ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ – ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

«ΕΠΙΣΤΗΜΗ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ»

Ανάλυση συλλογικού αρδευτικού δικτύου υπό πίεση με ελεύθερη ζήτηση

Εφαρμογή στο αρδευτικό δίκτυο Παραβόλας ν. Αιτωλοακαρνανίας

Παρασκευή Σταμούλη

Επιβλέπων: Ε. Μπαλτάς, Αναπληρωτής Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Οκτώβριος 2014

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ – ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

«ΕΠΙΣΤΗΜΗ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ»

Ανάλυση συλλογικού αρδευτικού δικτύου υπό πίεση με ελεύθερη ζήτηση

Εφαρμογή στο αρδευτικό δίκτυο Παραβόλας ν. Αιτωλοακαρνανίας

Παρασκευή Σταμούλη

Επιβλέπων: Αναπληρωτής Καθηγητής Ε. Μπαλτάς

Αθήνα, Οκτώβριος 2014

Σταμούλη Παρασκευή

Διπλωματούχος Αγρονόμος Τοπογράφος Μηχανικός Ε.Μ.Π

Copyright © Παρασκευή Σ. Σταμούλη

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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

Φωτογραφία Εξωφύλλου: http://www.climatetechwiki.org/

Αντί Προλόγου..

Όταν πριν από μερικά χρόνια κλήθηκα να αποφασίσω ποιο αντικείμενο σπουδών να ακολουθήσω, βρέθηκα στο δίλημμα μεταξύ της ειδικότητας του Τοπογράφου Μηχανικού, που τελικά ακολούθησα, και αυτής του Γεωπόνου. Φτάνοντας στο σήμερα, συνειδητοποιώ πως κάποια πράγματα δικαίως σε ακολουθούν και επιζητούν την ενασχόλησή σου μαζί τους. Η εκπόνηση της παρούσας εργασίας αποτελεί την επιβεβαίωση του παραπάνω ισχυρισμού.

Με την ολοκλήρωσή της, πέρα από τις γνώσεις που απέκτησα σε θέματα ανάλυσης της λειτουργίας αρδευτικών δικτύων, συνειδητοποίησα με ποιο τρόπο η επιστήμη του μηχανικού έρχεται να συναντήσει εκείνη του γεωπόνου και κυρίως πόσο σημαντική είναι η μεταξύ τους σχέση όταν πρόκειται για το σχεδιασμό και τη διαχείριση τέτοιων δικτύων, μια σχέση συνεχούς αλληλεπίδρασης και αλληλεξάρτησης. Ίσως αυτό να αποτελεί το μεγαλύτερο απόκτημα αυτής της εργασίας.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Ε. Μπαλτά, Αναπληρωτή Καθηγητή του ΕΜΠ, που μου εμπιστεύτηκε την ανάθεση της εργασίας αυτής και με κατηύθυνε προς την ορθή ολοκλήρωσή της.

Ευχαριστώ επίσης θερμά τον κ. Ν. Δέρκα, Καθηγητή του ΓΠΑ, για τη συνεχή καθοδήγησή του, τις υποδείξεις του και την προθυμία του να μου μεταδώσει τις γνώσεις του καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης αυτής της εργασίας.

Ευχαριστώ ακόμη την κα Α. Στεφοπούλου, Διδάκτορα του ΓΠΑ, για τη βοήθεια που μου πρόσφερε αλλά και την ενθάρρυνση της καθώς επίσης και τον κ. Σ. Γιακουμάκη, Επίκουρο Καθηγητή του ΕΜΠ, για τη συμμετοχή του στην εξεταστική επιτροπή της παρούσας εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου, τους αγαπημένους μου φίλους και όλους εκείνους που όλα αυτά τα χρόνια των σπουδών μου έδιναν κουράγιο να συνεχίσω και με έκαναν να πιστέψω πως η προσπάθεια και η αξία του καθενός ανταμείβεται, αν όχι σήμερα, σίγουρα σε ένα *καλύτερο αύριο.*

Παρασκευή Σταμούλη

Οκτώβρης 2014

Πίνακας Περιεχομένων

Ευρετήριο iii

Περίληψη vii

Abstract ix

Extended Summary xi

1. Εισαγωγή 1

1.1 Αντικείμενο και σκοπός μελέτης 1

1.2 Διάρθρωση εργασίας 2

2. Επισκόπηση εννοιών και μεθόδων 3

2.1 Συλλογικά αρδευτικά δίκτυα 3

2.2 Σχεδιασμός συλλογικού αρδευτικού δικτύου υπό πίεση 4

2.2.1 Προσδιορισμός των αρδευτικών αναγκών 6

2.2.2 Οριοθέτηση της αρδευτικής περιμέτρου 7

2.2.3 Χάραξη του δικτύου 7

2.2.4 Υπολογισμός των παροχών σχεδιασμού σε δίκτυα με ελεύθερης ζήτησης 10

2.2.5 Οικονομική βελτιστοποίηση των διαμέτρων των αγωγών 17

2.3 Ανάλυση της λειτουργίας ενός συλλογικού αρδευτικού δικτύου 19

2.3.1 Ανάλυση σε επίπεδο δικτύου 20

2.3.2 Ανάλυση σε επίπεδο υδροστομίου 23

2.3.3 Ολοκληρωμένη ανάλυση 27

2.3.4 Σημασία της ανάλυσης 28

2.4 Προγράμματα λογισμικού για την υδραυλική ανάλυση συλλογικών αρδευτικών δικτύων. 30

2.4.1 Το λογισμικό ICARE 31

2.4.2 Το λογισμικό COPAM 32

3. Εφαρμογή σε υφιστάμενο ελληνικό δίκτυο 41

3.1 Σύντομη περιγραφή περιοχής μελέτης 41

3.1.1 Κλίμα – Μετεωρολογικά στοιχεία 42

3.1.2 Στοιχεία υδατικού δυναμικού της περιοχής 43

3.1.3 Γεωλογία 44

3.1.4 Δημογραφικά και κτηματολογικά στοιχεία 44

3.1.5 Γεωργία 45

3.2 Το δίκτυο - Τεχνικά χαρακτηριστικά του δικτύου 48

3.3 Μελέτη εφαρμογής 52

3.3.1 Εισαγωγή 52
3.3.2 Δεδομένα αρδευτικού δικτύου Α 52
3.3.3 Δημιουργία input file 58
3.3.4 Υπολογισμός παροχών 64
3.3.5 Ανάλυση της λειτουργίας σε επίπεδο δικτύου 68
3.3.6 Ανάλυση της λειτουργίας σε επίπεδο υδροστομίου 69
3.3.7 Παρουσίαση των αποτελεσμάτων 70
4. Ανάλυση ευαισθησίας του μοντέλου προσομοίωσης της λειτουργίας του δικτύου. 75
4.1 Εισαγωγή 75
4.2 Ως προς τον συντελεστή τραχύτητας γ του Bazin 76
4.2.1 Αύξηση 10% 76
4.2.2 Αύξηση 30% 82
4.2.3 Αποτελέσματα 88
4.3 Ως προς την ειδική συνεχή παροχή 90
4.3.1 Αύξηση 10% 90
4.3.2 Αύξηση 20% 96
4.3.3 Αύξηση 30% 102
4.3.4 Αποτελέσματα 108
5. Συμπεράσματα 111
Βιβλιογραφία - Αναφορές 115
Παράρτημα 121

Ευρετήριο

Σχήματα

Σχήμα 2.1: Εκ του σύνεγγυς χάραξη. Χρήση αλγορίθμου Kruskal (α) και Sollin (β). 8

Σχήμα 2.2: Χάραξη κατά 120° - Σύνδεση τριών υδροληψιών. 9

Σχήμα 2.3: Χάραξη κατά 120° - Σύνδεση τεσσάρων υδροληψιών (α και β περίπτωση). 9

Σχήμα 2.4: Παροχή σχεδιασμού των αγωγών σε σχέση με την εξοπλισμένη έκταση του δικτύου (δίκτυο με ελεύθερη ζήτηση) 17

Σχήμα 2.5: Αναγκαίο φορτίο στην κεφαλή για την παροχή αιχμής. 19

Σχήμα 2.6: Χαρακτηριστικές καμπύλες δικτύου για τρεις συνδυασμούς ανοικτών υδροστομίων. 21

Σχήμα 2.7: Ακραία σημεία (Z_r, Q_r) των χαρακτηριστικών καμπυλών ενός δικτύου. 22

Σχήμα 2.8: Χαρακτηριστικές καμπύλες με δείκτες (Ci) 22

Σχήμα 2.9: Ολοκληρωμένη ανάλυση ενός συλλογικού αρδευτικού δικτύου. 27

Σχήμα 2.10: Παραδείγματα κανόνων αρίθμησης σύμφωνα με το εγχειρίδιο χρήσης του COPAM 37

Σχήμα 3.1: Θέση περιοχής μελέτης (α) στο Υ.Δ 04 και (β) σε σχέση με τη λίμνη Τριχωνίδα 43

Σχήμα 3.2: Χαρτογραφικές ενότητες με τις χρήσεις γης του Συστήματος Αναγνώρισης Αγροτεμαχίων (LPIS) για την περιοχή μελέτης (Όρια ΤΟΕΒ Παραβόλας), 2013.. 46

Σχήμα 3.3: Κατανομή καλλιεργειών έτους 2010 για το Τ. Δ. Παραβόλας νομού Αιτωλοακαρνανίας. 47

Σχήμα 3.4: Κατανομή καλλιεργειών έτους 2010 για το Τ. Δ. Παντάνασσας νομού Αιτ/νίας. 47

Σχήμα 3.5: Ζώνες αρδευτικού δικτύου. 49

Σχήμα 3.6: Σκαρίφημα αρδευτικού δικτύου Παραβόλας – Ζώνη Α. Γενική διάταξη. 55

Σχήμα 3.7: Σκαρίφημα δικτύου με αρίθμηση κατά COPAM 59

Σχήμα 3.8: Χαρακτηριστικές καμπύλες με δείκτες C_{10}, C_{30}, C_{50}, C_{60}, C_{80}, C_{90} και σημείο λειτουργίας “set point” ($Q_{Clément}$ =300L/s, $Z_{κεφ}$= 102,55m) 71

Σχήμα 3.9: Περίσσεια-έλλειμμα φορτίου των υδροστομίων ($Q_{Clément}$=300L/s, $Z_{κεφ}$=102,55m) 71

Σχήμα 3.10: Δείκτης αξιοπιστίας του κάθε υδροστομίου ($Q_{Clément}$ = 300L/s, $Z_{κεφ}$= 102,55m). 72

Σχήμα 4.1: Χαρακτηριστικές καμπύλες με δείκτες C_{10}, C_{30}, C_{40}, C_{50}, C_{70}, C_{90} και σημείο λειτουργίας “set point” ($Q_{Clément}$ =300L/s, $Z_{κεφ}$= 102,55m) / Αύξηση του συντελεστή τραχύτητας γ κατά 10%. 78

Σχήμα 4.2: Περίσσεια-έλλειμμα φορτίου των υδροστομίων ($Q_{Clément}$ = 300L/s, $Z_{κεφ}$= 102,55m) / Αύξηση του συντελεστή τραχύτητας γ του Bazin κατά 10%. 79

Σχήμα 4.3: Δείκτης αξιοπιστίας του κάθε υδροστομίου (για συνθήκες λειτουργίας $Q_{Clément}$=300L/s, $Z_{κεφ}$=102,55m). Αύξηση του συντελεστή τραχύτητας γ του Bazin κατά 10%. 80

Σχήμα 4.4: Χαρακτηριστικές καμπύλες με δείκτες C_{10}, C_{20}, C_{30}, C_{50}, C_{70}, C_{90} και σημείο λειτουργίας “set point” ($Q_{Clément}$ =300L/s, $Z_{κεφ}$= 102,55m) / Αύξηση του συντελεστή τραχύτητας γ κατά 30%. 83

Σχήμα 4.5: Περίσσεια-έλλειμμα φορτίου των υδροστομίων (για συνθήκες λειτουργίας $Q_{Clément}$ = 300L/s, $Z_{κεφ}$= 102,55m) / Αύξηση του συντελεστή τραχύτητας γ του Bazin κατά 30%..... 85
Σχήμα 4.6: Δείκτης αξιοπιστίας του κάθε υδροστομίου (για συνθήκες λειτουργίας $Q_{Clément}$ = 300L/s, $Z_{κεφ}$= 102,55m) / Αύξηση του συντελεστή τραχύτητας γ του Bazin κατά 30%. 85
Σχήμα 4.7: Χαρακτηριστικές καμπύλες με δείκτες C_{10}, C_{20}, C_{30}, C_{50}, C_{70}, C_{90} και σημείο λειτουργίας "set point" ($Q_{Clément}$ =330L/s, $Z_{κεφ}$= 102,55m) / Αύξηση ειδικής συνεχούς παροχής κατά 10%. 92
Σχήμα 4.8: Περίσσεια-έλλειμμα φορτίου των υδροστομίων (για συνθήκες λειτουργίας $Q_{Clément}$ = 330L/s, $Z_{κεφ}$= 102,55m) / Αύξηση ειδικής συνεχούς παροχής κατά 10%..... 93
Σχήμα 4.9: Δείκτης αξιοπιστίας του κάθε υδροστομίου (για συνθήκες λειτουργίας $Q_{Clément}$ = 330L/s, $Z_{κεφ}$= 102,55m) / Αύξηση της ειδικής συνεχούς παροχής κατά 10%. 93
Σχήμα 4.10: Χαρακτηριστικές καμπύλες με δείκτες C_{10}, $C_{20\ έως}$ C_{90} και σημείο λειτουργίας "set point" ($Q_{Clément}$ =354L/s, $Z_{κεφ}$= 102,55m) / Αύξηση ειδικής συνεχούς παροχής κατά 20%. 97
Σχήμα 4.11: Περίσσεια-έλλειμμα φορτίου των υδροστομίων (για συνθήκες λειτουργίας $Q_{Clément}$ = 354L/s, $Z_{κεφ}$= 102,55m) / Αύξηση ειδικής συνεχούς παροχής κατά 20%..... 98
Σχήμα 4.12: Δείκτης αξιοπιστίας του κάθε υδροστομίου (για συνθήκες λειτουργίας $Q_{Clément}$ = 354L/s, $Z_{κεφ}$= 102,55m) / Αύξηση ειδικής συνεχούς παροχής κατά 20%..... 99
Σχήμα 4.13: Χαρακτηριστικές καμπύλες με δείκτες C_{10},C_{20}, έως C_{90} και σημείο λειτουργίας "set point" ($Q_{Clément}$=378L/s, $Z_{κεφ}$= 102,55m) / Αύξηση ειδικής συνεχούς παροχής κατά 30%. 103
Σχήμα 4.14: Περίσσεια-έλλειμμα φορτίου των υδροστομίων (για συνθήκες λειτουργίας $Q_{Clément}$= 378L/s, $Z_{κεφ}$= 102,55m) / Αύξηση ειδικής συνεχούς παροχής κατά 30%..... 104
Σχήμα 4.15: Δείκτης αξιοπιστίας του κάθε υδροστομίου (για συνθήκες λειτουργίας $Q_{Clément}$ = 378L/s, $Z_{κεφ}$= 102,55m) / Αύξηση ειδικής συνεχούς παροχής κατά 30%..... 104

Εικόνες

Εικόνα 2.1: Το περιβάλλον εργασίας του λογισμικού ICARE..... 31
Εικόνα 2.2: Εκκίνηση προγράμματος COPAM..... 32
Εικόνα 2.3: Περιβάλλον εργασίας του COPAM – Επιλογές του μενού Graph..... 34
Εικόνα 2.4: Περιβάλλον εργασίας του COPAM – Επιλογές του μενού Edit..... 34
Εικόνα 2.5: Πεδίο καταχώρησης των ονομαστικών παροχών των υδροστομίων. 34
Εικόνα 2.6: Πεδίο καταχώρησης των χαρακτηριστικών στοιχείων των αγωγών. 35
Εικόνα 2.7: Πεδίο καταχώρησης των χαρακτηριστικών στοιχείων του δικτύου..... 36
Εικόνα 2.8: Πεδίο καταχώρησης των τιμών των παραμέτρων του μοντέλου Clément. 38
Εικόνα 2.9: Πεδίο καταχώρησης των τιμών των παραμέτρων της ανάλυσης (α) του μοντέλου χαρακτηριστικών καμπυλών, (β) του μοντέλου AKLA 39

Εικόνα 3.1: Εγκατεστημένες υδροληψίες του δικτύου τύπου Schlumberger στην περιοχή μελέτης.. 50
Εικόνα 3.2: Εγκαταστάσεις αντλιοστασίου Α1 στο τέλος της τάφρου υδροληψίας. 51
Εικόνα 3.3: Δεδομένα εισόδου στο μοντέλο υπολογισμού παροχών του Clément (Clément Model). 64
Εικόνα 3.4: Δεδομένα εισόδου στο μοντέλο χαρακτηριστικών καμπυλών..... 68
Εικόνα 3.5: Δεδομένα εισόδου στο μοντέλο AKLA (Akla Model). 69
Εικόνα 4.1: Πίνακας εισαγωγής στοιχείων των αγωγών του δικτύου (List of Pipes) 77
Εικόνα 4.2: Πίνακας εισαγωγής στοιχείων των αγωγών του δικτύου (List of Pipes) 82
Εικόνα 4.3: Πίνακας εισαγωγής τιμών των παραμέτρων του μοντέλου Clément (Clément Model). .. 91
Εικόνα 4.4: Πίνακας εισαγωγής τιμών των παραμέτρων του μοντέλου Clément (Clément Model). .. 96
Εικόνα 4.5: Πίνακας εισαγωγής τιμών των παραμέτρων του μοντέλου Clément (Clément Model). 102

Πίνακες

Πίνακας 2.1: Συνάρτηση κατανομής της τυποποιημένης κανονικής. Ποιότητα λειτουργίας του δικτύου P_q..... 13
Πίνακας 2.2: Συντελεστές τραχύτητας γ Bazin για διάφορα υλικά σωληνώσεων..... 40
Πίνακας 3.1: Στοιχεία πληθυσμού απογραφών (1951-2011)..... 44
Πίνακας 3.2: Χαρακτηριστικά λειτουργίας δικτύου..... 52
Πίνακας 3.3: Τιμές συντελεστή τραχύτητας γ του Bazin για διάφορες ονομαστικές διαμέτρους..... 53
Πίνακας 3.4: Χαρακτηριστικά αρδευτικού δικτύου Παραβόλας – Ζώνη Α. 56
Πίνακας 3.5: Input file για το COPAM του δικτύου..... 60
Πίνακας 3.6: Παροχές σε κάθε τμήμα του υπό μελέτη δικτύου (output file of the Copam package) . 65
Πίνακας 4.1: Αριθμός υδροστομίων ανά κλάση τιμών του δείκτη αξιοπιστίας για τα σενάρια αύξησης κατά 10% και 30% του συντελεστή τραχύτητας και το σενάριο αναφοράς..... 89
Πίνακας 4.2: Τιμές ειδικής συνεχούς παροχής για κάθε εξεταζόμενο σενάριο..... 90
Πίνακας 4.3: Αριθμός υδροστομίων ανά κλάση τιμών του δείκτη αξιοπιστίας για τα σενάρια αύξησης κατά 10%, 20% και 30% της ειδικής συνεχούς παροχής και το σενάριο αναφοράς..... 109

Χάρτες

Χάρτης 1: Έλεγχος αξιοπιστίας υδροστομίων – Μηδενικό σενάριο λειτουργίας. 73
Χάρτης 2: Έλεγχος αξιοπιστίας υδροστομίων – Σενάριο 1°: γ+10% 81
Χάρτης 3: Έλεγχος αξιοπιστίας υδροστομίων – Σενάριο 2°: γ+30% 87
Χάρτης 4: Έλεγχος αξιοπιστίας υδροστομίων – Σενάριο 3°: q_0+10%..... 95
Χάρτης 5: Έλεγχος αξιοπιστίας υδροστομίων – Σενάριο 4°: q_0+20%..... 101
Χάρτης 6: Έλεγχος αξιοπιστίας υδροστομίων – Σενάριο 5°: q_0+30%..... 107

Περίληψη

Δεδομένης της ευρείας χρήσης των συλλογικών αρδευτικών δικτύων υπό πίεση κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών και της συνεχώς αυξανόμενης ανάγκης για ορθολογική διαχείριση των υδατικών πόρων, στην παρούσα εργασία εξετάζεται η εφαρμογή της ανάλυσης στα εν λόγω δίκτυα ως μέσο για την επίτευξη της εύρυθμης λειτουργίας τους με ταυτόχρονα οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη.

Η εξέταση αυτή περιλαμβάνει την παρουσίαση των βασικών αρχών λειτουργίας των δικτύων αυτών πάνω στις οποίες έχει στηριχθεί η ανάπτυξη των μοντέλων που προσομοιώνουν αυτή τη λειτουργία καθώς επίσης και του τρόπου εφαρμογής ενός καθιερωμένου στην ανάλυση της υδραυλικής επάρκειας των υπό πίεση δικτύων μοντέλου, του μοντέλου COPAM (Combined Optimization and Performance Analysis Model).

Για το σκοπό αυτό πραγματοποιείται ανάλυση της λειτουργίας ενός υφιστάμενου στον ελληνικό χώρο συλλογικού υπό πίεση αρδευτικού δικτύου ελεύθερης ζήτησης, και συγκεκριμένα ενός τμήματος του αρδευτικού Παραβόλας νομού Αιτωλοακαρνανίας, αξιοποιώντας τα δεδομένα της μελέτης σχεδιασμού του με χρήση του συγκεκριμένου μοντέλου.

Στα πλαίσια αυτής της εφαρμογής δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στην αξιολόγηση της επίδρασης που έχει η απόδοση λανθασμένων τιμών στις παραμέτρους του δικτύου, πραγματοποιώντας μια ανάλυση ευαισθησίας ως προς την παράμετρο της τραχύτητας γ και της ειδικής συνεχούς παροχής q_0. Παράλληλα μέσα από αυτήν την διαδικασία αναδεικνύεται η δυνατότητα της εξέτασης υποθετικών σεναρίων λειτουργίας που προσφέρουν τα μοντέλα αυτού του είδους και η ανάγκη συνεχούς παρακολούθησης της κατάστασης των δικτύων.

Abstract

Taking for granted the wide use of collective pressurized irrigation systems during the past decades and the growing need for rational management of water resources, in this paper, the implementation of the analysis in pressurized irrigation networks operating on demand is examined, as a means of achieving their proper operation with both economic and environmental benefits.

This examination includes the presentation of the basic operational principles of these networks on which the simulation models have been based on, as well as the application methodology of an established model used to analyze the hydraulic adequacy of pressurized systems, the model COPAM (Combined Optimization and Performance Analysis Model).

For this purpose, a performance analysis of an existing pressurized irrigation system working on demand, located in the Prefecture of Aitoloakarnania (Greece), has been carried out, using the data of its' design study and the COPAM model.

In the terms of this application, special emphasis is given on the evaluation of the influence that a false estimation of the network parameters has on the model results by performing a sensitivity analysis of the network. In particular, the sensitivity analysis is implemented using the roughness parameter (γ) and the parameter of specific continuous discharge q_0 and by altering their values. Through this process, is also highlighted the ability of testing different operating scenarios offered by such models and the necessity of continuously monitoring the network status.

Extended Summary

Introduction

Over the last decades it has been noticed a wide expansion and use of collective pressurized irrigation networks operating on demand. The certain delivery schedule offers a greater potential profit than other types of irrigation schedules and gives a great flexibility to farmers that can manage water in the best way and according to their needs (Lamaddalena and Sagardoy, 2000).

This way of delivering water within an irrigation system, imports a great uncertainty as far as the calculation of the discharges flowing into the network is concerned. For both designers and managers of the network, it is not feasible to precise each moment the exact number and position of the hydrants operating simultaneously at that time. As a result, the performance of the system cannot be determined in advance for operational conditions. And this is due to the difference between these conditions and those defined during the designing stage, corresponding to the upstream discharge for the peak period (usually the discharge estimated with Clément's first formula, $Q_{Clém}$) and the optimized piezometric head at the upstream piezometric head of the network, Z_{opt}.

The solution to this problem is offered by the development of systems' computer-based simulation models. Based on the great capacity of computers to generate randomly many situations which can be analyzed statistically, these models can provide clear indications of the networks' performance under varying conditions, consisting a valuable tool in the hands of both managers and designers of the network.

The process of using computer models to analyse performance capabilities and to define the system requirements necessary to meet system design standards for pressure and/or discharge is known as irrigation systems analysis (AWWA, 1989).

There are generally two approaches followed in the process of performance analysis. The first one provides general information on the network's performance while the second one gives more detailed and precise information related to the operational yield of each hydrant.

In this paper, the implementation of the analysis in pressurized irrigation networks operating on demand is examined, as a means of achieving their proper operation with both economic and environmental benefits.

To this end, a performance analysis of an existing Greek pressurized network operating on demand has been carried out, using the model COPAM (Lamaddalena and Sagardoy, 2000) and applying the proposed methodology. Moreover, in order to investigate the impact of a false estimation of the network's parameters on the model results, a sensitivity analysis has been performed.

Methodology

- *Performance Analysis of Collective Irrigation Networks Operating On-Demand*

As already mentioned the necessity of the performance analysis of a collective irrigation network derives from the fact that the operational conditions are not stable but they are constantly changing during the life of the irrigation and differing from those that had initially been assumed during the designing stage.

Given that the operation approach of the network refers only to a specific operation point ($Q_{Clém}$, Z_{opt}) and that it is not known the system's behavior under different operation conditions (other points of the diagram Z=f(Q)), it is wise to investigate what happens with the other points of that diagram and especially those who represent discharges of high frequency (Figure 1a).

In the case of networks operating on-demand, this investigation is much more difficult as the hydrants operating at the same time are characterized by important spatial and temporal variability. This variability produces a large number of groups of hydrants operating at a given instant, called "hydrants configuration", and thus, each hydrant configuration (r) produces a discharge configuration into the network.

A sufficient number of such configurations–operation conditions can be simulated using the appropriate models through the process of network's analysis.

Several models have been developed and proposed for the performance analysis of the collective irrigation networks operating on-demand. Among them, some are focusing on the

analysis at network level using the indexed characteristic curves (Labye et al. 1975; Bethery et al. 1981; Bethery 1990; CEMAGREF 1983; Lamaddalena and Sagardoy 2000), while other approach the analysis at the hydrant level (CEMAGREF 1983; Lamaddalena and Sagardoy 2000; Khadra and Lamaddalena 2010). The analysis is performed by assuming steady flow conditions and by using a generator of random numbers, having uniform probability distribution.

- *Indexed Characteristic Curves Method*

The large number of configurations of open hydrants in a collective irrigation network operating on-demand leads to an equal (large) number of characteristic curves (Z=f(Q)) that are representative of the network's performance (Figure 1b).

In order to take advantage of the information given by these curves, statistical methods are applied using only the most characteristic pairs of points (Z_r, Q_r) of these curves which correspond to the situation where all open hydrants of each configuration (r) deliver their nominal discharge. In particular, Z_r is the piezometric head at the upstream end, needed when all the open hydrants have their nominal discharge and Q_r, is the corresponding discharge at the upstream end of the network.

In that case, every configuration is satisfied and for all the operating hydrants (j) of each configuration (r) the following relationship is respected:

$$H_{j,r} \geq H_{\min} \tag{1}$$

where $(H_j)_r$ (m) represents the hydraulic head of the hydrant j within the configuration r, and H_{min} (m) represents the minimum required head at each hydrant.

(a) (b)

Figure 1: (a) The upstream piezometric head needed when $Q=Q_{crucial}$ (b) The characteristic curves of the network for various configurations (e.g. 1, 2). Source: Dercas, 2001.

Therefore, for all the possible configurations r, the pairs (Z_r, Q_r) referred to discharges ranging between 0 and Q_{max} can be calculated and a cloud of points (Figure 2a) is created. These pairs (Z_r, Q_r) for all the open hydrants' configurations, are statically analyzed and the indexed characteristic curves are finally drawn (Figure 2b). The indexes represent the percentage (%) of the open hydrants' configurations that do not present operational failures.

(c) (d)

Figure 2: (a) Representative points of the hydraulic performance of a network (Z_r,Q_r), (b) Indexed Characteristic Curves (Ci)
Source: Dercas, 2001.

Moreover, through these curves it is determined the piezometric heads at the upstream end which permit a satisfaction at 10, 20,…, 90% of the open hydrants' configurations that demand a discharge Q_r at the upstream end of the network.

The shape of these curves depends on the geometry of the network and the topography of the area to be irrigated. Therefore, indexed characteristic curves with smooth or steep slope are obtained (Lamaddalena and Sagardoy, 2000).

For those the collective irrigation networks operating on-demand that have been designed according the Clément's method for the calculation of discharges and according the discontinuous Labye's method for the optimization of diameters, the acquired experience has shown that, their optimum operation point ($Q_{Clém}$, Z_{opt}) falls near the characteristic curve C_{50}. At this exact point the network does not present significant operational problems (Bethery, 1990; Stefopoulou and Dercas, 2011a; b).

This derives from the fact that the characteristic curve C_{50} does not represent a low satisfaction percentage since for the creation of indexed characteristic curves a very strict criterion is being used. In particular, each configuration of open hydrants that present even a small pressure deficit is considered to be unsatisfied (CEMAGREF, 1983).

The indexed characteristic curves model (CTGREF, 1979; Bethery et al., 1981; Labye et al., 1983) provides information on the global performance of an on-demand irrigation system. It has been integrated in the most common software used for the implementation of the analysis (e.g. ICARE (CEMAGREF, 1983) and COPAM (Lamaddalena and Sagardoy, 2000)).

- *Models for the analysis at the hydrant level*

The analysis at the hydrant level allows the control and the evaluation of the pressure head at each hydrant under different operating conditions. In practice, this pressure head is compared with the minimum pressure required for appropriate on-farm irrigation and in that way are identified the hydrants that present a relative pressure deficit. Finally, a measure of the hydraulic performance for each hydrant is obtained.

For the analysis at the hydrant level are determined the upstream conditions (piezometric head Z and discharge Q at the upstream end) and a number of flow regimes which correspond to the cumulative upstream discharge Q (commonly the Q of the peak period) is simulated.

The generation of these flow regimes, which are product of a multiple generation of a pre-fixed number of hydrants simultaneously operating (configuration), a random number generator that is integrated in a computer model is used.

Several models implement the analysis at the hydrant level (CEMAGREF, 1983; Lamaddalena and Sagardoy, 2000; Rossman, 2000; Lamaddalena and Perreira, 2007; Estrada et al., 2009), assuming either permanent or not permanent flow regime. The model AKLA is integrated in the software COPAM (Lamaddalena and Sagardoy, 2000) and consist an improvement of the indexed characteristic curves model.

The AKLA model calculates the permanent regimes for a selected number of discharges at the upstream end of the network and for a large number of random configurations of open hydrants. In particular, by assuming that each hydrant withdraws the nominal discharge d (L/s), even when its head is lower than the minimum required (H_{min}), it is firstly calculated the number (practically pre-fixed) of hydrants simultaneously operating K_r:

$$K_r = \frac{Q_r}{d} \tag{2}$$

where Q_r (L/s) is the upstream discharge.

It is obvious that the cumulative discharge of the totally open hydrants that operate simultaneously in each configuration is equal to the fixed discharge at the upstream end of the network Q_r. Later, by using a random number generator (having a uniform distribution function), the Kr hydrants simultaneously operating are randomly drawn (configuration).

Finally the AKLA model computes the relative pressure at each hydrant which is defined as:

$$\Delta H_{j,r} = \frac{H_{j,r} - H_{\min}}{H_{\min}} \tag{3}$$

The head losses, h_f (m), are computed using the Darcy equation:

$$h_f = 0.000857\left(1 + 2\gamma D^{-0.5}\right)^2 Q^2 D^{-0.5} L \tag{4}$$

where γ is the roughness parameter of Bazin ($m^{0.5}$), D is the pipe's diameter (m), Q (m^3/s) is the discharge flowing in the pipe and L (m) is the length of the pipe.

Reliability Indicator

In the terms of the analysis at the hydrant level, it is often used the Hashimoto reliability indicator (Hashimoto1980; Hashimoto et al., 1982). This indicator describes the frequency of the system's failure, and more particularly, defines the possibility of each hydrant to have its nominal head pressure, especially during the peak periods.

Let X_t be the random variable denoting the state of the system at time t. The possible values of X_t are shared into two sets: S, the set of all satisfactory outputs (success) and F the set of all unsatisfactory outputs (failure). At each instant t the system may fall in one of the above sets. Then, the reliability of a system is described by the probability a, where:

$$\alpha = \mathrm{Prob}\left[X_t \in S\right] \tag{5}$$

Finally, the reliability of each hydrant j is calculated by the following equation:

$$a_j = \frac{\sum_{r=1}^{C} Ih_{j,r} Ip_{j,r}}{\sum_{r=1}^{C} Ih_{j,r}} \tag{6}$$

where: $Ih_{j,r}$ = 1, if the hydrant j is open in the configuration r, $Ih_{j,r}$ = 0, if the hydrant j is closed in the configuration r, $Ip_{j,r}$ = 1, if the pressure head at the hydrant j, open in the configuration r, is higher than the minimum pressure head, $Ip_{j,r}$ = 0, if the pressure head at the hydrant j, open in the configuration r, is lower than the minimum pressure head and C the total number of the generated configurations.

Case Study

- ***Study Area***

The irrigation network is located near the town of Agrinio in the Prefecture of Aitoloakarnania (Greece) on the north side of the lake Trichonida. It is consisted of eight subnetworks which serve a total area of 1160ha.

The area's elevations are ranging from 18m (at lakes' shores level) to 120m a.s.l with the slopes increasing in the north part where they become more intense. Due to this morphology, it is observed the phenomenon of soil erosion.

As far as the area' climate is concerned, in the following tables (Table 1, 2, 3, 4, 5) are presented the mean and annual rates of sunshine's duration, wind's speed, relative humidity, temperature and rainfall (Hellenic Meteorological Service, 1989-2004).

Table 1: Mean monthly and annual sunshine's duration (hr) – Agrinio meteorological station

Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual
144.72	142.26	189.42	203.69	269.26	339.37	359.78	333.14	250.7	208.34	138.82	106.33	2685.8

Table 2: Mean monthly and annual wind's speed (knots) – Agrinio meteorological station

Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual
1.65	2.37	2.81	2.83	2.91	2.52	1.95	1.74	1.74	1.68	1.83	1.99	2.17

Table 3: Mean monthly and annual relative humidity (%) – Agrinio meteorological station

Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual
77.08	73.69	70.76	69.59	61.49	56.05	57.41	60.47	67.85	72.46	79.44	80.69	68.92

Table 4: Mean monthly and annual temperature (^{o}C) – Agrinio meteorological station

Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual
8	8.9	11.2	15	20.9	25.8	27.4	27	22.5	18.3	13.2	9.2	17.3

Table 5: Mean monthly and annual precipitation (mm) – Agrinio meteorological station

Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual
80.6	72.4	64.6	66.6	34.4	14.6	21	32.8	54.4	83.9	140.6	156.6	822.5

The performance analysis has been implemented using the model COPAM, only for one part of the network, corresponding to the subnetwork of the Zone A, which operates with the aid of the pumping station called A1. The Zone's elevation is ranging from 18m a.s.l to 36m a.s.l. The network is equipped with PVC pipes for diameters equal or less than 400mm and with steel pipes for larger diameters. The absolute roughness coefficient is equal to 0.1mm for PVC pipes and equal to 1mm for steel pipes.

Hereafter, are presented the main operating data of the network.

Table 6: The operating data of the irrigation network

Delivery schedule	**On-Demand**
Totally equipped area	318 ha
Irrigable area	290 ha
Specific continuous discharge	0,65 L/s/ha
Coefficient of utilization of the network	0.75
Minimum design head at each hydrant	35m
Clément discharge at the upstream end of the network	300 L/s
Available piezometric elevation at the upstream end of the network	102,55m
Total number of hydrants	129
Nominal discharge of each hydrant	6 L/s
Area served by each hydrant	2.21 ha
Elementary probability of operation of each hydrant	0.675
Reliability of the network	95%, U(F(x))=1.645
Cumulative discharge at the upstream end of the network	774 L/s

- *Networks' performance analysis*

The indexed characteristic curves of the network are represented in Figure 5(a). They were drawn using 300 random configurations of hydrants corresponding to upstream discharges Q_r between 100 and 774 L/s. The figure shows that the set-point P_0 (300, 102.55) falls on an indexed characteristic curve between the indexed characteristic curves 50% and 60%. This means that the head at the hydrants is higher than the minimum required in about 50-60% of all the examined discharge configurations.

Moreover, according to the Figures 6(a) & 7(a), the hydrants do not present any serious operating problems as only a few of them have a relative pressure deficit which is too small, while their reliability is greater than 0.6.

- *Sensitivity Analysis*

In the terms of the performance analysis of a pressurized irrigation system with the use of a suitable model, it is valuable to investigate and take into account the influence of its parameters and generally the assumptions made for the various aspects of the system expressed through those parameters.

This need can be satisfied by implementing a sensitivity analysis of the used model. This analysis will permit us to study the consequences of the changes of the parameters' values in the model's results.

For this purpose, a sensitivity analysis of the simulation model was carried out, using two of its basic parameters, the roughness coefficient γ and the specific continuous discharge q_0.

The roughness parameter (γ) has been chosen because of the fact that this parameter is characterized of high uncertainty as far as the determination of its values in an on operation network is concerned. Roughness of old pipes depends on age, pipe material, water quality in WDS and some other factors (Koppel and Vassiljev, 2009). The corrosion and deposition processes, which occur over time after the pipe installment, do not facilitate the determination of the actual roughness value.

Respectively, it has been chosen to investigate the effect of the variation of specific's continuous discharge (q_0) values in the system's performance. The value of this quantity,

which in fact expresses the water requirements of the area served by the network, is theoretically considered to be one of the systems data. Nevertheless, during the life of the irrigation system, large changes of the cropping pattern occur –relatively to those envisaged during the design– resulting in water demands changes.

Results and discussion

- *Variation of the roughness parameter γ Bazin*

The investigation of the roughness parameter variation effect in the system's performance included two distinctive cases. In the first case, we assumed that the parameter's value increases by 10% for both pipe materials (γ=0.20m$^{0.5}$ for steel pipes and γ=0.08 m$^{0.5}$ for PVC pipes), using as reference the values of design study (γ=0.18m$^{0.5}$ for steel pipes and γ=0.07 m$^{0.5}$ for PVC pipes). In the second case, we assumed an increase of 30% in the parameter's value (γ=0.23m$^{0.5}$ for steel pipes and γ=0.09 m$^{0.5}$ for PVC pipes), using the same reference values.

Figure 5 presents the indexed characteristic curves of the network for the initial operating conditions and for the two aforementioned cases. As expected, the curve's slope is gradually increasing due to the increase of the head losses. Furthermore, the set point ($Q_{Clém}$ = 300L/s, Z_{opt}= 102,55m) is being shifted from the characteristic curve C_{50}-C_{60} (Figure 5(a)) to the characteristic curve C_{50} (Figure 5(b)) or to the characteristic curve C_{20}-C_{30} (Figure 5(c)). At the hydrant level, Figures 6&7 demonstrate the relative pressure deficits at each hydrant and the corresponding reliability indicator's values.

The next table is indicative of the way that the hydrants' efficiency deteriorates.

Table 7: Number of hydrants per class of reliability values for the examined scenarios of 10% and 30% increase on the roughness coefficient and for the reference scenario.

	Reliability Indicator		
Scenario	< 5	0.5-0.8	0.8-1.0
Reference	-	4	125
1st: γ+10%	-	15	114
2^{d}: γ+30%	2	19	108

It is therefore understood that the parameter of roughness consists an important factor in the performance analysis of an irrigation network and that a wrong choice of its values can significantly affect the accuracy and lead to incorrect results.

- *Variation of the specific continuous discharge parameter q_0*

A similar approach has been followed in order to evaluate the network's performance sensitivity to the variation of the specific continuous discharge parameter q_0. More particularly, with the assumption that the cropping pattern changes and is progressively consisted of more demanding crops, three possible demand scenarios have been tested, corresponding to an increase of 10%, 20% and 30% of the specific continuous discharge.
The table below demonstrates the values of the specific continuous discharge as they have been formed after applying these increases, using as reference the value of the design study (q_0=0.650L/s/ha).

Table 8: Values of the specific continuous discharge for the three operation scenarios and foe the reference scenario.

Scenario	Reference q_0	q_0+10%	q_0+20%	q_0+30%
q_0 (L/s/ha)	0.650	0.715	0.780	0.845

By using the first Clément model, the new conveying discharges through the pipes of the network were calculated. As expected, since the specific continuous discharge increases, the upstream end of the network is requested to provide water at a higher rate.

In the first case (increase of 10%), the upstream discharge was calculated equal to 330L/s instead of 300L/s that had been calculated in the initial operation conditions. The corresponding set-point ($Q_{Clém}$=330L/s, Z_{opt}=102,55m) falls on an indexed characteristic curve within the indexed characteristic curves C_{20}-C_{30} (Figure 5 (d)). In the second case (increase of 20%), the upstream discharge was calculated equal to 354L/s and the set-point ($Q_{Clém}$=354L/s, Z_{opt}=102,55m) falls on an indexed characteristic curve corresponding to a low percentage of satisfied configurations (<10%) (Figure 5(e)) compared to the initial percentage of satisfaction of the open hydrants' configurations (50%-60%). In the third scenario (increase of 30%), this percentage is much lower as according to the Figure 5(f) the set-point ($Q_{Clém}$=378L/s, Z_{opt}=102,55m) is located out and much lower of the bundle of the indexed characteristic curves C_{10} to C_{90}.

As far as the operation problems of the hydrants are concerned as well as the magnitude of these problems, the Figures 6&7 display the relative pressure deficits at each hydrant and the corresponding reliability indicator's values for each tested scenario.

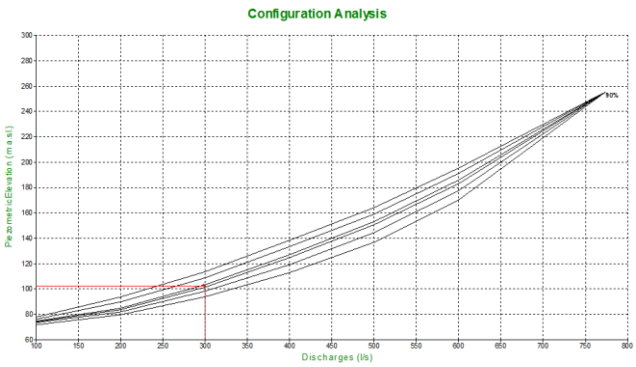
The following table is representative of the way that the hydrants' efficiency is being evolved. It is observed a progressive increase in the number of open hydrants whose reliability falls below the acceptable limit of 0.5.

Table 8: Number of hydrants per class of reliability values for the examined scenarios of 10%, 20% and 30% increase on the specific continuous discharge and for the reference scenario.

	Reliability Indicator		
Scenario	< 5	0.5-0.8	0.8-1.0
Reference	-	4	125
3^{d}: q+10%	2	26	101
4th: q+20%	18	23	88
5th: q+30%	28	30	71

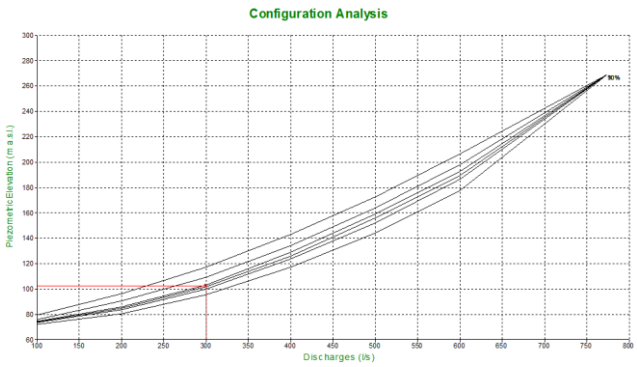
The investigation of the network's performance for the three operation scenarios characterized by increased water demands, showed that the network is practically not able to respond satisfactorily in case that the irrigation water needs increase in such rates. Moreover, through this process, has also been highlighted the ability of testing different operating scenarios offered by such a model and the necessity of continuously monitoring the network status.

