\*X43 + 0.0075\*X44 + 0.0044\*X45 +  
 0.0024\*X46 + 0.0014\*X47 + 0.0329\*X53 + 0.0118\*X54 + 0.0062\*X55 + 0.0035\*X56 +  
 0.0146\*X62 + 0.0053\*X63 + 10.639 <= 265-158.34-1; !0-25;!dexamenh;

### Report:

Global optimal solution found.

Objective value: 3119247.  
 Infeasibilities: 0.000000  
 Total solver iterations: 45

Model Class: LP

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

Total constraints: 104  
 Nonlinear constraints: 0

Total nonzeros: 924  
 Nonlinear nonzeros: 0

Variable	Value	Reduced Cost
X1	0.000000	72.40000
X2	0.000000	20.00000
X3	0.000000	7.500000
X4	1446.000	0.000000
X5	0.000000	7.500000
X6	0.000000	62.40000
X7	0.000000	15.00000
X8	0.000000	5.000000
X9	8445.700	0.000000
X10	0.000000	8.750000
X11	0.000000	52.40000
X12	0.000000	11.25000
X13	0.000000	3.750000
X14	3677.300	0.000000
X15	0.000000	10.00000
X16	1089.600	0.000000
X17	0.000000	4.000000
X18	0.000000	101.1500
X19	0.000000	29.90000
X20	0.000000	0.000000
X21	627.2833	0.000000
X22	8039.117	0.000000
X23	170.1000	0.000000

X24	0.000000	4.000000
X25	0.000000	77.40000
X26	0.000000	24.90000
X27	3422.200	0.000000
X28	0.000000	5.000000
X29	0.000000	8.750000
X30	0.000000	66.15000
X31	0.000000	18.65000
X32	2136.000	0.000000
X33	0.000000	7.500000
X34	0.000000	114.5000
X35	0.000000	49.90000
X36	0.000000	13.65000
X37	3841.400	0.000000
X38	0.000000	11.25000
X39	1187.100	0.000000
X40	0.000000	4.000000
X41	0.000000	7.000000
X42	0.000000	10.00000
X43	0.000000	120.0000
X44	0.000000	48.25000
X45	0.000000	17.40000
X46	0.000000	2.400000
X47	2929.600	0.000000
X48	1166.000	0.000000
X49	0.000000	3.000000
X50	0.000000	8.000000
X51	0.000000	15.00000
X52	0.000000	22.90000
X53	0.000000	357.5000
X54	0.000000	97.75000
X55	0.000000	30.75000
X56	5158.700	0.000000
X57	561.3000	0.000000
X58	0.000000	3.000000
X59	0.000000	6.000000
X60	0.000000	11.00000
X61	0.000000	18.00000
X62	0.000000	112.2500
X63	717.3000	0.000000

