



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

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΣΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΩΝ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΥΔΡΕΥΣΗΣ
ΛΟΓΩ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΤΗΣ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ



ΕΚΠΟΝΗΣΗ : ΒΡΑΖΑΛΗΣ ΓΡΗΓΟΡΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : Γ. ΤΣΑΚΙΡΗΣ

ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2016



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

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΣΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΩΝ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΥΔΡΕΥΣΗΣ
ΛΟΓΩ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΤΗΣ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ

ΕΚΠΟΝΗΣΗ : ΒΡΑΖΑΛΗΣ ΓΡΗΓΟΡΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : Γ. ΤΣΑΚΙΡΗΣ

ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2016

Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται την εκτίμηση των επιπτώσεων στη λειτουργία κυκλοφοριακών δικτύων ύδρευσης λόγω μεταβολής της ζήτησης νερού και της τραχύτητας των αγωγών. Η κύρια εφαρμογή για την μελέτη αυτή έγινε στο υδρευτικό δίκτυο του οικισμού Μουτάλλου του δήμου της Πάφου.

Η εργασία πραγματοποιήθηκε στη Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου στο Εργαστήριο Εγγειοβελτιωτικών Έργων και Διαχείρισης Υδατικών Πόρων υπό την επίβλεψη του καθηγητή κ. Γιώργου Τσακίρη.

Από τη μεριά μου θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Γιώργο Τσακίρη για την καθοδήγηση και την άριστη συνεργασία, τον κ. Μιχάλη Σπηλιώτη για την πολύτιμη βοήθεια του καθώς και όλους τους καθηγητές του τομέα

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την οικογένεια μου που στάθηκε δίπλα μου όλα αυτά τα 5 χρόνια και με βοήθησε να ανταποκριθώ με επιτυχία στις σπουδές μου.

Αθήνα, Ιούλιος 2016

Γρηγόρης Βραζάλης

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη.....	1
Abstract.....	2
Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή	
1.1 Αντικείμενο της εργασίας.....	3
1.2 Διάρθρωση της εργασίας.....	3
Κεφάλαιο 2 Μέθοδοι επίλυσης υδρευτικών δικτύων	
2.1 Γενικά.....	4
2.2 Μέθοδος Cross.....	4
2.3 Μέθοδος Newton-Raphson.....	9
2.4 Μέθοδος Gradient.....	12
Κεφάλαιο 3 Λογισμικό επίλυσης υδρευτικών δικτύων (EPANET)	
3.1 Τι είναι το EPANET.....	17
3.2 Δυνατότητες μοντελοποίησης υδραυλικής.....	17
3.3 Δυνατότητες μοντελοποίησης σχετικές με την ποιότητα νερού.....	18
3.4 Βήματα στην χρησιμοποίηση του EPANET.....	19
3.5 Μεθοδολογία επίλυσης δικτύων στο EPANET.....	19
3.6 Εργαλειοθήκη του EPANET.....	25
Κεφάλαιο 4 Εκτίμηση επιπτώσεων στην λειτουργία ιδεατού δικτύου ύδρευσης	
4.1 Μοντελοποίηση του δικτύου.....	27
4.2 Σενάρια μεταβολής υδραυλικών χαρακτηριστικών.....	30
4.3 Αποτελέσματα υδραυλικών χαρακτηριστικών του δικτύου.....	31
4.3.1 Μεταβολή τραχύτητας από 0.06mm έως 1,2mm.....	31
4.3.2 Γραμμική μεταβολή τραχύτητας με την πάροδο του χρόνου.....	36
4.3.3 Μεταβολή της παροχής στους κόμβους με τις αυξομειώσεις του πληθυσμού με τη πάροδο του χρόνου.....	40
4.3.4 Μεταβολή της παροχής στους κόμβους με τις αυξομειώσεις του πληθυσμού και της τραχύτητας με την πάροδο του χρόνου.....	51
Κεφάλαιο 5 Εκτίμηση επιπτώσεων στην λειτουργία του δικτύου ύδρευσης Μουτάλλου	
5.1 Περιοχή μελέτης.....	63
5.1.1 Γεωγραφική θέση.....	63
5.1.2 Πληθυσμιακά δεδομένα.....	64
5.1.3 Πολεοδομικά δεδομένα.....	64
5.2 Μοντελοποίηση του δικτύου.....	65
5.2.1 Περιγραφή του δικτύου.....	67
5.2.2 Σχηματική διάταξη του δικτύου.....	68
5.2.3 Επίλυση δικτύου ύδρευσης Μουτάλλου.....	71
5.3 Σενάριο μεταβολής υδραυλικών χαρακτηριστικών στο δίκτυο του Μουτάλλου.....	76
5.4 Αποτελέσματα υδραυλικών χαρακτηριστικών του δικτύου Μουτάλλου.....	76
Κεφάλαιο 6 Συμπεράσματα και Παρατηρήσεις	108
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	111

Περίληψη

Αναμφισβήτητα τα συστήματα διανομής νερού αποτελούν σημαντικό ρόλο στην ζωή του ανθρώπου αφού αποσκοπούν στην κάλυψη κάθε είδους ανάγκης που σχετίζεται με τους υδατικούς πόρους. Πόσο μάλλον στις μέρες μας, όπου οι διαθέσιμοι υδατικοί πόροι ολοένα και μειώνονται, γεγονός που επιτάσσει τη σωστή προστασία και διαχείριση τους. Για την επίτευξη ενός τέτοιου εγχειρήματος, σκόπιμο κρίνεται να προηγηθεί μελέτη και ανάλυση του δικτύου διανομής νερού που θα καλύπτει επαρκώς τις ανάγκες αυτές. Θα πρέπει να εξετάζονται και μελλοντικά σενάρια σχετικά με την αποτελεσματικότητα της λειτουργίας των δικτύων, με το πέρασμα του χρόνου. Επιπλέον η ανάπτυξη της τεχνολογίας μέσω των ηλεκτρονικών υπολογιστών και των προγραμμάτων, έχει βοηθήσει σε μεγάλο βαθμό στον σχεδιασμό, την κατασκευή και την επίλυση των υδρευτικών δικτύων.

Η παρούσα διπλωματική εργασία απαρτίζεται από δύο μέρη. Στο πρώτο μέρος αναφέρονται οι τρεις περισσότερο δημοφιλείς μέθοδοι επίλυσης κλειστών δικτύων ύδρευσης οι οποίες είναι η Cross, η Newton – Raphson και η Gradient με τη σειρά που αναλύθηκαν. Ακολουθεί η ανάλυση του προγράμματος επίλυσης δικτύων ύδρευσης σε περιβάλλον ηλεκτρονικού υπολογιστή “EPANET” το οποίο έχει ως βάση για την επίλυση των δικτύων την μέθοδο Gradient των Todini και Pilati (1987). Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του προγράμματος καθιστά το γεγονός ότι πέρα από τις δυνατότητές του σχετικά με την μοντελοποίηση της υδραυλικής των δικτύων είναι και οι δυνατότητες σχετικά με την μοντελοποίηση της ποιότητας νερού στο δίκτυο.

Στο δεύτερο μέρος έγινε η επίλυση δύο διαφορετικών δικτύων διανομής νερού. Το πρώτο είναι ένα ιδεατό δίκτυο 13 μόλις κόμβων το οποίο επιλύθηκε με τη βοήθεια του “EPANET”. Σε αυτό εκτελέστηκαν 4 διαφορετικά σενάρια μεταβολής των υδραυλικών χαρακτηριστικών του και εκτιμήθηκαν οι επιπτώσεις στην λειτουργία του σε σχέση με τις τιμές των πιέσεων του. Η δεύτερη εφαρμογή αποτελεί το κυκλοφοριακό δίκτυο ύδρευσης του οικισμού Μουτάλλου του δήμου της Πάφου. Λαμβάνοντας υπόψη τα χαρακτηριστικά του δικτύου σε συνδυασμό με την παραδοχή για την τιμή της τραχύτητας έγινε η επίλυσή του με τη βοήθεια του “EPANET”. Έπειτα έγινε η υπόθεση ενός σεναρίου μεταβολής των υδραυλικών χαρακτηριστικών του δικτύου σε βάθος 30 χρόνων. Πιο συγκεκριμένα οι μεταβολές αυτές σχετίζονται με την ζήτηση νερού στους κόμβους και την τραχύτητα των αγωγών. Έτσι εκτιμήθηκαν οι επιπτώσεις αυτών στην ευρύτερη λειτουργία του δικτύου.

Τέλος παρατίθενται κάποια γενικά συμπεράσματα σχετικά με την λειτουργία των δικτύων που μελετήθηκαν τόσο στην αρχική τους κατάσταση όσο και μετά την μεταβολή των υδραυλικών χαρακτηριστικών τους.

Abstract

Undoubtedly the water distribution systems play an important role in human life since they are designed to cover every kind of need associated with water resources. Especially nowadays, where available water resources are increasingly reduced, a fact that requires proper protection and management. To achieve such a task, prior study and analysis of water distribution network are demanded that will adequately cover those needs. By the passage of time, future scenarios should be examined on the effectiveness of the operation of networks. Moreover, the development of technology through electronic computers and programs has helped greatly in the design, manufacture and solving water supply networks.

This diplomatic thesis consists of two parts. In the first part are referred the three most popular methods of solving closed water supply network which is the Cross, the Newton - Raphson and Gradient in turn analyzed. In the next chapter, it is analyzed the resolver program of the water supply networks in computer environment called "EPANET" which has as a basis for resolving the network the Gradient method of Todini and Pilati (1987). A special feature of the program makes the fact that beyond the capabilities of the modeling of hydraulic networks, there are the options for the modeling of water quality.

In the second part took place the solving of two different water distribution networks. The first one is a virtual network of 13 nodes which was resolved through "EPANET". Four different scenarios were executed in this network concerning the change of its hydraulic characteristics and the impact made on the operation in relation to the values of the pressures. The second object of my study is the circulating water system of Moutallos, Paphos. The solving of the water distribution system executed through "EPANET" , given the characteristics of the network combined with the assumption for the roughness value. Then it was assumed a scenario of change related to the hydraulic characteristics of the network over a 30 year period. More specifically, these changes are related to water demand nodes and roughness friction factor of the pipes. So their effects were estimated in the wider network operation.

Finally, some general conclusions listed about the function of the networks studied both in their original state and after the change of their hydraulic characteristics.

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

1.1 Αντικείμενο της εργασίας

Στην εργασία αυτή πραγματοποιείται η εκτίμηση των επιπτώσεων στη λειτουργία των κυκλοφοριακών δικτύων ύδρευσης λόγω μεταβολής της ζήτησης νερού στους κόμβους και την τραχύτητα των αγωγών. Για την έγκυρη εκτίμηση μελετήθηκαν δύο δίκτυα, ένα ιδεατό και ένα πραγματικό. Αφού εκτελέστηκαν διάφορα σενάρια για το ιδεατό δίκτυο, επιλέχτηκε να εφαρμοστεί στο υφιστάμενο υδρευτικό δίκτυο του οικισμού Μουτάλλου στη Πάφο (πραγματικό δίκτυο) ένα σενάριο το οποίο συνάγει με τις πραγματικές μεταβολές στα υδραυλικά χαρακτηριστικά κάθε δικτύου. Με βάση το σενάριο αυτό έγιναν παρατηρήσεις σχετικά με τη λειτουργία του δικτύου και λήφθηκαν χρήσιμα συμπεράσματα για τον χρόνο ζωής του.

1.2 Διάρθρωση της εργασίας

Στο κεφάλαιο 1 περιλαμβάνεται η εισαγωγή.

Στο κεφάλαιο 2 περιγράφονται οι τρεις μέθοδοι επίλυσης κλειστών δικτύων ύδρευσης οι οποίες είναι η Cross, η Newton – Raphson και η Gradient.

Στο κεφάλαιο 3 αναλύεται το ελεύθερο πρόγραμμα “EPANET” που βοηθάει στις επιλύσεις των υδρευτικών δικτύων καθώς και άλλες δυνατότητες που προσδίδει στον χρήστη.

Στο κεφάλαιο 4 περιγράφονται το ιδεατό δίκτυο και τα σενάρια μελέτης λόγω μεταβολής της ζήτησης νερού στους κόμβους και την τραχύτητα των αγωγών.

Στο κεφάλαιο 5 περιγράφονται το υδρευτικό δίκτυο του οικισμού Μουτάλλου στη Πάφο και η εκτίμηση της λειτουργίας του έπειτα από εφαρμογή του σεναρίου σχετικά με την μεταβολή των υδραυλικών χαρακτηριστικών του.

Στο κεφάλαιο 6 διατυπώνονται τα συμπεράσματα από την εφαρμογή των σεναρίων στα υδρευτικά δίκτυα και τονίζεται η σημασία τους.

Κεφάλαιο 2

Μέθοδοι επίλυσης υδρευτικών δικτύων

2.1 Γενικά

Σκοπός των δικτύων ύδρευσης είναι η εξασφάλιση του απαιτούμενου νερού σε επαρκή ποσότητα και κατάλληλη ποιότητα μέσα σε αποδεκτά όρια πίεσης, το οποίο παρέχεται για την κάλυψη κάθε είδους ανάγκης των κατοίκων μίας περιοχής. Τα στάδια που ακολουθούνται για την εκπόνηση μίας ολοκληρωμένης μελέτης ύδρευσης είναι η παροχή σχεδιασμού του δικτύου, ο σχεδιασμός έργων εξωτερικού υδραγωγείου, ο προσδιορισμός των δεξαμενών ρύθμισης, έπειτα ο σχεδιασμός έργων εσωτερικού υδραγωγείου και τέλος η μαθηματική προσομοίωση του δικτύου με τέτοιο τρόπο ώστε να πληρούνται οι υδραυλικές απαιτήσεις (παροχές, ελάχιστες και μέγιστες πιέσεις). Έτσι, ο μελετητής συνήθως σχεδιάζει κλειστά ή κυκλοφοριακά δίκτυα, τα οποία παρουσιάζουν σημαντικά πλεονεκτήματα σε αντίθεση με τα ακτινωτά, όπως είναι η καλύτερη κυκλοφορία του νερού και η ευελιξία που παρέχουν σε περίπτωση βλάβης κάποιου κλάδου μέσω των ποικίλων διαδρομών που δύναται να ακολουθήσει η ροή του νερού.

Σε αυτά τα έργα παρουσιάζονται τρία βασικά προβλήματα. Αυτά είναι ο προσδιορισμός της πιεζομετρικής γραμμής με γνωστά στοιχεία και το υλικό των αγωγών και της παροχής σχεδιασμού, ο της παροχής με γνωστά τα γεωμετρικά στοιχεία και το υλικό των αγωγών και της των υψών της πιεζομετρικής γραμμής και ο προσδιορισμός της διαμέτρου των αγωγών με γνωστά τα (ελάχιστα) ύψη της πιεζομετρικής γραμμής, την παροχή και το υλικό των αγωγών. Οι δύο βασικές αρχές της υδραυλικής στις οποίες στηρίζεται η επίλυση των κλειστών δικτύων είναι η αρχή διατήρησης της μάζας και της ενέργειας. Στο κεφάλαιο αυτό το παρουσιάζονται συνοπτικά οι παρακάτω τρεις περισσότερο δημοφιλείς μέθοδοι:

- Μέθοδος Cross
- Μέθοδος Newton – Raphson
- Μέθοδος Gradient

2.2 Μέθοδος Cross

Η μέθοδος αυτή αναπτύχθηκε από τον Αμερικανό πολιτικό μηχανικό Hardy Cross το 1938. Είναι η παλιότερη και η πιο ευρέως χρησιμοποιημένη επαναληπτική μέθοδος υπολογισμού παροχών. Με την εξέλιξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών αποδείχτηκε πως, ενώ είναι μια ευνόητη και φιλική στον χρήστη μέθοδος, ο προγραμματισμός της σε ηλεκτρονικό περιβάλλον είναι πιο δύσκολος και λιγότερο αποτελεσματικός από άλλες μεθόδους που αναπτύχθηκαν αργότερα.

Η επίλυση της Q – Cross μεθόδου βασίζεται στις ΔQ-εξισώσεις. Στόχος της είναι να υπολογίσει τις διορθωτικές παροχές $\Delta Q_1, \Delta Q_2, \dots, \Delta Q_L$ των L βρόχων του δικτύου. Αυτό επιχειρεί να το κάνει όχι με την επίλυση του συστήματος των εξισώσεων ενέργειας, αλλά υπολογίζοντας τη διορθωτική παροχή κάθε βρόχου ξεχωριστά (Jeppson, 1976).

Επομένως για τον πρώτο βρόχο του δικτύου είναι απαραίτητη η επιλογή αρχικών τιμών για τις παροχές των κλάδων (Q_i^a). Η επιλογή τους γίνεται αυθαίρετα με μοναδική προϋπόθεση να ικανοποιείται η αρχή συνέχειας της μάζας σε κάθε κόμβο δηλαδή $\sum Q_{in} = \sum Q_{out}$. Προσδιορίζοντας θετική φορά κίνησης του νερού μέσα στο βρόχο και υποθέτοντας φορά κίνησης σε κάθε κλάδο, οι παραπάνω παροχές προσημαίνονται κατάλληλα : όσες ακολουθούν τη θετική φορά (σύμφωνα με τους δείκτες του ρολογιού) παίρνουν το πρόσημο «+» και όσες την αρνητική το πρόσημο «-» (Τσακίρης, 2010). Η διαφορά των πραγματικών παροχών των κλάδων και των αρχικών θεωρηθισών παροχών είναι μια ποσότητα ΔQ_1 η οποία ονομάζεται διορθωτική παροχή και εκφράζεται με τη σχέση :

$$Q_i = Q_i^a + \Delta Q_1 \quad (2.1)$$

Η τιμή της διορθωτικής παροχής υπολογίζεται σχηματίζοντας τις εξισώσεις ενέργειας βρόχου:

$$\sum_{i=1}^{N_1} h_f = 0 \quad (2.2)$$

ή

$$\sum_{i=1}^{N_1} R_i Q_i^n = 0 \quad (2.3)$$

(Όπου N_1 : ο αριθμός κλάδων του πρώτου βρόχου)

Αν όπου Q_i τεθεί $Q_i^a + \Delta Q$ η παραπάνω σχέση μετατρέπεται σε :

$$\sum_{i=1}^{N_1} R_i (Q_i^a + \Delta Q_1)^n = 0 \quad (2.4)$$

Αναπτύσσοντας το παραπάνω δίνωμο αυτό γίνεται :

$$\sum_{i=1}^{N_1} R_i (Q_i^a)^n + \sum_{i=1}^{N_1} n R_i (Q_i^a)^{n-1} \Delta Q_1 + \frac{n-1}{2} \sum_{i=1}^{N_1} n R_i (Q_i^a)^{n-2} \Delta Q_1^2 + \dots = 0 \quad (2.5)$$

Αγνοώντας τους όρους δεύτερης και μεγαλύτερης τάξης, μιας και $\Delta Q_1 \ll Q_i$ και

επιλύοντας ως προς ΔQ η σχέση που δίνει τη διορθωτική παροχή είναι :

$$\Delta Q_1 = - \frac{\sum_{i=1}^{N_1} R_i (Q_i^a)^n}{\sum_{i=1}^{N_1} |n R_i (Q_i^a)^{n-1}|} \quad (2.6)$$

Η ποσότητα $\sum_{i=1}^{N_1} R_i (Q_i^a)^n$ είναι το αλγεβρικό άθροισμα των υψών απωλειών ενέργειας που το πρόσημό τους καθορίζεται από τη φορά της παροχής, για αυτό και οι τιμές των αρχικών παροχών πρέπει να εισαχθούν με το πρόσημο που υποδεικνύει η φορά τους.

Χρησιμοποιώντας την τιμή 2 για τον συντελεστή «n» της εξίσωσης 2.6 για την εξίσωση απωλειών των Darcy-Weisbach, η σχέση της διορθωτικής παροχής γίνεται :

$$\Delta Q_1 = - \frac{\sum_{i=1}^N R_i(Q_i^a)^2}{\sum_{i=1}^N |2R_i Q_i^a|} \quad (2.7)$$

Η διορθωτική παροχή που υπολογίζεται προστίθεται στις αρχικές θεωρηθείσες παροχές. Οι νέες παροχές που προκύπτουν (Q_i'), όμως δεν είναι και οι τελικές πραγματικές παροχές των κλάδων γιατί από το διώνυμο της εξίσωσης ενέργειας βρόχου έχουν χρησιμοποιηθεί μόνο οι δύο πρώτοι όροι, για αυτό η διαδικασία πρέπει να επαναληφθεί από την αρχή με αρχικές παροχές αυτή τη φορά αυτές που προέκυψαν μετά την πρόσθεση της διορθωτικής παροχής. Όταν μετά το πέρας ενός αριθμού επαναλήψεων η ποσότητα ΔQ τείνει να μηδενιστεί ($|\Delta Q| \leq 0.000001 \text{ m}^3/\text{s}$), τότε οι παροχές που θα υπολογιστούν θα είναι οι πραγματικές και θα ικανοποιείται η αρχή διατήρησης ενέργειας στο βρόχο. Εάν το πρόσημο των παροχών έχει διατηρηθεί όπως στην αρχική υπόθεση τότε συμπεραίνεται ότι αυτή είναι και η φορά κίνησης του νερού μέσα στους κλάδους. Εάν όχι τότε το νερό θα ακολουθεί την αντίστροφη φορά.

Η ίδια διαδικασία ακολουθείται για όλους τους βρόχους του δικτύου, όμως οι κλάδοι που ανήκουν σε δύο βρόχους πρέπει να δεχθούν τις διορθωτικές παροχές και από τους δύο, για να γίνει αυτό, είτε το αποτέλεσμα τις διορθωμένης κάθε φορά παροχής στον έναν βρόχο θεωρείται ως αρχική παροχή του άλλου, είτε στην αρχική παροχή προστίθενται και οι δύο διορθωτικές παροχές και το αποτέλεσμα χρησιμοποιείται από κοινού και για τους δυο βρόχους.

Συνοπτικά τα βήματα της μεθόδου :

1°. Ορίζεται θετική φορά βρόχων (σύμφωνα με τους δείκτες του ρολογιού), για τον πρώτο βρόχο επιλέγονται τυχαίες κατευθύνσεις των παροχών στους κλάδους και θεωρούνται αυθαίρετες παροχές κλάδων με τρόπο που να ικανοποιούν τις εξισώσεις συνέχειας των κόμβων. Κάθε μία από αυτές παίρνει το πρόσημο που ακολουθεί η φορά της.

2°. Προσδιορίζονται τα παρακάτω μεγέθη για κάθε κλάδο:

- Αριθμός Reynolds : $Re = \frac{v D}{\nu} = \frac{4 Q}{\pi D^2 \nu}$
- Συντελεστής τριβής f κατά Swamee & Jain : $f = \frac{0.25}{[\log(\frac{5.74}{Re^{0.9}} + \frac{\kappa}{3.7D})]^2}$
- Αντίσταση αγωγού κατά Darcy-Weisbach : $R = \frac{8fL}{g\pi^2 D^5}$
- Ύψος απωλειών ενέργειας κατά Darcy-Weisbach : $h_f = R Q |Q|$

3°. Κατασκευάζεται το άθροισμα των απωλειών ενέργειας κατά μήκος του κάθε βρόχου και υπολογίζεται η διορθωτική παροχή του από τη σχέση :

$$\Delta Q_i = - \frac{\sum_{i=1}^N R_i(Q_i^a)^2}{\sum_{i=1}^N |2R_i Q_i^a|}$$

4°. Η διορθωτική παροχή ΔQ_i προστίθεται στις αρχικές παροχές και υπολογίζονται οι νέες τιμές των παροχών για τον πρώτο βρόχο.

$$Q_i = Q_i^a + \Delta Q$$

5°. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται από την αρχή μέχρι όλες οι διορθωτικές παροχές $\Delta Q_1, \Delta Q_2, \dots, \Delta Q_L$ να τείνουν στο μηδέν ($\Delta Q_i \leq 0.000001 \text{ m}^3/\text{s}$). (Τσακίρης, 2010)

Όμοια με τη μέθοδο Q – Cross αναπτύχθηκε η επαναληπτική μέθοδος σειριακής επίλυσης από κόμβο σε κόμβο με βάση τις H- εξισώσεις. Κατά τα γνωστά η παροχή ενός κλάδου έστω (k-m) με βάση την εκθετική εξίσωση των απωλειών προσδιορίζεται με βάση τη πιεζομετρική γραμμή και την αντίσταση:

$$Q_{k,m} = \left(\frac{h_k - h_m}{R_{k,m}} \right)^{1/n} = R_{k,m}^{-1/n} (h_k - h_m)^{1/n} \quad (2.8)$$

Στην εξίσωση συνέχειας για κάθε κόμβο m, θεωρείται ότι έχει θετική φορά η παροχή που συμβάλλει στον κόμβο αυτό και αρνητική αυτή που αποκλίνει. Έτσι η εξίσωση 2.8 γράφεται:

$$Q_{k,m} = R_{k,m}^{-1/n} (h_k - h_m) |h_k - h_m|^{(1/n)-1} \quad (2.9)$$

Έτσι η εξίσωση συνέχειας στον κόμβο m εκφρασμένη ως συνάρτηση εξισωμένη με το μηδέν είναι:

$$F_m = \sum_k^{K(m)} R_{k,m}^{-1/n} (h_k - h_m) |h_k - h_m|^{(1/n)-1} - q_m = 0, \quad \forall m \in (M-1) \quad (2.10)$$

όπου M είναι το σύνολο των κόμβων του δικτύου, k(m) το σύνολο των κόμβων που συμβάλλουν στον τυχαίο κόμβο m και q_m η παροχή κατανάλωσης στον κόμβο m.

Στη μέθοδο H – Cross προσδιορίζεται η διορθωτική τιμή του ύψους της πιεζομετρικής γραμμής για τον κόμβο m. Σύμφωνα με τη σχέση 2.10 αγνοώντας την διαφορική επίδραση των υψών πιεζομετρικής γραμμής των άλλων κόμβων που συμβάλλουν στον κόμβο m (θεωρείται ότι η μοναδική συνάρτηση της F_m είναι το ύψος της πιεζομετρικής γραμμής στον κόμβο m, h_m) είναι δυνατόν να προσδιορισθεί η τιμή του ύψους πιεζομετρικής γραμμής στον κόμβο m, Δh_m :

$$\Delta h_m = - \frac{F_m}{dF_m/dh_m} \Big|_k \quad (2.11)$$

ή

$$\Delta h_m = \frac{\sum_i^{I(m)} R_{k,m}^{-1/n} (h_k - h_m) |h_k - h_m|^{(1/n)-1} - q_m}{\sum_i^{I(m)} \frac{1}{n} R_{k,m}^{-1/n} |h_k - h_m|^{(1/n)-1}} \quad (2.12)$$

Επίσης η τιμή του ύψους πιεζομετρικής γραμμής στον κόμβο m μπορεί να προσδιορισθεί ως συνάρτηση των παροχών ως εξής:

$$\Delta h_m = \frac{\sum_i^{I(m)} Q_{k,m} - q_m}{\sum_i^{I(m)} \frac{1}{n} \frac{Q_i}{\Delta h_{f,i}}} = \frac{\sum_i^{I(m)} Q_{k,m} - q_m}{\frac{1}{n} \sum_i^{I(m)} |Q_i \frac{1}{(Q_i^n R_i)}|} = \frac{\sum_i^{I(m)} Q_{k,m} - q_m}{\frac{1}{n} \sum_i^{I(m)} |R_i^{-1} Q_i^{1-n}|} \quad (2.13)$$

όπου i είναι ο κλάδος που ορίζεται από τους κόμβους k και m ενώ $I(m)$ είναι το σύνολο των αγωγών I που συμβάλλουν στον κόμβο m . Ο όρος $Q_{k,m}$ αναφέρεται στον προσδιορισμό της παροχής με το πρόσημο της όπως ήδη αναφέρθηκε.

Παρόλα αυτά όταν ακολουθείται η μέθοδος των Darcy-Weisbach για τον υπολογισμό των γραμμικών απωλειών τότε ο συντελεστής τριβής και η αντίσταση R εξαρτάται από τον αριθμό Re και κατ' επέκταση από την παροχή. Αυτό δυσκολεύει την επίλυση του δικτύου καθώς θα πρέπει πρώτα να γίνει ο υπολογισμός της παροχής των κλάδων και έπειτα της αντίστασης R . Για την αποφυγή της επαναληπτικής διαδικασίας εύρεσης της παροχής με βάση τα ύψη πιεζομετρικής γραμμής, προσδιορίζονται οι γραμμικές απώλειες με βάση τη πιεζομετρική γραμμή (Τσακίρης 2010) και κατόπιν με τη χρήση της παρακάτω προτεινόμενης ρητής εξίσωσης (Swamee and Jain, 1976) που ισχύει για τυρβώδη ροή, προσδιορίζεται η ταχύτητα του κλάδου i (Featherstone and Nalluri, 1995):

$$V_i = -2 \sqrt{\frac{2g|\Delta h_{f,i}|D_i}{L_i}} \log \left(\frac{k}{3.7D_i} + \frac{2.51\nu}{D_i} \sqrt{\frac{L_i}{2g|\Delta h_{f,i}|D_i}} \right) \quad (2.14)$$

οπότε η παροχή θα είναι :

$$Q_i = \frac{\pi D_i^2}{4} V_i \quad (2.15)$$

Όσο αναφορά την περίπτωση όπου η ροή δεν είναι τυρβώδης μπορεί να χρησιμοποιηθεί η παρακάτω εξίσωση με μέγστο σφάλμα κατά τους (Swamee and Jain, 2008) το 0.1% :

$$Q_i = D_i^2 \sqrt{\frac{g|\Delta h_{f,i}|D_i}{L_i}} \left\{ \left(\frac{128\nu}{\pi D_i \sqrt{\frac{g|\Delta h_{f,i}|D_i}{L_i}}} \right)^4 + 1.153 \left[\left(\frac{415\nu}{D_i \sqrt{\frac{g|\Delta h_{f,i}|D_i}{L_i}}} \right)^8 - \ln \left(\frac{k}{3.7D_i} + \frac{1775\nu}{D_i \sqrt{\frac{g|\Delta h_{f,i}|D_i}{L_i}}} \right) \right]^{-4} \right\}^{-0.25} \quad (2.16)$$

Επομένως, ακολουθώντας τη μέθοδο των Darcy-Weisbach για τον υπολογισμό των γραμμικών απωλειών η διορθωτική τιμή του ύψους της πιεζομετρικής γραμμής για τον κόμβο m θα είναι:

$$\Delta h_m = 2 \frac{\sum_i^{I(m)} Q_{k,m} - q_m}{\sum_i^{I(m)} \frac{1}{|(Q_i R_i)|}} \quad (2.17)$$

όπου $\Delta h_{f,i} = h_k - h_m$ οι γραμμικές απώλειες του κλάδου i που ορίζεται από τους κόμβους k, m

Συνοπτικά τα βήματα της μεθόδου:

1°. Θεωρούνται αυθαίρετα τα ύψη της πιεζομετρικής γραμμής στους κόμβους του δικτύου.

2°. Προσδιορίζονται οι παροχές στους κλάδους με βάση τα ύψη της πιεζομετρικής γραμμής από την εξίσωση:

$$Q = -\frac{\pi D^2}{2} \sqrt{\frac{2g|\Delta h_{f,i}|D}{L}} \log\left(\frac{k}{3.7D} + \frac{2.51\nu}{D} \sqrt{\frac{L}{2g|\Delta h_{f,i}|D}}\right),$$

$$\Delta h_{f,i} = h_k - h_m$$

3°. Με γνωστές τις αρχικές παροχές των κλάδων προσδιορίζεται η αντίσταση των κλάδων:

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

με συντελεστή τριβής f κατά Swamee & Jain : $f = \frac{0.25}{\left[\log\left(\frac{5.74}{Re^{0.9}} + \frac{k}{3.7D}\right)\right]^2}$

όπου αριθμός Reynolds : $Re = \frac{v D}{\nu} = \frac{4 Q}{\pi D^2 \nu}$

4°. Εφαρμόζοντας την εξίσωση μάζας σε κάθε κόμβο προσδιορίζω τη Δh για κάθε κόμβο:

$$\Delta h_m = 2 \frac{\sum_i^{I(m)} Q_{k,m} - q_m}{\sum_i^{I(m)} \frac{1}{|Q_i R_i|}}$$

5°. Διορθώνονται τα ύψη πιεζομετρικής γραμμής με βάση τα Δh

$$h_m = h_m^{\text{αρχικό}} + \Delta h_m$$

6°. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται σειριακά από κόμβο σε κόμβο θέτοντας όμως τα πιεζομετρικά ύψη των διορθωμένων κόμβων κατά τους υπολογισμούς

7°. Η διαδικασία τερματίζεται όταν ικανοποιηθούν τα κριτήρια σύγκλισης για όλους τους κόμβους. (Τσακίρης, 2010)

2.3 Μέθοδος Newton-Raphson

Η μέθοδος Newton-Raphson είναι μια επαναληπτική μέθοδος και χρησιμοποιεί τις ΔQ -εξισώσεις για την επίλυσή της και θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως μία γενίκευση της Cross. Σε αντίθεση με την προηγούμενη, προσπαθεί να υπολογίσει την τιμή της διορθωτικής παροχής ΔQ επιλύοντας το σύστημα των μη γραμμικών εξισώσεων που προκύπτουν από την αρχή διατήρησης της ενέργειας σε κάθε βρόχο. Για να γραμμικοποιηθούν οι εξισώσεις ενέργειας χρησιμοποιείται ο αλγόριθμος των Newton-Raphson από όπου προέρχεται και το όνομα της μεθόδου αυτής. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται ευρέως διότι συγκλίνει πολύ γρήγορα στις πραγματικές τιμές των παροχών (Jeppson, 1976).

Έχοντας θεωρήσει αυθαίρετες αρχικές τιμές παροχών των κλάδων που να ικανοποιούν την αρχή συνέχειας παροχής στους κόμβους και με βάση την τυχαία κατεύθυνση του νερού

στους κλάδους σχηματίζονται τα αθροίσματα των απωλειών ενέργειας κάθε βρόχου. Έτσι αν ένα δίκτυο αποτελείται από L βρόχους κατασκευάζονται L εξισώσεις. Τονίζεται ότι όταν η διορθωτική παροχή είναι ομόρροπη της παροχής του κλάδου προστίθεται σε αυτήν, ειδάλλως αφαιρείται. Έτσι για έναν οποιοδήποτε κόμβο l προκύπτει:

$$F_l = \sum^{i \in l(l)} \pm R_i (Q_i^a \pm \Delta Q_i \pm \Delta Q_M)^n = 0, \forall l \in L \quad (2.18)$$

Η οποία για την ενσωμάτωση οποιασδήποτε αλλαγής πρόσημου κατά τη διαδικασία των επαναληπτικών υπολογισμών γράφεται ισοδύναμα

$$F_l = \sum^{i \in l(l)} \pm R_i (Q_i^a \pm \Delta Q_i \pm \Delta Q_M)^n | Q_i^a \pm \Delta Q_i \pm \Delta Q_M |^{n-1} = 0, l \neq M, \forall l \in L \quad (2.19)$$

Όπου M ο άλλος κόμβος όπου συμβάλει στον κλάδο i.

Έτσι με την μέθοδο Newton-Raphson οι L μη γραμμικές εξισώσεις θα επιλυθούν

$$F(x) = \begin{bmatrix} F(x)_1 \\ \vdots \\ F(x)_l \\ \vdots \\ F(x)_L \end{bmatrix} = 0 \quad (2.20)$$

Με βάση μία επαναληπτική διαδικασία. Αρχικά θεωρείται μία τιμή-διάνυσμα

$$x_k = \begin{bmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_l \\ \vdots \\ x_L \end{bmatrix}_k \quad (2.21)$$

είναι δυνατόν να προσδιοριστεί ένα νέο διάνυσμα x_{k+1} από όπου ξεκινάει η καινούρια επανάληψη που υπακούει την συνάρτηση $F(x_{k+1}) = 0$ και υπακούει στην εξίσωση

$$(J|_{x=x_k}) (x_{k+1} - x_k) = -F(x_k) \quad (2.22)$$

Με J η ιακωβιανή μήτρα που έχει την μορφή:

$$J_k = \begin{bmatrix} \frac{\partial F_1}{\partial x_1} & \frac{\partial F_1}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial F_1}{\partial x_l} & \frac{\partial F_1}{\partial x_L} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial F_l}{\partial x_1} & \frac{\partial F_l}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial F_l}{\partial x_l} & \frac{\partial F_l}{\partial x_L} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial F_L}{\partial x_1} & \frac{\partial F_L}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial F_L}{\partial x_l} & \frac{\partial F_L}{\partial x_L} \end{bmatrix}_{x_k=0} \quad (2.23)$$

Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται μέχρι οι τιμές να συγκλίνουν σε ένα διάνυσμα x. Έτσι με την μέθοδο Newton-Raphson προσδιορίζονται μέσω των ΔQ εξισώσεων οι διορθωτικές παροχές ως εξής:

$$\Delta(\Delta Q_k) = \Delta Q_{k+1} - \Delta Q_k = \Delta Q_{k+1} \quad (2.24)$$

Θεωρώντας ότι ισχύει η εξίσωση ενέργειας για κάθε βρόγχο και ότι αρχικά $\Delta Q_k=0$ σύμφωνα με την σχέση 2.22 η οποία επιλύεται ως προς τις τιμές των διορθωτικών τιμών της παροχής προκύπτει:

$$\Delta Q_{k+1} = -(J_k^{-1})^* (F)_k |_{\Delta Q_k=0} \quad (2.25)$$

Όπου η ιακωμβιανή μήτρα αυτή τη φορά θα είναι η ίδια με την 2.23 αλλά στον παρανομαστή αντί για x θα υπάρχουν οι αντίστοιχες διορθωτικές παροχές.

Σε αυτό το στάδιο προσδιορίζεται η παράγωγος της συνάρτησης F_l η οποία αναπαριστά την εξίσωση ενέργειας βρόγχου l ως προς τη διορθωτική παροχή του βρόγχου ΔQ_l και ΔQ_M

$$\begin{aligned} \frac{\partial F_l}{\partial \Delta Q_l} &= \frac{\partial}{\partial \Delta Q_l} \left(\sum^{i \in I(l)} \pm R_i (Q_i^a \pm \Delta Q_l \pm \Delta Q_M) | Q_i^a \pm \Delta Q_l \pm \Delta Q_M |^{n-1} \right) = \\ &= \sum^{i \in I(l)} n R_i (| Q_i^a \pm \Delta Q_l \pm \Delta Q_M |)^{n-1} \end{aligned} \quad (2.26)$$

Και αντίστοιχα

$$\frac{\partial F_l}{\partial \Delta Q_M} = - n R_i (| Q_i^a \pm \Delta Q_l \pm \Delta Q_M |)^{n-1} \quad (2.27)$$

Προφανώς τα αποτελέσματα αυτά ακολουθούν ένα μοτίβο και όσο αυξάνεται η διορθωτική παροχή του βρόγχου ΔQ_l θα αυξάνονται οι παροχές που είναι ομόρροπες της διορθωτικής παροχής ενώ οι αντίρροπες θα μειώνονται. Με αυτό τον τρόπο θα αυξάνεται το άθροισμα των γραμμικών απωλειών, δηλαδή η συνάρτηση F_l . Με το τέλος της επίλυσης, σκοπός είναι η συνάρτηση αυτή να μηδενιστεί.

Τέλος σε αυτή τη μέθοδο συνηθίζεται να διορθώνονται οι αρχικές παροχές με βάση τις διορθωτικές παροχές του βρόγχου, δηλαδή στην καινούρια επανάληψη οι διορθωτικές παροχές δεν λαμβάνονται υπόψη ξανά. Έτσι η μέθοδος αυτή προσδιορίζει τη διορθωτική παροχή και όχι μόνο τη διόρθωση της διορθωτικής παροχής. Τότε οι παράγωγοι είναι:

$$\frac{\partial F_l}{\partial \Delta Q_l} |_{\Delta Q_l=0, \Delta Q_M=0} = \sum^{i \in I(l)} | n R_i (Q_i^a)^{n-1} | \quad (2.28)$$

$$\frac{\partial F_l}{\partial \Delta Q_M} |_{\Delta Q_l=0, \Delta Q_M=0} = - | n R_i (Q_i^a)^{n-1} | \quad (2.29)$$

τα οποία είναι τα στοιχεία της κύριας διαγωνίου της ιακωμβιανής μήτρας.

Συνοπτικά τα βήματα της μεθόδου :

1°. Σύμφωνα με τις απαιτήσεις της εξίσωσης συνέχειας παροχών στους κόμβους θεωρούνται αυθαίρετα οι αρχικές παροχές.

2°. Με βάση τις τυχαίες κατευθύνσεις των παροχών σχηματίζονται οι εξισώσεις απωλειών ενέργειας κατά μήκος κάθε βρόγχου, όπου η παροχή δέχεται θετικές τιμές και ορίζονται οι αντίστοιχες συναρτήσεις σύμφωνα με την εξίσωση των Darcy-Weisbach:

$$F_l = \sum^{i \in I(l)} \pm R_i (Q_i^a \pm \Delta Q_l \pm \Delta Q_M)^2 = 0$$

3°. Υπολογίζονται τα παρακάτω μεγέθη για κάθε κλάδο του δικτύου σύμφωνα με την εξίσωση των Darcy-Weisbach :

- Αριθμός Reynolds : $Re = \frac{v D}{\nu} = \frac{4 Q}{\pi D \nu}$
- Συντελεστής τριβής f κατά Swamee & Jain : $f = \frac{0.25}{[\log(\frac{5.74}{Re^{0.9}} + \frac{\kappa}{3.7D})]^2}$
- Αντίσταση αγωγού κατά Darcy-Weisbach : $R = \frac{8 f L}{g \pi^2 D^5}$

4°. Προσδιορίζονται οι παρακάτω πίνακες και η ιακωμβιανή μήτρα:

$$(F)_k = \begin{bmatrix} F_1 \\ \vdots \\ F_L \end{bmatrix}_k, J_k = \begin{bmatrix} \frac{\partial F_1}{\partial \Delta Q_1} & \frac{\partial F_1}{\partial \Delta Q_2} & \dots & \frac{\partial F_1}{\partial \Delta Q_l} & \frac{\partial F_1}{\partial \Delta Q_L} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial F_l}{\partial \Delta Q_1} & \frac{\partial F_l}{\partial \Delta Q_2} & \dots & \frac{\partial F_l}{\partial \Delta Q_l} & \frac{\partial F_l}{\partial \Delta Q_L} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial F_L}{\partial \Delta Q_1} & \frac{\partial F_L}{\partial \Delta Q_2} & \dots & \frac{\partial F_L}{\partial \Delta Q_l} & \frac{\partial F_L}{\partial \Delta Q_L} \end{bmatrix}_{\Delta Q=0}, \frac{\partial F_l}{\partial \Delta Q_l} \Big|_{\Delta Q_l=0, \Delta Q_M=0} = 2 \sum^{i \in I(l)} |R_i Q_i^a|$$

5°. Θέτοντας τις διορθωτικές παροχές μηδέν προσδιορίζονται οι διορθωτικές τιμές των παροχών των κλάδων σύμφωνα με την εξίσωση:

$$\Delta Q_{k+1} = -(J_k^{-1})^* (F)_k \Big|_{\Delta Q_k=0} \text{ όπου } \Delta Q_{k+1} = \begin{bmatrix} \Delta Q_1 \\ \vdots \\ \Delta Q_L \end{bmatrix}_{k+1}$$

Οπότε με βάση το κριτήριο σύγκλισης διορθώνονται οι παροχές των κλάδων αρκεί να υπάρχει τουλάχιστον μία μη μηδενική σύμφωνα με τον τύπο:

$$Q_i = Q_i^a \pm \Delta Q_i \pm \Delta Q_M$$

6°. Διορθώνονται οι τιμές των παροχών με βάση τις διορθωτικές παροχές και επαναλαμβάνεται η διαδικασία. Η διαδικασία τερματίζεται όταν οι διορθωτικές παροχές τείνουν να μηδενιστούν. (Τσακίρης, 2010).

2.4 Μέθοδος Gradient

Η ανάλυση ενός συστήματος μεταφοράς νερού περιλαμβάνει τον ορισμό της ταχύτητας ροής στον κάθε αγωγό και το πιεζομετρικό φορτίο τα οποία ικανοποιούν τις εξισώσεις συνέχειας και διατήρησης ενέργειας. Οι δύο αυτές εξισώσεις περιγράφονται παρακάτω:

- I. Συνέχειας: Το αλγεβρικό άθροισμα των παροχών στους αγωγούς που συναντούνται σε ένα κόμβο μαζί με κάθε άλλη εξωτερική ροή είναι ίση με το μηδέν:

$$\sum_{I=1}^{I=NP(J)} Q_{ij} - F_j = 0, J=1, NJ \tag{2.30}$$

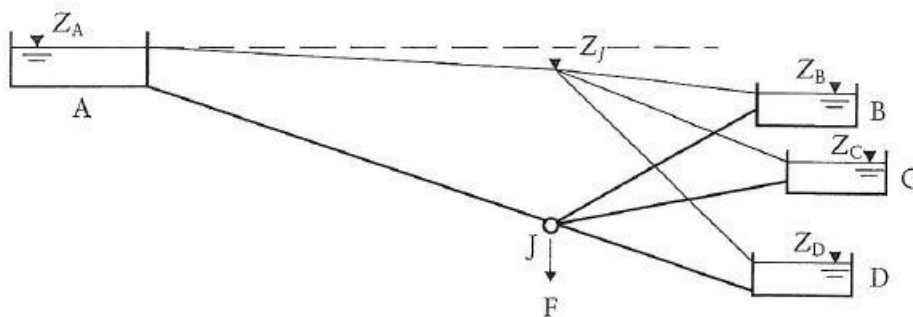
στην οποία το Q_{IJ} είναι η παροχή στον αγωγό IJ στον κόμβο J, $NP(J)$ ο αριθμός των αγωγών που συνδέονται στον κόμβο J, F_J οι εξωτερικές ροές στον J και NJ ο συνολικός αριθμός κόμβων στο δίκτυο.

- II. Διατήρηση ενέργειας: Το αλγεβρικό άθροισμα της απώλειας πιεζομετρικών φορτίων στους αγωγούς, μαζί με κάθε φορτίο παραγόμενο από τις εσωτερικές ενισχυτικές αντλίες γύρω από κάθε κλειστό βρόγχο που σχηματίζεται από αγωγούς είναι ίσο με μηδέν.

$$\sum_{J=1}^{NP(I)} h_{L,IJ} - H_{m,IJ} = 0, \quad I=1, NJ \quad (2.31)$$

στο οποίο $h_{L,IJ}$ είναι η πιεζομετρική απώλεια στον αγωγό J του βρόγχου I και $H_{m,IJ}$ είναι το μανομετρικό φορτίο παραγόμενο από μία αντλία στην γραμμή IJ.

Το σχήμα 2.1 δείχνει ένα διακλαδισμένου τύπου σύστημα αγωγών που παραδίδει νερό από τη δεξαμενή A στις δεξαμενές B, C και D, F είναι οι γνωστές απώλειες από τον κόμβο J.



Σχήμα 2.1 Διακλαδισμένου τύπου σύστημα αγωγών

Έστω ότι Z_f είναι το αληθινό υψόμετρο πιεζομετρικού φορτίου στο J, η απώλεια φορτίου σε κάθε αγωγό μπορεί να εκφραστεί ως η διαφορά μεταξύ Z_J και του πιεζομετρικού φορτίου της άλλης πλευράς.

Για παράδειγμα: $h_{L,AJ} = Z_A - Z_J$

Εκφράζοντας την απώλεια φορτίου με τη μορφή $h = KQ^2$, N τέτοιες εξισώσεις μπορούν να γραφτούν όπως οι παρακάτω (όπου N είναι ο αριθμός των αγωγών):

$$\begin{bmatrix} Z_A - Z_J \\ Z_B - Z_J \\ \vdots \\ Z_I - Z_J \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (SIGN)K_{AJ}(|Q_{AJ}|)^2 \\ (SIGN)K_{BJ}(|Q_{BJ}|)^2 \\ \vdots \\ (SIGN)K_{IJ}(|Q_{IJ}|)^2 \end{bmatrix} \quad (2.32)$$

Και γενικώς (SIGN) είναι + ή - σύμφωνα με το πρόσημο του $(Z_i - Z_j)$. Έτσι η ροή προς τον κόμβο είναι θετική και όταν απομακρύνεται είναι αρνητική.

Το K_{ij} είναι η αντίσταση του αγωγού και αποτελείται από την απώλεια τριβής και τους συντελεστές μικρής απώλειας.

Η εξίσωση συνέχειας για τις παροχές στον J είναι

$$\sum Q_{ij} - F = Q_{Aj} + Q_{Bj} + Q_{Cj} + Q_{Dj} - F = 0 \quad (2.33)$$

Η εξέταση των εξισώσεων 2.32 και 2.33 δείχνει ότι η ορθή τιμή του Z_j θα οδηγήσει σε τιμές του Q_{ij} , υπολογισμένες από την εξίσωση 2.32 η οποία ικανοποιεί την εξίσωση 2.33.

Η αναδιάταξη της εξίσωσης 2.32 μας δίνει

$$[Q_{ij}] = [(SIGN)(|Z_i - Z_j/K_{ij}|)^{1/2}] \quad (2.34)$$

Η τιμή του Z_j μπορεί να βρεθεί χρησιμοποιώντας μία επαναληπτική μέθοδο η οποία κάνοντας αρχική εκτίμηση της Z_j , υπολογίζει τις απορροές των αγωγών από την εξίσωση 2.34 και ελέγχει τις συνθήκες συνέχειας στην εξίσωση 2.33.

Εάν $(\sum Q_{ij} - E) \neq 0$ (με αποδεκτά όρια), μία διόρθωση ΔZ_j γίνεται στο Z_j και η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι η εξίσωση 2.33 να ικανοποιείται εύλογα. Μία συστηματική διόρθωση για το ΔZ_j μπορεί να αναπτυχθεί: εκφράζοντας την απώλεια φορτίου κατά μήκος ενός αγωγού ως $h = KQ^2$, για ένα μικρό λάθος στον υπολογισμό του Z_j η διόρθωση του ΔZ_j ορίζεται ως

$$\Delta Z_j = 2(\sum Q_{ij} - E) / \sum Q_{ij}/h_{ij}$$

Η εκτίμηση του K_{ij} για δίκτυα με πολλαπλά άγνωστα υψομετρικά φορτία κόμβων γίνεται:

$$K_{ij} = \frac{\lambda L}{2gDA^2} + \frac{C_m}{2gA^2} (=K_f + K_m)$$

όπου C_m είναι το άθροισμα των σταθερών ελάχιστης απώλειας, λ μπορεί να προσδιορισθεί από το διάγραμμα Moody χρησιμοποιώντας ως αρχική τιμή ταχύτητας στον αγωγό 1 m/s. Μία πιο κοντινή προσέγγιση στην ταχύτητα γίνεται όταν υπολογίζεται η απορροή. Για την ανάλυση σε αυτόματο υπολογιστικό περιβάλλον η εξίσωση 2.34 αντικαθιστάται από τον συνδυασμό του Darcy-Colerbrook-White:

$$Q = -2A \sqrt{2gD \frac{h_f}{L}} \log \left(\frac{k}{3.7D} + \frac{2.51\nu}{D \sqrt{2gDh_f/L}} \right) \quad (2.35)$$

Για κάθε αγωγό, $h_{f,ij}$ (απώλεια φορτίου τριβής) αρχικοποιείται σε $Z_i - Z_j$, το Q_{ij} υπολογίζεται από την εξίσωση 2.32 και το $h_{f,ij}$ ξαναυπολογίζεται από $h_{f,ij} = (Z_i - Z_j) - K_m Q_{ij}^2$.

Για τον ορισμό της μεθόδου gradient απαιτούνται επιπλέον οι ακόλουθοι διανυσματικοί και πίνακωδείς ορισμοί:

NT = αριθμός αγωγών στο δίκτυο

NN = αριθμός αγνώστων πιεζομετρικών φορτίων στους κόμβους

[A12] = ' πίνακας συνδεσιμότητας ' σχετική με κάθε ένα από τους κόμβους. Οι διαστάσεις της είναι NT x NN με δύο μη μηδενικά στοιχεία σε κάθε σειρά

-1 στην στήλη που αντιστοιχεί στον αρχικό κόμβο του αγωγού i

1 στην στήλη που αντιστοιχεί στον τελικό κόμβο του αγωγού i

NS = ο αριθμός των διορθωμένων φορτίων στους κόμβους

[A10] = τοπολογικός πίνακας: αγωγός προς κόμβο για τα NS διορθωμένα φορτία στους κόμβους

Έτσι προκύπτει η απώλεια φορτίου σε κάθε ένα αγωγό μεταξύ δύο κόμβων η οποία είναι:

$$[A11][Q] + [A12][H] = - [A10][H_0] \quad (2.36)$$

Όπου [A11] = διαγώνιος πίνακας διαστάσεων NT x NT ορισμένος ως εξής:

$$[A11] = \begin{bmatrix} \alpha_1 Q_1^{(n1-1)} + \beta_1 + \frac{\gamma_1}{Q_1} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \alpha_2 Q_2^{(n2-1)} + \beta_2 + \frac{\gamma_2}{Q_2} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \alpha_{NT} Q_{NT}^{(nNT-1)} + \beta_{NT} + \frac{\gamma_{NT}}{Q_{NT}} \end{bmatrix} \quad (2.37)$$

[Q] = διάνυσμα απορροής διαστάσεων NT x 1

[H] = άγνωστο διάνυσμα πιεζομετρικού φορτίου διαστάσεων NN x 1

[H₀] = διορθωμένο διάνυσμα πιεζομετρικού φορτίου διαστάσεων NS x 1

α = αντίσταση εκάστοτε αγωγού

β, γ = συντελεστές που σχετίζονται με τις αντλίες του δικτύου

Η εξίσωση 2.36 είναι μία εξίσωση διατήρησης ενέργειας. Η συνέχεια εξίσωσης για όλους τους κόμβους στο δίκτυο είναι

$$[A21][Q] = [q] \quad (2.38)$$

όπου [A21] είναι ο ανάστροφος πίνακας του [A12] και [q] η κατανάλωση νερού και η διανυσματική παροχή νερού σε κάθε ένα από τους κόμβους διαστάσεων NN x 1.

Σε μορφή πινάκων οι εξισώσεις (2.36) και (2.38) είναι:

$$\begin{bmatrix} [A11] & [A12] \\ [A21] & [0] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} [Q] \\ [H] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -[A10][H_0] \\ [q] \end{bmatrix} \quad (2.39)$$

Το παραπάνω μέρος είναι μη γραμμικό, το οποίο συνεπάγεται ότι η εξίσωση 2.39 πρέπει να χρησιμοποιήσει μερικούς επαναληπτικούς αλγόριθμους για την λύση της. Η μέθοδος Gradient αποτελείται από περικομμένη επέκταση του Taylor. Λειτουργώντας ταυτόχρονα στα πεδία ([Q], [H]) και εφαρμόζοντας τους χειρισμούς της μεθόδου gradient μπορούμε να γράψουμε:

$$\begin{bmatrix} [N][A11]' & [A12] \\ [A21] & [0] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} [dQ] \\ [dH] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [dE] \\ [dq] \end{bmatrix} \quad (2.40)$$

Όπου [N] είναι ο διαγώνιος πίνακας (n_1, n_2, \dots, n_{NT}) διαστάσεων NT x NT και [A11]' πίνακα διαστάσεων NT x NT ορισμένο ως εξής:

$$[A11]' = \begin{bmatrix} a_1 Q_1^{(n1-1)} & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & a_2 Q_2^{(n2-1)} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & a_3 Q_3^{(n3-1)} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & a_{NT} Q_{NT}^{(nNT-1)} \end{bmatrix} \quad (2.41)$$

Σε κάθε επανάληψη i, [dE] είναι η ενεργειακή ανισορροπία σε κάθε αγωγό και [dq] η απώλεια απορροής σε κάθε κόμβο. Αυτά δίνονται από τις εξισώσεις:

$$[dE] = [A11][Q_i] + [A12][H_i] + [A10][H_0] \quad (2.42)$$

$$[dq] = [A21][Q_i] - [q] \quad (2.43)$$

Ο σκοπός της μεθόδου gradient είναι να επιλύσει το σύστημα που περιγράφεται από την εξίσωση 2.40 λαμβάνοντας υπόψη ότι σε κάθε επανάληψη:

$$[dQ] = [Q_{i+1}] - [Q_i] \quad (2.44)$$

$$[dH] = [H_{i+1}] - [H_i] \quad (2.45)$$

Χρησιμοποιώντας γραμμική άλγεβρα, μπορούμε να δείξουμε τη λύση του συστήματος που παρουσιάζεται από την εξίσωση 2.40 η οποία είναι:

$$[H_{i+1}] = -\{[A21]([N][A11]')^{-1}[A12]\}^{-1} \{[A21]([N][A11]')^{-1} ([A11][Q_i]) + [A10][H_0] - ([A21][Q_i]) - [q]\} \quad (2.46)$$

$$[Q_{i+1}] = \{[I] - ([N][A11]') - [A11]\} [Q_i] - \{([N][A11]')^{-1} ([A12][H_{i+1}] + [A10][H_0])\} \quad (2.47)$$

Η μέθοδος αυτή έχει το πλεονέκτημα της γρήγορης σύγκλισης και δεν χρειάζεται εξισορρόπηση της συνέχειας σε κάθε κόμβο για να ξεκινήσει η διαδικασία. Η μέθοδος δεν είναι κατάλληλη για υπολογισμούς με το χέρι.