Initial operating conditions ($Q_{Clém}$ = 300L/s, $Z_{κεφ}$= 102,55m)

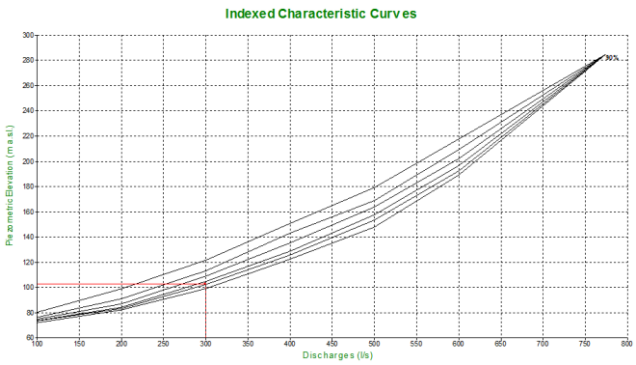


(a) γ – q_0

Variation of the roughness parameter γ Bazin

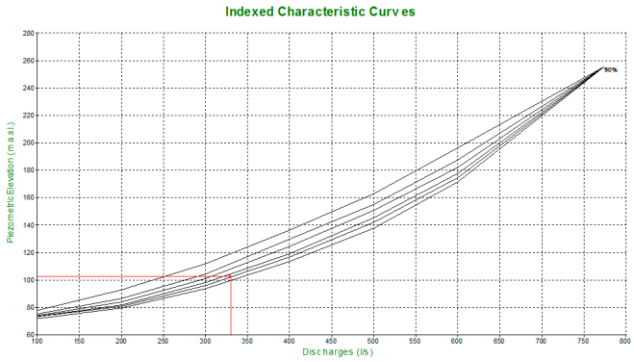


(b) γ +10%

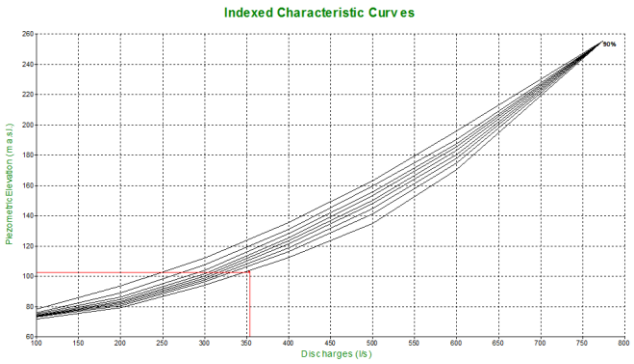


(c) γ +30%

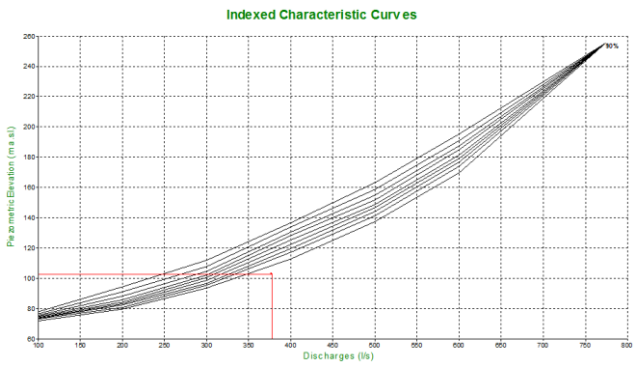
Variation of the specific continuous discharge parameter q_0



(d) q_0 +10%



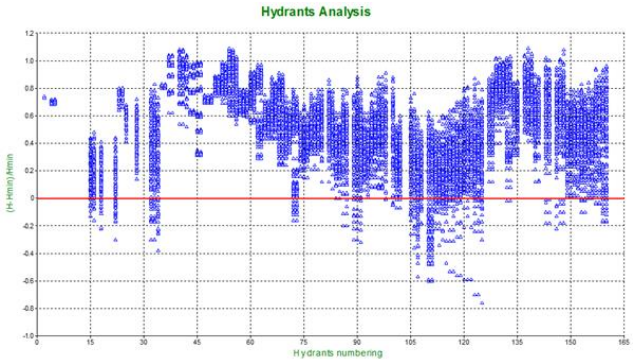
(e) q_0 +20%



(f) q_0 +30%

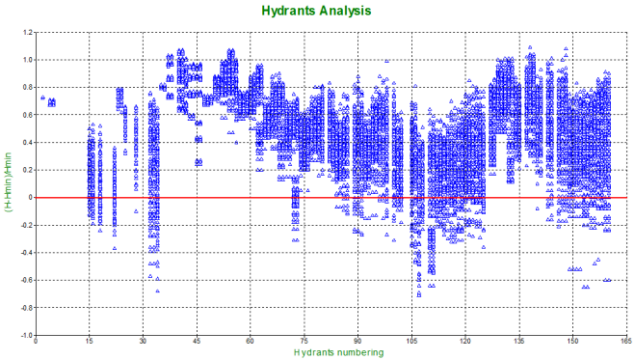
Figure 5: Indexed Characteristic Curves of the irrigation network under study (300 discharge configurations were generated)

Initial operating conditions ($Q_{Clém}$ = 300L/s, $Z_{κεφ}$= 102,55m)

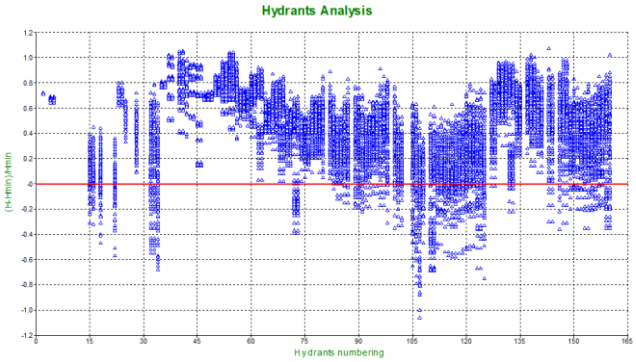


(a) γ – q_0

Variation of the roughness parameter γ Bazin

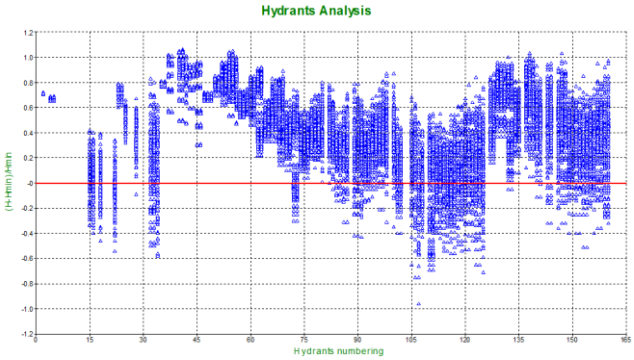


(b) γ +10%

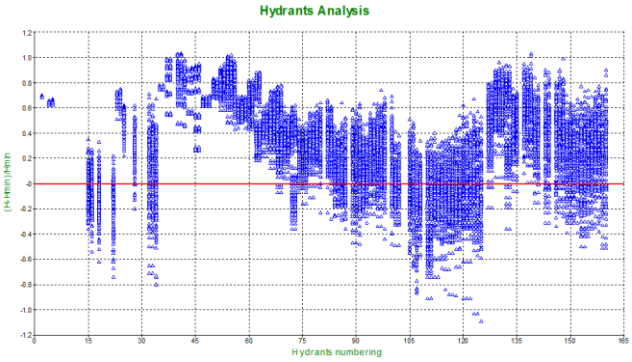


(c) γ +30%

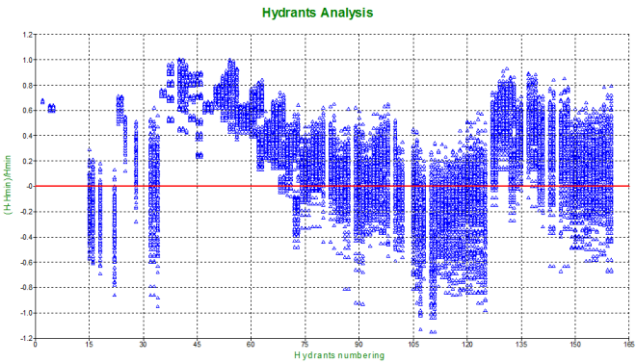
Variation of the specific continuous discharge parameter q_0



(d) q_0 +10%



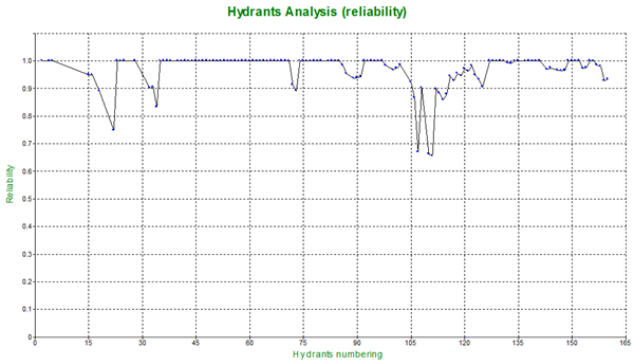
(e) q_0 +20%



(f) q_0 +30%

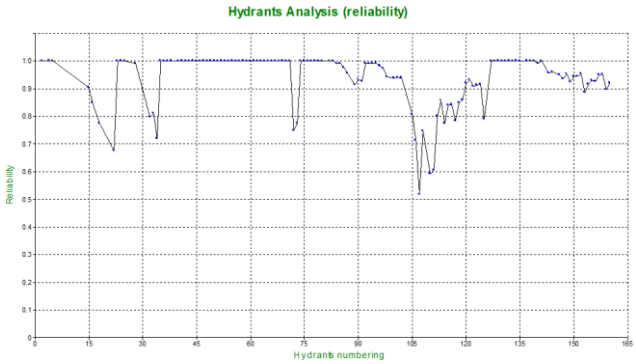
Figure 6: Relative pressure deficits at each hydrant (300 discharge configurations were generated)

Initial operating conditions ($Q_{Clém}$ = 300L/s, $Z_{κεφ}$= 102,55m)

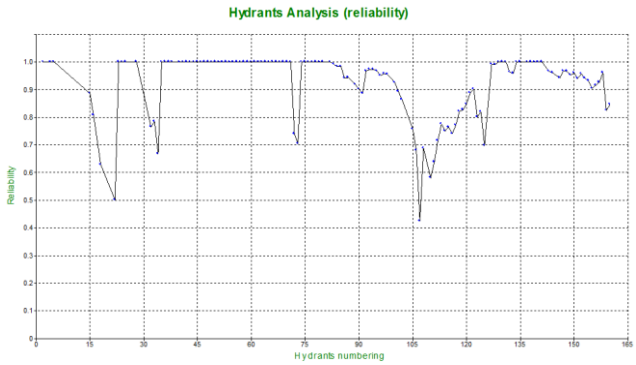


(a) γ – q_0

Variation of the roughness parameter γ Bazin

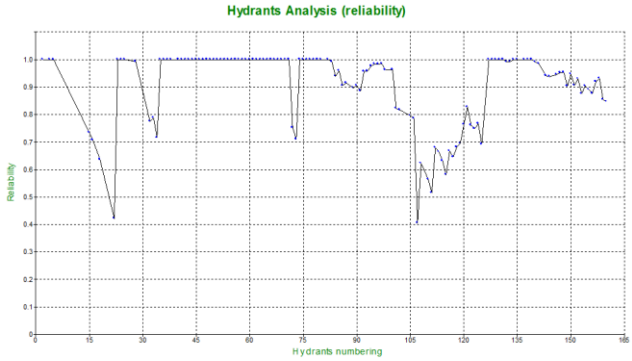


(b) γ +10%

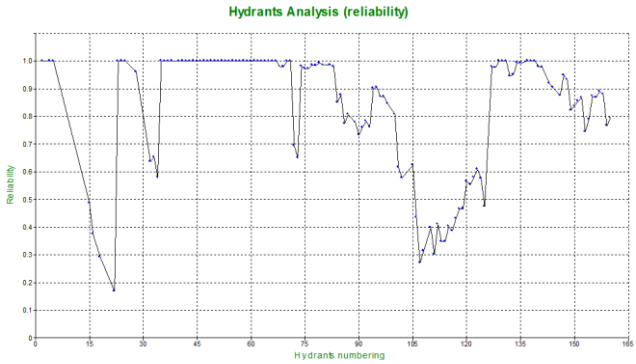


(c) γ +30%

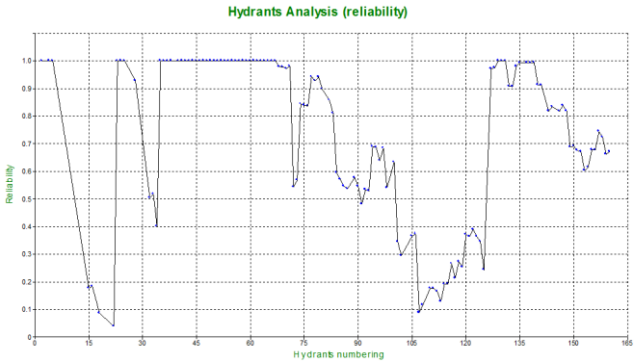
Variation of the specific continuous discharge parameter q_0



(d) q_0 +10%



(e) q_0 +20%



(f) q_0 +30%

Figure 7: Reliability indicator for each hydrant (300 discharge configurations were generated)

Conclusions

The implementation of the performance analysis of pressurized irrigation systems operating on-demand has been examined. The main conclusions are presented below.

- The performance analysis of an irrigation system with the use of simulation models is particularly useful as it permits not only the identification of the operation problems in the network's sections, but also their quantification.
- Its utility is not limited in the operation stage but it is also extended to the design stage.
- The indexed characteristic curves constitute a boundary for the network's proper performance for a wide range of possible operation conditions.
- The analysis at the hydrant level gives more precise information as far as the position of the hydrants with operation problems is concerned as well as the magnitude of these problems.
- For the achievement of a reliable analysis of an operating network, it is considered necessary the existence of a monitoring system that will provide the network's managers with pressure and discharge measurements.

Furthermore, through the application of the COPAM model in the examined network, it was concluded that:

- This model can sufficiently simulate the network's predicted performance.
- of head losses and q_0 is the specific continuous discharge which expresses the area's water requirements. The model is particularly sensitive to the parameters γ and q_0, where γ (Bazin) is the roughness coefficient used by the model for the computation.
- The constant monitoring of the system and the collection of data on operation will allow performing the analysis under actual conditions and will allow calibrating, validating and updating existing models, besides formulating new models, too.

Subject of Further Research

- The improvement of the existing simulation models used for the analysis of the irrigation network's performance as well as the formulation of new, advanced and user friendly models.
- The development of a modern tool for monitoring the evolution of crops, based on the inventory data in annual step coming from the involved organizations in a GIS environment. This will allow the determination of the emerging trends and lead the system's managers to sound decisions in combination with the process of analysis.
- The investigation of the improvement that the actions of restoration in existing irrigation networks can bring, based on a reliable analysis of their performance, at the scale of water district, through a cost benefit analysis.

References

- American Water Works Accosiation (1989). Procceedings. Annual Conference.

- Bethery, J. (1990). Réseaux collectifs ramifiés sous pression, Calcul et fonctionnement, Études hydraulique agricole, no 6. Antony, France.

- Bethery, J., Meunier, M., and Puech, C. (1981). Analyse des défaillances et étude du renforcement des réseaux d'irrigation par aspersion. Proc. XIe Cong CIID, 36, 297-324.

- CEMAGREF, (1983). Calcul des réseaux ramifiés sous pression. No. 506. Antony, France.

- CTGREF. (1979). Renforcement des réseaux ramifiés d' eau sous pression. Cahier 33.

- Hellenic National Meteorological Service, (2011). Provision of meteorological data for the elaboration of the thesis entitled "Hydrological investigation of the Acheloos river basin", Stamouli, P.

- Estrada, C., González, C., Aliod, R., and Paño, J. (2009). Improved Pressurized Pipe Network Hydraulic Solver for Applications in Irrigation Systems. J. Irrig. Drain. Eng, 135(4), 421-430.

- Khadra, R. and Lamaddalena, N. (2010). Development of a Decision Support System for Irrigation Systems Analysis. Water Resources Management 24, 3279-3297.

- Koppel, T., Vassiljev, A., (2009). Calibration of a model of an operational water distribution system containing pipes of different age. Department of Mechanics, Tallinn University of Technology, Tallinn Published by Elsevier Ltd.

- Labye, Y., Lahaye, J.P., and Meunier, M. (1975). Utilization des caracteristiques indices. Proc. Congres de la ICID, Moscou, p30.

- Lamaddalena N. and Sagardoy J.A., 2000. Performance analysis of on-demandpressurized irrigation systems, FAO and CIHEAM-IAMB, Irrigation and Drainage Paper Paper 59, Rome, pp149.

- Lamaddalena, N. and Perreira, L.S. (2007). Pressure-driven modelling for the performance analysis of irrigation systems operating on demand. Agric. Water Manag, 90, 36-44.

- Rosseman, L.A. (2000). EPANET User Manual. US Environmental Protection Agency, Drinking Water Research Division, Risk Reduction Engineering Laboratory. Cincinnati.

- Stefopoulou, A. and Dercas, N. (2011a). Investigation of Hydraulic Performance of Irrigation Network Kalyvion-Socha. (Prerfecture of Lakonia, Greece). Proc. 7th Greek Conf of the Hellenic Soc. of Agric. Eng., Greece.

- Stefopoulou, A., and Dercas, N. (2011b). Performance Analysis of Large Pressurized Irrigation Networks: Effect of Head Losses Evaluation. Proc. VI EWRA Int Symp "Water Engineering and Management in a Changing Environment", Italy.

1. Εισαγωγή

1.1 Αντικείμενο και σκοπός μελέτης

Με τη γεωργία να αποτελεί τον μεγαλύτερο καταναλωτή νερού παγκοσμίως και τις πιέσεις για ορθή διαχείριση των υδατικών πόρων και εξασφάλιση της απαιτούμενης ποσότητας τροφίμων ενός συνεχώς αυξανόμενου πληθυσμού να εντείνονται συνεχώς, η ανάταξη και ο εκσυγχρονισμός των αρδευτικών δικτύων είναι περισσότερο επίκαιρος από ποτέ.

Στην Ελλάδα, η γεωργία επίσης καταλαμβάνει την μερίδα του λέοντος στην κατανάλωση νερού, συγκεντρώνοντας ένα ποσοστό της τάξεως του 85% (ΕΣΥΕ, 2001). Τα εγγειοβελτιωτικά έργα έκαναν την εμφάνισή τους στη χώρα μας από πολύ νωρίς, από τη δεκαετία του 1970 όμως και μετά κατασκευάστηκαν κυρίως αρδευτικά δίκτυα υπό πίεση ενώ παράλληλα κάποια άλλα υπάρχοντα δίκτυα ανοικτών διωρύγων μετατράπηκαν σε δίκτυα υπό πίεση. Σύμφωνα με στοιχεία πρόσφατων απογραφών τα συλλογικά αρδευτικά δίκτυα αντιστοιχούν στο 44% της αρδευόμενης έκτασης και τα ιδιωτικά έργα στο 56%. Στα πρώτα, η μεταφορά και η διανομή του νερού γίνεται με κλειστούς αγωγούς σε ποσοστό 65% και με ανοιχτές διώρυγες σε ποσοστό 35% (Karamanos et al., 2004).

Η σημερινή κατάσταση της πλειοψηφίας των έργων αυτών διαφοροποιείται σημαντικά από εκείνη που είχε προβλεφθεί κατά την μελέτη τους. Πεπαλαιωμένα δίκτυα, χαμηλή ή και ανύπαρκτη συντήρηση, μεγάλες καταναλώσεις και απώλειες νερού, ανεξέλεγκτες επεμβάσεις από την πλευρά των χρηστών ελλείψει ελέγχου και διαχείρισης από τους αρμόδιους φορείς που μειώνουν δραματικά την ποιότητα λειτουργίας, είναι μερικά από τα προβλήματα που παρουσιάζουν.

Αποτέλεσμα μια τέτοιας κατάστασης είναι τα δίκτυα αυτά να αδυνατούν να εξυπηρετήσουν τους χρήστες, να αυξάνεται σημαντικά το ενεργειακό κόστος (στις περιπτώσεις άντλησης) και να επιβαρύνονται οι υπόγειοι υδροφορείς εξαιτίας της υπεράντλησης και της προκύπτουσας υφαλμύρινσης. Παράλληλα, οι αγρότες λόγω της έλλειψης σχεδιασμού και καθοδήγησης, αρδεύουν εμπειρικά και για να αισθάνονται ασφαλείς τείνουν να αυξάνουν την ποσότητα του νερού άρδευσης, κάτι που με τη σειρά του επιφέρει μη αποτελεσματική χρήση του αρδευτικού νερού, απόπλυση των θρεπτικών στοιχείων του εδάφους και απώλειες στην παραγωγή.

Για την αποτελεσματική αντιμετώπιση των προβλημάτων αυτών, θα πρέπει οι διαχειριστές να έχουν μια πραγματική εικόνα του δικτύου που θα προέρχεται από μια εμπεριστατωμένη αξιολόγηση της λειτουργικής του κατάστασης και δεν θα βασίζεται μόνο στους ισχυρισμούς των χρηστών.

Αντικείμενο και σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η παρουσίαση των μεθόδων ανάλυσης της υδραυλικής επάρκειας ενός συλλογικού αρδευτικού δικτύου υπό πίεση με ελεύθερη ζήτηση, με τη χρήση μοντέλων προσομοίωσης και κυρίως η ανάδειξη αυτής της διαδικασίας ως μέσο για την επίτευξη τεχνικής, λειτουργικής και διαχειριστικής προσαρμογής των συλλογικών αρδευτικών δικτύων στις σύγχρονες απαιτήσεις.

1.2 Διάρθρωση εργασίας

Η εργασία αυτή αναπτύσσεται σε πέντε επιμέρους κεφάλαια με τη σειρά που παρουσιάζεται ακολούθως:

Κεφάλαιο 1: Στο εισαγωγικό αυτό κεφάλαιο γίνεται αναφορά στο γενικότερο πλαίσιο που κινήθηκε η εργασία, δίνοντας έμφαση στους λόγους που δρομολογούν τη συγκεκριμένη διερεύνηση.

Κεφάλαιο 2: Δίνονται οι βασικές έννοιες και μέθοδοι που άπτονται των συλλογικών αρδευτικών δικτύων, του σχεδιασμού και της ανάλυσής τους. Επίσης παρουσιάζονται δυο γνωστά λογισμικά που χρησιμοποιούνται για την υδραυλική ανάλυση συλλογικών αρδευτικών δικτύων.

Κεφάλαιο 3: Περιλαμβάνει την εφαρμογή της ανάλυσης σε ένα υφιστάμενο ελληνικό δίκτυο, περιέχοντας παράλληλα στοιχεία για το συγκεκριμένο δίκτυο και την ευρύτερη περιοχή μελέτης.

Κεφάλαιο 4: Παρουσιάζεται η ανάλυση ευαισθησίας του μοντέλου προσομοίωσης της λειτουργίας του δικτύου ως προς τις παραμέτρους της τραχύτητας και της ειδικής συνεχούς παροχής και τα αποτελέσματα που προέκυψαν από αυτήν.

Κεφάλαιο 5: Αποτελεί το τελευταίο κεφάλαιο όπου συνοψίζονται τα βασικά συμπεράσματα αυτής της εργασίας και διατυπώνονται προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.

2. Επισκόπηση εννοιών και μεθόδων

2.1 Συλλογικά αρδευτικά δίκτυα

Τα συλλογικά αρδευτικά δίκτυα είναι υδραυλικά συστήματα που έχουν ως σκοπό να μεταφέρουν το νερό από το σημείο υδροληψίας (φυσική η τεχνητή λίμνη, εκτροπή ποταμού, γεώτρηση) στην αρδευτική περίμετρο και να το διανέμουν στις διάφορες αρδευτικές μονάδες (Τσακίρης και Δέρκας, 2006).

Ως μέρος μιας ευρύτερης κατηγορίας έργων, αυτής των εγγειοβελτιωτικών, αποσκοπούν παράλληλα στην εξασφάλιση και στην εξοικονόμηση νερού για την κάλυψη των αρδευτικών αναγκών των καλλιεργειών, στην ορθολογική διαχείριση των εδαφοϋδατικών πόρων αλλά και στην μέριμνα για την ποιότητα των αρδευτικών νερών και την προστασία του εδάφους.

Από την εμφάνισή τους και ως τα μέσα του 20^{ου} αιώνα τα δίκτυα αυτά, ήταν δίκτυα ανοιχτών διωρύγων στα οποία το νερό έφθανε από την υδροληψία μέχρι τα αγροτεμάχια με τη βαρύτητα ενώ η εφαρμογή του γινόταν με επιφανειακές μεθόδους (άρδευση με αυλάκια, με λωρίδες ή με λεκάνες κατάκλυσης). Αργότερα όμως και πιο συγκεκριμένα μετά το 1970 υπήρξε μια στροφή προς τα δίκτυα κλειστών αγωγών υπό πίεση είτε αντικαθιστώντας τα ήδη υπάρχοντα ανοιχτών αγωγών είτε κατασκευάζοντας νέα, που επέτρεψε ταυτόχρονα να αναπτυχθούν νέες μέθοδοι άρδευσης όπως ο καταιονισμός και η μικροάρδευση.

Τα δίκτυα **υπό πίεση** είναι συστήματα αγωγών με ακτινωτή διάταξη (σε αντίθεση με κλειστά δίκτυα άρδευσης) που μεταφέρουν το νερό από το σημείο υδροδότησης με άντληση ή βαρύτητα (όταν η τοπογραφία το επιτρέπει) υπό πίεση μέχρι τα σημεία διανομής του νερού κοντά στις αρδευτικές μονάδες. Στα σημεία διανομής υπάρχουν οι υδροληψίες που φέρουν συνήθως 1 έως 4 υδροστόμια (σε ορισμένους τύπους υδροληψιών έως και 6). Τα υδροστόμια αυτά επιτρέπουν στους χρήστες να συνδέουν τα ατομικά τους συστήματα άρδευσης και να αρδεύουν τα αγροτεμάχιά τους με καταιονισμό ή μικροάρδευση. Βασικό πλεονέκτημα του συστήματος είναι η δυνατότητα χρήσης όλων των σύγχρονων μεθόδων άρδευσης ενώ μειονέκτημα αποτελεί το υψηλό κόστος λειτουργίας λόγω κυρίως του ενεργειακού κόστους (Τσακίρης και Δέρκας, 2006).

Επιπλέον τα συλλογικά αρδευτικά δίκτυα υπό πίεση επιτρέπουν την οργάνωση των αρδεύσεων με πιο ορθολογικό τρόπο, αυξάνουν την αποδοτικότητα χρήσης του νερού δεδομένου ότι οι απώλειες είναι συνήθως μικρότερες, βελτιώνουν την ομοιομορφία εφαρμογής στον αγρό και

τέλος δίνουν τη δυνατότητα χρέωσης του αρδευτικού νερού με βάση τον καταναλισκόμενο όγκο και όχι την αρδευόμενη επιφάνεια κάτι όμως που όμως στην Ελλάδα τουλάχιστον δεν έχει ευρέως εφαρμοστεί πλην ελαχίστων εξαιρέσεων.

Εξαιτίας των σημαντικών πλεονεκτημάτων που παρουσιάζουν σε σχέση με τις ανοιχτές διώρυγες, τα δίκτυα υπό πίεση επικράτησαν τελικά και αναπτύχθηκαν ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών.

Ως προς τον τρόπο διανομής του αρδευτικού νερού, τα συλλογικά δίκτυα υπό πίεση λειτουργούν με μια από τις ακόλουθες μεθόδους: **με ελεύθερη ζήτηση**, με διανομή εκ περιτροπής (πρόγραμμα) και με περιορισμένη ζήτηση. Στη μέθοδο με ελεύθερη ζήτηση οι χρήστες είναι εκείνοι που καθορίζουν το χρόνο και τη διάρκεια άρδευσης του αγροτεμαχίου τους. Στη μέθοδο εκ περιτροπής διανομής δίνεται σε κάθε κλάδο ή σε κάθε υδροληψία η ειδική συνεχής παροχή που αντιστοιχεί στην επιφάνεια που αρδεύει και ο χρήστης πρέπει κατά την περίοδο που διαθέτει το νερό να αρδεύει συνεχώς προκειμένου να καλύψει τις ανάγκες των καλλιεργειών του. Τέλος η μέθοδος διανομής με περιορισμένη ζήτηση παρέχει στον χρήστη ελευθερία μεταξύ αυτής της ελεύθερης ζήτησης και του προγράμματος (Δέρκας, 1989) (κάθε υδροστόμιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί κατά τη βούληση του χρήστη κάτω όμως από ορισμένες προϋποθέσεις π.χ. όχι όλες τις ημέρες ή όχι όταν το γειτονικό υδροστόμιο είναι σε λειτουργία κ.λπ.).

Από τις τρεις αυτές μεθόδους διανομής, αυτή που είναι η πλέον χαρακτηριστική για τα δίκτυα υπό πίεση και η οποία αναπτύχθηκε μαζί με αυτά είναι αυτή της ελεύθερης ζήτησης. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, στη μέθοδο αυτή οι αγρότες μπορούν να χρησιμοποιούν το υδροστόμιό τους όποτε θέλουν και για όσο το χρειάζονται. Το γεγονός αυτό τους δίνει ιδιαίτερη ελευθερία, τους βοηθά στην καλύτερη οργάνωση των εργασιών τους και στην αποτελεσματικότερη χρήση του νερού (Τσακίρης και Δέρκας, 2006).

Απαραίτητη προϋπόθεση βέβαια είναι οι χρήστες να γνωρίζουν και να τηρούν τις αρχές της άρδευσης (συχνότητα και δόση άρδευσης) και να μην αρδεύουν εμπειρικά.

2.2 Σχεδιασμός συλλογικού αρδευτικού δικτύου υπό πίεση

Οι μελέτες των αρδευτικών δικτύων είναι πολύπλοκες και χρονοβόρες και εκτελούνται από επιτελεία πολλών ειδικοτήτων (μηχανικών, γεωπόνων, οικονομολόγων κ.λπ.). Τα αναγκαία στοιχεία για την σύνταξη των μελετών των συλλογικών αρδευτικών δικτύων αφορούν στο φυσικό

περιβάλλον (τοπογραφία, γεωλογία, εδαφολογία, εδαφομηχανική, μετεωρολογία, υδρολογία και υδρογεωλογία), στο κτηματολόγιο της περιοχής όπως επίσης και στην οικονομο-τεχνική κατάσταση των γεωργικών εκμεταλλεύσεων (διαθέσιμοι οικονομικοί πόροι, εξοπλισμός, χρησιμοποιούμενη τεχνολογία), στις κοινωνικές συνθήκες στην ευρύτερη περιοχή του έργου (ηλικιακή πυραμίδα, μορφωτικό επίπεδο, διαθέσιμο εργατικό δυναμικό κ.λπ.) (Τσακίρης και Δέρκας, 2006).

Οι παράμετροι που εμπλέκονται στη σχεδίαση ενός αρδευτικού δικτύου υπό πίεση που λειτουργεί με ελεύθερη ζήτηση μπορούν να ομαδοποιηθούν σε δύο ξεχωριστές κατηγορίες (Galand and Jean, 1979), τις παραμέτρους πλαισίου (paramètres de contexte) και τις παραμέτρους απόφασης (paramètres de décision). Οι παράμετροι πλαισίου είναι αποτέλεσμα της επίδρασης του κλίματος, του τύπου εδάφους, καθώς και των υδροτεχνικών και αγρονομικών χαρακτηριστικών της αρδευτικής περιμέτρου. Το κοινό χαρακτηριστικό των παραπάνω παραμέτρων είναι ότι λαμβάνουν συγκεκριμένες και προκαθορισμένες τιμές και κατά συνέπεια ο μελετητής δεν μπορεί να επέμβει στον καθορισμό των τιμών τους. Οι παράμετροι απόφασης, δεν είναι προκαθορισμένες. Αντίθετα, αποτελούν επιλογή του μελετητή και μάλιστα συχνά χωρίς να υπάρχει σαφής τεκμηρίωση της επιλογής αυτής (Bethery *et al.*, 1981). Οι παράμετροι αυτοί αφορούν την ποιότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών (ποιότητα λειτουργίας του δικτύου, χρονική απόδοση του δικτύου) και τη σχεδίαση του δικτύου (πυκνότητα εγκατεστημένων υδροστομίων, μελλοντικά υδροστόμια, κα).

Οι φάσεις σχεδιασμού ενός αρδευτικού δικτύου υπό πίεση ελεύθερης ζήτησης είναι οι ακόλουθες:

1. Προσδιορισμός των αρδευτικών αναγκών
2. Οριοθέτηση της αρδευτικής περιμέτρου
3. Χάραξη του δικτύου
4. Υπολογισμός των παροχών σχεδιασμού των αγωγών
5. Οικονομική βελτιστοποίηση των διαμέτρων των αγωγών και του έργου κεφαλής

2.2.1 Προσδιορισμός των αρδευτικών αναγκών

Ο προσδιορισμός των αρδευτικών αναγκών των καλλιεργειών αποτελεί ίσως την πιο δύσκολη φάση της μελέτης ενός αρδευτικού δικτύου. Η δυσκολία της έγκειται στο γεγονός ότι κατά το στάδιο αυτό πρέπει να γίνει εκτίμηση της κατανομής των καλλιεργειών για τη προβλεπόμενη διάρκεια ζωής του έργου, έτσι ώστε στη συνέχεια να υπολογιστούν οι ανάγκες τους σε αρδευτικό νερό. Απαραίτητη για τον υπολογισμό αυτών των αναγκών είναι η ύπαρξη ενός μητρώου τιμών μετεωρολογικών παραμέτρων μιας μεγάλης χρονικής περιόδου (της μεγαλύτερης που διαθέτουμε για την περιοχή μελέτης) όπως θερμοκρασίας, ηλιακής ακτινοβολίας, σχετικής υγρασίας και ταχύτητας του ανέμου καθώς και τιμών σχετικών με τις υδατικές απώλειες του συστήματος μεταφοράς και διανομής και των μεθόδων άρδευσης.

Η φάση αυτή της μελέτης οδηγεί συχνά σε αστοχίες διότι πρακτικά είναι δύσκολο έως αδύνατο να εκτιμηθεί έστω και με σχετική ακρίβεια η κατανομή των καλλιεργειών στο χρονικό ορίζοντα της κατανομής του της ζωής του έργου (30-40έτη).

Στον ελληνικό χώρο, τα αρδευτικά δίκτυα Αλφειού και Πηνειού Ηλείας αποτελούν δυο χαρακτηριστικά παραδείγματα του βαθμού αστοχίας στην εκτίμηση της μελλοντικής κατανομής των καλλιεργειών. Σύμφωνα με τα στοιχεία της απογραφή καλλιεργειών που πραγματοποιήθηκε το 1995, 23 χρόνια δηλαδή μετά την ολοκλήρωση των έργων του Αλφειού (1972) και 15 χρόνια μετά την ολοκλήρωση των έργων του Πηνειού (1980), οι αρδεύσεις είχαν αναπτυχθεί σημαντικά λιγότερο από αυτό που είχε προβλεφθεί κατά την μελέτη για χρονικό ορίζοντα 10 ετών μετά την έναρξη λειτουργίας των δικτύων (1982 και 1990 αντίστοιχα). Συγχρόνως σημαντικές αποκλίσεις υπήρχαν στις εκτάσεις που καταλαμβάνουν οι διάφορες καλλιέργειες (Karantounias and Dercas, 1987).

Λόγω των αντικειμενικών δυσκολιών εκτίμησης της κατανομής των καλλιεργειών που θα αναπτυχθεί στη διάρκεια ζωής ενός εγγειοβελτιωτικού έργου, ορισμένοι οργανισμοί μελέτης, σχεδιασμού και διαχείρισης συλλογικών αρδευτικών δικτύων όπως η Société du Canal de Provence (Γαλλία) υιοθετούν μια διαφορετική προσέγγιση. Δέχονται ότι μια προσέγγιση για χρονικό ορίζοντα 30-40 ετών είναι πολύ παρακινδυνευμένη και κάνουν αντί αυτής μια εκτίμηση της κατανομής των καλλιεργειών για τρεις χρονικούς ορίζοντες: 1-5 έτη, 6-10 έτη, 11-15 έτη. Το έργο θα κατασκευαστεί για την αρχική κατανομή των καλλιεργειών (1-5 έτη) αλλά με πρόβλεψη για περαιτέρω ενισχύσεις (π.χ. στο αντλιοστάσιο κεφαλής μπορεί να μην τοποθετηθούν εξ αρχής όλες οι αντλίες αλλά το κτίριο θα έχει τις τελικές του διαστάσεις) και στη συνέχεια θα υπάρχει

παρακολούθηση του έργου προκειμένου να ενισχύεται στην κατάλληλη χρονική στιγμή. Αυτό που επιδιώκεται είναι το έργο να μπορεί να προσαρμόζεται στη ζήτηση και να μην παρατηρείται το φαινόμενο της υποαξιοποίησης των επενδυμένων κεφαλαίων (είναι συχνό φαινόμενο το ποσοστό των αρδεύσεων να μην ξεπερνά το 60-65% της εξοπλισμένης έκτασης).

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να τονισθεί ότι η προσέγγισης της Société du Canal de Provence προϋποθέτει σοβαρή παρακολούθηση της λειτουργίας του δικτύου, έγκαιρο εντοπισμό των προβλημάτων και μηχανισμούς γρήγορης μελέτης και ανάθεσης των έργων ενίσχυσης.

2.2.2 Οριοθέτηση της αρδευτικής περιμέτρου

Στις αρχικές φάσεις της μελέτης τα όρια της αρδευτικής περιμέτρου δεν είναι σαφώς ορισμένα. Όταν όμως γίνει η εδαφολογική μελέτη, προσδιοριστούν ζώνες με παθογένεια και εδάφη που χρήζουν βελτίωσης, ολοκληρωθεί η γεωργοτεχνική-γεωργοοικονομική μελέτη, προσδιοριστούν οι αρδευτικές ανάγκες ανά μονάδα επιφανείας και οι διαθέσιμοι υδατικοί πόροι, ο μελετητής είναι σε θέση να προσδιορίσει τα όρια της περιμέτρου λαμβάνοντας υπόψη και τους διαθέσιμους οικονομικούς πόρους. Στην περίπτωση που το έργο εκτός από συστήματα υπό πίεση περιλαμβάνει και ζώνες με ανοιχτούς αγωγούς (χρήση επιφανειακών αρδευτικών συστημάτων) η τοπογραφία θα είναι πολύ σημαντικός παράγοντας στον προσδιορισμό των ορίων της αρδευτικής περιμέτρου.

2.2.3 Χάραξη του δικτύου

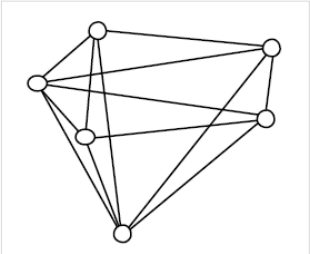
Αφού επιλεχθούν τα σημεία διανομής του νερού (οι υδροληψίες) και πάνω σ αυτές τα υδροστόμια που θα υδροδοτήσουν τις αρδευτικές μονάδες (μεμονωμένα αγροτεμάχια ή ομάδες αγροτεμαχίων που χρησιμοποιούν την ίδια αρδευτική κεφαλή) ακολουθεί η χάραξη του δικτύου.

Στη συνέχεια περιγράφεται μια μεθοδολογία βέλτιστης χάραξης ενός δικτύου η οποία περιλαμβάνει τα ακόλουθα τρία βήματα:

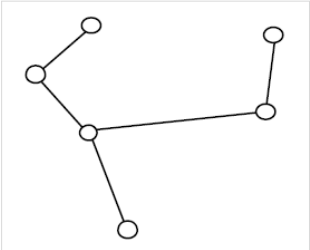
Βήμα 1: Χάραξη εκ του σύνεγγυς

Στόχος στο βήμα αυτό είναι να συνδεθούν οι υδροληψίες με την κεφαλή μέσω της πλέον σύντομης χάραξης χωρίς την παρεμβολή κόμβων.

Για να πραγματοποιηθεί αυτό είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί ο αλγόριθμος του Kruskal (Σχήμα 2.1α). Για κάθε υδροληψία θα πρέπει να εκτιμάται η απόσταση από όλες τις άλλες υδροληψίες και να επιλέγεται η συντομότερη χωρίς τη δημιουργία βρόχων. Αν ο αριθμός των υδροληψιών είναι μεγάλος είναι πρακτικά πολύ δύσκολη η εφαρμογή αυτού του αλγορίθμου. Προς απλοποίηση της διαδικασίας χρησιμοποιείται ο αλγόριθμος του Sollin όπου στο αρχικό δίκτυο/αγωγό (σύνδεση κόμβου κεφαλής με πλησιέστερη υδροληψία) συνδέεται η επόμενη πλησιέστερη υδροληψία και δημιουργείται ένα δίκτυο δύο υδροληψιών και κόμβου κεφαλής (Σχήμα 2.1β). Στο τέλος στο δίκτυο των n-2 υδροληψιών και του κόμβου κεφαλής (σύνολο n-1) συνδέεται η τελευταία υδροληψία και δημιουργείται το τελικό δίκτυο (n-1 υδροληψίες και ένας κόμβος κεφαλής). Το πλεονέκτημα του αλγόριθμου του Sollin σε σχέση με αυτόν του Kruskal είναι η σημαντική μείωση των συγκρίσεων (μήκους αγωγών που πρέπει να πραγματοποιηθούν).



(α)



(β)

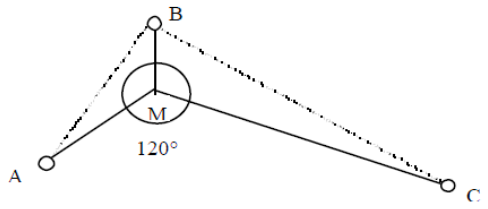
Σχήμα 2.1: Εκ του σύνεγγυς χάραξη. Χρήση αλγορίθμου Kruskal (α) και Sollin (β).

Πηγή: Lamaddalena and Sagardoy, 2000.

Βήμα 2: Χάραξη κατά 120°

Προκειμένου να μειωθεί το μήκος των κλάδων γίνεται σύνδεση των αγωγών υπό γωνία 120° δημιουργώντας ενδιάμεσους κόμβους που δεν αντιστοιχούν σε υδροληψίες. Στο παρακάτω παράδειγμα παρουσιάζεται ο τρόπος εφαρμογής αυτής της μεθόδου.

Έστω ότι έχουν συνδεθεί 3 υδροστόμια Α, Β και Γ με τον κανόνα της εκ του σύνεγγυς χάραξης χρησιμοποιώντας τους κλάδους ΑΒ και ΒΓ (Σχήμα 2.2). Εισάγεται ένας κόμβος Μ έτσι ώστε ΜΑ+ΜΒ+ΜΓ= minimum.



Σχήμα 2.2: Χάραξη κατά 120° - Σύνδεση τριών υδροληψιών.

Πηγή: Lamaddalena and Sagardoy, 2000.

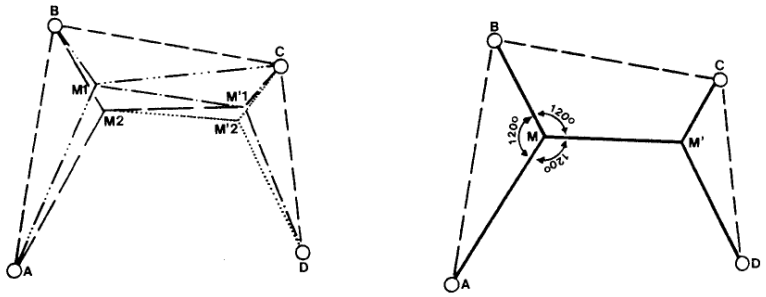
Αν $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ είναι τα μοναδιαία διανύσματα των MA, MB και MC, έστω ότι dM είναι μια στοιχειώδης μετατόπιση του M. Όταν η θέση του M είναι βέλτιστη τότε

$$d(\overrightarrow{MA} + \overrightarrow{MB} + \overrightarrow{MC})dM = 0$$

Η παραπάνω εξίσωση ισχύει όταν $\vec{i} + \vec{j} + \vec{k} = \mathrm{O}$, όταν δηλαδή τα τρία διανύσματα σχηματίζουν γωνία 120°.

Αν τα υδροστόμια που ενωθούν είναι 4 τότε θα δημιουργηθούν είτε 2 κόμβοι (Σχήμα 2.3α) ή μόνο ένας (Σχήμα 2.3β).

Η μέθοδος μπορεί να επεκταθεί και σε n υδροληψίες. Στην περίπτωση αυτή ο αριθμός των κόμβων είναι μικρότερος ή ίσος του n-2.



(α) (β)

Σχήμα 2.3: Χάραξη κατά 120° - Σύνδεση τεσσάρων υδροληψιών (α και β περίπτωση).

Πηγή: Lamaddalena and Sagardoy, 2000.

Βήμα 3: Χάραξη ελαχίστου κόστους

Παρόλο που η χάραξη που προέρχεται από την εφαρμογή του κανόνα των 120° αντιπροσωπεύει την συντομότερη διαδρομή σύνδεσης των υδροστομίων δεν αποτελεί την λύση ελαχίστου κόστους εφόσον δεν λαμβάνεται υπόψη το μέγεθος των αγωγών. Το συνολικό κόστος των αγωγών μπορεί να μειωθεί περαιτέρω μειώνοντας τα μήκη των αγωγών μεγάλης διαμέτρου και

αυξάνοντας το μήκος των αγωγών μικρότερων διαμέτρων. Γίνεται αντιληπτό ότι η μέθοδος αυτή επιφέρει μια τροποποίηση των γωνιών μεταξύ των τμημάτων στους κόμβους οι οποίες δεν σχηματίζουν πλέον κατά κανόνα γωνία 120°.