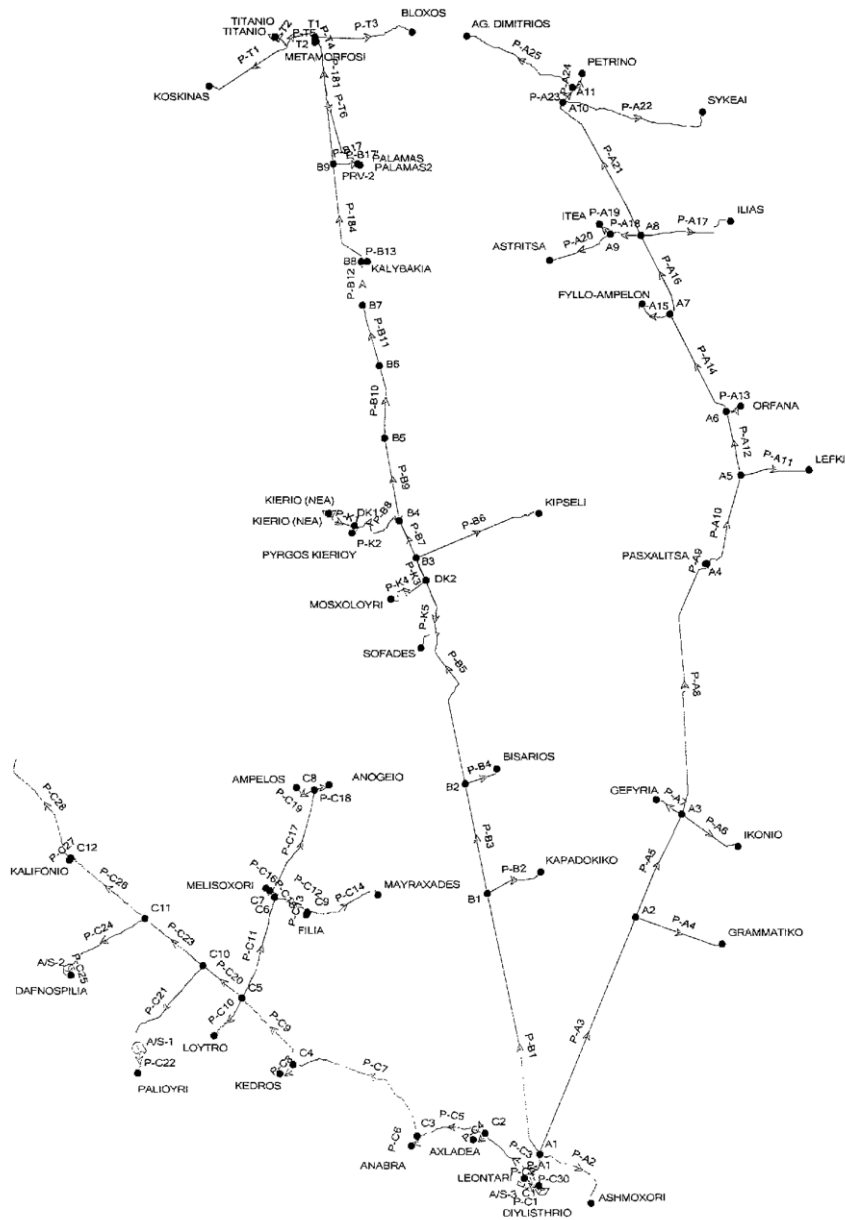
#### 4. ΤΜΗΜΑ ΤΗΣ ΟΡΙΣΤΙΚΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ (ΣΕΛ. 139 - 143)

ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΥΔΡΕΥΣΗ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΠΛΕΥΡΑΣ ΝΟΜΟΥ ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ ΑΠΟ ΤΗ ΔΙΜΝΗ ΣΜΟΚΟΒΟΥ -  
ΕΡΓΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ & ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΥΔΑΤΟΣ

ΟΡΙΣΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

#### ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ ΕΞΩΤΕΡΙΚΩΝ ΥΔΡΑΓΩΓΕΙΩΝ



ΣΥΝΤΑΞΑΝΤΕΣ: «ΡΟΪΚΟΣ ΑΕ. - Β. ΜΠΟΥΛΟΥΓΟΥΡΗΣ»

ΤΕΥΧΟΣ 1 : ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ - ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ - σελ. 139



## ΟΡΙΣΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

JUNCTION REPORT	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΟΜΒΩΝ
Label	α/α κόμβου
Elevation (m)	Υψόμετρο
Demand Calculated (l/sec)	Παροχή ζήτησης
Calculated Hydraulic Grade (m)	Πιεζομετρική στάθμη
Pressure Head (m)	Πίεση