Κεφάλαιο 3

Λογισμικό επίλυσης υδρευτικών δικτύων (EPANET)

3.1 Τι είναι το EPANET

Το EPANET είναι ένα πρόγραμμα ηλεκτρονικού υπολογιστή το οποίο εκτελεί εκτεταμένες περιόδους προσομοίωσης υδραυλικής και συμπεριφοράς ποιότητας νερού σε δίκτυο αγωγών υπό πίεση. Ένα δίκτυο αποτελείται από αγωγούς, κόμβους, αντλίες, βαλβίδες και δεξαμενές αποθήκευσης ή ταμιευτήρες. Το EPANET παρακολουθεί τη ροή του νερού σε κάθε αγωγό, την πίεση σε κάθε κόμβο, το ύψος του νερού σε κάθε δεξαμενή και την περιεκτικότητα χημικών στοιχείων στο δίκτυο κατά την περίοδο προσομοίωσης που αποτελείται από πολλαπλά χρονικά βήματα. Επιπλέον όσον αφορά στα χημικά στοιχεία, μπορεί ακόμη να προσομοιωθεί ο χρόνος παραμονής του νερού στο σύστημα.

Το EPANET είναι σχεδιασμένο να είναι ένα εργαλείο έρευνας για την βελτίωση της κατανόησης μας σχετικά με την κίνηση και την μοίρα των συστατικών του πόσιμου νερού εντός των συστημάτων διανομής. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για πολλά διαφορετικά είδη εφαρμογών στην ανάλυση συστημάτων διανομής. Η δειγματοληψία σχεδιασμού του προγράμματος, η βαθμονόμηση υδραυλικού μοντέλου, η υπολειμματική ανάλυση χλωρίου και η αξιολόγηση της έκθεσης των καταναλωτών είναι μερικά παραδείγματα. Το EPANET μπορεί να βοηθήσει στην αξιολόγηση εναλλακτικών στρατηγικών διαχείρισης για τη βελτίωση της ποιότητας του νερού σε ένα σύστημα.

Σε αυτά περιλαμβάνονται:

- η αλλαγή της χρησιμοποίησης πηγής εντός πολλαπλών συστημάτων πηγής,
- η αλλαγή άντλησης και χρονοδιαγράμματα πλήρωση / εκκένωση δεξαμενών,
- η χρήση νέων μεθόδων, όπως η εκ νέου χλωρίωση σε δεξαμενές αποθήκευσης,
- οι στοχευόμενοι καθαρισμοί σωλήνων και αντικατάστασή τους.

Το EPANET λειτουργεί σε περιβάλλον Windows, προσφέρει ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον για επεξεργασία δεδομένων εισόδου του δικτύου, τη λειτουργία υδραυλικών και προσομοιώσεις της ποιότητας νερού που οδηγούν σε μια ποικιλία μορφών. Αυτές περιλαμβάνουν χάρτες του δικτύου με χρωματική κωδικοποίηση, πίνακες δεδομένων, γραφήματα χρονοσειρών και οικόπεδα περιγράμματος.

3.2 Δυνατότητες μοντελοποίησης υδραυλικής

Η ολοκληρωμένη και ακριβής υδραυλική προσομοίωση αποτελούν προϋποθέσεις για να γίνει αποτελεσματική η μοντελοποίηση της ποιότητας του νερού. Το EPANET περιέχει μια μηχανή ανάλυσης υδραυλικής που περιλαμβάνει τις ακόλουθες δυνατότητες:

- δεν θέτει όριο στο μέγεθος του δικτύου που μπορεί να αναλυθεί

- υπολογίζει τις απώλειες χρησιμοποιώντας τους τύπους κατά Hazen-Williams, Darcy-Weisbach, ή Chezy-Manning
- περιλαμβάνει μικρές απώλειες για κυρτώσεις, εξαρτήματα, κ.λπ.
- υποδεικνύει την σταθερή ή μεταβλητή ταχύτητα στις αντλίες
- υπολογίζει την άντληση ενέργειας και κόστους
- υποδεικνύει διαφόρων τύπων βαλβίδες συμπεριλαμβανομένων αυτών της διακοπής, ελέγχου, ρύθμισης πίεσης και τη παροχή ελέγχου των βαλβίδων
- επιτρέπει στις δεξαμενές αποθήκευσης να έχουν οποιοδήποτε σχήμα (δηλαδή η διάμετρος μπορεί να ποικίλει με το ύψος)
- θεωρεί πολλαπλές κατηγορίες ζήτησης στους κόμβους, το καθένα με το δικό του πρότυπο μεταβολής χρόνου
- υποδεικνύει την απορροή εξαρτώμενη από την πίεση που εξέρχεται από τους πομπούς (ψεκαστήρες)
- λειτουργίας του συστήματος τόσο σε κανονικό επίπεδο στάθμης της δεξαμενής ή ρύθμιση χρονομέτρου αλλά και σε πιο περίπλοκες ρυθμίσεις.

3.3 Δυνατότητες μοντελοποίησης σχετικές με την ποιότητα νερού

Εκτός από την υδραυλική μοντελοποίηση, το EPANET παρέχει και τις ακόλουθες δυνατότητες μοντελοποίησης σχετικές με την ποιότητα νερού:

- μοντέλα της κίνησης ενός μη-αντιδραστικού υλικού-ιχνηθέτη στο δίκτυο με την πάροδο του χρόνου
- μοντέλα για τη διακίνηση και μοίρα ενός αντιδραστικού υλικού, καθώς μεγαλώνει (Π.χ., ένα απολυμαντικό υποπροϊόν) ή διασπάται (π.χ., υπολειμματικό χλώριο) με τον καιρό
- μοντέλα του χρόνου παραμονής του νερού σε όλο το δίκτυο
- παρακολουθεί το ποσοστό της ροής από ένα δεδομένο κόμβο φθάνοντας σε όλους τους άλλους κόμβους με την πάροδο του χρόνου
- υποδεικνύει αντιδράσεις τόσο στο κύριο μέρος όσο και στο τοίχωμα του αγωγού
- χρησιμοποιεί κινητική ν-ιοστής τάξης για να υποδείξει τις αντιδράσεις στον όγκο απορροής
- χρησιμοποιεί μηδενικής ή πρώτης τάξης κινητική για να υποδείξει αντιδράσεις στο τοίχωμα του σωλήνα
- κάνει υπολογισμούς σε σχέση με τα όρια της μαζικής μεταφοράς κατά την μοντελοποίηση των αντιδράσεων στα τοιχώματα του σωλήνα
- επιτρέπει τις αντιδράσεις ανάπτυξης ή αποσύνθεσης να προχωρήσουν μέχρι μία οριακή συγκέντρωση
- χρησιμοποιεί τους παγκόσμιους συντελεστές ταχύτητας αντίδρασης που μπορούν να τροποποιηθούν σε μία βάση σωλήνα με σωλήνα
- επιτρέπει στους συντελεστές ταχύτητας τοιχωμάτων της αντίδρασης να συσχετιστούν με την τραχύτητα των σωλήνων

- επιτρέπει τη χρονικά μεταβαλλόμενη συγκέντρωση ή τη μάζα να εισαχθεί σε οποιαδήποτε θέση στο δίκτυο

Έχοντας αυτά τα χαρακτηριστικά, το EPANET μπορεί να μελετήσει φαινόμενα ποιότητας νερού όπως:

- η ανάμειξη του νερού από διαφορετικές πηγές
- ο χρόνος παραμονής του νερού σε ένα σύστημα
- η απώλεια των υπολειμμάτων χλωρίου
- η αύξηση των υποπροϊόντων απολύμανσης
- η παρακολούθηση μολυσματικών εκδηλώσεων διάδοσης.

3.4 Βήματα στην χρησιμοποίηση του EPANET

Τα βήματα που ακολούθησα για την δημιουργία του δικτύου παροχής νερού στο EPANET είναι τα ακόλουθα:

1. Σχεδιασμός μίας αναπαράστασης του δικτύου παροχής.
2. Επεξεργασία των ιδιοτήτων των αντικειμένων που υπάρχουν στο σύστημα (κόμβοι, αγωγοί, δεξαμενές).
3. Περιγραφή του τρόπου λειτουργίας του συστήματος μου.
4. Ανάλυση των υδραυλικών χαρακτηριστικών του δικτύου.
5. Εμφάνιση των αποτελεσμάτων της ανάλυσης σε γραφήματα και πίνακες.

3.5 Μεθοδολογία επίλυσης δικτύων στο EPANET

Η μέθοδος που χρησιμοποιείται στο EPANET για να λύσει τη συνέχεια ροής και τις εξισώσεις απωλειών ύψους που χαρακτηρίζουν την υδραυλική κατάσταση του δικτύου σωληνώσεων σε μια δεδομένη χρονική στιγμή μπορεί να ονομαστεί ως μια υβριδική προσέγγιση κόμβος βρόχου. Οι Todini και Pilati (1987) και αργότερα ο Salgado et al. (1988) επέλεξαν να την αποκαλούν "Gradient Method". Παρόμοιες προσεγγίσεις έχουν περιγραφεί από τους Hamam και Brameller (1971) (η υβριδική μέθοδος) και από τον Osiadacz (1987) (the "Newton Loop-Node Method"). Η μόνη διαφορά μεταξύ αυτών των μεθόδων είναι ο τρόπος με τον οποίο οι παροχές στους αγωγούς ενημερώνεται μετά από μια νέα δοκιμαστική λύση για τις απώλειες στους κόμβους. Επειδή η προσέγγιση του Todini είναι απλούστερη, επιλέχθηκε αυτή για την χρήση στο EPANET.

Ας υποθέσουμε ότι έχουμε ένα δίκτυο σωληνώσεων με κόμβους N και NF κόμβους σταθερής στάθμης (δεξαμενές). Έτσι η εξίσωση παροχής-απωλειών σε ένα σωλήνα μεταξύ των κόμβων i και j δίνεται ως:

$$H_i - H_j = h_{ij} = rQ_{ij}^n + mQ_{ij}^2 \quad (3.1)$$

όπου H = φορτίο κόμβου, h = απώλεια φορτίου, r = συντελεστής αντίστασης, Q = παροχή, n = εκθέτης ροής, και m = ελάσσων συντελεστής απώλειας. Η τιμή του συντελεστή αντίστασης θα εξαρτηθεί από το ποια τύπου εξίσωση τριβής θα χρησιμοποιηθεί (βλέπε παρακάτω). Για τις αντλίες, το ύψος απωλειών μπορεί να αντιπροσωπεύεται από ένα νόμο δύναμης με μορφή

$$h_{ij} = -\omega^2 (h_0 - r (Q_{ij} / \omega)^n)$$

όπου h_0 είναι το φορτίο διακοπής για τον αγωγό, το ω είναι μια σχετική ρύθμιση ταχύτητας, και τα r και n είναι οι συντελεστές της καμπύλης της αντλίας. Το δεύτερο σύνολο εξισώσεων που πρέπει να ικανοποιούνται είναι οι εξισώσεις συνέχειας σε όλους τους κόμβους:

$$\sum_j Q_{ij} - D_i = 0 \quad \text{for } i = 1, \dots, N. \quad (3.2)$$

όπου D_i είναι η ζήτηση ροής στον κόμβο i και κατά συνθήκη, η ροή στον κόμβο είναι θετική. Για ένα σύνολο γνωστών φορτίων στους κόμβους σταθερής ποιότητας, επιδιώκουμε μια λύση για όλα τα υψόμετρα H_i και τις ροές Q_{ij} που ικανοποιούν τις εξισώσεις (3.1) και (3.2).

Η μέθοδος Gradient ξεκινά με μια αρχική εκτίμηση των ροών σε κάθε σωλήνα όπου πιθανόν να μην μπορεί να ικανοποιήσει κατ' ανάγκην τη συνέχεια της ροής. Σε κάθε επανάληψη της μεθόδου, νέα φορτία στους κόμβους βρίσκονται από την επίλυση της εξίσωσης των πινάκων:

$$\mathbf{AH} = \mathbf{F} \quad (3.3)$$

Όπου \mathbf{A} είναι ένας $(N \times N)$ ιακομβιανός πίνακας \mathbf{H} ένα $(N \times 1)$ διάνυσμα αγνώστων φορτίων στους κόμβους και \mathbf{F} ένα $(N \times 1)$ διάνυσμα των όρων της δεξιάς πλευράς. Τα διαγώνια στοιχεία του ιακομβιανού πίνακα είναι:

$$A_{ii} = \sum_j p_{ij}$$

Ενώ τα μη μηδενικά στοιχεία εκτός της διαγωνίου είναι: $A_{ij} = -p_{ij}$

Όπου p_{ij} είναι η αντίστροφη παράγωγος της απώλειας φορτίου στη σύνδεση μεταξύ των κόμβων i και j σε σχέση με την ροή. Για σωλήνες,

$$p_{ij} = 1 / nr |Q_{ij}|^{n-1} + 2m |Q_{ij}| \quad \text{ενώ για τις αντλίες } p_{ij} = 1 / n\omega^2 r (Q_{ij} / \omega)^{n-1}$$

Κάθε όρος στην δεξιά πλευρά αποτελείται από την ανισορροπία ροής σε έναν κόμβο συν ένα συντελεστή διόρθωσης της ροής:

$$F_i = (\sum_j Q_{ij} - D_i) + \sum_j \gamma_{ij} + \sum_j p_{if} H_f$$

όπου ο τελευταίος όρος ισχύει και για τυχόν συνδέσεις που συνδέει τον κόμβο i με ένα σταθερό κόμβο f και ο διορθωτικός συντελεστής ροής γ_{ij} είναι για αγωγούς:

$$\gamma_{ij} = p_{ij} (r |Q_{ij}|^n + m |Q_{ij}|^2) \text{sgn}(Q_{ij})$$

$$\text{και για αντλίες } \gamma_{ij} = -p_{ij} \omega^2 (h_0 - r (Q_{ij} / \omega)^n)$$

όπου $\text{sgn}(x)$ είναι 1 αν $x > 0$ αλλιώς -1. (Το Q_{ij} είναι πάντα θετικό για αντλίες).

Αφού υπολογισθούν τα νέα φορτία λύνοντας την εξίσωση 3.3 οι νέες ροές βρίσκονται από:

$$Q_{ij}' = Q_{ij} - (y_{ij} - p_{ij} (H_i - H_j)) \quad (3.4)$$

Αν το άθροισμα των απόλυτων της παροχής αλλάζει σε σχέση με την ολική ροή σε όλους τους συνδέσμους είναι μεγαλύτερο από κάποια ανοχή (π.χ., 0.001), τότε οι Εξ. (3.3) και (3.4) επιλύονται και πάλι. Ο τύπος ενημέρωσης της παροχής (3.4) οδηγεί πάντα σε συνέχεια της παροχής γύρω από κάθε κόμβο μετά την πρώτη επανάληψη.

Το EPANET υλοποιεί αυτή τη μέθοδο χρησιμοποιώντας τα ακόλουθα βήματα:

1. Το γραμμικό σύστημα εξισώσεων 3.3 λύνεται χρησιμοποιώντας ένα πίνακα, μέθοδος που βασίζεται στον κόμβο αναδιάταξης (George and Liu, 1981). Μετά την αναδιάταξη των κόμβων ελαχιστοποιείται η ποσότητα του γεμίσματος μέσα στον πίνακα A, μία συμβολική παραγοντοποίηση εκτελείται έτσι ώστε μόνο τα μη μηδενικά στοιχεία του A χρειάζεται να αποθηκευτούν και να λειτουργούν στη μνήμη. Για εκτεταμένη περίοδο προσομοίωσης αυτή η αναδιάταξη και η παραγοντοποίηση πραγματοποιούνται μόνο μία φορά κατά την έναρξη της ανάλυσης.
2. Για την πρώτη επανάληψη, η ροή σε ένα σωλήνα επιλέγεται ίση με τη ροή που αντιστοιχεί σε ταχύτητα 1 m / sec, ενώ η ροή μέσα σε μία αντλία ισούται με τη ροή του σχεδιασμού που ορίζεται για την αντλία. (Όλοι οι υπολογισμοί γίνονται με το φορτίο σε μέτρα και τη παροχή σε CFS).
3. Για την εξίσωση απώλειας φορτίου κατά Darcy-Weisbach, ο συντελεστής τριβής f υπολογίζεται από διαφορετικές εξισώσεις, ανάλογα με τον Αριθμό Reynolds (Re):

Κατά Hagen-Poiseuille για $Re < 2000$ (Bhave,1991) : $f = 64/Re$

Κατά Swamme and Jain σύμφωνα με την εξίσωση των Colerbrook – White για $Re > 4000$ (Bhave,1991):

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

Με κυβική παρεμβολή από το διάγραμμα του Moody για $2000 < Re < 4000$ (Dunlop, 1991) :

$$F = (X1 + R(X2 + R(X3 + X4)))$$

$$R = Re/2000$$

$$X1 = 7FA - FB$$

$$X2 = 0.128 - 17FA + 2.5FB$$

$$X3 = -0.128 + 13FA - 2FB$$

$$X4 = R (0.032 - 3FA + 0.5FB)$$

$$FA = (Y3)^{-2}$$

$$FB = FA (2 - 0.00514215/(Y2)(Y3))$$

$$Y2 = \epsilon/3.7d + 5.74/Re^{0.9}$$

$$Y3 = -0.86859 \ln(\varepsilon/3.7d + 5.74/Re^{0.9})$$

Όπου ε = τραχύτητα αγωγού και d = διάμετρος αγωγού

4. Ο ελάχιστος συντελεστής απώλειας που βασίζεται στο φορτίο ταχύτητας (K) μετατρέπεται σε εκείνη που βασίζεται επί της παροχής (m) με την ακόλουθη σχέση:

$$m = 0.02517K/d^4$$

5. Οι πομποί στους κόμβους έχουν μοντελοποιηθεί ως ένας εικονικός αγωγός μεταξύ του κόμβου και μιας εικονικής δεξαμενής. Οι παραμετρικές απώλειες των αγωγών είναι $n = (1/\gamma)$, $r = (1/C)^n$, και το $m = 0$ όπου C είναι ο συντελεστής απορροής του πομπού και γ είναι ο εκφραστής της πίεσης του. Το φορτίο στην πλασματική δεξαμενή είναι το ύψος του κόμβου. Η υπολογιζόμενη ροή μέσω του πλασματικού αγωγού γίνεται η ροή που σχετίζεται με τον πομπό.

6. Στις ανοικτές βαλβίδες έχει εκχωρηθεί μια τιμή R θεωρώντας ότι η ανοικτή βαλβίδα συμπεριφέρεται ως ένας ομαλός αγωγός ($f = 0,02$) του οποίου το μήκος είναι το διπλάσιο της διαμέτρου της βαλβίδας. Οι κλειστές συνδέσεις υποτίθεται ότι υπακούνε μια γραμμική σχέση απώλειας με ένα μεγάλο συντελεστή αντίστασης, όπως $h = 10^8 Q$, έτσι ώστε $\rho = 10^{-8}$ και $\gamma = Q$. Για τους αγωγούς, όπου $(r + m) Q < 10^{-7}$, $\rho = 10^7$ και $\gamma = Q/n$.

7. Οι έλεγχοι σχετικά με την κατάσταση των αντλιών, βαλβίδων ελέγχου (CV), βαλβίδων ελέγχου ροής, και των σωληνώσεων που συνδέονται με τις γεμάτες / κενές δεξαμενές γίνεται μετά από κάθε άλλη επανάληψη, μέχρι την 10η επανάληψη. Μετά από αυτό, οι έλεγχοι κατάστασης γίνονται μόνο αφού επιτευχθεί η σύγκλιση. Έλεγχοι σχετικά με την κατάσταση των βαλβίδων ελέγχου πίεσης (PRVs και PSVs) γίνονται μετά από κάθε επανάληψη.

8. Κατά τη διάρκεια των ελέγχων κατάστασης, οι αντλίες έχουν κλείσει αν το κέρδος φορτίου είναι μεγαλύτερο από το φορτίο διακοπής (για την πρόληψη της αντίστροφης ροής). Ομοίως, ελέγχονται αν οι βαλβίδες είναι κλειστές και εάν η απώλεια φορτίου μέσα από αυτές είναι αρνητικές (βλέπε παρακάτω). Όταν οι προϋποθέσεις αυτές δεν υπάρχουν, η σύνδεση ανοίγει εκ νέου. Μια παρόμοια κατάσταση ελέγχου γίνεται για τις συνδέσεις που συνδέονται με άδειες / πλήρες δεξαμενές. Αυτοί οι δεσμοί είναι κλειστοί εάν η διαφορά στα φορτία μέσω της ζεύξης θα μπορούσε να προκαλέσει μία άδεια δεξαμενή την αποστράγγιση ή ένα γεμάτο ρεζερβουάρ να γεμίσει. Αυτές ξανανοίγουν κατά τον επόμενο έλεγχο κατάστασης αν αυτές τις συνθήκες δεν ισχύουν πλέον.

9. Απλά ελέγχοντας εάν $h < 0$ για να καθοριστεί εάν μια βαλβίδα ελέγχου θα πρέπει να είναι κλειστή ή ανοικτή βρέθηκε να προκαλεί την ανακύκλωση μεταξύ αυτών των δύο μελών σε ορισμένα δίκτυα λόγω ορίων στην αριθμητική ακρίβεια. Η ακόλουθη διαδικασία επινοήθηκε για να παρέχει μια πιο ισχυρή δοκιμασία των στοιχείων της βαλβίδας ελέγχου (CV):

if $|h| > H_{tol}$ then

if $h < -H_{tol}$ then status = CLOSED

if $Q < -Q_{tol}$ then status = CLOSED

else status = OPEN

else
 if $Q < -Q_{tol}$ then status = CLOSED
 else status = unchanged
 where $H_{tol} = 0.0005$ ft and $Q_{tol} = 0.001$ cfs

10. Εάν ο έλεγχος κατάστασης κλείνει μια ανοικτή αντλία, σωλήνα, ή CV, η ροή του ορίζεται στα 10^{-6} CFS. Αν μια αντλία ανοίξει εκ νέου, η ροή της υπολογίζεται με την εφαρμογή της τρέχουσας αύξηση του φορτίου της χαρακτηριστικής καμπύλης της. Αν ένας σωλήνας ή CV είναι εκ νέου ανοιχτά, η ροή του καθορίζεται από την επίλυση της Εξ. (3.1) για Q μικρότερο της τρέχουσας απώλειας φορτίου h , αγνοώντας οποιοσδήποτε μικρές απώλειες.
11. Οι συντελεστές του πίνακα για τις βαλβίδες πίεσης (PBVs), τίθενται ως εξής: $p = 10^8$ και $\gamma = 10^8 H_{set}$, όπου H_{set} είναι η πτώση στην ρύθμιση της πίεσης για τη βαλβίδα (σε πόδια). Οι βαλβίδες ελέγχου γκαζιού (TCVs) αντιμετωπίζονται ως σωλήνες με r , όπως περιγράφεται στο σημείο 6 ανωτέρω και το m θα ληφθεί ως η τιμή μετά τη μετατροπή της ρύθμισης της βαλβίδας (βλέπε ανωτέρω σημείο 4).
12. Οι συντελεστές πινάκων για τη μείωση της πίεσης, συντηρούμενη πίεση, και έλεγχου ροής βαλβίδες (PRVs, PSVs και FCVs) υπολογίζονται μετά από όλες τις άλλες συνδέσεις που έχουν αναλυθεί. Έλεγχοι σχετικά με την κατάσταση PRVs και PSVs γίνονται όπως περιγράφεται στο σημείο 7 ανωτέρω. Οι βαλβίδες αυτές μπορεί να είναι είτε πλήρως ανοικτές, τελείως κλειστές, ή δραστηριοποιούνται στην πίεση ή ροή που έχουν ρυθμιστεί.
13. Η λογική που συνηθίζεται να ελέγχει την κατάσταση των PRV είναι η ακόλουθη:

If current status = ACTIVE then
 if $Q < -Q_{tol}$ then new status = CLOSED
 if $H_i < H_{set} + H_{ml} - H_{tol}$ then new status = OPEN
 else new status = ACTIVE

If current status = OPEN then
 if $Q < -Q_{tol}$ then new status = CLOSED
 if $H_i > H_{set} + H_{ml} + H_{tol}$ then new status = ACTIVE
 else new status = OPEN

If current status = CLOSED then
 if $H_i > H_j + H_{tol}$
 and $H_i < H_{set} - H_{tol}$ then new status = OPEN
 if $H_i > H_j + H_{tol}$
 and $H_j < H_{set} - H_{tol}$ then new status = ACTIVE
 else new status = CLOSED

όπου Q είναι η ροή ρεύματος μέσα από τη βαλβίδα, H_i είναι το ανάντη φορτίο, H_j είναι το κατόντη, H_{set} είναι η ρύθμιση της πίεσης που μετατρέπεται σε φορτίο, H_{ml} είναι η ελάχιστη απώλεια όταν η βαλβίδα είναι ανοικτή ($=mQ^2$), και H_{tol} και Q_{tol} είναι οι ίδιες τιμές που χρησιμοποιούνται για βαλβίδες ελέγχου στο σημείο 9 ανωτέρω. Ένα παρόμοιο σύνολο δοκιμών χρησιμοποιείται για PSVs, εκτός από το ότι κατά τις δοκιμές έναντι H_{set} , οι δείκτες i και j αλλάζουν όπως δείχνουν τα ανισώτητες $>$ και $<$.

14. Η ροή μέσω ενός ενεργού PRV διατηρείται για να αναγκάσει τη συνέχεια στο του κατάντη κόμβο ενώ η ροή μέσω PSV κάνει το ίδιο στον ανάντη κόμβο. Για μια ενεργό PRV από τον κόμβο i στον j :

$$p_{ij} = 0$$

$$F_j = F_i + 10^8 H_{set}$$

$$A_{jj} = A_{ii} + 10^8$$

Αυτό αναγκάζει το φορτίο στο κατάντη κόμβο να είναι στην ρύθμιση H_{set} της βαλβίδας. Μία ισοδύναμη εκχώρηση των συντελεστών γίνεται για μια ενεργή PSV εκτός ο δείκτης για το F και το A είναι ο ανάντη κόμβος i . Οι συντελεστές για ανοικτές / κλειστές PRVs και PSVs αντιμετωπίζονται με τον ίδιο τρόπο όπως και για τους αγωγούς.

15. Για τις ενεργές FCV από τον κόμβο i στον j με τη ρύθμιση της ροής Q_{set} , η Q_{set} προστίθεται στη ροή αφήνοντας τον κόμβο i και εισέρχεται στον κόμβο j , και αφαιρούνται από το F_i και προστίθεται στο F_j . Εάν το φορτίο στον κόμβο i είναι μικρότερο από ότι στον κόμβο j , τότε η βαλβίδα δεν μπορεί να παραδώσει τη ροή και αντιμετωπίζεται ως ένας ανοικτός αγωγός.
16. Αφού επιτευχθεί η αρχική σύγκλιση (ροή σύγκλισης χωρίς καμία αλλαγή του καθεστώτος για τις PRVs και PSVs), μια άλλη κατάσταση ελέγχει τις αντλίες, τα CVs, τα FCVs, καθώς και τις συνδέσεις με τις δεξαμενές. Επίσης, η κατάσταση των συνδέσεων ελέγχονται από διακόπτες πίεσης (π.χ., μια αντλία ελέγχεται από τη πίεση σε ένα κόμβο ένωσης) ελέγχεται. Αν συμβεί κάποια αλλαγή κατάστασης, οι επαναλήψεις πρέπει να συνεχιστούν για τουλάχιστον δύο ακόμη επαναλήψεις (δηλαδή, έλεγχος της σύγκλισης παραλείπεται από την επόμενη κιάλας επανάληψη). Αλλιώς, ένα τελικό αποτέλεσμα έχει ληφθεί.
17. Για την εκτεταμένη περίοδο προσομοίωσης (EPS), η ακόλουθη διαδικασία εφαρμόζεται ως εξής:

a. Μετά την εύρεση της λύσης για την τρέχουσα χρονική περίοδο, το χρονικό βήμα για την επόμενη λύση είναι το ελάχιστο:

- του χρόνου μέχρι να αρχίσει μια νέα περίοδος ζήτησης,
- του μικρότερου χρόνου για μια δεξαμενή για να γεμίσει ή να αδειάσει,
- το συντομότερο χρονικό διάστημα μέχρι να φτάσει το επίπεδο της δεξαμενής σε ένα σημείο που προκαλεί μια αλλαγή του καθεστώτος για κάποιο σύνδεσμο (π.χ., ανοίγει ή κλείνει μια αντλία), όπως ορίζεται σε ένα απλό έλεγχο,
- της επόμενης φοράς, μέχρι ένας απλός χρονοδιακόπτης σε ένα σύνδεσμο να ενεργοποιηθεί,
- της επόμενης φοράς κατά την οποία ένα στοιχείο ελέγχου προκαλέσει μια αλλαγή κατάστασης κάπου στο δίκτυο.

Κατά τον υπολογισμό των χρόνων με βάση τα επίπεδα της δεξαμενής, οι τελευταίες υποτίθεται ότι αλλάζουν με γραμμικό τρόπο με βάση την τρέχουσα λύση ροής. Ο χρόνος ενεργοποίησης των στοιχείων ελέγχου υπολογίζεται ως εξής:

- Ξεκινώντας από την τρέχουσα ώρα, οι κανόνες αξιολογούνται σε ένα κανονισμένο χρονικό βήμα. Η προκαθορισμένη τιμή του είναι 1/10 του κανονικού υδραυλικού χρονικού βήματος (π.χ., εάν τα υδραυλικά στοιχεία ενημερώνεται κάθε ώρα, έπειτα οι κανόνες αξιολογούνται κάθε 6 λεπτά).
 - Πάνω από αυτό το κανονισμένο χρονικό βήμα, το ρολόι του χρόνου ενημερώνεται, όπως είναι τα επίπεδα νερού σε δεξαμενές αποθήκευσης (με βάση την τελευταία σειρά των απορροών στους αγωγούς που υπολογίζεται).
 - Εάν ικανοποιούνται οι συνθήκες του κανόνα, τότε οι δράσεις του προστίθενται σε μια λίστα. Αν μια ενέργεια έρχεται σε αντίθεση με αυτή για τον ίδιο σύνδεσμο που είναι ήδη στη λίστα, τότε η ενέργεια σύμφωνα με τον κανόνα με την υψηλότερη προτεραιότητα παραμένει στη λίστα και ο άλλος διαγράφεται. Εάν οι προτεραιότητες είναι οι ίδιες, τότε η αρχική δράση παραμένει στην λίστα.
 - Έπειτα όλοι οι κανόνες αξιολογούνται, εάν η λίστα δεν είναι κενή τότε λαμβάνονται οι νέες δράσεις. Αν αυτό προκαλέσει την αλλαγή κατάστασης ενός ή περισσοτέρων συνδέσμων να αλλάξουν τότε μία νέα υδραυλική λύση υπολογίζεται και η διαδικασία αρχίζει εκ νέου.
 - Εάν δεν αλλάξει η κατάσταση για την οποία κλήθηκαν, ο κατάλογος δράσης εκκαθαρίζεται και το επόμενο χρονικό βήμα λαμβάνεται υπόψη εκτός αν το κανονικό υδραυλικό χρονικό βήμα έχει παρέλθει.
- b. Η ώρα προωθείται από το υπολογιστικό χρονικό βήμα, οι νέες απαιτήσεις βρέθηκαν, τα επίπεδα δεξαμενής προσαρμόστηκαν με βάση την τρέχουσα λύση ροής, και οι κανόνες ελέγχου στους συνδέσμους ελέγχονται για να καθοριστεί ποιοι σύνδεσμοι αλλάζουν κατάσταση.
- c. Μία καινούρια επαναληπτική διαδικασία με τις εξισώσεις 3.3 και 3.4 ξεκινάει στο τρέχον σύνολο ροών.

3.6 Εργαλειοθήκη του EPANET

Η εργαλειοθήκη «Epanet Programmer's Toolkit» είναι μία δυναμική βιβλιοθήκη διασύνδεσης (dynamic link library–DLL) από συναρτήσεις που επιτρέπουν σε προγραμματιστές να προσαρμόζουν την υπολογιστική μηχανή του EPANET στους σκοπούς των αναλύσεων τους. Οι συναρτήσεις μπορούν να ενσωματωθούν σε οποιαδήποτε γλώσσα μπορεί να καλέσει συναρτήσεις από μία βιβλιοθήκη (DLL) Windows. Η βιβλιοθήκη ονομάζεται EPANET2.DLL και συνοδεύεται από διάφορα αρχεία που διευκολύνουν την διασύνδεση της με τις γλώσσες προγραμματισμού C/C++, Delphi, Visual Basic. Όπως και το EPANET, αυτή αναπτύχθηκε και διανέμεται ελεύθερα από Τμήμα Παροχής Ύδατος και Υδατικών Πόρων της Υπηρεσίας Προστασίας Περιβάλλοντος των Ηνωμένων Πολιτειών.

Το EPANET Toolkit είναι γραμμένο σε γλώσσα ANSI standard C με ξεχωριστούς κώδικες για την εισαγωγή στοιχείων, την υδραυλική ανάλυση, την ανάλυση ποιότητας νερού και παραγωγή αναφοράς. Η ροή της πληροφορίας ακολουθεί τη παρακάτω διαδικασία για την ανάλυση ενός δικτύου αγωγών:

- Ο κώδικας επεξεργασίας δεδομένων εισαγωγής (input processor module) δέχεται τη περιγραφή του δικτύου μέσω ενός εξωτερικού αρχείου εισαγωγής (.INP). Τα περιεχόμενα του αρχείου ερμηνεύονται και μεταφέρονται σε μία περιοχή μνήμης, κοινόχρηστη με τους άλλους κώδικες.
- Ο κώδικας υδραυλικής επίλυσης (hydraulics solver module) εκτελεί τη προσομοίωση υδραυλικής λειτουργίας. Τα αποτελέσματα σε κάθε βήμα της προσομοίωσης γράφονται σε ένα εξωτερικό, δυαδικό αρχείο(.HYD). Μερικά από αυτά τα χρονικά βήματα θα μπορούσαν να αντιπροσωπεύουν ενδιάμεσα χρονικά σημεία όπου οι συνθήκες του συστήματος αλλάζουν επειδή οι δεξαμενές γεμίζουν ή αδειάζουν ή οι αντλίες ενεργοποιούνται ή απενεργοποιούνται λόγω των ελέγχων στάθμης ή της προγραμματισμένης λειτουργίας.
- Αν ζητείται προσομοίωση της ποιότητας του νερού, ο κώδικας της προσομοίωσης ποιότητας (water quality module) χρησιμοποιεί τα δεδομένα από το αρχείο (.HYD) καθώς υπολογίζει τη μεταφορά των ουσιών και τις χημικές αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα σε κάθε βήμα της υδραυλικής προσομοίωσης. Κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας μπορούν να γραφούν και τα αποτελέσματα της υδραυλικής ανάλυσης που προηγήθηκε και της ποιοτικής ανάλυσης για κάθε βήμα σε ένα διαδίκιο αρχείο εξόδου (.OUT). Εάν δεν ζητηθεί η ανάλυση της ποιότητας του νερού ζητήθηκε, τότε τα υδραυτικά αποτελέσματα αποθηκεύονται στο αρχείο .HYD το οποίο μπορεί απλά να αναγραφθεί στο δυαδικό αρχείο εξόδου σε ομοιόμορφα διαστήματα αναφοράς.
- Όποτε ζητηθεί, ένας κώδικας δημιουργίας αναφοράς (report writer module) ανακαλεί τα υπολογισμένα αποτελέσματα από το αρχείο εξόδου (.OUT) για κάθε περίοδο αναφοράς και σημειώνει τις επιλεγμένες τιμές σε ένα μορφοποιημένο αρχείο αναφοράς (.RPT). Οποιαδήποτε μηνύματα λάθους ή προειδοποιήσεις δημιουργούνται κατά τη διάρκεια του τρεξίματος σημειώνονται επίσης σε αυτό το αρχείο.

Κεφάλαιο 4

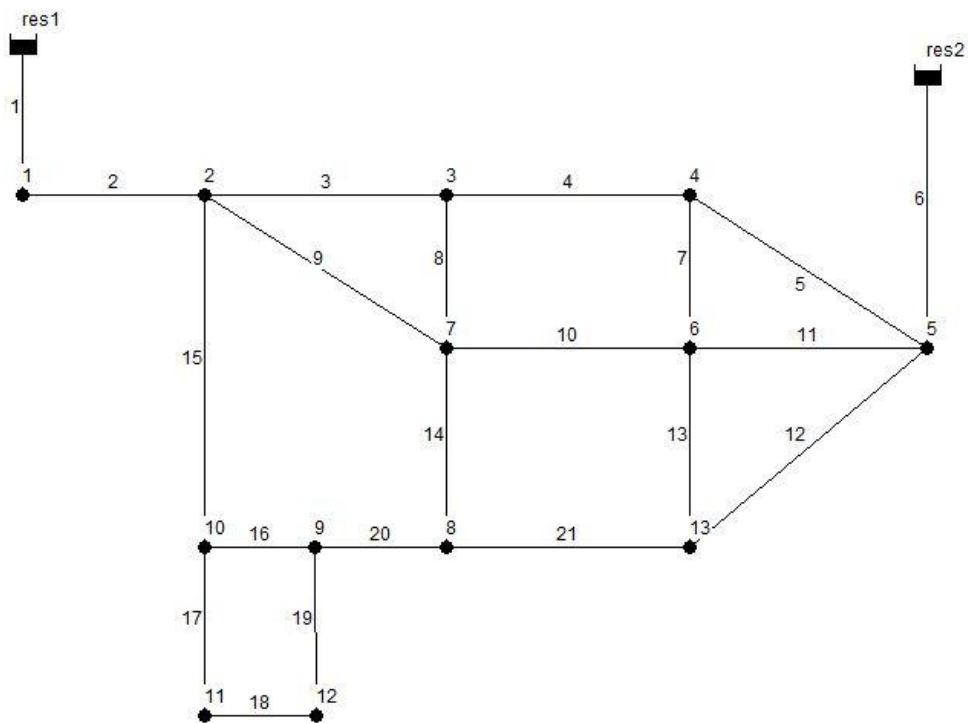
Εκτίμηση επιπτώσεων στην λειτουργία ιδεατού δικτύου ύδρευσης

4.1 Μοντελοποίηση του δικτύου

Στο κεφάλαιο αυτό εκτιμούνται οι επιπτώσεις στην λειτουργία ενός κυκλοφοριακού δικτύου ύδρευσης μικρής κλίμακας με την μεταβολή διαφόρων παραμέτρων. Η κάθε μεταβολή επηρεάζει το δίκτυο με διαφορετικό τρόπο ως προς την λειτουργία του. Οι μεταβολές που θα εξεταστούν έχουν άμεσο αντίκτυπο στις πιέσεις του δικτύου σε κάθε κόμβο του. Έτσι ελέγχοντας τα υδραυλικά χαρακτηριστικά του δικτύου για κάθε σενάριο είμαστε σε θέση να εξετάσουμε εάν το δίκτυο είναι λειτουργικό και καλύπτει τις ανάγκες των καταναλωτών.

Στο σχήμα 4.1 βλέπουμε ένα θεωρητικό παράδειγμα επιλυμένου δικτύου διανομής νερού μικρής κλίμακας. Το συγκεκριμένο δίκτυο πάρθηκε από το επιστημονικό άρθρο με τίτλο "Modelling Pressure Deficient Water Distribution Networks in EPANET" των M. A. H. Abdy Sayyed, R. Gupta και T.T. Tanyimboh.

Το υψόμετρο και των δύο δεξαμενών είναι 60,96m. Το δίκτυο αποτελείται από 13 κόμβους και 21 αγωγούς. Στον πίνακα 4.1 βλέπουμε τον νούμερο, το μήκος και την διάμετρο του κάθε αγωγού. Στον πίνακα 4.2 βλέπουμε τον αριθμό των κόμβων, το υψόμετρο τους και την παροχή τους.



Σχήμα 4.1 Σύστημα διανομής νερού

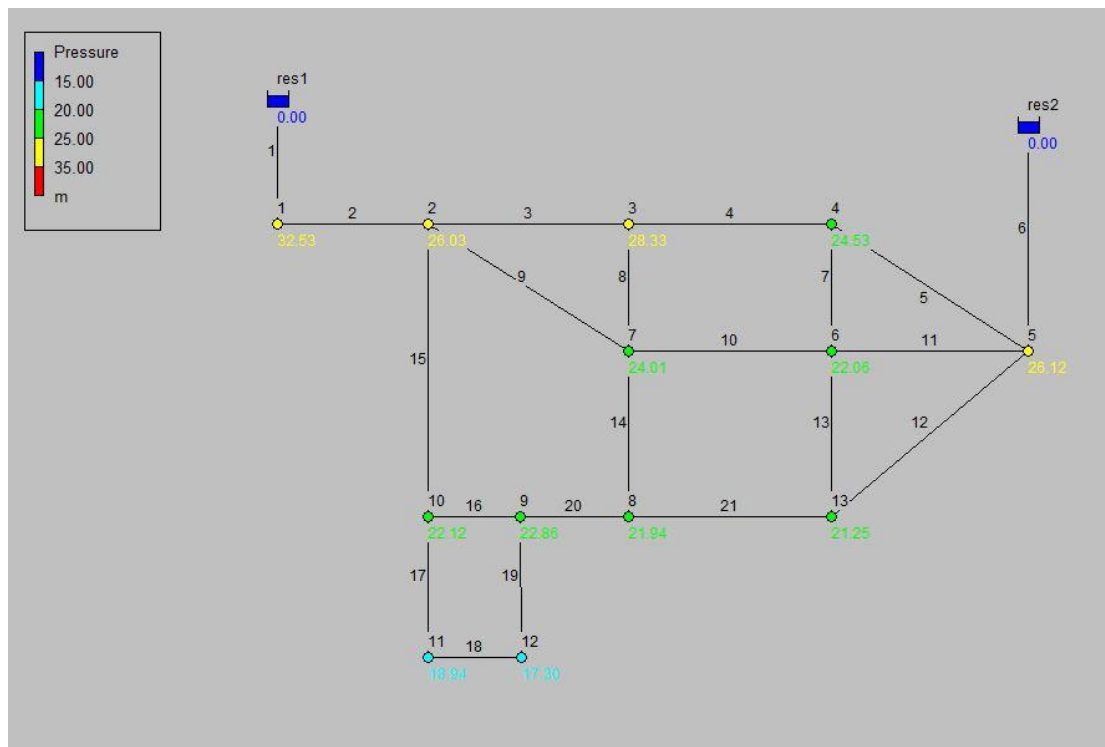
Πίνακας 4.1 Χαρακτηριστικά αγωγών

ΑΓΩΓΟΣ No.	ΜΗΚΟΣ (m)	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ(mm)
1	609.6	762
2	243.8	762
3	1524	609
4	1127.76	609
5	1188.72	406
6	640.08	406
7	762	254
8	944.88	254
9	1676.4	381
10	883.92	305
11	883.92	305
12	1371.6	381
13	762	254
14	822.96	254
15	944.88	305
16	579	305
17	487.68	203
18	457.2	152
19	502.92	203
20	883.92	203
21	944.88	305

Πίνακας 4.2 Χαρακτηριστικά κόμβων

ΚΟΜΒΟΣ No	ΥΨΟΜΕΤΡΟ (m)	ΠΑΡΟΧΗ (L/s)
1	27.43	0
2	33.53	59
3	28.96	59
4	32	178
5	30.48	59
6	31.39	190
7	29.56	178
8	31.39	91
9	32.61	0
10	34.14	0
11	35.05	30
12	36.58	30
13	33.53	0

Για την αρχική κατάσταση του δικτύου λάβαμε υπόψη ότι οι αγωγοί είναι κατασκευασμένοι από το ίδιο υλικό και η τιμή της τραχύτητας τους είναι ίση με 0,06 mm. Έτσι με τη βοήθεια του EPANET υπολογίστηκαν οι τιμές της πίεσης του δικτύου σε κάθε κόμβο. Τα αποτελέσματα φαίνονται στο σχήμα 4.2.



Σχήμα 4.2 Πιέσεις κόμβων στην αρχική κατάσταση

4.2 Σενάρια μεταβολής υδραυλικών χαρακτηριστικών

Εξετάζονται ως σενάρια μεταβολής των υδραυλικών χαρακτηριστικών τα παρακάτω:

- a. Μεταβολή τραχύτητας από 0.06mm έως 1,2mm,
- b. Γραμμική μεταβολή τραχύτητας με την πάροδο του χρόνου,
- c. Μεταβολή της παροχής στους κόμβους με τις αυξομειώσεις του πληθυσμού με την πάροδο του χρόνου,
- d. Συνδυασμός των μεθόδων b και c.

Η μεταβολή της τραχύτητας στους αγωγούς του δικτύου είναι ένα από τα υδραυλικά χαρακτηριστικά τα οποία έχουν άμεση επίδραση στην απόδοση του δικτύου. Οι διαφορετικές τιμές τραχύτητας των αγωγών μπορούν να ερμηνευθούν με δύο τρόπους. Ο πρώτος είναι ότι διαφορετική τιμή της τραχύτητας ισοδυναμεί με διαφορετικό υλικό κατασκευής σωληνώσεων. Η δεύτερη ερμηνεία που δίνεται στις διαφορετικές τιμές τραχύτητας είναι ότι ένα συγκεκριμένο υλικό αγωγών με την πάροδο του χρόνου φθείρεται και χάνει τις ιδιαιτερότητες του το οποίο έχει ως αποτέλεσμα την αλλαγή στις τιμές της τραχύτητας και επιπροσθέτως στα υπόλοιπα υδραυλικά χαρακτηριστικά του δικτύου. Η αύξηση της τιμής της τραχύτητας των αγωγών ισοδυναμεί με μείωση της απόδοσης του δικτύου. Στο συγκεκριμένο σενάριο επιλέχθηκαν τιμές από τα 0.06mm (ιδεατή περίπτωση αγωγού) έως τα 1.2mm σε όλο το δίκτυο ώστε να εκτιμηθούν οι επιπτώσεις που προκαλούνται στο δίκτυο.

Ένα πιο ρεαλιστικό σενάριο είναι ο ορισμός των σωληνώσεων από ένα συγκεκριμένο υλικό και πως η τραχύτητα αυτού αλλάζει με την πάροδο του χρόνου. Σε αυτό το σημείο έγινε η υπόθεση πως οι αγωγοί είναι κατασκευασμένοι από το ίδιο υλικό του οποίου η τραχύτητα είναι ίση με 0.06mm. Το υλικό αυτό είναι ιδεατό καθώς η μικρή αυτή τιμή της τραχύτητας δηλώνει ότι οι τριβές του νερού με τους αγωγούς είναι πολύ μικρής σημασίας. Αφού επιλέχθηκε η τιμή αυτή έγινε μία δεύτερη υπόθεση η οποία αφορά την διακύμανση της τραχύτητας σε σχέση με την πάροδο του χρόνου. Η σχέση αυτή είναι γραμμική και ακολουθεί την εξίσωση ευθείας $y = 0.018x + 0.06$ όπου x ο χρόνος σε έτη και y η τιμή της τραχύτητας σε mm. Ο χρόνος για τον οποίο εκτελέστηκε το σενάριο αυτό είναι τα 30 χρόνια και οι παρατηρήσεις στα υδραυλικά χαρακτηριστικά του δικτύου έγιναν με βήμα πενταετίας.

Στο τρίτο σενάριο θεωρείται το υλικό των αγωγών αμετάβλητο με την πάροδο του χρόνου και ίσο με 0.06 mm αλλά υπάρχει μεταβολή της παροχής στους κόμβους. Αυτή η μεταβολή σχετίζεται με τις αυξομειώσεις του πληθυσμού. Θεωρούμε ότι η μεταβολή του πληθυσμού ακολουθεί την μέθοδο της σταθερής σχετικής μεταβολής (σταθερό ποσοστό μεταβολής). Έτσι η αναδρομική σχέση γράφεται: $P_i = \alpha P_{i-1}$ όπου $\alpha = 1 + \gamma$ και $\gamma = P_i - P_{i-1} / P_{i-1} =$ σταθερό και προκύπτει $P_v = \alpha^v P_0$. Οι υπολογισμοί των παροχών έγιναν για διάρκεια 30 ετών με βήμα πενταετίας. Έτσι εξετάστηκαν οι περιπτώσεις αύξησης του πληθυσμού κατά 0.5% , 1% , 1.5% , 2% και 2.5% και οι μείωση αυτού κατά 0.5% και 1%.

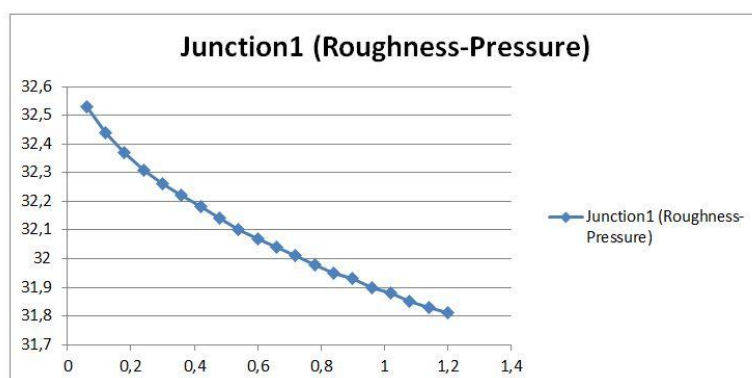
Τελευταίο σενάριο αποτελεί ο συνδυασμός των δύο τελευταίων σεναρίων το οποίο είναι και το πιο ρεαλιστικό. Αυτό σχετίζεται άμεσα με την πραγματικότητα καθώς λαμβάνει υπόψη και τις δύο σημαντικές μεταβολές των υδραυλικών χαρακτηριστικών που υφίσταται ένα ρεαλιστικό δίκτυο διανομής νερού με την πάροδο του χρόνου , τόσο της τραχύτητας όσο και της παροχής.