Συνεπώς, το βήμα από τη χάραξη κατά 120° στην χάραξη ελαχίστου κόστους, οδηγεί σε μια κατάσταση βρόχου καθώς ενώ προϋποθέτει μια αρχική διάταξη των αγωγών του δικτύου, όπως είδαμε, η τροποποίηση των διαμέτρων των αγωγών ώστε να επιτευχθεί το ελάχιστο κόστος προκαλεί αλλαγή αυτής της διάταξης και δημιουργία μιας νέας. Η βέλτιστη οικονομικά επιλογή των διαμέτρων γίνεται μέσω της διαδικασίας οικονομικής βελτιστοποίησής τους που παρατίθεται στη συνέχεια.

Στο τελικό στάδιο, η χάραξη θα πρέπει να προσαρμοστεί στα εμπόδια που υπάρχουν στην υπό μελέτη περίμετρο όπως η ύπαρξη μεγάλων οδών, οικοδομημάτων κ.λπ. Συνήθως ο μελετητής προσπαθεί να αποφύγει τις διελεύσεις των αγωγών μέσα από τα αγροτεμάχια προκειμένου να μειώσει τις αντιδράσεις των αγροτών στην υλοποίηση του έργου και να ελαχιστοποιήσει τις αποζημιώσεις που πρέπει να καταβληθούν στους ιδιοκτήτες αυτών των αγροτεμαχίων.

Να σημειωθεί πως στην περίπτωση αναδασμού η χάραξη του δικτύου απλοποιείται σημαντικά καθώς ακολουθεί τη γεωμετρική χάραξη του αρδευτικού, οδικού και στραγγιστικού δικτύου.

2.2.4 Υπολογισμός των παροχών σχεδιασμού σε δίκτυα με ελεύθερης ζήτησης

Στα δίκτυα που λειτουργούν με ελεύθερη ζήτηση, όπως τα συλλογικά δίκτυα υπό πίεση, η χαρακτηριστική παροχή των υδροστομίων (ονομαστική παροχή d(L/s)) είναι κατά πολύ μεγαλύτερη από την από τη ειδική συνεχή παροχή q_0 (L/s/ha), την απαραίτητη δηλαδή παροχή για την κάλυψη των αναγκών των καλλιεργειών κατά την περίοδο αιχμής σε 24ωρη βάση. Αυτό έχει σαν συνέπεια η διάρκεια της άρδευσης να είναι πολύ μικρότερη από 24 ώρες και η πιθανότητα όλα τα υδροστόμια του δικτύου (R) να λειτουργούν ταυτόχρονα να είναι πολύ μικρή.

Στην περίπτωση που όλα τα υδροστόμια είναι συγχρόνως εν χρήσει, θα χρειαζόταν παροχή ίση με $R \cdot d$ για την κάλυψη της ζήτησης. Επειδή όμως όπως αναφέραμε αυτή η πιθανότητα της ταυτόχρονης λειτουργίας όλων των υδροστομίων είναι πολύ μικρή, δεν θα ήταν λογικό να γίνει διαστασιολόγηση του δικτύου με βάση μια παροχή αιχμής ίσης με το άθροισμα των ονομαστικών παροχών των υδροστομίων του η οποία θα προέβλεπε μεγάλες διαμέτρους των σωληνώσεων μεταφοράς.

Η παροχή αιχμής Q ενός αγωγού σε ένα δίκτυο ελεύθερης ζήτησης παίρνει τέτοια τιμή ώστε: $S_i \cdot q_0 \leq Q \leq R \cdot d$

όπου S_i η συνολική αρδευόμενη έκταση κατάντη του συγκεκριμένου αγωγού (ha).

Οι λόγοι που παρουσιάστηκαν παραπάνω οδήγησαν στη χρήση πιθανολογικών προσεγγίσεων για τον υπολογισμό των παροχών στα τμήματα αλλά και στην κεφαλή ενός συλλογικού αρδευτικού δικτύου ελεύθερης ζήτησης (Lamaddalena and Sagardoy, 2000).

Η μέθοδος που χρησιμοποιείται περισσότερο είναι η πιθανολογική προσέγγιση που αναπτύχθηκε από τον Γάλλο μηχανικό René Clément (Clément, 1966) και είναι για το λόγο αυτό γνωστή ως μέθοδος Clément.

Περιλαμβάνει δυο στατιστικά μοντέλα, γνωστά ως πρώτος και δεύτερος τύπος του Clément, τα οποία παρουσιάζονται στη συνέχεια.

Ο πρώτος τύπος του Clément (πρώτος νόμος της ζήτησης)

Σκοπός του μοντέλου είναι ο υπολογισμός των παροχών σχεδιασμού για τη διαστασιολόγηση του δικτύου, θεωρώντας ότι η μέγιστη πιθανή ζήτηση για αρδευτικό νερό αναμένεται να εμφανιστεί κατά τους μήνες αυξημένων αναγκών.

Σύμφωνα με τον Clément είναι δυνατό κατά την περίοδο αιχμής T, το δίκτυο να μην χρησιμοποιείται συνεχώς αλλά μόνο για κάποιο χρόνο (συνήθως 16 ή 18 ώρες για 24ωρο χρόνο λειτουργίας). Εισάγει έτσι τον χρόνο πραγματικής λειτουργίας T’ του δικτύου που ισούται με: $T' = r \cdot T$, ορίζοντας το r ως συντελεστή χρησιμοποιήσεως του δικτύου.

Παράλληλα ο Clément για να αναπτύξει το μοντέλο του έκανε επιπλέον τις εξής δυο υποθέσεις: Πρώτον ότι όλα τα υδροστόμια του δικτύου είναι όμοια μεταξύ τους αποτελώντας ένα πληθυσμό R ομοιογενών υδροστομίων, και δεύτερον, ότι η πιθανότητα λειτουργίας κάθε υδροστομίου “p” είναι σταθερή και δεν εξαρτάται από την προηγούμενη κατάσταση του υδροστομίου ούτε από την συμπεριφορά των χρηστών.

Η στοιχειώδης αυτή πιθανότητα λειτουργίας κάθε υδροστομίου p, ορίζεται ως:

$$p = \frac{t}{T'} = \frac{\text{Μέσος χρόνος λειτουργίας κάθε υδροστομίου}}{\text{Πραγματικός χρόνος λειτουργίας του δικτύου}} \qquad (2.1)$$

Ο μέσος χρόνος λειτουργίας κάθε υδροστομίου t, αντιστοιχεί στο χρόνο που πρέπει να παραμείνει το υδροστόμιο ανοιχτό για να παράσχει την αναγκαία ποσότητα νερού στις καλλιέργειες και ισούται με:

$$t = \frac{q_0 \cdot S \cdot T}{R \cdot d} \tag{2.2}$$

Συνεπώς η τιμή της p δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$p = \frac{t}{T'} = \frac{t}{r \cdot T} = \frac{q_0 \cdot S \cdot T}{R \cdot d} \cdot \frac{1}{r \cdot T} \Rightarrow p = \frac{q_0 \cdot S}{r \cdot R \cdot d} \tag{2.3}$$

Η τιμή αυτή είναι σταθερή και αντιστοιχεί στην πιθανότητα ένα βρεθεί ένα υδροστόμιο ανοιχτό (σε λειτουργία) ενώ η q=1-p αντιστοιχεί στην πιθανότητα να βρεθεί κλειστό (εκτός λειτουργίας).

Με βάση όσα αναφέρθησαν παραπάνω, ο αριθμός των υδροστομίων που είναι σε λειτουργία μπορεί να θεωρηθεί ως μια τυχαία μεταβλητή που ακολουθεί διωνυμική κατανομή με μέση τιμή

$$\mu = R \cdot p \tag{2.4}$$

και τυπική απόκλιση

$$\sigma = \sqrt{R \cdot p \cdot (1 - p)} \tag{2.5}$$

Συνεπώς η αθροιστική πιθανότητα της ταυτόχρονης λειτουργίας ενός αριθμού υδροστομίων μικρότερου η ίσου του N (N<R) επί συνόλου R εγκατεστημένων υπολογίζεται ως:

$$P_q = \sum_{x=0}^{N} \binom{R}{x} p^x (1 - p)^{(R-x)} \tag{2.6}$$

όπου

$$\binom{R}{x} = \frac{R!}{x!(R-x)!} \tag{2.7}$$

Η αθροιστική αυτή πιθανότητα P_q εκφράζει σύμφωνα με τον Clément την ποιότητα λειτουργίας του δικτύου.

Όταν ο αριθμός των υδροστομίων R είναι αρκετά μεγάλος και η τιμή της p > 0.1 και < 1, η διωνυμική κατανομή τείνει στην κανονική κατανομή Laplace-Gauss. Τότε η αθροιστική πιθανότητα P_q ενός μέγιστου αριθμού x υδροστομίων συγχρόνως λειτουργούντων (με $-\infty < x < N$) ισούται με:

$$P_q = \int_{-\infty}^{U(P_q)} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{\frac{-u^2}{2}} du \tag{2.8}$$

όπου u είναι η *τυποποιημένη* μεταβλητή της κανονικής κατανομής και δίνεται από την σχέση:

$$u = \frac{x-\mu}{\sigma} = \frac{x - R \cdot p}{\sqrt{R \cdot p \cdot (1-p)}} \tag{2.9}$$

Στον Πίνακα 2.1 δίνονται οι τιμές της ανηγμένης μεταβλητής $U(P_q)$ για προκαθορισμένες τιμές ποιότητας λειτουργίας P_q.

Πίνακας 2.1: Συνάρτηση κατανομής της τυποποιημένης κανονικής. Ποιότητα λειτουργίας του δικτύου P_q. (Lamaddalena and Sagardoy, 2000).

P_q	$U(P_q)$
0.90	1.285
0.91	1.345
0.92	1.405
0.93	1.475
0.94	1.555
0.95	1.645
0.96	1.755
0.97	1.885
0.98	2.055
0.99	2.324

Για δεδομένη ποιότητα λειτουργίας του δικτύου και συνεπώς της τιμής της $U(P_q)$, ο μέγιστος αριθμός συγχρόνως λειτουργούντων υδροστομίων N (x=N) δίνεται από τη σχέση:

$$N = R \cdot p + U(P_q)\sqrt{R \cdot p \cdot q} \tag{2.10}$$

Επομένως, θεωρώντας ότι όλα τα υδροστόμια είναι ομοιογενή και έχουν την ίδια ονομαστική παροχή d, η συνολική παροχή για να λειτουργούν ταυτόχρονα N υδροστόμια (κατάντη) είναι ίση με:

$$Q = N \cdot d \Rightarrow$$

$$Q = R \cdot p \cdot d + U(P_q)\sqrt{R \cdot p \cdot q \cdot d^2} \tag{2.11}$$

Η εξ. 2.10 (ή 2.11) αποτελεί τον πρώτο νόμο της ζήτησης ή πρώτο τύπο του Clément (Clément, 1955).

Στην περίπτωση ετερογενών υδροστομίων (με διαφορετικές ονομαστικές παροχές και πιθανότητα λειτουργίας), αυτά χωρίζονται σε (i) ομοιογενείς κατηγορίες και η παραπάνω σχέση μετασχηματίζεται ως εξής:

$$Q = \sum_i R_i \cdot p_i \cdot d_i + U(Pq)\sqrt{\sum_i R_i \cdot p_i \cdot q_i \cdot d_i^{\,2}}$$

(2.12)

Τέλος, αν θεωρήσουμε το κάθε υδροστόμιο "j" ξεχωριστά με παροχή d_i και πιθανότητα p_j και q_j=1-p_j αντίστοιχα, καταλήγουμε στην γενικευμένη μορφή του τύπου του Clément:

$$Q = \sum_{j=1}^{j=R} p_j \cdot d_j + U(Pq)\sqrt{\sum_{j=1}^{j=R} p_j \cdot q_j \cdot d_j^{\,2}} \qquad (2.13)$$

Ο δεύτερος τύπος του Clément

Λαμβάνοντας υπόψη τους περιορισμούς που τέθηκαν για τον σχηματισμό του πρώτου μοντέλου, ο Clément ανέπτυξε ένα δεύτερο μοντέλο υπολογισμού των παροχών στα αρδευτικά συστήματα που λειτουργούν με ελεύθερη ζήτηση (Clément, 1966). Το μοντέλο αυτό βασίζεται στην Μαρκοβιανή θεωρία των διαδικασιών γέννησης και θανάτου. Πιο συγκεκριμένα, ο δεύτερος νόμος του Clément περιγράφει τη λειτουργία ενός δικτύου ως μια αλυσίδα MARKOV, μια στοχαστική διαδικασία γέννησης και θανάτου: μόνιμη, ασυνεχής και ομοιογενής μέσα στο χρόνο.

Για την ανάπτυξη του μοντέλου έγιναν παράλληλα οι εξής υποθέσεις:

1. Ο αριθμός των υδροστομίων είναι R. Ο αριθμός των ανοικτών υδροστομίων είναι N $\leq$ R.

2. Όλα τα υδροστόμια είναι όμοια.

3. Οι διάρκειες άρδευσης των υδροστομίων είναι ανεξάρτητες.

4. Οι διάρκειες λειτουργίας των υδροστομίων ακολουθούν την ίδια κατανομή με μέση τιμή ίση με τη μέση διάρκεια άρδευσης.

5. Το δίκτυο λειτουργεί μόνο ένα μέρος του συνολικού χρόνου της περιόδου αιχμής.

Με βάση τις νέες αρχές λειτουργίας του δικτύου ο Clément εισήγαγε μια νέα έννοια, αυτή του κορεσμού, εκφρασμένης μέσω της πιθανότητας μη ικανοποίησης της ζήτησης στην περίπτωση που το σύστημα είναι κορεσμένο.

Η πιθανότητα αυτή δίνεται από τη σχέση:

$$P_{SAT} = \frac{1}{\sqrt{R \cdot p \cdot (1-p)}} \cdot \frac{\Psi(U')}{\Pi(U')} \tag{2.14}$$

όπου:

$$U' = \frac{N - R \cdot p}{\sqrt{R \cdot p \cdot (1-p)}} \tag{2.15}$$

η ανηγμένη μεταβλητή της κανονικής κατανομής και

$\Psi(U')$ και $\Pi(U')$ η συνάρτηση πυκνότητας και κατανομής της κανονικής κατανομής αντίστοιχα (Clément, 1966; Lamaddalena, 1997).

Θέτοντας:

$$F(U') = \frac{\Psi(U')}{\Pi(U')} \tag{2.16}$$

η εξίσωση 2.14 μετασχηματίζεται σε:

$$P_{SAT} = \frac{1}{\sqrt{R \cdot p \cdot (1-p)}} \cdot F(U') \tag{2.17}$$

Υπολογίζοντας την τιμή της p από την εξίσωση 2.3 και έχοντας γνωστή την τιμή της P_{SAT} (προτείνεται συνήθως P_{SAT} = 0.01), προσδιορίζεται η τιμή της $F(U')$ από την εξίσωση:

$$F(U') = P_{SAT} \cdot \sqrt{R \cdot p \cdot (1-p)} \tag{2.18}$$

Από το διάγραμμα που αποδίδει την $F(U')$ ως συνάρτηση της U', προσδιορίζεται η αντίστοιχη τιμή της U' και χρησιμοποιώντας την 2.19 υπολογίζεται τελικά ο αριθμός των υδροστομίων που λειτουργούν ταυτόχρονα στο δίκτυο:

$$N = R \cdot p + U' \sqrt{R \cdot p \cdot q} \tag{2.19}$$

Η εξίσωση αυτή αποτελεί τον δεύτερο τύπο του Clément.

Όπως παρατηρούμε η μορφή της είναι παραπλήσια εκείνης του πρώτου τύπου του Clément (Εξίσωση 2.10). Διαφέρουν ωστόσο σημαντικά καθώς στην περίπτωση αυτή η ανηγμένη μεταβλητή U’ δεν αποτελεί μια σταθερά που εξαρτάται αποκλειστικά και μόνο από την

επιλεγμένη αθροιστική πιθανότητα (που αντιστοιχεί στην ποιότητα λειτουργίας του δικτύου), αλλά είναι συνάρτηση της πιθανότητας κορεσμού του δικτύου(P_{SAT}), της πιθανότητας λειτουργίας των υδροστομίων (p) και του αριθμού των υδροστομίων του δικτύου (R), (Dercas, 1989; Lamaddalena and Sagardoy, 2000). Επιπλέον, η παράμετρος p στο δεύτερο νόμο προσεγγιστικά μόνο εξομοιώθηκε με την πιθανότητα λειτουργίας των υδροστομίων (Dercas, 1989).

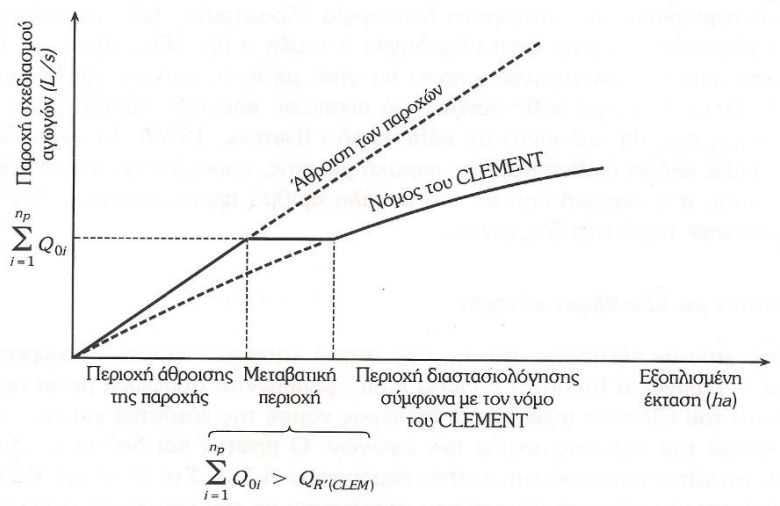
Πρέπει να σημειωθεί ότι μόνο ο πρώτος τύπος χρησιμοποιείται, επειδή η εφαρμογή του είναι σχετικώς ευκολότερη από αυτή του δεύτερου τύπου.

Η εφαρμογή του τύπου του Clément γίνεται κατά την συνήθη μέθοδο που προβλέπει εφαρμογή του νόμου της ζήτησης σε κάθε αγωγό του δικτύου. Σημειώνεται ότι η πρακτική αυτή οδηγεί σε παροχές για τις οποίες δεν ισχύει ο νόμος της συνέχειας σε ένα κόμβο, κάτι που όμως δεν αποτελεί πρόβλημα καθώς ο στόχος του νόμου δεν είναι να προσδιορίσει τις παροχές μιας μόνιμης κατάστασης ενός δικτύου, αλλά την παροχή αιχμής στους αγωγούς με την χρήση των νόμων των πιθανοτήτων.

Ο τύπος του Clément δεν μπορεί να εφαρμοστεί, όταν ο αριθμός των κατάντη υδροστομίων είναι πολύ μικρός. Αυτό συμβαίνει επειδή, για να επιτευχθεί ο νόμος της ελεύθερης ζήτησης, έγινε η προσέγγιση του δυωνυμικού νόμου από τον κανονικό.

Για να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα αυτό στα άκρα των δικτύων, η συνήθης πρακτική είναι η άθροιση της παροχής Q_{0i} ενός αριθμού n_p ακραίων υδροστομίων $\sum_{i=1}^{n_p} Q_{0i}$ (n_p λαμβάνει τιμές από 6 έως 12 ανάλογα με τον μελετητή) και η χρησιμοποίηση της $\sum_{i=1}^{n_p} Q_{0i}$ ως παροχής μελέτης για την διαστασιολόγηση των αγωγών που τροφοδοτούν τα ανωτέρω υδροστόμια. Στη συνέχεια, όταν ο αριθμός των κατάντη υδροστομίων R' καταστεί μεγαλύτερος από n_p (R'>n_p), εφαρμόζεται η σχέση του Clément και υπολογίζεται η παροχή $Q_{R'(CLEM)}$. Αν $Q_{R'(CLEM)} > \sum_{i=1}^{n_p} Q_{0i}$ επιλέγεται η $Q_{R'(CLEM)}$ ως παροχή σχεδιασμού του εξεταζόμενου αγωγού. Στην αντίθετη περίπτωση χρησιμοποιείται η $\sum_{i=1}^{n_p} Q_{0i}$. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται και για τους ανάντη υπάρχοντες αγωγούς (Τσακίρης και Δέρκας, 2006).

Στο Σχήμα 2.4 παρουσιάζεται σχηματικά η μεταβολή της παροχής σχεδιασμού των αγωγών (παροχή αιχμής) σε συνάρτηση με την εξοπλισμένη κατάντη έκταση.



Σχήμα 2.4: Παροχή σχεδιασμού των αγωγών σε σχέση με την εξοπλισμένη έκταση του δικτύου (δίκτυο με ελεύθερη ζήτηση). Πηγή: Τσακίρης, 2006.

2.2.5 Οικονομική βελτιστοποίηση των διαμέτρων των αγωγών

Η οικονομική βελτιστοποίηση των διαμέτρων αποτελεί το τελικό στάδιο του σχεδιασμού ενός αρδευτικού δικτύου. Πρόκειται για τη διαδικασία εύρεσης του βέλτιστου οικονομοτεχνικά συνδυασμού των διαμέτρων των αγωγών και του φορτίου κεφαλής (στην περίπτωση που δεν είναι προκαθορισμένο – περίπτωση τροφοδοσίας από αντλιοστάσιο) με τέτοιο τρόπο ώστε να ικανοποιούνται οι προδιαγραφές που έχουν τεθεί στα προηγούμενα στάδια.

Η βελτιστοποίηση ενός δικτύου γίνεται για συνθήκες μόνιμης ροής και θεωρώντας την δυσμενέστερη φόρτιση στο δίκτυο, που αντιστοιχεί προφανώς στην παροχή αιχμής. Με τη λογική αυτή το δίκτυο που προκύπτει από τη βελτιστοποίηση σχεδιασμού, αποτελεί θεωρητικά και μόνο το βέλτιστο δίκτυο, δεδομένου ότι είναι βέλτιστο, υπό την προϋπόθεση ότι θα πραγματοποιηθούν οι συνθήκες φόρτισης και λειτουργίας για τις οποίες έχει σχεδιαστεί. Παρόλα αυτά, έχει επικρατήσει ο όρος βελτιστοποίηση ή βέλτιστος σχεδιασμός του δικτύου να αναφέρεται ακριβώς στη θεωρούμενη δυσμενέστερη κατάσταση λειτουργίας και ένα δίκτυο να θεωρείται βέλτιστο, εφόσον παρουσιάζει το μικρότερο κόστος για αυτή τη κατάσταση λειτουργίας.

Τα στοιχεία που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη για την οικονομικότερη χάραξη ενός ακτινωτού δικτύου μεταφοράς και διανομής του αρδευτικού νερού, είναι το μήκος των αγωγών, η παροχή

κάθε αγωγού, το υψόμετρο και η απαιτούμενη πίεση λειτουργίας σε κάθε σημείο του δικτύου και το διαθέσιμο (ή απαιτούμενο) πιεζομετρικό φορτίο στην κεφαλή. Σε όλες τις περιπτώσεις υπάρχει θεωρητικά μία μόνο πιεζομετρική γραμμή, για την οποία οι αντίστοιχες διάμετροι καθιστούν το κόστος του δικτύου ελάχιστο, η οποία ονομάζεται οικονομική πιεζομετρική γραμμή (Κατσίμπα, 2009).

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την οικονομική βελτιστοποίηση των διαμέτρων είναι ο γραμμικός προγραμματισμός (Karmeli et al., 1968; Alperovitz and Shamir, 1977; Kale et al., 2008), ο δυναμικός προγραμματισμός (Liang, 1971; Yang et al., 1975), η ασυνεχής μέθοδος Labye και η συνεχής μέθοδος Labye (Labye, 1961; Labye, 1967). Πρόσφατα έχουν χρησιμοποιηθεί μέθοδοι βελτιστοποίησης χρησιμοποιώντας την ασαφή λογική (Spiliotis and Tsakiris, 2007).

Από τις μεθόδους αυτές, η ασυνεχής μέθοδος του Labye, που οφείλει την ονομασία της στο γεγονός ότι σε αυτήν εξετάζονται μόνο οι εμπορικές διάμετροι, είναι εκείνη που χρησιμοποιείται ευρέως για την οικονομική βελτιστοποίηση των διαμέτρων στα συλλογικά αρδευτικά δίκτυα, χάρη στην ακρίβειά της και την σχετική απλότητα στην εφαρμογή της. Παράλληλα, εφαρμόζεται μόνο σε ακτινωτά δίκτυα όπως είναι τα υπό πίεση δίκτυα, σε αντίθεση με τη μέθοδο του γραμμικού προγραμματισμού, που μπορεί να εφαρμοστεί και σε βροχοειδούς μορφής δίκτυα.

Η μέθοδος διακρίνεται σε δυο φάσεις, την φάση ανόδου και την φάση καθόδου. Κατά την φάση ανόδου, ξεκινώντας από τα άκρα του δικτύου (κατάντη του δικτύου) καταλήγουμε στην κεφαλή. Προσδιορίζεται σε κάθε κόμβο η βέλτιστη λύση σε σχέση με τα διαθέσιμα φορτία των αγωγών. Το ίδιο γίνεται και για την κεφαλή του δικτύου και στο τέλος υπολογίζεται το φορτίο στη κεφαλή. Κατά την φάση καθόδου, έχοντας υπολογίσει το φορτίο κεφαλής ή έχοντας το προκαθορισμένο (περίπτωση προϋπάρχοντος ταμιευτήρα), προσδιορίζουμε την βέλτιστη διάμετρο για τον αγωγό της κεφαλής. Έπειτα προσδιορίζουμε το φορτίο στον επόμενο κατάντη κόμβο, αφαιρώντας από το φορτίο κεφαλής τις απώλειες του αρχικού αγωγού. Γνωρίζοντας το φορτίο στον υπόψη κόμβο, από τον αντίστοιχο νόμο βέλτιστης λύσης, βρίσκουμε τη διάμετρο για τον συγκεκριμένο αγωγό. Η διαδικασία συνεχίζεται μέχρι να διαστασιολογηθούν όλοι οι αγωγοί του δικτύου (Δέρκας, 2000).

Λογισμικά όπως το XERXES-RENFORS (CEMAGREF, 1990) και το COPAM (Lamaddalena, 1997) που έχουν αναπτυχθεί με σκοπό την μελέτη και ανάλυση αρδευτικών δικτύων δίνουν την δυνατότητα βελτιστοποίησης των διαμέτρων των αγωγών με την μέθοδο Labye.

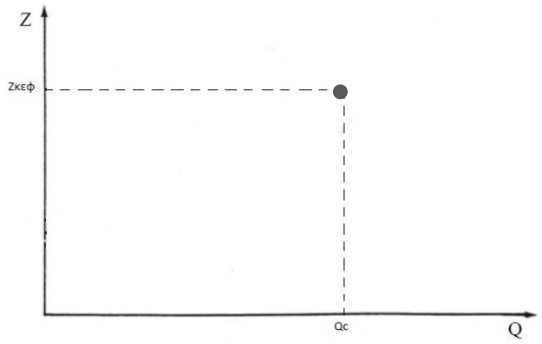
Στην Ελλάδα όπως ορίζεται από τις τεχνικές προδιαγραφές εκπόνησης μελετών αρδευτικών δικτύων (ΠΔ 696/1974, άρθρο 199, §132) και ισχύουν μέχρι σήμερα, ορίζεται ότι η αναζήτηση και οι σχετικοί υπολογισμοί της βέλτιστης τεχνοοικονομικής λύσης, για την επιλογή των διαμέτρων του δικτύου διανομής, του τυχόν καταθλιπτικού αγωγού, του μανομετρικού ύψους, και των εν γένει εγκαταστάσεων καταθλίψεως, γίνεται χρησιμοποιώντας την ασυνεχή μέθοδο του Labye.

2.3 Ανάλυση της λειτουργίας ενός συλλογικού αρδευτικού δικτύου

Η ανάλυση των αρδευτικών δικτύων αποτελεί τη διαδικασία χρήσης μοντέλων προσομοίωσης των συστημάτων αυτών με σκοπό την αξιολόγηση της επάρκειά τους σε διάφορες συνθήκες λειτουργίας (πίεσης και παροχής στην κεφαλή), τον προσδιορισμό των αιτιών που προκαλούν εμφάνιση ανεπαρκειών και την πρόταση κατάλληλων ενισχύσεων.

Η αναγκαιότητά της πηγάζει από το γεγονός ότι οι συνθήκες λειτουργίας αλλάζουν και διαφοροποιούνται κατά τη διάρκεια ζωής του έργου σε σχέση με εκείνες που είχαν αρχικά υποτεθεί κατά στάδιο σχεδιασμού.

Δεδομένου ότι η προσέγγιση λειτουργίας του δικτύου αναφέρεται σε ένα συγκεκριμένο σημείο λειτουργίας (Q_c= $Q_{αιχμή\ κεφαλής}$, $Z_{κεφαλής\ /\ βέλτιστο\ ή\ επιβεβλημένο}$) και ότι δεν είναι γνωστό ποια θα είναι η συμπεριφορά του για τα άλλα σημεία λειτουργίας του διαγράμματος Z=f(Q), φρόνιμο είναι να διερευνηθεί τι συμβαίνει στα άλλα σημεία του διαγράμματος Z=f(Q) κυρίως για τις παροχές που παρουσιάζονται με μεγαλύτερη συχνότητα.



Σχήμα 2.5: Αναγκαίο φορτίο στην κεφαλή για την παροχή αιχμής.

Πηγή: Δέρκας, 2001

Η διερεύνηση της υδραυλικής συμπεριφοράς των δικτύων είναι ιδιαίτερα δύσκολη στην περίπτωση των συλλογικών δικτύων υπό πίεση που λειτουργούν με ελεύθερη ζήτηση. Εφόσον οι χρήστες είναι εκείνοι που ρυθμίζουν τις αρδεύσεις τους δεν είναι δυνατό να προσδιοριστεί a-

priori ο αριθμός και η θέση των υδροστομίων που είναι σε ταυτόχρονη λειτουργία και συνεπώς οι παροχές που θα ζητηθούν και το αναγκαίο φορτίο στην κεφαλή.

Αποτέλεσμα αυτής της σύνθετης λειτουργίας είναι ο σχηματισμός ενός μεγάλου αριθμού πιθανών τυχαίων συνδυασμών ανοιχτών υδροστομίων. Ένας συνδυασμός ανοιχτών υδροστομίων (r) είναι ένα σύνολο ανοιχτών υδροστομίων για τα οποία η συνολική τους παροχή αντιστοιχεί σε μια δεδομένη τιμή παροχής στην κεφαλή του δικτύου (Lamaddalena and Sagardoy, 2000).

Μέσα στα πλαίσια της ανάλυσης του δικτύου μελετώνται ξεχωριστά αλλά και στα πλαίσια της αλληλεξάρτησής τους οι τρεις συνιστώσες του αρδευτικού δικτύου:

- οι παροχές που εκφράζουν την συμπεριφορά των αγροτών (χρήστες)
- η ανταπόκριση του δικτύου (δίκτυο των αγωγών)
- η συμπεριφορά του αντλιοστασίου (έργο κεφαλής)

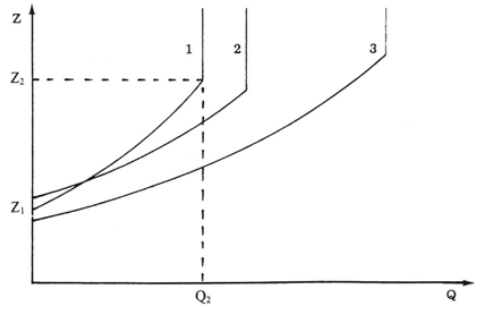
Η ανάλυση της λειτουργίας του δικτύου πραγματοποιείται σε δύο επίπεδα, σε επίπεδο δικτύου και σε επίπεδο υδροστομίου χρησιμοποιώντας τα αντίστοιχα μοντέλα. Η ανάλυση σε επίπεδο δικτύου παρέχει πληροφορίες για τη γενική απόδοση του δικτύου ενώ η ανάλυση σε επίπεδο υδροστομίου δίνει πιο ακριβείς πληροφορίες που επιτρέπουν τον εντοπισμό των υδροστομίων που παρουσιάζουν προβλήματα, της θέσης τους και του μεγέθους ελλείμματος φορτίου-πίεσης που εμφανίζουν.

2.3.1 Ανάλυση σε επίπεδο δικτύου

Η ανάλυση της λειτουργίας του δικτύου (συστήματος αγωγών) γίνεται με την μέθοδο των χαρακτηριστικών καμπυλών. Η μέθοδος αυτή περιλαμβάνει τη χάραξη της χαρακτηριστικής (ή των χαρακτηριστικών) Z= f(Q) προκειμένου να είναι δυνατόν να προσδιορίζεται άμεσα το φορτίο που πρέπει να είναι διαθέσιμο στην κεφαλή ώστε να ικανοποιηθεί μια ζήτηση Q_0 που θα παρουσιαστεί (Δέρκας, 2001).

Ας υποθέσουμε ότι σε ένα δίκτυο ανοίγει ένας αριθμός υδροστομίων. Για να αρχίσει να υπάρχει παροχέτευση νερού, θα πρέπει το φορτίο στην κεφαλή του δικτύου να είναι μεγαλύτερο από το γεωμετρικό ύψος του χαμηλότερου υδροστομίου Z_1 προσαυξημένο κατά τις απώλειες φορτίου μέχρι το συγκεκριμένο υδροστόμιο. Το μέγεθος Z_1 λοιπόν είναι καθορισμένο και είναι το αρχικό

σημείο της χαρακτηριστικής καμπύλης Z=f(Q) του δικτύου για το συγκεκριμένο συνδυασμό ανοικτών υδροστομίων (Καμπύλη 1, Σχήμα 2.6).



Σχήμα 2.6: Χαρακτηριστικές καμπύλες δικτύου για τρεις συνδυασμούς ανοικτών υδροστομίων.

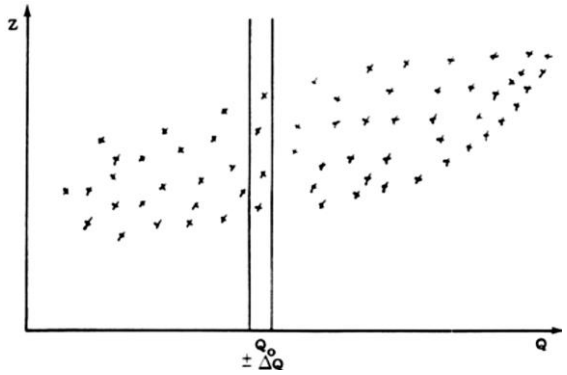
Πηγή: Δέρκας, 2001.

Αυξάνοντας το φορτίο στην κεφαλή, η παροχή του προαναφερθέντος υδροστομίου θα αρχίσει να αυξάνει και θα αρχίσουν να παροχετεύουν νερό και άλλα υδροστόμια. Με την αύξηση του φορτίου στην κεφαλή, η παροχή των υδροστομίων θα αρχίσει να αυξάνει μέχρι του σημείου όπου θα επιτευχθεί στο ένα μετά το άλλο υδροστόμιο η ονομαστική παροχή και θα επέμβουν οι περιοριστές παροχής. Η μεγαλύτερη λοιπόν παροχή (για συγκεκριμένο συνδυασμό ανοικτών υδροστομίων) είναι Q_2 (Σχήμα 2.6) όπου όλα τα ανοικτά υδροστόμια λειτουργούν με την ονομαστική παροχή τους. Το αντίστοιχο πιεζομετρικό φορτίο στην κεφαλή του δικτύου είναι Z_2, ίσο με το γεωμετρικό ύψος του πιο δυσμενώς υδραυλικά υδροστομίου, προσαυξημένου κατά την απαραίτητη πίεση λειτουργίας και τις απώλειες φορτίου.

Εάν το φορτίο στην κεφαλή του δικτύου αυξηθεί πέραν του Z_2, η παροχή θα παραμείνει Q_2 (μέσα στα πλαίσια ακρίβειας λειτουργίας των περιοριστών παροχής), διότι θα έχουν επέμβει σε όλα τα υδροστόμια οι περιοριστές παροχής και δεν θα επιτρέπουν να αυξηθεί η παροχή πέραν της ονομαστικής τιμής της.

Η επιτευχθείσα καμπύλη (1) (Σχήμα 2.6) είναι η χαρακτηριστική καμπύλη του δικτύου για τον προαναφερθέντα συνδυασμό ανοικτών υδροστομίων (r=1). Εάν ο συνδυασμός των ανοικτών υδροστομίων είναι διαφορετικός (r=2), θα επιτευχθεί μια άλλη χαρακτηριστική καμπύλη (Καμπύλη 2, Σχήμα 2.6). Γίνεται φανερό ότι οι χαρακτηριστικές καμπύλες για το συγκεκριμένο δίκτυο θα είναι τόσες, όσες οι συνδυασμοί των ανοικτών υδροστομίων και πως κάθε χαρακτηριστική καμπύλη εξαρτάται από τα ανοιχτά υδροστόμια στο δίκτυο (τον αριθμό τους, τη θέση τους και την ονομαστική τους παροχή).

Προκειμένου να διαχειριστούμε την πληροφορία που παίρνουμε από το μεγάλο αριθμό χαρακτηριστικών καμπυλών του δικτύου κρατάμε μόνο τα ζεύγη (Z_r, Q_r) όλων των συνδυασμών ανοικτών υδροστομίων. Τα ζεύγη αυτά παρουσιάζονται στο διάγραμμα Z=f(Q) (Σχήμα 2.7) υπό μορφή ενός σμήνους σημείων, τα οποία μπορούν να αναλυθούν με στατιστικές μεθόδους.



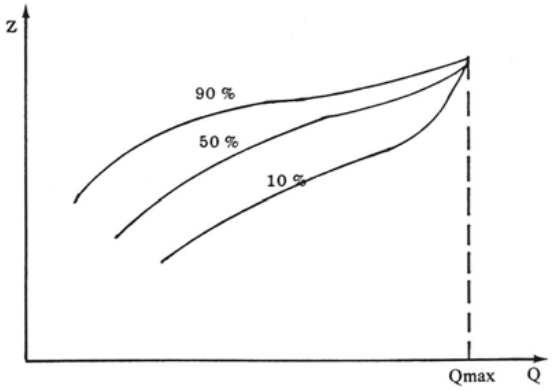
Σχήμα 2.7: Ακραία σημεία (Z_r, Q_r) των χαρακτηριστικών καμπυλών ενός δικτύου.

Πηγή: Δέρκας, 2001.

Χαρακτηριστικές Καμπύλες με δείκτες (Τύπου Ι)

Οι χαρακτηριστικές καμπύλες με δείκτες (Ci) προκύπτουν από τις χαρακτηριστικές καμπύλες του δικτύου μετά από στατιστική επεξεργασία. Οι δείκτες αντιπροσωπεύουν το ποσοστό (%) των συνδυασμών ανοιχτών υδροστομίων οι οποίοι δεν παρουσιάζουν λειτουργικές αστοχίες.

Πιο συγκεκριμένα, τα ζεύγη (Z_r, Q_r) για όλους τους συνδυασμούς r ανοιχτών υδροστομίων (Σχήμα 2.8) αναλύονται στατιστικά και προσδιορίζονται τα πιεζομετρικά φορτία στην κεφαλή του δικτύου που επιτρέπουν την ικανοποίηση του 10, 20,…,90% των συνδυασμών ανοιχτών υδροστομίων που απαιτούν παροχή Q_i στην κεφαλή του δικτύου.



Σχήμα 2.8: Χαρακτηριστικές καμπύλες με δείκτες (Ci)

Πηγή: Δέρκας, 2001.

Το μοντέλο των χαρακτηριστικών καμπυλών με δείκτες προτάθηκε από τους Labye et al. το 1975. Μερικά χρόνια αργότερα το μοντέλο υλοποιήθηκε από το CEMAGREF (CTGREF, 1979; Bethery et al., 1981; Bethery, 1990) με τη δημιουργία του λογισμικού ICARE. Αργότερα, το μοντέλο ενσωματώθηκε στο λογισμικό COPAM που διατίθεται από τον FAO (Lamaddalena and Sagardoy, 2000) και έχει χρησιμοποιηθεί στην ανάλυση δικτύων ελεύθερης ζήτησης στην Ιταλία, τη Γαλλία και την Ισπανία.

Η εμπειρία έχει δείξει ότι στα συλλογικά αρδευτικά δίκτυα που λειτουργούν με καθεστώς ελεύθερης ζήτησης, και έχουν σχεδιαστεί με τη μέθοδο του Clément για τον υπολογισμό των παροχών και την ασυνεχή μέθοδο του Labye για την οικονομική βελτιστοποίηση των διαμέτρων, παρουσιάζουν το σημείο της βέλτιστης λειτουργίας τους (Z_{opt}, $Q_{Clém}$) κοντά στη χαρακτηριστική καμπύλη C_{50}, όπου το δίκτυο δεν παρουσιάζει σημαντικά προβλήματα στη λειτουργία του (Bethery, 1990; Stefopoulou and Dercas, 2011a; b).

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να αποσαφηνιστεί ότι η χαρακτηριστική καμπύλη C_{50} δεν αποτελεί χαμηλό ποσοστό ικανοποίησης μιας και κατά τη δημιουργία των χαρακτηριστικών καμπυλών με δείκτες, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, χρησιμοποιήθηκε ένα αυστηρό κριτήριο. Συγκεκριμένα, κάθε συνδυασμός ανοιχτών υδροστομίων που παρουσιάζει έστω και μικρό έλλειμμα φορτίου θεωρείται ανεπιτυχής (CEMAGREF, 1983). Κοντά στη C_{50} υπάρχουν μερικές αστοχίες για ένα μικρό αριθμό υδροστομίων, για τα οποία το φορτίο πίεσης είναι μικρότερο από το ονομαστικό τους, αλλά η διαφορά φορτίου είναι μικρή και έτσι δεν γίνεται αντιληπτή από το χρήστη κατά τη διάρκεια της άρδευσης. (Tiercelin, 2006).

Εκτός από τον τύπο Ι που είναι και ο συνήθως χρησιμοποιούμενος υπάρχουν και άλλοι δύο τύποι χαρακτηριστικών καμπυλών με δείκτες που σύμφωνα με αυτά που γνωρίζουμε μέχρι στιγμής δεν έχουν χρησιμοποιηθεί.

2.3.2 Ανάλυση σε επίπεδο υδροστομίου

Η ανάλυση σε επίπεδο υδροστομίου επιτρέπει τον έλεγχο και την αξιολόγηση των φορτίων πίεσης στα υδροστόμια υπό διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας/καθεστώτα ζήτησης. Συγκρίνοντας τα φορτία αυτά με την ελάχιστη πίεση που απαιτείται για να εξασφαλιστεί η

επιθυμητή λειτουργία του δικτύου, προσδιορίζονται τα υδροστόμια που παρουσιάζουν έλλειμμα παροχής και πίεσης και λαμβάνεται τελικά ένα μέτρο της υδραυλικής τους απόδοσης.

Για την ανάλυση σε επίπεδο υδροστομίου καθορίζονται οι ανάντη συνθήκες (πιεζομετρικό φορτίο Z και παροχή Q στην κεφαλή) και προσομοιώνεται ένας αριθμός καθεστώτων ζήτησης με αθροιστική παροχή κεφαλής Q (συνήθως η παροχή αυτή είναι η παροχή αιχμής).

Για τη δημιουργία αυτών των καθεστώτων ζήτησης, που είναι αποτέλεσμα της πολλαπλής γέννησης ενός αριθμού υδροστομίων συγχρόνως λειτουργούντων (συνδυασμός), χρησιμοποιείται μια γεννήτρια τυχαίων αριθμών η οποία είναι ενσωματωμένη σε κάποιο λογισμικό - μοντέλο.

Τα μοντέλα που υλοποιούν ανάλυση λειτουργίας σε επίπεδο υδροστομίου, υποθέτουν καθεστώς μόνιμης ροής (CEMAGREF, 1983; Lamaddalena and Sagardoy, 2000) ή καθεστώς μη μόνιμης ροής (Rossman, 2000; Lamaddalena and Perreira, 2007; Estrada et al., 2009).

Τα μοντέλα μη μόνιμης ροής είναι καταλληλότερα για δίκτυα που δεν διαθέτουν περιοριστές παροχής και ρυθμιστές πίεσης.