Label	Elevation (m)	Base Flow (l/s)	Demand (Calculated) (l/s)	Calculated Hydraulic Grade (m)	Pressure (m)
A10	91,53	0,00	0,00	185,05	93,51
AG. DIMITRIOS	158,34	1,34	1,34	179,70	21,36
SYKEAI	125,33	1,79	1,79	176,06	50,73
A11	101,50	0,00	0,00	183,87	82,37
PETRINO	136,22	2,04	2,04	182,31	46,09
A8	91,53	0,00	0,00	194,55	103,02
A9	106,61	0,00	0,00	181,67	75,05
ILIAS	108,80	0,47	0,47	194,00	85,20
ITEA	117,13	8,45	8,45	172,96	55,83
ASTRITSA	106,61	1,08	1,08	180,02	73,41
A7	99,25	0,00	0,00	207,61	108,36
ORFANA	121,19	2,38	2,38	216,09	94,90
A6	104,63	0,00	0,00	217,85	113,21
FYLLO-AMPELON	111,83	5,73	5,73	198,69	86,86
A5	104,55	0,00	0,00	224,80	120,25
LEFKI	129,76	1,67	1,67	221,32	91,56
A3	110,96	0,00	0,00	254,55	143,59
GEFYRIA	134,41	2,88	2,88	250,22	115,81
PASXALITSA	119,16	2,88	2,88	231,95	112,79
A4	104,60	0,00	0,00	232,06	127,45
GRAMMATIKO	135,56	1,59	1,59	252,88	117,31
A2	114,71	0,00	0,00	257,18	142,46
IKONIO	131,92	1,02	1,02	253,06	121,14
C5	157,60	0,00	0,00	259,12	101,52
C12	151,56	0,00	0,00	219,20	67,63
DAFNOSPILIA	320,31	2,00	2,00	336,85	16,54
KALIFONIO	173,74	7,73	7,73	217,99	44,25
ZAIMIO	152,49	2,73	2,73	208,01	55,52
C10	156,80	0,00	0,00	257,21	100,41
C11	163,50	0,00	0,00	251,26	87,76
FILIA	156,35	2,06	2,06	212,65	56,30
MELISOXORI	152,99	4,33	4,33	221,61	68,62
C6	130,90	0,00	0,00	223,28	92,38
AMPELOS	122,80	2,88	2,88	205,74	82,94
LOYTRO	251,50	2,00	2,00	257,73	6,23
MAYRAXADES	150,33	4,69	4,69	192,06	41,73
C7	131,68	0,00	0,00	221,68	90,00
ANOGEIO	122,00	0,94	0,94	207,97	85,97
C9	134,27	0,00	0,00	212,74	78,47
C8	119,50	0,00	0,00	208,39	88,89
KEDROS	237,30	5,01	5,01	253,92	16,62
ASHMOXORI	244,80	1,59	1,59	260,59	15,79
AXLADEA	240,85	2,50	2,50	262,75	21,90
C3	203,80	0,00	0,00	262,51	58,71

## ΟΡΙΣΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

Label	Elevation (m)	Base Flow (l/s)	Demand (Calculated) (l/s)	Calculated Hydraulic Grade (m)	Pressure (m)
C4	169,70	0,00	0,00	260,08	90,38
C2	174,80	0,00	0,00	264,00	89,40
ANABRA	245,35	6,81	6,81	259,64	14,29
ΚΑΡΑΔΟΚΙΚΟ	142,81	3,60	3,60	242,84	100,23
B3	104,75	0,00	0,00	237,86	133,11
B2	114,40	0,00	0,00	247,43	133,03
B5	100,98	9,49	9,49	234,05	133,06
TITANIO	175,00	51,81	51,81	210,35	35,34
BLOXOS	117,61	4,71	4,71	144,21	26,60
B6	97,04	2,06	2,06	231,03	133,98
B4	102,49	0,00	0,00	236,38	133,89
BISARIOS	136,85	0,72	0,72	246,98	110,12
B1	121,72	0,00	0,00	251,79	130,07
KALYBAKIA	107,03	1,91	1,91	226,89	119,86
B7	95,39	9,41	9,41	228,43	133,04
B8	92,86	0,00	0,00	227,22	134,36
KIPSELI	115,51	3,95	3,95	206,07	90,55
B9	89,75	0,00	0,00	220,81	131,06
PALAMAS	90,38	39,02	39,02	120,91	30,53
T1	89,10	0,00	0,00	156,35	67,25
T2	88,04	0,00	0,00	155,08	67,04
KOSKINAS	111,51	4,26	4,26	156,71	45,20
PYRGOS KIERIOY	126,20	2,42	2,42	147,45	21,25
MOSXOLOYRI	128,34	2,52	2,52	141,33	12,99
DK2	105,23	0,00	0,00	144,20	38,97
SOFADES	130,15	38,00	38,00	142,06	11,91
DK1	105,20	0,00	0,00	147,90	42,70
KIERIO (NEA)	150,00	42,94	42,94	202,34	52,34
LEONTARI	265,48	7,04	7,04	292,66	27,18
PALIOYRI	278,99	2,52	2,52	295,93	16,94
PALAMAS2	90,38	0,00	0,00	220,81	130,43
A1	151,45	0,00	0,00	263,77	112,32
C1	233,71	0,00	0,00	264,93	31,22
ΜΕΤΑΜΟΡΦΟΣΙ	102,49	3,82	3,82	154,59	52,10

## ΟΡΙΣΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

PIPE REPORT	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΛΑΔΩΝ
Label	α/α κλάδου
Length (m)	Μήκος
Diameter (mm)	Εσωτερική διάμετρος
Darcy Weisbach e (mm)	Συντελεστής τραχύτητας
Material	Υλικό σωλήνων
Discharge (lt/sec)	Παροχή
Upstream Structure Hydraulic Grade (m)	Πιεζομετρική στάθμη αρχής αγωγού
Downstream Structure Hydraulic Grade (m)	Πιεζομετρική στάθμη πέρατος αγωγού
Pressure Pipe Headloss (m)	Απώλεια πίεσης αγωγού
Velocity (m/sec)	Ταχύτητα
Headloss Gradient (m/Km)	Κλίση πιεζομετρικής γραμμής

Label	Length (m)	Diameter (mm)	Darcy-Weisbach e (mm)	Material	Discharge (l/s)	Upstream Structure Hydraulic Grade (m)	Downstream Structure Hydraulic Grade (m)	Pressure Pipe Headloss (m)	Velocity (m/s)	Headloss Gradient (m/km)
P-A22	5.336,30	85,4	0,08	HDPE	1,79	185,05	176,06	8,98	0,31	1,68
P-A23	717,30	108,6	0,08	HDPE	3,38	185,05	183,87	1,18	0,36	1,64
P-A25	4.149,20	85,4	0,08	HDPE	1,34	183,87	179,70	4,17	0,23	1,00
P-A24	732,20	85,4	0,08	HDPE	2,04	183,87	182,31	1,56	0,36	2,13
P-A20	2.404,50	85,4	0,08	HDPE	1,08	181,67	180,02	1,65	0,19	0,69
P-A19	561,30	97,0	0,08	HDPE	8,45	181,67	172,96	8,70	1,14	15,51
P-A21	5.158,70	124,2	0,08	HDPE	5,17	194,55	185,05	9,50	0,43	1,84
P-A18	1.166,00	108,6	0,08	HDPE	9,53	194,55	181,67	12,88	1,03	11,05
P-A17	3.389,90	85,4	0,08	HDPE	0,47	194,55	194,00	0,55	0,08	0,16
P-A16	2.929,60	155,2	0,08	HDPE	15,17	207,61	194,55	13,06	0,80	4,46
P-A13	623,70	85,4	0,08	HDPE	2,38	217,85	216,09	1,75	0,42	2,81
P-A11	2.342,50	85,4	0,08	HDPE	1,67	224,80	221,32	3,48	0,29	1,49
P-A14	3.841,40	194,2	0,08	HDPE	20,90	217,85	207,61	10,24	0,71	2,66
P-A15	1.187,10	97,0	0,08	HDPE	5,73	207,61	198,69	8,92	0,78	7,52
P-A12	2.136,00	194,2	0,08	HDPE	23,28	224,80	217,85	6,96	0,79	3,26
P-A9	26,70	85,4	0,08	HDPE	2,88	232,06	231,95	0,11	0,50	3,98
P-A5	3.677,30	300,0	0,15	Ductile Iron	31,73	257,18	254,55	2,62	0,45	0,71
P-A8	8.666,40	217,4	0,08	HDPE	27,83	254,55	232,06	22,50	0,75	2,60
P-A6	2.406,40	85,4	0,08	HDPE	1,02	254,55	253,06	1,49	0,18	0,62
P-A4	3.155,90	85,4	0,08	HDPE	1,59	257,18	252,88	4,30	0,28	1,36
P-A7	1.089,60	85,4	0,08	HDPE	2,88	254,55	250,22	4,33	0,50	3,98
P-A10	3.422,20	217,4	0,08	HDPE	24,95	232,06	224,80	7,25	0,67	2,12
P-C20	1.714,60	204,6	0,08	HDPE	14,98	259,12	257,21	1,91	0,46	1,12
P-C23	2.493,80	163,6	0,08	HDPE	12,46	257,21	251,26	5,95	0,59	2,39
P-C26	3.187,00	114,6	0,08	HDPE	10,46	251,26	219,20	32,06	1,01	10,06
P-C28	4.007,50	90,0	0,08	HDPE	2,73	219,20	208,01	11,19	0,43	2,79
P-C27	63,20	90,0	0,08	HDPE	7,73	219,20	217,99	1,21	1,22	19,08
P-C19	666,10	85,4	0,08	HDPE	2,88	208,39	205,74	2,65	0,50	3,98
P-C13	52,30	90,0	0,08	HDPE	2,06	212,74	212,65	0,09	0,32	1,68
P-C12	1.341,40	102,2	0,08	HDPE	6,75	223,28	212,74	10,54	0,82	7,86
P-C14	2.751,10	90,0	0,08	HDPE	4,69	212,74	192,06	20,68	0,74	7,52
P-C18	776,80	85,4	0,08	HDPE	0,94	208,39	207,97	0,42	0,16	0,54
P-C16	10,00	90,0	0,08	HDPE	4,33	221,68	221,61	0,06	0,68	6,49
P-C11	3.550,20	130,8	0,08	HDPE	-14,90	223,28	259,12	35,84	1,11	10,09
P-C15	254,00	114,6	0,08	HDPE	8,15	223,28	221,68	1,61	0,79	6,32
P-C10	1.621,60	102,2	0,08	HDPE	2,00	259,12	257,73	1,39	0,24	0,86
P-C17	3.728,20	97,0	0,08	HDPE	-3,82	208,39	221,68	13,29	0,52	3,56

## ΟΡΙΣΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

Label	Length (m)	Diameter (mm)	Darcy-Weisbach e (mm)	Material	Discharge (l/s)	Upstream Structure Hydraulic Grade (m)	Downstream Structure Hydraulic Grade (m)	Pressure Pipe Headloss (m)	Velocity (m/s)	Headloss Gradient (m/km)
P-C4	639,00	93,8	0,08	HDPE	2,50	264,00	262,75	1,24	0,36	1,95
P-C7	5.530,00	350,0	0,15	Ductile Iron	36,89	262,51	260,08	2,43	0,38	0,44
P-C9	2.858,20	350,0	0,15	Ductile Iron	31,88	260,08	259,12	0,96	0,33	0,34
P-C5	2.470,90	350,0	0,15	Ductile Iron	43,70	264,00	262,51	1,49	0,45	0,60
P-C8	889,60	93,8	0,08	HDPE	5,01	260,08	253,92	6,16	0,73	6,92
P-C6	522,10	110,2	0,08	HDPE	6,81	262,51	259,64	2,87	0,71	5,50
P-B3	3.658,00	450,0	0,15	Ductile Iron	122,29	251,79	247,43	4,36	0,77	1,19
P-B10	2.368,20	350,0	0,15	Ductile Iron	65,19	234,05	231,03	3,02	0,68	1,28
P-B11	2.159,90	350,0	0,15	Ductile Iron	-63,13	228,43	231,03	2,59	0,66	1,20
P-B6	4.478,60	85,4	0,08	HDPE	3,95	237,86	206,07	31,79	0,69	7,10
P-B4	1.356,70	85,4	0,08	HDPE	0,72	247,43	246,98	0,46	0,13	0,34
P-B13	175,00	85,4	0,08	HDPE	1,91	227,22	226,89	0,33	0,33	1,89
P-B5	8.123,80	450,0	0,15	Ductile Iron	-121,57	237,86	247,43	9,57	0,76	1,18
P-B2	1.937,20	90,0	0,08	HDPE	3,60	251,79	242,84	8,95	0,57	4,62
P-B7	1.338,40	450,0	0,15	Ductile Iron	-117,62	236,38	237,86	1,48	0,74	1,11
P-B9	2.756,50	400,0	0,15	Ductile Iron	-74,68	234,05	236,38	2,33	0,59	0,85
P-B12	1.366,80	350,0	0,15	Ductile Iron	53,72	228,43	227,22	1,21	0,56	0,89
P-T6	4.335,50	198,6	0,10	PVC	39,02	155,08	120,91	34,17	1,26	7,88
P-T4	134,70	198,6	0,10	PVC	42,84	156,35	155,08	1,27	1,38	9,41
P-T3	3.690,80	106,6	0,08	HDPE	4,71	156,35	144,21	12,14	0,53	3,29
P-T1	3.563,00	93,8	0,08	HDPE	4,26	175,00	156,71	18,29	0,62	5,13
P-T2	1.624,50	198,6	0,10	PVC	47,55	175,00	156,35	18,65	1,53	11,48
P-K4	1.691,00	96,8	0,08	HDPE	2,52	144,20	141,33	2,86	0,34	1,69
P-K6	2.778,30	312,8	0,08	HDPE	38,00	144,20	142,06	2,14	0,49	0,77
P-K1	1.140,50	312,8	0,08	HDPE	42,94	149,00	147,90	1,10	0,56	0,96
P-K3	4.278,00	312,8	0,08	HDPE	40,52	147,90	144,20	3,70	0,53	0,87
P-K2	284,60	96,8	0,08	HDPE	2,42	147,90	147,45	0,45	0,33	1,57
P-B8	3.310,00	194,2	0,08	HDPE	42,94	236,38	202,34	34,04	1,45	10,28
P-B1	10.488,60	450,0	0,15	Ductile Iron	125,89	265,00	251,79	13,21	0,79	1,26
P-C21	3.682,20	102,2	0,08	HDPE	2,52	267,21	252,42	4,79	0,31	1,30
P-C22	773,70	79,2	0,08	HDPE	2,52	299,42	295,93	3,49	0,51	4,52
P-C24	3.327,43	102,2	0,08	HDPE	2,00	251,26	248,40	2,86	0,24	0,86
P-C25	834,53	73,6	0,08	HDPE	2,00	340,40	336,85	3,55	0,47	4,25
P-B17	903,20	194,2	0,08	HDPE	0,00	220,81	220,81	0,00	0,00	0,00
P-B17'	1,00	108,6	0,10	HDPE	0,00	220,81	220,81	0,00	0,00	0,00
P-A3	8.445,70	300,0	0,15	Ductile Iron	33,32	263,77	257,18	6,59	0,47	0,78
P-A1	1.446,00	300,0	0,15	Ductile Iron	34,91	265,00	263,77	1,23	0,49	0,85
P-A2	3.011,30	90,0	0,08	HDPE	1,59	263,77	260,59	3,18	0,25	1,06
P-C1	164,50	400,0	0,15	Ductile Iron	53,24	265,00	264,93	0,07	0,42	0,45
P-C2	662,00	96,8	0,08	HDPE	7,04	264,93	257,56	7,37	0,96	11,13
P-C30	161,00	79,2	0,08	HDPE	7,04	297,56	292,66	4,89	1,43	30,39
P-C3	2.692,90	400,0	0,15	Ductile	46,20	264,93	264,00	0,93	0,37	0,34

## ΟΡΙΣΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

Label	Length (m)	Diameter (mm)	Darcy-Weisbach e (mm)	Material	Discharge (l/s)	Upstream Structure Hydraulic Grade (m)	Downstream Structure Hydraulic Grade (m)	Pressure Pipe Headloss (m)	Velocity (m/s)	Headloss Gradient (m/km)
				Iron						
P-184	3.582,60	300,0	0,15	Ductile Iron	51,81	227,22	220,81	6,41	0,73	1,79
P-T5	117,00	93,8	0,08	HDPE	3,82	155,08	154,59	0,49	0,55	4,20
P-181	5.849,40	300,0	0,15	Ductile Iron	51,81	220,81	210,35	10,46	0,73	1,79

RESERVOIR REPORT	ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΥΛΛΟΓΙΚΩΝ ΔΕΞΑΜΕΝΩΝ
Label	α/α συλλογικής δεξαμενής
Elevation (m)	Υψόμετρο
Outflow (lt/sec)	Εξερχόμενη παροχή
Calculated Hydraulic Grade (m)	Πιεζομετρική στάθμη

Label	Elevation (m)	Outflow (l/s)	Calculated Hydraulic Grade (m)
TITANIO	175,00	51,81	175,00
KIERIO (NEA)	149,00	42,94	149,00
DIYLISTHRIO	265,00	214,04	265,00

PUMP REPORT	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΤΛΙΟΣΤΑΣΙΩΝ
Label	α/α αντλιοστασίου
Elevation (m)	Υψόμετρο
Discharge (lt/sec)	Παροχή
Pump Head (m)	Μανομετρικό αντλίας

Label	Elevation (m)	Discharge (l/s)	Pump Head (m)
A/S-1	238,50	2,52	47,00
A/S-2	236,00	2,00	92,00
A/S-3	235,50	7,04	40,00

**5. Η ΧΑΡΑΞΗ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ (ΟΠΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ)**

i> Της οριστικής μελέτης , ii> Στο πέρας της βελτιστοποίησης  
Επισυνάπτεται σε ηλεκτρονική μορφή λόγω μεγάλου μεγέθους.