4.3 Αποτελέσματα υδραυλικών χαρακτηριστικών του δικτύου

4.3.1 Μεταβολή τραχύτητας από 0.06mm έως 1,2mm

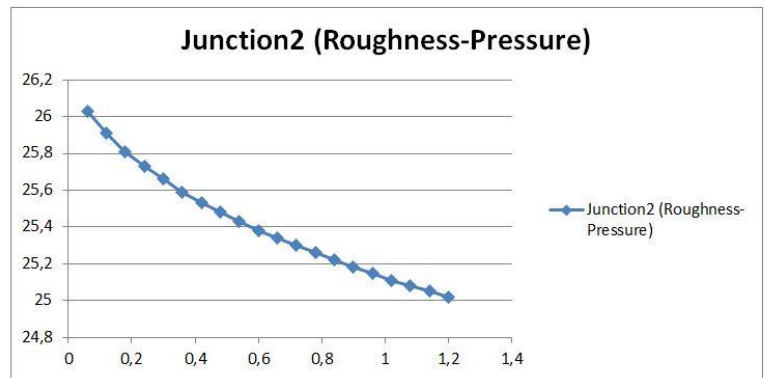
Με όλα αυτά τα δεδομένα, είμαστε τώρα σε θέση να υπολογίσουμε την πίεση σε κάθε ένα κόμβο του δικτύου. Αυτό θα γίνει για 20 διαφορετικές τιμές της τραχύτητας (k) ξεκινώντας από τα 0,06mm φτάνοντας τα 1,2mm με βήμα 0,06. Έτσι για κάθε κόμβο με τη βοήθεια του EPANET δόθηκαν τα αποτελέσματα της πίεσης του, καθώς άλλαζε η τραχύτητα των αγωγών. Με τη βοήθεια όλων αυτών των τιμών δημιουργήσαμε τα αντίστοιχα διαγράμματα τραχύτητας(mm)-πίεσης(m). Παρακάτω βλέπουμε τα αποτελέσματα τόσο σε μορφή πινάκων όσο και σε μορφή γραφήματος.

junction 1	
k (roughness) (mm)	Pressure (m)
0,06	32,53
0,12	32,44
0,18	32,37
0,24	32,31
0,3	32,26
0,36	32,22
0,42	32,18
0,48	32,14
0,54	32,1
0,6	32,07
0,66	32,04
0,72	32,01
0,78	31,98
0,84	31,95
0,9	31,93
0,96	31,9
1,02	31,88
1,08	31,85
1,14	31,83
1,2	31,81

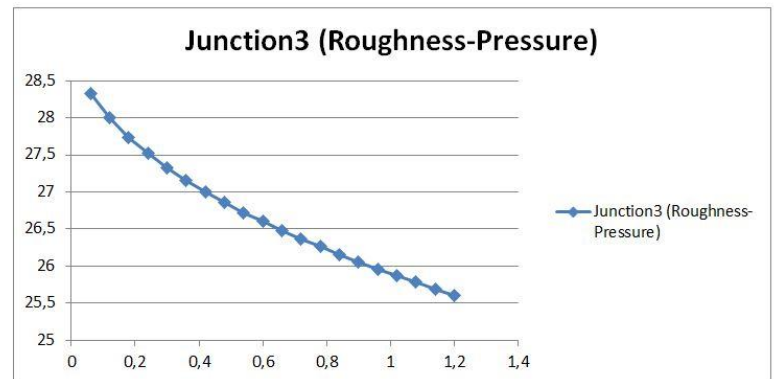


Σχήμα 4.3 Τραχύτητα-Πίεση για κάθε κόμβο

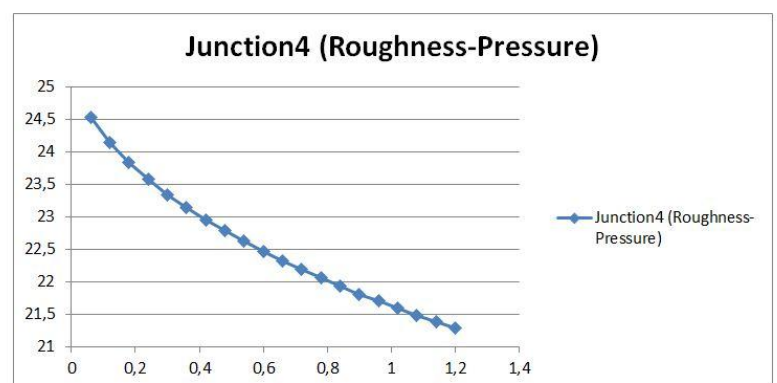
junction 2	
k (roughness) (mm)	Pressure (m)
0,06	26,03
0,12	25,91
0,18	25,81
0,24	25,73
0,3	25,66
0,36	25,59
0,42	25,53
0,48	25,48
0,54	25,43
0,6	25,38
0,66	25,34
0,72	25,3
0,78	25,26
0,84	25,22
0,9	25,18
0,96	25,15
1,02	25,11
1,08	25,08
1,14	25,05
1,2	25,02



junction 3	
k (roughness) (mm)	Pressure (m)
0,06	28,33
0,12	28
0,18	27,74
0,24	27,52
0,3	27,33
0,36	27,16
0,42	27
0,48	26,86
0,54	26,72
0,6	26,6
0,66	26,48
0,72	26,36
0,78	26,26
0,84	26,15
0,9	26,06
0,96	25,96
1,02	25,87
1,08	25,78
1,14	25,69
1,2	25,61

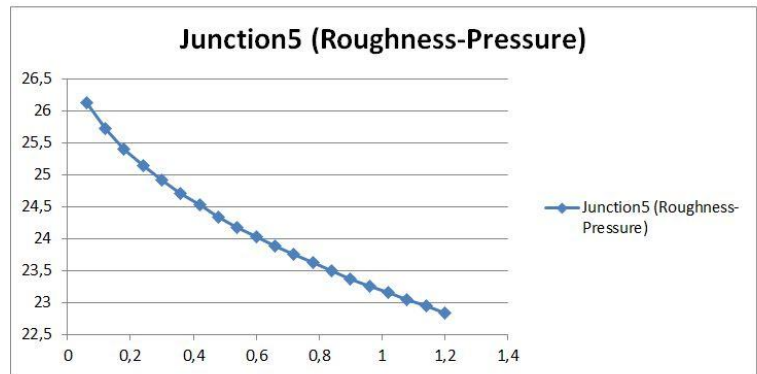


junction 4	
k (roughness) (mm)	Pressure (m)
0,06	24,53
0,12	24,14
0,18	23,83
0,24	23,57
0,3	23,34
0,36	23,14
0,42	22,95
0,48	22,78
0,54	22,62
0,6	22,46
0,66	22,32
0,72	22,19
0,78	22,06
0,84	21,93
0,9	21,81
0,96	21,7
1,02	21,59
1,08	21,48
1,14	21,38
1,2	21,28

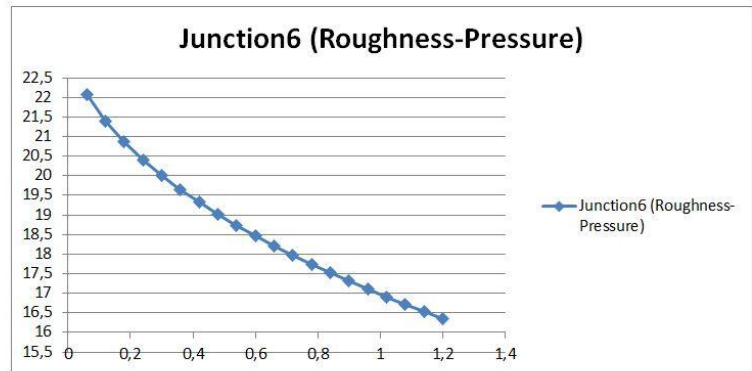


Σχήμα 4.3 (Συνέχεια)

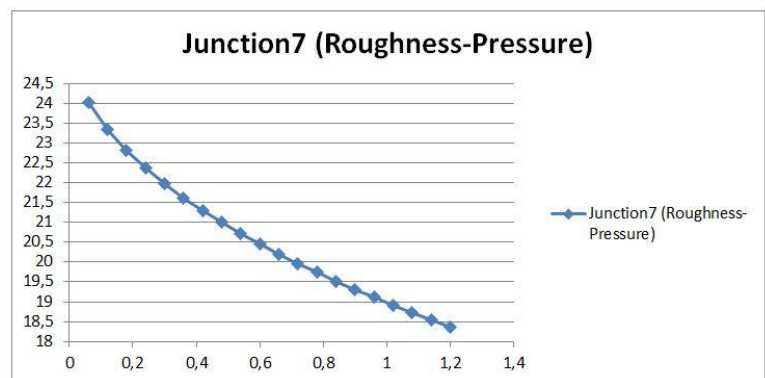
junction 5	
k (roughness) (mm)	Pressure (m)
0,06	26,12
0,12	25,72
0,18	25,4
0,24	25,14
0,3	24,91
0,36	24,7
0,42	24,52
0,48	24,34
0,54	24,18
0,6	24,03
0,66	23,88
0,72	23,75
0,78	23,62
0,84	23,49
0,9	23,37
0,96	23,26
1,02	23,15
1,08	23,04
1,14	22,94
1,2	22,84



junction 6	
k (roughness) (mm)	Pressure (m)
0,06	22,06
0,12	21,39
0,18	20,86
0,24	20,41
0,3	20,01
0,36	19,65
0,42	19,32
0,48	19,02
0,54	18,73
0,6	18,47
0,66	18,21
0,72	17,97
0,78	17,74
0,84	17,52
0,9	17,31
0,96	17,11
1,02	16,91
1,08	16,72
1,14	16,54
1,2	16,36

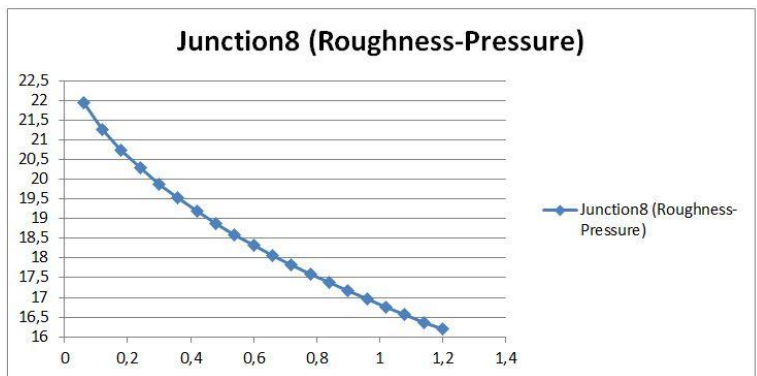


junction 7	
k (roughness) (mm)	Pressure (m)
0,06	24,01
0,12	23,35
0,18	22,82
0,24	22,37
0,3	21,98
0,36	21,62
0,42	21,3
0,48	21
0,54	20,72
0,6	20,45
0,66	20,2
0,72	19,97
0,78	19,74
0,84	19,52
0,9	19,31
0,96	19,11
1,02	18,92
1,08	18,73
1,14	18,55
1,2	18,37

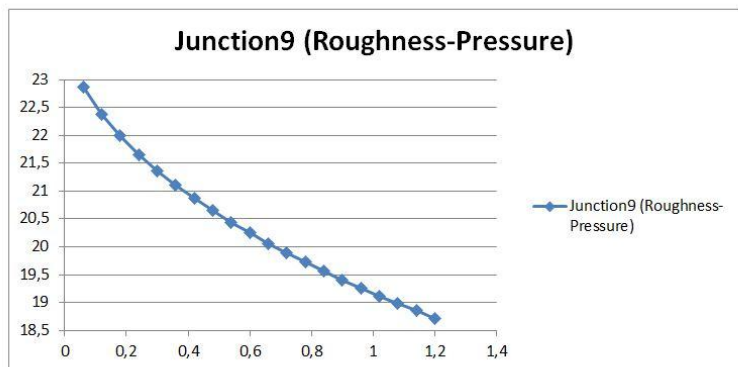


Σχήμα 4.3 (Συνέχεια)

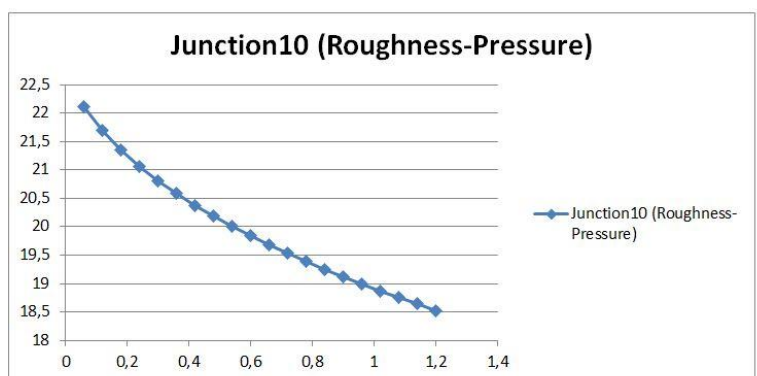
junction 8	
k (roughness) (mm)	Pressure (m)
0,06	21,94
0,12	21,27
0,18	20,74
0,24	20,28
0,3	19,88
0,36	19,52
0,42	19,19
0,48	18,88
0,54	18,59
0,6	18,32
0,66	18,07
0,72	17,83
0,78	17,6
0,84	17,37
0,9	17,16
0,96	16,95
1,02	16,75
1,08	16,56
1,14	16,37
1,2	16,19



junction 9	
k (roughness) (mm)	Pressure (m)
0,06	22,86
0,12	22,38
0,18	21,99
0,24	21,66
0,3	21,37
0,36	21,11
0,42	20,87
0,48	20,65
0,54	20,44
0,6	20,25
0,66	20,06
0,72	19,89
0,78	19,72
0,84	19,56
0,9	19,41
0,96	19,26
1,02	19,12
1,08	18,98
1,14	18,85
1,2	18,72

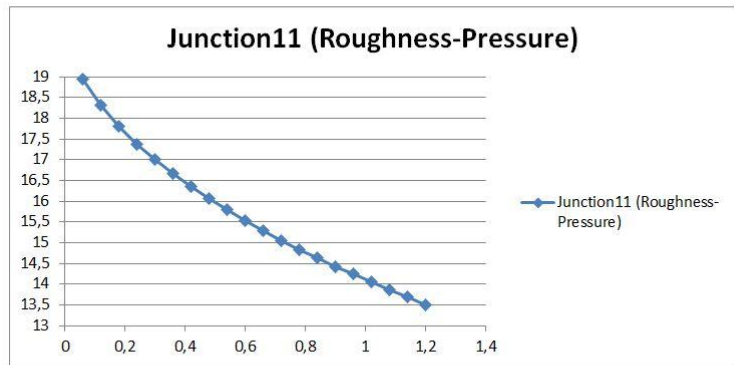


junction 10	
k (roughness) (mm)	Pressure (m)
0,06	22,12
0,12	21,69
0,18	21,35
0,24	21,06
0,3	20,81
0,36	20,59
0,42	20,38
0,48	20,19
0,54	20,01
0,6	19,84
0,66	19,68
0,72	19,53
0,78	19,39
0,84	19,25
0,9	19,12
0,96	18,99
1,02	18,87
1,08	18,75
1,14	18,64
1,2	18,52

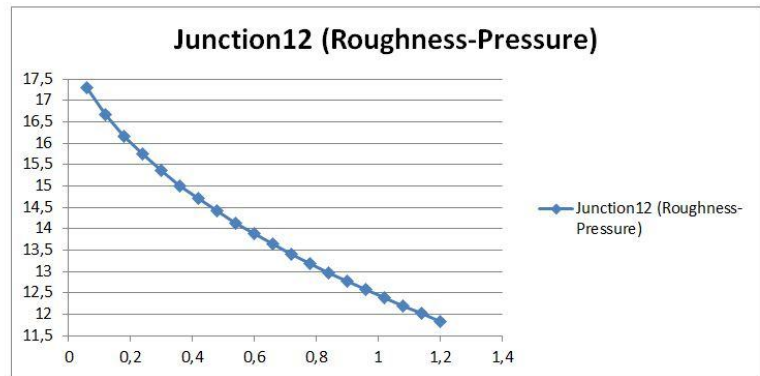


Σχήμα 4.3 (Συνέχεια)

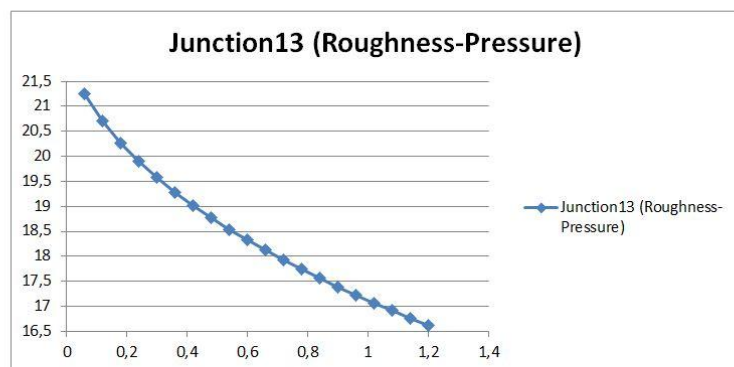
junction 11	
k (roughness) (mm)	Pressure (m)
0,06	18,94
0,12	18,32
0,18	17,81
0,24	17,38
0,3	17
0,36	16,66
0,42	16,35
0,48	16,06
0,54	15,79
0,6	15,54
0,66	15,29
0,72	15,06
0,78	14,84
0,84	14,63
0,9	14,43
0,96	14,24
1,02	14,05
1,08	13,86
1,14	13,69
1,2	13,51



junction 12	
k (roughness) (mm)	Pressure (m)
0,06	17,3
0,12	16,68
0,18	16,17
0,24	15,74
0,3	15,36
0,36	15,01
0,42	14,7
0,48	14,41
0,54	14,14
0,6	13,88
0,66	13,64
0,72	13,4
0,78	13,18
0,84	12,97
0,9	12,77
0,96	12,57
1,02	12,38
1,08	12,19
1,14	12,02
1,2	11,84



junction 13	
k (roughness) (mm)	Pressure (m)
0,06	21,25
0,12	20,71
0,18	20,27
0,24	19,9
0,3	19,57
0,36	19,28
0,42	19,01
0,48	18,77
0,54	18,54
0,6	18,32
0,66	18,12
0,72	17,92
0,78	17,74
0,84	17,56
0,9	17,39
0,96	17,22
1,02	17,06
1,08	16,91
1,14	16,76
1,2	16,62



Σχήμα 4.3 (Συνέχεια)

Παρατηρείται ότι σε όλους τους κόμβους καθώς αυξάνεται η τραχύτητα των αγωγών τόσο το ύψος πίεσης μειώνεται. Όλοι οι κόμβοι ακολουθούν την ίδια γραφική παράσταση αλλά το ποσοστό μείωσης της πίεσης διαφέρει από κόμβο σε κόμβο με την αύξηση της τιμής της τραχύτητας από 0,06mm στα 1,2mm. Η κατάταξη αυτή φαίνεται στον πίνακα 4.3 ο οποίος είναι διαμορφωμένος κατά αύξουσα σειρά. Έχοντας δηλαδή πρώτο τον κόμβο που εμφανίζει το μικρότερο ποσοστό μέτρων πίεσης κατά την διακύμανση της τραχύτητας ενώ τελευταίο αυτόν με το μεγαλύτερο ποσοστό μέτρων πίεσης κατά την διακύμανση της τραχύτητας.

Πίνακας 4.3 Διαφορά πίεσης αρχικής και τελικής κατάστασης ανά κόμβο

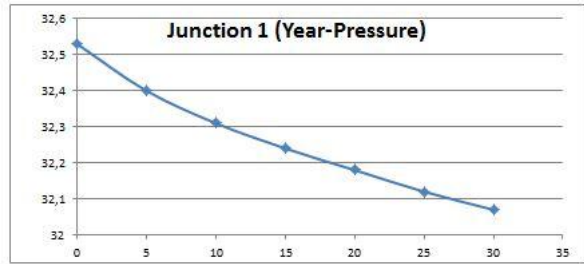
ΚΟΜΒΟΣ Νο	ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΠΙΕΣΗΣ (m)	ΠΟΣΟΣΤΟ ΜΕΙΩΣΗΣ ΠΙΕΣΗΣ (%)
1	0.72	2.26
2	1.01	4.04
3	2.72	9.6
5	3.28	12.56
4	3.25	13.25
10	3.6	16.27
9	4.14	18.11
13	4.63	21.79
7	5.64	23.49
6	5.7	25.84
8	5.75	26.21
11	5.43	28.67
12	5.46	31.56

Παρατηρείται ότι οι κόμβοι που εμφανίζουν μεγάλες διαφορές πίεσης είναι οι πιο απομακρυσμένοι από τις δεξαμενές (7,6,8, 11,12) σε αντίθεση με τους κοντινούς (1,2,3,5,4).Γεγονός το οποίο είναι απολύτως λογικό καθώς οι κόμβοι που εμφανίζουν μεγάλες διαφορές ποσοστών πίεσης παρεμβάλλονται περισσότεροι αγωγοί και πολλές φορές μεγαλύτερου μήκους οπότε οι απώλειες των πιεζομετρικών φορτίων είναι μεγαλύτερες.

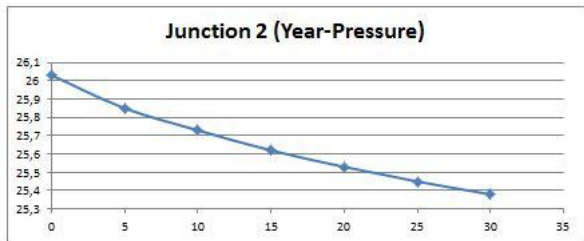
4.3.2 Γραμμική μεταβολή τραχύτητας με την πάροδο του χρόνου

Σε αυτή τη μέθοδο οι τιμές της τραχύτητας των αγωγών συσχετίζονται με τον χρόνο και πιο συγκεκριμένα ακολουθούν την εξίσωση ευθείας $y = 0.018x + 0.06$ όπου x ο χρόνος σε έτη και y η τιμή της τραχύτητας σε mm. Έτσι με τη βοήθεια του EPANET λύθηκε το δίκτυο αυτό και υπολογίστηκαν για κάθε χρονική περίοδο η τιμή της πίεσης σε κάθε κόμβο όπως παρουσιάζεται παρακάτω

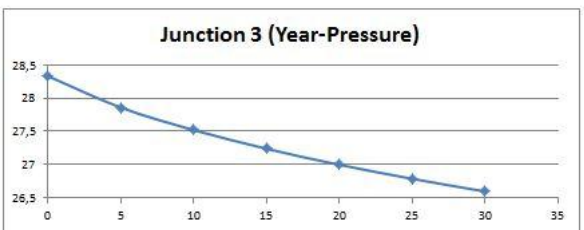
junction 1		
Year	k (roughness) (mm)	Pressure (m)
0	0,06	32,53
5	0,15	32,4
10	0,24	32,31
15	0,33	32,24
20	0,42	32,18
25	0,51	32,12
30	0,6	32,07



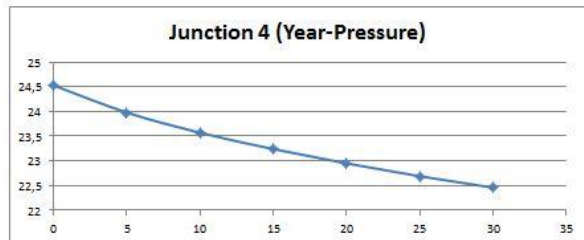
junction 2		
Year	k (roughness) (mm)	Pressure (m)
0	0,06	26,03
5	0,15	25,85
10	0,24	25,73
15	0,33	25,62
20	0,42	25,53
25	0,51	25,45
30	0,6	25,38



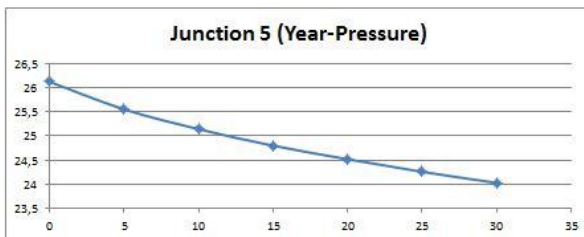
junction 3		
Year	k (roughness) (mm)	Pressure (m)
0	0,06	28,33
5	0,15	27,86
10	0,24	27,52
15	0,33	27,24
20	0,42	27
25	0,51	26,79
30	0,6	26,6



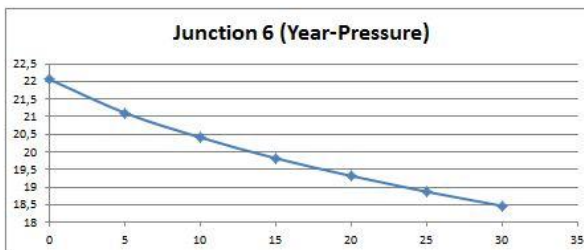
junction 4		
Year	k (roughness) (mm)	Pressure (m)
0	0,06	24,53
5	0,15	23,98
10	0,24	23,57
15	0,33	23,24
20	0,42	22,95
25	0,51	22,69
30	0,6	22,46



junction 5		
Year	k (roughness) (mm)	Pressure (m)
0	0,06	26,12
5	0,15	25,55
10	0,24	25,14
15	0,33	24,8
20	0,42	24,52
25	0,51	24,26
30	0,6	24,03

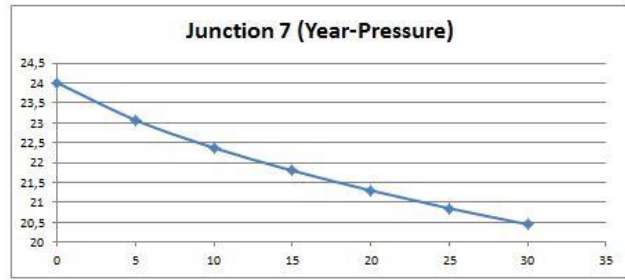


junction 6		
Year	k (roughness) (mm)	Pressure (m)
0	0,06	22,06
5	0,15	21,11
10	0,24	20,41
15	0,33	19,82
20	0,42	19,32
25	0,51	18,87
30	0,6	18,47

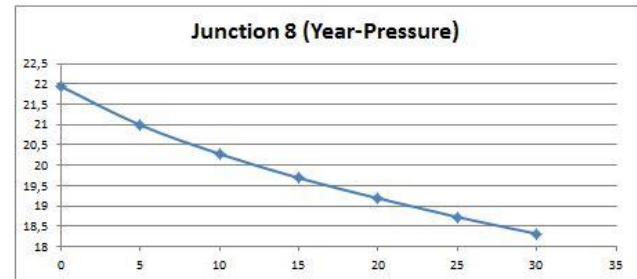


Σχήμα 4.4 Χρόνος-Πίεση με μεταβολή της τραχύτητας για κάθε κόμβο

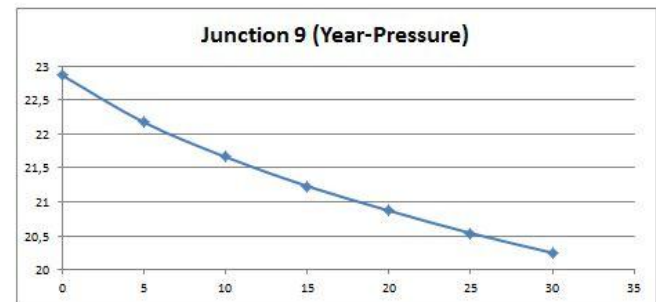
junction 7		
Year	k (roughness) (mm)	Pressure (m)
0	0,06	24,01
5	0,15	23,07
10	0,24	22,37
15	0,33	21,8
20	0,42	21,3
25	0,51	20,85
30	0,6	20,45



junction 8		
Year	k (roughness) (mm)	Pressure (m)
0	0,06	21,94
5	0,15	20,99
10	0,24	20,28
15	0,33	19,69
20	0,42	19,19
25	0,51	18,73
30	0,6	18,32

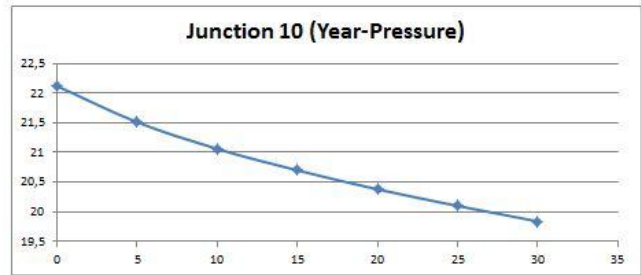


junction 9		
Year	k (roughness) (mm)	Pressure (m)
0	0,06	22,86
5	0,15	22,17
10	0,24	21,66
15	0,33	21,23
20	0,42	20,87
25	0,51	20,54
30	0,6	20,25

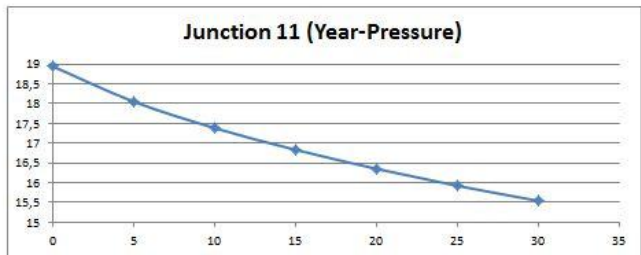


Σχήμα 4.4 (Συνέχεια)

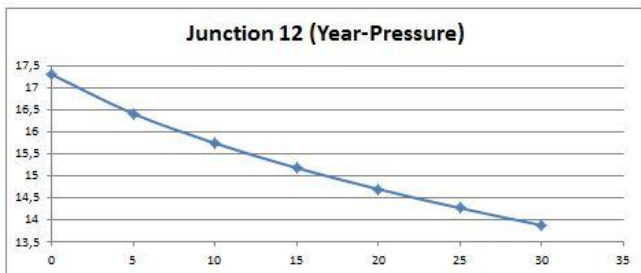
junction 10		
Year	k(roughness)(mm)	Pressure (m)
0	0,06	22,12
5	0,15	21,51
10	0,24	21,06
15	0,33	20,7
20	0,42	20,38
25	0,51	20,1
30	0,6	19,84



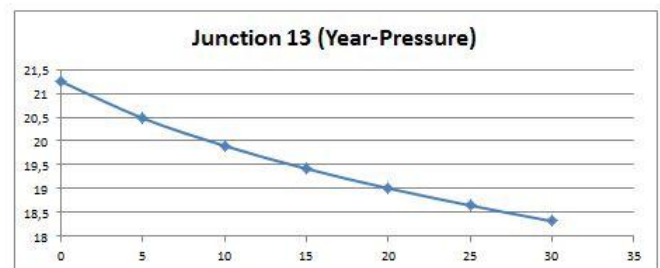
junction 11		
Year	k(roughness)(mm)	Pressure (m)
0	0,06	18,94
5	0,15	18,05
10	0,24	17,38
15	0,33	16,83
20	0,42	16,35
25	0,51	15,92
30	0,6	15,54



junction 12		
Year	k(roughness)(mm)	Pressure (m)
0	0,06	17,3
5	0,15	16,41
10	0,24	15,74
15	0,33	15,18
20	0,42	14,7
25	0,51	14,27
30	0,6	13,88



junction 13		
Year	k(roughness)(mm)	Pressure (m)
0	0,06	21,25
5	0,15	20,48
10	0,24	19,9
15	0,33	19,42
20	0,42	19,01
25	0,51	18,65
30	0,6	18,32



Σχήμα 4.4 (Συνέχεια)

Παρατηρείται ότι με την πάροδο των ετών και την αύξηση της τραχύτητας, σε κάθε κόμβο η τιμή της πίεσης μειώνεται με τον ίδιο τρόπο αλλά με διαφορετικά ποσοστά σε κάθε έναν από αυτούς. Το σενάριο αυτό ακολουθεί τα αποτελέσματα του προηγούμενου αλλά με μικρότερες διαφορές τόσο στην πίεση όσο και στα ποσοστά μείωσης αυτής. Στον πίνακα 4.4 φαίνονται αναλυτικότερα τα αποτελέσματα

Πίνακας 4.4 Διαφορά πίεσης αρχικής και τελικής κατάστασης ανά κόμβο

ΚΟΜΒΟΣ Νο	ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΠΙΕΣΗΣ (m)	ΠΟΣΟΣΤΟ ΜΕΙΩΣΗΣ ΠΙΕΣΗΣ (%)
1	0.46	1.41
2	0.65	2.50
3	1.73	6.11
5	2.09	8.00
4	2.07	8.44
10	2.28	10.31
9	2.61	11.42
13	2.93	13.79
7	3.56	14.83
6	3.59	16.27
8	3.62	16.50
11	3.4	17.95
12	3.42	19.77

4.3.3 Μεταβολή της παροχής στους κόμβους με τις αυξομειώσεις του πληθυσμού και την πάροδο του χρόνου

Η μεταβολή της παροχής στους κόμβους σχετίζεται άμεσα με τις μεταβολές του πληθυσμού γύρω από το δίκτυο ύδρευσης. Έτσι για τις 7 διαφορετικές περιπτώσεις μεταβολής του πληθυσμού (0.5% , 1% , 1.5% , 2% , 2.5% , -0.5% και -1%) προκύπτει και ένας διαφορετικός συντελεστής α . Ο συντελεστής αυτός υψώνεται σε έναν εκθέτη n ο οποίος προσδιορίζει τη χρονική περίοδο που έχει περάσει από την αρχική κατάσταση του δικτύου. Με αυτόν τον τρόπο ο συντελεστής α^n πολλαπλασιάζεται σε κάθε περίπτωση με τις αρχικές παροχές του δικτύου και προκύπτουν οι νέες υπολογισμένες παροχές στο δίκτυο για την εκάστοτε μεταβολή πληθυσμού και χρονική περίοδο. Στο επόμενο βήμα τοποθετείται στο EPANET οι νέες παροχές στους κόμβους και υπολογίζονται οι πιέσεις. Τα δεδομένα αυτά εμφανίζονται με τη μορφή πινάκων και έπειτα δημιουργούνται τα διαγράμματα χρόνου πίεσης για κάθε κόμβο και για τις 7 μεταβολές του πληθυσμού.

Πίνακας 4.5 Δεδομένα παροχής και πίεσης για αύξηση πληθυσμού 0.5%

ΑΥΞΗΣΗ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ 0,5%

Node ID	5ο ΕΤΟΣ		10ο ΕΤΟΣ		15ο ΕΤΟΣ		20ο ΕΤΟΣ		25ο ΕΤΟΣ		30ο ΕΤΟΣ	
	Demand LPS	Pressure m	Demand LPS	Pressure m	Demand LPS	Pressure m	Demand LPS	Pressure m	Demand LPS	Pressure m	Demand LPS	Pressure m
Junction 1	-	32.48	0	32.43	0.00	32.38	0.00	32.32	0.00	32.26	0.00	32.2
Junction 2	60.49	25.96	62.02	25.89	63.58	25.81	65.19	25.74	66.83	25.65	68.52	25.57
Junction 3	60.49	28.15	62.02	27.96	63.58	27.76	65.19	27.56	66.83	27.34	68.52	27.11
Junction 4	182.49	24.32	187.10	24.09	191.83	23.85	196.67	23.6	201.64	23.34	206.73	23.07
Junction 5	60.49	25.9	62.02	25.68	63.58	25.44	65.19	25.2	66.83	24.94	68.52	24.67
Junction 6	194.80	21.7	199.72	21.31	204.76	20.91	209.93	20.49	215.23	20.05	220.67	19.59
Junction 7	182.49	23.66	187.10	23.28	191.83	22.88	196.67	22.47	201.64	22.04	206.73	21.58
Junction 8	93.30	21.57	95.65	21.18	98.07	20.77	100.55	20.35	103.08	19.9	105.69	19.43
Junction 9	-	22.6	0.00	22.32	0.00	22.03	0.00	21.72	0.00	21.4	0.00	21.06
Junction 10	-	21.89	0.00	21.65	0.00	21.4	0.00	21.13	0.00	20.86	0.00	20.56
Junction 11	30.76	18.61	31.53	18.25	32.33	17.88	33.15	17.49	33.98	17.08	34.84	16.65
Junction 12	30.76	16.96	31.53	16.6	32.33	16.23	33.15	15.83	33.98	15.42	34.84	14.98
Junction 13	-	20.95	0.00	20.64	0.00	20.31	0.00	19.96	0.00	19.6	0.00	19.22
Resvoir 1	638.51	0	-654.63	0	-671.16	0	-688.11	0	-705.48	0	-723.30	0
Resvoir 2	257.56	0	-264.07	0	-270.74	0	-277.57	0	-284.58	0	-291.77	0
	$\alpha^V=$	1.025251253	$\alpha^V=$	1.051140132	$\alpha^V=$	1.077682738	$\alpha^V=$	1.104895577	$\alpha^V=$	1.132795575	$\alpha^V=$	1.161400083

Πίνακας 4.6 Δεδομένα παροχής και πίεσης για αύξηση πληθυσμού 1%

ΑΥΞΗΣΗ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ 1%

Node ID	5ο ΕΤΟΣ		10ο ΕΤΟΣ		15ο ΕΤΟΣ		20ο ΕΤΟΣ		25ο ΕΤΟΣ		30ο ΕΤΟΣ	
	Demand LPS	Pressure m	Demand LPS	Pressure m	Demand LPS	Pressure m	Demand LPS	Pressure m	Demand LPS	Pressure m	Demand LPS	Pressure m
Junction 1	-	32.43	0	32.32	0.00	32.2	0.00	32.06	0.00	31.92	0.00	31.76
Junction 2	62.01	25.89	65.17	25.74	68.50	25.57	71.99	25.38	75.66	25.17	79.52	24.95
Junction 3	62.01	27.96	65.17	27.56	68.50	27.11	71.99	26.61	75.66	26.09	79.52	25.49
Junction 4	187.08	24.09	196.62	23.61	206.65	23.07	217.19	22.47	228.27	21.84	239.92	21.12
Junction 5	62.01	25.68	65.17	25.2	68.50	24.67	71.99	24.08	75.66	23.45	79.52	22.75
Junction 6	199.69	21.32	209.88	20.5	220.58	19.59	231.84	18.59	243.66	17.51	256.09	16.3
Junction 7	187.08	23.28	196.62	22.47	206.65	21.59	217.19	20.6	228.27	19.53	239.92	18.34
Junction 8	95.64	21.18	100.52	20.35	105.65	19.44	111.04	18.42	116.70	17.32	122.65	16.1
Junction 9	-	22.32	0.00	21.72	0.00	21.06	0.00	20.33	0.00	19.54	0.00	18.65
Junction 10	-	21.65	0.00	21.13	0.00	20.57	0.00	19.94	0.00	19.26	0.00	18.5
Junction 11	31.53	18.25	33.14	17.49	34.83	16.66	36.61	15.73	38.47	14.73	40.44	13.61
Junction 12	31.53	16.6	33.14	15.83	34.83	14.98	36.61	14.05	38.47	13.02	40.44	11.89
Junction 13	-	20.64	0.00	19.97	0.00	19.22	0.00	18.39	0.00	17.5	0.00	16.51
Resvoir 1	654.55	0	-687.94	0	-723.03	0	-759.91	0	-798.67	0	-839.41	0
Resvoir 2	264.03	0	-277.50	0	-291.66	0	-306.54	0	-322.17	0	-338.61	0
	$\alpha^V=$	1.05101005	$\alpha^V=$	1.104622125	$\alpha^V=$	1.160968955	$\alpha^V=$	1.22019004	$\alpha^V=$	1.282431955	$\alpha^V=$	1.347848915

Πίνακας 4.7 Δεδομένα παροχής και πίεσης για αύξηση πληθυσμού 1.5%

ΑΥΞΗΣΗ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ 1,5%

Node ID	5ο ΕΤΟΣ		10ο ΕΤΟΣ		15ο ΕΤΟΣ		20ο ΕΤΟΣ		25ο ΕΤΟΣ		30ο ΕΤΟΣ	
	Demand LPS	Pressure m	Demand LPS	Pressure m	Demand LPS	Pressure m	Demand LPS	Pressure m	Demand LPS	Pressure m	Demand LPS	Pressure m
Junction 1	-	32.38	0	32.2	0.00	32	0.00	31.76	0.00	31.49	0.00	31.17
Junction 2	63.56	25.82	68.47	25.57	73.76	25.28	79.46	24.95	85.61	24.57	92.22	24.13
Junction 3	63.56	27.77	68.47	27.12	73.76	26.37	79.46	25.5	85.61	24.5	92.22	23.34
Junction 4	191.76	23.86	206.58	23.08	222.54	22.18	239.74	21.13	258.27	19.93	278.23	18.54
Junction 5	63.56	25.45	68.47	24.68	73.76	23.79	79.46	22.76	85.61	21.57	92.22	20.19
Junction 6	204.68	20.92	220.50	19.6	237.54	18.08	255.90	16.32	275.68	14.29	296.99	11.94
Junction 7	191.76	22.89	206.58	21.59	222.54	20.09	239.74	18.36	258.27	16.36	278.23	14.05
Junction 8	98.03	20.78	105.61	19.44	113.77	17.9	122.56	16.12	132.04	14.06	142.24	11.68
Junction 9	-	22.03	0.00	21.07	0.00	19.95	0.00	18.67	0.00	17.18	0.00	15.47
Junction 10	-	21.4	0.00	20.57	0.00	19.62	0.00	18.51	0.00	17.24	0.00	15.76
Junction 11	32.32	17.89	34.82	16.66	37.51	15.25	40.41	13.63	43.53	11.75	46.89	9.57
Junction 12	32.32	16.23	34.82	14.99	37.51	13.56	40.41	11.91	43.53	10	46.89	7.8
Junction 13	-	20.31	0.00	19.23	0.00	17.97	0.00	16.52	0.00	14.85	0.00	12.92
Resvoir 1	-	670.91	-722.76	0	-778.62	0	-838.79	0	-903.62	0	-973.46	0
Resvoir 2	-	270.64	-291.55	0	-314.08	0	-338.36	0	-364.51	0	-392.68	0
	$\alpha^V=$	1.077284004	$\alpha^V=$	1.160540825	$\alpha^V=$	1.250232067	$\alpha^V=$	1.346855007	$\alpha^V=$	1.450945354	$\alpha^V=$	1.56308022

Πίνακας 4.8 Δεδομένα παροχής και πίεσης για αύξηση πληθυσμού 2%

ΑΥΞΗΣΗ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ 2%

Node ID	5ο ΕΤΟΣ		10ο ΕΤΟΣ		15ο ΕΤΟΣ		20ο ΕΤΟΣ		25ο ΕΤΟΣ		30ο ΕΤΟΣ	
	Demand LPS	Pressure m	Demand LPS	Pressure m	Demand LPS	Pressure m	Demand LPS	Pressure m	Demand LPS	Pressure m	Demand LPS	Pressure m
Junction 1	-	32.32	0	32.07	0.00	31.76	0.00	31.39	0.00	30.94	0.00	30.39
Junction 2	65.14	25.74	71.92	25.38	79.41	24.95	87.67	24.43	96.80	23.8	106.87	23.04
Junction 3	65.14	27.56	71.92	26.63	79.41	25.51	87.67	24.15	96.80	22.5	106.87	20.49
Junction 4	196.53	23.61	216.98	22.5	239.56	21.15	264.50	19.51	292.03	17.52	322.42	15.11
Junction 5	65.14	25.21	71.92	24.1	79.41	22.77	87.67	21.15	96.80	19.19	106.87	16.8
Junction 6	209.78	20.5	231.61	18.62	255.71	16.34	282.33	13.58	311.72	10.22	344.16	6.16
Junction 7	196.53	22.48	216.98	20.63	239.56	18.38	264.50	15.66	292.03	12.36	322.42	8.36
Junction 8	100.47	20.36	110.93	18.45	122.47	16.14	135.22	13.33	149.30	9.93	164.83	5.82
Junction 9	-	21.73	0.00	20.35	0.00	18.68	0.00	16.66	0.00	14.21	0.00	11.24
Junction 10	-	21.14	0.00	19.96	0.00	18.52	0.00	16.79	0.00	14.68	0.00	12.13
Junction 11	33.12	17.5	36.57	15.76	40.38	13.64	44.58	11.08	49.22	7.98	54.34	4.22
Junction 12	33.12	15.84	36.57	14.07	40.38	11.93	44.58	9.33	49.22	6.19	54.34	2.37
Junction 13	-	19.97	0.00	18.42	0.00	16.54	0.00	14.26	0.00	11.5	0.00	8.15
Resvoir 1	-	687.60	-759.17	0	-838.18	0	-925.42	0	-1021.74	0	-1128.08	0
Resvoir 2	-	277.37	-306.24	0	-338.11	0	-373.30	0	-412.15	0	-455.05	0
	$\alpha^V=$	1.104080803	$\alpha^V=$	1.21899442	$\alpha^V=$	1.345868338	$\alpha^V=$	1.485947396	$\alpha^V=$	1.640605994	$\alpha^V=$	1.811361584

Πίνακας 4.9 Δεδομένα παροχής και πίεσης για αύξηση πληθυσμού 2.5%

ΑΥΞΗΣΗ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ 2,5%

Node ID	5ο ΕΤΟΣ		10ο ΕΤΟΣ		15ο ΕΤΟΣ		20ο ΕΤΟΣ		25ο ΕΤΟΣ		30ο ΕΤΟΣ	
	Demand	Pressure	Demand	Pressure	Demand	Pressure	Demand	Pressure	Demand	Pressure	Demand	Pressure
	LPS	m	LPS	m	LPS	m	LPS	m	LPS	m	LPS	m
Junction 1	-	32.26	0	31.92	0.00	31.49	0.00	30.94	0.00	30.25	0.00	123.76
Junction 2	66.75	25.66	75.52	25.18	85.45	24.58	96.68	23.81	109.38	22.83	123.76	123.76
Junction 3	66.75	27.35	75.52	26.11	85.45	24.53	96.68	22.52	109.38	19.96	123.76	123.76
Junction 4	201.39	23.36	227.86	21.86	257.80	19.96	291.67	17.55	330.00	14.48	373.37	373.37
Junction 5	66.75	24.95	75.52	23.48	85.45	21.6	96.68	19.21	109.38	16.17	123.76	123.76
Junction 6	214.97	20.07	243.22	17.55	275.18	14.34	311.34	10.27	352.25	5.09	398.54	398.54
Junction 7	201.39	22.06	227.86	19.57	257.80	16.42	291.67	12.41	330.00	7.3	373.37	373.37
Junction 8	102.96	19.92	116.49	17.36	131.80	14.11	149.11	9.98	168.71	4.73	190.88	190.88
Junction 9	-	21.41	0.00	19.57	0.00	17.22	0.00	14.25	0.00	10.46	0.00	0.00
Junction 10	-	20.87	0.00	19.28	0.00	17.27	0.00	14.71	0.00	11.45	0.00	0.00
Junction 11	33.94	17.1	38.40	14.76	43.45	11.8	49.16	8.02	55.62	3.23	62.93	62.93
Junction 12	33.94	15.44	38.40	13.06	43.45	10.05	49.16	6.23	55.62	1.37	62.93	62.93
Junction 13	-	19.62	0.00	17.54	0.00	14.89	0.00	11.54	0.00	7.27	0.00	0.00
Resvoir 1	-	704.62	-797.21	0	-901.97	0	-1020.50	0	-1154.60	0	-1306.32	-1306.32
Resvoir 2	-	284.23	-321.58	0	-363.84	0	-411.65	0	-465.75	0	-526.95	-526.95
	α^y =	1.131408213	α^y =	1.280084544	α^y =	1.448298166	α^y =	1.63861644	α^y =	1.853944098	α^y =	2.097567579

Πίνακας 4.10 Δεδομένα παροχής και πίεσης για μείωση πληθυσμού 0.5%

ΜΕΙΩΣΗ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ 0,5%

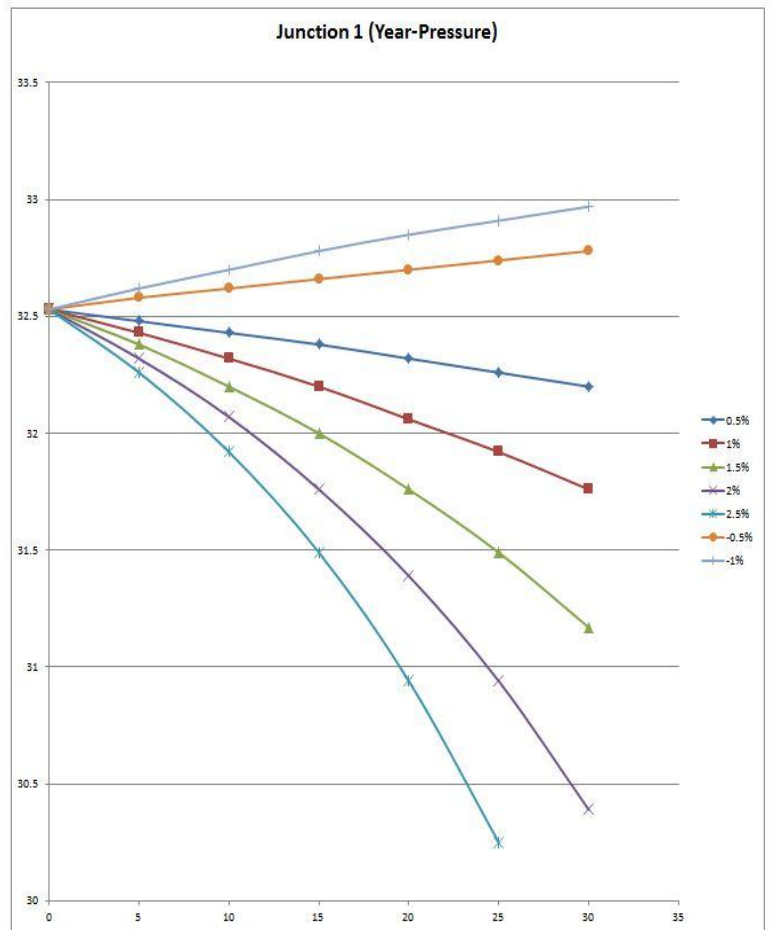
Node ID	5ο ΕΤΟΣ		10ο ΕΤΟΣ		15ο ΕΤΟΣ		20ο ΕΤΟΣ		25ο ΕΤΟΣ		30ο ΕΤΟΣ	
	Demand	Pressure	Demand	Pressure	Demand	Pressure	Demand	Pressure	Demand	Pressure	Demand	Pressure
	LPS	m	LPS	m	LPS	m	LPS	m	LPS	m	LPS	m
Junction 1	-	32.58	0	32.62	0.00	32.66	0.00	32.7	0.00	32.74	0.00	32.78
Junction 2	57.54	26.1	56.12	26.16	54.73	26.22	53.37	26.27	52.05	26.33	50.76	26.38
Junction 3	57.54	28.5	56.12	28.66	54.73	28.82	53.37	28.97	52.05	29.11	50.76	29.24
Junction 4	173.59	24.74	169.30	24.94	165.11	25.12	161.02	25.3	157.04	25.47	153.15	25.63
Junction 5	57.54	26.32	56.12	26.51	54.73	26.7	53.37	26.88	52.05	27.04	50.76	27.2
Junction 6	185.30	22.41	180.71	22.74	176.24	23.06	171.88	23.36	167.62	23.65	163.47	23.92
Junction 7	173.59	24.36	169.30	24.69	165.11	25	161.02	25.3	157.04	25.58	153.15	25.85
Junction 8	88.75	22.29	86.55	22.63	84.41	22.95	82.32	23.26	80.28	23.55	78.29	23.83
Junction 9	-	23.12	0.00	23.36	0.00	23.59	0.00	23.81	0.00	24.03	0.00	24.23
Junction 10	-	22.34	0.00	22.55	0.00	22.74	0.00	22.93	0.00	23.11	0.00	23.29
Junction 11	29.26	19.27	28.53	19.58	27.83	19.87	27.14	20.15	26.47	20.42	25.81	20.67
Junction 12	29.26	17.63	28.53	17.95	27.83	18.24	27.14	18.53	26.47	18.8	25.81	19.06
Junction 13	-	21.54	0.00	21.82	0.00	22.08	0.00	22.33	0.00	22.56	0.00	22.79
Resvoir 1	-	607.37	-592.33	0	-577.67	0	-563.37	0	-549.43	0	-535.83	0
Resvoir 2	-	245.00	-238.94	0	-233.02	0	-227.26	0	-221.63	0	-216.15	0
	α^y =	0.975248753	α^y =	0.951111013	α^y =	0.927568969	α^y =	0.90461048	α^y =	0.882220243	α^y =	0.860384192

Πίνακας 4.11 Δεδομένα παροχής και πίεσης για μείωση πληθυσμού 1%

ΜΕΙΩΣΗ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ 1%

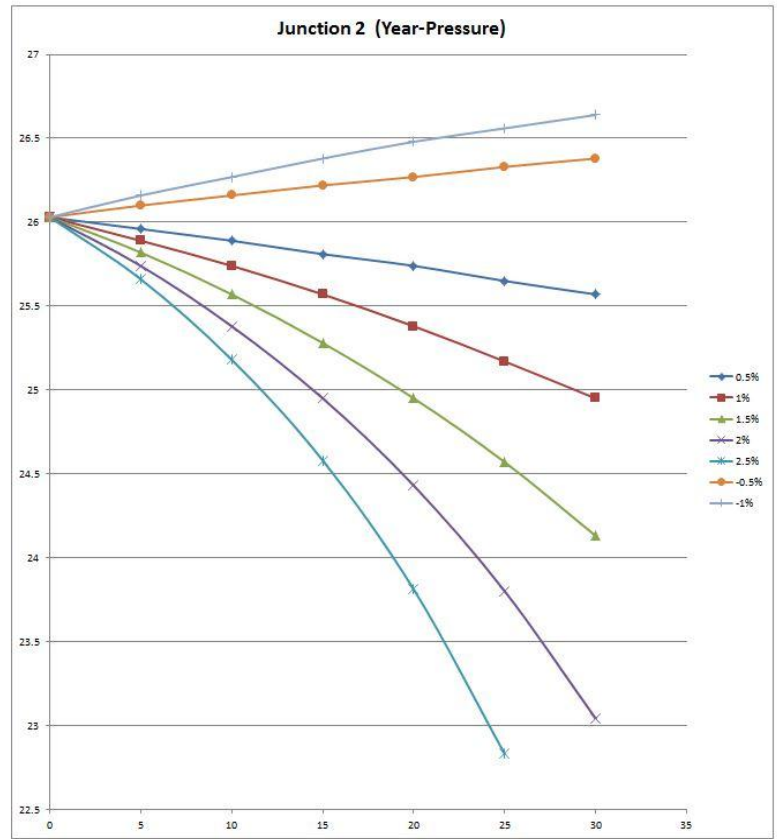
Node ID	5ο ΕΤΟΣ		10ο ΕΤΟΣ		15ο ΕΤΟΣ		20ο ΕΤΟΣ		25ο ΕΤΟΣ		30ο ΕΤΟΣ	
	Demand LPS	Pressure m	Demand LPS	Pressure m	Demand LPS	Pressure m	Demand LPS	Pressure m	Demand LPS	Pressure m	Demand LPS	Pressure m
Junction 1	-	32.62	0	32.7	0.00	32.78	0.00	32.85	0.00	32.91	0.00	32.97
Junction 2	56.11	26.16	53.36	26.27	50.74	26.38	48.26	26.48	45.89	26.56	43.64	26.64
Junction 3	56.11	28.66	53.36	28.97	50.74	29.24	48.26	29.5	45.89	29.72	43.64	29.93
Junction 4	169.28	24.94	160.98	25.3	153.09	25.64	145.59	25.94	138.45	26.21	131.67	26.46
Junction 5	56.11	26.51	53.36	26.88	50.74	27.21	48.26	27.5	45.89	27.78	43.64	28.02
Junction 6	180.69	22.74	171.83	23.37	163.41	23.93	155.40	24.44	147.79	24.9	140.54	25.33
Junction 7	169.28	24.69	160.98	25.3	153.09	25.85	145.59	26.36	138.45	26.81	131.67	27.23
Junction 8	86.54	22.63	82.30	23.26	78.27	23.83	74.43	24.35	70.78	24.83	67.31	25.25
Junction 9	-	23.36	0.00	23.82	0.00	24.23	0.00	24.6	0.00	24.94	0.00	25.25
Junction 10	-	22.55	0.00	22.94	0.00	23.29	0.00	23.61	0.00	23.9	0.00	24.17
Junction 11	28.53	19.58	27.13	20.15	25.80	20.67	24.54	21.15	23.33	21.58	22.19	21.97
Junction 12	28.53	17.95	27.13	18.53	25.80	19.06	24.54	19.54	23.33	19.98	22.19	20.38
Junction 13	-	21.82	0.00	22.33	0.00	22.79	0.00	23.21	0.00	23.6	0.00	23.94
Resvoir 1	-	592.26	-563.23	0	-535.63	0	-509.38	0	-484.41	0	-460.67	0
Resvoir 2	-	238.91	-227.20	0	-216.06	0	-205.47	0	-195.40	0	-185.83	0
	$\alpha^v=$	0.95099005	$\alpha^v=$	0.904382075	$\alpha^v=$	0.860058355	$\alpha^v=$	0.817906938	$\alpha^v=$	0.777821359	$\alpha^v=$	0.739700373

Junction 1				
Μεταβολή πληθυσμού (%)	Χρόνια (έτη)	Πίεση (m)	Διαφορές Πίεσης (m)	Ποσοστό Αλλαγής Πίεσης (%)
0.5	0	32.53	0.33	-1.01
	5	32.48		
	10	32.43		
	15	32.38		
	20	32.32		
	25	32.26		
	30	32.2		
1	0	32.53	0.77	-2.37
	5	32.43		
	10	32.32		
	15	32.2		
	20	32.06		
	25	31.92		
	30	31.76		
1.5	0	32.53	1.36	-4.18
	5	32.38		
	10	32.2		
	15	32		
	20	31.76		
	25	31.49		
	30	31.17		
2	0	32.53	2.14	-6.58
	5	32.32		
	10	32.07		
	15	31.76		
	20	31.39		
	25	30.94		
	30	30.39		
2.5	0	32.53	2.28	-7.01
	5	32.26		
	10	31.92		
	15	31.49		
	20	30.94		
	25	30.25		
	30	30.25		
-0.5	0	32.53	-0.25	0.77
	5	32.58		
	10	32.62		
	15	32.66		
	20	32.7		
	25	32.74		
	30	32.78		
-1	0	32.53	-0.44	1.35
	5	32.62		
	10	32.7		
	15	32.78		
	20	32.85		
	25	32.91		
	30	32.97		

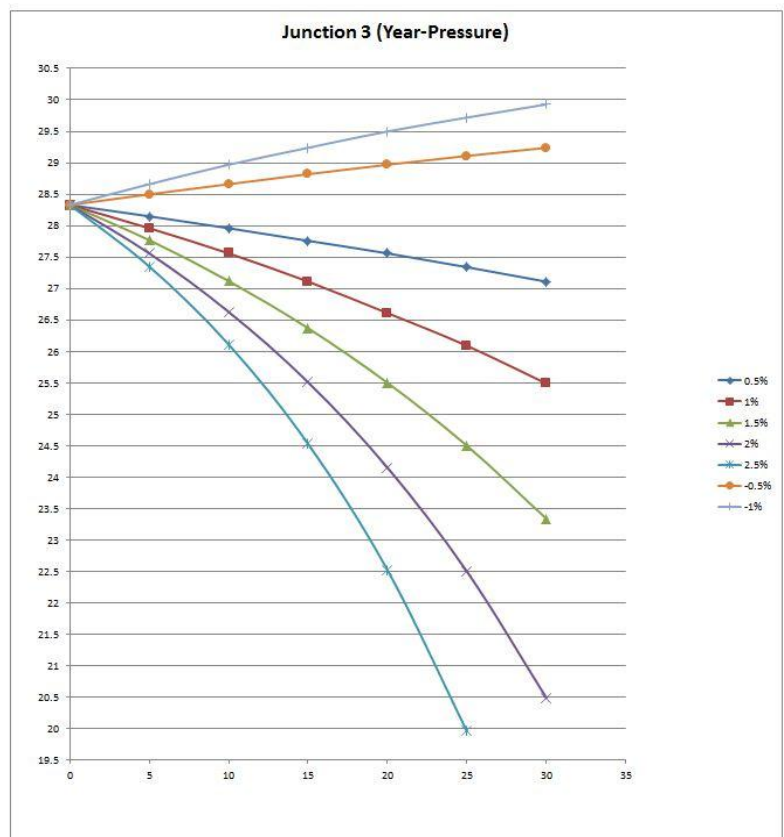


Σχήμα 4.5 Χρόνος-Πίεση με μεταβολή του πληθυσμού για κάθε κόμ

junction 2				
Μεταβολή πληθυσμού (%)	Χρόνια (έτη)	Πίεση (m)	Διαφορές Πίεσης (m)	Ποσοστό Αλλαγής Πίεσης (%)
0.5	0	26.03	0.46	-1.77
	5	25.96		
	10	25.89		
	15	25.81		
	20	25.74		
	25	25.65		
	30	25.57		
1	0	26.03	1.08	-4.15
	5	25.89		
	10	25.74		
	15	25.57		
	20	25.38		
	25	25.17		
	30	24.95		
1.5	0	26.03	1.9	-7.30
	5	25.82		
	10	25.57		
	15	25.28		
	20	24.95		
	25	24.57		
	30	24.13		
2	0	26.03	2.99	-11.49
	5	25.74		
	10	25.38		
	15	24.95		
	20	24.43		
	25	23.8		
	30	23.04		
2.5	0	26.03	3.2	-12.29
	5	25.66		
	10	25.18		
	15	24.58		
	20	23.81		
	25	22.83		
	30			
-0.5	0	26.03	-0.35	1.34
	5	26.1		
	10	26.16		
	15	26.22		
	20	26.27		
	25	26.33		
	30	26.38		
-1	0	26.03	-0.61	2.34
	5	26.16		
	10	26.27		
	15	26.38		
	20	26.48		
	25	26.56		
	30	26.64		