Το μοντέλο AKLA που ενσωματώνεται στο λογισμικό COPAM (Lamaddalena and Sagardoy, 2000) υπολογίζει τις μόνιμες ροές (permanent regimes) για έναν επιλεγμένο αριθμό παροχών στην κεφαλή του δικτύου και για ένα μεγάλο[1] αριθμό τυχαίων συνδυασμών ανοιχτών-κλειστών υδροστομίων. Πιο συγκεκριμένα, υποθέτοντας ότι κάθε υδροστόμιο φέρει την ονομαστική του παροχή d (L/s), ακόμη και όταν το φορτίο του είναι μικρότερο από το ελάχιστο απαιτούμενο H_{min} (m), υπολογίζεται αρχικά ο αριθμός (πρακτικά *προκαθορισμένος)* των υδροστομίων που λειτουργούν συγχρόνως K_r,

$$K_r = \frac{Q_r}{d} \tag{2.20}$$

όπου Q_r (L/s) είναι η εξεταζόμενη παροχή στην κεφαλή του δικτύου και d (L/s) είναι η ονομαστική παροχή των υδροστομίων (περίπτωση δικτύου με υδροστόμια της ίδιας παροχής). Είναι προφανές ότι η αθροιστική παροχή των υδροστομίων που ανοίγουν συνολικά σε κάθε προσομοίωση και λειτουργούν ταυτόχρονα ισούται με την εξεταζόμενη παροχή Q_r κεφαλή του δικτύου.

[1] Βάσει της ανάλυσης ενός μεγάλου αριθμού αρδευτικών δικτύων, ο αριθμός των συνδυασμών που πρέπει να ελεγχθούν, πρέπει να είναι μεγαλύτερος από τον αριθμό των υδροστομίων του δικτύου (C>R όταν R<200) και μικρότερος όταν R>600 (Lamaddalena and Sagardoy, 2000).

Στη συνέχεια, με τη βοήθεια μιας γεννήτριας τυχαίων αριθμών (που ακολουθεί συνάρτηση ομοιόμορφης κατανομής) τα συγχρόνως λειτουργούντα Kr υδροστόμια συνδυάζονται τυχαία (συνδυασμός r).

Για κάθε προσομοίωση προκύπτουν οι παροχές και οι πιέσεις των υδροστομίων για το συγκεκριμένο συνδυασμό ανοικτών-κλειστών υδροστομίων. Οι παροχές αυτές μπορεί να είναι ίσες ή μικρότερες της ονομαστικής τους παροχής και αντίστοιχα οι πιέσεις (ανάντη του ρυθμιστή πίεσης) μπορούν να είναι μεγαλύτερες, ίσες ή μικρότερες της ονομαστικής πίεσης.

Για κάθε παραγόμενο συνδυασμό r, ένα υδροστόμιο j, θεωρείται ότι ικανοποιείται όταν επαληθεύεται η ακόλουθη σχέση:

$$H_{j,r} \geq H_{\min} \tag{2.21}$$

όπου $H_{j,r}$ (m) το φορτίο του υδροστομίου j για το συγκεκριμένο συνδυασμό ανοιχτών-κλειστών υδροστομίων r και $H_{\min}$ (m) το απαιτούμενο φορτίο πίεσης για την κατάλληλη λειτουργία του συγκεκριμένου υδροστομίου.

Το σχετικό έλλειμμα πίεσης σε κάθε υδροστόμιο ορίζεται ως:

$$\Delta H_{j,r} = \frac{H_{j,r} - H_{\min}}{H_{\min}} \tag{2.22}$$

Ο μεγάλος αριθμός προσομοιώσεων που πραγματοποιείται, δίνει τη δυνατότητα στατιστικής επεξεργασίας των αποτελεσμάτων και σαν αποτέλεσμα μπορεί να υπολογιστεί η πιθανότητα αποτυχίας κάθε υδροστομίου ως προς την πίεση και την παροχή, όπως επίσης και το μέγεθος αυτής της αποτυχίας.

Τέλος, ένα ακόμη έμμεσο αποτέλεσμα της διαδικασίας της ανάλυσης σε επίπεδο υδροστομίου, αλλά ιδιαίτερα σημαντικό, είναι ο υπολογισμός των απωλειών ενέργειας. Ο προσδιορισμός των απωλειών ενέργειας οδηγεί στον εντοπισμό των υποδιαστασιολογημένων αγωγών (αγωγοί οι οποίοι λόγω της ανάπτυξης των αρδεύσεων στην περίμετρο έχουν οδηγηθεί σε κορεσμό) που χρήζουν επεμβάσεων ενίσχυσης ή ανάταξης.

Δείκτης αξιοπιστίας

Στα πλαίσια της ανάλυσης σε επίπεδο υδροστομίου χρησιμοποιείται συχνά ο δείκτης αξιοπιστίας του Hashimoto (Hashimoto1980; Hashimoto et al., 1982). Ο δείκτης αυτός περιγράφει πόσο συχνά το σύστημα αποτυγχάνει, και πιο συγκριμένα προσδιορίζει πόσο πιθανό είναι ένα υδροστόμιο να έχει το ονομαστικό του φορτίο πίεσης, ειδικά κατά τις περιόδους αιχμής.

Για να εκφραστεί μαθηματικά αυτό το κριτήριο (επιτυχίας-αποτυχίας), γίνεται η υπόθεση ότι η λειτουργία ενός δικτύου περιγράφεται από μια σταθερή (stationary) στοχαστική διαδικασία (Lamaddalena and Sagardoy, 2000). Αυτό σημαίνει ότι οι κατανομές πιθανοτήτων που περιγράφουν τις χρονοσειρές (στη συγκεκριμένη περίπτωση τις χρονοσειρές φορτίων πίεσης και παροχής στα υδροστόμια) δεν αλλάζουν με τον χρόνο. Η παραδοχή αυτή είναι μια γενική προσέγγιση της λειτουργίας ενός δικτύου, ωστόσο, στις περιόδους αιχμής όπου η ζήτηση αυξάνεται, η παραπάνω παραδοχή μπορεί να θεωρηθεί λογική.

Αν X_t η τυχαία μεταβλητή που αντιπροσωπεύει την κατάσταση του συστήματος τη χρονική στιγμή t, οι πιθανές τιμές της X_t, χωρίζονται σε δύο σύνολα. Στο σύνολο S που αποτελεί το σύνολο των ικανοποιητικών αποτελεσμάτων (επιτυχία) και στο σύνολο F που αποτελεί το σύνολο των μη ικανοποιητικών (αποτυχία). Τότε η αξιοπιστία ενός συστήματος θα περιγράφεται από την πιθανότητα α, όπου:

$$\alpha = \Pr ob[X_t \in S] \tag{2.23}$$

Από την παραπάνω εξίσωση προκύπτει η σχέση υπολογισμού του δείκτη αξιοπιστίας α_j για κάθε υδροστόμιο j.

$$a_j = \frac{\sum_{r=1}^{C} Ih_{j,r} Ip_{j,r}}{\sum_{r=1}^{C} Ih_{j,r}} \tag{2.24}$$

όπου:

$Ih_{j,r}$ = 1, εάν το υδροστόμιο j είναι ανοιχτό στη συγκεκριμένη προσομοίωση r

$Ih_{j,r}$ = 0, εάν το υδροστόμιο j είναι κλειστό στη συγκεκριμένη προσομοίωση r

$Ip_{j,r}$ = 1, εάν το φορτίο πίεσης στο υδροστόμιο j το οποίο είναι ανοιχτό στη προσομοίωση r, είναι μεγαλύτερο από το ελάχιστο απαιτούμενο φορτίο πίεσης

$Ip_{j,r}$ = 0, εάν το φορτίο πίεσης στο υδροστόμιο j το οποίο είναι ανοιχτό στη προσομοίωση r, είναι μικρότερο από το ελάχιστο απαιτούμενο φορτίο πίεσης και

C = ο συνολικός αριθμός προσομοιώσεων που υλοποιήθηκαν

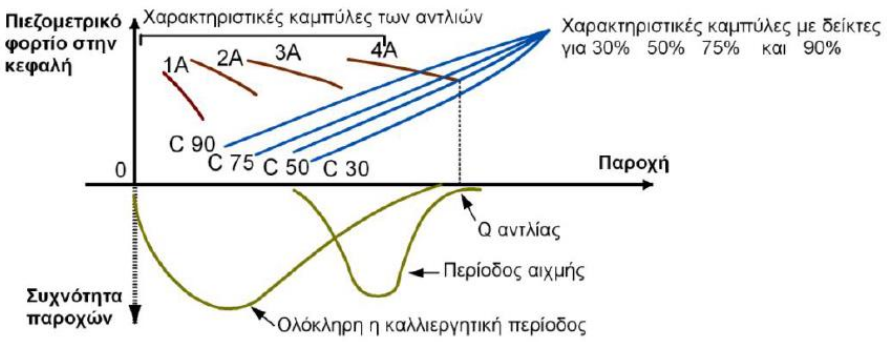
2.3.3 Ολοκληρωμένη ανάλυση

Ο όρος ολοκληρωμένη ανάλυση του δικτύου αναφέρεται στην συνολική εξέταση των τριών συνιστωσών (έργο κεφαλής, δίκτυο σωληνώσεων και χρήστες) ενός συλλογικού αρδευτικού δικτύου που λειτουργεί με ελεύθερη ζήτηση.

Όλα όσα έχουν αναφερθεί ως τώρα και σχετίζονται είτε με τον σχεδιασμό είτε με την ανάλυση της λειτουργίας ενός αρδευτικού δικτύου, καθιστούν προφανή την αναγκαιότητα μιας τέτοιας συνδυαστικής ανάλυσης. Η συμπεριφορά των χρηστών εκφρασμένης μέσω της ζητούμενης στην κεφαλή παροχής, η ανταπόκριση του δικτύου σε αυτήν την ζήτηση και η λειτουργία του αντλιοστασίου βάσει των χαρακτηριστικών του

, όντας σε πλήρη αλληλεξάρτηση μεταξύ τους, θα πρέπει να ελέγχονται και να αναλύονται σφαιρικά έτσι ώστε ο μελετητής ή ο διαχειριστής του δικτύου να προβεί σε κατάλληλες ρυθμιστικές ενέργειες.

Για την ολοκληρωμένη ανάλυση ενός συλλογικού αρδευτικού δικτύου που λειτουργεί με ελεύθερη ζήτηση δημιουργείται ένα διάγραμμα (Bethery et al., 1981) στο οποίο αποτυπώνονται και τις τρεις συνιστώσες του δικτύου. Ένα τέτοιο διάγραμμα παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.9.



Σχήμα 2.9: Ολοκληρωμένη ανάλυση ενός συλλογικού αρδευτικού δικτύου.

Πηγή: Στεφοπούλου, 2013.

Στο διάγραμμα αυτό, η συμπεριφορά των αγροτών περιγράφεται από τις δύο καμπύλες συχνότητας εμφάνισης των παροχών για ολόκληρη την καλλιεργητική περίοδο και για την

περίοδο αιχμής. Αντίστοιχα, οι χαρακτηριστικές καμπύλες με δείκτες του δικτύου εκφράζουν την ανταπόκριση του συστήματος των αγωγών και οι χαρακτηριστικές καμπύλες του αντλιοστασίου εκφράζουν την συμπεριφορά του έργου κεφαλής.

Στο παράδειγμα που παρουσιάζεται στο παραπάνω διάγραμμα, το σύστημα λειτουργεί ικανοποιητικά, καθώς όπως παρατηρούμε οι παροχές που συνήθως καλούνται επιτρέπουν ένα βαθμό ικανοποίησης των συνδυασμών ανοικτών υδροστομίων > 90% και μόνο όταν καλείται η παροχή αιχμής Q_c το ποσοστό ικανοποίησης πέφτει στο επίπεδο του 50%. Αλλά ακόμη και σε αυτή την περίπτωση μερικά μόνο υδροστόμια θα έχουν κάποια προβλήματα στην παρεχόμενη πίεση και παροχή στο υδροστόμιο, μιας και όπως έχει ήδη αναφερθεί για τη δημιουργία των χαρακτηριστικών καμπυλών με δείκτες έχουμε τοποθετηθεί στην πλευρά της ασφάλειας θεωρώντας ότι ένα και μόνο υδροστόμιο που δεν ικανοποιείται αρκεί για να χαρακτηρίσει το συγκεκριμένο συνδυασμό ανοιχτών υδροστομίων ανεπιτυχή.

Σε άλλες όμως περιπτώσεις δικτύων με προβληματική λειτουργία, η μορφή του αντίστοιχου διαγράμματος θα καταδείξει τους βέλτιστους τρόπους επέμβασης ώστε να αντιμετωπιστούν οι ανεπάρκειες του δικτύου. Οι τρόποι αυτοί μπορεί να περιλαμβάνουν μια απλή αλλαγή στον τρόπο διανομής (π.χ. εγκατάσταση προγράμματος) ώστε να μειωθούν οι μέγιστες ζητούμενες παροχές, την προσθήκη μιας αντλίας ή ακόμη και συνδυαστικές ενέργειες όπως προσθήκη επιπλέον αντλιών με ταυτόχρονη ενίσχυση του δικτύου ώστε να επιτευχθεί μείωση του απαραίτητου φορτίου για ορισμένη παροχή και ποσοστό ικανοποίησης ανά περίπτωση.

Γίνεται επομένως αντιληπτό, πόσο σημαντικά χρήσιμη είναι η ολοκληρωμένη ανάλυση ενός συλλογικού αρδευτικού δικτύου για τον ορθό έλεγχο και τη διαχείριση της λειτουργίας του ενώ ταυτόχρονα διαφαίνεται ο υψηλός βαθμός συσχέτισης των τριών συνιστωσών του που δεν αφήνει περιθώρια για μονόπλευρη θεώρησή τους.

2.3.4 Σημασία της ανάλυσης

Η αποκτηθείσα εμπειρία σε υπάρχοντα αρδευτικά δίκτυα έχει αποδείξει ότι η διαδικασία της ανάλυσης είναι εξαιρετικά σημαντική καθώς μπορεί να συμβάλλει με ουσιαστικό τρόπο στην ορθή διαχείριση και λειτουργία των συστημάτων αυτών που θα έχει ως αποτέλεσμα την παροχή υψηλής ποιότητας υπηρεσιών στους χρήστες.

Το χαρακτηριστικό που αποδίδει κατά κύριο λόγο αυτή την αξία στην διαδικασίας της ανάλυσης είναι η δυνατότητα προσομοίωσης διαφορετικών συνθηκών λειτουργίας ενός δικτύου που προσφέρουν τα χρησιμοποιούμενα στην ανάλυση μοντέλα.

Η χρησιμότητα της ανάλυσης δεν περιορίζεται μόνο στο στάδιο λειτουργίας ή μόνο στο στάδιο σχεδιασμού του δικτύου. Η εφαρμογή της αποτελεί εξίσου χρήσιμο εργαλείο τόσο στα χέρια των μελετητών όσο στα χέρια των διαχειριστών του δικτύου.

Στην περίπτωση που το δίκτυο βρίσκεται στη φάση μελέτης, διακρίνουμε δύο υποπεριπτώσεις: το δίκτυο να πρόκειται να κατασκευαστεί εξ' ολοκλήρου από την αρχή, και στη δεύτερη περίπτωση το δίκτυο να πρόκειται να κατασκευαστεί σταδιακά με τη λογική των προοδευτικών ενισχύσεων ώστε να επιτυγχάνεται καλύτερη προσαρμογή του έργου στις εξελισσόμενες ανάγκες της αρδευτικής περιμέτρου.

Όταν το δίκτυο πρόκειται να κατασκευαστεί εξ' ολοκλήρου από την αρχή και υπάρχει ταμιευτήρας από τον οποίον θα τροφοδοτείται, η βελτιστοποίηση των διαμέτρων θα γίνει για τη στάθμη που επιβάλει ο υφιστάμενος ταμιευτήρας, και θα πρέπει να καθοριστεί η χαρακτηριστική καμπύλη του δικτύου προκειμένου να εξεταστεί η συμπεριφορά του συστήματος για διάφορες παροχές στην κεφαλή. Αντίστοιχα, εάν το δίκτυο θα τροφοδοτηθεί από ταμιευτήρα που πρόκειται να κατασκευαστεί, η επιλογή της θέσης και του αντίστοιχου φορτίου του ταμιευτήρα θα πρέπει να ελαχιστοποιεί το κόστος ταμιευτήρα και το κόστος του δικτύου. Τέλος, εάν το δίκτυο πρόκειται να τροφοδοτηθεί από αντλιοστάσιο, θα πρέπει να προσδιορισθεί η χαρακτηριστική καμπύλη του δικτύου προκειμένου να καθοριστούν τα απαιτούμενα χαρακτηριστικά του αντλιοστασίου.

Όταν το υπό μελέτη δίκτυο πρόκειται να κατασκευαστεί με τη λογική των προοδευτικών ενισχύσεων, η ανάλυση του δικτύου συμβάλλει στο να προβλεφθεί ποιοι αγωγοί και με ποια προτεραιότητα θα πρέπει να ενισχυθούν, ποιες ενισχύσεις αντλιοστασίων θα πρέπει να γίνουν όπως και αν θα πρέπει να γίνει (και σε ποια σημεία) εγκατάσταση νέων αντλιών ώστε να ανταποκριθεί το μελλοντικό δίκτυο στην εξελισσόμενη ζήτηση και να αποφευχθούν βασικά λάθη σχεδιασμού.

Στην περίπτωση που το δίκτυο είναι στη φάση λειτουργίας, η ανάλυση της υδραυλικής του επάρκειας θα επιτρέψει να αξιολογηθεί η λειτουργική του κατάσταση και να εντοπιστούν τα υδροστόμια που παρουσιάζουν ανεπάρκειες πίεσης και παροχής, η συχνότητα και το μέγεθος αυτών των ανεπαρκειών, καθώς και οι υποδιαστασιολογημένοι αγωγοί του δικτύου. Η εκτίμηση

της υπάρχουσας κατάστασης και η σύγκρισή της με τις αρχικές προβλέψεις και παραδοχές θα αναδείξουν τελικά τις όποιες αποκλίσεις, υποδεικνύοντας λύσεις ανάταξης.

Συνοψίζοντας, θα λέγαμε ότι πριν την κατασκευή του δικτύου οι προσομοιώσεις διαφόρων πιθανών συνθηκών λειτουργίας του συστήματος κατά τη διάρκεια ζωής του έργου με τη χρήση μοντέλων επιτρέπουν τον εντοπισμό αποτυχιών που μπορεί να συμβούν. Στην περίπτωση ανίχνευσης αποτυχιών, ο σχεδιασμός θα πρέπει να βελτιωθεί με επαρκείς τεχνικές. Αντίστοιχα μετά την κατασκευή και κατά την λειτουργία του δικτύου, τα χρησιμοποιούμενα μοντέλα προσομοιώνουν την λειτουργία του δικτύου υπό πραγματικές συνθήκες (απαραίτητη προϋπόθεση η ύπαρξη έγκυρων δεδομένων εισόδου) επιτρέποντας τον εντοπισμό των προβληματικών υδροστομίων, τον προσδιορισμό των απωλειών ανά τρέχον μέτρο και κατ΄ επέκταση τον εντοπισμό των αγωγών που βρίσκονται σε κατάσταση κορεσμού. Δεδομένης μιας τέτοιας κατάστασης, οι διαχειριστές του δικτύου θα πρέπει να προβούν σε κατάλληλες και έγκυρες επεμβάσεις.

Στα πλαίσια επομένως μιας ορθολογικότερης διαχείρισης όχι μόνο των συλλογικών αρδευτικών δικτύων αλλά γενικότερα των υδατικών πόρων, ο ρόλος της ανάλυσης είναι ιδιαίτερα σημαντικός καθώς μπορεί και ενσωματώνει τις δυο βασικές παραμέτρους της διαχείρισης, την παρακολούθηση και την πρόβλεψη.

2.4 Προγράμματα λογισμικού για την υδραυλική ανάλυση συλλογικών αρδευτικών δικτύων.

Η ανάπτυξη μοντέλων προσομοίωσης συστημάτων με τη χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή κατέστησε εφικτή την ανάλυση των αρδευτικών δικτύων αποτελώντας ένα ισχυρότατο εργαλείο στα χέρια τόσο των διαχειριστών όσο και των σχεδιαστών των δικτύων αυτών.

Βασισμένη στη δυνατότητα των ηλεκτρονικών υπολογιστών να γεννούν τυχαία αριθμούς οι οποίοι προσομοιώνουν καταστάσεις που μπορούν να αναλυθούν στατιστικά, η ανάλυση ενός δικτύου μπορεί να παράσχει σαφείς και ξεκάθαρες ενδείξεις σχετικές με την επάρκεια των υφιστάμενων αρδευτικών συστημάτων, τις θέσεις και τις αιτίες των ανεπαρκειών τους αλλά και τις οικονομικά ωφέλιμες επεμβάσεις.

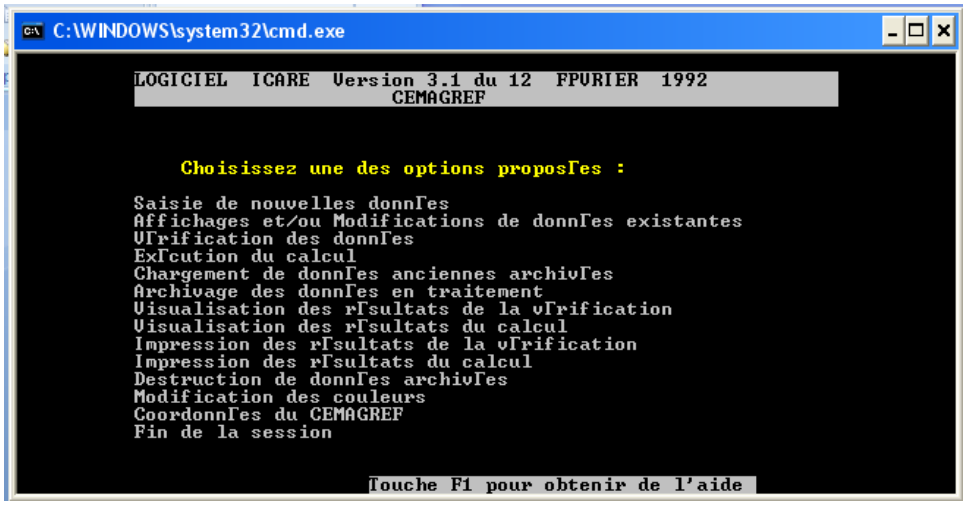
Ταυτόχρονα, η ανάλυση ενός δικτύου χρησιμοποιείται πλέον συχνά στην βελτίωση των τεχνικών σχεδιασμού. Πριν από την επίτευξη της ανάλυσης συστημάτων μέσω Η/Υ, η

υπερδιαστασιολόγηση αποτελούσε την συνηθισμένη αντίδραση ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι αβεβαιότητες κατά το στάδιο του σχεδιασμού. Σήμερα, χάρη στα μοντέλα ανάλυσης και μέσω των κριτηρίων λειτουργίας που τίθενται σε αυτά, ο σχεδιασμός νέων δικτύων άρδευσης ενισχύεται σημαντικά και μπορούν να σχεδιαστούν δίκτυα ικανά να λειτουργούν ικανοποιητικά σε ένα μεγάλο εύρος πιθανών σεναρίων ζήτησης (Lamaddalena and Sagardoy, 2000).

Στη συνέχεια παρουσιάζονται δυο από τα πιο διαδεδομένα προγράμματα Η/Υ που υλοποιούν διαστασιολόγηση και ανάλυση λειτουργίας σε υπό πίεση αρδευτικά δίκτυα ελεύθερης ζήτησης. Πρόκειται για το λογισμικό ICARE το οποίο παρέχει τη δυνατότητα ανάλυσης λειτουργίας δικτύων και το λογισμικό COPAM που μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την ανάλυση λειτουργίας δικτύων αλλά και για την διαστασιολόγησή τους.

2.4.1 Το λογισμικό ICARE

Το λογισμικό ICARE έχει αναπτυχθεί από το CEMAGREF (CTGREF, 1979; Bethery et al., 1981; Bethery, 1990). Το ICARE προσομοιώνει τη λειτουργία του δικτύου και υπολογίζει τις χαρακτηριστικές καμπύλες με δείκτες, την ανώτερη χαρακτηριστική καμπύλη καθώς και διάφορα είδη μόνιμων ροών. Πιο συγκεκριμένα, υπολογίζει την μόνιμη ροή που αντιστοιχεί σε ορισμένο συνδυασμό ανοικτών υδροστομίων ή την μόνιμη ροή που προέρχεται από τυχαίους συνδυασμούς ανοικτών υδροστομίων. Για τους συνδυασμούς αυτούς διεξάγει μια στατιστική ανάλυση στο σύνολο των προσομοιώσεων και πραγματοποιώντας την ανάλυση σε επίπεδο υδροστομίου, προσδιορίζει ποια υδροστόμια παρουσιάζουν πρόβλημα πίεσης.



Εικόνα 2.1: Το περιβάλλον εργασίας του λογισμικού ICARE.

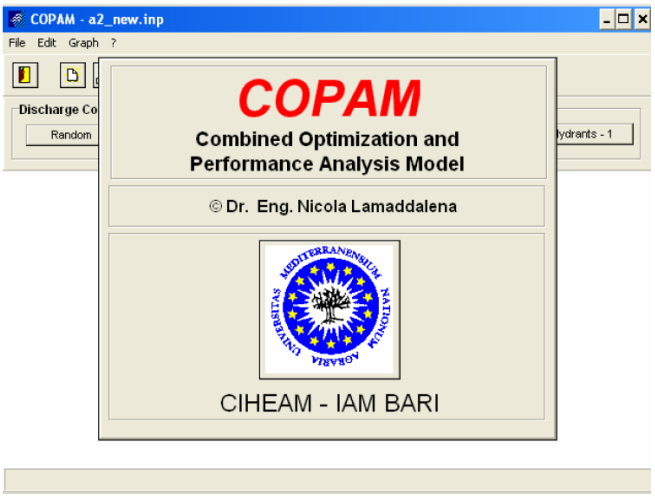
Πηγή: Στεφοπούλου, 2013.

Το λογισμικό ICARE είναι ένα εμπορικό πακέτο που λειτουργεί σε περιβάλλον MS-DOS και δεν παρουσιάζει ένα φιλικό προς το χρήστη περιβάλλον εργασίας. Η γλώσσα που χρησιμοποιείται στο περιβάλλον εργασίας του ICARE είναι τα γαλλικά, δίνει αναλυτικά raw data, αλλά παρουσιάζει προβλήματα συμβατότητας με τα σύγχρονα λειτουργικά συστήματα με αποτέλεσμα να μην εμφανίζονται τα διαγράμματα των χαρακτηριστικών καμπυλών με δείκτες.

2.4.2 Το λογισμικό COPAM

Το λογισμικό **COPAM** (Combined Optimization and Performance Analysis Model) αναπτύχθηκε αρχικά από τον Lamaddalena (Lamaddalena, 1997) και δημοσιεύτηκε αργότερα με πλήρη οδηγό από τον FAO (Food and Agriculture Organization) (Lamaddalena and Sagardoy, 2000) σε συνεργασία με το CIHEAM – IAMB (Centre International de Hautes Etudes Agronomiques Méditerranéennes – Mediterranean Agronomic Institute of Bari).

Λειτουργεί σε περιβάλλον Windows και δίνει την δυνατότητα υπολογισμού των παροχών, οικονομικής βελτιστοποίησης των διαμέτρων των αγωγών του δικτύου και ανάλυση της λειτουργίας του τόσο σε επίπεδο δικτύου όσο και σε επίπεδο υδροστομίου.



Εικόνα 2.2: Εκκίνηση προγράμματος COPAM

Πιο συγκεκριμένα με το COPAM μπορεί να επιτευχθεί:

1. Υπολογισμός των παροχών σχεδιασμού (Discharges Computation) με δύο μεθοδολογίες:

   i. Μέθοδο Clément (1ος και 2ος νόμος)

ii. Τυχαία (Random) (τυχαίο άνοιγμα των υδροστομίων βάσει γεννήτριας τυχαίων αριθμών)

2. Βελτιστοποίηση των διαμέτρων των αγωγών (Pipe size computation → Optimization).

Η βελτιστοποίηση πραγματοποιείται σύμφωνα με την ασυνεχή μέθοδο του Labye.

3. Ανάλυση απόδοσης ενός αρδευτικού δικτύου (Analysis) η οποία περιλαμβάνει δυο μεθόδους:

i. Μέθοδο χαρακτηριστικών καμπυλών (Configuration)

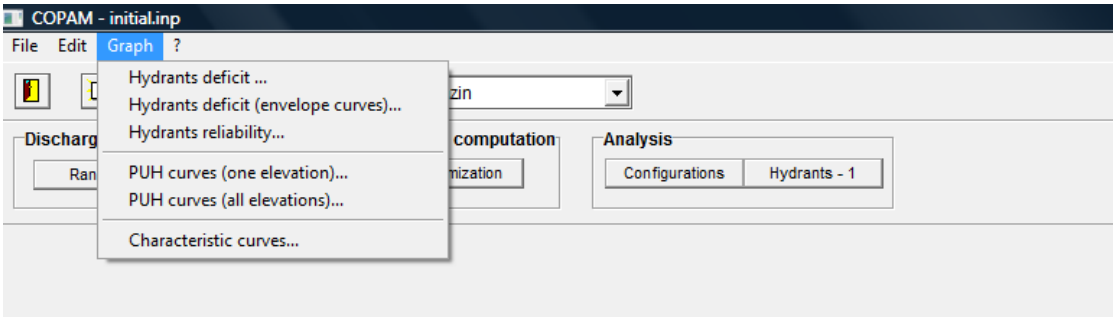
ii. Μέθοδο "υδροστομίων" (Hydrants-1)

Οι χαρακτηριστικές καμπύλες δημιουργούνται με τη χρήση του αντίστοιχου μοντέλου (Characteristic Curves Model) και παρέχουν γενικές πληροφορίες για την απόδοση του αρδευτικού δικτύου αναπαριστώντας το ποσοστό των συνδυασμών ανοιχτών υδροστομίων που ικανοποιούνται.

Η μεταφορά της ανάλυσης σε επίπεδο υδροστομίου συντελείται μέσω του μοντέλου AKLA (Lamaddalena, 1997; Lamaddalena and Sagardoy, 2000) το οποίο ουσιαστικά αποτελεί μια βελτιωμένη εκδοχή του προηγούμενου μοντέλου. Η λειτουργία του βασίζεται στον έλεγχο του φορτίου πίεσης σε κάθε υδροστόμιο υπό διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας και στη σύγκρισή του με την ελάχιστη πίεση που απαιτείται σε αυτά. Δίνει πληροφορίες που επιτρέπουν τον προσδιορισμό των υδροστομίων που παρουσιάζουν ανεπάρκεια φορτίου πίεσης, της θέσης τους και του μεγέθους του ελλείμματος αυτού, του δείκτη αξιοπιστίας τους καθώς και του ποσοστού των υδροστομίων που παρουσιάζουν μειωμένο φορτίο πίεσης.

Η λειτουργία της ανάλυσης δίνει ως παράγωγα γραφικά αποτελέσματα (μενού Graph – Εικόνα 2.3) και συγκεκριμένα προκύπτουν τα διαγράμματα των χαρακτηριστικών καμπυλών με δείκτες του εξεταζόμενου δικτύου (Characteristic curves), του σχετικού ελλείμματος – περίσσειας φορτίου πίεσης (Hydrants deficit), του δείκτη αξιοπιστίας για κάθε υδροστόμιο (Hydrants reliability) όπως επίσης και του ποσοστού των υδροστομίων που παρουσιάζουν μειωμένο φορτίο πίεσης (PUH curves).

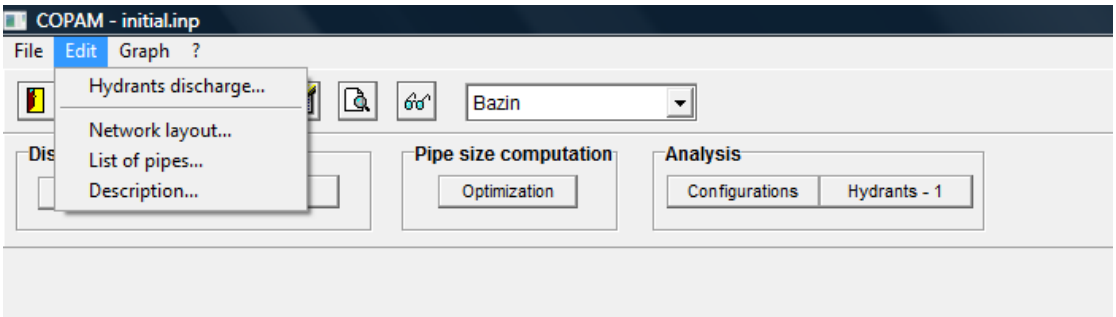
Στα πλαίσια αυτής της εργασίας εμπίπτει πρωτίστως η λειτουργία της ανάλυσης του δικτύου και σε μικρότερο βαθμό αυτή του υπολογισμού των παροχών η οποία χρησιμοποιείται κυρίως για λόγους ολοκληρωμένης εποπτείας και σύγκρισης των εξεταζόμενων περιπτώσεων και όχι σχεδιασμού.



Εικόνα 2.3: Περιβάλλον εργασίας του COPAM – Επιλογές του μενού Graph

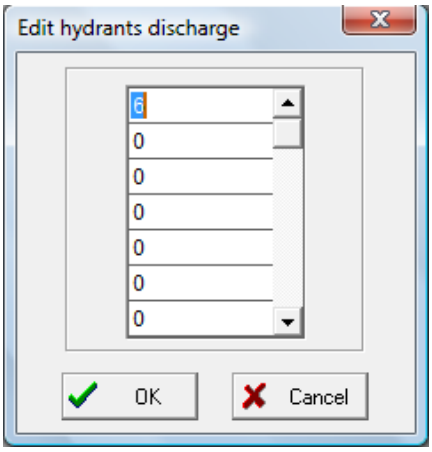
Για όλες τις λειτουργίες του προγράμματος δημιουργείται ένα αρχείο εισόδου (input file), το οποίο περιέχει όλα τα δεδομένα του αρδευτικού δικτύου.

Από το πτυσσόμενο μενού Edit δίνεται η δυνατότητα καταχώρησης (ή τροποποίησης σε περίπτωση υπάρχοντος αρχείου) των δεδομένων του αρχείου εισόδου.



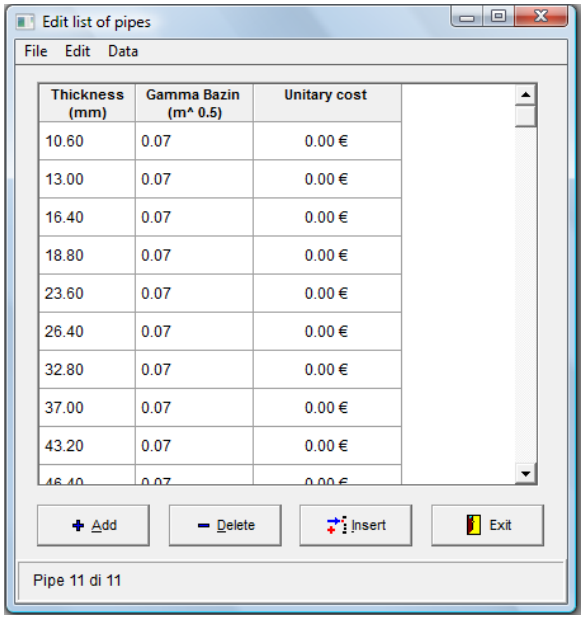
Εικόνα 2.4: Περιβάλλον εργασίας του COPAM – Επιλογές του μενού Edit

Η πρώτη επιλογή **Hydrants discharge** αφορά στην καταχώρηση των ονομαστικών παροχών των διαθέσιμων υδροστομίων του δικτύου, οι οποίες μπορεί να είναι περισσότερες από μια. Αυτές εισάγονται σε μονάδες L/s και με αύξουσα σειρά μεγέθους.



Εικόνα 2.5: Πεδίο καταχώρησης των ονομαστικών παροχών των υδροστομίων.

Η επιλογή **List of pipes** αφορά στην καταχώρηση των στοιχείων διαμέτρων εμπορίου των αγωγών του δικτύου. Πιο συγκεκριμένα δίνονται οι ονομαστικές[2] διάμετροι των αγωγών (mm) ξεκινώντας από τη μικρότερη τιμή της ονομαστικής διαμέτρου και καταλήγοντας στη μεγαλύτερη, το πάχος των τοιχωμάτων (mm), ο συντελεστής τραχύτητας γ του Bazin ($m^{0.5}$) και το μοναδιαίο κόστος του σωλήνα (€ / m μήκους) στην περίπτωση που επιχειρείται οικονομική βελτιστοποίηση του δικτύου.



Thickness (mm)	Gamma Bazin (m^ 0.5)	Unitary cost
10.60	0.07	0.00 €
13.00	0.07	0.00 €
16.40	0.07	0.00 €
18.80	0.07	0.00 €
23.60	0.07	0.00 €
26.40	0.07	0.00 €
32.80	0.07	0.00 €
37.00	0.07	0.00 €
43.20	0.07	0.00 €

Εικόνα 2.6: Πεδίο καταχώρησης των χαρακτηριστικών στοιχείων των αγωγών.

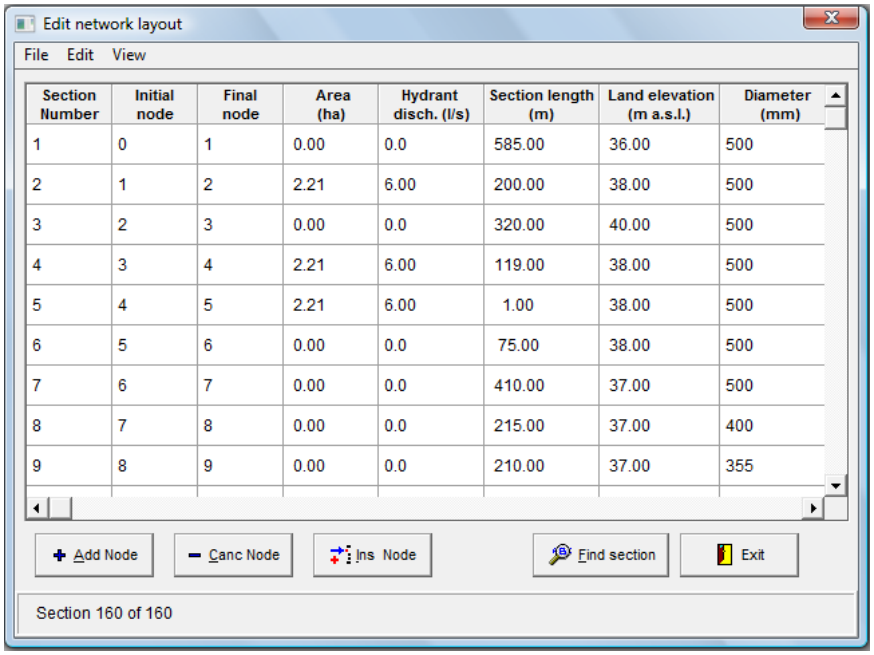
Τέλος η επιλογή **Network Layout** αφορά στην καταχώρηση των στοιχείων που περιγράφουν την μορφή και το μέγεθος του αρδευτικού δικτύου, την έκταση που αρδεύεται και την τοπογραφία του εδάφους της περιοχής (Εικόνα 2.7).

Πιο συγκεκριμένα εισάγονται:

- Η αρίθμηση του ανάντη κόμβου (initial node)
- Η αρίθμηση του κατάντη κόμβου (final node)
- Η έκταση που αρδεύεται από κάθε υδροστόμιο – πρότυπη αρδευτική μονάδα (ha). Αν δεν προβλέπεται υδροστόμιο σε αυτόν τον κόμβο η έκταση ισούται με 0.
- Η παροχή του υδροστομίου του κόμβου (L/s)
- Το μήκος του τμήματος του αγωγού (m)
- Το υψόμετρο του εδάφους του κατάντη κόμβου

[2] Ο όρος ονομαστική διάμετρος (ND/Nominal Diameter) αποτελεί μια κωδικοποίηση των σωλήνων εμπορίου και σύμφωνα με το γενικό κανόνα αναφέρεται στην εσωτερική διάμετρο όταν πρόκειται για χαλυβδοσωλήνες και αμιαντοσωλήνες και στην εξωτερική όταν πρόκειται για PVC και HDPE σωλήνες.

- Η ονομαστική διάμετρος του τμήματος (mm)
- Η απαιτούμενη πίεση στον κατάντη κόμβο (m)



Section Number	Initial node	Final node	Area (ha)	Hydrant disch. (l/s)	Section length (m)	Land elevation (m a.s.l.)	Diameter (mm)
1	0	1	0.00	0.0	585.00	36.00	500
2	1	2	2.21	6.00	200.00	38.00	500
3	2	3	0.00	0.0	320.00	40.00	500
4	3	4	2.21	6.00	119.00	38.00	500
5	4	5	2.21	6.00	1.00	38.00	500
6	5	6	0.00	0.0	75.00	38.00	500
7	6	7	0.00	0.0	410.00	37.00	500
8	7	8	0.00	0.0	215.00	37.00	400
9	8	9	0.00	0.0	210.00	37.00	355

Εικόνα 2.7: Πεδίο καταχώρησης των χαρακτηριστικών στοιχείων του δικτύου.

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να τονίσουμε ότι το λογισμικό COPAM, απαιτεί συγκεκριμένο τρόπο αρίθμησης του δικτύου (ιδιαίτερα περίπλοκο) για να λειτουργήσει. Σύμφωνα με το εγχειρίδιο χρήσης του COPAM (Lamaddalena and Sagardoy, 2000), οι κύριοι κανόνες που διέπουν αυτό τον τρόπο αρίθμησης των κόμβων είναι οι ακόλουθοι:

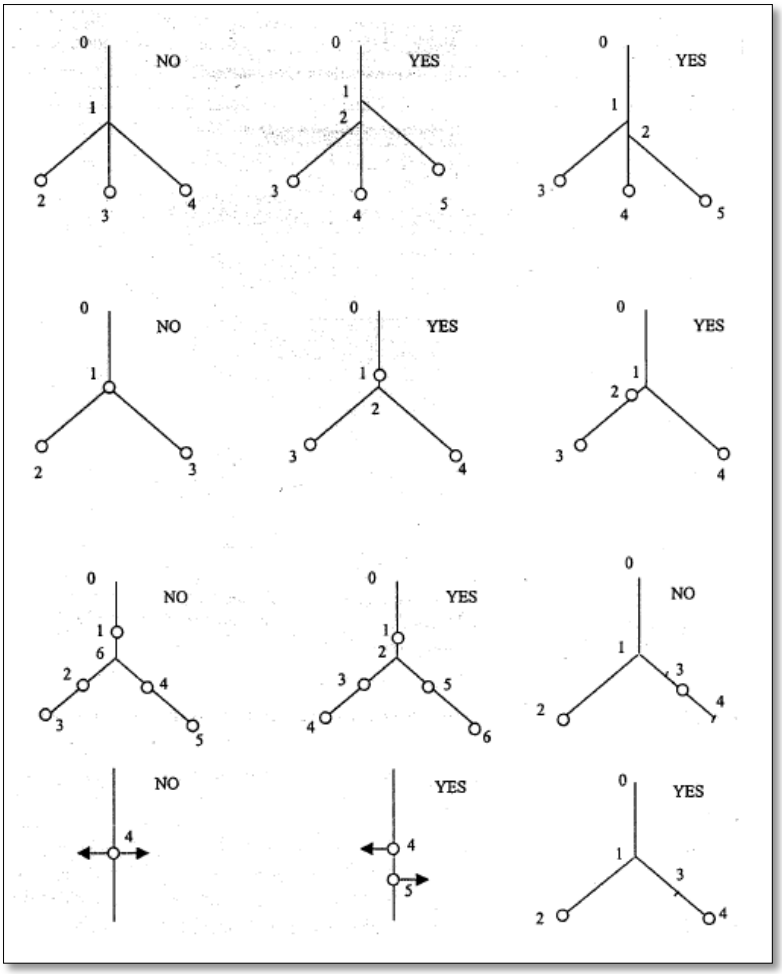
- Ο ανάντη κόμβος (πηγή) δηλαδή το κάθε αντλιοστάσιο θα πρέπει να έχει τον αριθμό 0.
- Οι υπόλοιποι κόμβοι θα πρέπει να αριθμούν διαδοχικά από ανάντη προς κατάντη. Οποιοσδήποτε κόμβος μπορεί να παραληφθεί.
- Η αρίθμηση κάθε αγωγού - τμήματος (section) αντιστοιχεί στον αριθμό του κατάντη κόμβου του.
- Όλοι οι τερματικοί κόμβοι των διακλαδώσεων θα πρέπει να εξυπηρετούν ένα υδροστόμιο.
- Το πολύ δυο τμήματα μπορούν να ξεκινούν από έναν ανάντη κόμβο. Διαφορετικά θα πρέπει να δημιουργηθεί ένα φανταστικό τμήμα αγωγού με το ελάχιστο μήκος (L=1m) και ένας επιπρόσθετος κόμβος με διαδοχικό αριθμό.
- Στην περίπτωση τριών τμημάτων δεν μπορεί να υπάρχει υδροστόμιο. Αντί αυτού, θα πρέπει να προστεθεί ένας κόμβος με διαδοχικό αριθμό.

– Σε κάθε υδροστόμιο αντιστοιχεί ένας αριθμός. Άρα όπου υπάρχουν διπλά, τριπλά ή τετραπλά υδροστόμια, θα πρέπει να δημιουργηθεί ένα τμήμα αγωγού με ελάχιστο μήκος (L=1m).