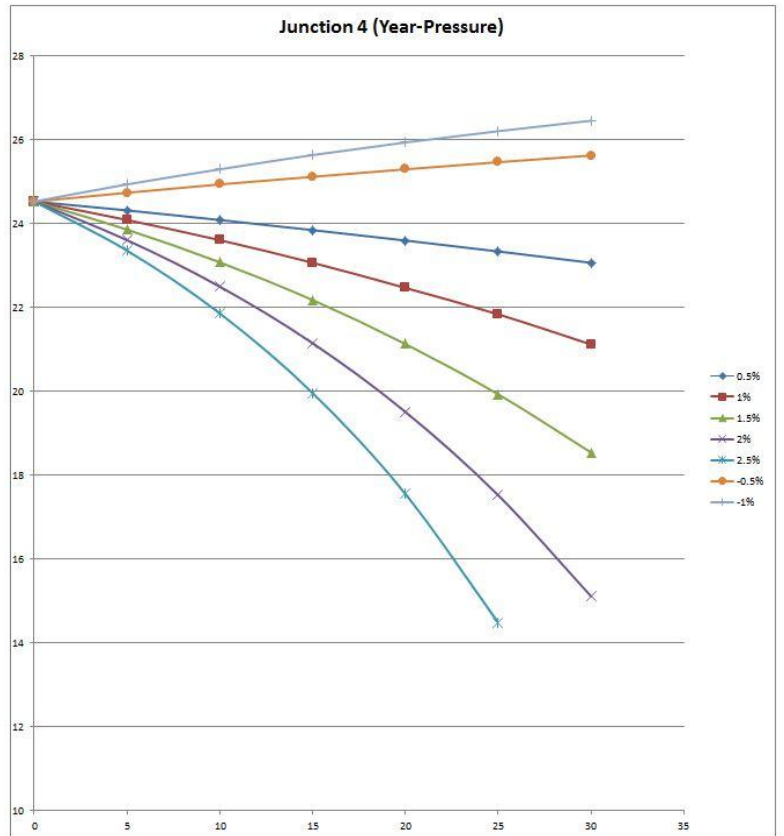


junction 3				
Μεταβολή πληθυσμού (%)	Χρόνια (έτη)	Πίεση (m)	Διαφορές Πίεσης (m)	Ποσοστό Αλλαγής Πίεσης (%)
0.5	0	28.33	1.22	-4.31
	5	28.15		
	10	27.96		
	15	27.76		
	20	27.56		
	25	27.34		
	30	27.11		
1	0	28.33	2.84	-10.02
	5	27.96		
	10	27.56		
	15	27.11		
	20	26.61		
	25	26.09		
	30	25.49		
1.5	0	28.33	4.99	-17.61
	5	27.77		
	10	27.12		
	15	26.37		
	20	25.5		
	25	24.5		
	30	23.34		
2	0	28.33	7.84	-27.67
	5	27.56		
	10	26.63		
	15	25.51		
	20	24.15		
	25	22.5		
	30	20.49		
2.5	0	28.33	8.37	-29.54
	5	27.35		
	10	26.11		
	15	24.53		
	20	22.52		
	25	19.96		
	30			
-0.5	0	28.33	-0.91	3.21
	5	28.5		
	10	28.66		
	15	28.82		
	20	28.97		
	25	29.11		
	30	29.24		
-1	0	28.33	-1.6	5.65
	5	28.66		
	10	28.97		
	15	29.24		
	20	29.5		
	25	29.72		
	30	29.93		

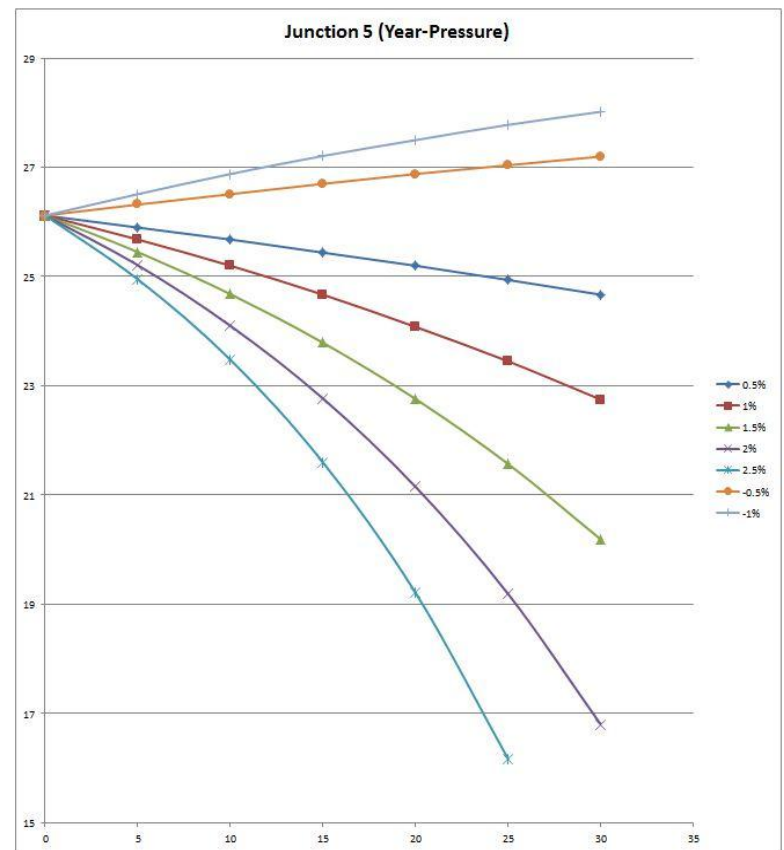


Σχήμα 4.5 (Συνέχεια)

junction 4				
Μεταβολή πληθυσμού (%)	Χρόνια (έτη)	Πίεση (m)	Διαφορές Πίεσης (m)	Ποσοστό Αλλαγής Πίεσης (%)
0.5	0	24.53	1.46	-5.95
	5	24.32		
	10	24.09		
	15	23.85		
	20	23.6		
	25	23.34		
1	0	24.53	3.41	-13.90
	5	24.09		
	10	23.61		
	15	23.07		
	20	22.47		
	25	21.84		
1.5	0	24.53	5.99	-24.42
	5	23.86		
	10	23.08		
	15	22.18		
	20	21.13		
	25	19.93		
2	0	24.53	9.42	-38.40
	5	23.61		
	10	22.5		
	15	21.15		
	20	19.51		
	25	17.52		
2.5	0	24.53	10.05	-40.97
	5	23.36		
	10	21.86		
	15	19.96		
	20	17.55		
	25	14.48		
-0.5	0	24.53	-1.1	4.48
	5	24.74		
	10	24.94		
	15	25.12		
	20	25.3		
	25	25.47		
-1	0	24.53	-1.93	7.87
	5	24.94		
	10	25.3		
	15	25.64		
	20	25.94		
	25	26.21		
	30	26.46		

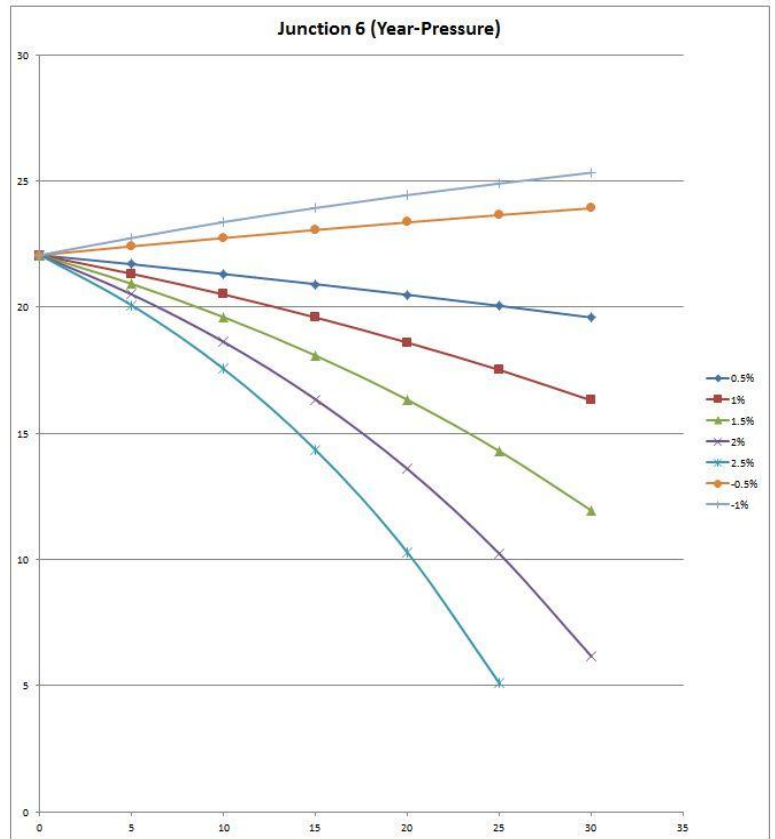


junction 5				
Μεταβολή πληθυσμού (%)	Χρόνια (έτη)	Πίεση (m)	Διαφορές Πίεσης (m)	Ποσοστό Αλλαγής Πίεσης (%)
0.5	0	26.12	1.45	-5.55
	5	25.9		
	10	25.68		
	15	25.44		
	20	25.2		
	25	24.94		
1	0	26.12	3.37	-12.90
	5	25.68		
	10	25.2		
	15	24.67		
	20	24.08		
	25	23.45		
1.5	0	26.12	5.93	-22.70
	5	25.45		
	10	24.68		
	15	23.79		
	20	22.76		
	25	21.57		
2	0	26.12	9.32	-35.68
	5	25.21		
	10	24.1		
	15	22.77		
	20	21.15		
	25	19.19		
2.5	0	26.12	9.95	-38.09
	5	24.95		
	10	23.48		
	15	21.6		
	20	19.21		
	25	16.17		
-0.5	0	26.12	-1.08	4.13
	5	26.32		
	10	26.51		
	15	26.7		
	20	26.88		
	25	27.04		
-1	0	26.12	-1.9	7.27
	5	26.51		
	10	26.88		
	15	27.21		
	20	27.5		
	25	27.78		
	30	28.02		

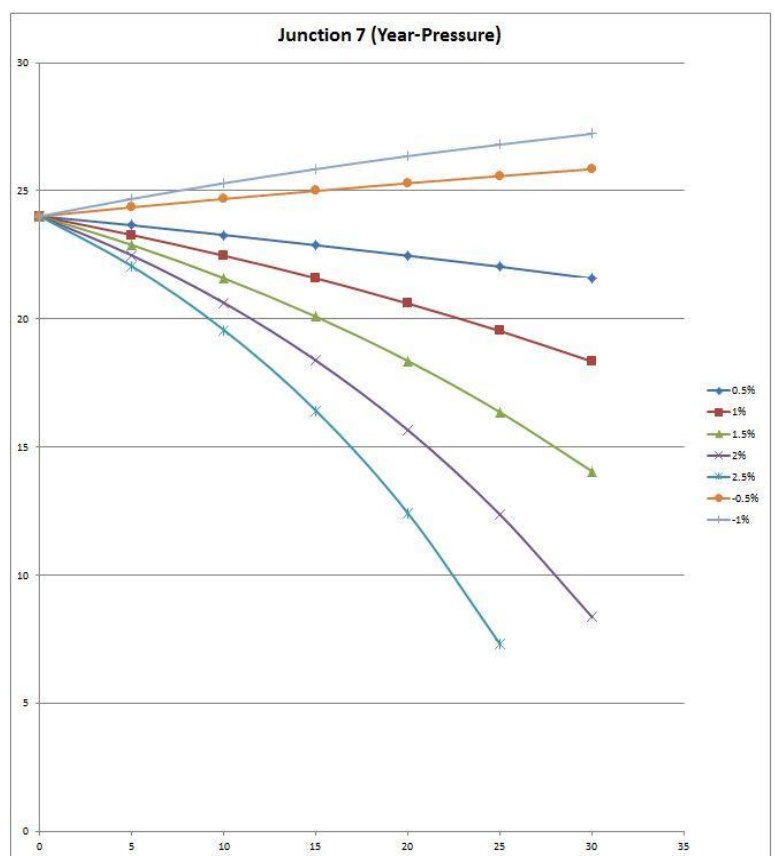


Σχήμα 4.5 (Συνέχεια)

junction 6				
Μεταβολή πληθυσμού (%)	Χρόνια (έτη)	Πίεση (m)	Διαφορές Πίεσης (m)	Ποσοστό Αλλαγής Πίεσης (%)
0.5	0	22.06	2.47	-11.20
	5	21.7		
	10	21.31		
	15	20.91		
	20	20.49		
	25	20.05		
30	19.59			
1	0	22.06	5.76	-26.11
	5	21.32		
	10	20.5		
	15	19.59		
	20	18.59		
	25	17.51		
30	16.3			
1.5	0	22.06	10.12	-45.87
	5	20.92		
	10	19.6		
	15	18.08		
	20	16.32		
	25	14.29		
30	11.94			
2	0	22.06	15.9	-72.08
	5	20.5		
	10	18.62		
	15	16.34		
	20	13.58		
	25	10.22		
30	6.16			
2.5	0	22.06	16.97	-76.93
	5	20.07		
	10	17.55		
	15	14.34		
	20	10.27		
	25	5.09		
30				
-0.5	0	22.06	-1.86	8.43
	5	22.41		
	10	22.74		
	15	23.06		
	20	23.36		
	25	23.65		
30	23.92			
-1	0	22.06	-3.27	14.82
	5	22.74		
	10	23.37		
	15	23.93		
	20	24.44		
	25	24.9		
30	25.33			

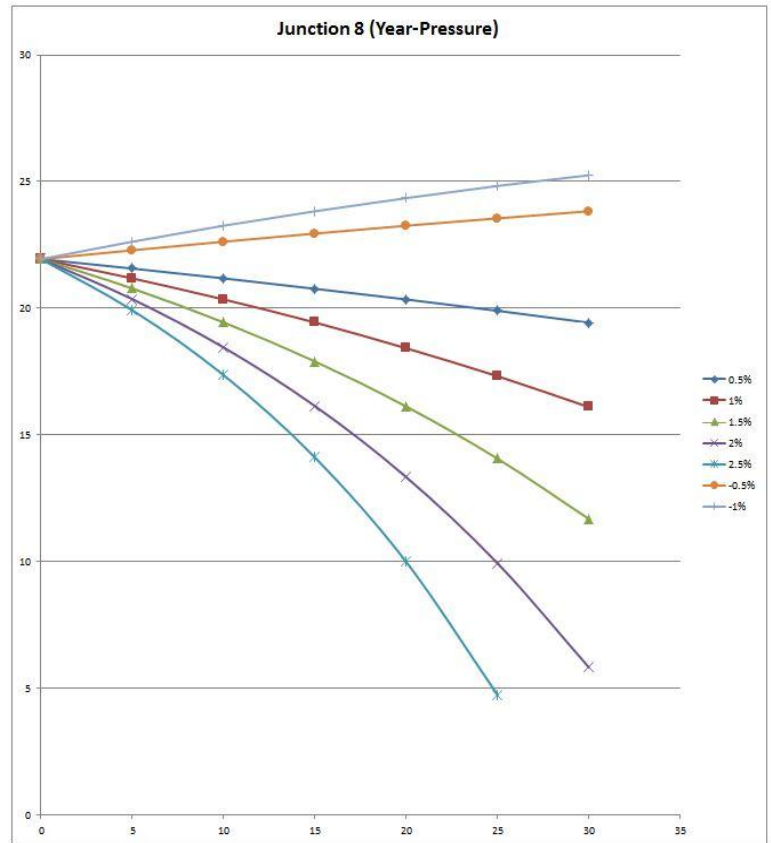


junction 7				
Μεταβολή πληθυσμού (%)	Χρόνια (έτη)	Πίεση (m)	Διαφορές Πίεσης (m)	Ποσοστό Αλλαγής Πίεσης (%)
0.5	0	24.01	2.43	-10.12
	5	23.66		
	10	23.28		
	15	22.88		
	20	22.47		
	25	22.04		
30	21.58			
1	0	24.01	5.67	-23.62
	5	23.28		
	10	22.47		
	15	21.59		
	20	20.6		
	25	19.53		
30	18.34			
1.5	0	24.01	9.96	-41.48
	5	22.89		
	10	21.59		
	15	20.09		
	20	18.36		
	25	16.36		
30	14.05			
2	0	24.01	15.65	-65.18
	5	22.48		
	10	20.63		
	15	18.38		
	20	15.66		
	25	12.36		
30	8.36			
2.5	0	24.01	16.71	-69.60
	5	22.06		
	10	19.57		
	15	16.42		
	20	12.41		
	25	7.3		
30				
-0.5	0	24.01	-1.84	7.66
	5	24.36		
	10	24.69		
	15	25		
	20	25.3		
	25	25.58		
30	25.85			
-1	0	24.01	-3.22	13.41
	5	24.69		
	10	25.3		
	15	25.85		
	20	26.36		
	25	26.81		
30	27.23			

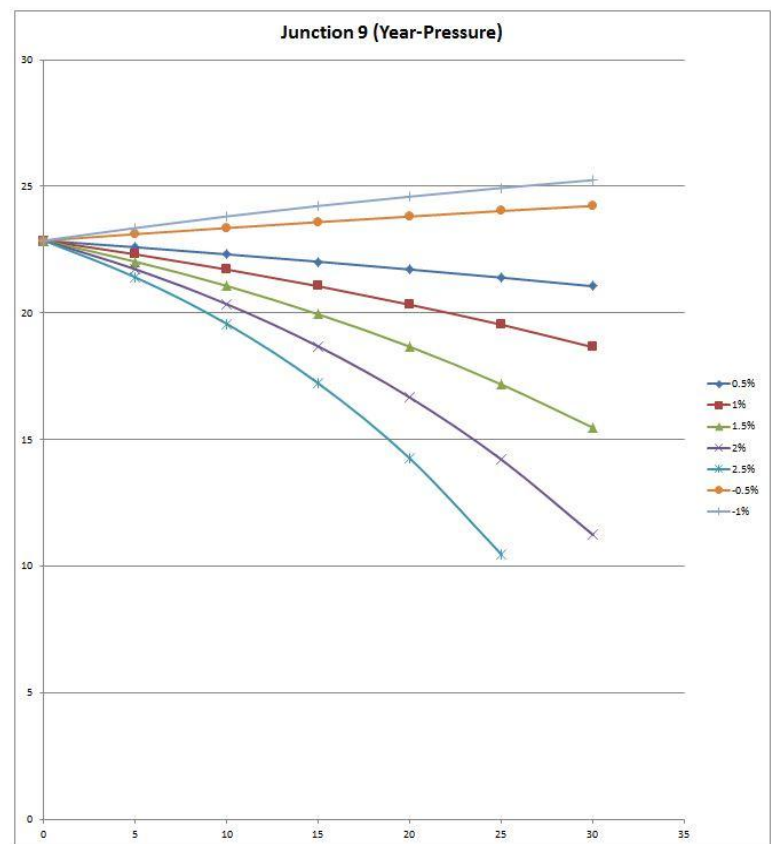


Σχήμα 4.5 (Συνέχεια)

junction 8				
Μεταβολή πληθυσμού (%)	Χρόνια (έτη)	Πίεση (m)	Διαφορές Πίεσης (m)	Ποσοστό Αλλαγής Πίεσης (%)
0.5	0	21.94	2.51	-11.44
	5	21.57		
	10	21.18		
	15	20.77		
	20	20.35		
	25	19.9		
1	0	21.94	5.84	-26.62
	5	21.18		
	10	20.35		
	15	19.44		
	20	18.42		
	25	17.32		
1.5	0	21.94	10.26	-46.76
	5	20.78		
	10	19.44		
	15	17.9		
	20	16.12		
	25	14.06		
2	0	21.94	16.12	-73.47
	5	20.36		
	10	18.45		
	15	16.14		
	20	13.33		
	25	9.93		
2.5	0	21.94	17.21	-78.44
	5	19.92		
	10	17.36		
	15	14.11		
	20	9.98		
	25	4.73		
-0.5	0	21.94	-1.89	8.61
	5	22.29		
	10	22.63		
	15	22.95		
	20	23.26		
	25	23.55		
-1	0	21.94	-3.31	15.09
	5	22.63		
	10	23.26		
	15	23.83		
	20	24.35		
	25	24.83		
30	25.25			

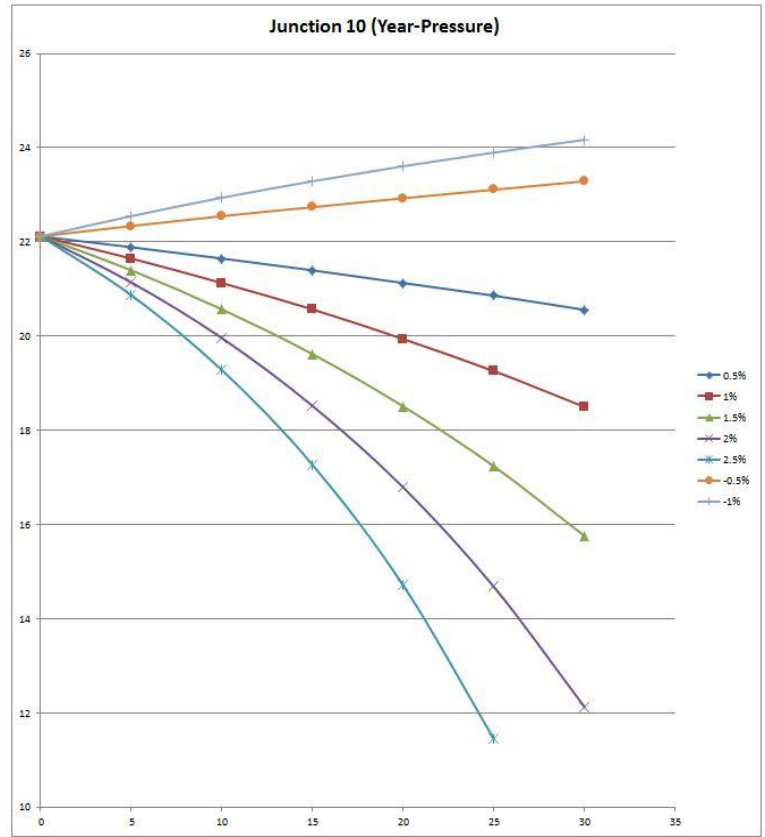


junction 9				
Μεταβολή πληθυσμού (%)	Χρόνια (έτη)	Πίεση (m)	Διαφορές Πίεσης (m)	Ποσοστό Αλλαγής Πίεσης (%)
0.5	0	22.86	1.8	-7.87
	5	22.6		
	10	22.32		
	15	22.03		
	20	21.72		
	25	21.4		
1	0	22.86	4.21	-18.42
	5	22.32		
	10	21.72		
	15	21.06		
	20	20.33		
	25	19.54		
1.5	0	22.86	7.39	-32.33
	5	22.03		
	10	21.07		
	15	19.95		
	20	18.67		
	25	17.18		
2	0	22.86	11.62	-50.83
	5	21.73		
	10	20.35		
	15	18.68		
	20	16.66		
	25	14.21		
2.5	0	22.86	22.86	-100.00
	5	21.41		
	10	19.57		
	15	17.22		
	20	14.25		
	25	10.46		
-0.5	0	22.86	-1.37	5.99
	5	23.12		
	10	23.36		
	15	23.59		
	20	23.81		
	25	24.03		
-1	0	22.86	-2.39	10.45
	5	23.36		
	10	23.82		
	15	24.23		
	20	24.6		
	25	24.94		
30	25.25			

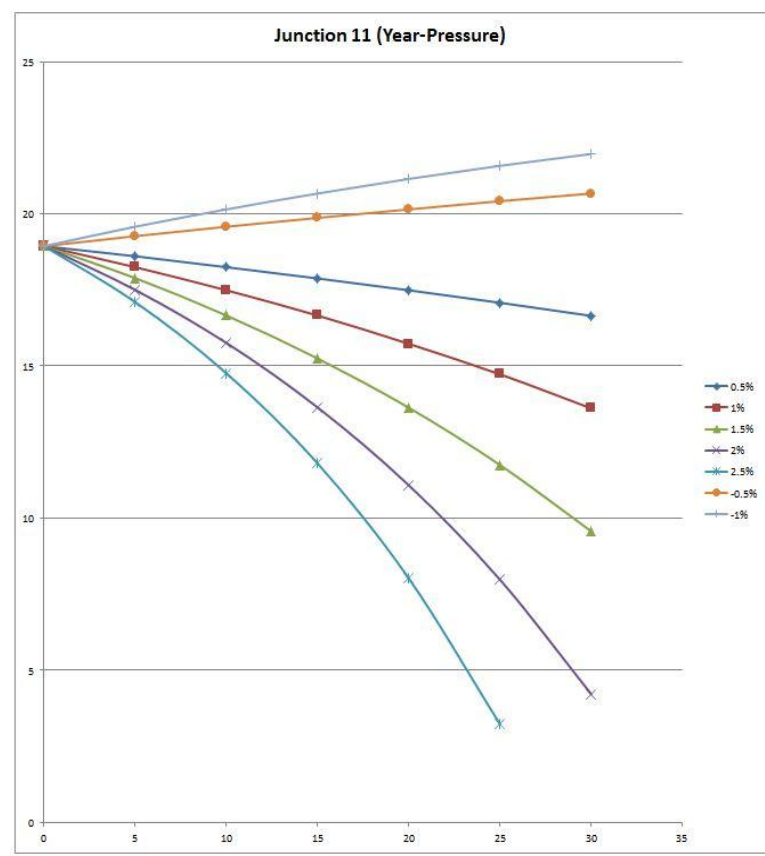


Σχήμα 4.5 (Συνέχεια)

junction 10				
Μεταβολή πληθυσμού (%)	Χρόνια (έτη)	Πίεση (m)	Διαφορές Πίεσης (m)	Ποσοστό Αλλαγής Πίεσης (%)
0.5	0	22.12	1.56	-7.05
	5	21.89		
	10	21.65		
	15	21.4		
	20	21.13		
	30	20.56		
1	0	22.12	3.62	-16.37
	5	21.65		
	10	21.13		
	15	20.57		
	20	19.94		
	30	18.5		
1.5	0	22.12	6.36	-28.75
	5	21.4		
	10	20.57		
	15	19.62		
	20	18.51		
	30	15.76		
2	0	22.12	9.99	-45.16
	5	21.14		
	10	19.96		
	15	18.52		
	20	16.79		
	30	12.13		
2.5	0	22.12	10.67	-48.24
	5	20.87		
	10	19.28		
	15	17.27		
	20	14.71		
	30	11.45		
-0.5	0	22.12	-1.17	5.29
	5	22.34		
	10	22.55		
	15	22.74		
	20	22.93		
	30	23.29		
-1	0	22.12	-2.05	9.27
	5	22.55		
	10	22.94		
	15	23.29		
	20	23.61		
	30	24.17		

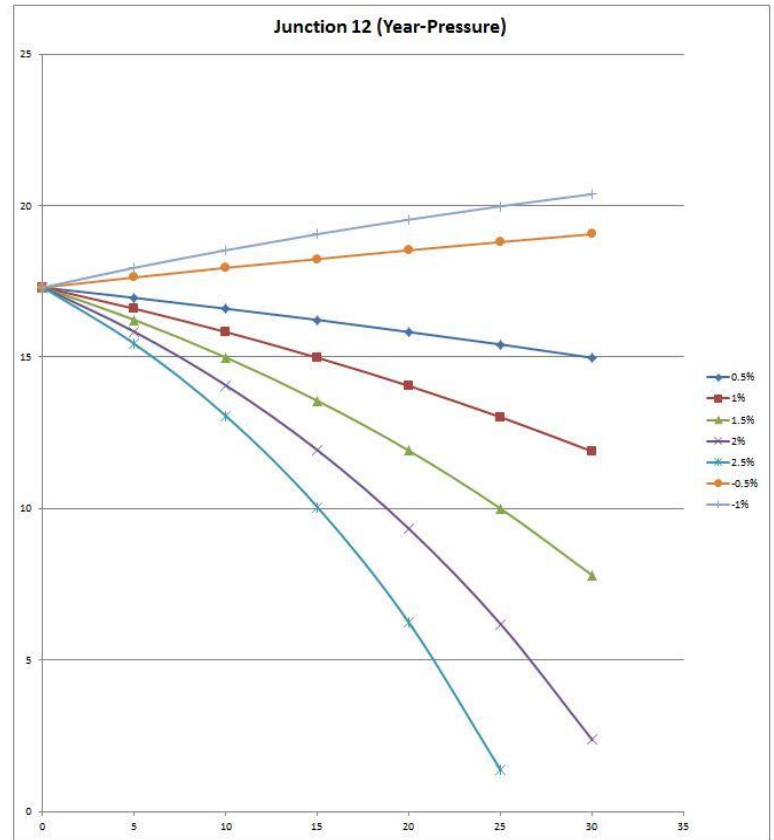


junction 11				
Μεταβολή πληθυσμού (%)	Χρόνια (έτη)	Πίεση (m)	Διαφορές Πίεσης (m)	Ποσοστό Αλλαγής Πίεσης (%)
0.5	0	18.94	2.29	-12.09
	5	18.61		
	10	18.25		
	15	17.88		
	20	17.49		
	30	16.65		
1	0	18.94	5.33	-28.14
	5	18.25		
	10	17.49		
	15	16.66		
	20	15.73		
	30	13.61		
1.5	0	18.94	9.37	-49.47
	5	17.89		
	10	16.66		
	15	15.25		
	20	13.63		
	30	9.57		
2	0	18.94	14.72	-77.72
	5	17.5		
	10	15.76		
	15	13.64		
	20	11.08		
	30	4.22		
2.5	0	18.94	15.71	-82.95
	5	17.1		
	10	14.76		
	15	11.8		
	20	8.02		
	30	3.23		
-0.5	0	18.94	-1.73	9.13
	5	19.27		
	10	19.58		
	15	19.87		
	20	20.15		
	30	20.67		
-1	0	18.94	-3.03	16.00
	5	19.58		
	10	20.15		
	15	20.67		
	20	21.15		
	30	21.97		

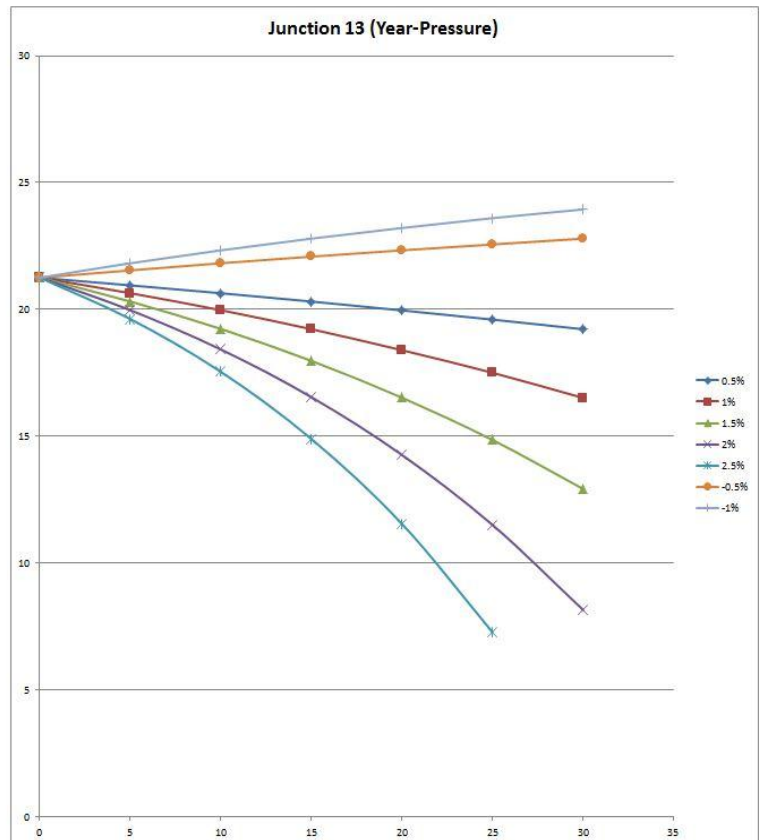


Σχήμα 4.5 (Συνέχεια)

junction 12				
Μεταβολή πληθυσμού (%)	Χρόνια (έτη)	Πίεση (m)	Διαφορές Πίεσης (m)	Ποσοστό Αλλαγής Πίεσης (%)
0.5	0	17.3	2.32	-13.41
	5	16.96		
	10	16.6		
	15	16.23		
	20	15.83		
	25	15.42		
1	0	17.3	5.41	-31.27
	5	16.6		
	10	15.83		
	15	14.98		
	20	14.05		
	25	13.02		
1.5	0	17.3	9.5	-54.91
	5	16.23		
	10	14.99		
	15	13.56		
	20	11.91		
	25	10		
2	0	17.3	14.93	-86.30
	5	15.84		
	10	14.07		
	15	11.93		
	20	9.33		
	25	6.19		
2.5	0	17.3	15.93	-92.08
	5	15.44		
	10	13.06		
	15	10.05		
	20	6.23		
	25	1.37		
-0.5	0	17.3	-1.76	10.17
	5	17.63		
	10	17.95		
	15	18.24		
	20	18.53		
	25	18.8		
-1	0	17.3	-3.08	17.80
	5	17.95		
	10	18.53		
	15	19.06		
	20	19.54		
	25	19.98		
30	20.38			



junction 13				
Μεταβολή πληθυσμού (%)	Χρόνια (έτη)	Πίεση (m)	Διαφορές Πίεσης (m)	Ποσοστό Αλλαγής Πίεσης (%)
0.5	0	21.25	2.03	-9.55
	5	20.95		
	10	20.64		
	15	20.31		
	20	19.96		
	25	19.6		
1	0	21.25	4.74	-22.31
	5	20.64		
	10	19.97		
	15	19.22		
	20	18.39		
	25	17.5		
1.5	0	21.25	8.33	-39.20
	5	20.31		
	10	19.23		
	15	17.97		
	20	16.52		
	25	14.85		
2	0	21.25	13.1	-61.65
	5	19.97		
	10	18.42		
	15	16.54		
	20	14.26		
	25	11.5		
2.5	0	21.25	13.98	-65.79
	5	19.62		
	10	17.54		
	15	14.89		
	20	11.54		
	25	7.27		
-0.5	0	21.25	-1.54	7.25
	5	21.54		
	10	21.82		
	15	22.08		
	20	22.33		
	25	22.56		
-1	0	21.25	-2.69	12.66
	5	21.82		
	10	22.33		
	15	22.79		
	20	23.21		
	25	23.6		
30	23.94			



Σχήμα 4.5 (Συνέχεια)

Με την επίλυση όλων των ενδεχομένων προκύπτει ότι το δίκτυο λειτουργεί για όλες τις περιπτώσεις εκτός από την πάροδο των 30 χρόνων με αύξηση του πληθυσμού κατά 2.5% (έχει σημειωθεί με κίτρινο χρώμα στους πίνακες). Για αυτό το λόγο στα διαγράμματα η περίπτωση αύξησης του πληθυσμού κατά 2.5% σταματάει στα 25 χρόνια.

Είναι προφανές ότι η αύξηση του πληθυσμού ακολουθείται από περισσότερη ζήτηση νερού. Έτσι η παροχή στους κόμβους αυξάνεται και με την σειρά της η πίεση μειώνεται. Όσο μεγαλύτερη είναι η αύξηση του πληθυσμού τόσο πιο ραγδαία αποτελέσματα έχει στην παροχή και στην πίεση. Αυτό φαίνεται ακόμη πιο ξεκάθαρα όταν συγκρίνεται ένας κόμβος σε μία συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Σε όλα τα διαγράμματα η αύξηση του πληθυσμού σε κάθε χρονική στιγμή συνοδεύεται από μείωση της τιμής της πίεσης.

Από την άλλη πλευρά η μείωση του πληθυσμού ακολουθείται από μειωμένη ζήτηση νερού. Έτσι η παροχή στους κόμβους μειώνεται και η πίεση αυξάνεται. Όσο μεγαλύτερη μείωση υφίσταται ο πληθυσμός κατά απόλυτη τιμή τόσο λιγότερη παροχή απαιτείται στους κόμβους του δικτύου το οποίο ισοδυναμεί με αύξηση της τιμής της πίεσης. Αυτό φαίνεται ακόμη πιο ξεκάθαρα όταν συγκρίνεται ένας κόμβος σε μία συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Σε όλα τα διαγράμματα η μείωση του πληθυσμού σε κάθε χρονική στιγμή συνοδεύεται από αύξηση της τιμής της πίεσης.

4.3.4 Μεταβολή της παροχής στους κόμβους με τις αυξομειώσεις του πληθυσμού και της τραχύτητας με την πάροδο του χρόνου

Το συγκεκριμένο σενάριο αποτελεί ταυτόχρονο συνδυασμό των δύο προηγούμενων σεναρίων. Εδώ εξετάζονται τα 7 σενάρια μεταβολής πληθυσμού (0.5% , 1% , 1.5% , 2% , 2.5% , -0.5% και -1%) ταυτόχρονα με την αλλαγή της τραχύτητας που ακολουθεί την εξίσωση ευθείας $y = 0.018x + 0.06$ όπου x ο χρόνος σε έτη και y η τιμή της τραχύτητας σε mm σε βάθος 30 χρόνων. Η παροχή παραμένει στις ίδιες τιμές με το προηγούμενο σενάριο αλλά η ταυτόχρονη μεταβολή της τραχύτητας φέρει και διαφορετικές τιμές στην πίεση. Έτσι στο επόμενο βήμα τοποθετείται στο EPANET οι παροχές στους κόμβους και οι τραχύτητες των αγωγών για κάθε χρονική περίοδο και υπολογίζονται οι νέες πιέσεις τα αποτελέσματα των οποίων εμφανίζονται με τη μορφή πίνακα. Έπειτα δημιουργούνται τα διαγράμματα χρόνου πίεσης για κάθε κόμβο και για τις 7 μεταβολές του πληθυσμού οι οποίες συνδυάζονται με τις τιμές τραχύτητας με βάση το πέρας της χρονικής περιόδου από την αρχική συνθήκη.

Πίνακας 4.12 Δεδομένα παροχής και πίεσης για μεταβολή τραχύτητας και αύξηση πληθυσμού 0.5%

ΑΥΞΗΣΗ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ 0.5%

Node ID	5ο ΕΤΟΣ (k=0,15)		10ο ΕΤΟΣ (k=0,24)		15ο ΕΤΟΣ (k=0,33)		20ο ΕΤΟΣ (k=0,42)		25ο ΕΤΟΣ (k=0,51)		30ο ΕΤΟΣ (k=0,60)		
	Demand LPS	Pressure m	Demand LPS	Pressure m	Demand LPS	Pressure m	Demand LPS	Pressure m	Demand LPS	Pressure m	Demand LPS	Pressure m	
Junction 1	-	32.35	0	32.19	0.00	32.03	0.00	31.88	0.00	31.72	0.00	31.56	
Junction 2	60.49	25.78	62.02	25.55	63.58	25.34	65.19	25.12	66.83	24.9	68.52	24.68	
Junction 3	60.49	27.66	62.02	27.06	63.58	26.49	65.19	25.91	66.83	25.33	68.52	24.73	
Junction 4	182.49	23.73	187.10	23.02	191.83	22.33	196.67	21.64	201.64	20.94	206.73	20.22	
Junction 5	60.49	25.31	62.02	24.59	63.58	23.9	65.19	23.22	66.83	22.52	68.52	21.8	
Junction 6	194.80	20.7	199.72	19.47	204.76	18.28	209.93	17.09	215.23	15.89	220.67	14.64	
Junction 7	182.49	22.66	187.10	21.45	191.83	20.27	196.67	19.1	201.64	17.91	206.73	16.68	
Junction 8	93.30	20.57	95.65	19.33	98.07	18.13	100.55	16.93	103.08	15.71	105.69	14.45	
Junction 9	-	21.87	0.00	20.97	0.00	20.11	0.00	19.24	0.00	18.36	0.00	17.46	
Junction 10	-	21.25	0.00	20.48	0.00	19.73	0.00	18.98	0.00	18.22	0.00	17.44	
Junction 11	30.76	17.66	31.53	16.51	32.33	15.39	33.15	14.27	33.98	13.14	34.84	11.96	
Junction 12	30.76	16.02	31.53	14.86	32.33	13.73	33.15	12.6	33.98	11.45	34.84	10.27	
Junction 13	-	20.13	0.00	19.13	0.00	18.15	0.00	17.18	0.00	16.2	0.00	15.18	
Resvoir 1	-	638.51	0	-654.63	0	-671.16	0	-688.11	0	-705.48	0	-723.30	0
Resvoir 2	-	257.56	0	-264.07	0	-270.74	0	-277.57	0	-284.58	0	-291.77	0
	α ⁴ =	1.025251253	α ⁴ =	1.05114013	α ⁴ =	1.077682738	α ⁴ =	1.104895577	α ⁴ =	1.132795575	α ⁴ =	1.161400083	

Πίνακας 4.13 Δεδομένα παροχής και πίεσης για μεταβολή τραχύτητας και αύξηση πληθυσμού 1%

ΑΥΞΗΣΗ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ 1%

Node ID	5ο ΕΤΟΣ (k=0,15)		10ο ΕΤΟΣ (k=0,24)		15ο ΕΤΟΣ (k=0,33)		20ο ΕΤΟΣ (k=0,42)		25ο ΕΤΟΣ (k=0,51)		30ο ΕΤΟΣ (k=0,60)		
	Demand LPS	Pressure m	Demand LPS	Pressure m	Demand LPS	Pressure m	Demand LPS	Pressure m	Demand LPS	Pressure m	Demand LPS	Pressure m	
Junction 1	-	32.29	0	32.05	0.00	31.8	0.00	31.52	0.00	31.22	0.00	30.89	
Junction 2	62.01	25.69	65.17	25.36	68.50	25	71.99	24.62	75.66	24.2	79.52	23.73	
Junction 3	62.01	27.44	65.17	26.55	68.50	25.61	71.99	24.59	75.66	23.47	79.52	22.24	
Junction 4	187.08	23.47	196.62	22.41	206.65	21.28	217.19	20.06	228.27	18.71	239.92	17.23	
Junction 5	62.01	25.05	65.17	23.99	68.50	22.86	71.99	21.64	75.66	20.3	79.52	18.82	
Junction 6	199.69	20.26	209.88	18.44	220.58	16.5	231.84	14.4	243.66	12.08	256.09	9.52	
Junction 7	187.08	22.23	196.62	20.43	206.65	18.52	217.19	16.44	228.27	14.16	239.92	11.63	
Junction 8	95.64	20.12	100.52	18.29	105.65	16.33	111.04	14.2	116.70	11.86	122.65	9.27	
Junction 9	-	21.55	0.00	20.22	0.00	18.81	0.00	17.27	0.00	15.59	0.00	13.72	
Junction 10	-	20.98	0.00	19.83	0.00	18.61	0.00	17.28	0.00	15.83	0.00	14.22	
Junction 11	31.53	17.26	33.14	15.55	34.83	13.73	36.61	11.76	38.47	9.59	40.44	7.18	
Junction 12	31.53	15.61	33.14	13.88	34.83	12.05	36.61	10.05	38.47	7.86	40.44	5.43	
Junction 13	-	19.77	0.00	18.28	0.00	16.69	0.00	14.97	0.00	13.07	0.00	10.98	
Resvoir 1	-	654.55	0	-687.94	0	-723.03	0	-759.91	0	-798.67	0	-839.41	0
Resvoir 2	-	264.03	0	-277.50	0	-291.66	0	-306.54	0	-322.17	0	-338.61	0
	α ⁴ =	1.05101005	α ⁴ =	1.10462213	α ⁴ =	1.160968955	α ⁴ =	1.22019004	α ⁴ =	1.282431995	α ⁴ =	1.347848915	

Πίνακας 4.14 Δεδομένα παροχής και πίεσης για μεταβολή τραχύτητας και αύξηση πληθυσμού 1.5%

ΑΥΞΗΣΗ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ 1.5%

Node ID	5ο ΕΤΟΣ (k=0,15)		10ο ΕΤΟΣ (k=0,24)		15ο ΕΤΟΣ (k=0,33)		20ο ΕΤΟΣ (k=0,42)		25ο ΕΤΟΣ (k=0,51)		30ο ΕΤΟΣ (k=0,60)	
	Demand LPS	Pressure m	Demand LPS	Pressure m	Demand LPS	Pressure m	Demand LPS	Pressure m	Demand LPS	Pressure m	Demand LPS	Pressure m
Junction 1	-	32.23	0	31.9	0.00	31.52	0.00	31.09	0.00	30.58	0.00	
Junction 2	63.56	25.61	68.47	25.15	73.76	24.62	79.46	24.01	85.61	23.3	92.22	
Junction 3	63.56	27.22	68.47	26	73.76	24.61	79.46	22.99	85.61	21.1	92.22	
Junction 4	191.76	23.2	206.58	21.75	222.54	20.08	239.74	18.14	258.27	15.87	278.23	
Junction 5	63.56	24.78	68.47	23.33	73.76	21.67	79.46	19.74	85.61	17.48	92.22	
Junction 6	204.68	19.8	220.50	17.31	237.54	14.45	255.90	11.13	275.68	7.24	296.99	
Junction 7	191.76	21.78	206.58	19.32	222.54	16.5	239.74	13.22	258.27	9.38	278.23	
Junction 8	98.03	19.66	105.61	17.14	113.77	14.25	122.56	10.89	132.04	6.96	142.24	
Junction 9	-	21.21	0.00	19.39	0.00	17.31	0.00	14.89	0.00	12.05	0.00	
Junction 10	-	20.69	0.00	19.11	0.00	17.32	0.00	15.22	0.00	12.78	0.00	
Junction 11	32.32	16.83	34.82	14.5	37.51	11.82	40.41	8.71	43.53	5.06	46.89	
Junction 12	32.32	15.18	34.82	12.82	37.51	10.11	40.41	6.97	43.53	3.29	46.89	
Junction 13	-	19.4	0.00	17.35	0.00	15.01	0.00	12.28	0.00	9.1	0.00	
Resvoir 1	-	670.91	-722.76	0	-778.62	0	-838.79	0	-903.62	0	-973.46	
Resvoir 2	-	270.64	-291.55	0	-314.08	0	-338.36	0	-364.51	0	-392.68	
	$\alpha^v =$	1.077284004	$\alpha^v =$	1.16054083	$\alpha^v =$	1.250232067	$\alpha^v =$	1.346855007	$\alpha^v =$	1.450945354	$\alpha^v =$	1.56308022

Πίνακας 4.15 Δεδομένα παροχής και πίεσης για μεταβολή τραχύτητας και αύξηση πληθυσμού 2%

ΑΥΞΗΣΗ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ 2%

Node ID	5ο ΕΤΟΣ (k=0,15)		10ο ΕΤΟΣ (k=0,24)		15ο ΕΤΟΣ (k=0,33)		20ο ΕΤΟΣ (k=0,42)		25ο ΕΤΟΣ (k=0,51)		30ο ΕΤΟΣ (k=0,60)	
	Demand LPS	Pressure m	Demand LPS	Pressure m	Demand LPS	Pressure m	Demand LPS	Pressure m	Demand LPS	Pressure m	Demand LPS	Pressure m
Junction 1	-	32.17	0	31.73	0.00	31.21	0.00	30.56	0.00	30.56	0.00	
Junction 2	65.14	25.52	71.92	24.92	79.41	24.18	87.67	23.28	96.80	23.28	106.87	
Junction 3	65.14	26.98	71.92	25.39	79.41	23.45	87.67	21.06	96.80	21.06	106.87	
Junction 4	196.53	22.92	216.98	21.01	239.56	18.69	264.50	15.81	292.03	15.81	322.42	
Junction 5	65.14	24.51	71.92	22.6	79.41	20.28	87.67	17.43	96.80	17.43	106.87	
Junction 6	209.78	19.32	231.61	16.07	255.71	12.09	282.33	7.17	311.72	7.17	344.16	
Junction 7	196.53	21.31	216.98	18.1	239.56	14.17	264.50	9.32	292.03	9.32	322.42	
Junction 8	100.47	19.18	110.93	15.89	122.47	11.86	135.22	6.89	149.30	6.89	164.83	
Junction 9	-	20.87	0.00	18.49	0.00	15.58	0.00	12	0.00	12	0.00	
Junction 10	-	20.39	0.00	18.34	0.00	15.83	0.00	12.74	0.00	12.74	0.00	
Junction 11	33.12	16.39	36.57	13.35	40.38	9.62	44.58	5.02	49.22	5.02	54.34	
Junction 12	33.12	14.73	36.57	11.65	40.38	7.89	44.58	3.24	49.22	3.24	54.34	
Junction 13	-	19	0.00	16.33	0.00	13.06	0.00	9.03	0.00	9.03	0.00	
Resvoir 1	-	687.60	-759.17	0	-838.18	0	-925.42	0	-1021.74	0	-1128.08	
Resvoir 2	-	277.37	-306.24	0	-338.11	0	-373.30	0	-412.15	0	-455.05	
	$\alpha^v =$	1.104080803	$\alpha^v =$	1.21899442	$\alpha^v =$	1.345868338	$\alpha^v =$	1.485947396	$\alpha^v =$	1.640605994	$\alpha^v =$	1.811361584

Πίνακας 4.16 Δεδομένα παροχής και πίεσης για μεταβολή τραχύτητας και αύξηση πληθυσμού 2.5%

ΑΥΞΗΣΗ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ 2.5%

Node ID	5ο ΕΤΟΣ (k=0,15)		10ο ΕΤΟΣ (k=0,24)		15ο ΕΤΟΣ (k=0,33)		20ο ΕΤΟΣ (k=0,42)		25ο ΕΤΟΣ (k=0,51)		30ο ΕΤΟΣ (k=0,60)	
	Demand LPS	Pressure m	Demand LPS	Pressure m	Demand LPS	Pressure m	Demand LPS	Pressure m	Demand LPS	Pressure m	Demand LPS	Pressure m
Junction 1	-	32.1	0	31.55	0.00	30.85	0.00	30.85	0.00	30.85	0.00	30.85
Junction 2	66.75	25.43	75.52	24.66	85.45	23.67	96.68	23.67	109.38	23.67	123.76	23.67
Junction 3	66.75	26.74	75.52	24.72	85.45	22.12	96.68	22.12	109.38	22.12	123.76	22.12
Junction 4	201.39	22.63	227.86	20.21	257.80	17.08	291.67	17.08	330.00	17.08	373.37	17.08
Junction 5	66.75	24.21	75.52	21.81	85.45	18.69	96.68	18.69	109.38	18.69	123.76	18.69
Junction 6	214.97	18.83	243.22	14.71	275.18	9.37	311.34	9.37	352.25	9.37	398.54	9.37
Junction 7	201.39	20.82	227.86	16.76	257.80	11.48	291.67	11.48	330.00	11.48	373.37	11.48
Junction 8	102.96	18.67	116.49	14.51	131.80	9.11	149.11	9.11	168.71	9.11	190.88	9.11
Junction 9	-	20.5	0.00	17.5	0.00	13.6	0.00	13.6	0.00	13.6	0.00	13.6
Junction 10	-	20.07	0.00	17.48	0.00	14.12	0.00	14.12	0.00	14.12	0.00	14.12
Junction 11	33.94	15.93	38.40	12.08	43.45	7.09	49.16	7.09	55.62	7.09	62.93	7.09
Junction 12	33.94	14.26	38.40	10.37	43.45	5.32	49.16	5.32	55.62	5.32	62.93	5.32
Junction 13	-	18.59	0.00	15.21	0.00	10.82	0.00	10.82	0.00	10.82	0.00	10.82
Resvoir 1	-	704.62	-797.21	0	-901.97	0	-1020.50	0	-1154.60	0	-1306.32	0
Resvoir 2	-	284.23	-321.58	0	-363.84	0	-411.65	0	-465.75	0	-526.95	0
	α^v =	1.131408213	α^v =	1.28008454	α^v =	1.448298166	α^v =	1.63861644	α^v =	1.853944098	α^v =	2.097567579

Πίνακας 4.17 Δεδομένα παροχής και πίεσης για μεταβολή τραχύτητας και μείωση πληθυσμού 0.5%

ΜΕΙΩΣΗ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ 0.5%

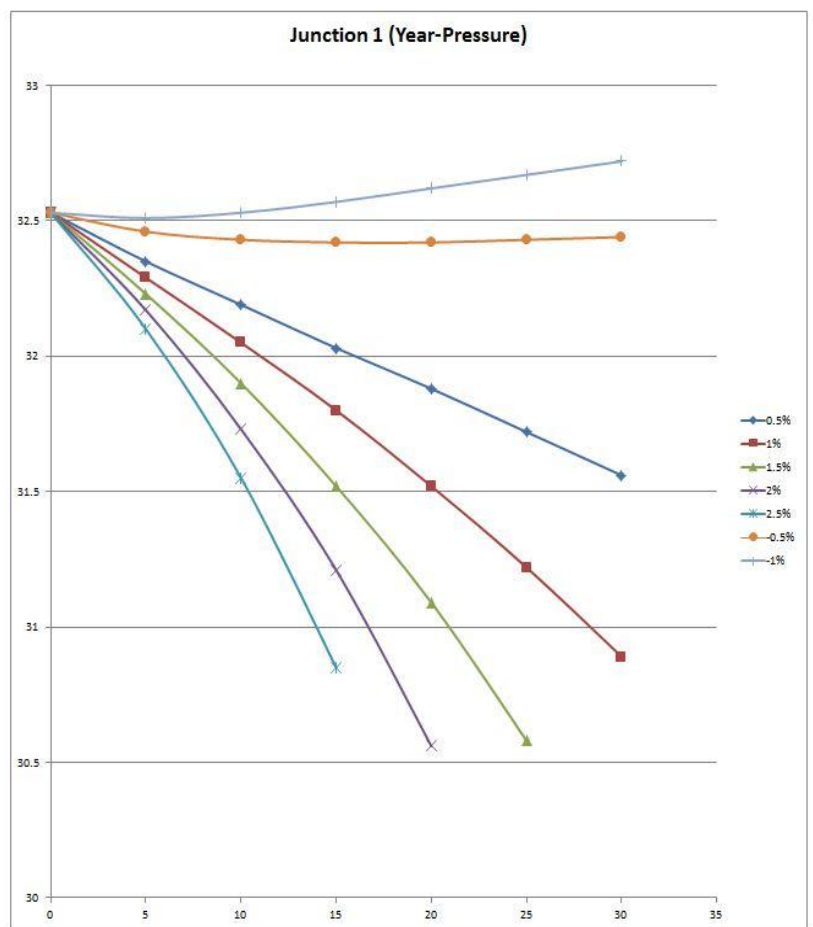
Node ID	5ο ΕΤΟΣ (k=0,15)		10ο ΕΤΟΣ (k=0,24)		15ο ΕΤΟΣ (k=0,33)		20ο ΕΤΟΣ (k=0,42)		25ο ΕΤΟΣ (k=0,51)		30ο ΕΤΟΣ (k=0,60)	
	Demand LPS	Pressure m	Demand LPS	Pressure m	Demand LPS	Pressure m	Demand LPS	Pressure m	Demand LPS	Pressure m	Demand LPS	Pressure m
Junction 1	-	32.46	0	32.43	0.00	32.42	0.00	32.42	0.00	32.43	0.00	32.44
Junction 2	57.54	25.93	56.12	25.89	54.73	25.87	53.37	25.87	52.05	25.89	50.76	25.91
Junction 3	57.54	28.06	56.12	27.94	54.73	27.89	53.37	27.9	52.05	27.93	50.76	27.99
Junction 4	173.59	24.22	169.30	24.07	165.11	24.02	161.02	24.03	157.04	24.07	153.15	24.14
Junction 5	57.54	25.79	56.12	25.64	54.73	25.58	53.37	25.59	52.05	25.62	50.76	25.69
Junction 6	185.30	21.51	180.71	21.26	176.24	21.16	171.88	21.16	167.62	21.21	163.47	21.32
Junction 7	173.59	23.47	169.30	23.22	165.11	23.11	161.02	23.11	157.04	23.16	153.15	23.27
Junction 8	88.75	21.4	86.55	21.15	84.41	21.05	82.32	21.04	80.28	21.11	78.29	21.21
Junction 9	-	22.47	0.00	22.28	0.00	22.21	0.00	22.21	0.00	22.25	0.00	22.33
Junction 10	-	21.77	0.00	21.6	0.00	21.54	0.00	21.53	0.00	21.57	0.00	21.64
Junction 11	29.26	18.42	28.53	18.18	27.83	18.07	27.14	18.06	26.47	18.11	25.81	18.2
Junction 12	29.26	16.79	28.53	16.54	27.83	16.44	27.14	16.43	26.47	16.48	25.81	16.58
Junction 13	-	20.81	0.00	20.6	0.00	20.52	0.00	20.52	0.00	20.57	0.00	20.66
Resvoir 1	-	607.37	-592.33	0	-577.67	0	-563.37	0	-549.43	0	-535.83	0
Resvoir 2	-	245.00	-238.94	0	-233.02	0	-227.26	0	-221.63	0	-216.15	0
	α^v =	0.975248753	α^v =	0.95111013	α^v =	0.927568969	α^v =	0.90461048	α^v =	0.882220243	α^v =	0.860384192