Τέλος στην περίπτωση ύπαρξης αγωγού δύο διαμέτρων κατά μήκος του, θα πρέπει να θεωρηθεί ως δυο ξεχωριστοί αγωγοί, ο καθένας με χαρακτηριστικά το μήκος του και τη διάμετρό του, εισάγοντας ένα νέο κόμβο στο σημείο αλλαγής των διαμέτρων.

Γίνεται επομένως αντιληπτό ότι η αρίθμηση του δικτύου κατά COPAM γίνεται με βάση τους κόμβους και τα υδροστόμια και όχι με βάση τις υδροληψίες όπως συνηθίζεται.

Στο Σχήμα 2.10 παρουσιάζονται κάποια παραδείγματα με τους κανόνες αρίθμησης.

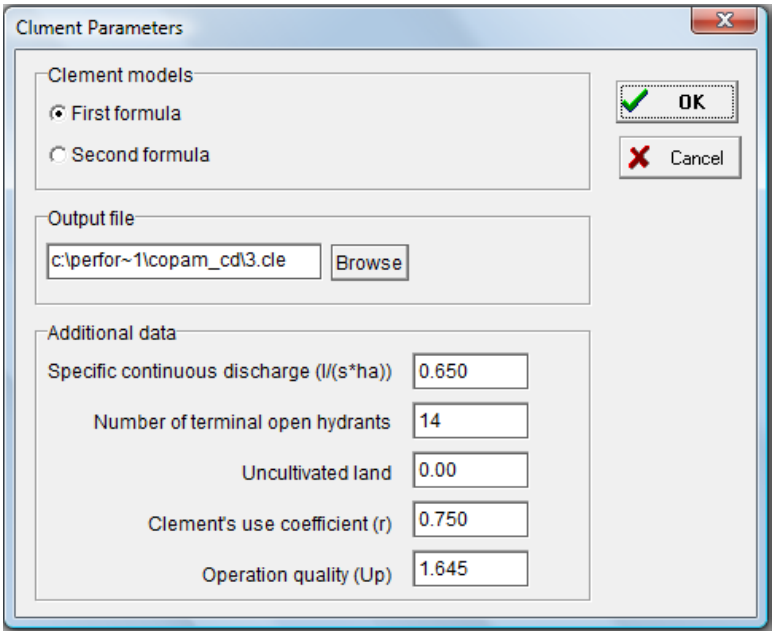


Σχήμα 2.10: Παραδείγματα κανόνων αρίθμησης σύμφωνα με το εγχειρίδιο χρήσης του COPAM (Lamaddalena και Sagardoy, 2000).

Όσον αφορά στην λειτουργία υπολογισμού των παροχών (Discharges Computation), όπως αναφέραμε το COPAM δίνει τη δυνατότητα υπολογισμού με τα πρότυπα μιας παροχής (Μοντέλο Clément – 1^{ος} και 2^{ος} τύπος Clément) και με το πρότυπο διαφόρων παροχών (RGM – Random Generation Model). Στην περίπτωση που επιλέγεται ο υπολογισμός των παροχών του δικτύου με

τον 1° τύπο του Clément που αποτελεί τον πιο διαδεδομένο, εισάγονται τα ακόλουθα δεδομένα στα αντίστοιχα πεδία.

- Η διαδρομή και το όνομα του αρχείου καταγραφής των αποτελεσμάτων (με προέκταση .cle).
- Η θεωρητική (συνεχής) ειδική παροχή άρδευσης q_0 (L/s/ha) (για 24ωρη λειτουργία του δικτύου).
- Ο αριθμός των ακραίων υδροστομίων δυναμένων να λειτουργήσουν συγχρόνως.
- Το ποσοστό ακαλλιέργητης γης στο σύνολο της αρδευτικής περιμέτρου (%).
- Η απόδοση χρονικής χρησιμοποιήσεως του δικτύου r σε απόλυτο αριθμό (hr/24hr).
- Ο συντελεστής ποιότητας λειτουργίας U(F(x))

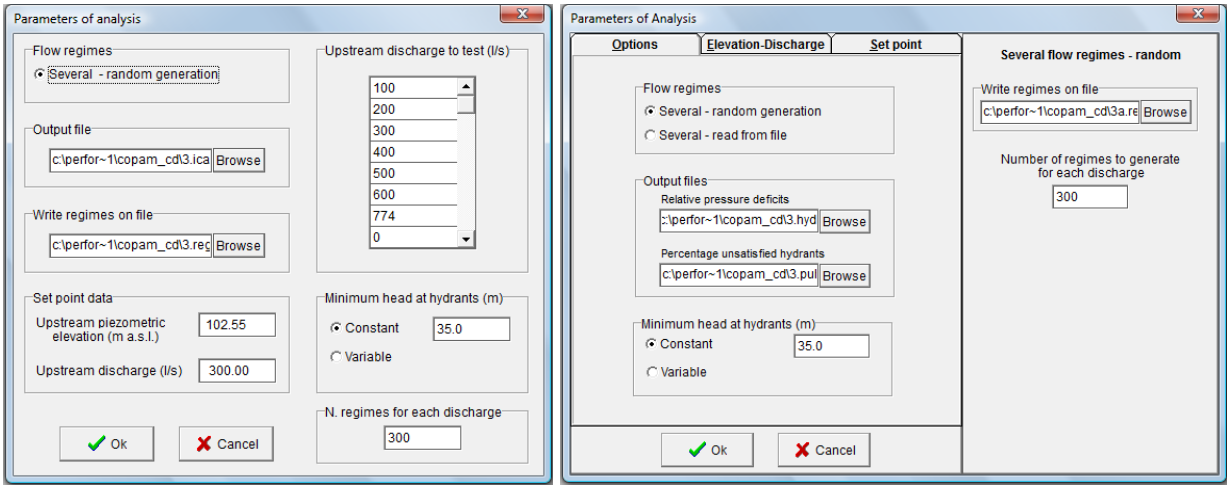


Εικόνα 2.8: Πεδίο καταχώρησης των τιμών των παραμέτρων του μοντέλου Clément.

Αντίστοιχα για την εκτέλεση της ανάλυσης είτε με τη μέθοδο των χαρακτηριστικών καμπυλών σε επίπεδο δικτύου, είτε με τη χρήση του μοντέλου AKLA σε επίπεδο υδροστομίου, οι παράμετροι για τις οποίες απαιτείται εισαγωγή τιμών είναι:

- Το πιεζομετρικό φορτίο στην κεφαλή του δικτύου $Z_{κεφ}$ (m)
- Η παροχή Clément στην κεφαλή του δικτύου $Q_{Clément}$ (L/s)
- Το απαιτούμενο φορτίο στα υδροστόμια (m)
- Οι παροχές κεφαλής που θα ελεγχθούν συμπεριλαμβανομένης της αθροιστικής όλων των υδροστομίων (L/s)

– Ο αριθμός των τυχαίων κατανομών ανοικτών υδροστομίων που θα παραχθούν από το πρόγραμμα για κάθε εξεταζόμενη τιμή παροχής κεφαλής. Το πρόγραμμα δέχεται αριθμούς πολλαπλάσιους του 10.



(α) (β)

Εικόνα 2.9: Πεδίο καταχώρησης των τιμών των παραμέτρων της ανάλυσης (α) του μοντέλου χαρακτηριστικών καμπυλών, (β) του μοντέλου AKLA

Τέλος θα πρέπει να αναφερθεί ότι κάθε λειτουργία που εκτελείται από το λογισμικό COPAM και αφορά στον υπολογισμό αρδευτικών δικτύων βασίζεται σε κάποιες παραδοχές. Οι παραδοχές αυτές έχουν να κάνουν με τις γραμμικές και τις τοπικές απώλειες φορτίου στο δίκτυο, την ταχύτητα των αγωγών και το εύρος των επιτρεπόμενων ταχυτήτων σε αυτούς. Στη συνέχεια παρατίθενται συνοπτικά οι βασικές αρχές που διέπουν αυτές τις παραδοχές.

α) Γραμμικές απώλειες φορτίου – τοπικές απώλειες

Το λογισμικό COPAM για τον υπολογισμό των γραμμικών απωλειών φορτίου στους υπό πίεση αγωγούς λόγω των τριβών χρησιμοποιεί την ακόλουθη τροποποιημένη εξίσωση των Darcy – Weisbach:

$$h_f = 0.000857 \left(1 + 2\gamma D^{-0.5}\right)^2 Q^2 D^{-0.5} L \qquad (2.24)$$

Όπου γ: ο συντελεστής τραχύτητας του Bazin ($m^{0.5}$)

D: η εσωτερική (καθαρή) διάμετρος του αγωγού (m)

Q: η παροχή του αγωγού (m^3/s)

L: το μήκος του αγωγού (m)

β) Τραχύτητα των αγωγών

Το λογισμικό COPAM για την τραχύτητα των σωλήνων λαμβάνει υπόψη του το συντελεστή τραχύτητας γ Bazin ($m^{0.5}$) ο οποίος εξαρτάται από το υλικό του σωλήνα και την μέθοδο κατασκευής του (Πίνακας 2.2) (Lamaddalena and Sagardoy, 2000).

Πίνακας 2.2: Συντελεστές τραχύτητας γ Bazin για διάφορα υλικά σωληνώσεων.
(Lamaddalena and Sagardoy, 2000).

TYPE OF PIPE	Equivalent homogenous roughness ε (mm)	γ ($m^{0.5}$)
1- Technically smooth tubes (glass, brass, drawn copper, resin)	0 ÷ 0.02	--
2- Steel pipes		
A) Time degradable coverings		
- New pipes, varnished by centrifugation	0.05	--
- Bitumened by immersion	0.1 ÷ 0.015	≤ 0.06
- In current duty with light rust	0.2 ÷ 0.4	0.10
- With asphalt or tar applied by hands	0.5 ÷ 0.6	0.16
- With diffused tubercolisation	1 ÷ 3	0.23
B) Non degradable coverings		
- Cement applied by centrifugation	0.05 ÷ 0.15	≤ 0.06
3- Welded sheet-pipes		
- In good conditions	0.2 ÷ 0.3	0.10
- In current duty with crusting	0.4 ÷ 1.0	0.16
4- Nailed sheet-pipes		
- 1 line of longitudinal nails	0.3 ÷ 0.4	0.10
- 2 lines of longitudinal nails	0.6 ÷ 0.7	0.16
- Idem with crusting	Till 3.0	0.30
- 4-6 lines of longitudinal nails	2.0	0.23
- 6 lines of longitudinal nails + 4 transversal	3.0	0.30
- Idem with crusting	Till 5.0	0.36
5- Cast iron pipes		
- With centrifuged-cemented covering	0.1	≤ 0.06
- New, covered internally with bitumen	0.15	0.06
- New, not covered	0.2 ÷ 0.4	0.10
- With light crusting	0.4 ÷ 1.0	0.16
- In current duty, partially rusted	1.0 ÷ 2.0	0.23
- strongly encrusted	3.0 ÷ 5.0	0.36
6- Cement-pipes		
- Asbestos cement	0.1	≤ 0.06
- New reinforced concrete, plaster perfectly smooth	0.1 ÷ 0.15	0.06
- Reinforced concrete with smooth plaster, in work for many years	2.0	0.23
- Tunnels with cement plaster, depending on the degree of finish	2.0 ÷ 5.0	0.23 ÷ 0.36

γ) Επιτρεπόμενες τραχύτητες

Το λογισμικό COPAM χρησιμοποιεί για όλες τις διαμέτρους αγωγών του εμπορίου το ίδιο εύρος επιτρεπόμενων ταχυτήτων νερού σε αυτούς, και συγκεκριμένα V_{min}= 0.2m/s και V_{max} = 2.5m/s.

Η μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα που χρησιμοποιεί το COPAM, στις περισσότερες περιπτώσεις είναι μεγαλύτερη από τις μέγιστες ταχύτητες που ορίζει η Εγκύκλιος Δ. 22200/ 30-7-1977 του άλλοτε Υπουργείου Δημοσίων Έργων (Πίνακας 1 Παραρτήματος).

3. Εφαρμογή σε υφιστάμενο ελληνικό δίκτυο

3.1 Σύντομη περιγραφή περιοχής μελέτης

Η περιοχή στην οποία εδράζεται το εξεταζόμενο δίκτυο εντοπίζεται βόρεια της λίμνης Τριχωνίδας και ανήκει διοικητικά στο νομό Αιτωλοακαρνανίας με πλησιέστερο έλασσον διοικητικό κέντρο την Παραβόλα και μείζον το Αγρίνιο.

Το σχήμα της περιοχής είναι επίμηκες και αναπτύσσεται από Α. προς Δ. με μέσο πλάτος (από Β προς Ν) 1.2-2.0km και μήκος 6km.

Τα υψόμετρά της κυμαίνονται από το +18.0 (όχθες της λίμνης) μέχρι το υψόμετρο +120.0 και τοπικά μέχρι και το +130.0. Πιο συγκεκριμένα σαν νότιο όριο της περιοχής άρδευσης θεωρείται η υψομετρική καμπύλη +18.0m (παραλίμνια ζώνη) ενώ ως προς Β. το όριο της περιοχής καθορίζεται από το υψόμετρο +120.0m που αποτελεί και το όριο της πεδινής περιοχής. Από την προς άρδευση έκταση εξαιρείται τόσο η περίμετρος των οικισμών όσο και ο λόφος που βρίσκεται ΝΑ του οικισμού της Παραβόλας ο οποίος παρουσιάζει αρχαιολογικό ενδιαφέρον.

Οι κλίσεις του εδάφους στο νότιο τμήμα της είναι ήπιες και αυξάνονται προς το βορρά όπου είναι έντονες. Λόγω της μορφολογίας αυτής παρατηρείται και το φαινόμενο της διάβρωσης του εδάφους.

Η προς μελέτη έκταση χωρίζεται με φυσικό όριο τον χείμαρρο Ξηριά σε δύο τμήματα, την περιοχή της Παραβόλας και την περιοχή της Παντάνασσας ή Μανδάνισσας. Κάθετα προς την όχθη της λίμνης, διαρρέουν την περιοχή χείμαρροι των οποίων οι λεκάνες απορροής συνεχίζονται προς βορρά μέσα στον ανάντη ορεινό όγκο. Η ροή των χειμάρρων αυτών είναι διακεκομμένη και σχετικά μικρής διάρκειας. Λόγω των ισχυρών κατά μήκος κλίσεων των χειμάρρων υπάρχει σημαντική κάθοδος φερτών όπως φαίνεται και από τον σχηματισμό των κώνων στην περιοχή της εκβολής τους στην λίμνη. Οι χείμαρροι αυτοί είναι κατά σειρά από Ανατολικά προς Δυτικά οι: Κρανόρεμα, Ξηριάς, Μπουφόρεμα, ρέμα Παραβόλας και ρέμα Καινούργιου.

Για την εξυπηρέτηση των αρδευτικών της αναγκών η περιοχή είχε ήδη από το τέλος της δεκαετίας του ΄50 οργανωθεί σε συλλογικά δίκτυα άρδευσης. Τα δίκτυα αυτά αποτελούντο από ανοικτές διώρυγες οι οποίες τροφοδοτούνταν από την λίμνη Τριχωνίδα με την παρεμβολή αντλιοστασίων.

3.1.1 Κλίμα – Μετεωρολογικά στοιχεία

Το κλίμα της ευρύτερης περιοχής μπορεί να χαρακτηριστεί ως ημιυγρό-υγρό, μεσόθερμο, και με μεγάλη έλλειψη υγρασίας κατά την καλοκαιρινή περίοδο. Η περιοχή έχει γενικά ήπιους χειμώνες και θερμά καλοκαίρια. Κατά τους θερινούς μήνες η θερμοκρασία του αέρα φθάνει συνήθως τους 38°C ενώ κατά τους χειμερινούς μήνες οι μέσες θερμοκρασίες κυμαίνονται από 9°C έως 8°C.

Οι βροχοπτώσεις είναι υψηλές ενώ ταυτόχρονα παρατηρείται μια μεγάλη διακύμανση του ετήσιου ύψους βροχής το οποίο ανέρχεται συνήθως, πάνω από τα 800mm. Οι μέγιστες τιμές καταγράφονται κατά τους χειμερινούς μήνες ενώ κατά τη διάρκεια της αρδευτικής περιόδου (Μάιος-Σεπτέμβριος) παρατηρείται ανεπάρκεια βροχοπτώσεων το ύψος των οποίων κυμαίνεται από 14.6 mm τον Ιούνιο, 21 mm τον Ιούλιο έως 32.8 mm τον Αύγουστο. (Ε.Μ.Υ., 1989-2004).

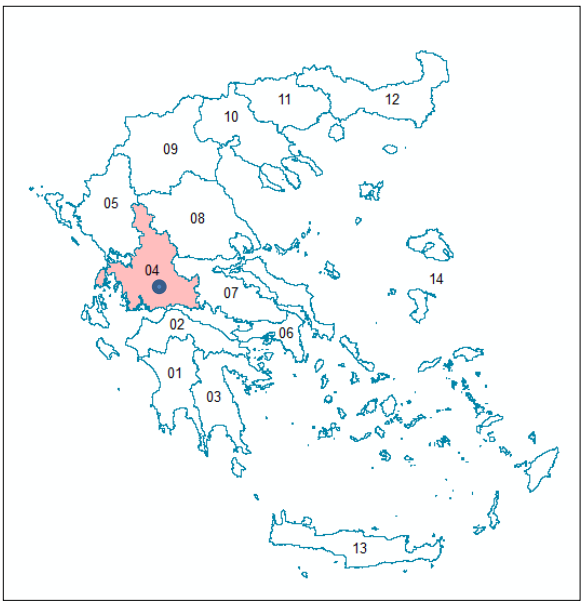
Η μέση μηνιαία σχετική υγρασία παρουσιάζει απλή διακύμανση κατά τη διάρκεια του έτους με τιμές από 55% κατά τους θερινούς μήνες έως 80% κατά τους χειμερινούς μήνες.

Όσον αφορά στην διάρκεια της ηλιοφάνειας, η μέση τιμή της στην περιοχή φτάνει το 30% της διάρκειας του έτους ενώ οι μήνες με τη μεγαλύτερη διάρκεια ηλιοφάνειας είναι οι μήνες που αντιστοιχούν στην αρδευτική περίοδο (Μάιος→Σεπτέμβριος).

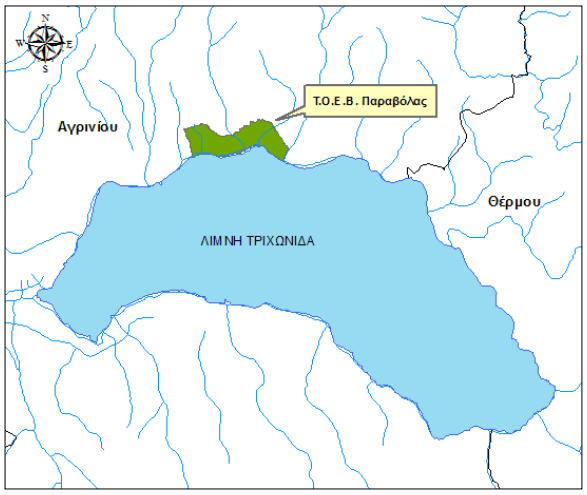
Τέλος σε ό,τι αφορά τους ανέμους, στην περιοχή λόγω της γεωγραφικής της θέσης και του προσανατολισμού της επικρατούν ως επί το πλείστον δυτικοί άνεμοι με συχνότητα 30%, η ένταση των οποίων κατά την αρδευτική περίοδο δεν υπερβαίνει τα 1,5m/s.

Στους Πίνακες 2, 3, 4, 5 και 6 του Παραρτήματος παρουσιάζονται οι μέσες μηνιαίες και οι μέσες ετήσιες τιμές διάρκειας λαμπρής ηλιοφάνειας, ταχύτητας ανέμου, σχετικής υγρασίας, θερμοκρασίας και βροχόπτωσης όπως προέκυψαν από τα δεδομένα του μετεωρολογικού σταθμό του Αγρινίου για την περίοδο καταγραφής 1989-2004.

3.1.2 Στοιχεία υδατικού δυναμικού της περιοχής



(α)



(β)

Σχήμα 3.1: Θέση περιοχής μελέτης (α) στο Υδατικό Διαμέρισμα 04 και (β) σε σχέση με τη λίμνη Τριχωνίδα

Από υδρολογικής πλευράς η περιοχή μελέτης ανήκει στο 04 Υδατικό Διαμέρισμα (ΥΔ) της χώρας γνωστό και ως «Υδατικό Διαμέρισμα Δυτικής Στερεάς Ελλάδας», ένα διαμέρισμα προνομιακό σε ό,τι αφορά τη διαθεσιμότητα νερού καθώς χάρη στην κατανομή των κατακρημνισμάτων και τη μορφολογία του εδάφους στην έκτασή του περιλαμβάνει τις λεκάνες απορροής σημαντικών υδάτινων σωμάτων όπως ο π. Αχελώος, ο π. Εύηνος, ο π. Μόρνος αλλά και τις φυσικές λίμνες Τριχωνίδα, Λυσιμαχεία, Οζερός, Αμβρακία και τους ταμιευτήρες Κρεμαστών, Καστρακίου, Στράτου, Ταυρωπού, Μόρνου και Αγίου Δημητρίου (Κουτσογιάννης κ.α., 2008).

Κύρια πηγή υδροδότησης στην περιοχή είναι η λίμνη Τριχωνίδα η οποία αποτελεί και το νότιο φυσικό όριο της προς άρδευση περιμέτρου. Η λίμνη Τριχωνίδα είναι η μεγαλύτερη φυσική λίμνη της Ελλάδος. Η περίμετρος της είναι 52km και η επιφάνειά της καλύπτει 97km^2. Το μέγιστο βάθος της λίμνης φτάνει τα 58m ενώ το μέσο βάθος της αγγίζει τα 29m. Η λίμνη τροφοδοτείται από επιφανειακές απορροές της γύρω λεκάνης απορροής η οποία έχει έκταση 400km^2 περίπου.
Το υψόμετρο της στάθμης της βρίσκεται κατά μέσο όρο περί το υψόμετρο +18.0m ενώ σε δυσμενείς υδρολογικές περιόδους έχει παρατηρηθεί πτώση της στάθμης και μέχρι το υψόμετρο +14.50m. Πρακτικά το υδατικό δυναμικό της λίμνης είναι τόσο μεγάλο που δεν τίθεται θέμα έλλειψης νερού.

3.1.3 Γεωλογία

Οι κύριοι γεωλογικοί σχηματισμοί που απαντώνται στην ευρύτερη περιοχή ανήκουν στις γεωτεκτονικές ζώνες Ωλονού – Πίνδου, Γαβρόβου και Ιονίου (Ι.Γ.Μ.Ε., 1983) και περιλαμβάνουν κυρίως ασβεστόλιθο και φλύσχη της ζώνης Γαβρόβου. Στα βόρεια και βορειοανατολικά της λίμνης (περιοχή μελέτης) συναντώνται μεταλπικοί πλειοτεταρτογενείς σχηματισμοί τριών ειδών και πιο συγκεκριμένα αλλουβιακές αποθέσεις, σύγχρονα πλευρικά κορήματα – κώνοι κορημάτων και παλαιά κορήματα. Από τους γεωλογικούς αυτούς σχηματισμούς, οι αλλουβιακές αποθέσεις καταλαμβάνουν το μεγαλύτερο ποσοστό της έκτασης της εν λόγω περιοχής.

3.1.4 Δημογραφικά και κτηματολογικά στοιχεία

Η περιοχή του ΤΟΕΒ Παραβόλας περιέχει ιδιοκτησίες που ανήκουν στις Κοινότητες Παντάνασσας, Κάτω Τραγάνας, Τραγάνας, Πλατανιά, Καινούργιου, Δογρής και Παραβόλας. Οι παραπάνω κοινότητες συνενώθηκαν και αποτελούν με την εφαρμογή του νόμου περί ενοποίησης των δήμων και κοινοτήτων (Καλλικράτης) τμήμα της Δημοτικής Ενότητας Παραβόλας με εξαίρεση την Δημοτική Κοινότητα Καινούργιου που υπάγεται διοικητικά στην Δημοτική Ενότητα Θεστιέων.

Στον επόμενο πίνακα φαίνεται μέσω των στοιχείων των απογραφών ανά δεκαετία η διακύμανση του πληθυσμού τα τελευταία 70 έτη. Όπως παρατηρούμε στην ευρύτερη περιοχή και ιδιαίτερα στους παραλίμνιους οικισμούς ο πληθυσμός έχει σημειώσει μικρή αύξηση τις τελευταίες δεκαετίες σε αντίθεση με τη γενικότερη τάση μετακίνησης προς τα μεγάλα αστικά κέντρα που επικρατεί στο μεγαλύτερο μέρος της χώρας. Το γεγονός αυτό καταδεικνύει τις δυνατότητες που προσφέρει η περιοχή για οικονομική αξιοποίηση είτε γεωργική είτε τουριστική.

Πίνακας 3.1: Στοιχεία πληθυσμού απογραφών (1951-2011).

Πηγή: Ελληνική Στατιστική Αρχή (ΕΛ.ΣΤΑΤ)

Δημοτική ή Τοπική Κοινότητα	**Πληθυσμός**						
	1951	**1961**	**1971**	**1981**	**1991**	**2001**	**2011**
Παραβόλα	1.146	1.357	1.670	1.641	1426	2.003	1.631
Παντάνασσα	-	703	698	716	750	605	531
Κ. Τραγάνα	141	203	275	300	270	289	248
Τραγάνα	151	216	181	103	134	171	62
Πλατανιάς	154	222	182	224	215	203	157
Δογρή	-	110	136	105	81	80	136
Καινούργιο	751	2.224	2.814	3.133	3.116	3.091	2.857

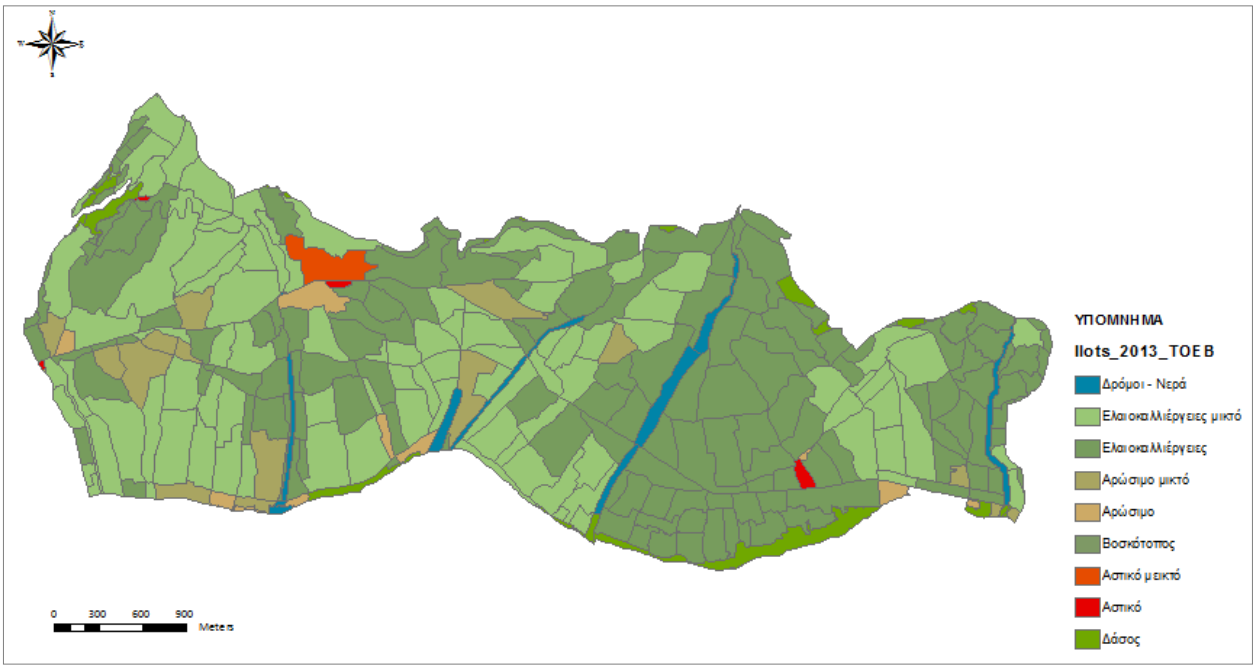
Σε ό,τι αφορά το ιδιοκτησιακό καθεστώς, στο μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής δεν έχει εφαρμοσθεί αναδασμός με αποτέλεσμα το μέσο μέγεθος των αγροτεμαχίων να είναι 2.9στρ. Εξαίρεση αποτελούν δυο μικρές παρόχθιες εκτάσεις από τις οποίες η μια επιφάνειας 350στρ (περί το ρέμα Μπουφόρεμα) και η άλλη επιφάνειας 500στρ. περίπου στο δυτικό τμήμα όπου συνορεύει με τον οικισμό Καινούργιου.

3.1.5 Γεωργία

Η μορφολογία του εδάφους αλλά και η ύπαρξη φυσικών και τεχνητών λιμνών στο νότιο τμήμα του νομού Αιτωλοακαρνανίας στο οποίο ανήκει η περιοχή μελέτης, αποτέλεσαν κατάλληλες συνθήκες για ενασχόληση των κατοίκων με την γεωργία. Σύμφωνα με τα στοιχεία της Ελληνικής Στατιστικής Αρχής (Απογραφή Γεωργίας-Κτηνοτροφίας 2009), οι καλλιεργούμενες εκτάσεις στο νομό ανέρχονται σε 1.004.000στρ εκ των οποίων τα 537.000στρ είναι εξοπλισμένες εκτάσεις που δύνανται να αρδευτούν, αντιστοιχώντας σε ποσοστό περίπου 50% του συνόλου των καλλιεργούμενων εκτάσεων (οι πραγματικά αρδευόμενες εκτάσεις αριθμούν τα 457.000στρ).

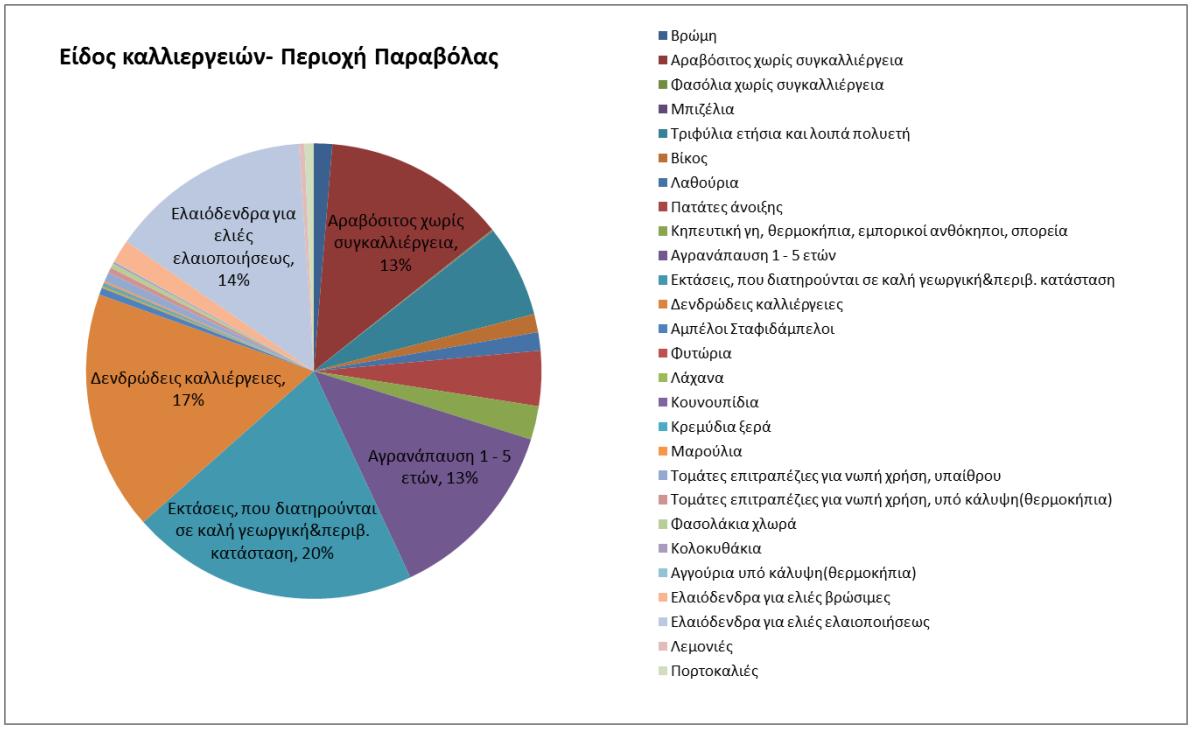
Κύρια είδη καλλιέργειας που συναντώνται στο νομό είναι η μηδική (τριφύλλι), ο αραβόσιτος (καλαμπόκι), οι ελαιοκαλλιέργειες, το βαμβάκι και κάποια εσπεριδοειδή κυρίως πορτοκαλιές ενώ ο καπνός που από τις αρχές του περασμένου αιώνα αποτέλεσε την παραδοσιακή καλλιέργεια του νομού εδώ περίπου και μια δεκαετία τείνει να εγκαταλειφθεί.

Σε μικρότερη κλίμακα, αυτήν της περιοχή μελέτης, όπως παρατηρούμε στο Σχήμα 3.2 το μεγαλύτερο ποσοστό της έκτασης καταλαμβάνουν ελαιοκαλλιέργειες και αρόσιμες εκτάσεις. Η κατηγοριοποίηση που ακολουθείται είναι με βάση το Σύστημα Αναγνώρισης Αγροτεμαχίων (LPIS-Land Parcel Identification System) του Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων, σύμφωνα με το οποίο κάθε αγροτεμάχιο χαρακτηρίζεται ανάλογα με τη χρήση γης που καταλαμβάνει το μεγαλύτερο ποσοστό στην έκτασή του.



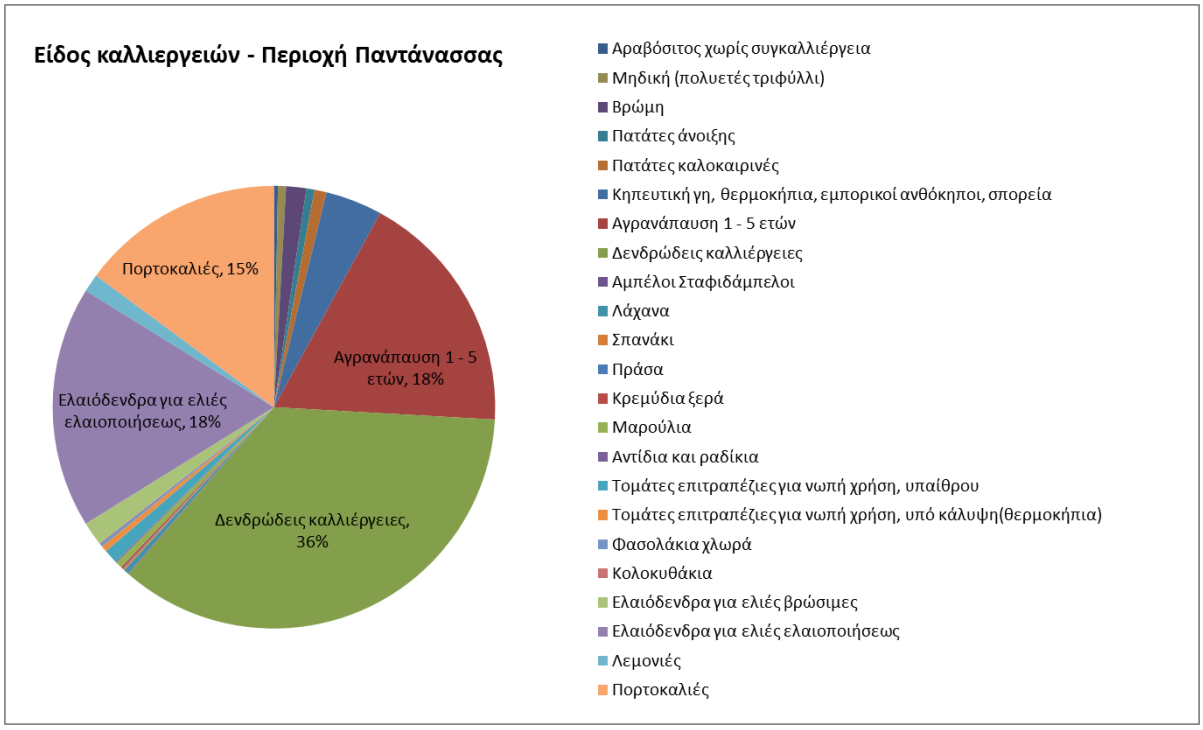
Σχήμα 3.2: Χαρτογραφικές ενότητες με τις χρήσεις γης του Συστήματος Αναγνώρισης Αγροτεμαχίων (LPIS) για την περιοχή μελέτης (Όρια ΤΟΕΒ Παραβόλας), 2013. Πηγή: Ο.Π.Ε.Κ.Ε.Π.Ε.

Στα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζονται τα ακριβή ποσοστά της κατανομής των καλλιεργειών για το έτος 2010 των δυο επιμέρους τμημάτων της περιοχής μελέτης , της περιοχής Παραβόλας και Παντάνασσας αντίστοιχα.



Σχήμα 3.3: Κατανομή καλλιεργειών έτους 2010 για το Τ. Δ. Παραβόλας νομού Αιτωλοακαρνανίας.

Πηγή: Ελληνική Στατιστική Αρχή (ΕΛ.ΣΤΑΤ), "Ετήσια Γεωργική Απογραφή".



Σχήμα 3.4: Κατανομή καλλιεργειών έτους 2010 για το Τ. Δ. Παντάνασσας νομού Αιτωλοακαρνανίας.

Πηγή: Ελληνική Στατιστική Αρχή (ΕΛ.ΣΤΑΤ), "Ετήσια Γεωργική Απογραφή".

3.2 Το δίκτυο - Τεχνικά χαρακτηριστικά του δικτύου

Όπως αναφέρθηκε για την εξυπηρέτηση των αρδεύσεων στην περιοχή κατασκευάστηκε στο παρελθόν πλήρες δίκτυο άρδευσης που αποτελείτο από ανοικτές διώρυγες και είχε σαν αφετηρία τη λίμνη. Το δίκτυο που λειτουργεί σήμερα είναι αποτέλεσμα μιας διαδικασίας αναμόρφωσης του αρχικού δικτύου ύστερα από μελέτη του Υπουργείου Γεωργίας η οποία προέβλεπε αντικατάσταση των ανοιχτών διωρύγων από κλειστούς υπόγειους αγωγούς υπό πίεση διατηρώντας παράλληλα τα αντλιοστάσια τροφοδότησής του. Η χάραξη του νέου δικτύου έγινε ως επί το πλείστον στα όρια των κτημάτων και συγκεκριμένα στους άξονες των διωρύγων που καταργήθηκαν.

Η διαχείριση του δικτύου ανήκει στις αρμοδιότητες του Τοπικού Οργανισμού Εγγείων Βελτιώσεων (Τ.Ο.Ε.Β. Παραβόλας) ενώ η συνολική ακαθάριστη έκτασή του φθάνει περίπου τα 11600στρ.

Αναπτύσσεται εντός των περιοχών Παραβόλας και Παντάνασσας οι οποίες διαιρούνται σε επιμέρους ζώνες.

Η περιοχή της Παραβόλας διαιρείται στις εξής ζώνες:

Ζώνη Α: Κάτω όριο της ζώνης είναι η όχθη της λίμνης (+18m) και άνω όριο το υψόμετρο +36m. Ανατολικό όριο της ζώνης είναι το ρέμα Μπουφόρεμα και δυτικό όριο το ρέμα Καινούργιου. Η ζώνη έχει ακαθάριστη έκταση 3180στρ και καθαρή 2900στρ. Από τη διαίρεση σε αρδευτικές μονάδες προέκυψε μέσο μέγεθος αρδευτικής μονάδας ίσο με 22.13στρ.

Ζώνη Β: Ευρίσκεται ακριβώς ανάντη της προηγούμενης και περικλείεται από τα υψόμετρα +36m και +54m. Η ζώνη έχει ακαθάριστη έκταση 1980 στρ και καθαρή 1800 στρ. Από τη διαίρεση σε αρδευτικές μονάδες προέκυψε μέσο μέγεθος αρδευτικής μονάδας ίσο με 24.66 στρ.

Ζώνη Γ: Ευρίσκεται ανάντη της προηγούμενης στο ανατολικό τμήμα της και περικλείεται από τα υψόμετρα +54m και +100m. Η ζώνη έχει ακαθάριστη έκταση 710στρ και καθαρή 650στρ. Από τη διαίρεση σε αρδευτικές μονάδες προέκυψε μέσο μέγεθος αρδευτικής μονάδας ίσο με 26στρ.

Ζώνη Δ: Ευρίσκεται ανάντη της ζώνης Β και καλύπτει το δυτικό τμήμα της και περικλείεται από τα υψόμετρα +54m και +102m. Η ζώνη έχει ακαθάριστη έκταση 1670στρ και καθαρή 1540στρ. Από τη διαίρεση σε αρδευτικές μονάδες προέκυψε μέσο μέγεθος αρδευτικής μονάδας ίσο με 26.55 στρ.

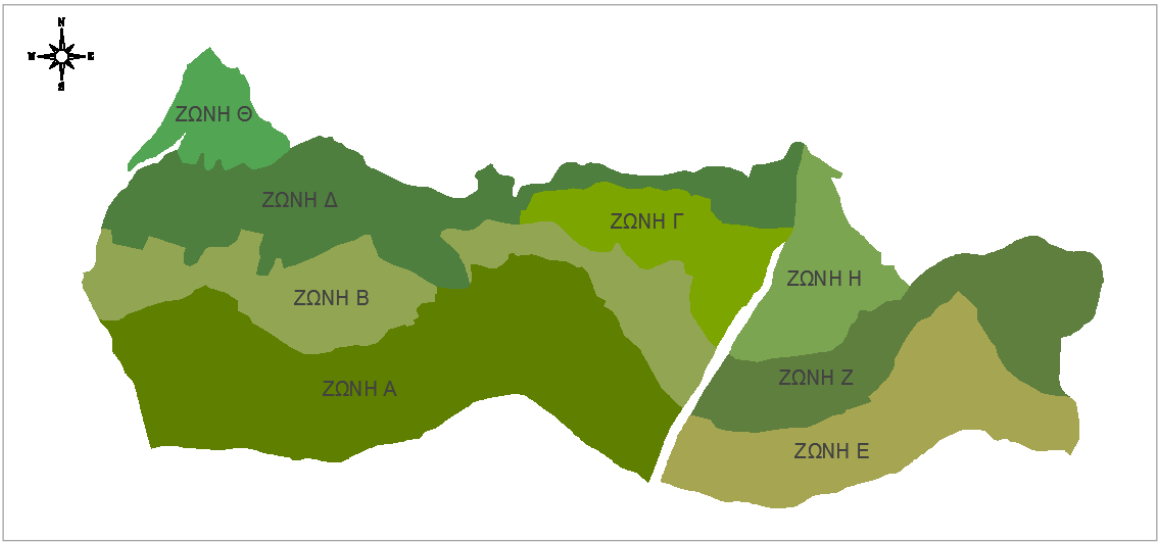
Ζώνη Θ: Ευρίσκεται στο ΒΔ ανάντη τμήμα της περιοχής και περικλείεται από τα υψόμετρα +120m και +160m. Η ζώνη έχει ακαθάριστη έκταση 420στρ και καθαρή 400στρ. Από τη διαίρεση σε αρδευτικές μονάδες προέκυψε μέσο μέγεθος αρδευτικής μονάδας ίσο με 25στρ.

Η περιοχή της Παντάνασσας διαιρείται στις εξής ζώνες:

Ζώνη Ε: Κάτω όριο της ζώνης είναι η όχθη της λίμνης (+18m) και άνω όριο το υψόμετρο +36m. Ανατολικό όριο της ζώνης είναι το ρέμα Κρανόρεμα και δυτικό όριο το ρέμα Μπουφόρεμα. Η ζώνη έχει ακαθάριστη έκταση 1530στρ και καθαρή 1450στρ. Από τη διαίρεση σε αρδευτικές μονάδες προέκυψε μέσο μέγεθος αρδευτικής μονάδας ίσο με 24.17στρ.

Ζώνη Ζ: Η ζώνη ευρίσκεται ακριβώς ανάντη της ζώνης Ε και ορίζεται από τις υψομετρικές καμπύλες +36m και +54m. Η ζώνη έχει ακαθάριστη έκταση 1370στρ και καθαρή 1300στρ. Από τη διαίρεση σε αρδευτικές μονάδες προέκυψε μέσο μέγεθος αρδευτικής μονάδας ίσο με 27.08στρ.

Ζώνη Η: Η ζώνη ευρίσκεται ακριβώς ανάντη της ζώνης Ζ και ορίζεται από τις υψομετρικές καμπύλες +54m και +130m. Η ζώνη έχει ακαθάριστη έκταση 740στρ και καθαρή 700στρ. Από τη διαίρεση σε αρδευτικές μονάδες προέκυψε μέσο μέγεθος αρδευτικής μονάδας ίσο με 24.67στρ.



Σχήμα 3.5: Ζώνες αρδευτικού δικτύου.

Το δίκτυο διανομής αποτελείται από σωλήνες PVC κλάσεως 12.5atm για διαμέτρους έως Φ400 και από χαλυβδοσωλήνες για μεγαλύτερες διαμέτρους. Ο συντελεστής απόλυτης ισοδύναμης τραχύτητας ισούται με K=0.1mm για τους PVC σωλήνες και με K=1mm για τους χαλυβδοσωλήνες. Οι σωλήνες είναι τοποθετημένοι σε όρυγμα με ελάχιστο βάθος επικάλυψης 1.00m και οι κατά μήκος κλίσεις των είναι για τα κατερχόμενα τμήματα 4.0‰ ενώ για τα ανερχόμενα 1.0‰. Η έδραση των σωλήνων είναι σε υπόστρωμα άμμου. Το δίκτυο είναι εξοπλισμένο με όλες τις

απαραίτητες συσκευές λειτουργίας και ασφάλειας. Συγκεκριμένα για τον έλεγχο της ροής κατά κλάδους είναι εγκατεστημένες σε κατάλληλες θέσεις δικλείδες διακοπής οι οποίες είναι τύπου συρτού για διαμέτρους μέχρι Φ350 ενώ για μεγαλύτερες διαμέτρους προβλέπονται τύπου πεταλούδας. Για την εξασφάλιση της δυνατότητας εκκένωσης του δικτύου έχει προβλεφθεί στα χαμηλά σημεία η εγκατάσταση συστήματος εκκένωσης (εκκενωτές) το οποίο αποτελείται από μια δικλείδα Φ100 με το άνοιγμα της οποίας αποχετεύεται σε παρακείμενη τάφρο το νερό της εκκένωσης. Για την αντιμετώπιση του εγκλωβισμένου αέρα στο δίκτυο έχουν εγκατασταθεί στα υψηλά σημεία του αερεξαγωγοί. Τέλος το δίκτυο είναι εξοπλισμένο με σύστημα αντιπληγματικών βαλβίδων τύπου Neyrtec οι θέσεις και ο τύπος των οποίων καθορίστηκε μετά από σχετικό υδραυλικό υπολογισμό. Οι υδροληψίες άρδευσης είναι ενός, δύο, τριών ή τεσσάρων στομίων. Η παροχή κάθε στομίου είναι 6L/s (21.6m^3/hr). Οι υδροληψίες είναι τύπου "Α" Schluberger και φέρουν περιοριστή παροχής και ρυθμιστή πίεσης. Κάθε υδροστόμιο εξυπηρετεί μια αρδευτική μονάδα.

Υδροληψία άρδευσης τύπου Α
DN 65 mm εξόδου 65mm

Υδροληψία άρδευσης τύπου Α2
DN 65 mm εξόδου 2 x DN 65mm

Εικόνα 3.1: Εγκατεστημένες υδροληψίες του δικτύου τύπου Schlumberger στην περιοχή μελέτης.

Η γενική διάταξη του δικτύου έχει ως εξής:

Παρά το ρέμα Μπουφόρεμα είναι διαμορφωμένη τάφρος υδροληψίας σε απόσταση 450m από τη λίμνη στο πέρας της οποίας είναι εγκατεστημένο το **αντλιοστάσιο Α1**. Το αντλιοστάσιο Α1 είναι το έργο κεφαλής της περιοχής Παραβόλας. Το αντλιοστάσιο αυτό αποτελεί την αφετηρία δύο αγωγών από τους οποίους ο ένας διαμέτρου Φ500 τροφοδοτεί απ' ευθείας το δίκτυο Α και ο δεύτερος διαμέτρου Φ600 τροφοδοτεί απ' ευθείας το δίκτυο Β και ταυτόχρονα προσάγει νερό προς το αντλιοστάσιο Α2. Από το αντλιοστάσιο αυτό εξέρχονται δύο αγωγοί εκ των οποίων ο

πρώτος διαμέτρου Φ280 (PVC) τροφοδοτεί το δίκτυο Γ και ο δεύτερος διαμέτρου Φ400 (PVC) το δίκτυο Δ. Ταυτόχρονα ο δεύτερος αγωγός προσάγει το νερό προς τον θάλαμο αναρροφήσεως του αντλιοστασίου Α3. Το αντλιοστάσιο αυτό είναι εγκατεστημένο σε υψόμετρο εδάφους +155m σε περιοχή στο ΒΔ άκρο της περιμέτρου της περιοχής Παραβόλας. Ο εξερχόμενος από αυτό καταθλιπτικός αγωγός διαμέτρου Φ280 (PVC) τροφοδοτεί το δίκτυο Θ. Οι ζώνες Ε,Ζ και Η της περιοχής Παντάνασσας εξυπηρετούνται από το αντλιοστάσιο Α4. Για την ακρίβεια το συγκεκριμένο αντλιοστάσιο τροφοδοτεί απευθείας και τα τρία δίκτυα Ε,Ζ και Η με τη βοήθεια των καταθλιπτικών αγωγών Φ300, 2 Φ300 και Φ350 που είναι όλοι χαλύβδινοι.

Εικόνα 3.2: Εγκαταστάσεις αντλιοστασίου Α1 στο τέλος της τάφρου υδροληψίας.

3.3 Μελέτη εφαρμογής

3.3.1 Εισαγωγή

Από τη συνολική έκταση του αρδευτικού δικτύου Παραβόλας επιλέχθηκε να γίνει ανάλυση της λειτουργίας του σε ένα μόνο τμήμα αυτού και συγκεκριμένα στο υποδίκτυο που αντιστοιχεί στη Ζώνη Α και λειτουργεί με τη βοήθεια του αντλιοστασίου Α1. Για τον σκοπό αυτό το υποδίκτυο, που στο εξής θα αναφέρεται ως εξεταζόμενο δίκτυο, αναπαραστάθηκε μέσω μαθηματικού ομοιώματος του λογισμικού COPAM ώστε τελικά να γίνει ανάλυσή του σε επίπεδο δικτύου και σε επίπεδο υδροστομίου.

3.3.2 Δεδομένα αρδευτικού δικτύου Α

Τα χαρακτηριστικά λειτουργίας του παραπάνω δικτύου παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.2.

Πίνακας 3.2: Χαρακτηριστικά λειτουργίας δικτύου

Σύστημα διανομής	Ελεύθερη ζήτηση
Θεωρητική ειδική συνεχής παροχή άρδευσης q_0	0,065 L/s/στρ
Απόδοση χρονικής χρησιμοποιήσεως (ανά 24ωρο) r	0.75
Μέση ειδική παροχή αρδεύσεως q'_0	0.087 L/s/στρ
Απαιτούμενο φορτίο πίεσης στο υδροστόμιο	35m
Παροχή Clément στην κεφαλή του δικτύου	306 L/s
Πιεζομετρικό φορτίο στην κεφαλή του δικτύου $Z_{κεφ}$	102,55m
Αριθμός εγκατεστημένων υδροστομίων R	129
Ονομαστική παροχή υδροστομίων d	6 L/s
Εξυπηρετούμενη από κάθε υδροστόμιο αρδευτική έκταση	22.13στρ
Πιθανότητα λειτουργίας κάθε υδροστομίου p	0.675
Ποιότητα λειτουργίας του δικτύου F(x)	95% , U(F(x))=1.645
Αθροιστική παροχή κεφαλής	774 L/s

Ένα ακόμη από τα βασικά χαρακτηριστικά του δικτύου είναι το μέγεθος που σχετίζεται με τις απώλειες φορτίου στους αγωγούς. Όπως αναφέρθηκε το λογισμικό COPAM για τον υπολογισμό των απωλειών φορτίου χρησιμοποιεί την Εξίσωση 2.24 (Lamaddalena and Sagardoy, 2000) με μοναδικό άγνωστο την παράμετρο γ.

Ο υπολογισμός των άγνωστων τιμών του συντελεστή γ για τα δυο υλικά των αγωγών έγινε μέσω μιας διαδικασίας trial and error. Πιο συγκεκριμένα, υπολογίστηκαν οι απώλειες φορτίου (για διάφορες διαμέτρους και παροχές) χρησιμοποιώντας αρχικά την εξίσωση Darcy-Weisbach,

$$\Delta h = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \qquad (3.1)$$

Όπου D: η εσωτερικής διάμετρος του αγωγού (m)

V: η ταχύτητα του νερού (m/s)

g: η επιτάχυνση του νερού (m/s^2)

f: ο συντελεστής τριβών[3]

και στη συνέχεια χρησιμοποιώντας την εξίσωση 2.24 μεταβάλλοντας κάθε φορά την τιμή της παραμέτρου γ. Οι τιμές του γ οι οποίες ελαχιστοποιούσαν τη διαφορά μεταξύ των υπολογισμένων τιμών των απωλειών από τις δυο εξισώσεις ήταν εκείνες που τελικά υιοθετήθηκαν ως χαρακτηριστικές των υλικών των αγωγών.

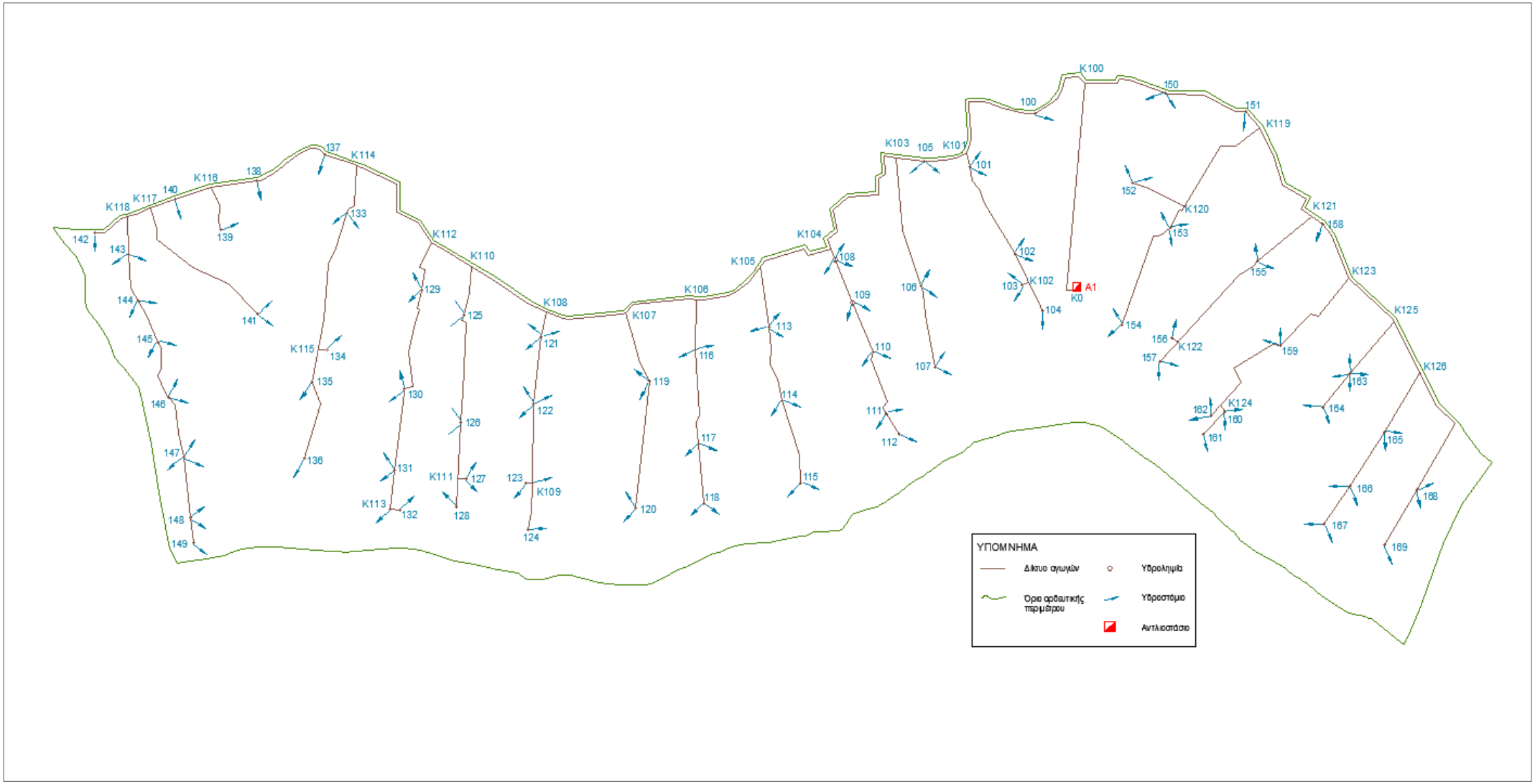
Οι υπολογισμοί που πραγματοποιήθηκαν παρατίθενται αναλυτικά στο Παράρτημα (Πίνακας 6) ενώ στον Πίνακα 3.3 δίνονται συνοπτικά οι τιμές του συντελεστή γ του Bazin που υπολογίστηκαν για διάφορες ονομαστικές διαμέτρους ND αγωγών για σωλήνες από χάλυβα και από PVC.

Πίνακας 3.3: Τιμές συντελεστή τραχύτητας γ του Bazin για διάφορες ονομαστικές διαμέτρους.

External Diameter (mm)	**Nominal Diameter (mm)**	**γ Bazin ($m^{0.5}$)**	**Υλικό Αγωγού**
512	500	0.18	Χ/Σ
400	353.6	0.07	PVC
355	311.8	0.07	PVC
315	278	0.07	PVC
280	247.2	0.07	PVC
225	198.6	0.07	PVC
200	176.4	0.07	PVC
160	141.2	0.07	PVC
140	123.6	0.07	PVC
110	97	0.07	PVC
90	79.4	0.07	PVC

[3] Ο συντελεστής τριβών f δίνεται από την ημιεμπειρική εξίσωση $f=1/(-2\log10(K/(3.7*D)+5.74/Re^{0.9}))^2$
όπου K: η ισοδύναμη απόλυτη τραχύτητα της εσωτερικής επιφάνειας του αγωγού (mm)

Στη συνέχεια δίνεται ένα σκαρίφημα του εν λόγω δικτύου όπου παρουσιάζεται η γενική του διάταξη ενώ στον πίνακα που ακολουθεί δίνονται συγκεντρωτικά στοιχεία όπως η αρχική αρίθμηση των αγωγών, το μήκος και η διάμετρός τους, το υψόμετρο εδάφους των κατάντη κόμβων τους και η παροχή.



Σχήμα 3.6: Σκαρίφημα αρδευτικού δικτύου Παραβόλας – Ζώνη Α. Γενική διάταξη.

Πίνακας 3.4: Χαρακτηριστικά αρδευτικού δικτύου Παραβόλας – Ζώνη Α.

Α/Α Αγωγού	Αγωγός	Ανάντη κόμβος	Κατάντη κόμβος	Μήκος (m)	Υψόμετρο εδάφους κατάντη κόμβου (m)	Διάμετρος DN (mm)	ΠΑΡΟΧΗ Q
1	K0-K100	K0	K100	585	36	500	306
2	K100-100	K100	100	200	38	500	222
3	100-K101	100	K101	320	40	500	222
4	K101-105	K101	105	120	38	500	210
5	105-K103	105	K103	75	38	500	198
6	K103-K104	K103	K104	410	37	500	198
7	K104-K105	K104	K105	215	37	400	168
8	K105-K106	K105	K106	210	37	355	168
9	K106-K107	K106	K107	195	36	355	138
10	K107-K108	K107	K108	210	35	355	138
11	K108-K110	K108	K110	240	35	355	114
12	K110-K112	K110	K112	125	35	355	114
13	K112-K114	K112	K114	320	35	355	78
14	K114-137	K114	137	90	36	355	78
15	137-138	137	138	210	35.8	315	72
16	138-K116	138	K116	125	36	315	66
17	K116-140	K116	140	105	36	315	60
18	140-K117	140	α	54.9	36	315	54
19		α	K117	15.1	36	280	54
20	K117-K118	K117	K118	70	36	280	48
21	K118-142	K118	142	100	36	110	6
22	K100-150	K100	150	225	35	315	108
23	150-151	150	151	230	38	315	108
24	151-K119	151	K119	55	38	315	108
25	K119-K121	K119	K121	310	36	280	84
26	K121-158	K121	158	35	36	280	84
27	158-K123	158	K123	165	36	280	84
28	K123-K125	K123	K125	165	37	225	48
29	K125-K126	K125	K126	165	36	225	48
30	K126-168	K126	168	380	36	140	18
31	168-169	168	169	170	23.5	90	6
32	K101-101	K101	101	30	34	200	42
33	101-102	101	102	270	26	160	30
34	102-K102	102	K102	85	24	140	18
35	K102-103	K102	103	20	24	110	12
36	K102-104	K102	104	85	21.8	90	6
37	K103-106	K103	106	355	28	160	24
38	106-107	106	107	220	24	110	12
39	K104-108	K104	108	20	36	225	60
40	108-109	108	109	140	31	200	42
41	109-110	109	110	140	27	160	30
42	110-111	110	111	180	23	140	18
43	111-112	111	112	65	22	90	6
44	K105-113	K105	113	170	33	200	42
45	113-114	113	114	200	28	160	24
46	114-115	114	115	230	22	110	12
47	K106-116	K106	116	135	33	200	36
48	116-117	116	117	260	27	160	24
49	117-118	117	118	165	23	110	12
50	K107-119	K107	119	195	31.5	160	24

Πίνακας 3.4 (Συνέχεια): Χαρακτηριστικά αρδευτικού δικτύου Παραβόλας – Ζώνη Α.

Α/Α Αγωγού	Αγωγός	Ανάντη κόμβος	Κατάντη κόμβος	Μήκος (m)	Υψόμετρο εδάφους κατάντη κόμβου (m)	Διάμετρος DN (mm)	ΠΑΡΟΧΗ Q
51	119-120	119	120	350	23	110	12
52	K108-121	K108	121	65	33	225	54
53	121-122	121	122	185	28	200	36
54	122-K109	122	K109	215	23.5	140	18
55	K109-123	K109	123	15	23	90	6
56	123-124	123	124	125	19.5	90	6
57	K110-125	K110	125	135	32	200	42
58	125-126	125	126	295	25.5	160	30
59	126-K111	126	K111	150	22	140	18
60	K111-127	K111	127	20	22	110	12
61	K111-128	K111	128	80	20	90	6
62	K112-129	K112	129	145	32	225	48
63	129-130	129	130	290	26	200	36
64	130-131	130	131	220	22	160	24
65	131-K113	131	K113	115	18	110	12
66	K113-132	K113	132	25	18	90	6
67	K114-133	K114	133	135	31.5	160	30
68	133-K115	133	K115	380	24	140	18
69	K115-β	K115	β	10.8	24	110	6
70	β-134	β	134	14.2	24	90	6
71	K115-135	K115	135	90	22.8	110	12
72	135-136	135	136	215	20	90	6
73	K116-139	K116	139	120	30	90	6
74	K117-141	K117	γ	90	25	140	12
75		γ	141	340	25	110	12
76	K118-143	K118	143	100	32.5	225	48
77	143-144	143	144	135	31	225	48
78	144-145	144	145	115	29	225	48
79	145-146	145	146	155	26.5	225	48
80	146-147	146	147	180	23.3	200	36
81	147-148	147	148	170	20.5	140	18
82	148-149	148	149	65	19.5	90	6
83	K119-K120	K119	K120	310	27.5	200	42
84	K120-152	K120	152	170	27.5	110	12
85	K120-153	K120	153	180	25.5	160	30
86	153-154	153	154	310	20	110	12
87	K121-155	K121	155	185	30	200	36
88	155-K122	155	K122	305	22	160	24
89	K122-156	K122	156	20	22	110	12
90	K122-157	K122	157	75	20	110	12
91	K123-159	K123	159	270	27.2	200	42
92	159-K124	159	K124	270	22.5	160	30
93	K124-160	K124	160	20	22.5	140	18
94	160-161	160	161	80	20	90	6
95	K124-162	K124	162	35	21	110	12
96	K125-163	K125	163	180	31.5	200	36
97	163-164	163	164	115	28	110	12
98	K126-165	K126	165	185	30.5	200	36
99	165-166	165	166	175	25.5	160	24
100	166-167	166	167	125	22	110	12

3.3.3 Δημιουργία input file

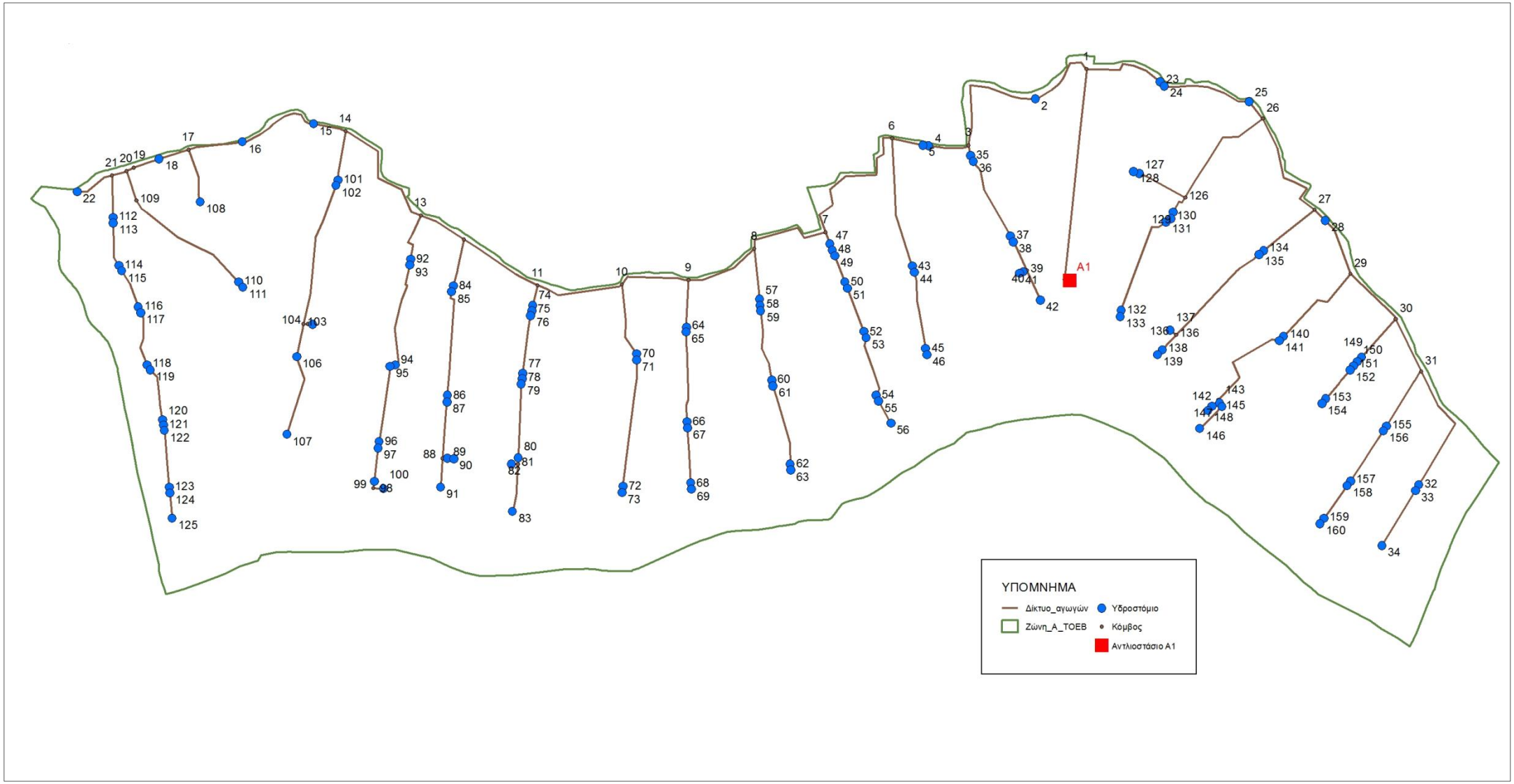
Ο υπολογισμός των παροχών στους αγωγούς του δικτύου όπως και κάθε άλλη δυνατότητα που προσφέρει το λογισμικό COPAM προϋποθέτει την δημιουργία input file και την εισαγωγή των δεδομένων του δικτύου σε αυτό.

Σύμφωνα με την ανάλυση που προηγήθηκε στο Κεφάλαιο 2 σχετικά με την προετοιμασία για τη δημιουργία των input files, πρώτο και σημαντικό βήμα της διαδικασίας αποτελεί η αρίθμηση του δικτύου με βάση τους κανόνες του λογισμικού. Ακολουθώντας τους κανόνες αυτούς προέκυψε η νέα αρίθμηση η οποία στο εξής θα είναι αντιπροσωπευτική του δικτύου.

Στο Σχήμα 3.7 δίνεται ένα σκαρίφημα του δικτύου με την νέα αρίθμηση.

Στη συνέχεια εισήχθησαν στα αντίστοιχα πεδία του προγράμματος όλα τα δεδομένα του δικτύου (παροχή υδροστομίων, χαρακτηριστικά αγωγών κλπ) με τον τρόπο περιγράφθηκε κατά την παρουσίαση του COPAM και τελικά προέκυψε το input file που παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.5.

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να επισημανθεί ο βαθμός σημαντικότητας της παραπάνω διαδικασίας καθώς η σωστή εισαγωγή των στοιχείων στο πρόγραμμα εξασφαλίζει όχι μόνο την αποφυγή εμφάνισης σφαλμάτων αλλά και την εξαγωγή ασφαλών αποτελεσμάτων που οδηγούν στην ορθή ανάλυση λειτουργίας του εξεταζόμενου δικτύου.



Σχήμα 3.7: Σκαρίφημα δικτύου με αρίθμηση κατά COPAM.

Πίνακας 3.5: Input file για το COPAM του δικτύου

Α/Α Αγωγού	Ανάντη κόμβος	Κατάντη κόμβος	Έκταση (ha)	Κωδικός παροχής υδροστομίου	Μήκος (m)	Υψόμετρο εδάφους κατάντη κόμβου (m)	Διάμετρος DN (mm)	Απαίτηση φορτίου κατάντη κόμβου (m)
1	0	1	0.00	0	585.00	36.00	500	35.00
2	1	2	2.21	1	200.00	38.00	500	35.00
3	2	3	0.00	0	320.00	40.00	500	35.00
4	3	4	2.21	1	119.00	38.00	500	35.00
5	4	5	2.21	1	1.00	38.00	500	35.00
6	5	6	0.00	0	75.00	38.00	500	35.00
7	6	7	0.00	0	410.00	37.00	500	35.00
8	7	8	0.00	0	215.00	37.00	400	35.00
9	8	9	0.00	0	210.00	37.00	355	35.00
10	9	10	0.00	0	195.00	36.00	355	35.00
11	10	11	0.00	0	210.00	35.00	355	35.00
12	11	12	0.00	0	240.00	35.00	355	35.00
13	12	13	0.00	0	125.00	35.00	355	35.00
14	13	14	0.00	0	320.00	35.00	355	35.00
15	14	15	2.21	1	90.00	36.00	355	35.00
16	15	16	2.21	1	210.00	35.80	315	35.00
17	16	17	0.00	0	125.00	36.00	315	35.00
18	17	18	2.21	1	105.00	36.00	315	35.00
19	18	19	0.00	0	54.90	36.00	315	35.00
20	19	20	0.00	0	15.10	36.00	280	35.00
21	20	21	0.00	0	70.00	36.00	280	35.00
22	21	22	2.21	1	100.00	36.00	110	35.00
23	1	23	2.21	1	224.00	35.00	315	35.00
24	23	24	2.21	1	1.00	35.00	315	35.00
25	24	25	2.21	1	230.00	38.00	315	35.00
26	25	26	0.00	0	55.00	38.00	315	35.00
27	26	27	0.00	0	310.00	36.00	280	35.00
28	27	28	2.21	1	35.00	36.00	280	35.00
29	28	29	0.00	0	165.00	36.00	280	35.00
30	29	30	0.00	0	165.00	37.00	225	35.00
31	30	31	0.00	0	165.00	36.00	225	35.00
32	31	32	2.21	1	379.00	28.50	140	35.00
33	32	33	2.21	1	1.00	28.50	140	35.00
34	33	34	2.21	1	170.00	23.50	90	35.00
35	3	35	2.21	1	29.00	34.00	200	35.00
36	35	36	2.21	1	1.00	34.00	200	35.00
37	36	37	2.21	1	269.00	26.00	160	35.00
38	37	38	2.21	1	1.00	26.00	160	35.00
39	38	39	0.00	0	85.00	24.00	140	35.00
40	39	40	2.21	1	19.00	24.00	110	35.00

Πίνακας 3.5 (Συνέχεια): Input file για το COPAM του δικτύου.

Α/Α Αγωγού	Ανάντη κόμβος	Κατάντη κόμβος	Έκταση (ha)	Κωδικός παροχής υδροστομίου	Μήκος (m)	Υψόμετρο εδάφους κατάντη κόμβου (m)	Διάμετρος DN (mm)	Απαίτηση φορτίου κατάντη κόμβου (m)
41	40	41	2.21	1	1.00	24.00	110	35.00
42	39	42	2.21	1	85.00	21.80	90	35.00
43	6	43	2.21	1	354.00	28.00	160	35.00
44	43	44	2.21	1	1.00	28.00	160	35.00
45	44	45	2.21	1	219.00	24.00	110	35.00
46	45	46	2.21	1	1.00	24.00	110	35.00
47	7	47	2.21	1	18.00	36.00	225	35.00
48	47	48	2.21	1	1.00	36.00	225	35.00
49	48	49	2.21	1	1.00	36.00	225	35.00
50	49	50	2.21	1	139.00	31.00	200	35.00
51	50	51	2.21	1	1.00	31.00	200	35.00
52	51	52	2.21	1	139.00	27.00	160	35.00
53	52	53	2.21	1	1.00	27.00	160	35.00
54	53	54	2.21	1	179.00	23.00	140	35.00
55	54	55	2.21	1	1.00	23.00	140	35.00
56	55	56	2.21	1	65.00	22.00	90	35.00
57	8	57	2.21	1	168.00	33.00	200	35.00
58	57	58	2.21	1	1.00	33.00	200	35.00
59	58	59	2.21	1	1.00	33.00	200	35.00
60	59	60	2.21	1	199.00	28.00	160	35.00
61	60	61	2.21	1	1.00	28.00	160	35.00
62	61	62	2.21	1	229.00	22.00	110	35.00
63	62	63	2.21	1	1.00	22.00	110	35.00
64	9	64	2.21	1	134.00	33.00	200	35.00
65	64	65	2.21	1	1.00	33.00	200	35.00
66	65	66	2.21	1	259.00	27.00	160	35.00
67	66	67	2.21	1	1.00	27.00	160	35.00
68	67	68	2.21	1	164.00	23.00	110	35.00
69	68	69	2.21	1	1.00	23.00	110	35.00
70	10	70	2.21	1	194.00	31.50	160	35.00
71	70	71	2.21	1	1.00	31.50	160	35.00
72	71	72	2.21	1	349.00	23.00	110	35.00
73	72	73	2.21	1	1.00	23.00	110	35.00
74	11	74	2.21	1	63.00	33.00	225	35.00
75	74	75	2.21	1	1.00	33.00	225	35.00
76	75	76	2.21	1	1.00	33.00	225	35.00
77	76	77	2.21	1	183.00	28.00	200	35.00
78	77	78	2.21	1	1.00	28.00	200	35.00
79	78	79	2.21	1	1.00	28.00	200	35.00
80	79	80	2.21	1	214.00	23.50	140	35.00
81	80	81	0.00	0	1.00	23.50	140	35.00

Πίνακας 3.5 (Συνέχεια): Input file για το COPAM του δικτύου.

Α/Α Αγωγού	Ανάντη κόμβος	Κατάντη κόμβος	Έκταση (ha)	Κωδικός παροχής υδροστομίου	Μήκος (m)	Υψόμετρο εδάφους κατάντη κόμβου (m)	Διάμετρος DN (mm)	Απαίτηση φορτίου κατάντη κόμβου (m)
82	81	82	2.21	1	15.00	23.00	90	35.00
83	81	83	2.21	1	125.00	19.50	90	35.00
84	12	84	2.21	1	134.00	32.00	200	35.00
85	84	85	2.21	1	1.00	32.00	200	35.00
86	85	86	2.21	1	294.00	25.50	160	35.00
87	86	87	2.21	1	1.00	25.50	160	35.00
88	87	88	0.00	0	150.00	22.00	140	35.00
89	88	89	2.21	1	19.00	22.00	110	35.00
90	89	90	2.21	1	1.00	22.00	110	35.00
91	88	91	2.21	1	80.00	20.00	90	35.00
92	13	92	2.21	1	144.00	32.00	225	35.00
93	92	93	2.21	1	1.00	32.00	225	35.00
94	93	94	2.21	1	289.00	26.00	200	35.00
95	94	95	2.21	1	1.00	26.00	200	35.00
96	95	96	2.21	1	219.00	22.00	160	35.00
97	96	97	2.21	1	1.00	22.00	160	35.00
98	97	98	2.21	1	114.00	18.00	110	35.00
99	98	99	0.00	0	1.00	18.00	110	35.00
100	99	100	2.21	1	25.00	18.00	90	35.00
101	14	101	2.21	1	134.00	31.50	160	35.00
102	101	102	2.21	1	1.00	31.50	160	35.00
103	102	103	0.00	0	380.00	24.00	140	35.00
104	103	104	0.00	0	10.80	24.00	110	35.00
105	104	105	2.21	1	14.20	24.00	90	35.00
106	103	106	2.21	1	90.00	22.80	110	35.00
107	106	107	2.21	1	215.00	20.00	90	35.00
108	17	108	2.21	1	120.00	30.00	90	35.00
109	20	109	0.00	0	90.00	25.00	140	35.00
110	109	110	2.21	1	339.00	25.00	110	35.00
111	110	111	2.21	1	1.00	25.00	110	35.00
112	21	112	2.21	1	99.00	32.50	225	35.00
113	112	113	2.21	1	1.00	32.50	225	35.00
114	113	114	2.21	1	134.00	31.00	225	35.00
115	114	115	2.21	1	1.00	31.00	225	35.00
116	115	116	2.21	1	114.00	29.00	225	35.00
117	116	117	2.21	1	1.00	29.00	225	35.00
118	117	118	2.21	1	154.00	26.50	225	35.00
119	118	119	2.21	1	1.00	26.50	225	35.00
120	119	120	2.21	1	168.00	23.30	200	35.00
121	120	121	2.21	1	1.00	23.30	200	35.00
122	121	122	2.21	1	1.00	23.30	200	35.00

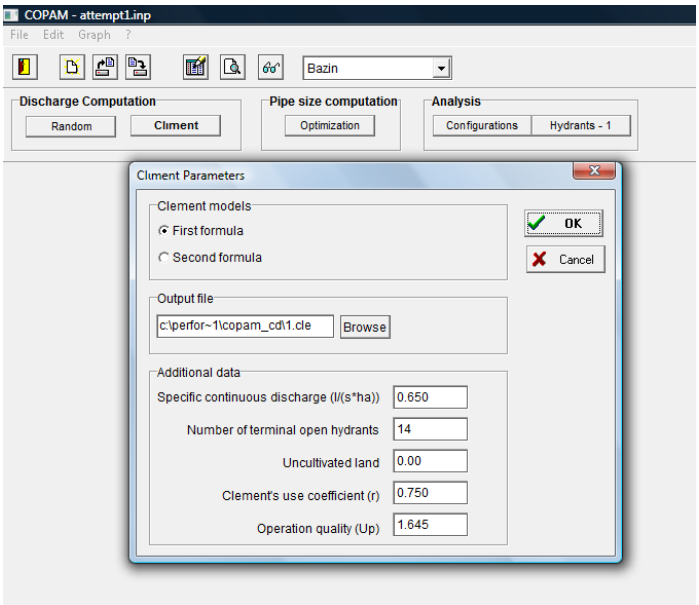
Πίνακας 3.5 (Συνέχεια): Input file για το COPAM του δικτύου.

Α/Α Αγωγού	Ανάντη κόμβος	Κατάντη κόμβος	Έκταση (ha)	Κωδικός παροχής υδροστομίου	Μήκος (m)	Υψόμετρο εδάφους κατάντη κόμβου (m)	Διάμετρος DN (mm)	Απαίτηση φορτίου κατάντη κόμβου (m)
123	122	123	2.21	1	169	20.5	140	35
124	123	124	2.21	1	1	20.5	140	35
125	124	125	2.21	1	65	19.5	90	35
126	26	126	0	0	310	27.5	200	35
127	126	127	2.21	1	169	27.5	110	35
128	127	128	2.21	1	1	27.5	100	35
129	126	129	2.21	1	178	25.5	160	35
130	129	130	2.21	1	1	25.5	160	35
131	130	131	2.21	1	1	25.5	160	35
132	131	132	2.21	1	309	20	110	35
133	132	133	2.21	1	1	20	110	35
134	27	134	2.21	1	184	30	200	35
135	134	135	2.21	1	1	30	200	35
136	135	136	0	0	305	22	160	35
137	136	137	2.21	1	20	22	110	35
138	136	138	2.21	1	74	20	110	35
139	138	139	2.21	1	1	20	110	35
140	29	140	2.21	1	269	27.2	200	35
141	140	141	2.21	1	1	27.2	200	35
142	141	142	0	0	270	22.5	160	35
143	142	143	2.21	1	18	22.5	140	35
144	143	144	2.21	1	1	22.5	140	35
145	144	145	0	0	1	22.5	140	35
146	145	146	2.21	1	80	20	90	35
147	142	147	2.21	1	34	21	110	35
148	147	148	2.21	1	1	21	110	35
149	30	149	2.21	1	177	31.5	200	35
150	149	150	2.21	1	1	31.5	200	35
151	150	151	2.21	1	1	31.5	200	35
152	151	152	2.21	1	1	31.5	200	35
153	152	153	2.21	1	114	28	110	35
154	153	154	2.21	1	1	28	110	35
155	31	155	2.21	1	184	30.5	200	35
156	155	156	2.21	1	1	30.5	200	35
157	156	157	2.21	1	174	25.5	160	35
158	157	158	2.21	1	1	25.5	160	35
159	158	159	2.21	1	124	22	110	35
160	159	160	2.21	1	1	22	110	35

3.3.4 Υπολογισμός παροχών

Σύμφωνα με την μελέτη αναμόρφωσης του εξεταζόμενου δικτύου, ο υπολογισμός των παροχών του έγινε για ελεύθερη ζήτηση με εφαρμογή του τύπου του Clément με την παραδοχή ότι η παροχή υπολογίζεται αθροιστικά για τα 14 ακραία υδροστόμια κάθε κλάδου. Οι παροχές αυτές (Πίνακας 3.4) είναι οι παροχές που χρησιμοποιήθηκαν τελικά για την διαστασιολόγηση του δικτύου.

Πριν την διεξαγωγή της ανάλυσης της λειτουργίας του δικτύου, προσδιορίστηκαν ξανά οι παροχές εντός των αγωγών του με εφαρμογή του μοντέλου Clément (Clément Model) που παρέχει το λογισμικό πακέτο COPAM, εισάγοντας τα απαραίτητα δεδομένα και επιλέγοντας να γίνουν οι υπολογισμοί με βάση τον πρώτο νόμο του Clément.



Εικόνα 3.3: Δεδομένα εισόδου στο μοντέλο υπολογισμού παροχών του Clément (Clément Model).

Το αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας αποτέλεσε το πρώτο μέτρο ελέγχου της ορθής εισαγωγής των δεδομένων του δικτύου για τη δημιουργία του προσομοιώματός του. Στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 3.6) δίνονται οι παροχές που προέκυψαν για κάθε τμήμα του υπό μελέτη δικτύου, με την αρίθμηση των κόμβων να είναι κατά COPAM αυτή τη φορά.

Η πρώτη γενική εικόνα καταδεικνύει μια πολύ καλή συσχέτιση μεταξύ των εξαγόμενων τιμών παροχής από το μοντέλο και εκείνων του υπάρχοντος δικτύου. Χαρακτηριστική είναι η πολύ μικρή διαφορά μεταξύ των δυο τιμών της παροχής στην κεφαλή του δικτύου. Το δίκτυο έχει σχεδιαστεί και λειτουργεί για παροχή αιχμής $Q_{Clém}$= 306L/s ενώ η αντίστοιχη τιμή που δίνει το χρησιμοποιούμενο μοντέλο ισούται με 300L/s.

Πίνακας 3.6: Παροχές σε κάθε τμήμα του υπό μελέτη δικτύου (output file of the Copam package)

Υπολογισμός με τον τύπο του Clément.

Section Number	Initial Node	Final Node	Number of Hydrants	Area (ha)	1st Clément discharge (L/s)
1	0	1	**129**	285.09	**300.00**
2	1	2	91	201.11	222.00
3	2	3	90	198.90	216.00
4	3	4	83	183.43	204.00
5	4	5	82	181.22	204.00
6	5	6	81	179.01	198.00
7	6	7	77	170.17	192.00
8	7	8	67	148.07	168.00
9	8	9	60	132.60	150.00
10	9	10	54	119.34	138.00
11	10	11	50	110.50	132.00
12	11	12	41	90.61	108.00
13	12	13	34	75.14	96.00
14	13	14	26	57.46	84.00
15	14	15	21	46.41	84.00
16	15	16	20	44.20	84.00
17	16	17	19	41.99	84.00
18	17	18	18	39.78	84.00
19	18	19	17	37.57	84.00
20	19	20	17	37.57	84.00
21	20	21	15	33.15	84.00
22	21	22	1	2.21	6.00
23	1	23	38	83.98	102.00
24	23	24	37	81.77	102.00
25	24	25	36	79.56	96.00
26	25	26	35	77.35	96.00
27	26	27	28	61.88	84.00
28	27	28	23	50.83	84.00
29	28	29	22	48.62	84.00
30	29	30	15	33.15	84.00
31	30	31	9	19.89	54.00
32	31	32	3	6.63	18.00
33	32	33	2	4.42	12.00
34	33	34	1	2.21	6.00
35	3	35	7	15.47	42.00
36	35	36	6	13.26	36.00
37	36	37	5	11.05	30.00
38	37	38	4	8.84	24.00
39	38	39	3	6.63	18.00
40	39	40	2	4.42	12.00
41	40	41	1	2.21	6.00
42	39	42	1	2.21	6.00
43	6	43	4	8.84	24.00
44	43	44	3	6.63	18.00
45	44	45	2	4.42	12.00
46	45	46	1	2.21	6.00
47	7	47	10	22.10	60.00
48	47	48	9	19.89	54.00
49	48	49	8	17.68	48.00
50	49	50	7	15.47	42.00
51	50	51	6	13.26	36.00
52	51	52	5	11.05	30.00
53	52	53	4	8.84	24.00
54	53	54	3	6.63	18.00

Πίνακας 3.6 (Συνέχεια): Παροχές σε κάθε τμήμα του υπό μελέτη δικτύου (output file of the Copam package)

Υπολογισμός με τον τύπο του Clément.

Section Number	Initial Node	Final Node	Number of Hydrants	Area (ha)	1st Clément discharge (L/s)
55	54	55	2	4.42	12.00
56	55	56	1	2.21	6.00
57	8	57	7	15.47	42.00
58	57	58	6	13.26	36.00
59	58	59	5	11.05	30.00
60	59	60	4	8.84	24.00
61	60	61	3	6.63	18.00
62	61	62	2	4.42	12.00
63	62	63	1	2.21	6.00
64	9	64	6	13.26	36.00
65	64	65	5	11.05	30.00
66	65	66	4	8.84	24.00
67	66	67	3	6.63	18.00
68	67	68	2	4.42	12.00
69	68	69	1	2.21	6.00
70	10	70	4	8.84	24.00
71	70	71	3	6.63	18.00
72	71	72	2	4.42	12.00
73	72	73	1	2.21	6.00
74	11	74	9	19.89	54.00
75	74	75	8	17.68	48.00
76	75	76	7	15.47	42.00
77	76	77	6	13.26	36.00
78	77	78	5	11.05	30.00
79	78	79	4	8.84	24.00
80	79	80	3	6.63	18.00
81	80	81	2	4.42	12.00
82	81	82	1	2.21	6.00
83	81	83	1	2.21	6.00
84	12	84	7	15.47	42.00
85	84	85	6	13.26	36.00
86	85	86	5	11.05	30.00
87	86	87	4	8.84	24.00
88	87	88	3	6.63	18.00
89	88	89	2	4.42	12.00
90	89	90	1	2.21	6.00
91	88	91	1	2.21	6.00
92	13	92	8	17.68	48.00
93	92	93	7	15.47	42.00
94	93	94	6	13.26	36.00
95	94	95	5	11.05	30.00
96	95	96	4	8.84	24.00
97	96	97	3	6.63	18.00
98	97	98	2	4.42	12.00
99	98	99	1	2.21	6.00
100	99	100	1	2.21	6.00
101	14	101	5	11.05	30.00
102	101	102	4	8.84	24.00
103	102	103	3	6.63	18.00
104	103	104	1	2.21	6.00
105	104	105	1	2.21	6.00
106	103	106	2	4.42	12.00
107	106	107	1	2.21	6.00
108	17	108	1	2.21	6.00
109	20	109	2	4.42	12.00
110	109	110	2	4.42	12.00

Πίνακας 3.6 (Συνέχεια): Παροχές σε κάθε τμήμα του υπό μελέτη δικτύου (output file of the Copam package)

Υπολογισμός με τον τύπο του Clément.