Πίνακας 4.18 Δεδομένα παροχής και πίεσης για μεταβολή τραχύτητας και μείωση πληθυσμού 1%

ΜΕΙΩΣΗ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ 1%

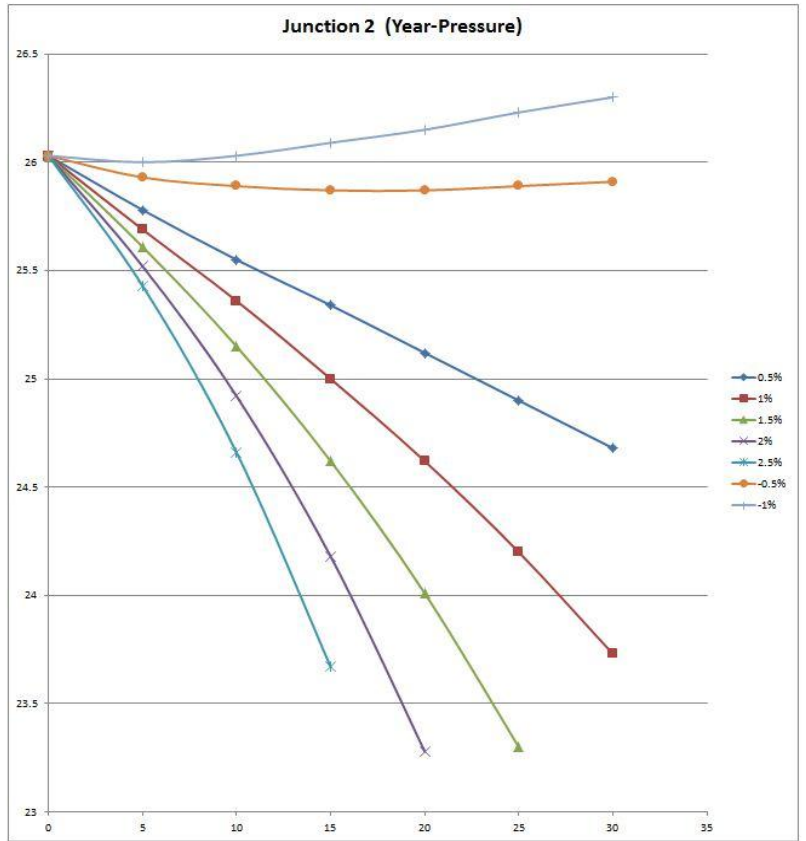
Node ID	5ο ΕΤΟΣ (k=0,15)		10ο ΕΤΟΣ (k=0,24)		15ο ΕΤΟΣ (k=0,33)		20ο ΕΤΟΣ (k=0,42)		25ο ΕΤΟΣ (k=0,51)		30ο ΕΤΟΣ (k=0,60)	
	Demand LPS	Pressure m	Demand LPS	Pressure m	Demand LPS	Pressure m	Demand LPS	Pressure m	Demand LPS	Pressure m	Demand LPS	Pressure m
Junction 1	-	32.51	0	32.53	0.00	32.57	0.00	32.62	0.00	32.67	0.00	32.72
Junction 2	56.11	26	53.36	26.03	50.74	26.09	48.26	26.15	45.89	26.23	43.64	26.3
Junction 3	56.11	28.25	53.36	28.32	50.74	28.46	48.26	28.64	45.89	28.83	43.64	29.02
Junction 4	169.28	24.44	160.98	24.53	153.09	24.7	145.59	24.91	138.45	25.14	131.67	25.38
Junction 5	56.11	26.01	53.36	26.09	50.74	26.26	48.26	26.47	45.89	26.69	43.64	26.93
Junction 6	180.69	21.9	171.83	22.04	163.41	22.32	155.40	22.67	147.79	23.05	140.54	23.45
Junction 7	169.28	23.85	160.98	23.98	153.09	24.26	145.59	24.6	138.45	24.97	131.67	25.36
Junction 8	86.54	21.79	82.30	21.93	78.27	22.22	74.43	22.57	70.78	22.96	67.31	23.37
Junction 9	-	22.75	0.00	22.85	0.00	23.06	0.00	23.31	0.00	23.59	0.00	23.88
Junction 10	-	22.01	0.00	22.09	0.00	22.27	0.00	22.48	0.00	22.73	0.00	22.97
Junction 11	28.53	18.78	27.13	18.9	25.80	19.15	24.54	19.47	23.33	19.82	22.19	20.19
Junction 12	28.53	17.15	27.13	17.28	25.80	17.53	24.54	17.86	23.33	18.22	22.19	18.59
Junction 13	-	21.12	0.00	21.24	0.00	21.47	0.00	21.76	0.00	22.08	0.00	22.41
Resvoir 1	-	592.26	0	-563.23	0	-535.63	0	-509.38	0	-484.41	0	-460.67
Resvoir 2	-	238.91	0	-227.20	0	-216.06	0	-205.47	0	-195.40	0	-185.83
	$\alpha^v =$	0.95099005	$\alpha^v =$	0.90438208	$\alpha^v =$	0.850058355	$\alpha^v =$	0.817906938	$\alpha^v =$	0.777821359	$\alpha^v =$	0.739700373

junction 1				
Μεταβολή πληθυσμού (%)	Χρόνια (έτη)	Πίεση (m)	Διαφορές Πίεσης (m)	Ποσοστό Αλλαγής Πίεσης (%)
0.5	0	32.53	0.97	-2.98
	5	32.35		
	10	32.19		
	15	32.03		
	20	31.88		
	25	31.72		
	30	31.56		
1	0	32.53	1.64	-5.04
	5	32.29		
	10	32.05		
	15	31.8		
	20	31.52		
	25	31.22		
	30	30.89		
1.5	0	32.53	1.95	-5.99
	5	32.23		
	10	31.9		
	15	31.52		
	20	31.09		
	25	30.58		
	30	30.58		
2	0	32.53	1.97	-6.06
	5	32.17		
	10	31.73		
	15	31.21		
	20	30.56		
	25	30.56		
	30	30.56		
2.5	0	32.53	1.68	-5.16
	5	32.1		
	10	31.55		
	15	30.85		
	20	30.85		
	25	30.85		
	30	30.85		
-0.5	0	32.53	0.09	-0.28
	5	32.46		
	10	32.43		
	15	32.42		
	20	32.42		
	25	32.43		
	30	32.44		
-1	0	32.53	-0.19	0.58
	5	32.51		
	10	32.53		
	15	32.57		
	20	32.62		
	25	32.67		
	30	32.72		

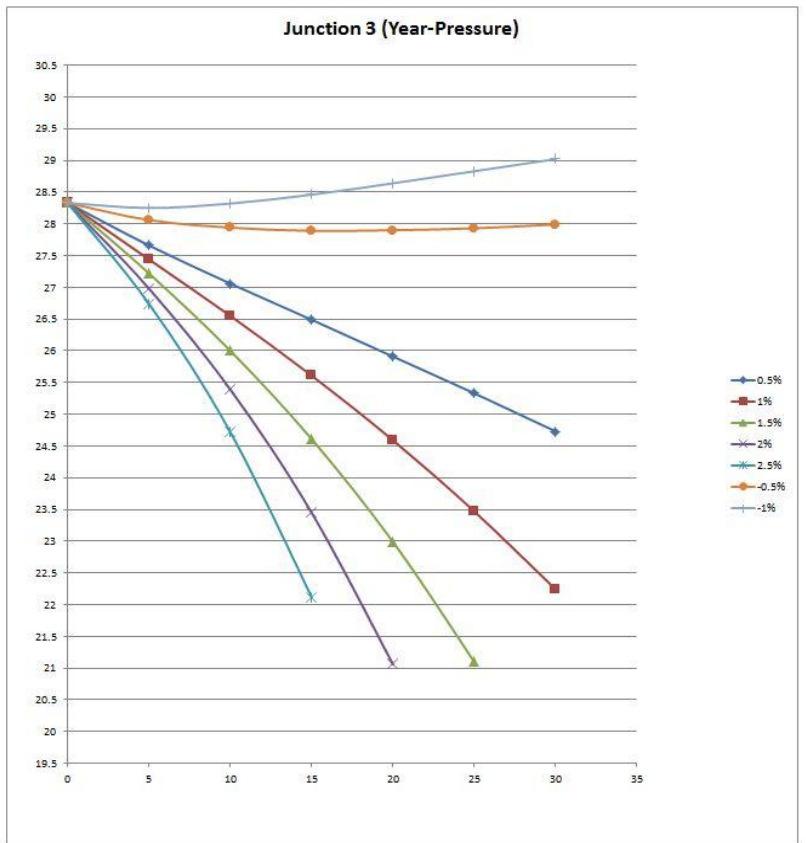


Σχήμα 4.6 Χρόνος-Πίεση με ταυτόχρονη μεταβολή της τραχύτητας και του πληθυσμού για κάθε κόμβο

junction 2				
Μεταβολή πληθυσμού (%)	Χρόνια (έτη)	Πίεση (m)	Διαφορές Πίεσης (m)	Ποσοστό Αλλαγής Πίεσης (%)
0.5	0	26.03	1.35	-5.19
	5	25.78		
	10	25.55		
	15	25.34		
	20	25.12		
	25	24.9		
1	0	26.03	2.3	-8.84
	5	25.69		
	10	25.36		
	15	25		
	20	24.62		
	25	24.2		
1.5	0	26.03	2.73	-10.49
	5	25.61		
	10	25.15		
	15	24.62		
	20	24.01		
	25	23.3		
2	0	26.03	2.75	-10.56
	5	25.52		
	10	24.92		
	15	24.18		
	20	23.28		
	25	23.28		
2.5	0	26.03	2.36	-9.07
	5	25.43		
	10	24.66		
	15	23.67		
	20	23.67		
	25	23.67		
-0.5	0	26.03	0.12	-0.46
	5	25.93		
	10	25.89		
	15	25.87		
	20	25.87		
	25	25.89		
-1	0	26.03	-0.27	1.04
	5	26		
	10	26.03		
	15	26.09		
	20	26.15		
	25	26.23		
30	26.3			

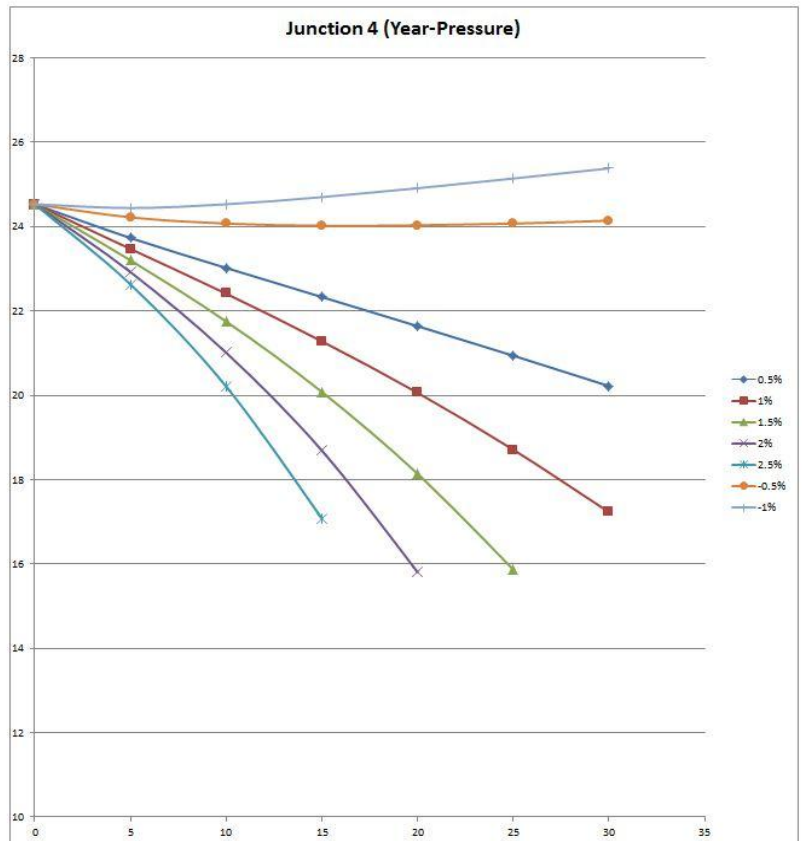


junction 3				
Μεταβολή πληθυσμού (%)	Χρόνια (έτη)	Πίεση (m)	Διαφορές Πίεσης (m)	Ποσοστό Αλλαγής Πίεσης (%)
0.5	0	28.33	3.6	-12.71
	5	27.66		
	10	27.06		
	15	26.49		
	20	25.91		
	25	25.33		
1	0	28.33	6.09	-21.50
	5	27.44		
	10	26.55		
	15	25.61		
	20	24.59		
	25	23.47		
1.5	0	28.33	7.23	-25.52
	5	27.22		
	10	26		
	15	24.61		
	20	22.99		
	25	21.1		
2	0	28.33	7.27	-25.66
	5	26.98		
	10	25.39		
	15	23.45		
	20	21.06		
	25	21.06		
2.5	0	28.33	6.21	-21.92
	5	26.74		
	10	24.72		
	15	22.12		
	20	22.12		
	25	22.12		
-0.5	0	28.33	0.34	-1.20
	5	28.06		
	10	27.94		
	15	27.89		
	20	27.9		
	25	27.93		
-1	0	28.33	-0.69	2.44
	5	28.25		
	10	28.32		
	15	28.46		
	20	28.64		
	25	28.83		
30	29.02			

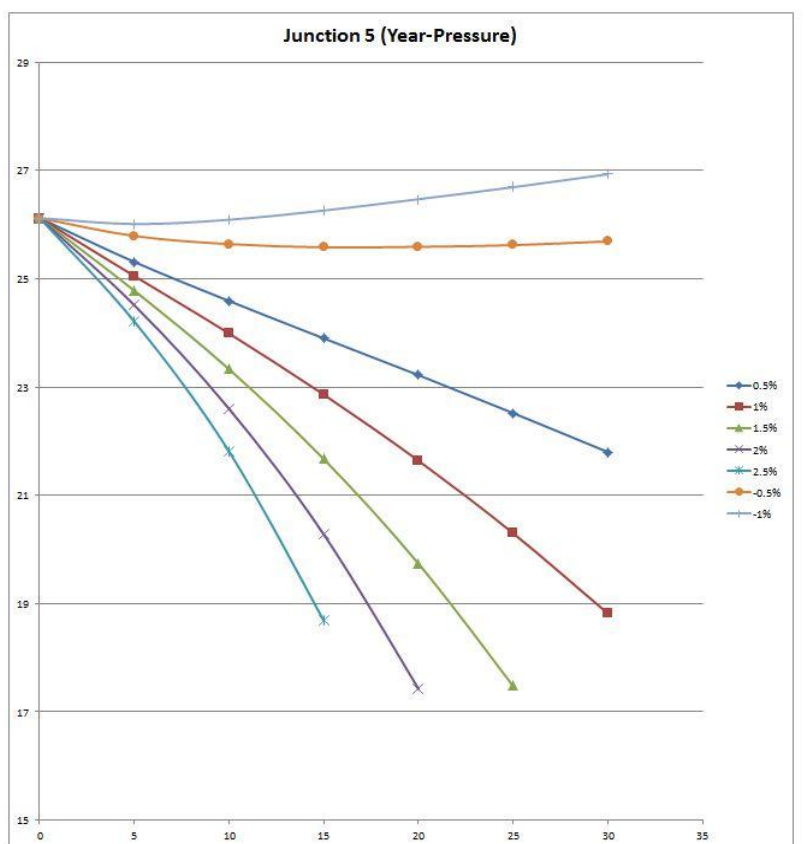


Σχήμα 4.6 (Συνέχεια)

junction 4				
Μεταβολή πληθυσμού (%)	Χρόνια (έτη)	Πίεση (m)	Διαφορές Πίεσης (m)	Ποσοστό Αλλαγής Πίεσης (%)
0.5	0	24.53	4.31	-17.57
	5	23.73		
	10	23.02		
	15	22.33		
	20	21.64		
	25	20.94		
1	0	24.53	7.3	-29.76
	5	23.47		
	10	22.41		
	15	21.28		
	20	20.06		
	25	18.71		
1.5	0	24.53	8.66	-35.30
	5	23.2		
	10	21.75		
	15	20.08		
	20	18.14		
	25	15.87		
2	0	24.53	8.72	-35.55
	5	22.92		
	10	21.01		
	15	18.69		
	20	15.81		
	30			
2.5	0	24.53	7.45	-30.37
	5	22.63		
	10	20.21		
	15	17.08		
	20			
	30			
-0.5	0	24.53	0.39	-1.59
	5	24.22		
	10	24.07		
	15	24.02		
	20	24.03		
	25	24.07		
-1	0	24.53	-0.85	3.47
	5	24.44		
	10	24.53		
	15	24.7		
	20	24.91		
	25	25.14		
30	25.38			

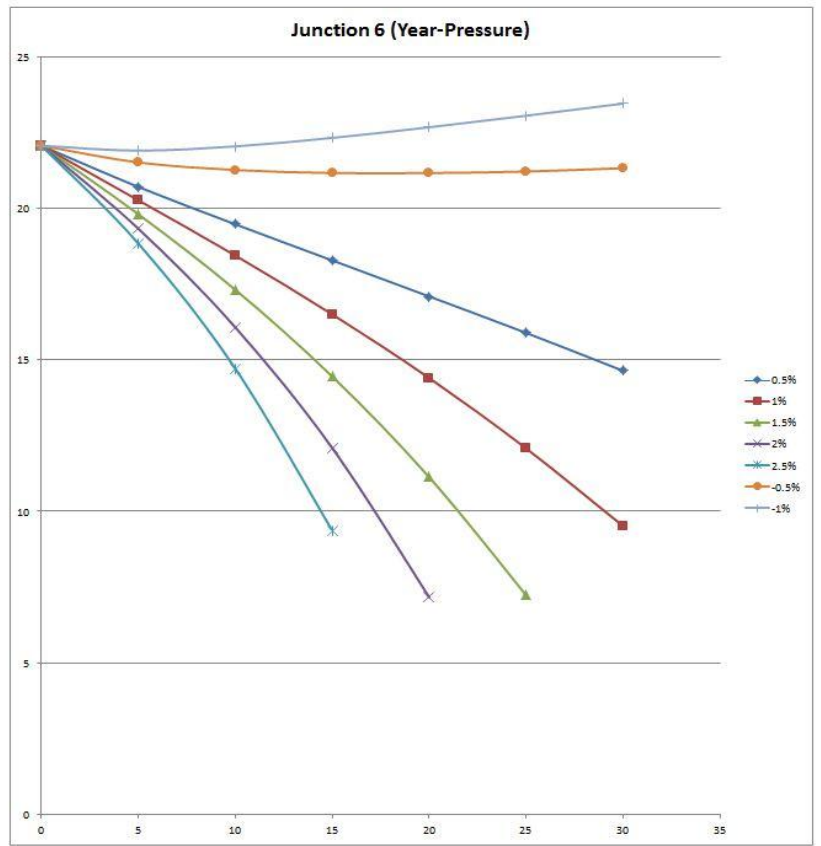


junction 5				
Μεταβολή πληθυσμού (%)	Χρόνια (έτη)	Πίεση (m)	Διαφορές Πίεσης (m)	Ποσοστό Αλλαγής Πίεσης (%)
0.5	0	26.12	4.32	-16.54
	5	25.31		
	10	24.59		
	15	23.9		
	20	23.22		
	25	22.52		
1	0	26.12	7.3	-27.95
	5	25.05		
	10	23.99		
	15	22.86		
	20	21.64		
	25	20.3		
1.5	0	26.12	8.64	-33.08
	5	24.78		
	10	23.33		
	15	21.67		
	20	19.74		
	25	17.48		
2	0	26.12	8.69	-33.27
	5	24.51		
	10	22.6		
	15	20.28		
	20	17.43		
	30			
2.5	0	26.12	7.43	-28.45
	5	24.21		
	10	21.81		
	15	18.69		
	20			
	30			
-0.5	0	26.12	0.43	-1.65
	5	25.79		
	10	25.64		
	15	25.58		
	20	25.59		
	25	25.62		
-1	0	26.12	-0.81	3.10
	5	26.01		
	10	26.09		
	15	26.26		
	20	26.47		
	25	26.69		
30	26.93			

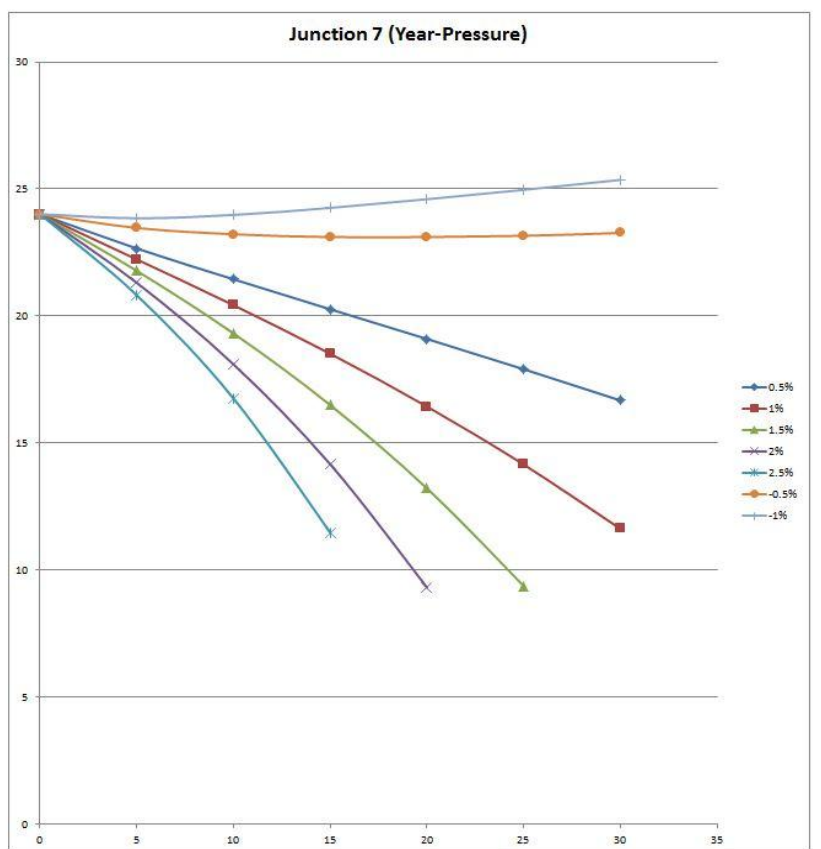


Σχήμα 4.6 (Συνέχεια)

junction 6				
Μεταβολή πληθυσμού (%)	Χρόνια (έτη)	Πίεση (m)	Διαφορές Πίεσης (m)	Ποσοστό Αλλαγής Πίεσης (%)
0.5	0	22.06	7.42	-33.64
	5	20.7		
	10	19.47		
	15	18.28		
	20	17.09		
	25	15.89		
1	0	22.06	12.54	-56.84
	5	20.26		
	10	18.44		
	15	16.5		
	20	14.4		
	25	12.08		
1.5	0	22.06	14.82	-67.18
	5	19.8		
	10	17.31		
	15	14.45		
	20	11.13		
	25	7.24		
2	0	22.06	14.89	-67.50
	5	19.32		
	10	16.07		
	15	12.09		
	20	7.17		
	25			
2.5	0	22.06	12.69	-57.52
	5	18.83		
	10	14.71		
	15	9.37		
	20			
	25			
-0.5	0	22.06	0.74	-3.35
	5	21.51		
	10	21.26		
	15	21.16		
	20	21.16		
	25	21.21		
-1	0	22.06	-1.39	6.30
	5	21.9		
	10	22.04		
	15	22.32		
	20	22.67		
	25	23.05		
30	23.45			

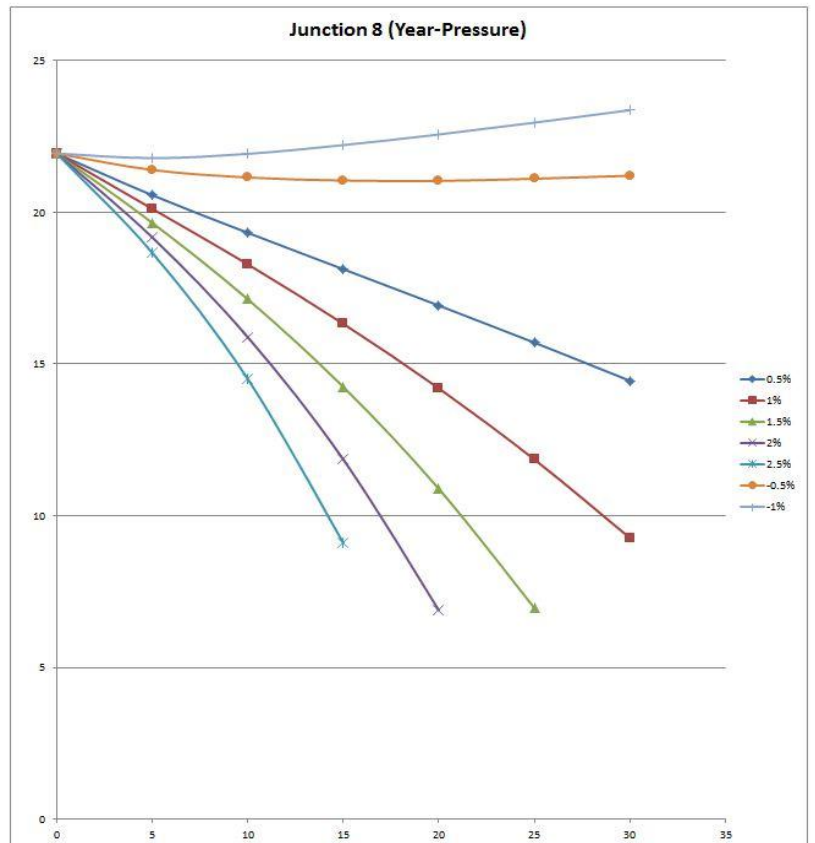


junction 7				
Μεταβολή πληθυσμού (%)	Χρόνια (έτη)	Πίεση (m)	Διαφορές Πίεσης (m)	Ποσοστό Αλλαγής Πίεσης (%)
0.5	0	24.01	7.33	-30.53
	5	22.66		
	10	21.45		
	15	20.27		
	20	19.1		
	25	17.91		
1	0	24.01	12.38	-51.56
	5	22.23		
	10	20.43		
	15	18.52		
	20	16.44		
	25	14.16		
1.5	0	24.01	14.63	-60.93
	5	21.78		
	10	19.32		
	15	16.5		
	20	13.22		
	25	9.38		
2	0	24.01	14.69	-61.18
	5	21.31		
	10	18.1		
	15	14.17		
	20	9.32		
	25			
2.5	0	24.01	12.53	-52.19
	5	20.82		
	10	16.76		
	15	11.48		
	20			
	25			
-0.5	0	24.01	0.74	-3.08
	5	23.47		
	10	23.22		
	15	23.11		
	20	23.11		
	25	23.16		
-1	0	24.01	-1.35	5.62
	5	23.85		
	10	23.98		
	15	24.26		
	20	24.6		
	25	24.97		
30	25.36			

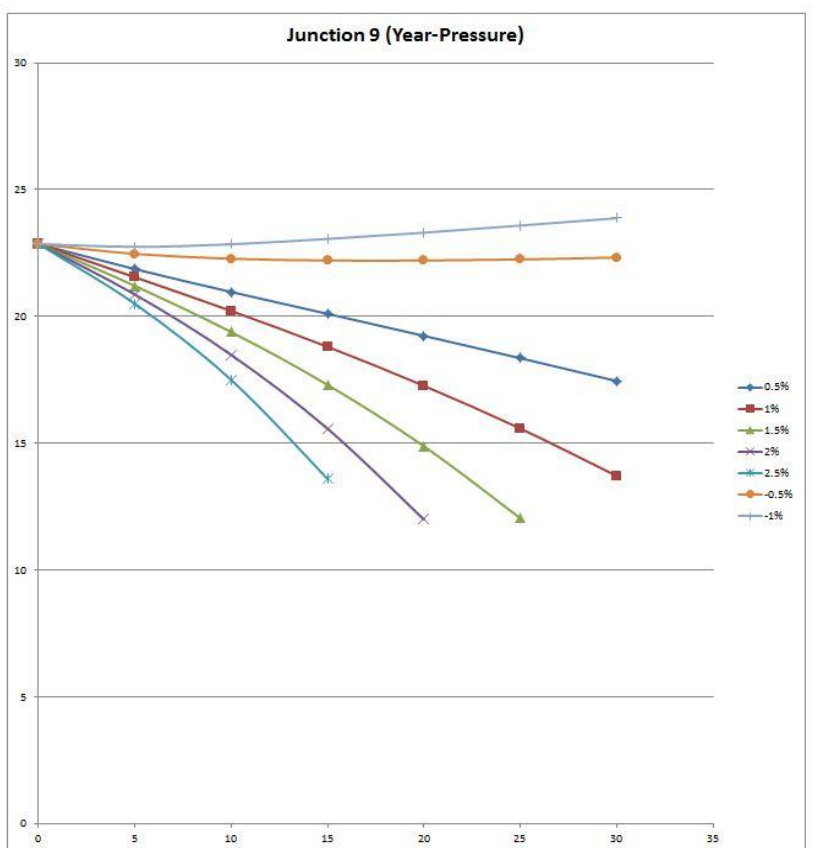


Σχήμα 4.6 (Συνέχεια)

junction 8				
Μεταβολή πληθυσμού (%)	Χρόνια (έτη)	Πίεση (m)	Διαφορές Πίεσης (m)	Ποσοστό Αλλαγής Πίεσης (%)
0.5	0	21.94	7.49	-34.14
	5	20.57		
	10	19.33		
	15	18.13		
	20	16.93		
	25	15.71		
1	0	21.94	12.67	-57.75
	5	20.12		
	10	18.29		
	15	16.33		
	20	14.2		
	25	11.86		
1.5	0	21.94	14.98	-68.28
	5	19.66		
	10	17.14		
	15	14.25		
	20	10.89		
	25	6.96		
2	0	21.94	15.05	-68.60
	5	19.18		
	10	15.89		
	15	11.86		
	20	6.89		
	30			
2.5	0	21.94	12.83	-58.48
	5	18.67		
	10	14.51		
	15	9.11		
	20			
	25			
-0.5	0	21.94	0.73	-3.33
	5	21.4		
	10	21.15		
	15	21.05		
	20	21.04		
	25	21.11		
-1	0	21.94	-1.43	6.52
	5	21.79		
	10	21.93		
	15	22.22		
	20	22.57		
	25	22.96		
30	23.37			

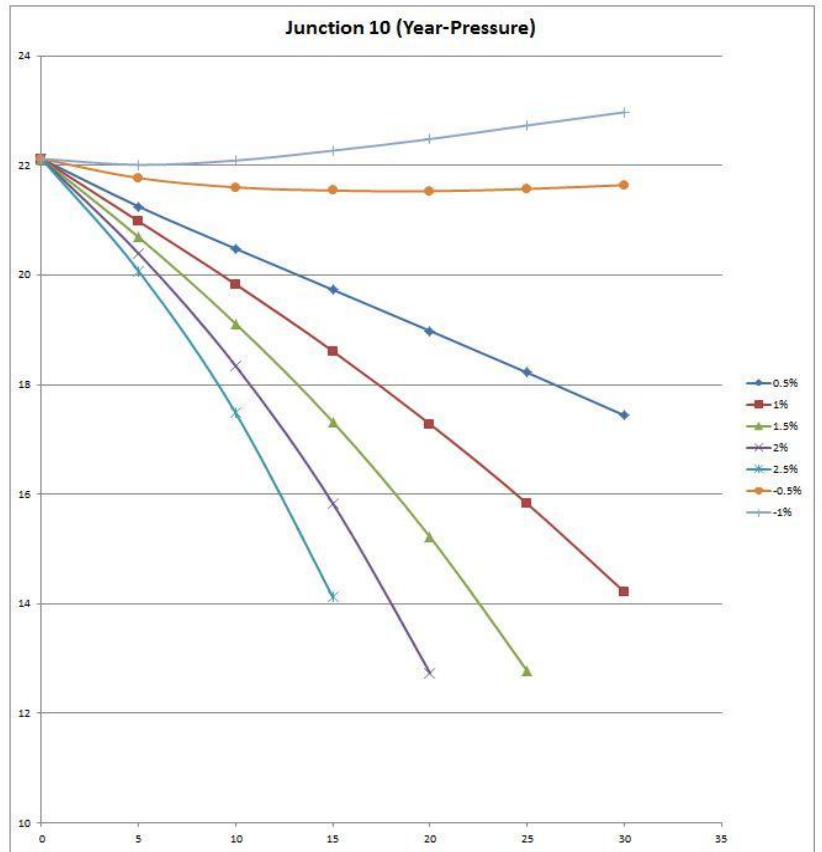


junction 9				
Μεταβολή πληθυσμού (%)	Χρόνια (έτη)	Πίεση (m)	Διαφορές Πίεσης (m)	Ποσοστό Αλλαγής Πίεσης (%)
0.5	0	22.86	5.4	-23.62
	5	21.87		
	10	20.97		
	15	20.11		
	20	19.24		
	25	18.36		
1	0	22.86	9.14	-39.98
	5	21.55		
	10	20.22		
	15	18.81		
	20	17.27		
	25	15.59		
1.5	0	22.86	10.81	-47.29
	5	21.21		
	10	19.39		
	15	17.31		
	20	14.89		
	25	12.05		
2	0	22.86	10.86	-47.51
	5	20.87		
	10	18.49		
	15	15.58		
	20	12		
	30			
2.5	0	22.86	9.26	-40.51
	5	20.5		
	10	17.5		
	15	13.6		
	20			
	25			
-0.5	0	22.86	0.53	-2.32
	5	22.47		
	10	22.28		
	15	22.21		
	20	22.21		
	25	22.25		
-1	0	22.86	-1.02	4.46
	5	22.75		
	10	22.85		
	15	23.06		
	20	23.31		
	25	23.59		
30	23.88			

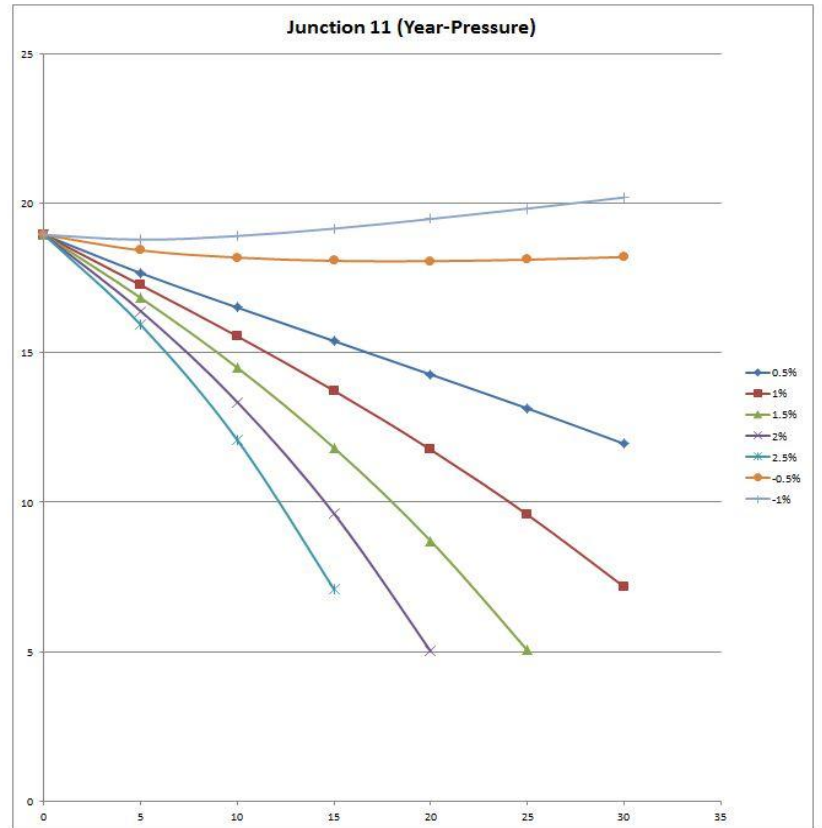


Σχήμα 4.6 (Συνέχεια)

junction 10				
Μεταβολή πληθυσμού (%)	Χρόνια (έτη)	Πίεση (m)	Διαφορές Πίεσης (m)	Ποσοστό Αλλαγής Πίεσης (%)
0.5	0	22.12	4.68	-21.16
	5	21.25		
	10	20.48		
	15	19.73		
	20	18.98		
	25	18.22		
	30	17.44		
1	0	22.12	7.9	-35.71
	5	20.98		
	10	19.83		
	15	18.61		
	20	17.28		
	25	15.83		
	30	14.22		
1.5	0	22.12	9.34	-42.22
	5	20.69		
	10	19.11		
	15	17.32		
	20	15.22		
	25	12.78		
	30			
2	0	22.12	9.38	-42.41
	5	20.39		
	10	18.34		
	15	15.83		
	20	12.74		
	25			
	30			
2.5	0	22.12	8	-36.17
	5	20.07		
	10	17.48		
	15	14.12		
	20			
	25			
	30			
-0.5	0	22.12	0.48	-2.17
	5	21.77		
	10	21.6		
	15	21.54		
	20	21.53		
	25	21.57		
	30	21.64		
-1	0	22.12	-0.85	3.84
	5	22.01		
	10	22.09		
	15	22.27		
	20	22.48		
	25	22.73		
	30	22.97		

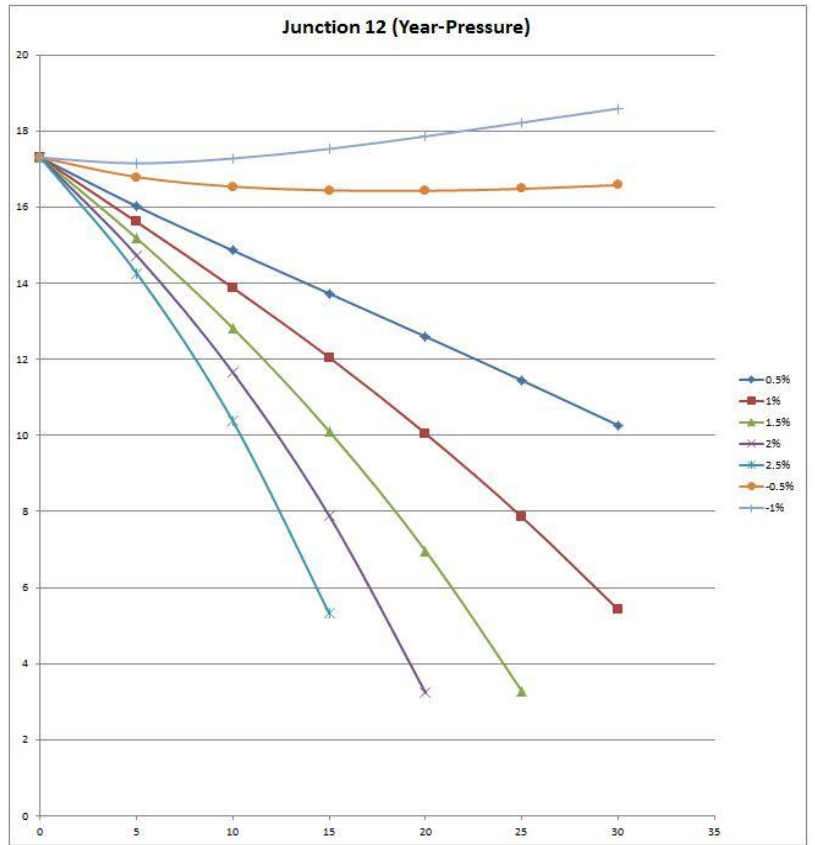


junction 11				
Μεταβολή πληθυσμού (%)	Χρόνια (έτη)	Πίεση (m)	Διαφορές Πίεσης (m)	Ποσοστό Αλλαγής Πίεσης (%)
0.5	0	18.94	6.98	-36.85
	5	17.66		
	10	16.51		
	15	15.39		
	20	14.27		
	25	13.14		
	30	11.96		
1	0	18.94	11.76	-62.09
	5	17.26		
	10	15.55		
	15	13.73		
	20	11.76		
	25	9.59		
	30	7.18		
1.5	0	18.94	13.88	-73.28
	5	16.83		
	10	14.5		
	15	11.82		
	20	8.71		
	25	5.06		
	30			
2	0	18.94	13.92	-73.50
	5	16.39		
	10	13.35		
	15	9.62		
	20	5.02		
	25			
	30			
2.5	0	18.94	11.85	-62.57
	5	15.93		
	10	12.08		
	15	7.09		
	20			
	25			
	30			
-0.5	0	18.94	0.74	-3.91
	5	18.42		
	10	18.18		
	15	18.07		
	20	18.06		
	25	18.11		
	30	18.2		
-1	0	18.94	-1.25	6.60
	5	18.78		
	10	18.9		
	15	19.15		
	20	19.47		
	25	19.82		
	30	20.19		

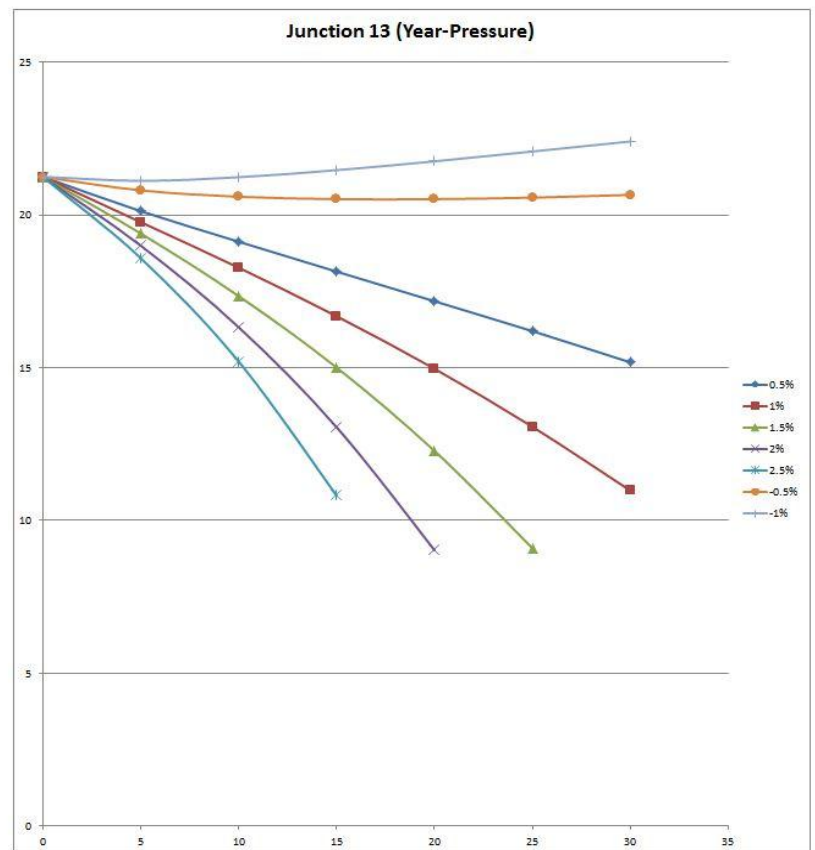


Σχήμα 4.6 (Συνέχεια)

junction 12				
Μεταβολή πληθυσμού (%)	Χρόνια (έτη)	Πίεση (m)	Διαφορές Πίεσης (m)	Ποσοστό Αλλαγής Πίεσης (%)
0.5	0	17.3	7.03	-40.64
	5	16.02		
	10	14.86		
	15	13.73		
	20	12.6		
	25	11.45		
	30	10.27		
1	0	17.3	11.87	-68.61
	5	15.61		
	10	13.88		
	15	12.05		
	20	10.05		
	25	7.86		
	30	5.43		
1.5	0	17.3	14.01	-80.98
	5	15.18		
	10	12.82		
	15	10.11		
	20	6.97		
	25	3.29		
	30			
2	0	17.3	14.06	-81.27
	5	14.73		
	10	11.65		
	15	7.89		
	20	3.24		
	25			
	30			
2.5	0	17.3	11.98	-69.25
	5	14.26		
	10	10.37		
	15	5.32		
	20			
	25			
	30			
-0.5	0	17.3	0.72	-4.16
	5	16.79		
	10	16.54		
	15	16.44		
	20	16.43		
	25	16.48		
	30	16.58		
-1	0	17.3	-1.29	7.46
	5	17.15		
	10	17.28		
	15	17.53		
	20	17.86		
	25	18.22		
	30	18.59		



junction 13				
Μεταβολή πληθυσμού (%)	Χρόνια (έτη)	Πίεση (m)	Διαφορές Πίεσης (m)	Ποσοστό Αλλαγής Πίεσης (%)
0.5	0	21.25	6.07	-28.56
	5	20.13		
	10	19.13		
	15	18.15		
	20	17.18		
	25	16.2		
	30	15.18		
1	0	21.25	10.27	-48.33
	5	19.77		
	10	18.28		
	15	16.69		
	20	14.97		
	25	13.07		
	30	10.98		
1.5	0	21.25	12.15	-57.18
	5	19.4		
	10	17.35		
	15	15.01		
	20	12.28		
	25	9.1		
	30			
2	0	21.25	12.22	-57.51
	5	19		
	10	16.33		
	15	13.06		
	20	9.03		
	25			
	30			
2.5	0	21.25	10.43	-49.08
	5	18.59		
	10	15.21		
	15	10.82		
	20			
	25			
	30			
-0.5	0	21.25	0.59	-2.78
	5	20.81		
	10	20.6		
	15	20.52		
	20	20.52		
	25	20.57		
	30	20.66		
-1	0	21.25	-1.16	5.46
	5	21.12		
	10	21.24		
	15	21.47		
	20	21.76		
	25	22.08		
	30	22.41		



Σχήμα 4.6 (Συνέχεια)

Με την επίλυση όλων των ενδεχομένων προκύπτει ότι το δίκτυο λειτουργεί για όλες τις περιπτώσεις εκτός από τρεις (έχει σημειωθεί με κίτρινο χρώμα στους πίνακες). Με την αύξηση του πληθυσμού κατά 1.5% , 2% και 2.5% το δίκτυο δεν λειτουργεί με το πέρας 30 , 25 και 20 χρόνων αντίστοιχα. Για αυτό το λόγο στα διαγράμματα οι καμπύλες που αφορούν τις εκάστοτε μεταβολές πληθυσμού εκτείνονται στον άξονα x μέχρι το έτος όπου το δίκτυο λειτουργεί.

Είναι προφανές ότι η αύξηση του πληθυσμού ακολουθείται από περισσότερη ζήτηση νερού. Έτσι η παροχή στους κόμβους αυξάνεται και με την σειρά της η πίεση μειώνεται. Σε συνδυασμό με την αύξηση της τραχύτητας με το πέρασμα των χρόνων οι τιμές της πίεσης μειώνονται ακόμη περισσότερο. Όσο μεγαλύτερη είναι η αύξηση του πληθυσμού τόσο πιο ραγδαία αποτελέσματα έχει στην παροχή και στην πίεση. Αυτό φαίνεται ακόμη πιο ξεκάθαρα όταν συγκρίνεται ένας κόμβος σε μία συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Σε όλα τα διαγράμματα η αύξηση του πληθυσμού σε κάθε χρονική στιγμή συνοδεύεται από μείωση της τιμής της πίεσης. Παρατηρείται λοιπόν ότι στην αύξηση του πληθυσμού η αύξηση της τραχύτητας συμβάλει σε μεγάλο βαθμό αν συγκριθεί ο ίδιος κόμβος στα δύο διαφορετικά σενάρια. Για παράδειγμα στον κόμβο 3 για αύξηση πληθυσμού 1% στα 20 χρόνια η τιμή της πίεσης υπολογίζεται στα 26.61m ενώ στο τρέχον σενάριο για τα ίδια δεδομένα (κόμβος 3 για αύξηση πληθυσμού 1% στα 20 χρόνια) το οποίο συνδυάζεται με αλλαγή της τιμής τραχύτητας ($k=0.42\text{mm}$) η τιμή της πίεσης υπολογίζεται στα 24.59m.

Από την άλλη πλευρά η μείωση του πληθυσμού ακολουθείται από μειωμένη ζήτηση νερού. Έτσι η παροχή στους κόμβους μειώνεται και η πίεση αυξάνεται. Αντιθέτως όμως η αύξηση της τιμής της τραχύτητας μειώνει την τιμή της πίεσης και τα πράγματα περιπλέκονται. Για αυτό το λόγο εξετάζονται οι δύο μειώσεις πληθυσμού ξεχωριστά αφού εμφανίζουν κάποιες διαφορές στην συμπεριφορά τους.

Για την περίπτωση της μείωσης πληθυσμού κατά 0.5% με ταυτόχρονη αύξηση της τραχύτητας παρατηρείται ότι η τελική τιμή στα 30 χρόνια παραμένει σε χαμηλότερα επίπεδα παρόλο τη μείωση της ζήτησης. Αυτό δείχνει ότι στο συγκεκριμένο σενάριο η αύξηση της τραχύτητας των αγωγών παίζει σημαντικότερο ρόλο και επηρεάζει πιο πολύ το σύστημα. Επίσης εντοπίζεται σε όλους τους κόμβους οι ελάχιστες τιμές της πίεσης είναι μεταξύ των 15 και 20 χρόνων από την αρχή λειτουργίας του δικτύου.

Η περίπτωση της μείωσης πληθυσμού κατά 1% με ταυτόχρονη αύξηση της τραχύτητας ακολουθεί διαφορετική συμπεριφορά. Σε όλους τους κόμβους φαίνεται ότι υπάρχει μια αισθητή μείωση στη τιμή της πίεσης στα 5 πρώτα χρόνια αλλά στην συνέχεια η πίεση εμφανίζει ανοδικές τιμές, ξεπερνώντας αυτές της αρχικής κατάστασης σε όλο το δίκτυο.

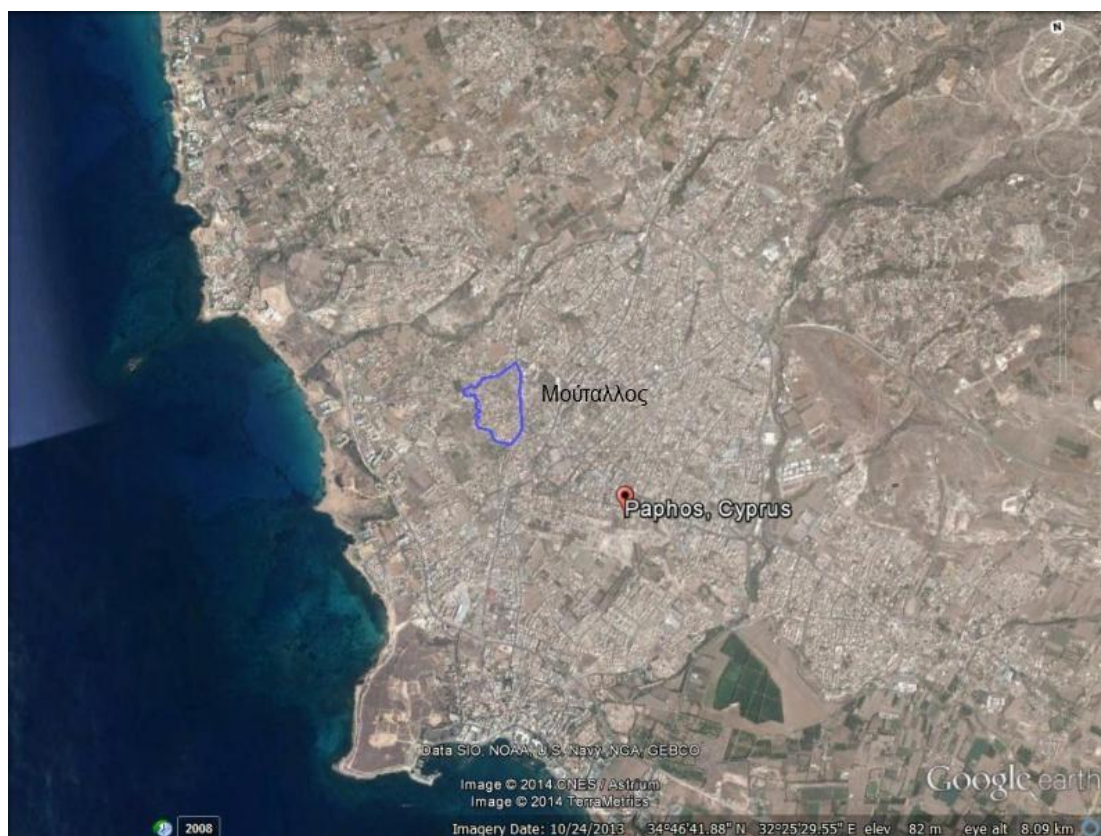
Κεφάλαιο 5

Εκτίμηση επιπτώσεων στην λειτουργία του δικτύου ύδρευσης Μουτάλλου

5.1 Περιοχή μελέτης

5.1.1 Γεωγραφική θέση

Το κυκλοφοριακό δίκτυο ύδρευσης που μελετάται βρίσκεται στο δήμο της Πάφου και πιο συγκεκριμένα στην κοινότητα του Μουτάλλου που τροφοδοτείται από δύο δεξαμενές που βρίσκονται εκτός της κοινότητας. Η κοινότητα του Μουτάλλου καταλαμβάνει έκταση 190 στρεμμάτων δηλαδή αποτελεί το 14% του δήμου της Πάφου. Η κοινότητα βρίσκεται στο βορειοδυτικό τμήμα του δήμου και είναι σε κοντινή απόσταση από την παραθαλάσσια ακτογραμμή. Αναλυτικότερα φαίνεται στην εικόνα 5.1 η ακριβής θέση του οικισμού σε σχέση με τον δήμο της Πάφου και στην επόμενη εικόνα 5.2 μία πιο λεπτομερής εικόνα του οικισμού (Πηγή: Διπλωματική Εργασία με τίτλο Πιθανοτική ανάλυση δικτύου ύδρευσης Μούταλλου δήμου Πάφου της Χαζάπη Άννα)



Εικόνα 5.1 Δορυφορική εικόνα Πάφου και η θέση του οικισμού του Μούταλλου



Εικόνα 5.2 Δορυφορική εικόνα του οικισμού Μούταλλου της Πάφου

5.1.2 Πληθυσμιακά δεδομένα

Σύμφωνα με τη διπλωματική εργασία της Χαζάπη Άννας δεν υπάρχουν επίσημα στατιστικά δεδομένα που να αναφέρονται αποκλειστικά στην κοινότητα του Μούταλλου και έτσι γίνεται μία εκτίμηση για τον σημερινό πληθυσμό ο οποίος είναι περίπου 5000 κάτοικοι. Επιπλέον δεν υπάρχει σημαντική εισροή τουριστών στην περιοχή, αφού οι τουριστικές εγκαταστάσεις της κοινότητας είναι μικρής κλίμακας γεγονός που δεν επηρεάζει τον αριθμό των κατοίκων που λαμβάνεται υπόψη.

5.1.3 Πολεοδομικά δεδομένα

Οι όροι δόμησης του πληθυσμού αποτελούν σημαντικό ρόλο στην μελέτη και επίλυση ενός υδρευτικού δικτύου κυρίως στην εκτίμηση της πυκνότητας του πληθυσμού που έχει άμεσο αντίκτυπο στην ζήτηση νερού στους κόμβους του δικτύου. Σύμφωνα με τη διπλωματική εργασία της Χαζάπη Άννας λόγω δυσκολίας πρόσβασης των στοιχείων αυτών έγινε η κατά

προσέγγιση εκτίμηση της πυκνότητας δόμησης με τη βοήθεια αεροφωτογραφιών και την κατασκευή των πολυγώνων Thiessen.

Επιπλέον ο οικισμός απαρτίζεται κυρίως από μονώροφα και διώροφα κτίρια με κάποιες εξαιρέσεις στην ανατολική πλευρά της περιοχής όπου υπάρχει ένας μικρός αριθμός πολυκατοικιών.