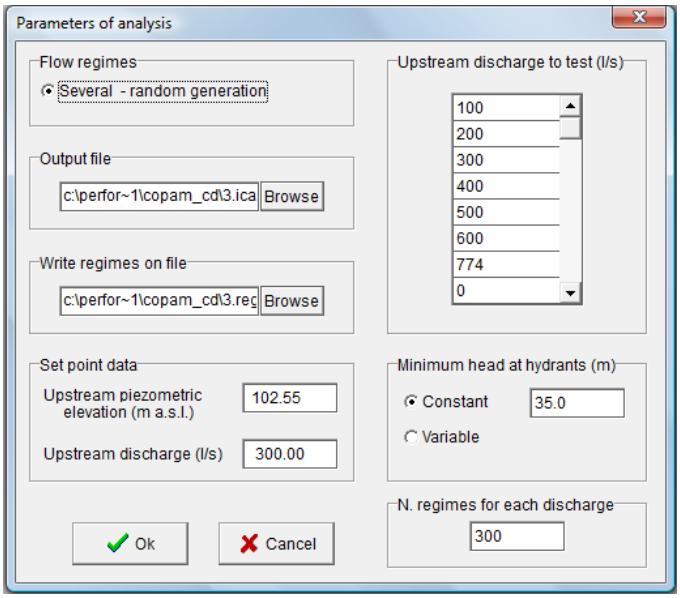
Section Number	Initial Node	Final Node	Number of Hydrants	Area (ha)	1st Clément discharge (L/s)
111	110	111	1	2.21	6.00
112	21	112	14	30.94	84.00
113	112	113	13	28.73	78.00
114	113	114	12	26.52	72.00
115	114	115	11	24.31	66.00
116	115	116	10	22.10	60.00
117	116	117	9	19.89	54.00
118	117	118	8	17.68	48.00
119	118	119	7	15.47	42.00
120	119	120	6	13.26	36.00
121	120	121	5	11.05	30.00
122	121	122	4	8.84	24.00
123	122	123	3	6.63	18.00
124	123	124	2	4.42	12.00
125	124	125	1	2.21	6.00
126	26	126	7	15.47	42.00
127	126	127	2	4.42	12.00
128	127	128	1	2.21	6.00
129	126	129	5	11.05	30.00
130	129	130	4	8.84	24.00
131	130	131	3	6.63	18.00
132	131	132	2	4.42	12.00
133	132	133	1	2.21	6.00
134	27	134	5	11.05	30.00
135	134	135	4	8.84	24.00
136	135	136	3	6.63	18.00
137	136	137	1	2.21	6.00
138	136	138	2	4.42	12.00
139	138	139	1	2.21	6.00
140	29	140	7	15.47	42.00
141	140	141	6	13.26	36.00
142	141	142	5	11.05	30.00
143	142	143	3	6.63	18.00
144	143	144	2	4.42	12.00
145	144	145	1	2.21	6.00
146	145	146	1	2.21	6.00
147	142	147	2	4.42	12.00
148	147	148	1	2.21	6.00
149	30	149	6	13.26	36.00
150	149	150	5	11.05	30.00
151	150	151	4	8.84	24.00
152	151	152	3	6.63	18.00
153	152	153	2	4.42	12.00
154	153	154	1	2.21	6.00
155	31	155	6	13.26	36.00
156	155	156	5	11.05	30.00
157	156	157	4	8.84	24.00
158	157	158	3	6.63	18.00
159	158	159	2	4.42	12.00
160	159	160	1	2.21	6.00

3.3.5 Ανάλυση της λειτουργίας σε επίπεδο δικτύου

Για την εκτίμηση της γενικής λειτουργικής κατάστασης του δικτύου υπολογίστηκαν μέσω προσομοίωσης για διάφορες τιμές παροχής στην κεφαλή (100, 200, 300, 400, 500, 600, 774[4] L/s) οι χαρακτηριστικές καμπύλες με δείκτες. Το πλήθος των προσομοιώσεων για κάθε εξεταζόμενη παροχή επιλέχθηκε να είναι N=300, σύνολο 2100, αριθμό ικανό για να προσομοιώσει την υδραυλική λειτουργία του δικτύου ενώ παράλληλα υπακούει στον περιορισμό του λογισμικού σύμφωνα με τον οποίο ο αριθμός των προσομοιώσεων που επιλέγεται πρέπει να είναι πολλαπλάσιος του 10.

Στον περιβάλλον του COPAM, επιλέχθηκε να γίνει ανάλυση μέσω του μοντέλου χαρακτηριστικών καμπυλών (Characteristic curves Model).

Στο σχήμα που ακολουθεί δίνονται οι τιμές των παραμέτρων του μοντέλου που εισήχθησαν στο πρόγραμμα για την δημιουργία των προσομοιώσεων, την εκτέλεση της στατιστικής ανάλυσης των σημείων (Q_r, Z_r) και τελικώς τη δημιουργία των χαρακτηριστικών καμπυλών.



Εικόνα 3.4: Δεδομένα εισόδου στο μοντέλο χαρακτηριστικών καμπυλών (Characteristic curves Model).

Όπως παρατηρούμε, μια από τις παραμέτρους αφορά στο σημείο λειτουργίας του δικτύου (set point) και αντιστοιχεί στην παροχή σχεδιασμού Clément στην κεφαλή (300L/s) και το αντίστοιχο πιεζομετρικό φορτίο (102,55m). Δίνονται ακόμη η ελάχιστη πίεση υδροληψίας (35m), το πλήθος των προσομοιώσεων (N=300) και οι διάφορες τιμές παροχής στην κεφαλή

[4] Η τιμή αυτή της παροχής αντιστοιχεί στην αθροιστική παροχή των 129 υδροστομίων

για τις οποίες θα υπολογιστεί η κατανομή των αναγκαίων φορτίων για να λειτουργήσουν ικανοποιητικά οι συνδυασμοί ανοικτών υδροστομίων που προκαλούν παροχή στην κεφαλή ίση με καθεμία από αυτές.

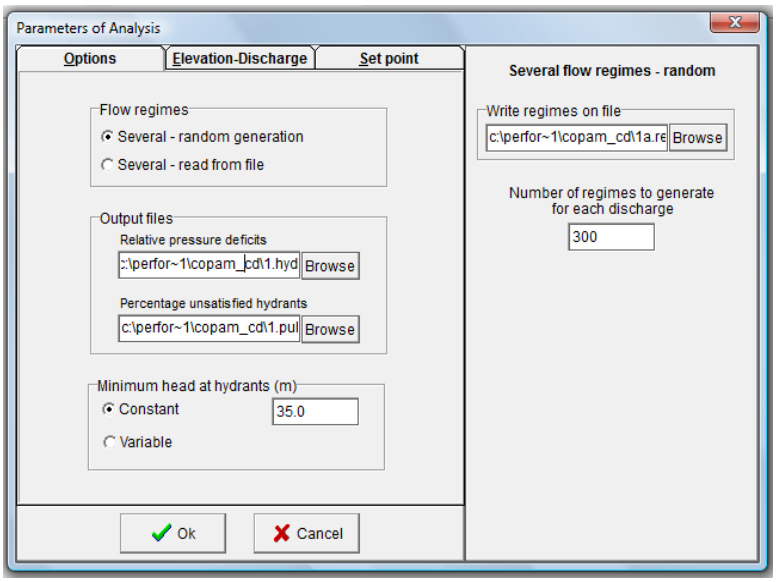
Αντίστοιχα θα μπορούν να υπολογιστούν τα φορτία που επιτρέπουν να υπάρχει ικανοποίηση στο 75%, 90% κλπ των συνδυασμών ανοικτών υδροστομίων που καλούν παροχή ίση με τις εξεταζόμενες.

3.3.6 Ανάλυση της λειτουργίας σε επίπεδο υδροστομίου

Όπως έχει ήδη αναφερθεί οι χαρακτηριστικές καμπύλες με δείκτες δημιουργούνται ακολουθώντας την αρχή ότι ένας συνδυασμός θεωρείται ανεπιτυχής ακόμη και όταν ένα μόνο από τα υδροστόμια του έχει φορτίο μικρότερο από το ελάχιστο απαιτούμενο. Συνεπώς, το μοντέλο των χαρακτηριστικών καμπυλών με δείκτες δεν παρέχει αρκετές πληροφορίες για την τοπική υδραυλική συμπεριφορά του δικτύου.

Για μια πιο ενδελεχή εικόνα της λειτουργίας του δικτύου, ελέγχοντας τη συμπεριφορά του κάθε υδροστομίου αυτή τη φορά, χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο AKLA του COPAM (Akla Model). Με το μοντέλο αυτό εκτιμήθηκε μέσω προσομοίωσης η σχετική περίσσεια-έλλειμμα φορτίου και ο δείκτης αξιοπιστίας σε κάθε υδροστόμιο.

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζονται τα πεδία εισαγωγής των τιμών των παραμέτρων του μοντέλου.



Εικόνα 3.5: Δεδομένα εισόδου στο μοντέλο AKLA (Akla Model).

Το ελάχιστο φορτίο στην υδροληψία, ο αριθμός των προσομοιώσεων και το σημείο λειτουργίας ($Q_{Clément}$, $Z_{κεφ}$) συνιστούν τις βασικές παραμέτρους της ανάλυσης σε επίπεδο υδροστομίου για τις οποίες δόθηκαν οι τιμές που εμφανίζονται στο παραπάνω σχήμα ενώ μεταξύ των δυο επιλογών για τον τρόπο με τον οποίο το λογισμικό μέσω μιας εσωτερικής διαδικασίας δημιουργεί τα διάφορα «καθεστώτα ροής», επιλέχθηκε η παραγωγή τυχαίων αριθμών που ακολουθούν κανονική κατανομή.

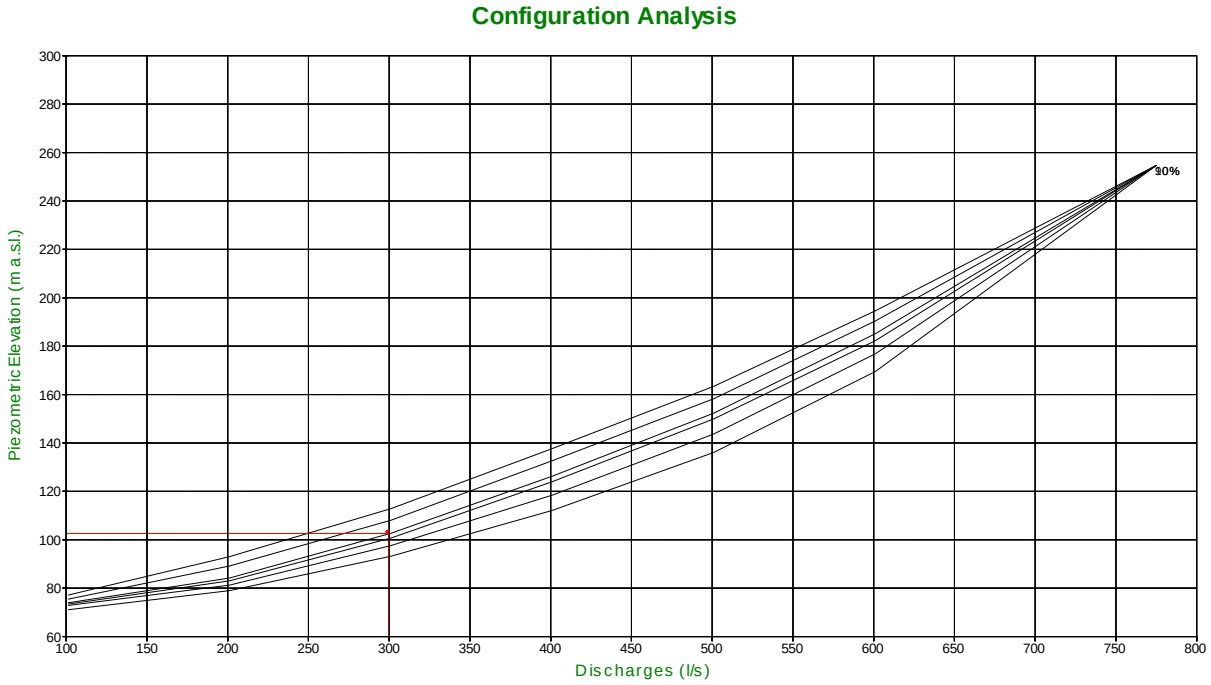
Τα παράγωγα διαγράμματα αυτού του μοντέλου όπως θα δούμε και στη συνέχεια θα μας επιτρέψουν την ανάλυση του φορτίου σε κάθε υδροστόμιο υπό διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας.

3.3.7 Παρουσίαση των αποτελεσμάτων

Οι χαρακτηριστικές καμπύλες του δικτύου που προέκυψαν παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 3.6).

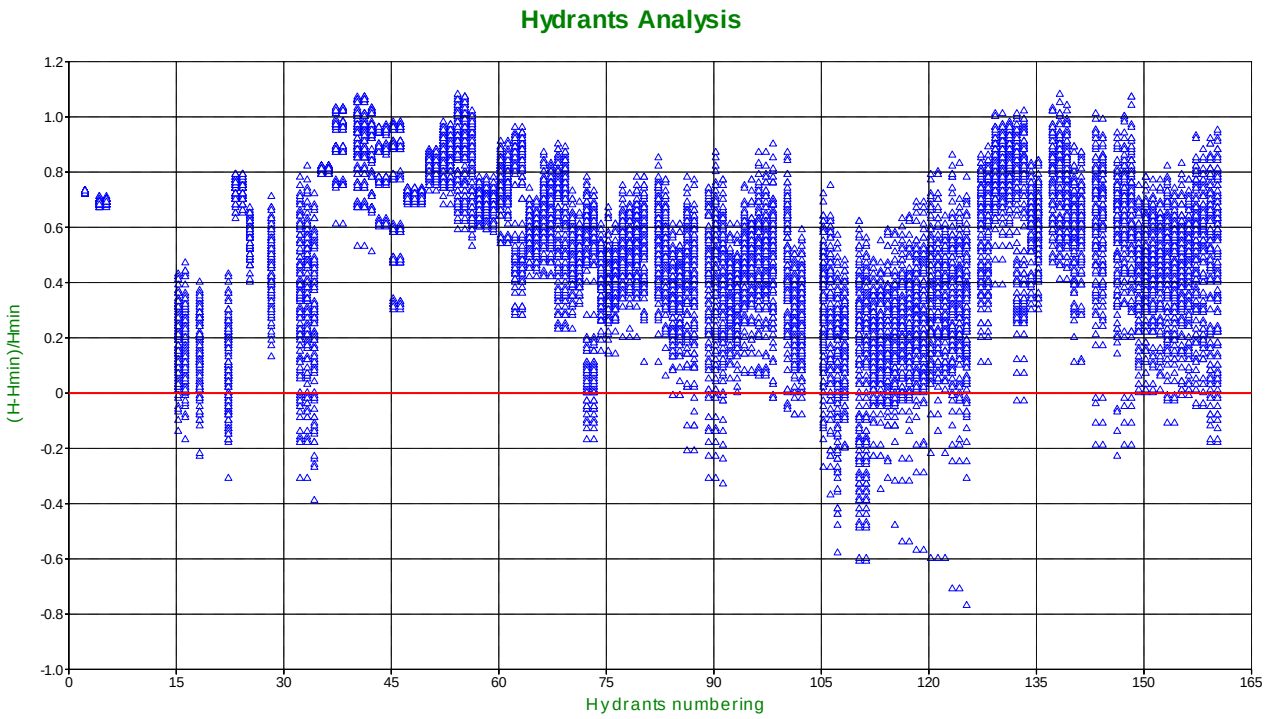
Παρατηρούμε ότι το σημείο λειτουργίας (set point) του δικτύου , που αντιστοιχεί σε παροχή Clément Q=300L/s και φορτίο πίεσης κεφαλής $Z_{κεφ}$=102,55m, βρίσκεται ανάμεσα στις χαρακτηριστικές καμπύλες με ποσοστά 50% και 60%. Αυτό δηλώνει ότι το 50-60% των εξεταζόμενων συνδυασμών ανοικτών υδροστομίων ικανοποιείται πλήρως ενώ το υπόλοιπο 40-50% αντιπροσωπεύει τους συνδυασμούς εκείνους που περιλαμβάνουν υδροστόμια με έλλειμμα στο πιεζομετρικό φορτίο.

Τα ποσοστά αυτά καταδεικνύουν μια πολύ καλή λειτουργική κατάσταση του δικτύου δεδομένου ότι σε δίκτυα που έχουν σχεδιαστεί σύμφωνα με τη μέθοδο Clément και Labye το σημείο λειτουργίας ($Q_{Clément}$, $Z_{κεφ}$) αναμένεται να βρίσκεται κοντά στη χαρακτηριστική 50% (Tiercelin, 2006).

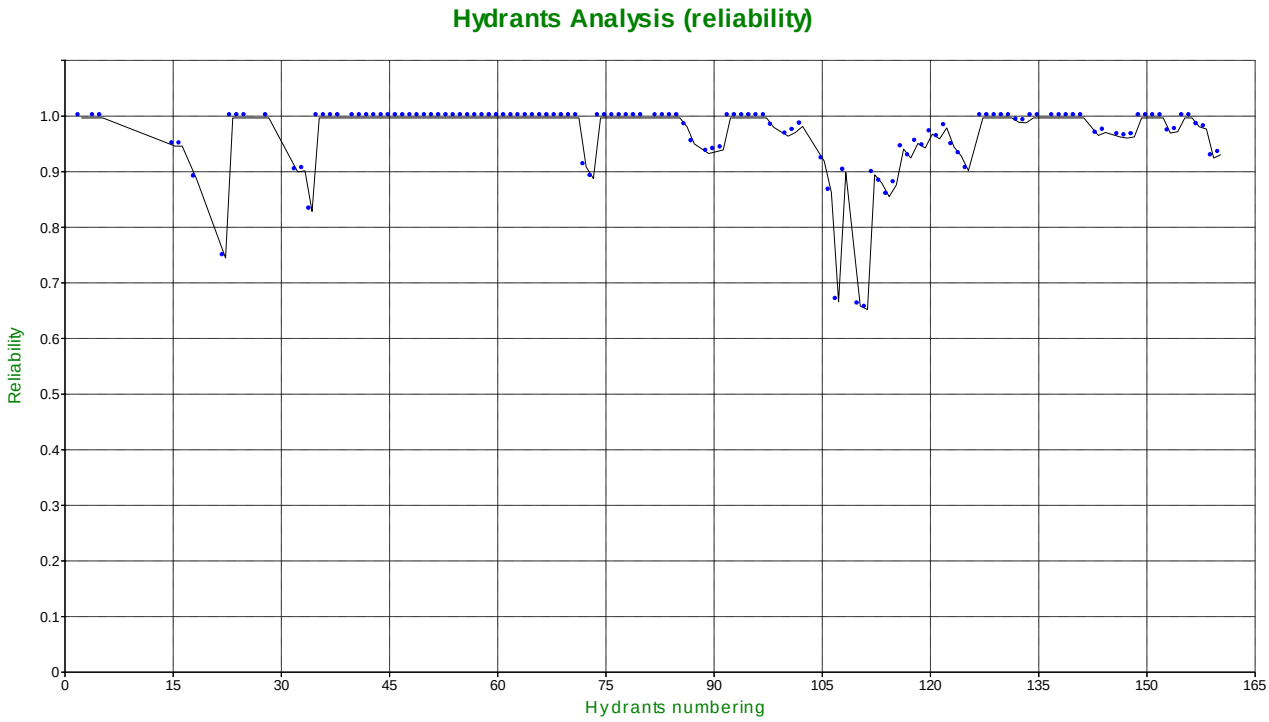


Σχήμα 3.8: Χαρακτηριστικές καμπύλες με δείκτες C_{10}, C_{30}, C_{50}, C_{60}, C_{80}, C_{90} και σημείο λειτουργίας "set point" ($Q_{Clément}$ =300L/s, $Z_{κεφ}$= 102,55m)

Μια πληρέστερη όμως εικόνα της λειτουργίας του δικτύου ελήφθη μέσω της ανάλυσης σε επίπεδο υδροστομίου και πιο συγκεκριμένα μέσω των παραγόμενων διαγραμμάτων περίσσειας – ελλείμματος φορτίου (Σχήμα 3.7) και δείκτη αξιοπιστίας (Σχήμα 3.8).



Σχήμα 3.9: Περίσσεια-έλλειμμα φορτίου των υδροστομίων (για συνθήκες λειτουργίας $Q_{Clément}$=300L/s, $Z_{κεφ}$=102,55m)



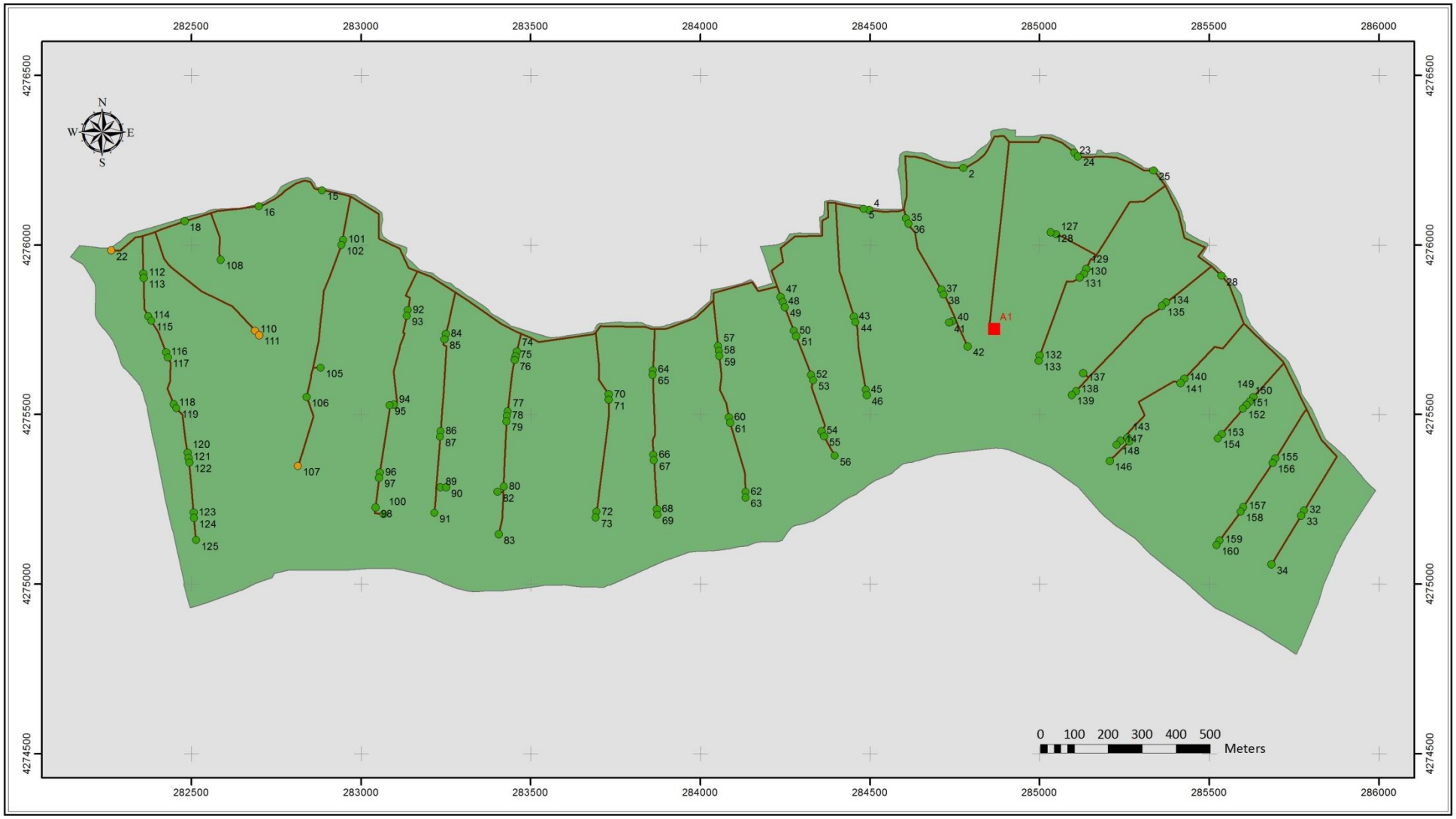
Σχήμα 3.10: Δείκτης αξιοπιστίας του κάθε υδροστομίου (για συνθήκες λειτουργίας $Q_{Clément}$ = 300L/s, $Z_{κεφ}$= 102,55m).

Από την ανάλυση των παραπάνω σχημάτων προκύπτει ότι για το σύνολο των εξεταζόμενων συνδυασμών, οι ζώνες που είναι περισσότερο υποκείμενες σε αποτυχία αντιστοιχούν στα υδροστόμια που αριθμούν από 105 σε 125, 15-22 και 31-34. Οι δυο τελευταίες ζώνες υδροστομίων βρίσκονται στα άκρα του δικτύου γεγονός που δικαιολογεί και το πιθανό έλλειμμα φορτίου.

Όπως ήταν αναμενόμενο το διάγραμμα του δείκτη αξιοπιστίας των υδροστομίων (Σχήμα 3.8) έρχεται σε συμφωνία με το αντίστοιχο της περίσσειας- ελλείμματος. Τα υδροστόμια των παραπάνω περιοχών έχουν δείκτη αξιοπιστίας κοντά στο 0.7 ή και ακόμη μικρότερο.

Η πιο "κρίσιμη" όμως ζώνη του δικτύου είναι αυτή που αντιστοιχεί στα υδροστόμια με αρίθμηση από 105 σε 115. Το μέγιστο σχετικό έλλειμμα πίεσης που εμφανίζουν είναι κοντά στο ΔΗ=-0.6, το οποίο αξιολογείται ως μικρό για να δημιουργήσει σοβαρά προβλήματα λειτουργίας στα υδροστόμια.

Όπως διαπιστώνουμε, τα παραπάνω διαγράμματα μας επέτρεψαν να προσδιορίσουμε όχι μόνο το ποσοστό των συνδυασμών ανοιχτών υδροστομίων που δεν ικανοποιούνται, όπως στην περίπτωση των χαρακτηριστικών καμπυλών, αλλά επίσης το που αυτά τα υδροστόμια είναι τοποθετημένα και το μέγεθος του ελλείμματος πίεσης που εμφανίζουν.



ΤΜΗΜΑ ΤΟΕΒ ΠΑΡΑΒΟΛΑΣ - ΖΩΝΗ Α
ΓΕΝΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΔΙΚΤΥΟΥ
ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΥΔΡΟΣΤΟΜΙΩΝ

Μηδενικό Σενάριο Λειτουργίας

ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ: ΕΓΣΑ '87

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

- Αντλιοστάσιο Α1
- Δίκτυο_αγωγών
- Ζώνη_Α_ΤΟΕΒ

Υδροστόμια_COPAM
Reliability_Indicator
- 0.5 - 0.8
- 0.8 - 1.0

Χάρτης 1: Έλεγχος αξιοπιστίας υδροστομίων – Μηδενικό σενάριο λειτουργίας.

4. Ανάλυση ευαισθησίας του μοντέλου προσομοίωσης της λειτουργίας του δικτύου.

4.1 Εισαγωγή

Στα πλαίσια της ανάλυσης της λειτουργίας ενός υπό πίεση δικτύου άρδευσης με τη χρήση κάποιου μοντέλου, θεωρείται υψηλής σημασίας να διερευνηθεί και να ληφθεί υπόψη η επίδραση των παραμέτρων που εισέρχονται σε αυτό και γενικότερα των υποθέσεων που γίνονται για τα διάφορα μεγέθη του συστήματος τα οποία εκφράζονται μέσω αυτών των παραμέτρων.

Η ανάγκη αυτή μπορεί να καλυφθεί με την πραγματοποίηση μιας ανάλυσης ευαισθησίας του χρησιμοποιούμενου μοντέλου, μιας ανάλυσης δηλαδή που θα μας επιτρέψει να μελετήσουμε τις συνέπειες που υφίστανται τα αποτελέσματα του μοντέλου ως συνέπεια των αλλαγών στις τιμές των παραμέτρων του.

Για το σκοπό αυτό πραγματοποιήθηκε ανάλυση ευαισθησίας του μοντέλου προσομοίωσης του εξεταζόμενου δικτύου χρησιμοποιώντας δυο βασικές παραμέτρους αυτού, τον συντελεστή τραχύτητας γ του Bazin και την ειδική συνεχή παροχή q_0.

Η επιλογή της παραμέτρου της τραχύτητας έγινε γιατί αποτελεί την παράμετρο που εμπεριέχει την μεγαλύτερη αβεβαιότητα στον προσδιορισμό της καθώς για ένα υπάρχον δίκτυο που βρίσκεται σε λειτουργία για κάποια χρονική περίοδο η τιμή της μεταβάλλεται (σκουριά, καθιζήσεις υλικών, κλπ.) και δεν είναι δυνατό να προσδιοριστεί με ακρίβεια.

Με την ίδια λογική επιλέχθηκε να γίνει ανάλυση ευαισθησίας και ως προς την παράμετρο της ειδικής συνεχούς παροχής. Το μέγεθος αυτό, το οποίο ουσιαστικά εκφράζει τις ανάγκες των καλλιεργειών της περιοχής που εξυπηρετεί το δίκτυο, θεωρητικά αποτελεί ένα από τα δεδομένα του δικτύου με την τιμή του να έχει προκύψει από την γεωργοτεχνική-γεωργοοικονομική μελέτη που προηγήθηκε της μελέτης σχεδιασμού του δικτύου. Η κατανομή των καλλιεργειών όμως δεν παραμένει σταθερή αλλά με την πάροδο του χρόνου διαφοροποιείται και μαζί με αυτή αλλάζουν και οι αρδευτικές ανάγκες που το δίκτυο καλείται να καλύψει και συνεπώς η τιμή της ειδικής συνεχούς παροχής.

Η μελέτη της απόκρισης του δικτύου σε διάφορα σενάρια αλλαγής του τύπου των καλλιεργειών εκφρασμένων μέσω της ειδικής συνεχούς παροχής πρέπει να αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι μιας ολοκληρωμένης ανάλυσης της λειτουργίας ενός αρδευτικού δικτύου και ως τέτοιο αντιμετωπίστηκε.

4.2 Ως προς τον συντελεστή τραχύτητας γ του Bazin

Η τραχύτητα των αγωγών ενός συστήματος διανομής νερού που βρίσκεται σε λειτουργία εξαρτάται από την ηλικία τους, το υλικό από το οποίο είναι κατασκευασμένοι και την ποιότητα του νερού που ρέει μέσα σε αυτούς. Οι διαδικασίες φθοράς και απόθεσης υλικών που συμβαίνουν με την πάροδο του χρόνου μετά την εγκατάστασή τους, κάνουν ιδιαιτέρως δύσκολο τον προσδιορισμό της πραγματικής διαμέτρου των σωλήνων του (Koppel and Vassiljev, 2009).

Σε μια προσπάθεια να διερευνηθεί η επίδραση της τραχύτητας των αγωγών στην εκτίμηση της απόδοσης του δικτύου εξετάστηκαν δυο περιπτώσεις μεταβολής του συντελεστή τραχύτητας γ ως προς την αρχική του τιμή που αποτελεί την μοναδική τιμή η οποία είναι γνωστή με ασφάλεια.

Στην πρώτη περίπτωση εφαρμόστηκε αύξηση στην αρχική τιμή του συντελεστή και για τους δυο τύπους υλικού των σωληνώσεων κατά 10% ενώ στην δεύτερη περίπτωση, η μεταβολή ήταν και πάλι αυξητική αλλά κατά 30% αυτή τη φορά.

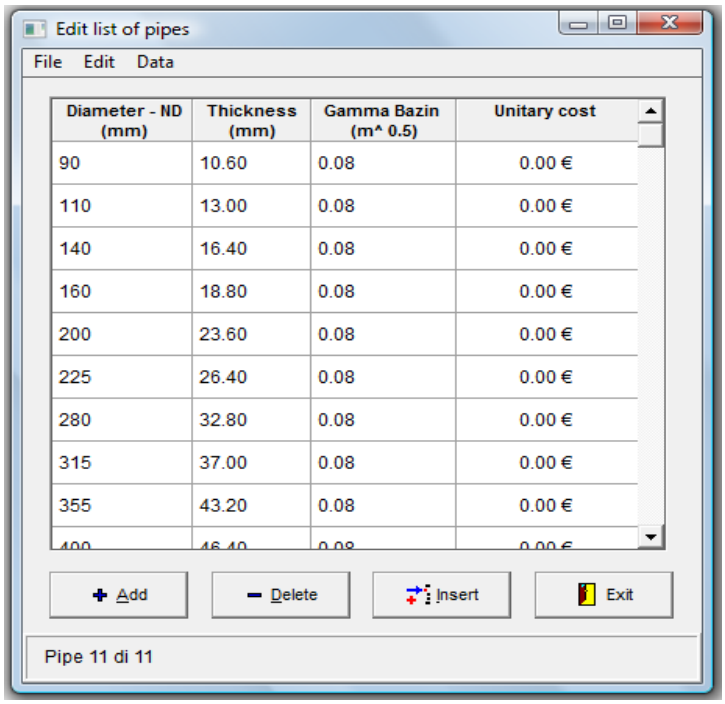
Στη συνέχεια παρουσιάζονται αναλυτικά οι δυο περιπτώσεις που εξετάστηκαν και τα αποτελέσματα που προέκυψαν από αυτές.

4.2.1 Αύξηση 10%

Εφαρμόζοντας την προβλεπόμενη ποσοστιαία αύξηση της τάξεως του 10% οι τιμές του συντελεστή τραχύτητας γ του Bazin διαμορφώθηκαν ως εξής:

Για τους χαλυβδοσωλήνες η τιμή του συντελεστή γ ισούται με $0.20m^{0.5}$ αντί της αρχικής $\gamma=0.18m^{0.5}$ ενώ για τους σωλήνες από PVC ο συντελεστής γ είναι ίσος με $0.08m^{0.5}$ αντί της αρχικής $\gamma=0.07\ m^{0.5}$.

Οι νέες αυτές τιμές εισήχθησαν στον πίνακα των στοιχείων των αγωγών (List of Pipes) αντικαθιστώντας τις αρχικές τιμές της παραμέτρου.



Diameter - ND (mm)	Thickness (mm)	Gamma Bazin (m^ 0.5)	Unitary cost
90	10.60	0.08	0.00 €
110	13.00	0.08	0.00 €
140	16.40	0.08	0.00 €
160	18.80	0.08	0.00 €
200	23.60	0.08	0.00 €
225	26.40	0.08	0.00 €
280	32.80	0.08	0.00 €
315	37.00	0.08	0.00 €
355	43.20	0.08	0.00 €
400	46.40	0.08	0.00 €

Εικόνα 4.1: Πίνακας εισαγωγής στοιχείων των αγωγών του δικτύου (List of Pipes)[5]
Μεταβολή του συντελεστή τραχύτητας γ =+10%

Όπως ήταν αναμενόμενο, η παροχή στην κεφαλή του δικτύου παρέμεινε ίδια με την τιμή που προέκυψε στο σενάριο αναφοράς και ίση με $Q_{Clément}$=300L/s. Αυτό συμβαίνει γιατί καμιά από τις τιμές των παραμέτρων που εισέρχονται στο μοντέλο Clément δεν έχει μεταβληθεί.

Η ενδεχόμενη επίδραση της μεταβολής του συντελεστή τραχύτητας στην λειτουργία του δικτύου θα έπρεπε επομένως να αναζητηθεί στην γενική εικόνα της λειτουργικής απόδοσης που παρουσιάζει το δίκτυο μετά την εφαρμογή αυτής της μεταβολής.

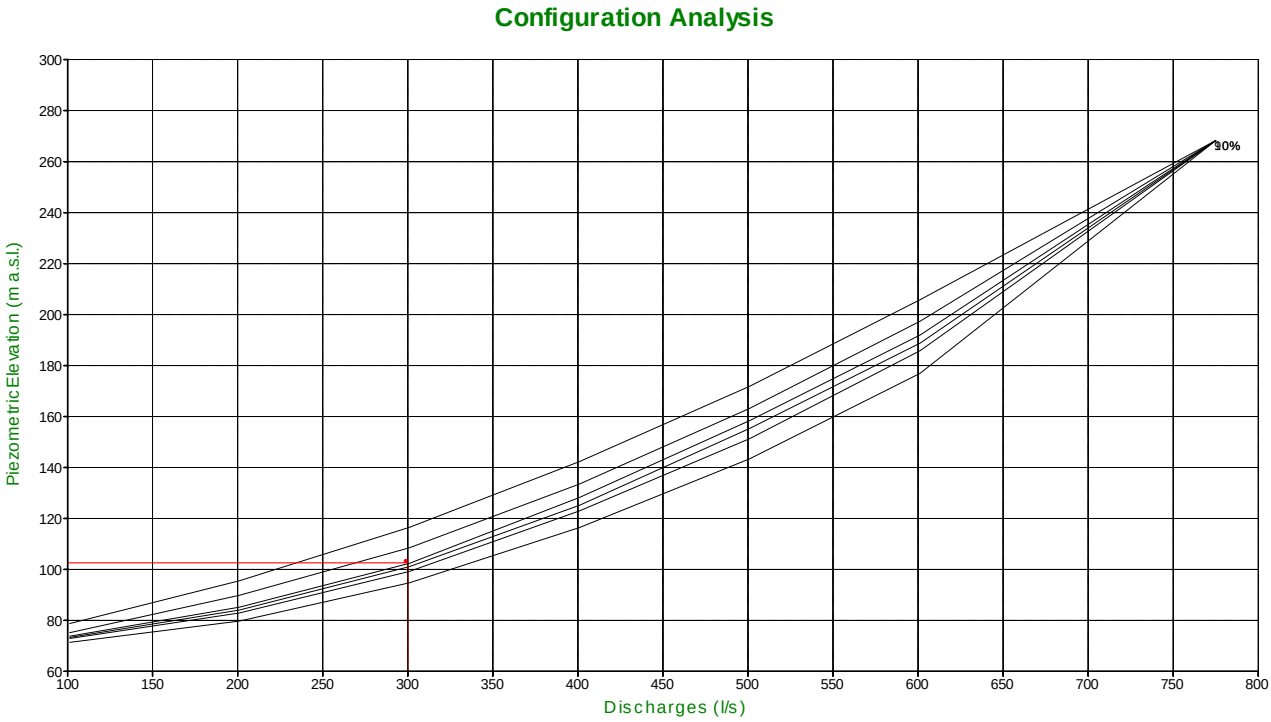
Για το σκοπό αυτό παρήχθησαν με τη χρήση του μοντέλου χαρακτηριστικών καμπυλών (Characteristic Curves Model) οι χαρακτηριστικές καμπύλες με δείκτες του δικτύου όπως αυτές παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 4.1).

Με μια πιο προσεκτική παρατήρηση διαπιστώνουμε ότι το σημείο λειτουργίας εντοπίζεται τώρα κοντά στη χαρακτηριστική καμπύλη C_{50} ενώ πριν γίνει η αύξηση του 10% στον συντελεστή τραχύτητας βρισκόταν μεταξύ των χαρακτηριστικών C_{50} και C_{60} γεγονός που

[5] Το πεδίο "Unitary cost" λαμβάνει μηδενικές τιμές καθώς εδώ το μοντέλο χρησιμοποιείται για ανάλυση της λειτουργίας του δικτύου και όχι οικονομική διαστασιολόγησή του.

καταδεικνύει τουλάχιστον σε πρώτη φάση την αρνητική επίδραση της αύξησης του συντελεστή τραχύτητας στην απόδοση του δικτύου.

Επιπλέον παρατηρούμε ότι για να αποδοθεί στο δίκτυο η αθροιστική παροχή στην κεφαλή $Q_{cumulative}$=774L/s, το απαιτούμενο φορτίο θα πρέπει να είναι ίσο με 268m, αυξημένο δηλαδή κατά 13m σε σχέση με το αρχικό σενάριο (=255m).



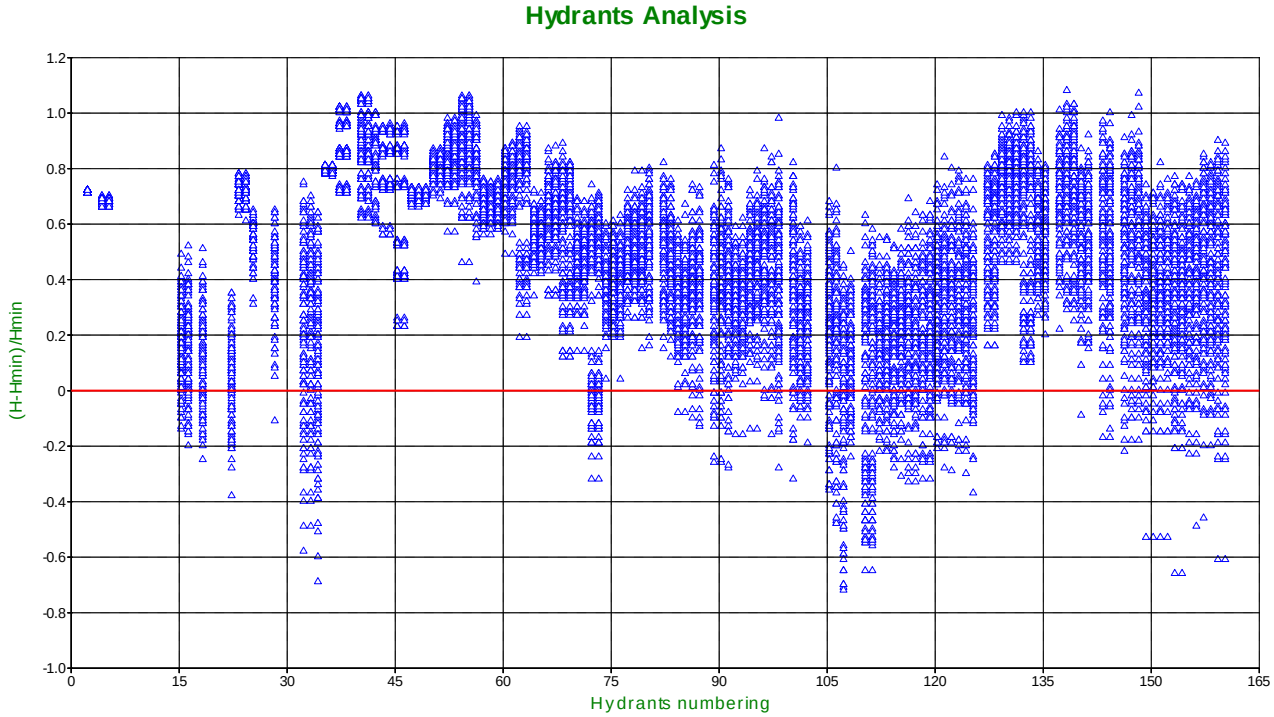
Σχήμα 4.1: Χαρακτηριστικές καμπύλες με δείκτες C_{10}, C_{30}, C_{40}, C_{50}, C_{70}, C_{90} και σημείο λειτουργίας "set point" ($Q_{Clément}$ =300L/s, $Z_{κεφ}$= 102,55m) / Αύξηση του συντελεστή τραχύτητας γ του Bazin κατά 10%.

Για να ελεγχθεί περεταίρω η αρχική διαπίστωση, δημιουργήθηκαν με τη βοήθεια του μοντέλου AKLA (Akla Model) που προσφέρει το λογισμικό COPAM τα διαγράμματα περίσσειας-ελλείμματος φορτίου των υδροστομίων (Σχήμα 4.2) και του δείκτη αξιοπιστίας αυτών (Σχήμα 4.3) για συνθήκες λειτουργίας $Q_{Clément}$=300L/s, $Z_{κεφ}$=102,55m.