5.2 Μοντελοποίηση του δικτύου

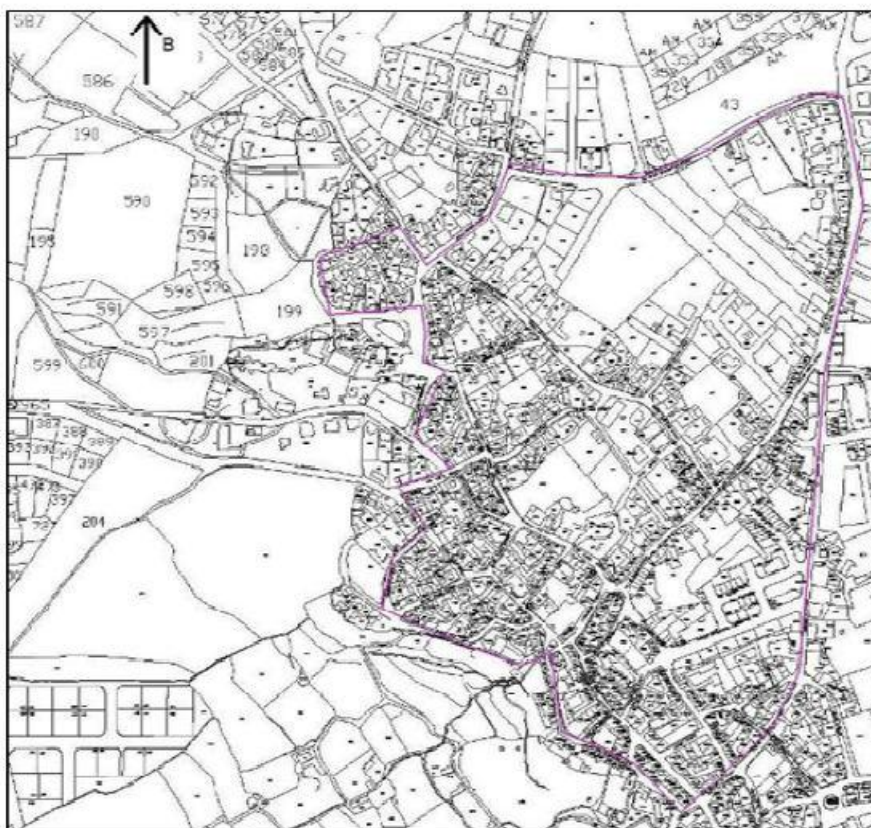
Η διαδικασία της μοντελοποίησης του δικτύου περιλαμβάνει τον καθορισμό της σχηματικής διάταξης του δικτύου, δηλαδή την ακριβή τοπολογία των δεξαμενών, των κόμβων (Πίνακας 5.1) και των αγωγών ώστε να ακολουθήσει η μαθηματική επίλυση του δικτύου με τη μέθοδο GRADIENT όπως περιγράφηκε στο κεφάλαιο 2.4 και τη βοήθεια του EPANET και στη συνέχεια η ανάλυση των σεναρίων για την εκτίμηση των επιπτώσεων στην λειτουργία του δικτύου.

Πίνακας 5.1 Τοπολογία κόμβων του δικτύου

Κόμβος	X	Y	Z
Junction 10	147 071.9	350 516.06	94.62
Junction 11	146 865.11	350 445.6	90.12
Junction 12	146 771.8	350 454.33	89.20
Junction 14	146 712.1	350 376.79	86.96
Junction 1	146 806.54	350 302.6	84.43
Junction 2	146 716.51	350 271.87	82.32
Junction 4	146 752.34	350 199.37	78.20
Junction 5	146 754.56	350 188.93	78.84
Junction 16	146 866.83	350 254.79	83.42
Junction 17	146 699.02	350 364.78	87.28
Junction 18	146 676.4	350 400.07	87.92
Junction 19	146 600.25	350 372.55	86.91
Junction 20	146 609.9	350 325.4	87.71
Junction 21	146 694.48	350 330.42	86.14
Junction 23	146 686.99	350 211.46	74.88
Junction 27	147 082.25	350 396.63	89.61
Junction 28	147 053.44	350 294.87	87.40
Junction 29	147 047.94	350 169.64	85.69
Junction 30	147 040.11	350 091.14	84.79
Junction 31	147 037.62	350 067.99	84.27
Junction 32	147 033.14	349 997.87	82.71
Junction 33	147 002.98	349 949.30	79.73
Junction 34	146 976.03	349 912.58	77.31
Junction 35	146 942.71	349 882.23	75.24
Junction 37	146 884.03	349 918.06	75.96
Junction 38	146 889.41	349 939.24	76.70
Junction 39	146 873.54	349 955.64	77.31
Junction 40	146 916.55	350 018.33	79.24
Junction 41	146 944.41	349 960.03	78.99
Junction 44	146 822.08	350 023.94	76.89
Junction 45	146 797.30	350 047.40	77.37
Junction 49	146 674.60	350 046.73	75.40
Junction 52	146 698.63	350 129.61	76.90
Junction 53	146 669.98	350 166.16	73.45
Junction 54	146 719.32	350 182.13	76.25
Junction 57	146 783.80	350 135.04	80.17
Junction 58	146 759.18	350 088.22	78.10
Junction 59	146 783.69	350 062.85	78.13
Junction 60	146 829.51	350 112.09	80.00
Junction 62	146 860.42	350 079.52	79.68
Junction 64	146 735.09	350 086.68	77.63
Junction 65	146 992.12	350 198.06	84.35
Junction 66	146 960.11	350 165.74	83.51
Junction 67	146 894.70	350 247.23	84.05
Junction 68	146 957.27	350 324.38	86.52
Junction 69	147 022.20	350 240.69	85.70
Junction 70	146 984.55	350 145.45	85.16
Junction 71	147 028.48	350 096.30	84.68
Junction 72	146 996.86	350 082.91	83.26
Junction 73	147 007.88	350 055.70	83.35
Junction 74	146 970.64	350 040.60	81.72
Junction 75	146 959.72	350 067.77	82.34
Junction 76	146 977.24	349 967.84	80.02
Junction 78	147 050.46	350 204.23	86.54
Junction 13	146 918.62	350 015.09	79.20
Junction 24	146 815.61	350 359.87	86.00
Junction 25	146 855.49	349 973.87	76.50
Junction 36	146 868.76	350 076.14	79.60
Junction 61	146 878.83	350 072.06	79.50
Junction 63	146 953.35	350 083.01	83.00
Junction 81	146 987.10	350 108.53	84.00
Junction 82	146 868.48	350 146.15	81.00
Junction 22	146 927.72	350 206.09	83.80
Junction 26	146 927.27	349 872.62	74.06
Junction 46	146 856.01	350 025.74	78.70
Junction 47	147 411.69	350 222.96	94.50
Junction 48	148 153.34	350 263.54	108.70
Junction 50	147 476.67	350 863.87	112.30
Junction 51	148 184.34	351 288.11	148.80
Tank 77	148 633.65	351 674.95	164.30
Tank 80	148 828.58	350 468.21	122.60

5.2.1 Περιγραφή του δικτύου

Το υπάρχον κυκλοφοριακό δίκτυο ύδρευσης δεν εμφανίζει κάποιο τεχνικό ή λειτουργικό πρόβλημα και ο λόγος που επιλέχθηκε για να γίνει η μελέτη των υδραυλικών χαρακτηριστικών του είναι το πλεονέκτημα που προσφέρει στη μέτρηση των καταναλώσεων και των απωλειών του δικτύου, καθώς θεωρείται ένα κλειστό σύστημα αφού δεν υπάρχουν έξοδοι σε άλλα γειτονικά δίκτυα.



Σχήμα 5.1 Γενική οριζοντιογραφία της κοινότητας Μούταλλου Πάφου

Η τροφοδοσία του υδρευτικού δικτύου της κοινότητας του Μουτάλλου καλύπτεται από δύο δεξαμενές οι οποίες βρίσκονται εκτός οικισμού. Η πρώτη δεξαμενή (tank 77) βρίσκεται 1.9 km βόρειο-ανατολικά του οικισμού σε υψόμετρο 164.30 m και συνδέεται με το δίκτυο στο βορειότερο τμήμα στον κόμβο 10 του μέσω τριών αγωγών μεταφοράς (pipe 91, pipe 92, pipe 93) από αμιαντοσιμέντο, των οποίων η διάμετρος συνεχώς μειώνεται από 305 mm, στα 152mm και 102 mm αντίστοιχα. Η δεύτερη δεξαμενή (tank 80) βρίσκεται 1.8 km ανατολικά του οικισμού σε υψόμετρο 122.60 m και συνδέεται με το δίκτυο στον κόμβο 78 μέσω τριών αγωγών μεταφοράς (pipe 88, pipe 89, pipe 90). Ο πρώτος αποτελείται από πολυβινυλοχλωρίδιο και έχει διάμετρο 305 mm ενώ οι άλλοι δύο από αμιαντοσιμέντο και συνεχώς μειούμενης διαμέτρου 203 mm και 102 mm αντίστοιχα.

Το υφιστάμενο κυκλοφοριακό δίκτυο ύδρευσης εξυπηρετεί έκταση περίπου 130 στρεμμάτων έχοντας λίγες ακτινωτές απολήξεις. Χαρακτηριστικό είναι ότι στα δυτικά του

οικισμού το δίκτυο εκτείνεται σε περιοχές με μικρό υψόμετρο. Όλοι οι αγωγοί του δικτύου είναι αμιαντοσιμεντοσωλήνες διαμέτρου 102 και 105 mm. Στο δίκτυο δεν είναι συνδεδεμένοι πυροσβεστικοί κρουνοί, αλλά τυχόν ανάγκη κατάσβεσης πυρκαγιάς εξυπηρετείται από τη Πάφο.

5.2.2 Σχηματική διάταξη του δικτύου

Σύμφωνα με την τοπολογία του δικτύου έγινε η σχηματική διάταξη του δικτύου. Έτσι εισήχθησαν στο βοηθητικό πρόγραμμα EPANET οι κόμβοι και οι δεξαμενές σύμφωνα με τις συντεταγμένες και τα υψόμετρα που εμφανίζονται στον πίνακα 5.1. Επόμενο βήμα ήταν η σύνδεση των κόμβων με τους κατάλληλους αγωγούς. Στον πίνακα 5.2 φαίνεται ο κόμβος αρχής και τέλους για κάθε αγωγό.

Πίνακας 5.2 Τοπολογία αγωγών

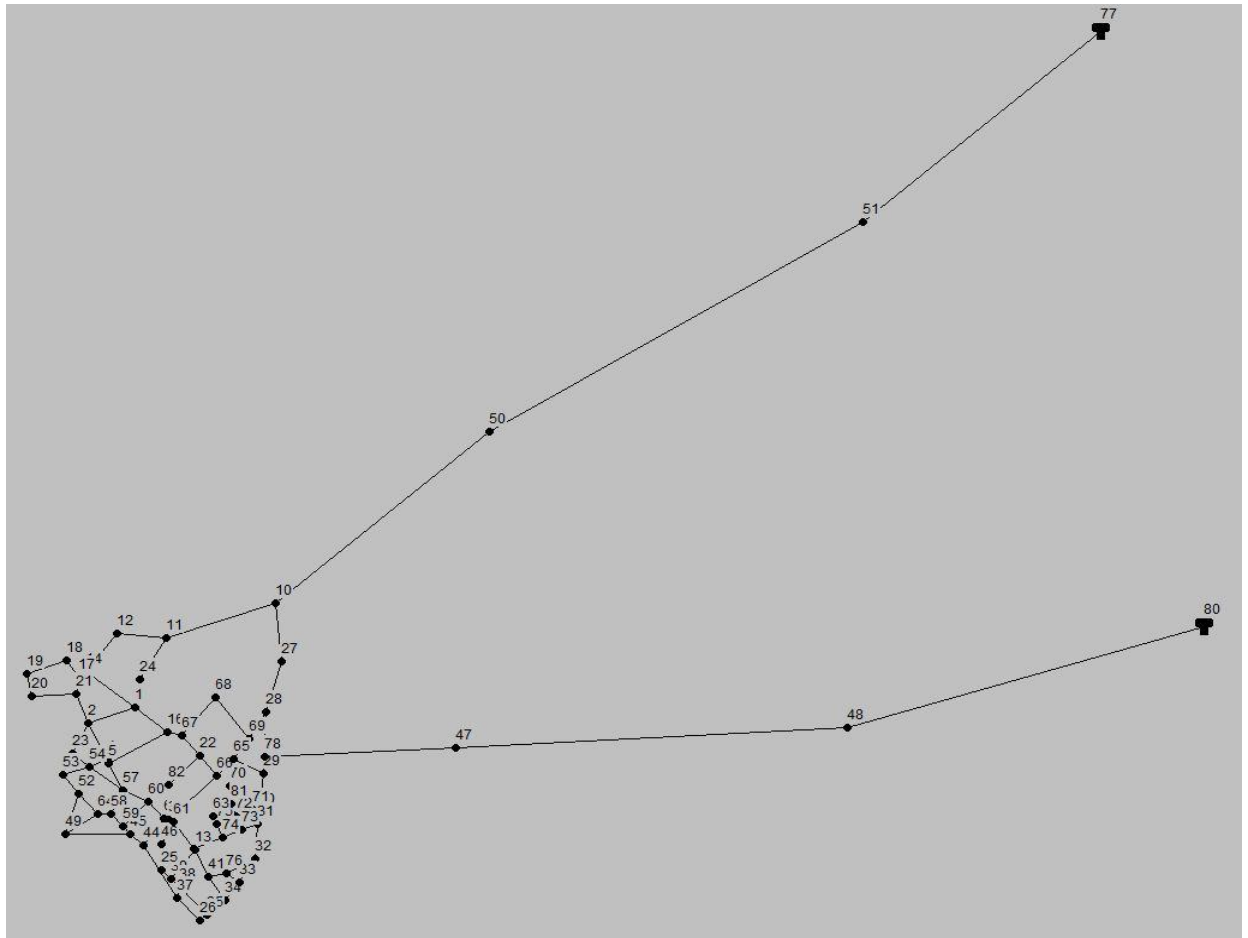
Αγωγός	κόμβος αρχής	κόμβος τέλους	Αγωγός	κόμβος αρχής	κόμβος τέλους
1	10	11	48	73	72
2	11	24	49	72	81
3	11	12	50	75	22
4	12	14	51	72	71
5	14	17	52	71	70
6	17	18	53	30	71
7	18	19	54	74	40
8	19	20	55	32	76
9	20	21	56	76	41
10	17	21	57	41	13
11	21	2	58	13	40
12	2	23	59	40	61
13	23	54	60	61	36
14	54	53	61	36	62
15	53	52	62	62	60
16	52	49	63	60	57
17	49	45	64	57	5
18	45	44	65	5	4
19	10	27	66	4	2
20	27	28	67	33	76
21	28	69	68	34	41
22	69	65	69	35	38
23	65	66	70	38	39
24	66	36	71	39	25
25	66	22	72	35	26
26	22	82	73	26	37
27	22	67	74	37	38
28	67	68	75	39	13
29	68	69	76	37	44
30	67	16	77	44	62
31	16	1	78	45	59
32	1	14	79	59	58
33	1	2	80	58	57
34	16	5	81	59	60
35	28	78	82	57	54
36	78	29	83	4	54
37	29	65	84	52	64
38	29	30	85	64	58
39	30	31	86	64	49
40	31	32	87	61	46
41	32	33	88	80	48
42	33	34	89	48	47
43	34	35	90	47	78
44	31	73	91	77	51
45	73	74	92	51	50
46	74	75	93	50	10
47	75	63			

Με το τέλος της σχεδίασης δόθηκαν τα χαρακτηριστικά του κάθε αγωγού δηλαδή μήκος και διάμετρος τα οποία απαιτούνται για την μαθηματική επίλυση του δικτύου όπως παραθέτονται στον πίνακα 5.3. Σημειώνεται ότι οι αγωγοί 88-90 και 91-93 είναι αγωγοί μεταφοράς από τις δεξαμενές 80 και 78 αντίστοιχα και για αυτό το λόγο έχουν πολύ μεγαλύτερο μήκος από αυτούς του κυρίως υδρευτικού δικτύου. Όσον αφορά το συντελεστή τραχύτητας των αγωγών έγινε η παραδοχή ότι όλο το δίκτυο λειτουργεί με αγωγούς τραχύτητας $k=0.1$ mm.

Πίνακας 5.3 Χαρακτηριστικά αγωγών

No Αγωγού	Μήκος L (m)	Διάμετρος D (mm)	No Αγωγού	Μήκος L (m)	Διάμετρος D (mm)
Pipe 1	222	102	Pipe 48	29.3	102
Pipe 2	99.1	102	Pipe 49	27.48	102
Pipe 3	176.25	102	Pipe 50	40.11	102
Pipe 4	539.41	102	Pipe 51	34.35	102
Pipe 5	17.76	102	Pipe 52	67.32	102
Pipe 6	42.78	102	Pipe 53	9.04	102
Pipe 7	81.44	102	Pipe 54	58.89	102
Pipe 8	126.23	102	Pipe 55	64.34	102
Pipe 9	82.16	102	Pipe 56	33.76	102
Pipe 10	37.71	102	Pipe 57	63.07	102
Pipe 11	70.94	102	Pipe 58	4	102
Pipe 12	69.66	102	Pipe 59	66.08	102
Pipe 13	43.8	102	Pipe 60	10.16	102
Pipe 14	52.16	102	Pipe 61	9.62	102
Pipe 15	46.72	102	Pipe 62	45.64	102
Pipe 16	103.13	102	Pipe 63	51.51	102
Pipe 17	135.09	102	Pipe 64	62.09	102
Pipe 18	34.13	102	Pipe 65	11.07	102
Pipe 19	123.05	102	Pipe 66	91.08	102
Pipe 20	102.52	102	Pipe 67	31.72	102
Pipe 21	62.55	102	Pipe 68	57.1	102
Pipe 22	52.34	102	Pipe 69	78.07	102
Pipe 23	45.51	102	Pipe 70	9.89	102
Pipe 24	128.74	102	Pipe 71	25.75	102
Pipe 25	52	152	Pipe 72	18.6	152
Pipe 26	87.91	102	Pipe 73	64.69	102
Pipe 27	50.85	152	Pipe 74	21.86	102
Pipe 28	93.5	102	Pipe 75	77.24	102
Pipe 29	111.95	102	Pipe 76	135.09	102
Pipe 30	31.79	152	Pipe 77	67.69	102
Pipe 31	79	152	Pipe 78	21.2	102
Pipe 32	120.77	152	Pipe 79	39.7	102
Pipe 33	98.29	102	Pipe 80	51.73	102
Pipe 34	140.79	102	Pipe 81	67.29	102
Pipe 35	90.87	152	Pipe 82	81.66	102
Pipe 36	34.56	152	Pipe 83	37.26	102
Pipe 37	62.64	102	Pipe 84	56.42	102
Pipe 38	78.91	152	Pipe 85	24.14	102
Pipe 39	23.28	152	Pipe 86	73.83	102
Pipe 40	70.07	152	Pipe 87	52.19	102
Pipe 41	58.92	152	Pipe 88	716.51	305
Pipe 42	44.54	152	Pipe 89	767.6	203
Pipe 43	46.79	152	Pipe 90	364.81	102
Pipe 44	32.18	102	Pipe 91	541.85	305
Pipe 45	40.19	102	Pipe 92	838.83	152
Pipe 46	29.43	102	Pipe 93	533.08	102
Pipe 47	16.52	102			

Στο σχήμα 5.1 φαίνεται η ακριβής σχηματική διάταξη όλου του δικτύου του οικισμού και η αρίθμηση των κόμβων και των δύο δεξαμενών όπως σχεδιάστηκε στο EPANET.



Σχήμα 5.1 Σχηματική διάταξη υδρευτικού δικτύου Μουτάλλου

5.2.3 Επίλυση δικτύου ύδρευσης Μούταλλου

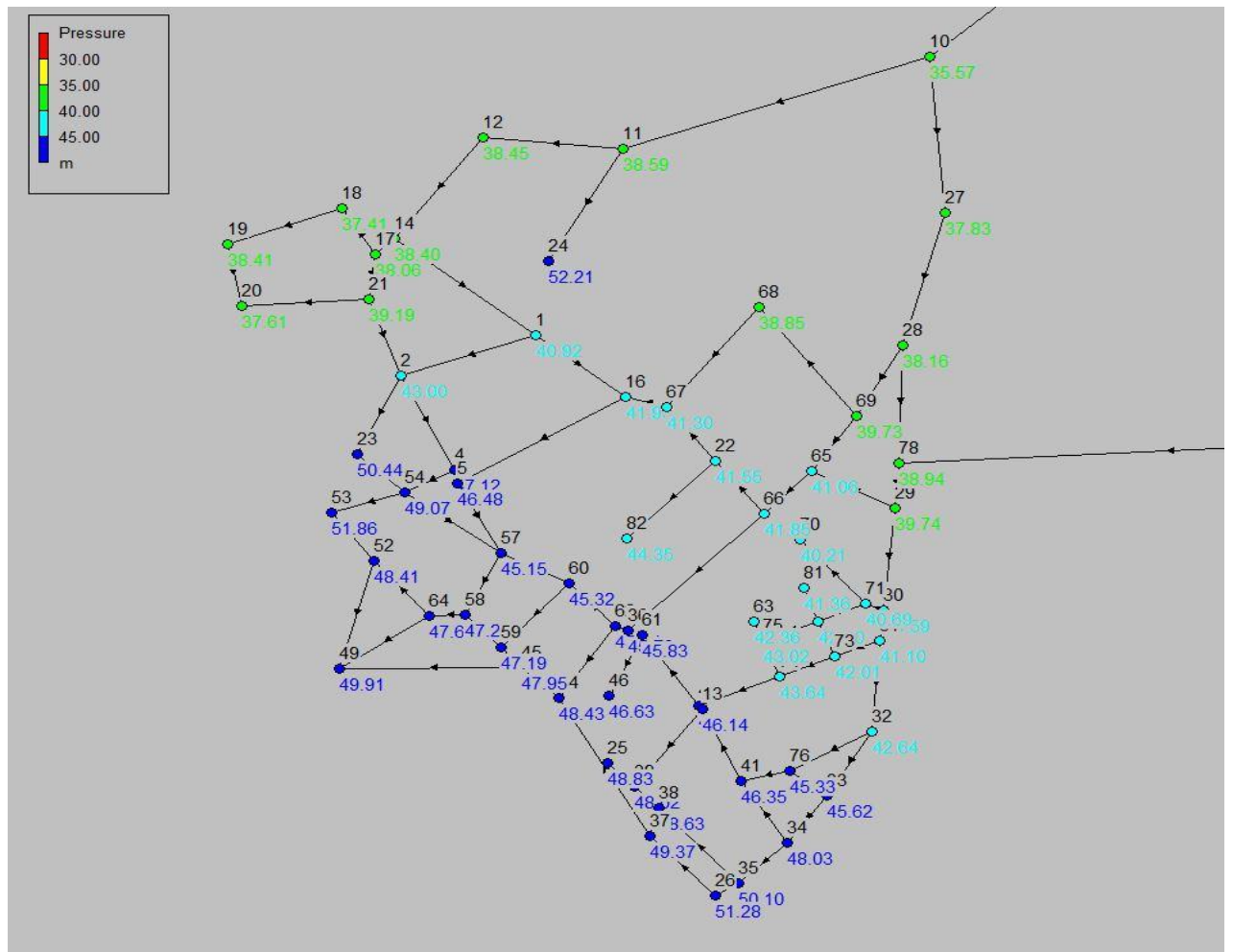
Σύμφωνα με τη διπλωματική εργασία της Χαζάπη Άννας και τις παραδοχές που έγιναν σχετικά με τον υφιστάμενο πληθυσμό και τον συντελεστή πυκνότητας γύρω από κάθε κόμβο υπολογίστηκε η ωριαία παροχή σε κάθε κόμβο η οποία λαμβάνεται υπόψη σε συνδυασμό με τα παραπάνω χαρακτηριστικά του δικτύου για την επίλυση του.

Επιπλέον για την επίλυση του δικτύου γίνεται με την υπόθεση βάθους νερού στις δύο δεξαμενές 3 m. Οι υπολογισμοί γίνονται μέσω του EPANET με τη χρήση των εξισώσεων Darcy-Weisbach όπου η τραχύτητα των αγωγών θεωρείται ότι συμπεριλαμβάνει τις τοπικές απώλειες που υπάρχουν στις συνδέσεις δικτύου. Τα αποτελέσματα της επίλυσης εμφανίζονται τόσο σε μορφή πίνακα (Πίνακας 5.4) όσο και σε μορφή σχήματος (Σχήμα 5.2, 5.3 & 5.4)

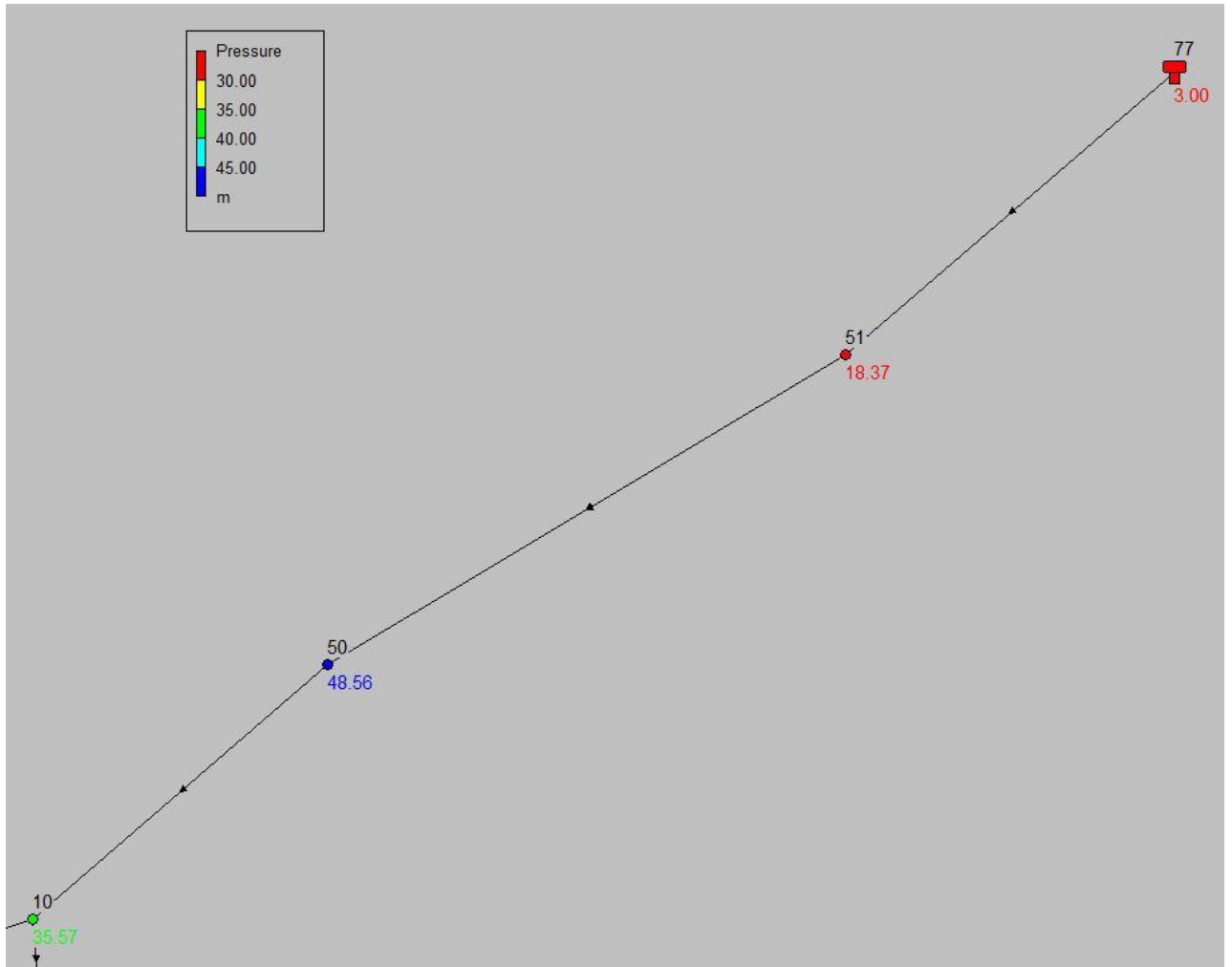
Πίνακας 5.4 Επίλυση δικτύου

Network Table - Nodes		
	Demand	Pressure
Node ID	LPS	m
Junction 10	1.16	35.57
Junction 11	0.19	38.59
Junction 12	1	38.45
Junction 14	0.33	38.4
Junction 1	0.54	40.92
Junction 4	0.36	47.12
Junction 5	0.2	46.48
Junction 2	0.49	43
Junction 18	0.79	37.41
Junction 17	0.12	38.06
Junction 16	0.4	41.93
Junction 32	0.31	42.64
Junction 34	0.19	48.03
Junction 35	0.15	50.1
Junction 19	0.36	38.41
Junction 20	0.66	37.61
Junction 21	0.36	39.19
Junction 33	0.2	45.62
Junction 23	0.22	50.44
Junction 39	0.24	48.02
Junction 38	0.09	48.63
Junction 37	0.15	49.37
Junction 27	1.18	37.83
Junction 28	0.88	38.16
Junction 29	0.28	39.74
Junction 30	0.17	40.59
Junction 31	0.2	41.1
Junction 64	0.26	47.68
Junction 40	0.18	46.1
Junction 41	0.26	46.35
Junction 68	0.91	38.85
Junction 67	0.41	41.3
Junction 44	0.22	48.43
Junction 45	0.23	47.95
Junction 69	0.21	39.73
Junction 70	0.21	40.21
Junction 71	0.16	40.69
Junction 49	0.61	49.91
Junction 72	0.12	42.1
Junction 73	0.21	42.01
Junction 52	0.33	48.41
Junction 53	0.24	51.86
Junction 54	0.21	49.07
Junction 74	0.3	43.64

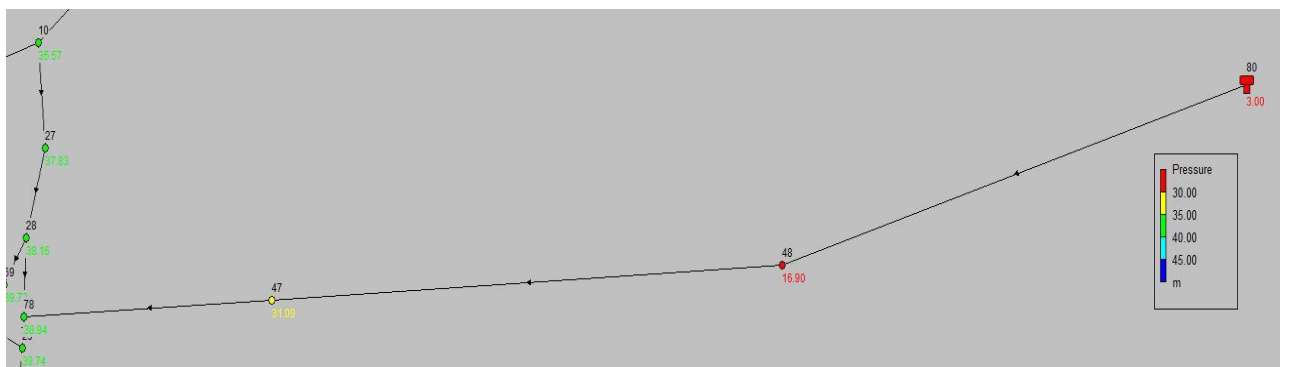
Junction 75	0.12	43.02
Junction 57	0.26	45.15
Junction 58	0.14	47.21
Junction 59	0.24	47.19
Junction 60	0.2	45.32
Junction 66	0.24	41.85
Junction 62	0.11	45.64
Junction 65	0.36	41.06
Junction 13	0.19	46.14
Junction 76	0.18	45.33
Junction 78	0.34	38.94
Junction 82	0.3	44.35
Junction 81	0.03	41.36
Junction 24	0.14	52.21
Junction 25	0.33	48.83
Junction 36	0.04	45.73
Junction 22	0.28	41.55
Junction 26	0.14	51.28
Junction 46	0.22	46.63
Junction 47	0	31.09
Junction 48	0	16.9
Junction 50	0	48.56
Junction 51	0	18.37
Junction 63	0.04	42.36
Junction 61	0.16	45.83
Tank 77	-19.17	3
Tank 80	-1.18	3



Σχήμα 5.2 Αποτελέσματα πίεσης από την επίλυση στο δίκτυο Μουτάλλου



Σχήμα 5.3 Αποτελέσματα πίεσης από την επίλυση στη βόρεια δεξαμενή και τους αγωγούς μεταφοράς



Σχήμα 5.4 Αποτελέσματα πίεσης από την επίλυση στη νότια δεξαμενή και τους αγωγούς μεταφοράς

5.3 Σενάριο μεταβολής υδραυλικών χαρακτηριστικών στο δίκτυο του Μουτάλλου

Το σενάριο που θα μελετηθεί για το δίκτυο του Μουτάλλου είναι το αντίστοιχο που μελετάται στο κεφάλαιο 4.2 και συγκεκριμένα το τέταρτο από αυτά. Αυτό σχετίζεται με την μεταβολή της πίεσης στο υδρευτικό δίκτυο καθώς μεταβάλλονται με τον χρόνο ο πληθυσμός και η τραχύτητα των αγωγών.

Σε αυτό το σημείο έγινε η υπόθεση όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως στο κεφάλαιο 5.2.2 πως όλοι αγωγοί έχουν συντελεστή τραχύτητας ίσο με $k=0.1$ mm. Ο χαμηλός αυτός συντελεστής ευνοεί την κίνηση του νερού στους αγωγούς καθώς οι τριβές του νερού με τους αγωγούς είναι πολύ μικρής σημασίας. Αφού επιλέχθηκε η τιμή αυτή έγινε μία δεύτερη υπόθεση η οποία αφορά την διακύμανση της τραχύτητας σε σχέση με την πάροδο του χρόνου. Η σχέση αυτή είναι γραμμική και ακολουθεί την εξίσωση ευθείας $y = 0.0133x + 0.1$ όπου x ο χρόνος σε έτη και y η τιμή της τραχύτητας σε mm. Ο χρόνος για τον οποίο εκτελέστηκε το σενάριο αυτό είναι τα 30 χρόνια και οι παρατηρήσεις στα υδραυλικά χαρακτηριστικά του δικτύου έγιναν με βήμα δεκαετίας.

Ταυτόχρονα με την παραπάνω παραδοχή γίνεται και η υπόθεση μεταβολή της παροχής στους κόμβους. Αυτή η μεταβολή σχετίζεται με τις αυξομειώσεις του πληθυσμού. Θεωρούμε ότι η μεταβολή του πληθυσμού ακολουθεί την μέθοδο της σταθερής σχετικής μεταβολής (σταθερό ποσοστό μεταβολής). Έτσι η αναδρομική σχέση γράφεται: $P_i = \alpha P_{i-1}$ όπου $\alpha = 1 + \gamma$ και $\gamma = P_i - P_{i-1} / P_{i-1}$ σταθερό και προκύπτει $P_v = \alpha^v P_0$. Έτσι εξετάστηκαν οι περιπτώσεις αύξησης του πληθυσμού κατά 1% και 2%.

Ο χρόνος για τον οποίο εκτελέστηκε το σενάριο αυτό είναι τα 30 χρόνια και οι παρατηρήσεις στα υδραυλικά χαρακτηριστικά του δικτύου έγιναν με βήμα δεκαετίας τόσο για την τραχύτητα των αγωγών όσο και για τις παροχές του δικτύου στους κόμβους.

5.4 Αποτελέσματα υδραυλικών χαρακτηριστικών του δικτύου Μουτάλλου

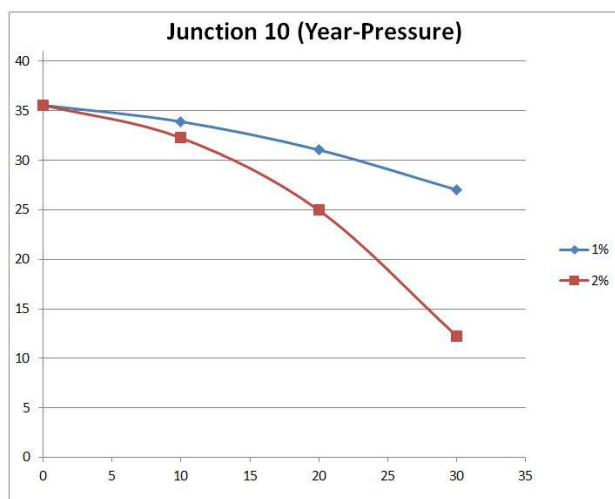
Αρχικά, έχοντας την εξίσωση ευθείας $y = 0.0133x + 0.1$ όπου x ο χρόνος σε έτη και y η τιμή της τραχύτητας σε mm που ακολουθούν οι τιμές της τραχύτητας υπολογίζονται για κάθε βήμα οι τιμές τους. Έτσι για το 10^ο έτος η τραχύτητα παίρνει την τιμή $k=0.233$ mm, για το 20^ο έτος η τραχύτητα παίρνει την τιμή $k=0.366$ mm και για το 30^ο έτος η τραχύτητα παίρνει την τιμή $k=0.50$ mm.

Όταν η αύξηση του πληθυσμού γίνεται κατά 1% σύμφωνα με την μέθοδο της σταθερής σχετικής μεταβολής ο συντελεστής α παίρνει την τιμή 1.01. Έπειτα για κάθε βήμα, δηλαδή κάθε 10 χρόνια ο συντελεστής αυτός υψώνεται στον αντίστοιχο εκθέτη. Οπότε για το 10^ο έτος ο συντελεστής α παίρνει την τιμή 1.01^{10} , για το 20^ο έτος ο συντελεστής α παίρνει την τιμή 1.01^{20} και για το 30^ο έτος ο συντελεστής α παίρνει την τιμή 1.01^{30} . Τέλος ο νέος αριθμός που προκύπτει πολλαπλασιάζεται με την παροχή στον εκάστοτε κόμβο για να υπολογιστεί η καινούρια παροχή στον συγκεκριμένο χρόνο.

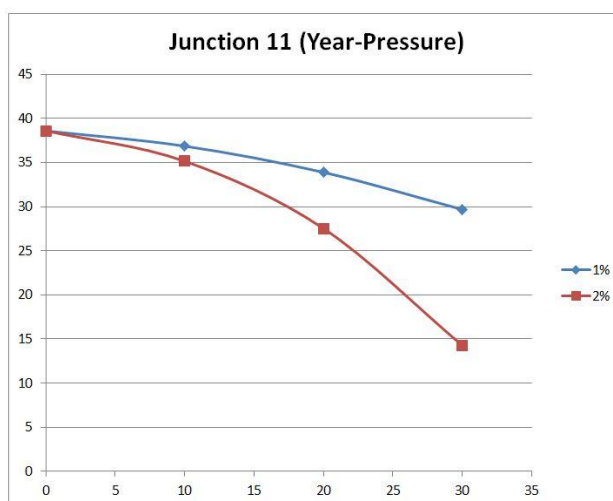
Ακριβώς η ίδια διαδικασία γίνεται για την αύξηση του πληθυσμού κατά 2% σύμφωνα με την μέθοδο της σταθερής σχετικής μεταβολής, απλά αυτή τη φορά ο συντελεστής α παίρνει την τιμή 1.02.

Έτσι στο επόμενο βήμα τοποθετείται στο EPANET οι παροχές στους κόμβους και οι τραχύτητες των αγωγών για κάθε χρονική περίοδο και υπολογίζονται οι νέες πιέσεις τα αποτελέσματα των οποίων εμφανίζονται με τη μορφή πίνακα. Έπειτα δημιουργούνται τα διαγράμματα χρόνου-πίεσης για κάθε κόμβο και για τις 2 μεταβολές του πληθυσμού οι οποίες συνδυάζονται με τις τιμές τραχύτητας με βάση το πέρας της χρονικής περιόδου από την αρχική συνθήκη. Τέλος στα σχήματα 5.2-5.8 φαίνεται η διακύμανση της πίεσης των δικτύων στις δύο περιπτώσεις μεταβολής του πληθυσμού με τη βοήθεια του προγράμματος EPANET και τις ταξινομήσεις που επιτρέπει να γίνουν αλλά και με τη βοήθεια των θηκογραμμάτων (Box-Whiskers Plots).

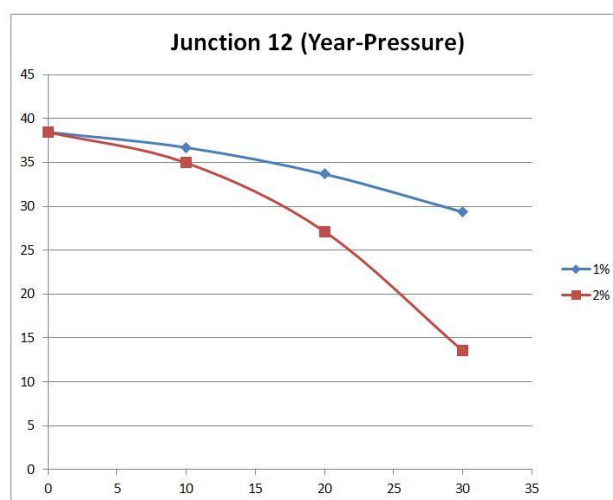
junction 10			
μεταβολή πληθυσμού (%)	χρόνια (έτη)	πίεση (m)	ποσοστό μεταβολής πίεσης (%)
1	0	35.57	-24.07
	10	33.9	
	20	31.05	
	30	27.01	
2	0	35.57	-65.59
	10	32.26	
	20	24.95	
	30	12.24	



junction 11			
μεταβολή πληθυσμού (%)	χρόνια (έτη)	πίεση (m)	ποσοστό μεταβολής πίεσης (%)
1	0	38.59	-23.09
	10	36.86	
	20	33.89	
	30	29.68	
2	0	38.59	-63.05
	10	35.15	
	20	27.52	
	30	14.26	

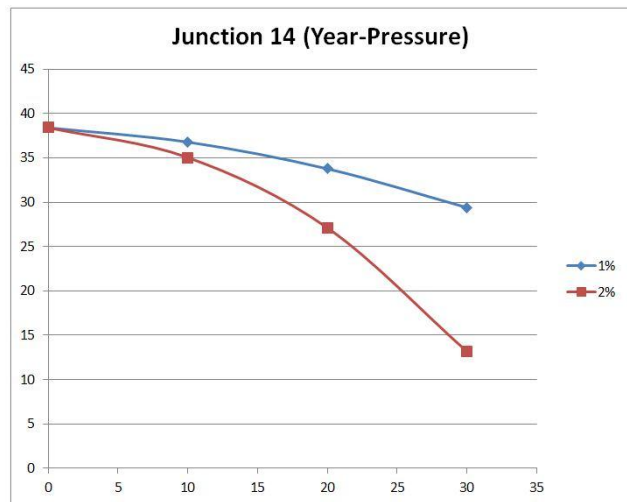


junction 12			
μεταβολή πληθυσμού (%)	χρόνια (έτη)	πίεση (m)	ποσοστό μεταβολής πίεσης (%)
1	0	38.45	-23.67
	10	36.7	
	20	33.67	
	30	29.35	
2	0	38.45	-64.81
	10	34.95	
	20	27.13	
	30	13.53	

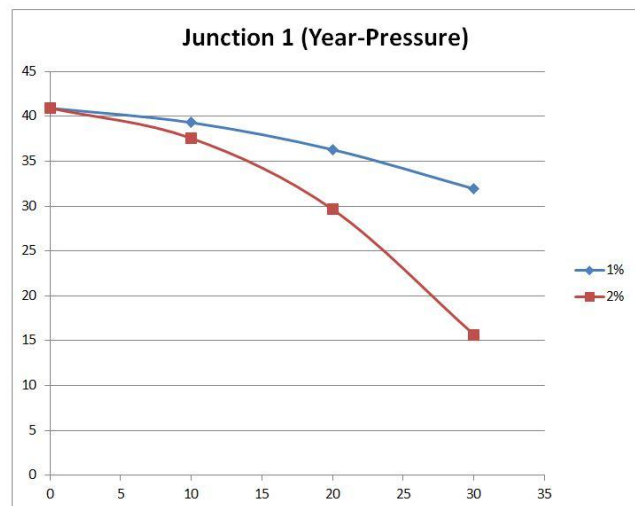


Σχήμα 5.5 Χρόνος-Πίεση για ταυτόχρονη μεταβολή της τραχύτητας και του πληθυσμού για κάθε κόμβο

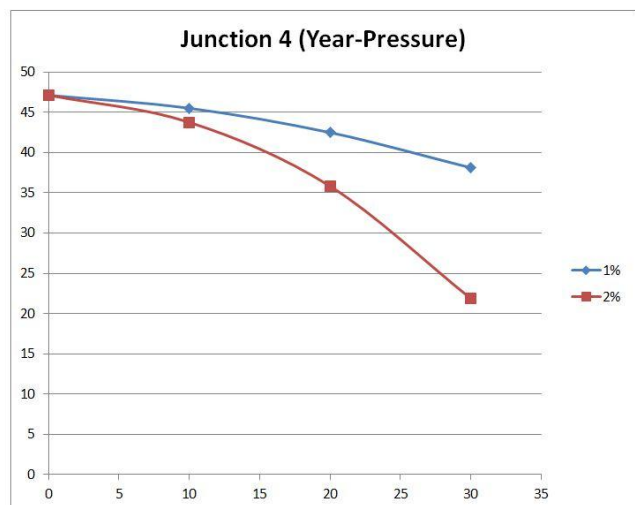
junction 14			
μεταβολή πληθυσμού (%)	χρόνια (έτη)	πίεση (m)	ποσοστό μεταβολής πίεσης (%)
1	0	38.4	-23.44
	10	36.78	
	20	33.77	
	30	29.4	
2	0	38.4	-65.73
	10	35.04	
	20	27.11	
	30	13.16	



junction 1			
μεταβολή πληθυσμού (%)	χρόνια (έτη)	πίεση (m)	ποσοστό μεταβολής πίεσης (%)
1	0	40.92	-21.97
	10	39.3	
	20	36.29	
	30	31.93	
2	0	40.92	-61.66
	10	37.56	
	20	29.64	
	30	15.69	

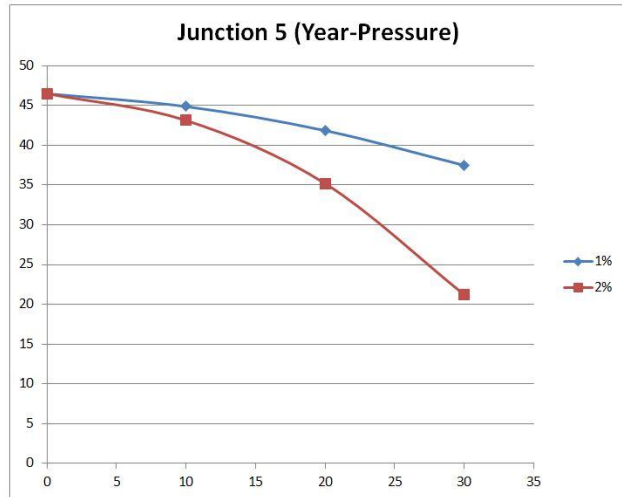


junction 4			
μεταβολή πληθυσμού (%)	χρόνια (έτη)	πίεση (m)	ποσοστό μεταβολής πίεσης (%)
1	0	47.12	-19.12
	10	45.5	
	20	42.48	
	30	38.11	
2	0	47.12	-53.63
	10	43.75	
	20	35.81	
	30	21.85	

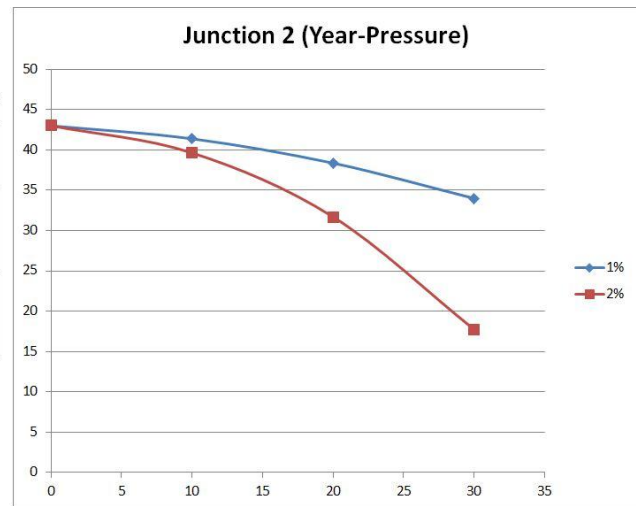


Σχήμα 5.5 (Συνέχεια)

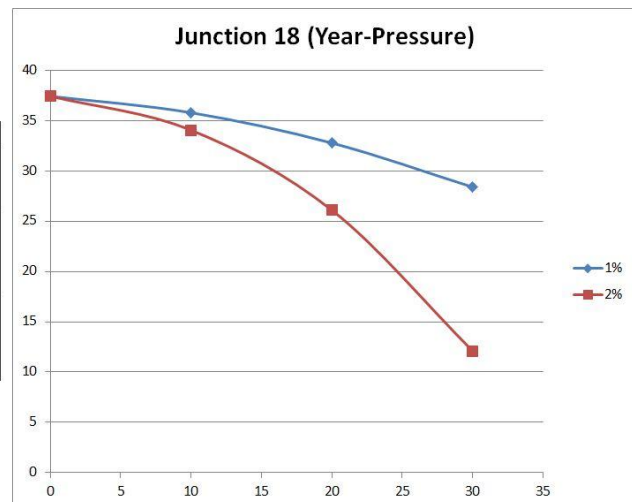
junction 5			
μεταβολή πληθυσμού (%)	χρόνια (έτη)	πίεση (m)	ποσοστό μεταβολής πίεσης (%)
1	0	46.48	-19.38
	10	44.86	
	20	41.84	
	30	37.47	
2	0	46.48	-54.37
	10	43.11	
	20	35.18	
	30	21.21	



junction 2			
μεταβολή πληθυσμού (%)	χρόνια (έτη)	πίεση (m)	ποσοστό μεταβολής πίεσης (%)
1	0	43	-20.95
	10	41.38	
	20	38.36	
	30	33.99	
2	0	43	-58.77
	10	39.63	
	20	31.69	
	30	17.73	

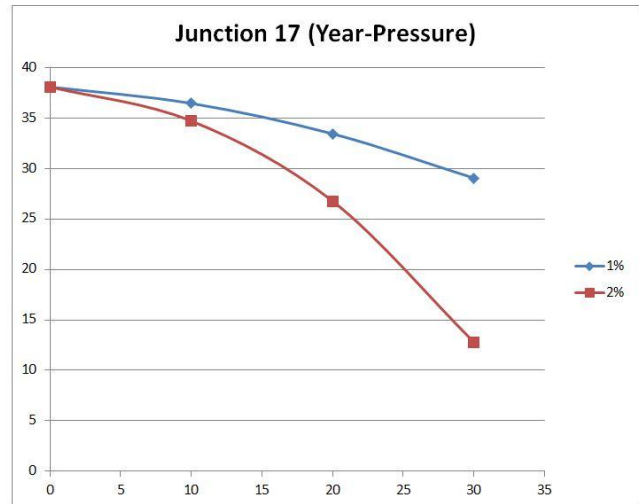


junction 18			
μεταβολή πληθυσμού (%)	χρόνια (έτη)	πίεση (m)	ποσοστό μεταβολής πίεσης (%)
1	0	37.41	-24.14
	10	35.77	
	20	32.76	
	30	28.38	
2	0	37.41	-67.68
	10	34.03	
	20	26.08	
	30	12.09	

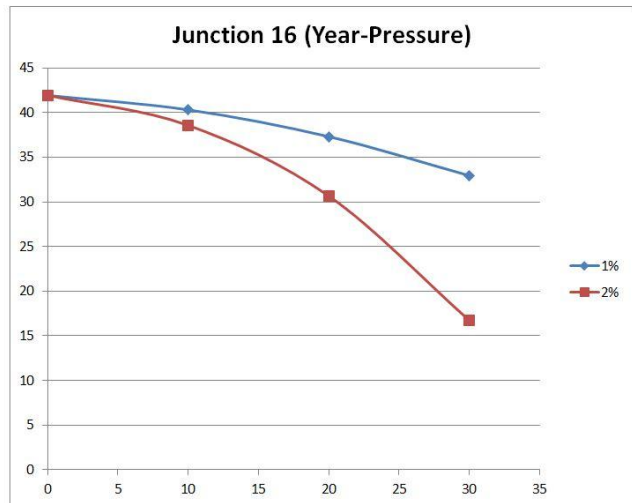


Σχήμα 5.5 (Συνέχεια)

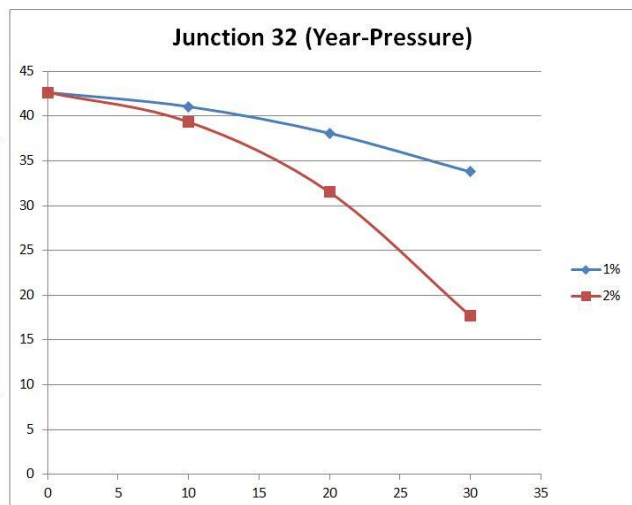
junction 17			
μεταβολή πληθυσμού (%)	χρόνια (έτη)	πίεση (m)	ποσοστό μεταβολής πίεσης (%)
1	0	38.06	-23.70
	10	36.43	
	20	33.42	
	30	29.04	
2	0	38.06	-66.42
	10	34.69	
	20	26.75	
	30	12.78	



junction 16			
μεταβολή πληθυσμού (%)	χρόνια (έτη)	πίεση (m)	ποσοστό μεταβολής πίεσης (%)
1	0	41.93	-21.44
	10	40.31	
	20	37.31	
	30	32.94	
2	0	41.93	-60.15
	10	38.57	
	20	30.65	
	30	16.71	

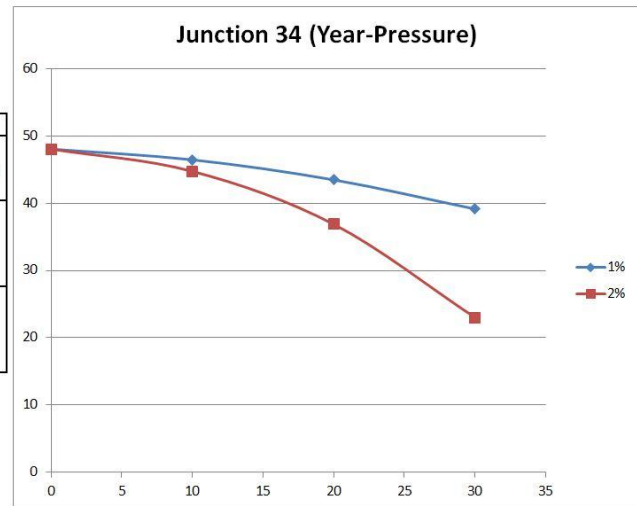


junction 32			
μεταβολή πληθυσμού (%)	χρόνια (έτη)	πίεση (m)	ποσοστό μεταβολής πίεσης (%)
1	0	42.64	-20.83
	10	41.05	
	20	38.08	
	30	33.76	
2	0	42.64	-58.56
	10	39.34	
	20	31.49	
	30	17.67	

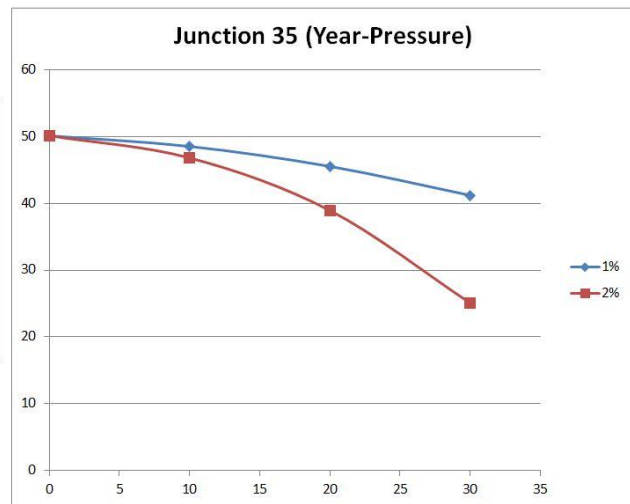


Σχήμα 5.5 (Συνέχεια)

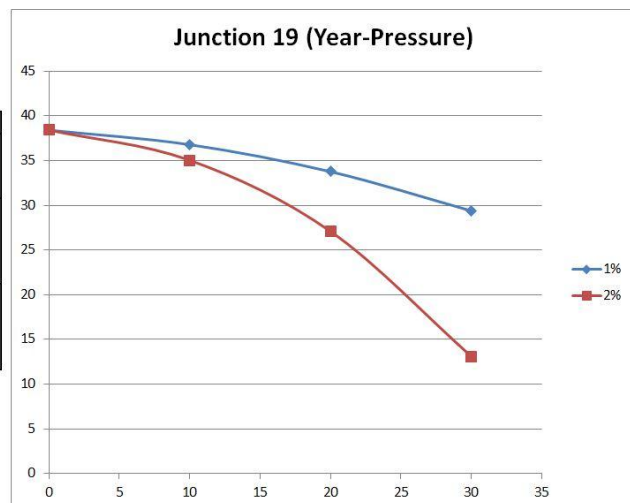
junction 34			
μεταβολή πληθυσμού (%)	χρόνια (έτη)	πίεση (m)	ποσοστό μεταβολής πίεσης (%)
1	0	48.03	-18.53
	10	46.44	
	20	43.46	
	30	39.13	
2	0	48.03	-52.09
	10	44.72	
	20	36.86	
	30	23.01	



junction 35			
μεταβολή πληθυσμού (%)	χρόνια (έτη)	πίεση (m)	ποσοστό μεταβολής πίεσης (%)
1	0	50.1	-17.78
	10	48.5	
	20	45.52	
	30	41.19	
2	0	50.1	-49.96
	10	46.78	
	20	38.92	
	30	25.07	

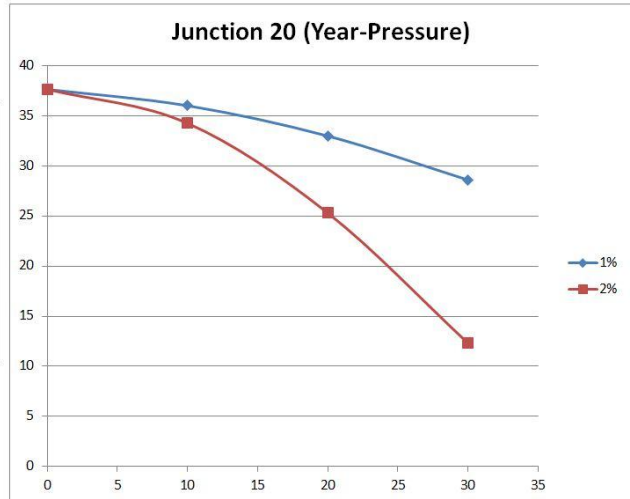


junction 19			
μεταβολή πληθυσμού (%)	χρόνια (έτη)	πίεση (m)	ποσοστό μεταβολής πίεσης (%)
1	0	38.41	-23.51
	10	36.78	
	20	33.76	
	30	29.38	
2	0	38.41	-65.89
	10	35.03	
	20	27.08	
	30	13.1	

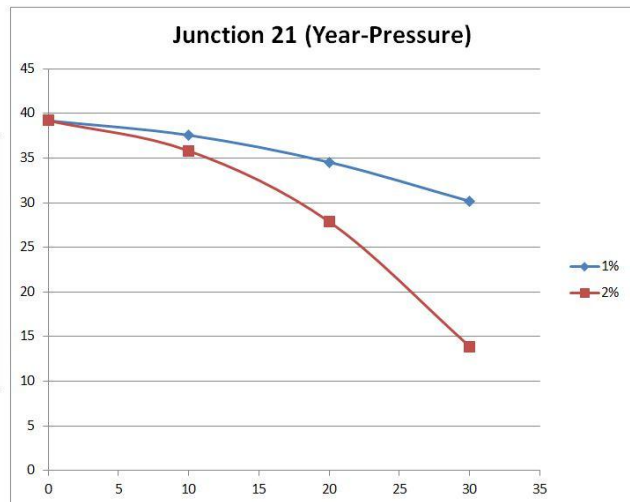


Σχήμα 5.5 (Συνέχεια)

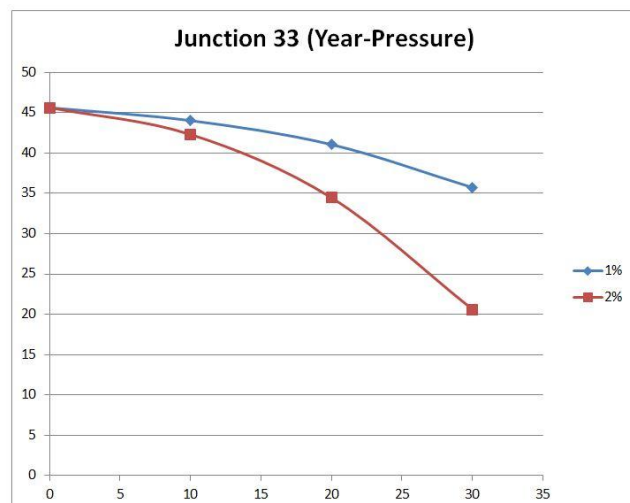
junction 20			
μεταβολή πληθυσμού (%)	χρόνια (έτη)	πίεση (m)	ποσοστό μεταβολής πίεσης (%)
1	0	37.61	-24.01
	10	35.98	
	20	32.96	
	30	28.58	
2	0	37.61	-67.30
	10	34.23	
	20	25.28	
	30	12.3	



junction 21			
μεταβολή πληθυσμού (%)	χρόνια (έτη)	πίεση (m)	ποσοστό μεταβολής πίεσης (%)
1	0	39.19	-23.02
	10	37.56	
	20	34.54	
	30	30.17	
2	0	39.19	-64.53
	10	35.81	
	20	27.87	
	30	13.9	

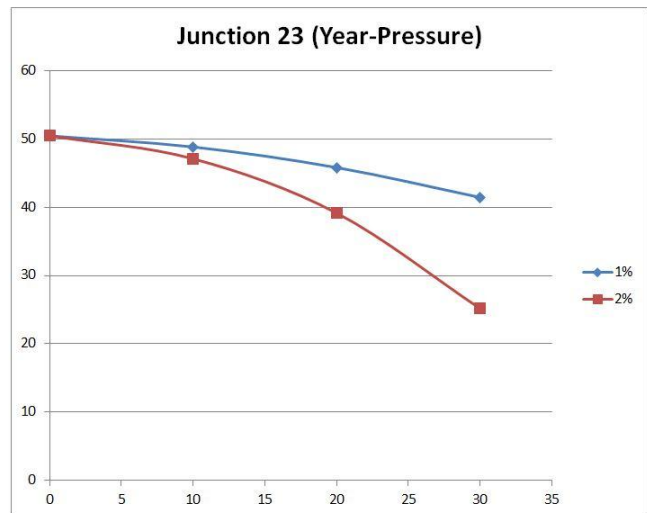


junction 33			
μεταβολή πληθυσμού (%)	χρόνια (έτη)	πίεση (m)	ποσοστό μεταβολής πίεσης (%)
1	0	45.62	-21.70
	10	44.02	
	20	41.05	
	30	35.72	
2	0	45.62	-54.82
	10	42.3	
	20	34.45	
	30	20.61	

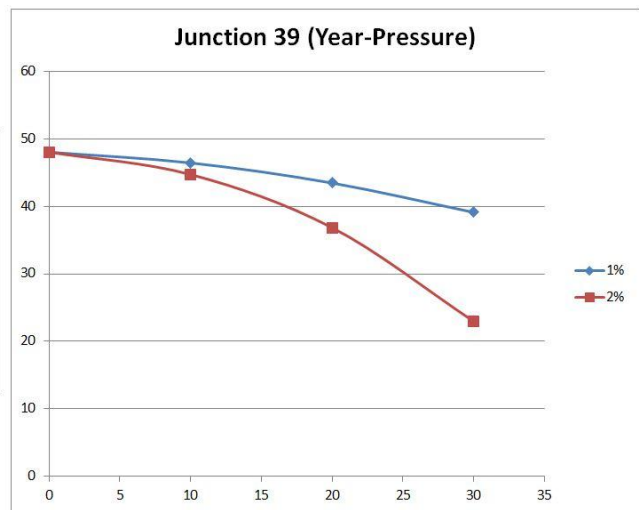


Σχήμα 5.5 (Συνέχεια)

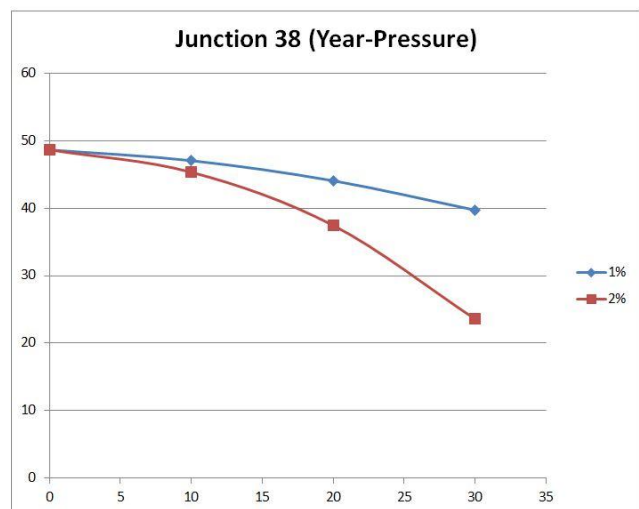
junction 23			
μεταβολή πληθυσμού (%)	χρόνια (έτη)	πίεση (m)	ποσοστό μεταβολής πίεσης (%)
1	0	50.44	-17.86
	10	48.81	
	20	45.8	
	30	41.43	
2	0	50.44	-50.12
	10	47.07	
	20	39.13	
	30	25.16	



junction 39			
μεταβολή πληθυσμού (%)	χρόνια (έτη)	πίεση (m)	ποσοστό μεταβολής πίεσης (%)
1	0	48.02	-18.58
	10	46.42	
	20	43.44	
	30	39.1	
2	0	48.02	-52.19
	10	44.7	
	20	36.83	
	30	22.96	

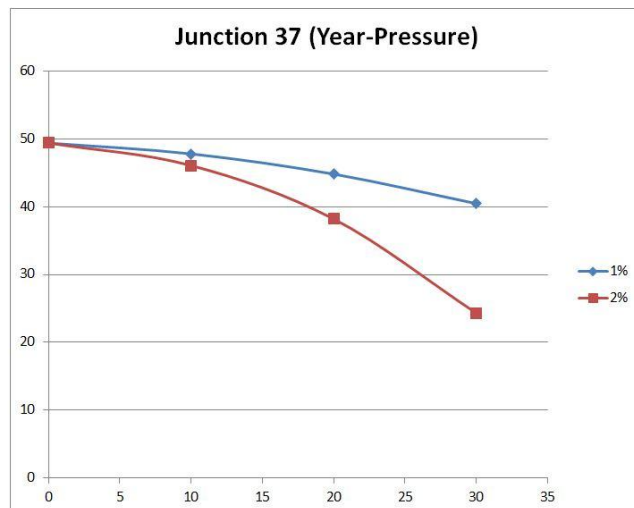


junction 38			
μεταβολή πληθυσμού (%)	χρόνια (έτη)	πίεση (m)	ποσοστό μεταβολής πίεσης (%)
1	0	48.63	-18.34
	10	47.03	
	20	44.05	
	30	39.71	
2	0	48.63	-51.53
	10	45.31	
	20	37.44	
	30	23.57	

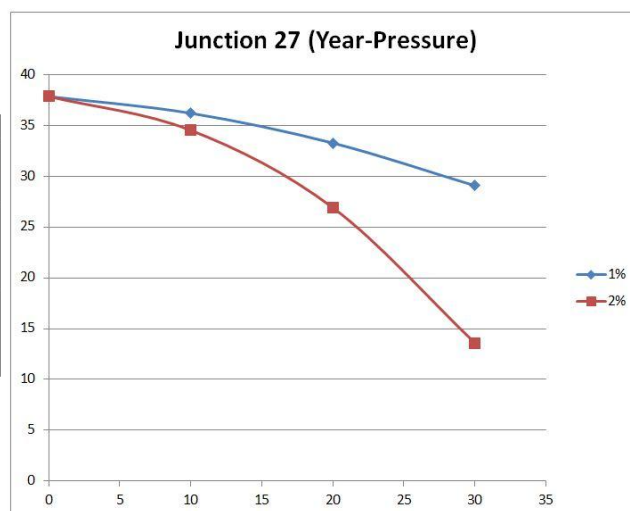


Σχήμα 5.5 (Συνέχεια)

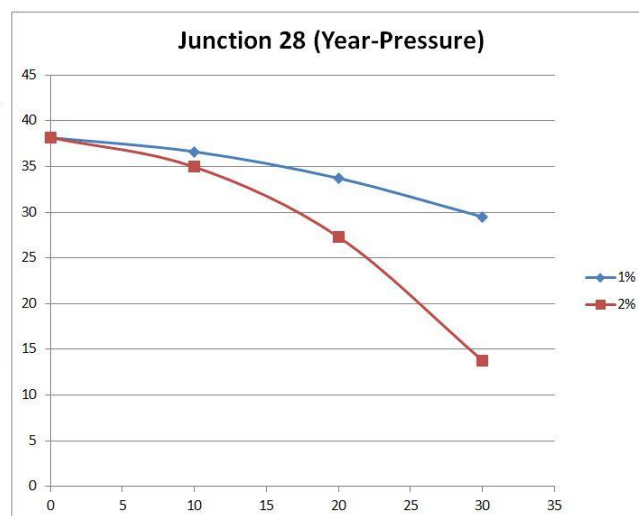
junction 37			
μεταβολή πληθυσμού (%)	χρόνια (έτη)	πίεση (m)	ποσοστό μεταβολής πίεσης (%)
1	0	49.37	-18.07
	10	47.77	
	20	44.79	
	30	40.45	
2	0	49.37	-50.76
	10	46.05	
	20	38.18	
	30	24.31	



junction 27			
μεταβολή πληθυσμού (%)	χρόνια (έτη)	πίεση (m)	ποσοστό μεταβολής πίεσης (%)
1	0	37.83	-23.18
	10	36.18	
	20	33.25	
	30	29.06	
2	0	37.83	-64.08
	10	34.5	
	20	26.89	
	30	13.59	

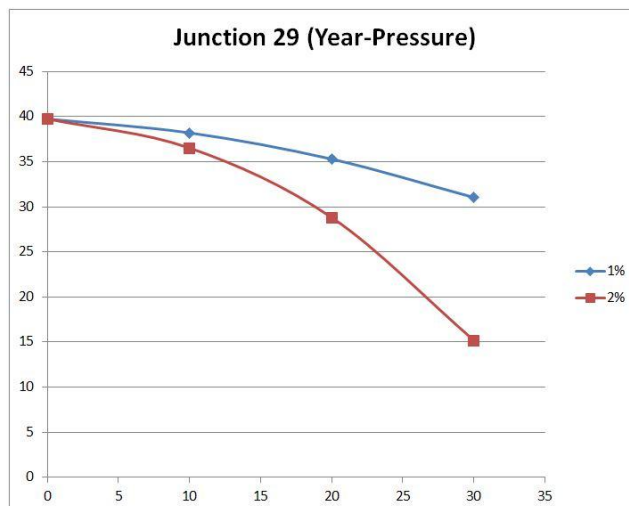


junction 28			
μεταβολή πληθυσμού (%)	χρόνια (έτη)	πίεση (m)	ποσοστό μεταβολής πίεσης (%)
1	0	38.16	-22.69
	10	36.62	
	20	33.72	
	30	29.5	
2	0	38.16	-63.89
	10	34.95	
	20	27.3	
	30	13.78	

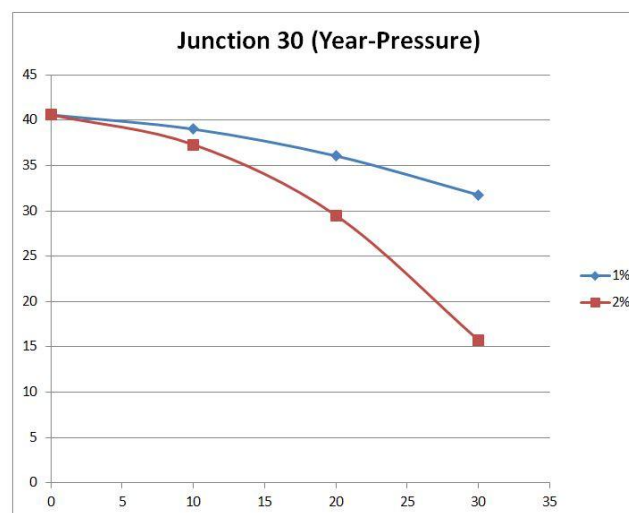


Σχήμα 5.5 (Συνέχεια)

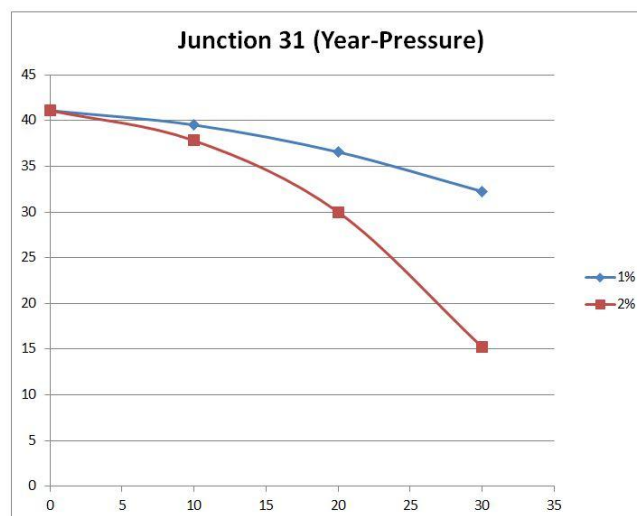
junction 29			
μεταβολή πληθυσμού (%)	χρόνια (έτη)	πίεση (m)	ποσοστό μεταβολής πίεσης (%)
1	0	39.74	-21.89
	10	38.2	
	20	35.29	
	30	31.04	
2	0	39.74	-61.78
	10	36.52	
	20	28.81	
	30	15.19	



junction 30			
μεταβολή πληθυσμού (%)	χρόνια (έτη)	πίεση (m)	ποσοστό μεταβολής πίεσης (%)
1	0	40.59	-21.75
	10	39.01	
	20	36.06	
	30	31.76	
2	0	40.59	-61.22
	10	37.31	
	20	29.5	
	30	15.74	

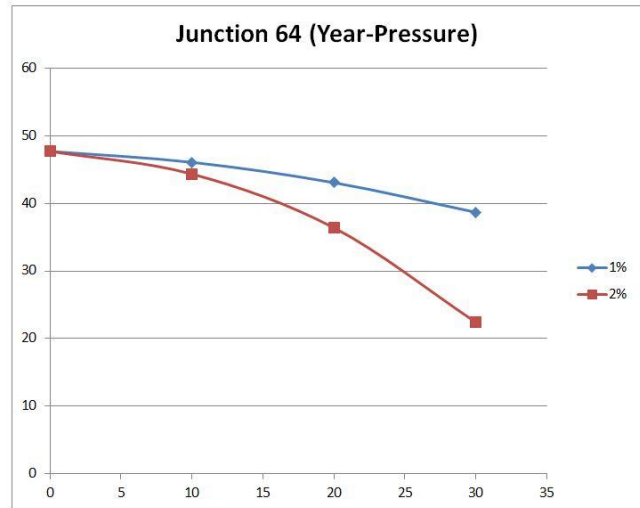


junction 31			
μεταβολή πληθυσμού (%)	χρόνια (έτη)	πίεση (m)	ποσοστό μεταβολής πίεσης (%)
1	0	41.1	-21.53
	10	39.52	
	20	36.56	
	30	32.25	
2	0	41.1	-62.99
	10	37.81	
	20	29.99	
	30	15.21	

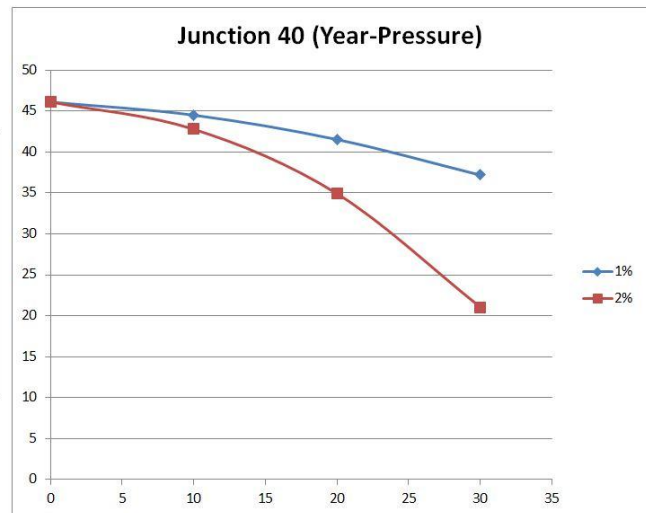


Σχήμα 5.5 (Συνέχεια)

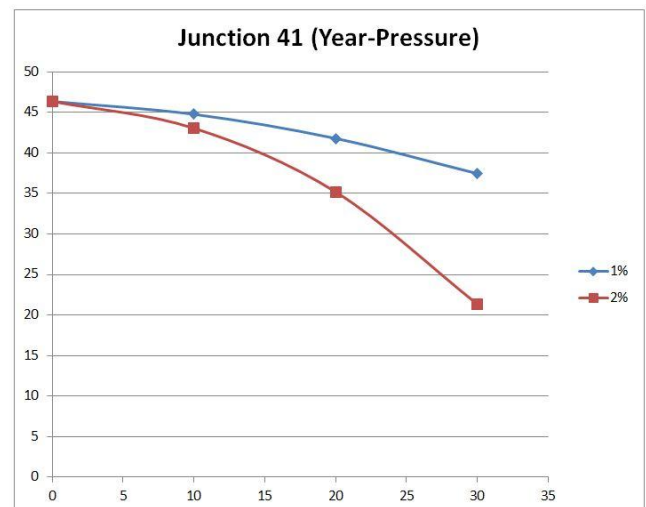
junction 64			
μεταβολή πληθυσμού (%)	χρόνια (έτη)	πίεση (m)	ποσοστό μεταβολής πίεσης (%)
1	0	47.68	-18.90
	10	46.06	
	20	43.05	
	30	38.67	
2	0	47.68	-53.00
	10	44.32	
	20	36.38	
	30	22.41	



junction 40			
μεταβολή πληθυσμού (%)	χρόνια (έτη)	πίεση (m)	ποσοστό μεταβολής πίεσης (%)
1	0	46.1	-19.35
	10	44.5	
	20	41.52	
	30	37.18	
2	0	46.1	-54.34
	10	42.78	
	20	34.91	
	30	21.05	

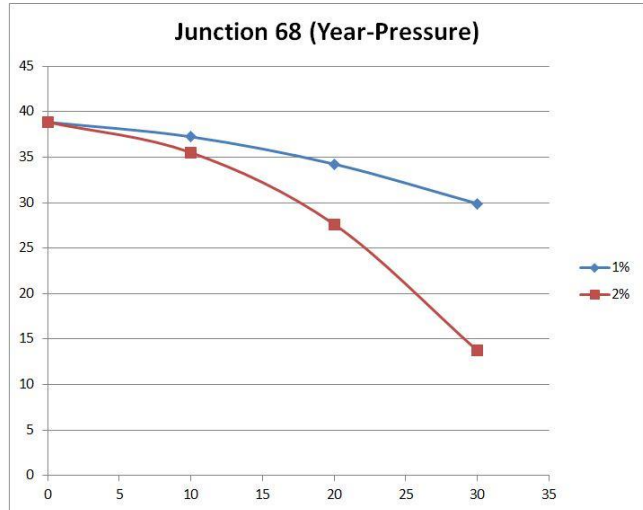


junction 41			
μεταβολή πληθυσμού (%)	χρόνια (έτη)	πίεση (m)	ποσοστό μεταβολής πίεσης (%)
1	0	46.35	-19.20
	10	44.76	
	20	41.78	
	30	37.45	
2	0	46.35	-53.98
	10	43.04	
	20	35.18	
	30	21.33	

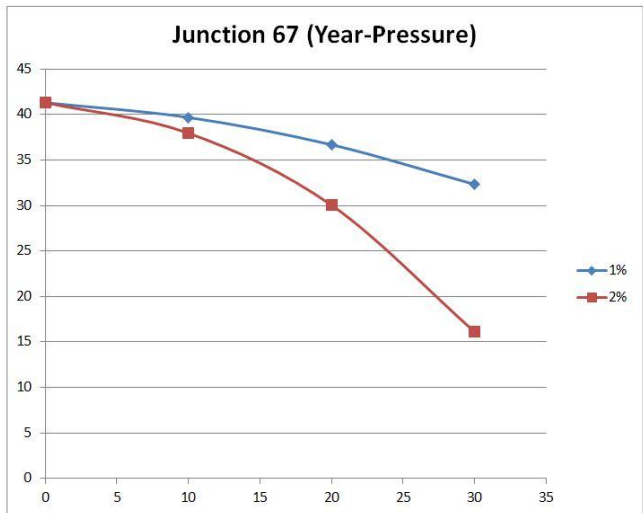


Σχήμα 5.5 (Συνέχεια)

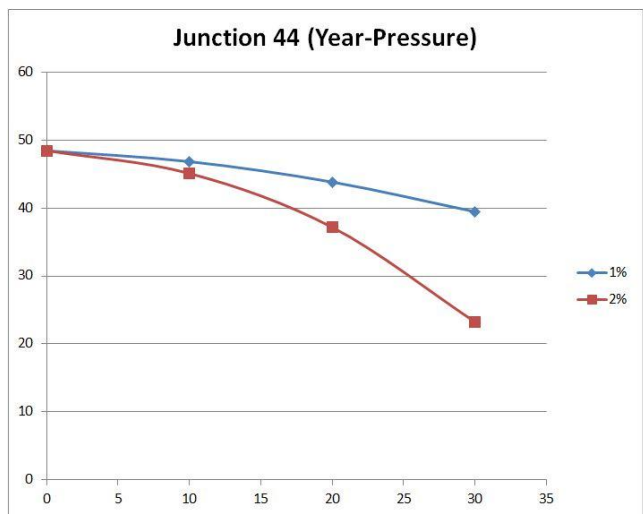
junction 68			
μεταβολή πληθυσμού (%)	χρόνια (έτη)	πίεση (m)	ποσοστό μεταβολής πίεσης (%)
1	0	38.85	-23.04
	10	37.24	
	20	34.24	
	30	29.9	
2	0	38.85	-64.66
	10	35.51	
	20	27.62	
	30	13.73	



junction 67			
μεταβολή πληθυσμού (%)	χρόνια (έτη)	πίεση (m)	ποσοστό μεταβολής πίεσης (%)
1	0	41.3	-21.74
	10	39.68	
	20	36.68	
	30	32.32	
2	0	41.3	-61.02
	10	37.95	
	20	30.03	
	30	16.1	

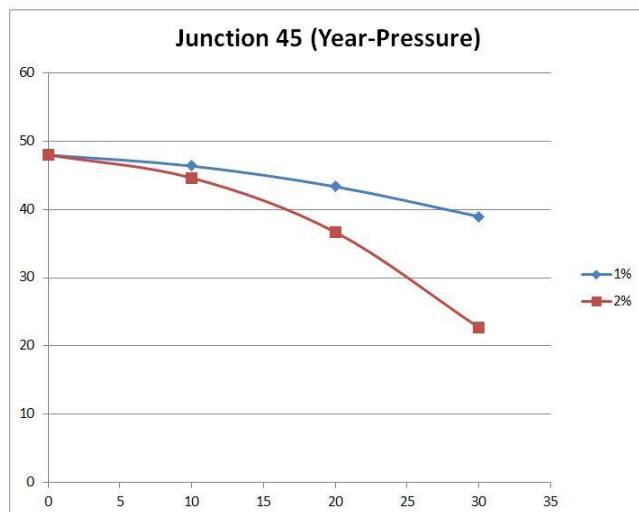


junction 44			
μεταβολή πληθυσμού (%)	χρόνια (έτη)	πίεση (m)	ποσοστό μεταβολής πίεσης (%)
1	0	48.43	-18.54
	10	46.82	
	20	43.81	
	30	39.45	
2	0	48.43	-52.03
	10	45.08	
	20	37.16	
	30	23.23	

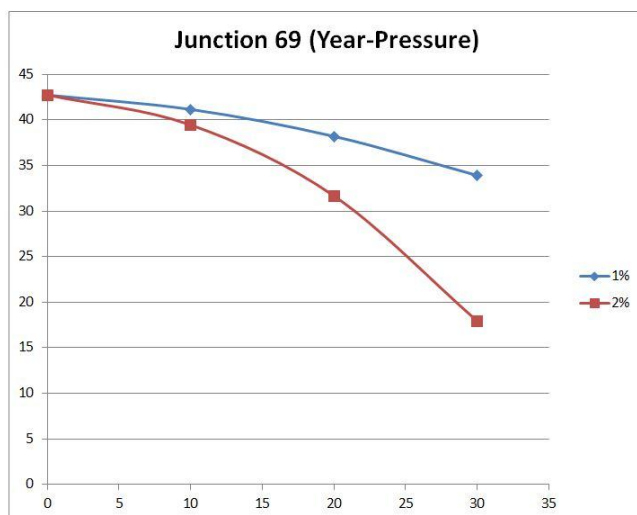


Σχήμα 5.5 (Συνέχεια)

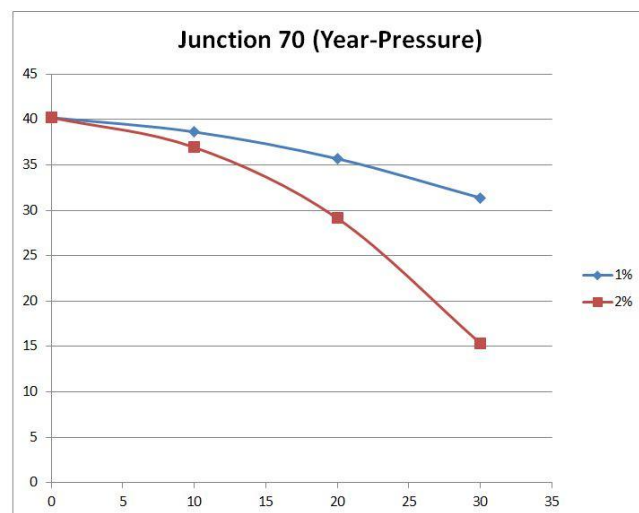
junction 45			
μεταβολή πληθυσμού (%)	χρόνια (έτη)	πίεση (m)	ποσοστό μεταβολής πίεσης (%)
1	0	47.95	-18.77
	10	46.33	
	20	43.32	
	30	38.95	
2	0	47.95	-52.66
	10	44.59	
	20	36.66	
	30	22.7	



junction 69			
μεταβολή πληθυσμού (%)	χρόνια (έτη)	πίεση (m)	ποσοστό μεταβολής πίεσης (%)
1	0	42.73	-20.64
	10	41.15	
	20	38.2	
	30	33.91	
2	0	42.73	-58.04
	10	39.45	
	20	31.66	
	30	17.93	

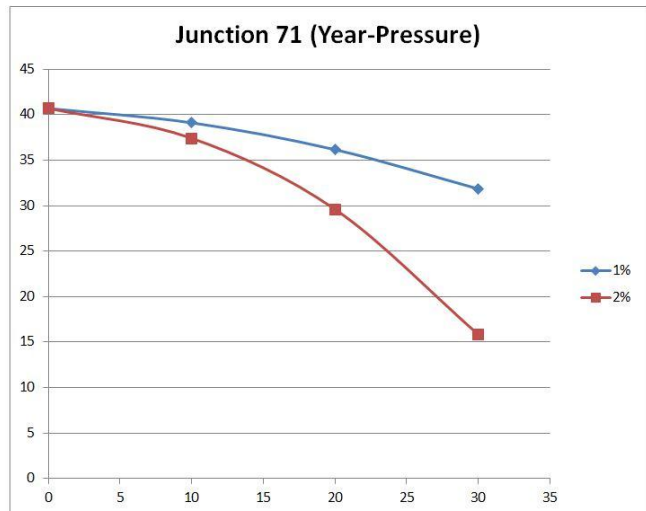


junction 70			
μεταβολή πληθυσμού (%)	χρόνια (έτη)	πίεση (m)	ποσοστό μεταβολής πίεσης (%)
1	0	40.21	-21.98
	10	38.63	
	20	35.68	
	30	31.37	
2	0	40.21	-61.85
	10	36.93	
	20	29.12	
	30	15.34	

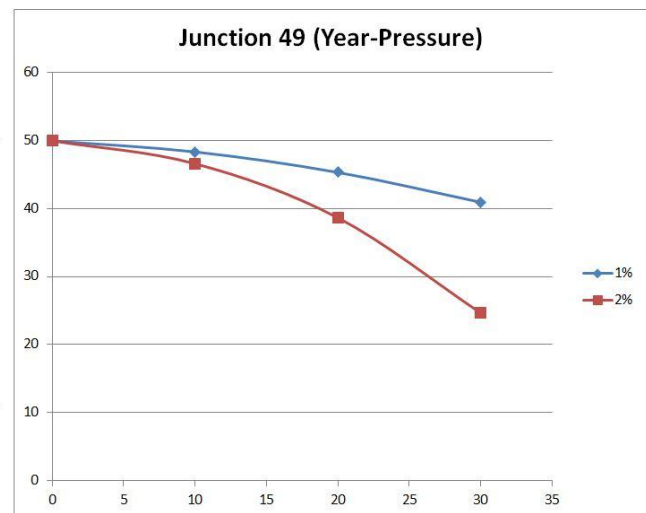


Σχήμα 5.5 (Συνέχεια)

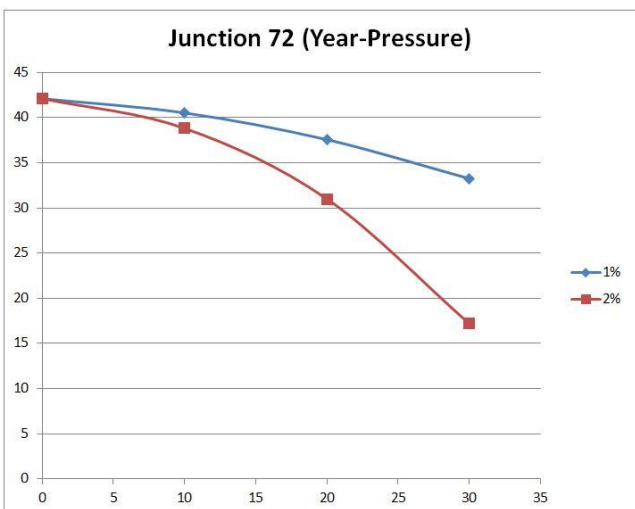
junction 71			
μεταβολή πληθυσμού (%)	χρόνια (έτη)	πίεση (m)	ποσοστό μεταβολής πίεσης (%)
1	0	40.69	-21.73
	10	39.11	
	20	36.16	
	30	31.85	
2	0	40.69	-61.10
	10	37.41	
	20	29.6	
	30	15.83	



junction 49			
μεταβολή πληθυσμού (%)	χρόνια (έτη)	πίεση (m)	ποσοστό μεταβολής πίεσης (%)
1	0	49.91	-18.05
	10	48.29	
	20	45.28	
	30	40.9	
2	0	49.91	-50.63
	10	46.55	
	20	38.61	
	30	24.64	

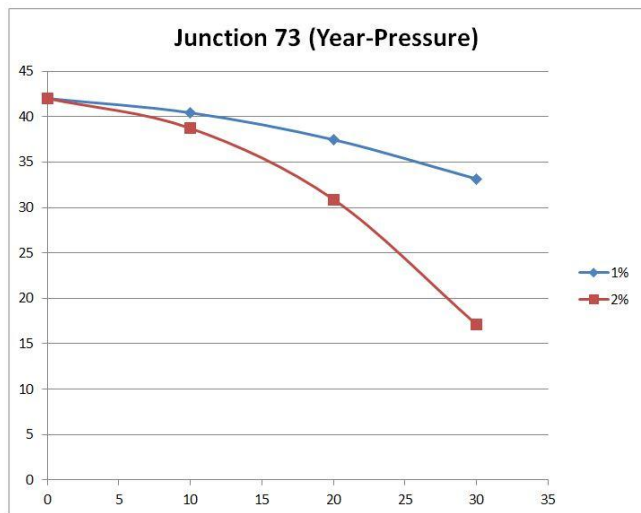


junction 72			
μεταβολή πληθυσμού (%)	χρόνια (έτη)	πίεση (m)	ποσοστό μεταβολής πίεσης (%)
1	0	42.1	-21.02
	10	40.52	
	20	37.56	
	30	33.25	
2	0	42.1	-59.17
	10	38.81	
	20	30.99	
	30	17.19	

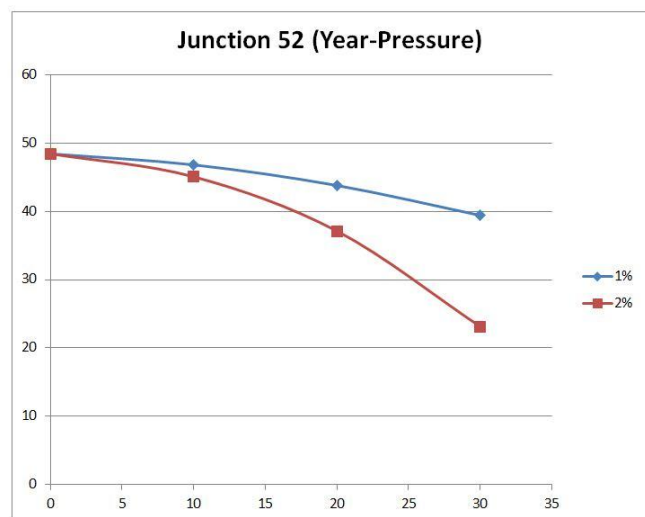


Σχήμα 5.5 (Συνέχεια)

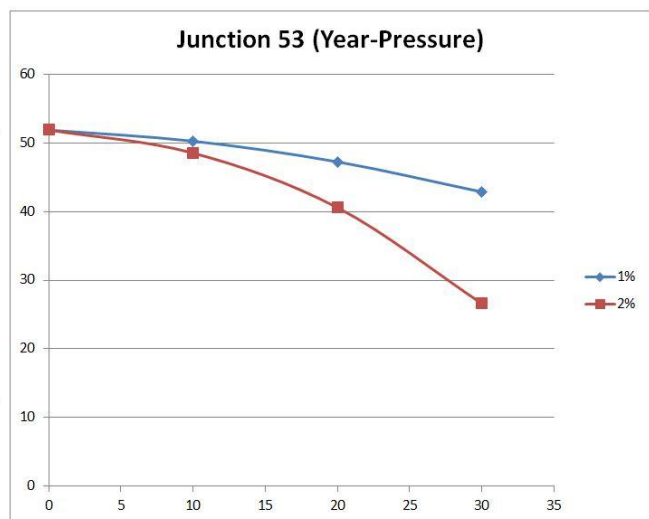
junction 73			
μεταβολή πληθυσμού (%)	χρόνια (έτη)	πίεση (m)	ποσοστό μεταβολής πίεσης (%)
1	0	42.01	-21.09
	10	40.43	
	20	37.47	
	30	33.15	
2	0	42.01	-59.30
	10	38.72	
	20	30.89	
	30	17.1	



junction 52			
μεταβολή πληθυσμού (%)	χρόνια (έτη)	πίεση (m)	ποσοστό μεταβολής πίεσης (%)
1	0	48.41	-18.61
	10	46.79	
	20	43.78	
	30	39.4	
2	0	48.41	-52.20
	10	45.05	
	20	37.11	
	30	23.14	

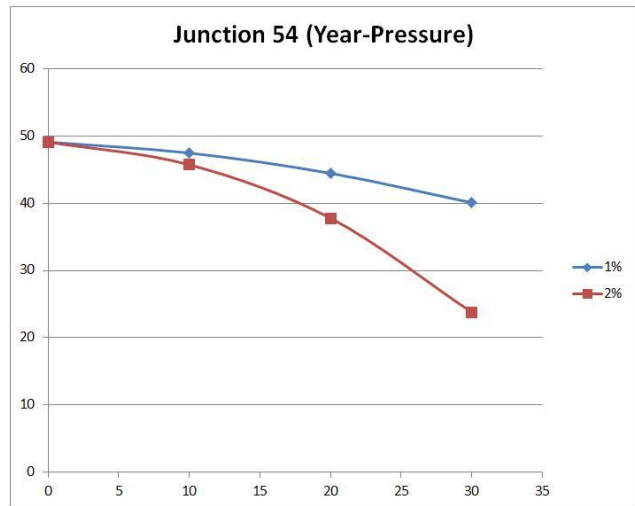


junction 53			
μεταβολή πληθυσμού (%)	χρόνια (έτη)	πίεση (m)	ποσοστό μεταβολής πίεσης (%)
1	0	51.86	-17.37
	10	50.24	
	20	47.23	
	30	42.85	
2	0	51.86	-48.73
	10	48.5	
	20	40.56	
	30	26.59	

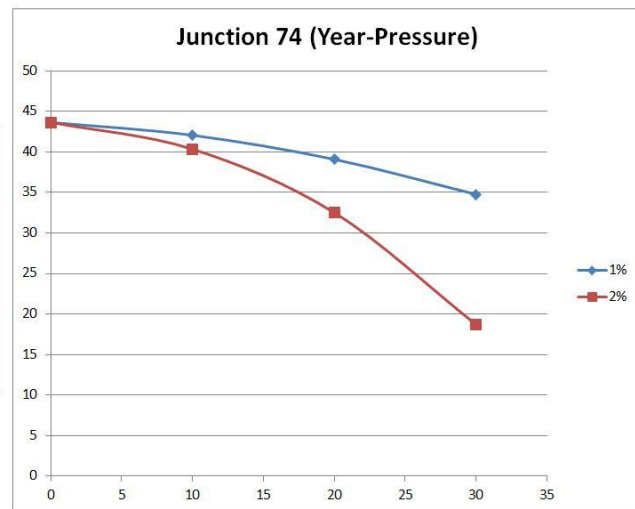


Σχήμα 5.5 (Συνέχεια)

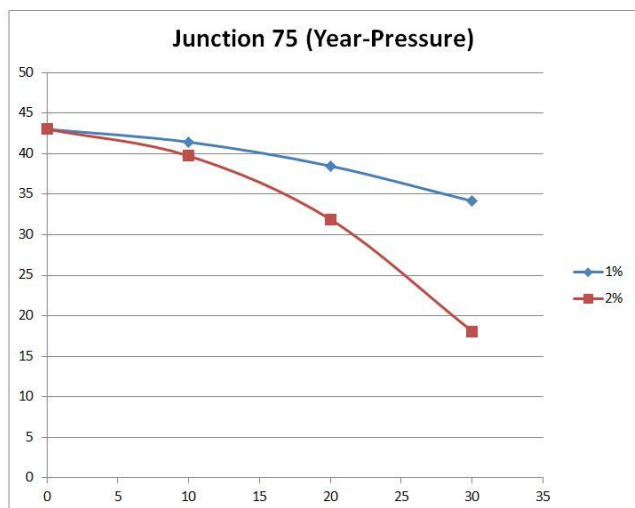
junction 54			
μεταβολή πληθυσμού (%)	χρόνια (έτη)	πίεση (m)	ποσοστό μεταβολής πίεσης (%)
1	0	49.07	-18.36
	10	47.44	
	20	44.43	
	30	40.06	
2	0	49.07	-51.52
	10	45.7	
	20	37.76	
	30	23.79	



junction 74			
μεταβολή πληθυσμού (%)	χρόνια (έτη)	πίεση (m)	ποσοστό μεταβολής πίεσης (%)
1	0	43.64	-20.35
	10	42.05	
	20	39.08	
	30	34.76	
2	0	43.64	-57.17
	10	40.33	
	20	32.5	
	30	18.69	

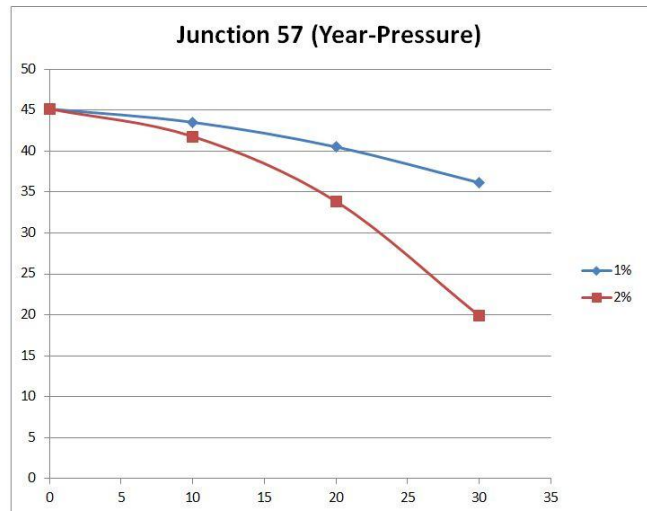


junction 75			
μεταβολή πληθυσμού (%)	χρόνια (έτη)	πίεση (m)	ποσοστό μεταβολής πίεσης (%)
1	0	43.02	-20.62
	10	41.43	
	20	38.47	
	30	34.15	
2	0	43.02	-57.97
	10	39.72	
	20	31.89	
	30	18.08	

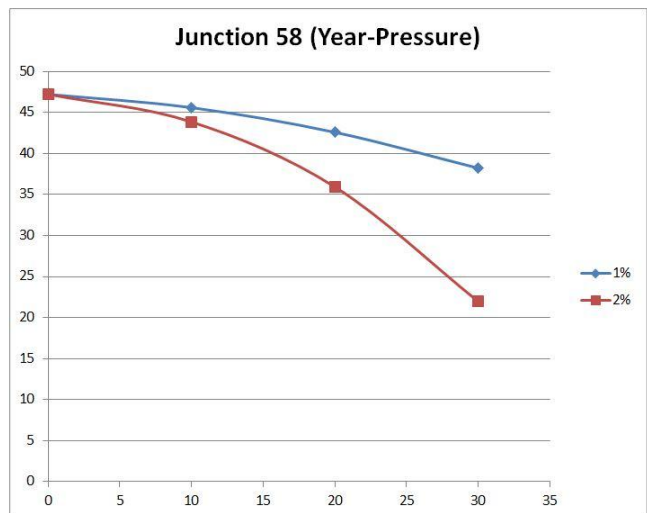


Σχήμα 5.5 (Συνέχεια)

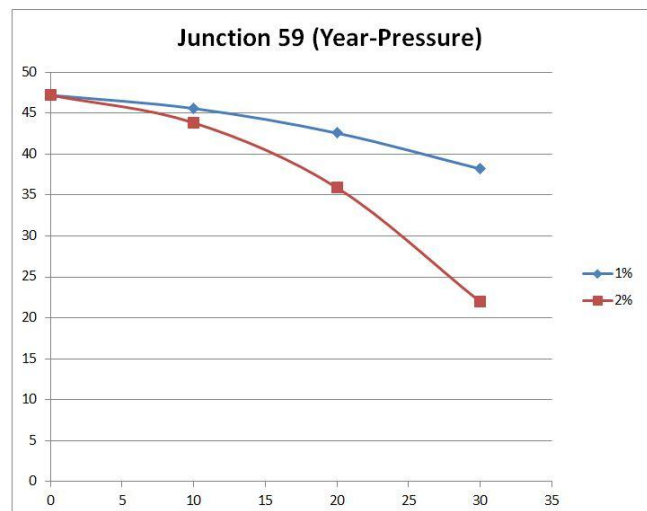
junction 57			
μεταβολή πληθυσμού (%)	χρόνια (έτη)	πίεση (m)	ποσοστό μεταβολής πίεσης (%)
1	0	45.15	-19.96
	10	43.52	
	20	40.51	
	30	36.14	
2	0	45.15	-55.97
	10	41.78	
	20	33.85	
	30	19.88	



junction 58			
μεταβολή πληθυσμού (%)	χρόνια (έτη)	πίεση (m)	ποσοστό μεταβολής πίεσης (%)
1	0	47.21	-19.06
	10	45.59	
	20	42.58	
	30	38.21	
2	0	47.21	-53.51
	10	43.85	
	20	35.92	
	30	21.95	

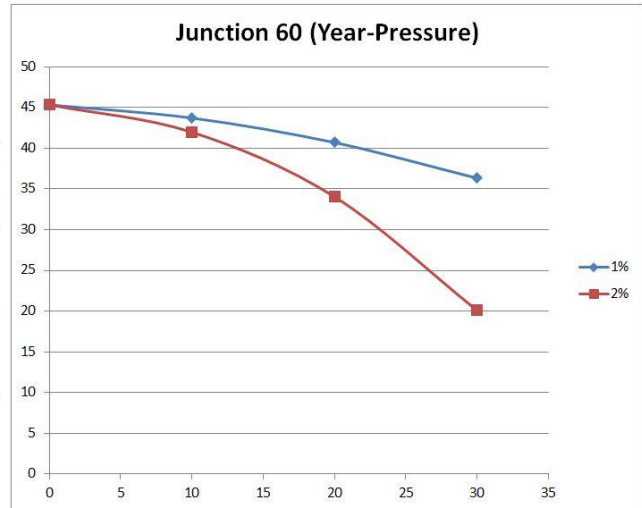


junction 59			
μεταβολή πληθυσμού (%)	χρόνια (έτη)	πίεση (m)	ποσοστό μεταβολής πίεσης (%)
1	0	47.19	-19.07
	10	45.57	
	20	42.56	
	30	38.19	
2	0	47.19	-53.51
	10	43.82	
	20	35.89	
	30	21.94	

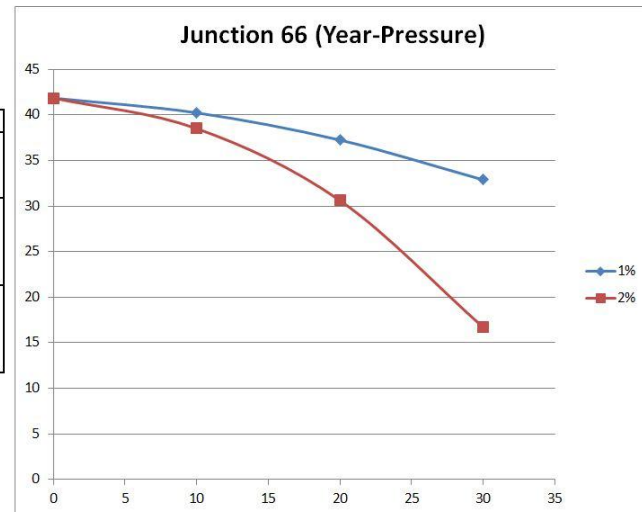


Σχήμα 5.5 (Συνέχεια)

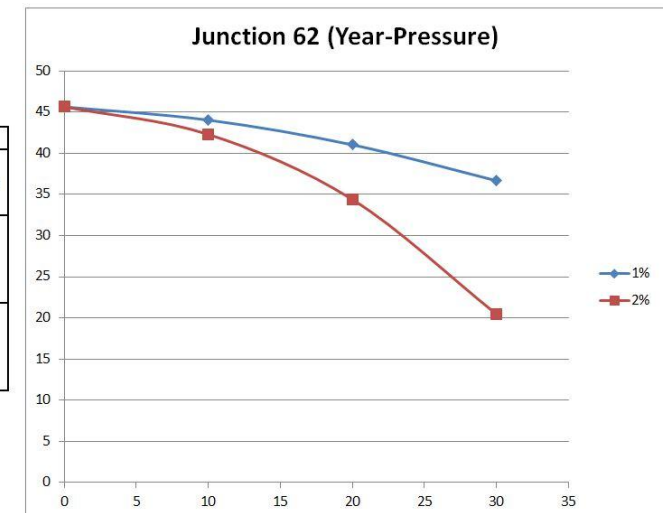
junction 60			
μεταβολή πληθυσμού (%)	χρόνια (έτη)	πίεση (m)	ποσοστό μεταβολής πίεσης (%)
1	0	45.32	-19.86
	10	43.7	
	20	40.69	
	30	36.32	
2	0	45.32	-55.71
	10	41.96	
	20	34.03	
	30	20.07	



junction 66			
μεταβολή πληθυσμού (%)	χρόνια (έτη)	πίεση (m)	ποσοστό μεταβολής πίεσης (%)
1	0	41.85	-21.43
	10	40.23	
	20	37.24	
	30	32.88	
2	0	41.85	-60.12
	10	38.5	
	20	30.6	
	30	16.69	

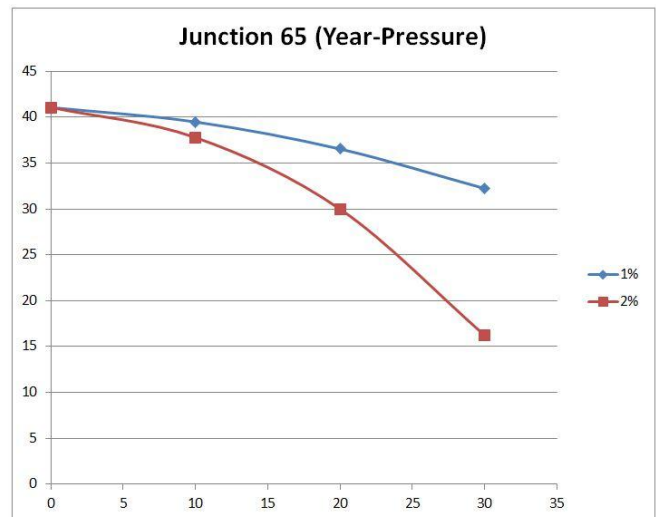


junction 62			
μεταβολή πληθυσμού (%)	χρόνια (έτη)	πίεση (m)	ποσοστό μεταβολής πίεσης (%)
1	0	45.64	-19.65
	10	44.03	
	20	41.03	
	30	36.67	
2	0	45.64	-55.19
	10	42.29	
	20	34.38	
	30	20.45	

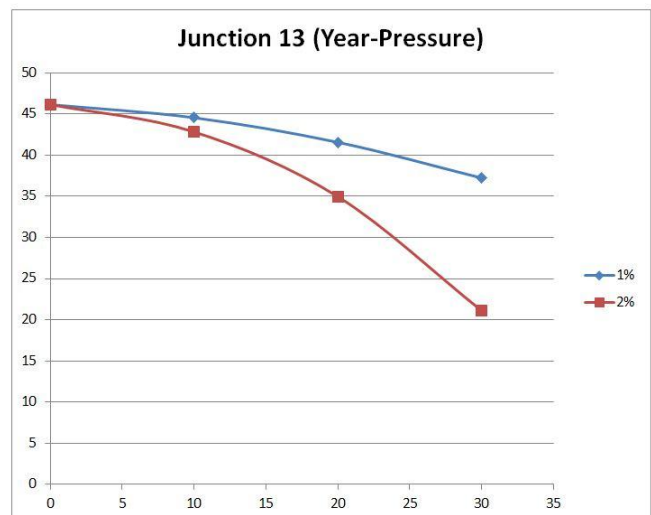


Σχήμα 5.5 (Συνέχεια)

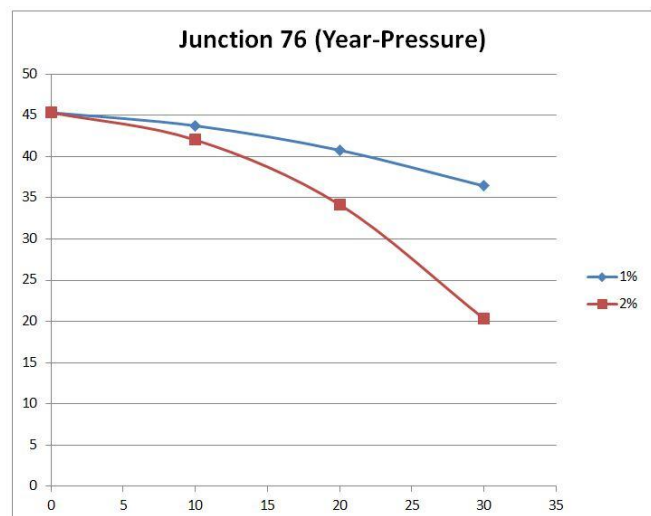
junction 65			
μεταβολή πληθυσμού (%)	χρόνια (έτη)	πίεση (m)	ποσοστό μεταβολής πίεσης (%)
1	0	41.06	-21.51
	10	39.48	
	20	36.53	
	30	32.23	
2	0	41.06	-60.50
	10	37.78	
	20	29.98	
	30	16.22	



junction 13			
μεταβολή πληθυσμού (%)	χρόνια (έτη)	πίεση (m)	ποσοστό μεταβολής πίεσης (%)
1	0	46.14	-19.33
	10	44.54	
	20	41.56	
	30	37.22	
2	0	46.14	-54.29
	10	42.82	
	20	34.95	
	30	21.09	

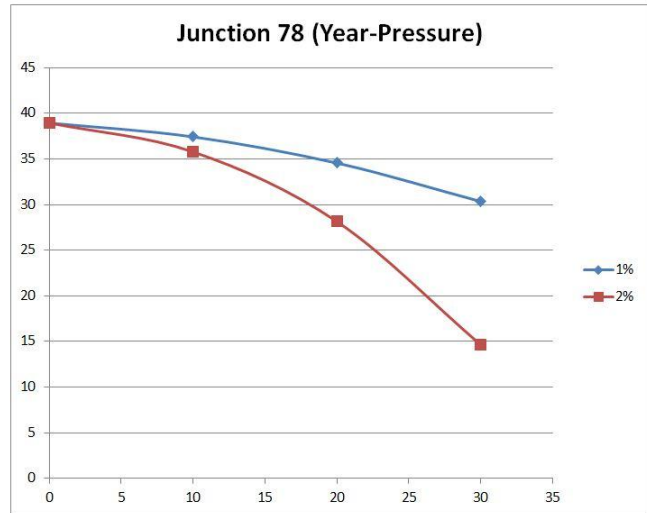


junction 76			
μεταβολή πληθυσμού (%)	χρόνια (έτη)	πίεση (m)	ποσοστό μεταβολής πίεσης (%)
1	0	45.33	-19.63
	10	43.73	
	20	40.76	
	30	36.43	
2	0	45.33	-55.17
	10	42.01	
	20	34.16	
	30	20.32	

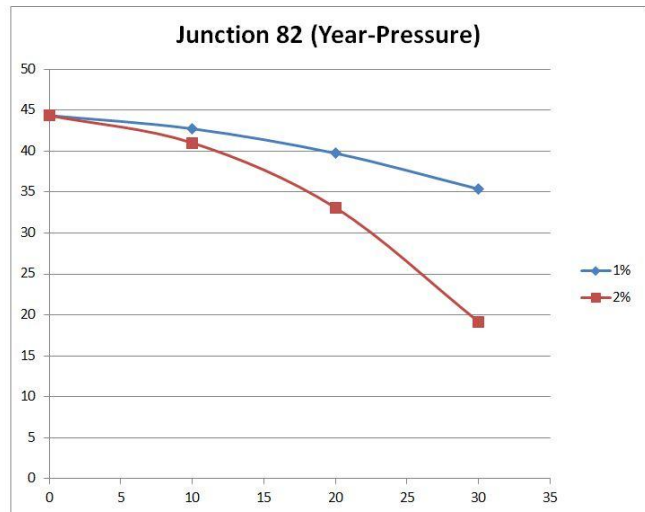


Σχήμα 5.5 (Συνέχεια)

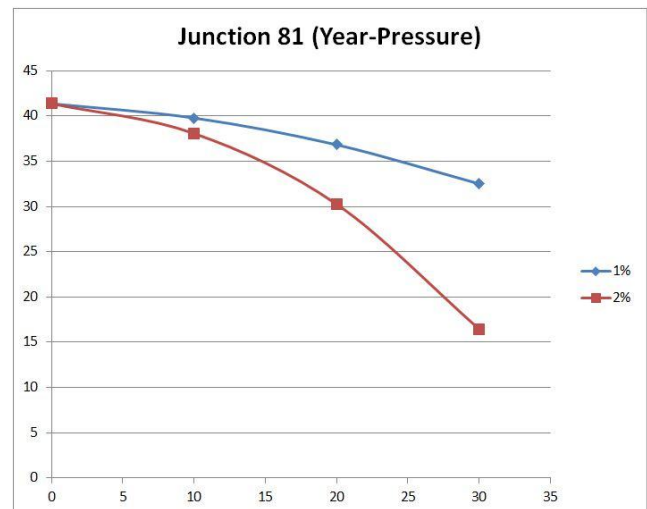
junction 78			
μεταβολή πληθυσμού (%)	χρόνια (έτη)	πίεση (m)	ποσοστό μεταβολής πίεσης (%)
1	0	38.94	-22.09
	10	37.42	
	20	34.55	
	30	30.34	
2	0	38.94	-62.43
	10	35.77	
	20	28.14	
	30	14.63	



junction 82			
μεταβολή πληθυσμού (%)	χρόνια (έτη)	πίεση (m)	ποσοστό μεταβολής πίεσης (%)
1	0	44.35	-20.25
	10	42.73	
	20	39.73	
	30	35.37	
2	0	44.35	-56.80
	10	41	
	20	33.09	
	30	19.16	

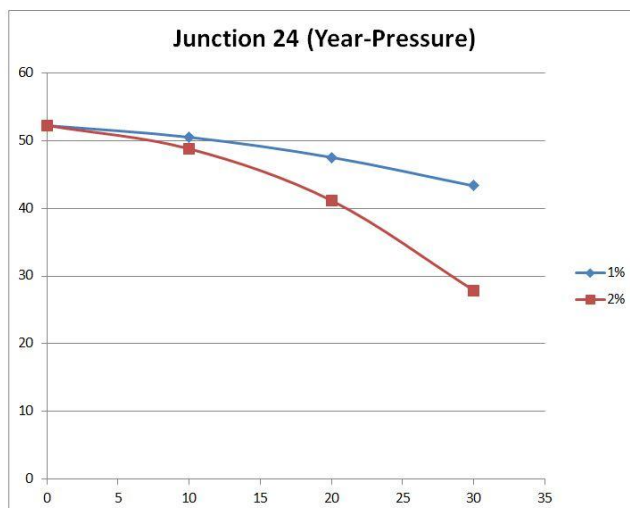


junction 81			
μεταβολή πληθυσμού (%)	χρόνια (έτη)	πίεση (m)	ποσοστό μεταβολής πίεσης (%)
1	0	41.36	-21.40
	10	39.78	
	20	36.82	
	30	32.51	
2	0	41.36	-60.23
	10	38.07	
	20	30.25	
	30	16.45	

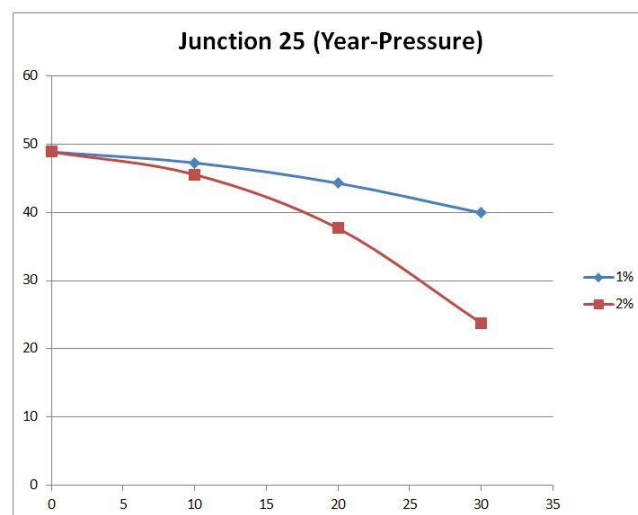


Σχήμα 5.5 (Συνέχεια)

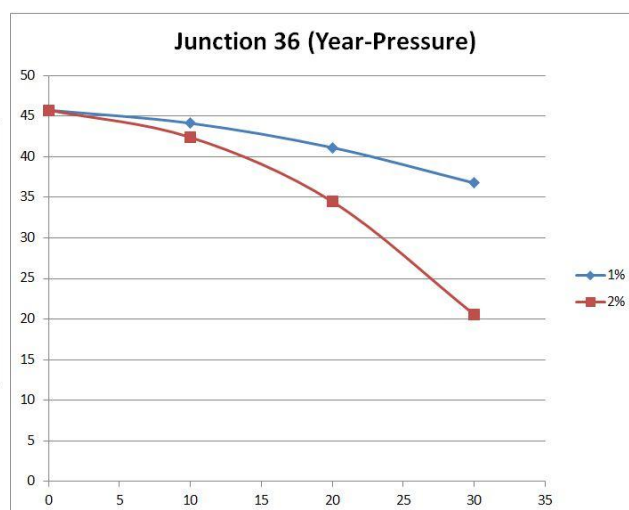
junction 24			
μεταβολή πληθυσμού (%)	χρόνια (έτη)	πίεση (m)	ποσοστό μεταβολής πίεσης (%)
1	0	52.21	-17.07
	10	50.48	
	20	47.51	
	30	43.3	
2	0	52.21	-46.60
	10	48.77	
	20	41.14	
	30	27.88	



junction 25			
μεταβολή πληθυσμού (%)	χρόνια (έτη)	πίεση (m)	ποσοστό μεταβολής πίεσης (%)
1	0	48.83	-18.27
	10	47.23	
	20	44.25	
	30	39.91	
2	0	48.83	-51.32
	10	45.51	
	20	37.64	
	30	23.77	

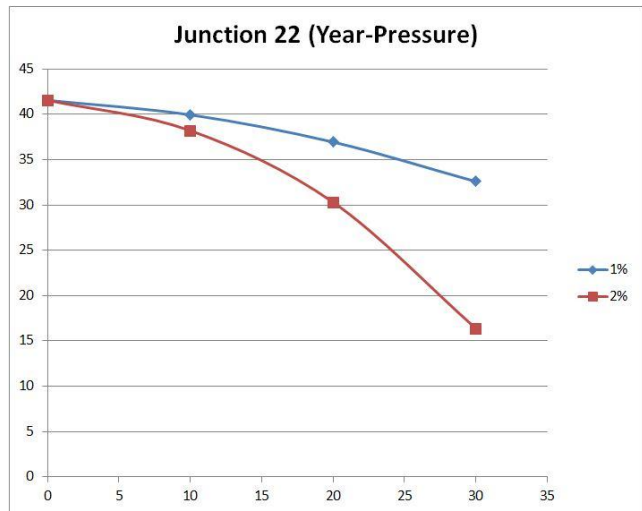


junction 36			
μεταβολή πληθυσμού (%)	χρόνια (έτη)	πίεση (m)	ποσοστό μεταβολής πίεσης (%)
1	0	45.73	-19.62
	10	44.12	
	20	41.12	
	30	36.76	
2	0	45.73	-55.06
	10	42.38	
	20	34.47	
	30	20.55	

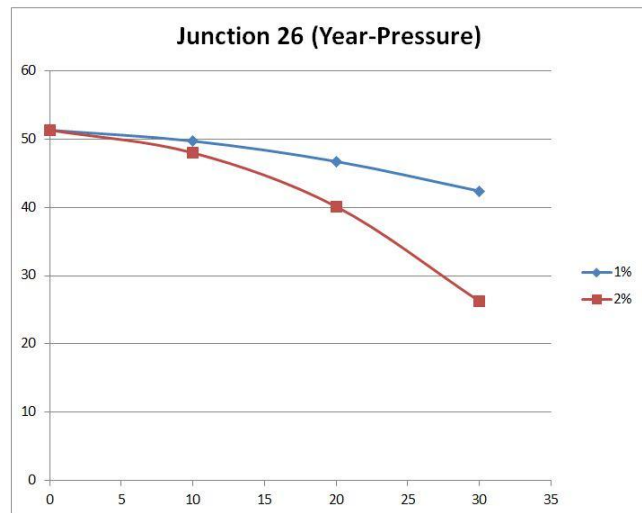


Σχήμα 5.5 (Συνέχεια)

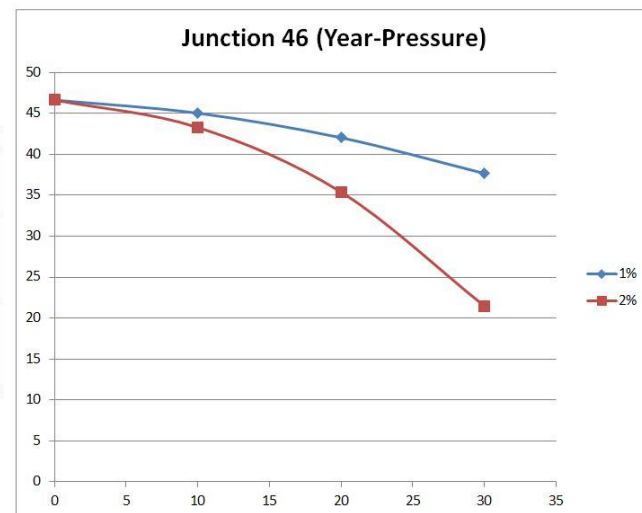
junction 22			
μεταβολή πληθυσμού (%)	χρόνια (έτη)	πίεση (m)	ποσοστό μεταβολής πίεσης (%)
1	0	41.55	-21.59
	10	39.94	
	20	36.94	
	30	32.58	
2	0	41.55	-60.60
	10	38.2	
	20	30.29	
	30	16.37	



junction 26			
μεταβολή πληθυσμού (%)	χρόνια (έτη)	πίεση (m)	ποσοστό μεταβολής πίεσης (%)
1	0	51.28	-17.38
	10	49.68	
	20	46.7	
	30	42.37	
2	0	51.28	-48.81
	10	47.96	
	20	40.1	
	30	26.25	

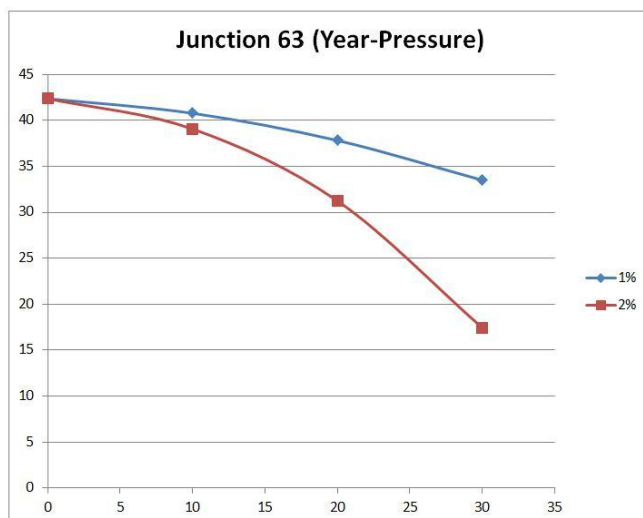


junction 46			
μεταβολή πληθυσμού (%)	χρόνια (έτη)	πίεση (m)	ποσοστό μεταβολής πίεσης (%)
1	0	46.63	-19.24
	10	45.02	
	20	42.02	
	30	37.66	
2	0	46.63	-53.98
	10	43.28	
	20	35.38	
	30	21.46	

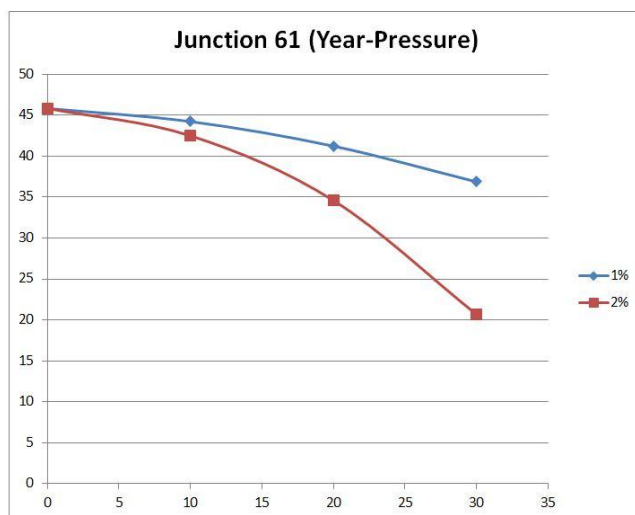


Σχήμα 5.5 (Συνέχεια)

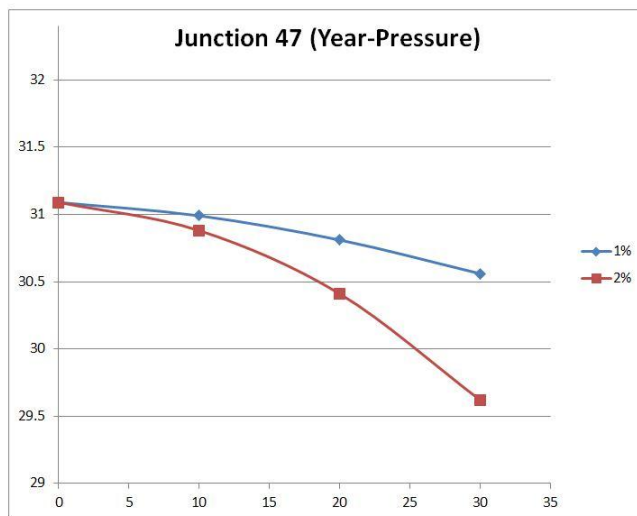
junction 63			
μεταβολή πληθυσμού (%)	χρόνια (έτη)	πίεση (m)	ποσοστό μεταβολής πίεσης (%)
1	0	42.36	-20.94
	10	40.77	
	20	37.81	
	30	33.49	
2	0	42.36	-58.88
	10	39.06	
	20	31.23	
	30	17.42	



junction 61			
μεταβολή πληθυσμού (%)	χρόνια (έτη)	πίεση (m)	ποσοστό μεταβολής πίεσης (%)
1	0	45.83	-19.57
	10	44.22	
	20	41.22	
	30	36.86	
2	0	45.83	-54.92
	10	42.48	
	20	34.58	
	30	20.66	

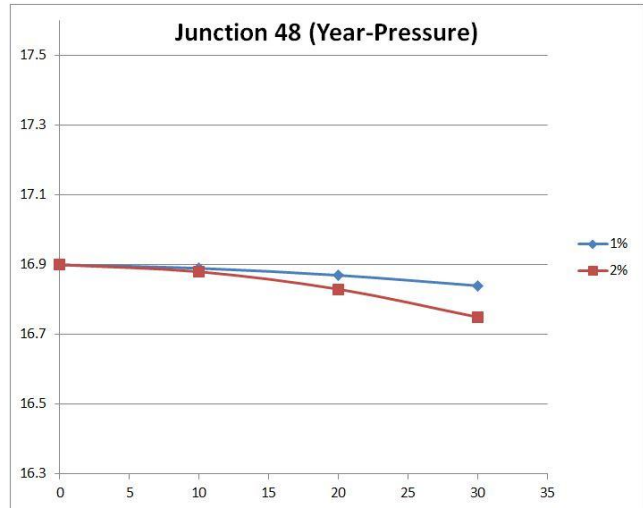


junction 47 (μεταφοράς)			
μεταβολή πληθυσμού (%)	χρόνια (έτη)	πίεση (m)	ποσοστό μεταβολής πίεσης (%)
1	0	31.09	-1.70
	10	30.99	
	20	30.81	
	30	30.56	
2	0	31.09	-4.73
	10	30.88	
	20	30.41	
	30	29.62	

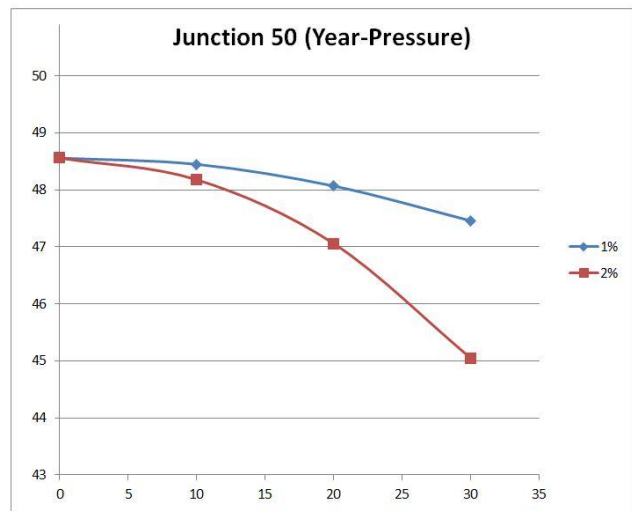


Σχήμα 5.5 (Συνέχεια)

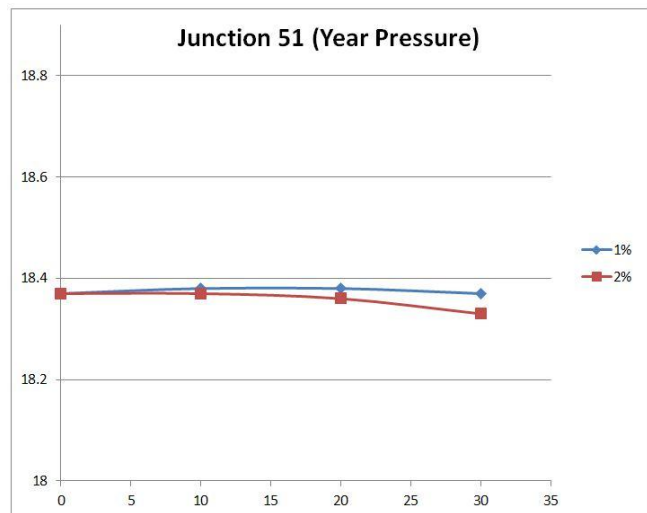
junction 48 (μεταφοράς)			
μεταβολή πληθυσμού (%)	χρόνια (έτη)	πίεση (m)	ποσοστό μεταβολής πίεσης (%)
1	0	16.9	-0.36
	10	16.89	
	20	16.87	
	30	16.84	
2	0	16.9	-0.89
	10	16.88	
	20	16.83	
	30	16.75	



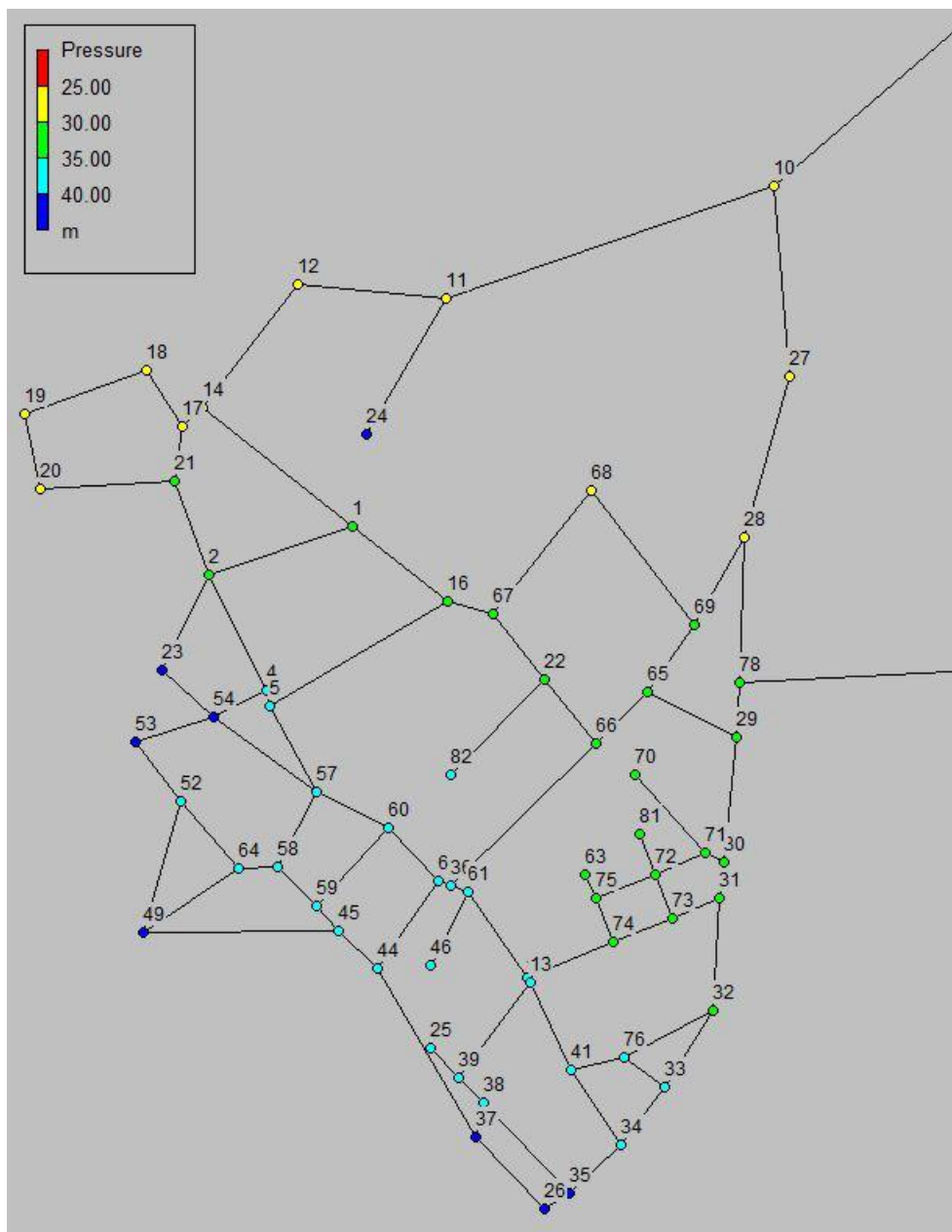
junction 50 (μεταφοράς)			
μεταβολή πληθυσμού (%)	χρόνια (έτη)	πίεση (m)	ποσοστό μεταβολής πίεσης (%)
1	0	48.56	-2.27
	10	48.45	
	20	48.07	
	30	47.46	
2	0	48.56	-7.23
	10	48.18	
	20	47.06	
	30	45.05	



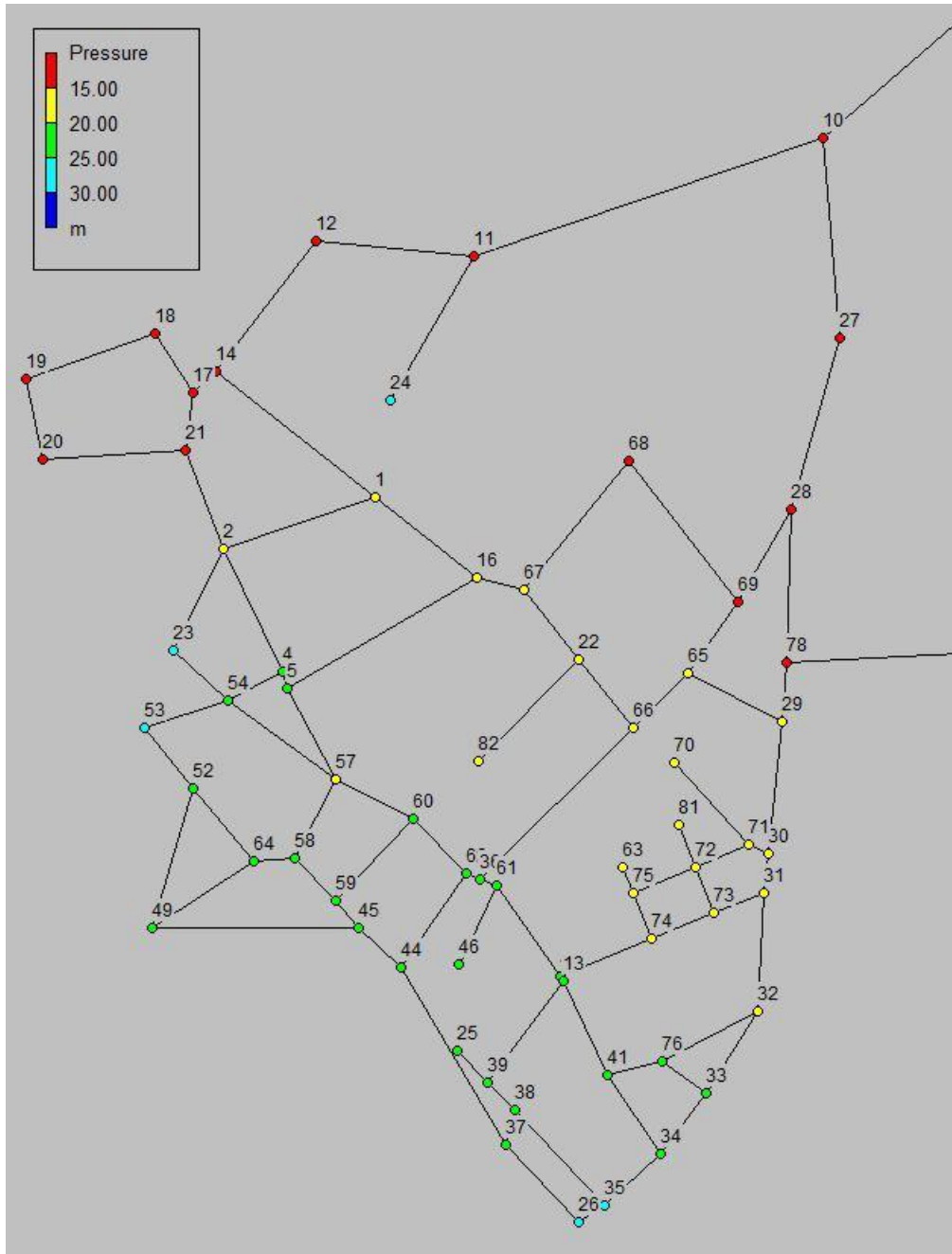
junction 51 (μεταφοράς)			
μεταβολή πληθυσμού (%)	χρόνια (έτη)	πίεση (m)	ποσοστό μεταβολής πίεσης (%)
1	0	18.37	0.00
	10	18.38	
	20	18.38	
	30	18.37	
2	0	18.37	-0.22
	10	18.37	
	20	18.36	
	30	18.33	



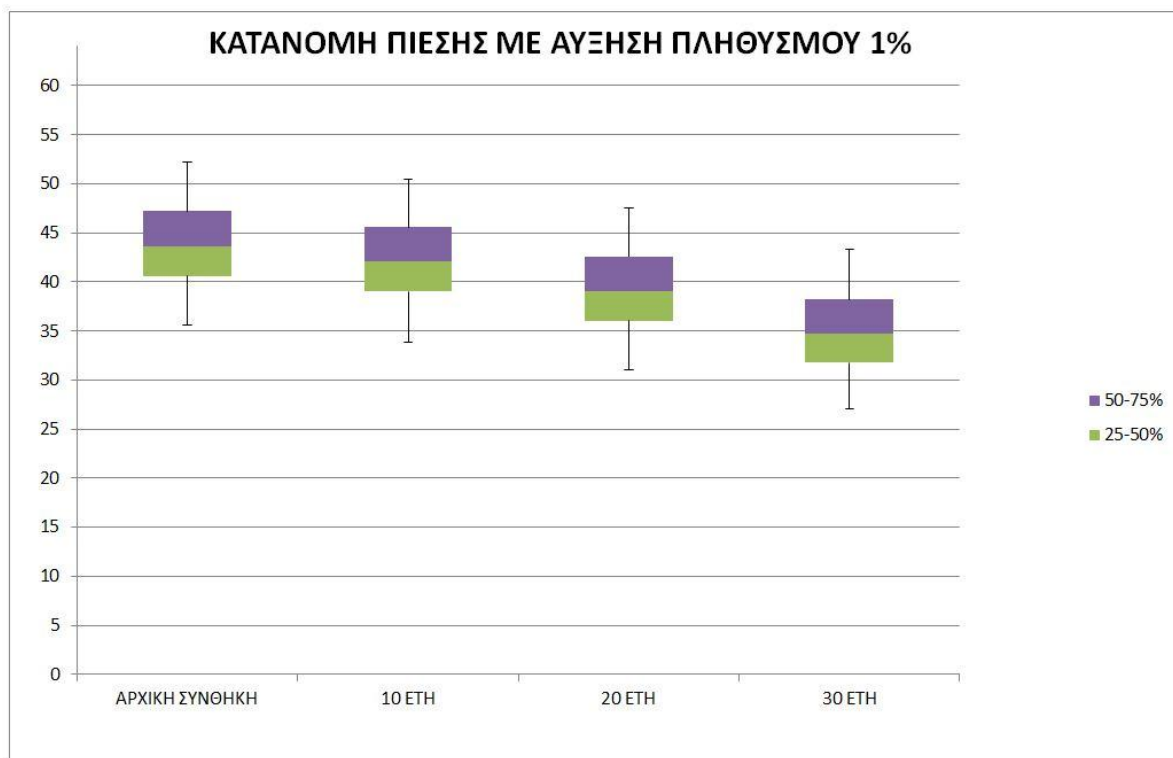
Σχήμα 5.5 (Συνέχεια)



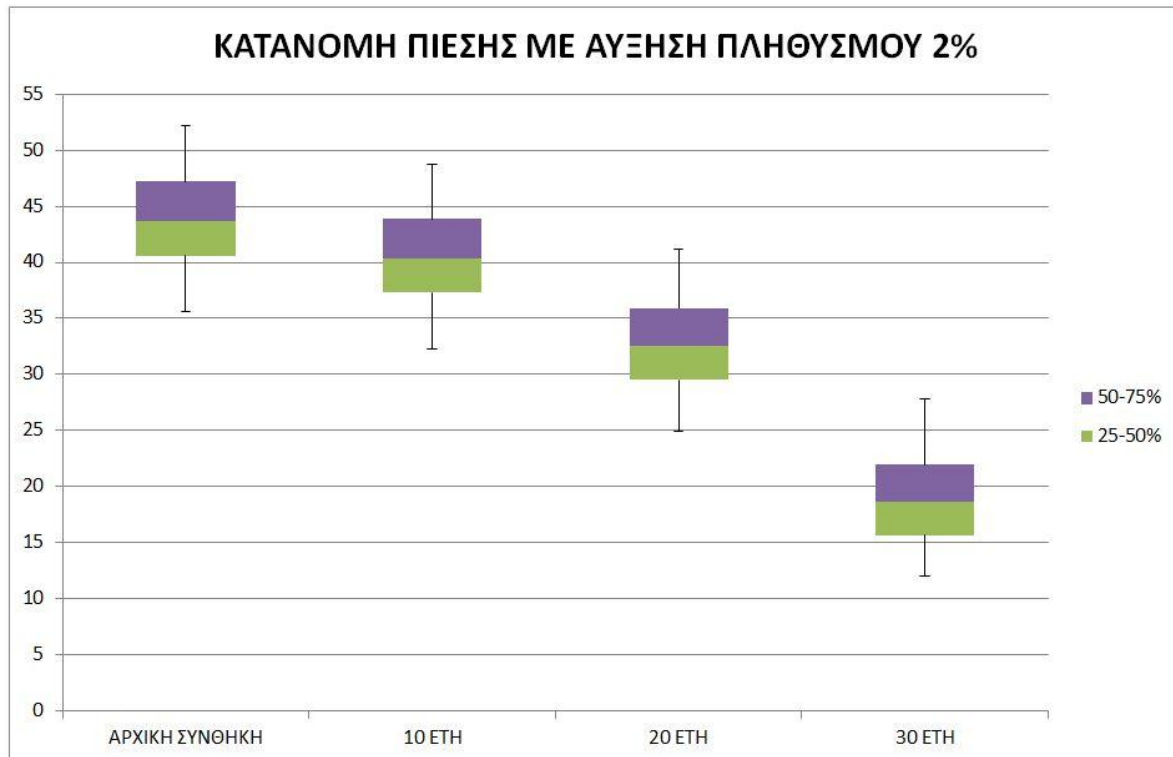
Σχήμα 5.6 Αποτελέσματα πίεσης για αύξηση 1%



Σχήμα 5.7 Αποτελέσματα πίεσης για αύξηση 2%



Σχήμα 5.8 Θηκογράμματα (box-plots) της διακύμανσης του ύψους πίεσης του δικτύου με αύξηση του πληθυσμού κατά 1%



Σχήμα 5.9 Θηκογράμματα (box-plots) της διακύμανσης του ύψους πίεσης του δικτύου με αύξηση του πληθυσμού κατά 2%

Με την επίλυση όλων των ενδεχομένων προκύπτει ότι το δίκτυο λειτουργεί για όλες τις περιπτώσεις και με το πέρας των 30 χρόνων αφού δεν εμφανίζονται αρνητικές πιέσεις. Βέβαια εντοπίζεται ότι μία μερίδα του δικτύου στα 30 χρόνια λειτουργίας για αύξηση 2% βρίσκεται κάτω από το όριο του ύψους πίεσης των 16 m.

Είναι προφανές ότι η αύξηση του πληθυσμού ακολουθείται από περισσότερη ζήτηση νερού. Έτσι η παροχή στους κόμβους αυξάνεται και με την σειρά της η πίεση μειώνεται. Σε συνδυασμό με την αύξηση της τραχύτητας με το πέρασμα των χρόνων οι τιμές της πίεσης μειώνονται ακόμη περισσότερο. Όσο μεγαλύτερη είναι η αύξηση του πληθυσμού τόσο πιο ραγδαία αποτελέσματα έχει στην παροχή και στην πίεση. Αυτό φαίνεται ακόμη πιο ξεκάθαρα όταν συγκρίνεται ένας κόμβος σε μία συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Συγκρίνοντας όλα τα διαγράμματα η αύξηση του πληθυσμού σε κάθε χρονική στιγμή συνοδεύεται από μείωση της τιμής της πίεσης. Για παράδειγμα στον κόμβο 10 για αύξηση πληθυσμού 1% στα 20 χρόνια η τιμή της πίεσης υπολογίζεται στα 31.05 m ενώ για αύξηση πληθυσμού 2% με την ίδια τιμή τραχύτητας η τιμή της πίεσης υπολογίζεται στα 24.95 m.

Με βάση όλα τα διαγράμματα των κόμβων εντοπίστηκαν 4 τα οποία είχαν κάποιες μικρές διαφορές με τα υπόλοιπα. Αυτά είναι των κόμβων 47,48,50 και 51 οι οποίοι είναι κόμβοι που συνδέουν τους αγωγούς μεταφοράς του δικτύου οι οποίοι τροφοδοτούν όλο τον οικισμό από τις δύο δεξαμενές. Στους κόμβους αυτούς υπάρχει μηδενική ζήτηση νερού οπότε με την μεταβολή του πληθυσμού δεν αλλάζει τίποτα στην παροχή αυτών των κόμβων. Έτσι η μικρή μείωση της πίεσης οφείλεται στην συνολική μεταβολή της παροχής που έχει όλο το δίκτυο. Επίσης παρατηρείται ότι ο πρώτος κόμβος μετά την δεξαμενή (51 για την δεξαμενή 77 και 48 για την δεξαμενή 80) έχουν υποστεί πολύ μικρότερη μείωση στις τιμές των πιέσεων τους με την πάροδο των χρόνων από τους δεύτερους σε σειρά (50 για την δεξαμενή 77 και 47 για την δεξαμενή 80). Αυτό είναι πιθανό να οφείλεται στην διάμετρο των αγωγών καθώς οι πρώτοι αγωγοί (αγωγός 91 για την δεξαμενή 77 και 88 για την δεξαμενή 80) έχουν πολύ μεγαλύτερη διάμετρο $D=305$ mm από τους δεύτερους (αγωγός 92 για την δεξαμενή 77 με $D=152$ mm και 88 με $D=203$ mm για την δεξαμενή 80).

Από τα σχήματα 5.2 , 5.6 και 5.7 βλέπουμε ότι σε κάθε περίπτωση οι κόμβοι που κατέχουν τη μεγαλύτερη τιμή της πίεσης κατά απόλυτη τιμή την διατηρούν μετά από όλες τις μεταβολές που γίνονται στα υδραυλικά χαρακτηριστικά του δικτύου αλλά βέβαια με μειωμένη τιμή σε σχέση με την αρχική κατάσταση. Το ίδιο συμβαίνει και με τους κόμβους που εμφανίζουν τις χαμηλότερες τιμές πίεσης στο δίκτυο όπου μετά τις μεταβολές εξακολουθούν να εμφανίζουν τις χαμηλότερες τιμές πίεσης στο δίκτυο. Καταλαβαίνουμε λοιπόν ότι η μείωση της τιμής της πίεσης επηρεάζει αναλογικά το δίκτυο και όχι με τυχαίο τρόπο.

Τέλος στα σχήματα 5.8 και 5.9 φαίνεται αναλυτικά η διακύμανση των τιμών της πίεσης και σε τι ποσοστά κατανέμονται αυτές σε κάθε περίπτωση. Συγκεκριμένα φαίνονται οι ελάχιστες και οι μέγιστες τιμές τους αλλά και σε ποιες τιμές κυμαίνονται κατά κύριο λόγο οι πιέσεις του δικτύου σε κάθε περίπτωση. Προφανώς στην αρχική κατάσταση το δίκτυο σε όλα τα επίπεδα λαμβάνει τις μέγιστες τιμές του και καθώς ο χρόνος περνάει οι τιμές αυτές μειώνονται. Αναλυτικότερα στην πρώτη περίπτωση η οποία συνοδεύεται με αύξηση του πληθυσμού ίση με 1% σύμφωνα με την μέθοδο της σταθερής σχετικής μεταβολής υπάρχει

μία ομαλή και σταδιακή μείωση των τιμών καταλήγοντας έτσι στο πέρας της χρονικής περιόδου των 30 ετών με το δίκτυο να λαμβάνει κατά κύριο λόγο τιμές πίεσης από 32 έως 38 m. Στη δεύτερη περίπτωση η οποία συνοδεύεται με αύξηση του πληθυσμού ίση με 2% σύμφωνα με την μέθοδο της σταθερής σχετικής μεταβολής εντοπίζεται στην αρχή (αρχική συνθήκη με 10° έτος) μία ομαλή μείωση των τιμών αλλά καθώς ο χρόνος περνά το σύνολο των τιμών ελαττώνεται όλο και πιο ραγδαία με αποτέλεσμα στο πέρας της χρονικής περιόδου των 30 ετών το δίκτυο να λαμβάνει έως και τρεις φορές χαμηλότερες τιμές από αυτές της αρχικής του κατάστασης δηλαδή κατά κύριο λόγο από 16 έως 23 m.

Κεφάλαιο 6

Συμπεράσματα και Παρατηρήσεις

- Οι επιλύσεις των δικτύων διανομής νερού πραγματοποιήθηκαν μέσω του λογισμικού προγράμματος EPANET σε ηλεκτρονικό υπολογιστή. Η επιλογή αυτή κρίθηκε άκρως ικανοποιητική καθώς όχι μόνο απλοποιήθηκε η διαδικασία επίλυσης αλλά μειώθηκε αρκετά ο χρόνος υπολογισμού. Το EPANET έδωσε την δυνατότητα πέρα από την επίλυση του δικτύου και την δυνατότητα σχηματικής παρουσίασης του λόγω της γνωστής τοπολογίας των χαρακτηριστικών του. Επιπλέον, παρέχει τη δυνατότητα στους χρήστες να εξάγουν τα αποτελέσματα τους σε ποικίλες μορφές όπως πίνακες, χάρτες και σχεδιαγράμματα, δίνοντας έτσι μια σφαιρική εικόνα στον αναγνώστη για όλα τα χαρακτηριστικά του δικτύου. Επίσης παρέχει τη δυνατότητα άμεσης μεταφορά των δεδομένων του σε άλλα λογισμικά προγράμματα όπως το excel, γεγονός που διευκολύνει στην ταξινόμηση των αποτελεσμάτων και δημιουργία νέων καινούριων διαγραμμάτων όπως αυτά που παρατίθενται.
- Πραγματοποιήθηκαν διάφορα σενάρια για την επίλυση του ιδεατού δικτύου. Στο πρώτο σενάριο δηλαδή στην μεταβολή τραχύτητας των αγωγών από 0.06mm έως 1,2mm, υπήρξε σταδιακή μείωση της τιμής της πίεσης στους κόμβους όσο αυξανόταν ο συντελεστής τραχύτητας (k). Παρόλα αυτά ακόμη και στην πιο ακραία κατάσταση το δίκτυο λειτουργούσε επιτυχώς. Στο δεύτερο σενάριο αφορούσε την γραμμική μεταβολή τραχύτητας με την πάροδο του χρόνου, το οποίο συνάγει με την πραγματικότητα καθώς το πέρας των χρόνων φέρει φθορές στα υλικά των αγωγών. Με την υπόθεση που έγινε για την διάρκεια μελέτης του έργου και τον ρυθμό αύξησης του συντελεστή τραχύτητας (k) το δίκτυο λειτουργεί με επιτυχία αλλά προφανώς με μειωμένες τιμές ύψους πίεσης. Όσον αναφορά το τρίτο σενάριο δηλαδή την μεταβολή της παροχής στους κόμβους με τις αυξομειώσεις του πληθυσμού και την πάροδο του χρόνου, αυτό μπορεί να χωριστεί σε δύο σκέλη. Το πρώτο σχετίζεται με την μείωση του πληθυσμού, όπου όσο μεγαλύτερη είναι τόσο λιγότερη ζήτηση υπάρχει στους κόμβους οπότε αυξάνονται οι τιμές ύψους πίεσης, γεγονός που εξασφαλίζει την ομαλή λειτουργία του δικτύου σε κάθε ποσοστό μείωσης του πληθυσμού. Αντίθετα είναι τα αποτελέσματα για αύξηση του πληθυσμού καθώς όσο μεγαλύτερη είναι η αύξηση του τόσο μειώνονται οι τιμές ύψους πίεσης. Σε όλες τις υποθέσεις που έγιναν το δίκτυο λειτουργούσε επιτυχώς εκτός από την περίπτωση αύξησης του πληθυσμού με 2.5% στα 30 χρόνια. Το τέταρτο και τελευταίο σενάριο συνδυάζει τα δύο προηγούμενα σε ένα. Έτσι στην περίπτωση μείωσης του πληθυσμού δεν υπάρχει κάποια διαφορά με το προηγούμενο σενάριο καθώς το δίκτυο λειτουργεί κανονικά με μικρές διαφοροποιήσεις των τιμών ύψους πίεσης. Στην περίπτωση όμως της αύξησης τόσο της ζήτησης όσο και της τιμής τραχύτητας των αγωγών επιφέρουν όπως είναι λογικό ακόμη πιο ραγδαίες μεταβολές στην λειτουργία του δικτύου. Έτσι σε πολλές περιπτώσεις εντοπίζονται πολύ χαμηλές τιμές πίεσης στο δίκτυο το οποίο το καθιστούν με τα βίαια λειτουργικό. Επιπλέον σε αυτό το ενδεχόμενο εντοπίζονται δυσλειτουργίας του δικτύου σε πολλές περιπτώσεις και πιο συγκεκριμένα για αύξηση του πληθυσμού κατά 1.5% στα 30 χρόνια, για αύξηση του πληθυσμού κατά 2% στα 25 χρόνια και για αύξηση του πληθυσμού κατά 2.5% στα 20 χρόνια λειτουργίας.

- Παρατηρείται ότι η αύξηση των δύο χαρακτηριστικών (ζήτηση νερού, τραχύτητα αγωγών) με βάση τις γραφικές παραστάσεις των κόμβων δεν ακολουθούν το ίδιο είδος καμπύλης στα διαγράμματα χρόνου-πίεσης παρόλο που προκαλούν την ίδια μεταβολή στο δίκτυο, ότι και στις δύο περιπτώσεις η αύξηση και των δύο τιμών ξεχωριστά προκαλεί μείωση του ύψους πίεσης.
- Στο σενάριο του συνδυασμού των δύο χαρακτηριστικών (ζήτηση νερού και τραχύτητα αγωγών) όπου εντοπίζεται αύξηση και των δύο αυτών τιμών και ταυτόχρονη μείωση του ύψους πίεσης, η γραφική παράσταση χρόνου-πίεσης που απεικονίζει τα αποτελέσματα αυτά ακολουθεί το ίδιο είδος καμπύλης με αυτό του σεναρίου 3, δηλαδή την καμπύλη του διαγράμματος χρόνου-πίεσης με αύξηση της ζήτησης νερού.
- Με βάση τα αποτελέσματα στο προηγούμενο δίκτυο επιλέχθηκε ένα πραγματικό δίκτυο όπως αυτό του Μουτάλλου το οποίο θεωρείται ένα κλειστό σύστημα αφού δεν υπάρχουν έξοδοι σε άλλα γειτονικά δίκτυα και προσφέρεται για την συγκεκριμένη μελέτη. Έτσι επιλέχθηκε να μελετηθεί το δυσμενέστερο σενάριο. Σε αυτό έγινε υπόθεση αύξησης του συντελεστή τραχύτητας που ακολουθεί την εξίσωση ευθείας $\gamma = 0.0133x + 0.1$ όπου x ο χρόνος σε έτη και γ η τιμή της τραχύτητας σε mm και αύξηση του πληθυσμού κατά 1% και 2%. Για το χρόνο που εξετάστηκε το δίκτυο συμπεραίνεται ότι αυτό λειτουργεί κανονικά εκτός ένα μέρος του δικτύου στα 30 χρόνια λειτουργίας για αύξηση 2% όπου βρίσκεται κάτω από το όριο του ύψους πίεσης των 16 m.
- Γεγονός αποτελεί ότι στο δίκτυο του Μουτάλλου υπάρχουν ελάχιστες πολυκατοικίες όπου τα ζητούμενα ύψη πίεσης δεν καλύπτονται σε κάποιες περιπτώσεις όταν μεταβληθούν με το πέρασμα του χρόνου τα υδραυλικά χαρακτηριστικά του δικτύου. Σε αυτές τις περιπτώσεις προτείνεται να υπάρξει ιδιωτική παρέμβαση στις ιδιοκτησίες αυτές συσκευών αύξησης της πίεσης, καθώς η αλλαγή ολόκληρου του δικτύου για μεμονωμένες περιπτώσεις θεωρείται πολύ δαπανηρή δίχως το μέγιστο όφελος. Το κυρίως μέρος του οικισμού απαρτίζεται από μονώροφες και διώροφες ιδιοκτησίες οι οποίες καλύπτονται σε όλα τα χρόνια μελέτης και ενδεχόμενα καθώς το απαιτούμενο ύψος για διώροφα κτίρια είναι τα 16 μέτρα. Εντοπίζεται ότι μόνο μία μικρή μερίδα του δικτύου στα 30 χρόνια λειτουργίας για αύξηση 2% βρίσκεται κάτω από το όριο αυτό. Στην περίπτωση αυτή προτείνεται ο ίδιος τρόπος αντιμετώπισης με αυτή των πολυκατοικιών δηλαδή την ιδιωτική παρέμβαση με την προσθήκη συσκευών αύξησης της πίεσης.
- Όσον αναφορά περιπτώσεις αστοχίας του δικτύου όπως εντοπίζονται στο πρώτο δίκτυο που δεν το καθιστούν πλέον λειτουργικό, προτείνεται η αντικατάσταση του συνόλου των αγωγών οι οποίοι θα καλύπτουν με επιτυχία τις ανάγκες του δικτύου.
- Οι αγωγοί των δικτύων θα πρέπει να καθαρίζονται ανά τακτά χρονικά διαστήματα καθώς ιζήματα κατακάθονται στα τοιχώματά τους, μετατρέποντας τους σε λιγότερο λείες επιφάνειες γεγονός που προκαλεί δυσκολία στην κίνηση του νερού.
- Με το πέρασμα του χρόνου το υλικό κατασκευής των αγωγών διαβρώνεται και φθείρεται, προκαλώντας προβλήματα στην απόδοση του δικτύου. Σε τέτοιες περιπτώσεις κρίνεται επιτακτική η αντικατάσταση των αγωγών.
- Προτείνεται να γίνονται συχνοί έλεγχοι στο σύνολο του δικτύου ανά πενταετία ή δεκαετία, ιδιαίτερα στους αγωγούς και στους κόμβους των δικτύων καθώς τα

υδραυλικά χαρακτηριστικά που σχετίζονται με αυτά πολλές φορές μεταβάλλονται ραγδαία λόγω φυσικών μεταβολών όπως είναι οι μετακινήσεις πληθυσμών και η παλαίωση των υλικών του αγωγού.

- Η εξέλιξη της τεχνολογίας βαδίζει με γοργούς ρυθμούς σε όλα τα επίπεδα. Έτσι με το πέρασμα του χρόνου γίνονται έρευνες σχετικά με το υλικό κατασκευής των αγωγών οι οποίες ενδέχεται να βελτιστοποιηθούν την λειτουργία του δικτύου με την ενδεχόμενη αντικατάστασή τους. Επίσης η κυκλοφορία νέων λογισμικών βοηθά στην ανάλυση των υδρευτικών δικτύων, τόσο σε υδραυλικά ζητήματα όσο και οικονομικά.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Γιακουμάκης Σ. (2008), Μέθοδοι Ελέγχου και Διαρροών στα Δίκτυα Ύδρευσης, Αθήνα, Τομέας Εγγειοβελτιωτικών Έργων και Διαχείρισης Υδατικών Πόρων, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ

Μαντόγλου Α. (2004), Μηχανική Ρευστών και Εφαρμοσμένη Υδραυλική, Αθήνα, ΕΜΠ

- Ναλμπαντης Ι. (2007), Προστασία και Διαχείριση Υδατικών Πόρων, Αθήνα, ΕΜΠ
- Παντοκράτορας Α. (1997), Υδρεύσεις Πόλεων, Τόμος Ι, Θεωρία, Ξάνθη, ΔΠΘ
- Παντοκράτορας Α. (1997), Υδρεύσεις Πόλεων, Τόμος Ι Ι, Παραδείγματα, Ξάνθη, ΔΠΘ
- Τσακίρης Γ. (2010), Υδραυλικά Έργα Σχεδιασμός & Διαχείριση, Τόμος Ι: Αστικά Υδραυλικά Έργα, Συμμετρία, Αθήνα
- Χαζάπη Άννα (2014), Διπλωματική Εργασία: "Πιθανοτική ανάλυση δικτύου ύδρευσης Μούταλλου δήμου Πάφου "
- Cross H. (1936), Analysis of flow in networks of conduits or conductors, Bulletin No.286, Eng.Exper.Station, College of Engineering, University of Illinois, Urbana.
- Jeppson R.W. (1976), Analysis of flow in pipe networks, Ann Arbor Science, Ann Arbor, Michigan.
- Larock B., Jeppson R., Watters G. (2000), Hydraulics of Pipeline Systems, CRC Press, Boca Raton FL.
- Lansey K. and Mays L. (2000), "Hydraulics of water distribution systems." Water distribution system handbook, L. Mays, ed., McGraw-Hill, New York.
- Rossman L. A. (2000), Epanet 2 Users Manual, Water Supply and Water Resources Division, National Risk Management Research Laboratory, Cincinnati, OH 45268 EPA/600/R-00/057.
- Nalluri and Featherstone's (2009), Civil Engineering Hydraulics Essential Theory with Worked Examples 5th Edition Revised by Martin Marriot University of East London.
- Nazif S., Karamouz M., Tabesh M. and Moridi A. (2010), Pressure Management Model for Urban Water Distribution Networks, Water Resources Management, 24, 437–458.
- Sayyed A., Gupta R., Tanyimboh T.T. (2014), Modelling Pressure Deficient Water Distribution Networks in EPANET, 16th Conference on Water Distribution System Analysis, Procedia Engineering 89,626 – 631.
- Siew C. and Tanyimboh T.T. (2012), Pressure-Dependent Epanet Extension, Water Resources Management 26:1477–1498.
- Spiliotis M. and Tsakiris G. (2011), Water Distribution System Analysis: Newton-Raphson Method Revisited, Journal of Hydraulic Engineering, 852-855.
- Swamee P. K. and Sharma, A. K. (2008), Design of water supply pipe networks, Wiley-Interscience, Hoboken, NJ.
- Tabesh M., Jamasb M. and Moeini R., (2011), Calibration of water distribution hydraulic models: A comparison between pressure dependent and demand driven analyses, Urban Water Journal, 8:2, 93-102.

Todini E., and Pilati S. (1988), "A gradient algorithm for the analysis of pipe networks." Computer applications in water supply, Vol. 1, Wiley, London, 1–20.

Tsakiris G. and Tsakiris V. (2012), Pipe technologies for urban water conveyance distribution systems, Water Utility Journal 3: 29-36.

Tsakiris G. (2014), Rational design of urban water supply and distribution systems, Water Utility Journal 8: 5-16.

Zecchin A. C. , Thum P., Simpson A. R. and Tischendorf C. (2012), Steady-State Behavior of Large Water Distribution Systems: Algebraic Multigrid Method for the Fast Solution of the Linear Step, Journal of Water Resources Planning and Management.

<https://www.epa.gov/water-research/epanet>