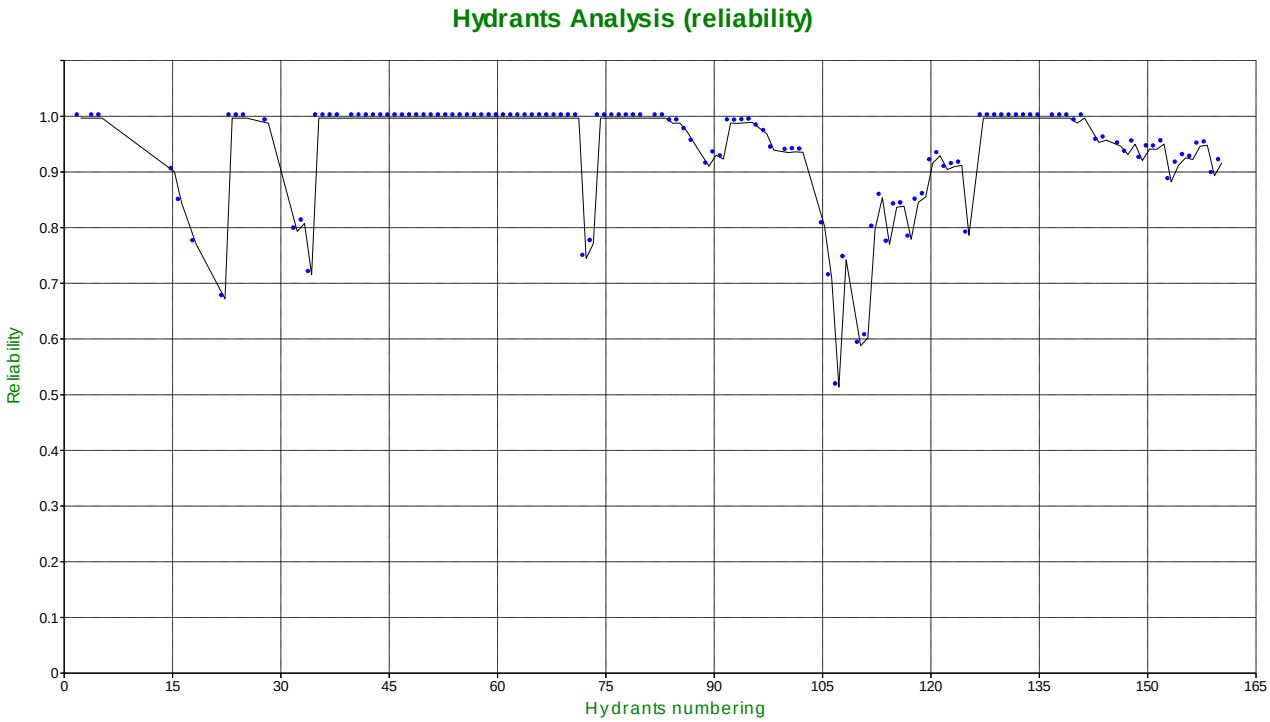
Όπως παρατηρούμε οι ζώνες των οποίων τα υδροστόμια εμφανίζουν κάποιο έλλειμμα φορτίου και σχετικά χαμηλό δείκτη αξιοπιστίας είναι αντίστοιχες με εκείνες από το μηδενικό σενάριο λειτουργίας του δικτύου (αρχικές τιμές των παραμέτρων). Πρόκειται για τις ζώνες με αρίθμηση 15-22, 31-34, 72-73 και 105-125, με την ζώνη 105-115 να αποτελεί την πιο κρίσιμη. Το μέσο σχετικό έλλειμμα φορτίου για τις ζώνες αυτές είναι κοντά στην τιμή $ΔH/H_{min}$=-0.3 και το μέγιστο φτάνει έως $ΔH/H_{min}$=-0.7 στην κρίσιμη ζώνη ενώ οι

αντίστοιχες τιμές του σεναρίου αναφοράς κυμαίνονται από $\Delta H/H_{min}$=-0.2 έως $\Delta H/H_{min}$=-0.6 στη ζώνη 105-115.

Ο δείκτης αξιοπιστίας για τις παραπάνω ζώνες κυμαίνεται από 0.9 έως 0.7 (έναντι 0.9-0.8 του αρχικού σεναρίου) ενώ για τα υδροστόμια της ζώνης 105-115 η τιμή του γίνεται μικρότερη από 0.6 και φτάνει σχεδόν έως την τιμή 0.5 παρουσιάζοντας μείωση σε σχέση με το αρχικό σενάριο λειτουργίας όπου η τιμή του ήταν περίπου ίση με 0.7 ή ελάχιστα μικρότερη. Στον Χάρτη 2 (σελ. 81) δίνεται η χωρική αναπαράσταση της απόδοσης των υδροστομίων για το εξεταζόμενο σενάριο λειτουργίας. Όπως μπορούμε να δούμε ο αριθμός των υδροστομίων με δείκτη αξιοπιστίας στο εύρος 0.5-0.8 έχει αυξηθεί από 4 που ήταν στο αρχικό σενάριο λειτουργίας σε 15.



Σχήμα 4.2: Περίσσεια-έλλειμμα φορτίου των υδροστομίων (για συνθήκες λειτουργίας $Q_{Clément}$ = 300L/s, $Z_{κεφ}$= 102,55m) / Αύξηση του συντελεστή τραχύτητας γ του Bazin κατά 10%.



Σχήμα 4.3: Δείκτης αξιοπιστίας του κάθε υδροστομίου (για συνθήκες λειτουργίας $Q_{Clément}$=300L/s, $Z_{κεφ}$=102,55m) Αύξηση του συντελεστή τραχύτητας γ του Bazin κατά 10%.

ΤΜΗΜΑ ΤΟΕΒ ΠΑΡΑΒΟΛΑΣ - ΖΩΝΗ Α
ΓΕΝΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΔΙΚΤΥΟΥ
ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΥΔΡΟΣΤΟΜΙΩΝ

Σενάριο 1: γ+10%

ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ: ΕΓΣΑ '87

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

- Αντλιοστάσιο Α1
- Δίκτυο_αγωγών
- Ζώνη_Α_ΤΟΕΒ

Υδροστόμια_COPAM
Reliability_Indicator
- 0.5 - 0.8
- 0.8 - 1.0

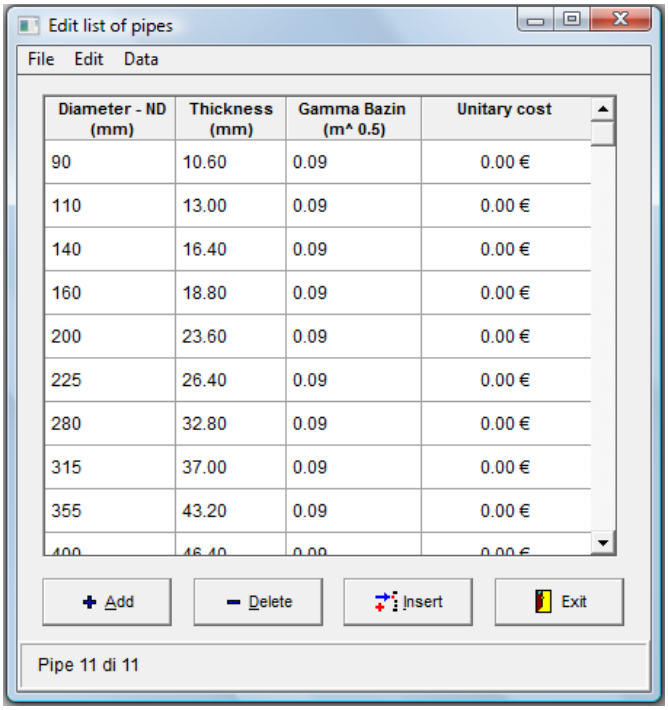
Χάρτης 2: Έλεγχος αξιοπιστίας υδροστομίων – Σενάριο 1^{ο}: γ+10%

4.2.2 Αύξηση 30%

Στην δεύτερη περίπτωση οι αρχικές τιμές του συντελεστή τραχύτητας γ του Bazin αυξήθηκαν κατά 30%. Οι νέες τιμές που προέκυψαν με αυτήν την μεταβολή έχουν ως εξής:

Για τους χαλυβδοσωλήνες η τιμή του συντελεστή γ ισούται με $0.23m^{0.5}$ αντί της αρχικής $\gamma=0.18m^{0.5}$ ενώ για τους σωλήνες από PVC ο συντελεστής γ είναι ίσος με $0.09m^{0.5}$ αντί της αρχικής $\gamma=0.07\ m^{0.5}$.

Στην Εικόνα που ακολουθεί (Εικόνα 4.2) φαίνεται πως διαμορφώθηκε ο πίνακας των στοιχείων των αγωγών (List of Pipes) μετά την εισαγωγή των νέων αυτών τιμών της παραμέτρου γ.



Diameter - ND (mm)	Thickness (mm)	Gamma Bazin (m^ 0.5)	Unitary cost
90	10.60	0.09	0.00 €
110	13.00	0.09	0.00 €
140	16.40	0.09	0.00 €
160	18.80	0.09	0.00 €
200	23.60	0.09	0.00 €
225	26.40	0.09	0.00 €
280	32.80	0.09	0.00 €
315	37.00	0.09	0.00 €
355	43.20	0.09	0.00 €
400	46.40	0.09	0.00 €

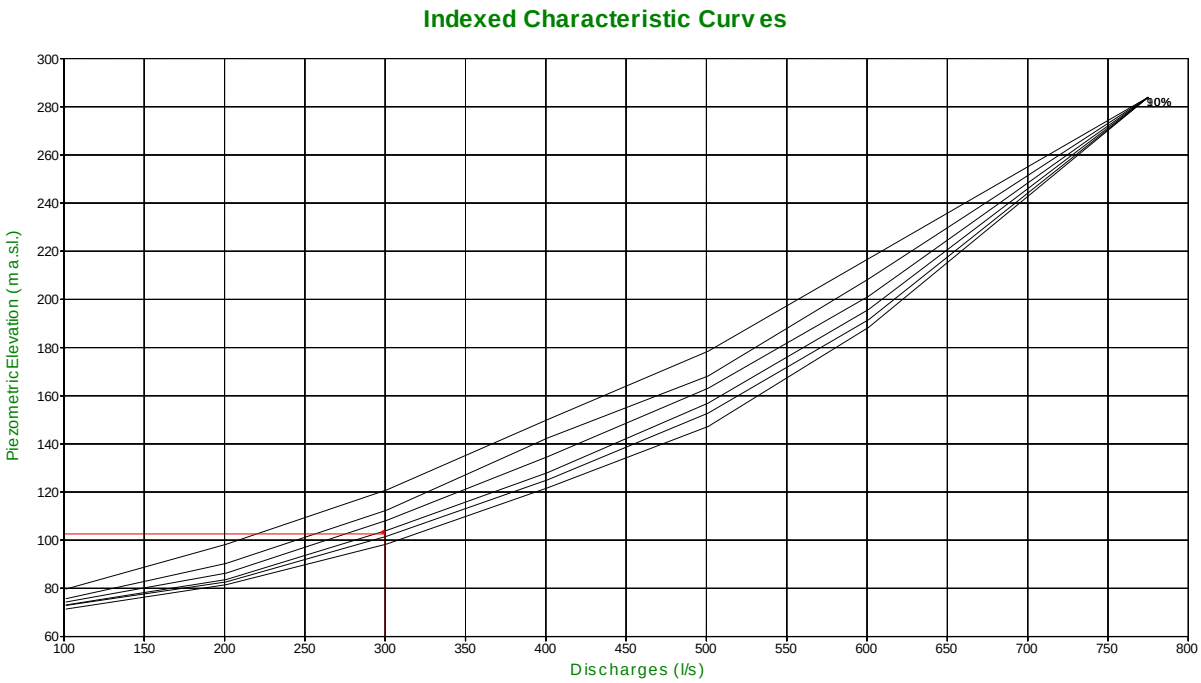
Εικόνα 4.2: Πίνακας εισαγωγής στοιχείων των αγωγών του δικτύου (List of Pipes)
Μεταβολή συντελεστή τραχύτητας γ =+30%

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε στη συνέχεια είναι η αντίστοιχη της προηγούμενης. Αρχικά παρήχθησαν οι χαρακτηριστικές καμπύλες με δείκτες του δικτύου με τη χρήση του αντίστοιχου μοντέλου (Characteristic Curves Model) οι οποίες παρουσιάζονται στο Σχήμα 4.4 ενώ στη συνέχεια επιχειρώντας ξανά μια πιο λεπτομερειακή επισκόπηση της απόδοσης του δικτύου σε επίπεδο υδροστομίου, δημιουργηθήκαν τα διαγράμματα περίσσειας-ελλείμματος φορτίου (Σχήμα 4.5) και δείκτη αξιοπιστίας κάθε υδροστομίου (Σχήμα 4.6) τα

οποία μας επέτρεψαν να προσδιορίσουμε επακριβώς τις αλλαγές που επέφερε η αύξηση κατά 30% της τιμής του συντελεστή τραχύτητας γ του Bazin.

Να σημειωθεί στο σημείο αυτό πως η ανάλυση που ακολουθεί πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας τις τιμές των παροχών στην κεφαλή αλλά και στους αγωγούς του δικτύου που υπολογίστηκαν στο μηδενικό σενάριο λειτουργίας με την παροχή στην κεφαλή να ισούται με $Q_{Clément}$=300L/s. Αυτό συμβαίνει γιατί όπως έχει ήδη αναφερθεί καμιά από τις τιμές των παραμέτρων που εισέρχονται στο μοντέλο Clément δεν έχει μεταβληθεί ενώ η παράμετρος της τραχύτητας που μεταβάλλεται δεν επηρεάζει τις τιμές των παροχών που το μοντέλο ορίζει να ρέουν σε κάθε τμήμα του δικτύου για την εύρυθμη λειτουργία του.

Η επίδραση της αύξησης της τιμής του συντελεστή γ γίνεται σε πρώτη φάση αντιληπτή στο διάγραμμα των χαρακτηριστικών καμπυλών (Σχήμα 4.4).



Σχήμα 4.4: Χαρακτηριστικές καμπύλες με δείκτες C_{10}, C_{20}, C_{30}, C_{50}, C_{70}, C_{90} και σημείο λειτουργίας "set point" ($Q_{Clément}$ =300L/s, $Z_{κεφ}$= 102,55m) / Αύξηση του συντελεστή τραχύτητας γ του Bazin κατά 30%.

Διαπιστώνουμε πως υπάρχει αύξηση της κλίσης των καμπυλών συγκριτικά με τις αντίστοιχες των δυο προηγούμενων σεναρίων (μηδενικό και αύξησης συντελεστή γ κατά 10% - Σχήματα 3.6 & 4.1), κάτι που υποδηλώνει τη σημαντική αύξηση των απωλειών ενέργειας δεδομένου ότι η τοπογραφία του δικτύου δεν μεταβάλλεται αλλά παραμένει η ίδια. Χαρακτηριστική είναι επίσης η αύξηση που απαιτείται στο πιεζομετρικό φορτίο

κεφαλής προκειμένου να ικανοποιηθεί η αθροιστική παροχή των υδροστομίων του δικτύου $Q_{cumulative}$=774L/s. Το φορτίο κεφαλής θα πρέπει να ισούται σε αυτή την περίπτωση με 285m, να αυξηθεί δηλαδή κατά 30m σε σχέση με την αρχική κατάσταση λειτουργίας του δικτύου (Σχήμα 3.6), και κατά 17m σε σχέση με το προηγούμενο σενάριο αύξησης της τραχύτητας (Σχήμα 4.1) ώστε να αντισταθμιστούν οι γραμμικές απώλειες.

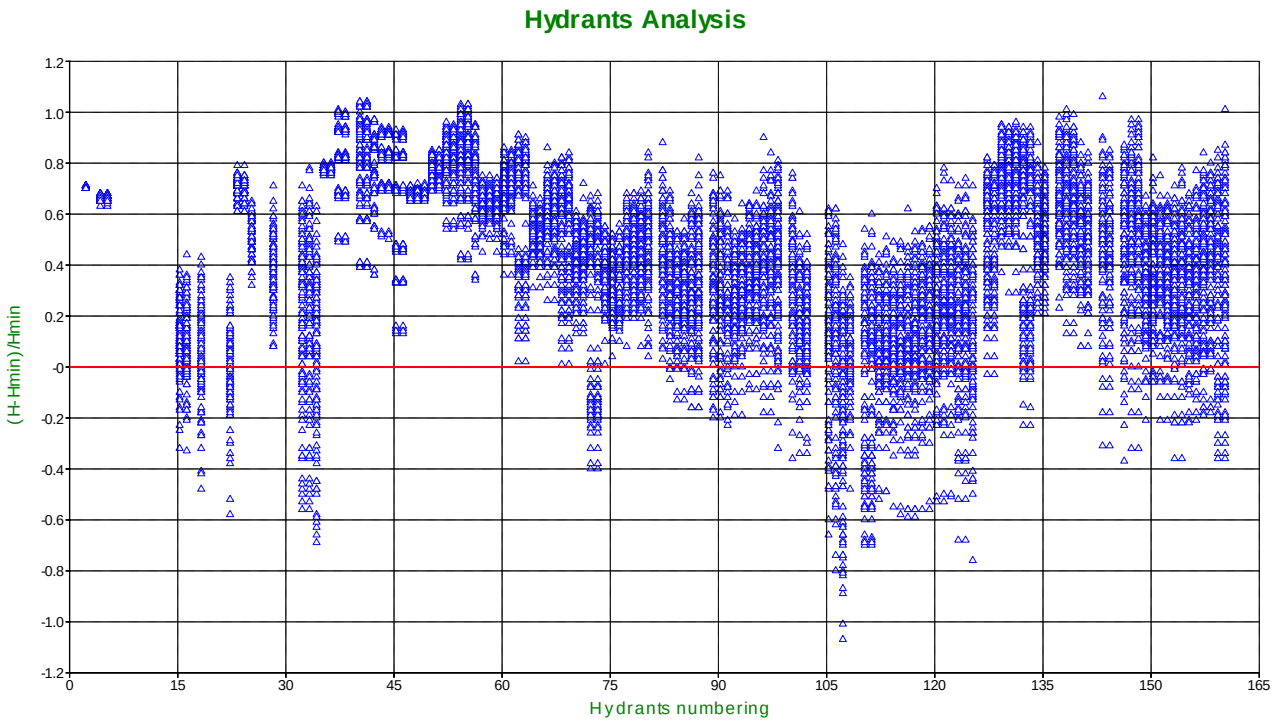
Η αύξηση αυτή των απωλειών θα προκαλέσει πιθανώς προβλήματα ελλείμματος φορτίου σε διάφορα υδροστόμια κάτι που όμως ελέγχεται στη συνέχεια.

Επιπλέον, όπως μπορούμε να δούμε στο Σχήμα 4.4 το σημείο λειτουργίας βρίσκεται τώρα ανάμεσα στις χαρακτηριστικές καμπύλες με δείκτες 20% και 30% ενώ το ίδιο σημείο στο αρχικό σενάριο λειτουργίας γεγονός βρισκόταν ανάμεσα στις χαρακτηριστικές 50% και 60% γεγονός που καταδεικνύει το μέγεθος της αρνητικής επίδρασης της αύξησης του συντελεστή τραχύτητας στην απόδοση του δικτύου.

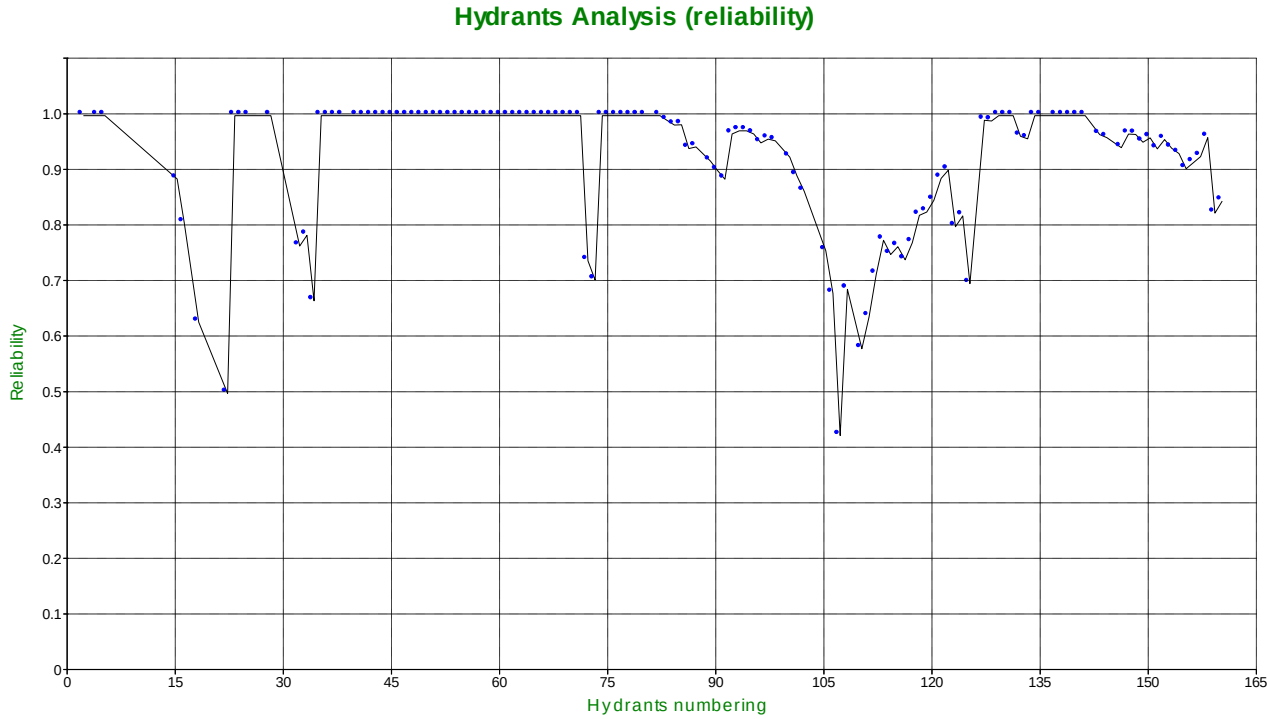
Γενικά διαφαίνεται πως με αυτήν τη μεταβολή το δίκτυο δεν ανταποκρίνεται ικανοποιητικά, ωστόσο η ανάλυση σε επίπεδο υδροστομίων θα μας επιτρέψει να προσδιορίσουμε επακριβώς τις εμφανιζόμενες ανεπάρκειες είτε μέσω του ελλείμματος φορτίου είτε μέσω των τιμών του δείκτη αξιοπιστίας για καθένα από αυτά.

Σύμφωνα με το διάγραμμα περίσσειας-ελλείμματος φορτίου (Σχήμα 4.5) οι ζώνες υδροστομίων που παρουσιάζουν τον μεγαλύτερο κίνδυνο εμφάνισης ελλείμματος φορτίου είναι κοινές με εκείνες της προηγούμενης περίπτωσης που εξετάστηκε (αύξηση του συντελεστή τραχύτητας κατά 10% επί της αρχικής τιμής). Πιο συγκεκριμένα, πρόκειται για τις ζώνες υδροστομίων των οποίων η αρίθμηση έχει ως εξής: 15-22, 31-34, 72-73 και 105-125. Η επιμέρους ζώνη 105-117 φαίνεται να έχει την μεγαλύτερη πιθανότητα μη ικανοποίησης. Το σχετικό έλλειμμα φορτίου $\Delta H/H_{min}$ για τις ζώνες αυτές κυμαίνεται από 0 έως -0.6 ενώ στην κρίσιμη ζώνη 105-117 φτάνει έως -1.0.

Το διάγραμμα του δείκτη αξιοπιστίας, όντας σε πλήρη συμφωνία με το αντίστοιχο ελλείμματος-περίσσειας φορτίου, δίνει τιμές για τις παραπάνω ζώνες που κυμαίνονται συνήθως από 0.9 έως 0.6. Εξαίρεση αποτελούν τα υδροστόμια με αριθμό 22 και 107 για τα οποία η τιμή του δείκτη γίνεται μικρότερη και από 0.5 (Σχήμα 4.6 – Χάρτης 3 (σελ. 87)).



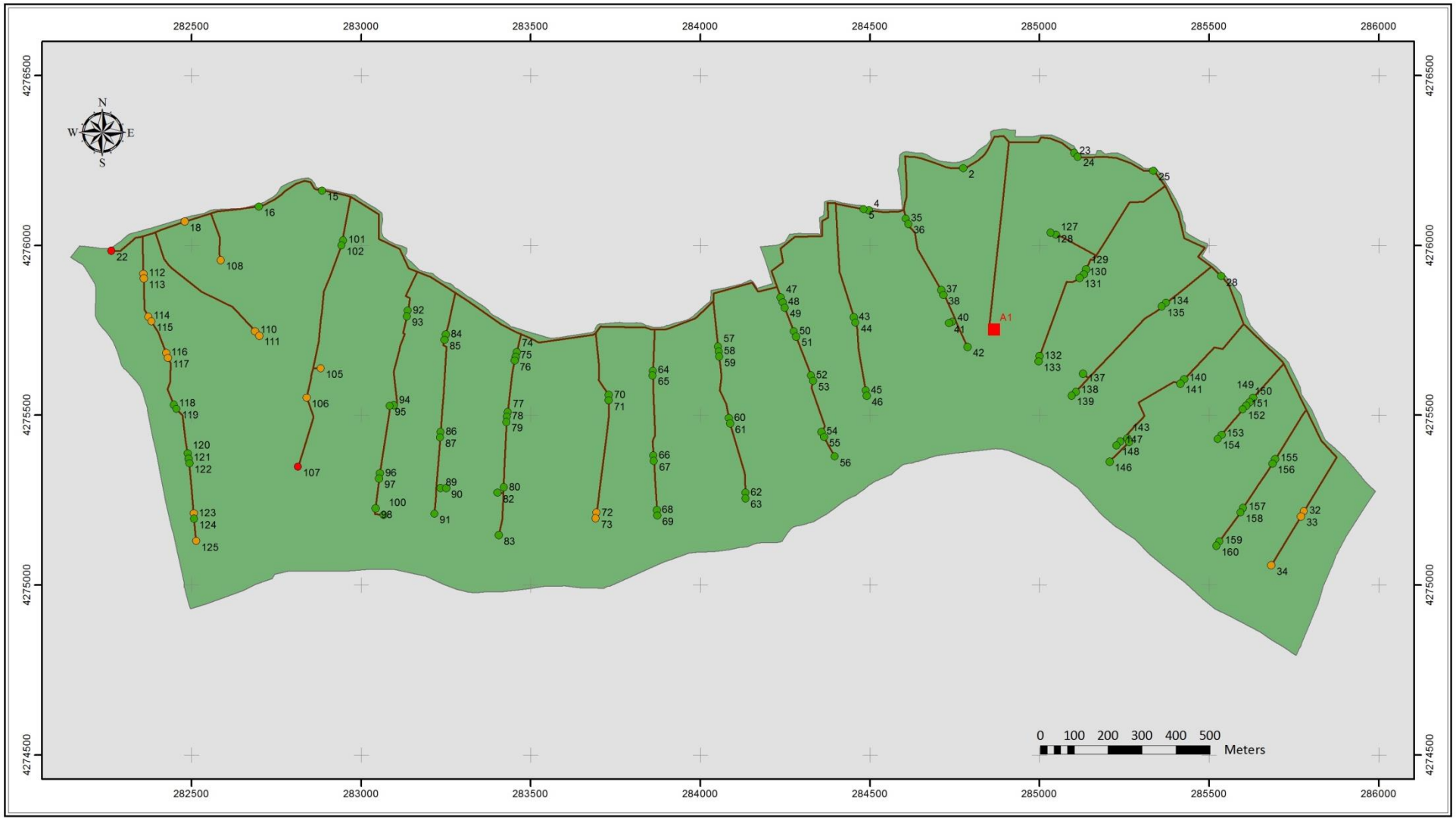
Σχήμα 4.5: Περίσσεια-έλλειμμα φορτίου των υδροστομίων (για συνθήκες λειτουργίας $Q_{Clément}$ = 300L/s, $Z_{κεφ}$= 102,55m) / Αύξηση του συντελεστή τραχύτητας γ του Bazin κατά 30%.



Σχήμα 4.6: Δείκτης αξιοπιστίας του κάθε υδροστομίου (για συνθήκες λειτουργίας $Q_{Clément}$ = 300L/s, $Z_{κεφ}$= 102,55m) / Αύξηση του συντελεστή τραχύτητας γ του Bazin κατά 30%.

Παράλληλα, συγκρίνοντας το διάγραμμα αυτό με το αντίστοιχο του σεναρίου αύξησης της τραχύτητας κατά 10% (Σχήμα 4.3), διαπιστώνουμε το μέγεθος της επίδρασης που επιφέρει αυτή η περαιτέρω αύξηση της τραχύτητας κατά 20% στην αξιοπιστία των υδροστομίων και

ιδιαίτερα στα υδροστόμια των ζωνών 15-22 και 105-117. Πιο συγκεκριμένα, παρατηρούμε ότι αυξάνεται το πλήθος των υδροστομίων με δείκτη αξιοπιστίας μικρότερο του 0.8 (από 15 σε 19) καθώς επίσης και η έκταση που αυτά καταλαμβάνουν, ενώ ταυτόχρονα η τιμή του δείκτη για ορισμένα εξ αυτών πέφτει κάτω από το αποδεκτό όριο 0.5 (Tiercelin, 2006) (βλ. Χάρτης 3).



ΤΜΗΜΑ ΤΟΕΒ ΠΑΡΑΒΟΛΑΣ - ΖΩΝΗ Α
ΓΕΝΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΔΙΚΤΥΟΥ
ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΥΔΡΟΣΤΟΜΙΩΝ

Σενάριο 2: γ+30%

ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ: ΕΓΣΑ '87

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

- Αντλιοστάσιο Α1
- Δίκτυο_αγωγών
- Ζώνη_Α_ΤΟΕΒ

Υδροστόμια_COPAM
Reliability_Indicator

- < 0.5
- 0.5 - 0.8
- 0.8 - 1.0

Χάρτης 3: Έλεγχος αξιοπιστίας υδροστομίων – Σενάριο 2^{ο}: γ+30%

4.2.3 Αποτελέσματα

Η ανάλυση ευαισθησίας ως προς την παράμετρο της τραχύτητας που προηγήθηκε πραγματοποιήθηκε για δυο ξεχωριστές περιπτώσεις. Στην πρώτη περίπτωση έγινε η υπόθεση ότι η τιμή του συντελεστή τραχύτητας και για τα δυο υλικά των αγωγών αυξάνεται κατά 10% ενώ στην δεύτερη, η μεταβολή ήταν και πάλι αυξητική αλλά της τάξεως του 30% αυτή τη φορά.

Τα παραγόμενα μέσω του λογισμικού COPAM διαγράμματα που χρησιμοποιούνται για την ανάλυση της λειτουργίας του δικτύου κατέδειξαν ότι οι μεταβολές αυτές επηρεάζουν στο βαθμό της η καθεμιά την απόδοση του δικτύου.

Αρχικά, η αλλαγή της θέσης του σημείου λειτουργίας "set point" ($Q_{Clément}$, Z_{opt}) ως προς τις παραχθείσες χαρακτηριστικές καμπύλες για τα δυο σενάρια αύξησης της τραχύτητας αλλά και σε σχέση με το αρχικό σενάριο λειτουργίας του δικτύου, έδειξε ότι για δεδομένη διαστασιολόγηση, τα μεγέθη απόδοση και τραχύτητα του δικτύου συνδέονται μεταξύ τους με μια σχέση αντίστροφης μεταβολής. Πιο συγκεκριμένα, εφαρμόζοντας αύξηση 10% στην τιμή του συντελεστή τραχύτητας, το σημείο λειτουργίας μετατοπίζεται από την χαρακτηριστική μεταξύ του 50% - 60% που βρισκόταν στο αρχικό σενάριο λειτουργίας στην χαρακτηριστική του 50% ενώ αντίστοιχα εφαρμόζοντας αύξηση 30% επί της αρχικής τιμής του συντελεστή το σημείο λειτουργίας "πέφτει" σε κάποια χαρακτηριστική μεταξύ του 20%-30%. Είναι επομένως προφανές ότι η αύξηση της τραχύτητας των αγωγών οδηγεί σε μείωση της απόδοσης του δικτύου κάτι που όπως έχει ήδη αναφερθεί οφείλεται στην αύξηση των απωλειών ενέργειας.

Η αρχική αυτή διαπίστωση ενισχύθηκε επιπλέον από την ανάλυση λειτουργίας του δικτύου σε επίπεδο υδροστομίου που πραγματοποιήθηκε για κάθε σενάριο αύξησης της τραχύτητας. Μέσα από τα διαγράμματα ελλείμματος-περίσσειας φορτίου και δείκτη αξιοπιστίας φάνηκε ότι η σταδιακή αύξηση της τραχύτητας οδήγησε σε μια προοδευτική μείωση της ικανοποίησης των υδροστομίων των ζωνών που ήδη από το αρχικό σενάριο λειτουργίας αξιολογήθηκαν ως επιρρεπή στην εμφάνιση προβλημάτων. Πρόκειται για τα υδροστόμια των ζωνών 15-22 και 105-115 για τα οποία ο δείκτης αξιοπιστίας λάμβανε αρχικά τιμές από 0.9 έως $\approx$0.7 ενώ στη συνέχεια με τις αυξήσεις 10% και 30% στην τιμή του

συντελεστή τραχύτητας, το κατώτατο όριο αυτού του εύρους διαμορφώθηκε σε 0.5 και < 0.5 αντίστοιχα.

Στον πίνακα που ακολουθεί δίνεται ο αριθμός των υδροστομίων ανά κλάση τιμών του δείκτη αξιοπιστίας για τα δυο σενάρια που εξετάστηκαν και το σενάριο αναφοράς.

Πίνακας 4.1: Αριθμός υδροστομίων ανά κλάση τιμών του δείκτη αξιοπιστίας για τα σενάρια αύξησης κατά 10% και 30% του συντελεστή τραχύτητας και το σενάριο αναφοράς.

	Reliability Indicator		
Σενάριο	< 5	0.5-0.8	0.8-1.0
Μηδενικό	-	4	125
1°: γ+10%	-	15	114
2°: γ+30%	2	19	108

Γίνεται συνεπώς αντιληπτό ότι η παράμετρος της τραχύτητας αποτελεί έναν σημαντικό παράγοντα στην ανάλυση λειτουργίας ενός δικτύου και πως μια λανθασμένη επιλογή της τιμής της μπορεί να επηρεάσει σημαντικά την ακρίβεια αυτής της ανάλυσης και να οδηγήσει σε λανθασμένα συμπεράσματα.

4.3 Ως προς την ειδική συνεχή παροχή

Η ανάλυση ευαισθησίας ως προς την παράμετρο της ειδικής συνεχούς παροχής περιελάμβανε την εξέταση τριών επιμέρους σεναρίων μεταβολής των αρδευτικών αναγκών στην εξυπηρετούμενη από το δίκτυο περιοχή.

Με την υπόθεση ότι η κατανομή των καλλιεργειών στην εν λόγω περιοχή έχει διαφοροποιηθεί από την αρχική πάνω στην οποία βασίστηκε η μελέτη σχεδιασμού του δικτύου και συνίσταται πλέον από καλλιέργειες με μεγαλύτερες ανάγκες σε αρδευτικό νερό, ελέγχθηκε η απόκρισή του σε τρεις περιπτώσεις αύξησης των αναγκών. Στην πρώτη περίπτωση η τιμή της ειδικής παροχής αυξήθηκε κατά 10% επί της αρχικής, στην δεύτερη κατά 20% και τέλος στην τρίτη περίπτωση κατά 30%.

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4.2) δίνονται οι τιμές τις ειδικής παροχής που προέκυψαν με την εφαρμογή των αυξήσεων.

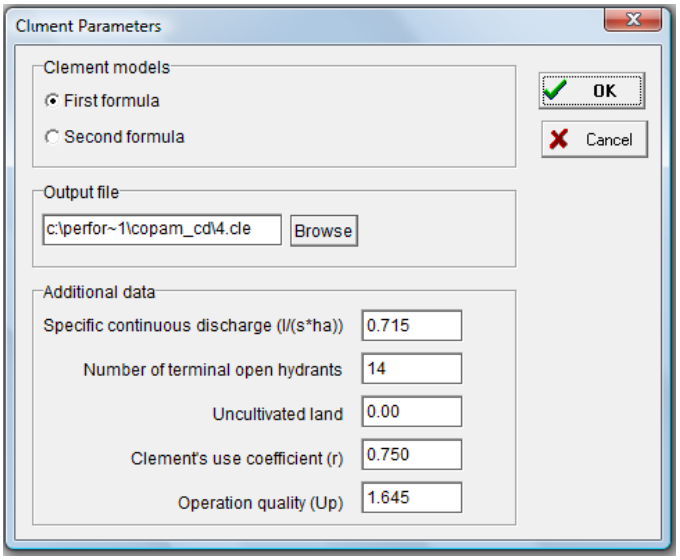
Πίνακας 4.2: Τιμές ειδικής συνεχούς παροχής για κάθε εξεταζόμενο σενάριο.

	Μηδενικό σενάριο Αρχική τιμή	**Σενάριο 3°** Αύξηση 10%	**Σενάριο 4°** Αύξηση 20%	**Σενάριο 5°** Αύξηση 30%
q	**0.650**	**0.715**	**0.780**	**0.845**

Η ανάλυση της λειτουργίας του δικτύου που πραγματοποιήθηκε για κάθε μια από τις παραπάνω περιπτώσεις παρουσιάζεται αναλυτικά στις επόμενες παραγράφους.

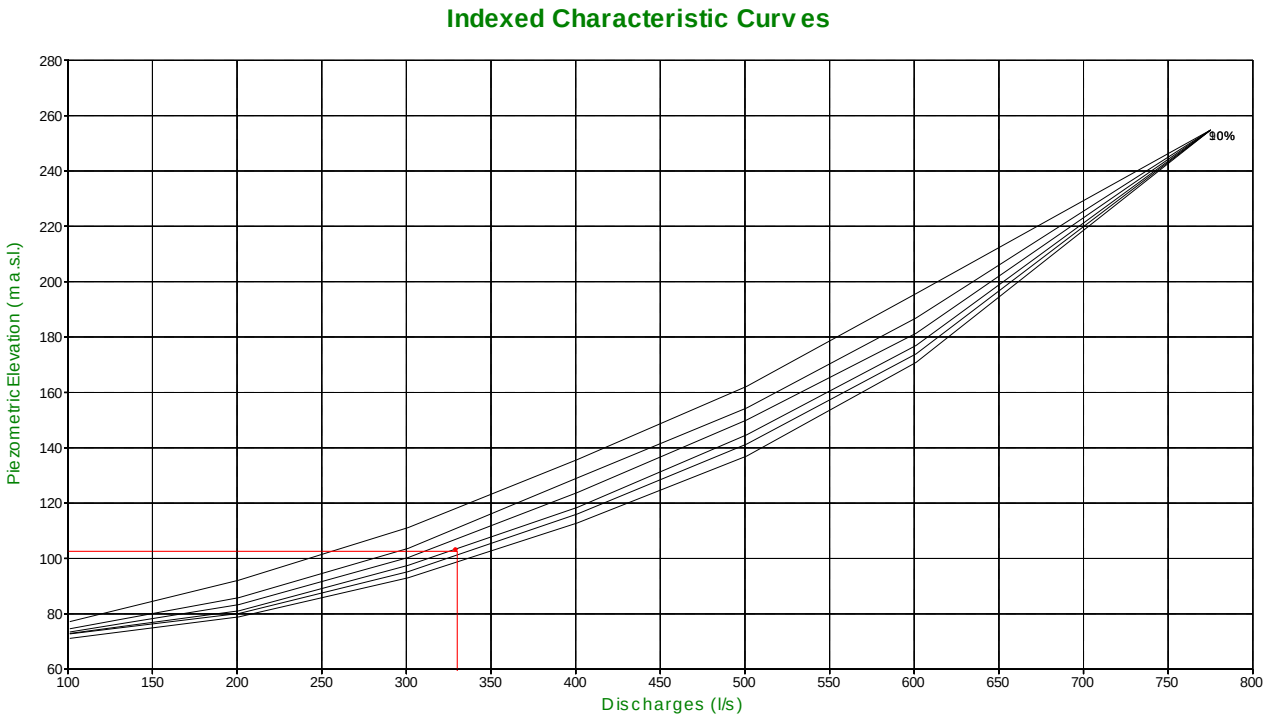
4.3.1 Αύξηση 10%

Χρησιμοποιώντας το μοντέλο Clément (Clément Model) προσδιορίστηκαν οι τιμές των παροχών στους αγωγούς για το νέο σενάριο λειτουργίας του δικτύου. Οι τιμές αυτές (Πίνακας 4.3), όπως ήταν αναμενόμενο προκύπτουν διαφορετικές από το αρχικό σενάριο λειτουργίας δεδομένου ότι η ειδική συνεχής παροχή αυξάνεται και συνεπώς το έργο κεφαλής καλείται να παρέχει νερό στο δίκτυο με μεγαλύτερο ρυθμό. Πιο συγκεκριμένα, η παροχή στην κεφαλή του δικτύου υπολογίζεται ίση με 330L/s (Πίνακας 8 Παραρτήματος) έναντι 300L/s που είχε υπολογιστεί για το μηδενικό σενάριο.



Εικόνα 4.3: Πίνακας εισαγωγής τιμών των παραμέτρων του μοντέλου Clément (Clément Model). Μεταβολή της ειδικής συνεχούς παροχής q =+10%.

Στις χαρακτηριστικές καμπύλες που δημιουργήθηκαν χρησιμοποιώντας το κατάλληλο μοντέλο που προσφέρει το λογισμικό COPAM (Σχήμα 4.7), βλέπουμε ότι το σημείο λειτουργίας "set point" ($Q_{Clément}$=330L/s, $Z_{κεφ}$=102,55m) βρίσκεται μεταξύ των χαρακτηριστικών C_{20} και C_{30} σε αντίθεση με το μηδενικό σενάριο λειτουργίας όπου το σημείο λειτουργίας ($Q_{Clément}$=300L/s, $Z_{κεφ}$=102,55m) εντοπιζόταν μεταξύ των χαρακτηριστικών C_{50} και C_{60} . Το γεγονός αυτό υποδηλώνει ότι η αύξηση της ειδικής παροχής επιδρά αρνητικά στην απόδοση του δικτύου. Ωστόσο, επειδή όπως έχει ήδη αναφερθεί το διάγραμμα των χαρακτηριστικών καμπυλών δίνει μόνο μια γενική εικόνα της λειτουργικής κατάστασης του δικτύου, η παραπάνω διαπίστωση ελέγχεται εκτενέστερα με τη βοήθεια των διαγραμμάτων περίσσειας-ελλείμματος φορτίου στα υδροστόμια και του δείκτη αξιοπιστίας αυτών που παρατίθενται στη συνέχεια.

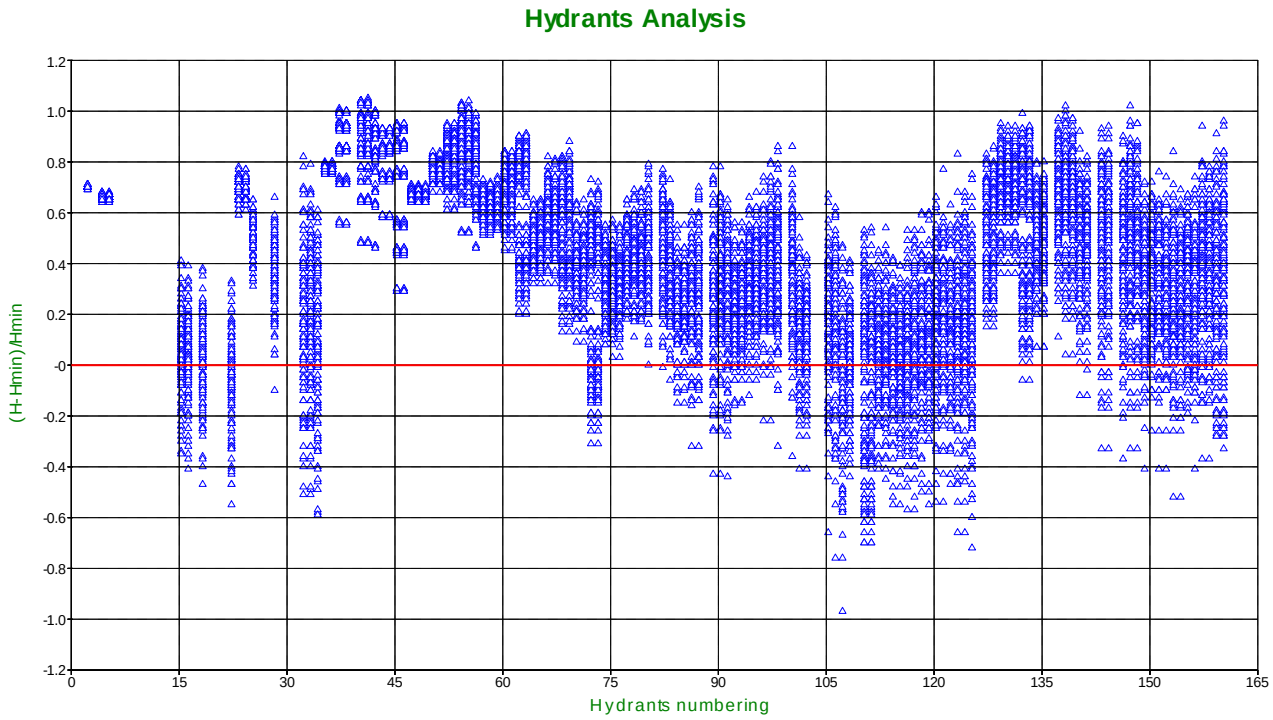


Σχήμα 4.7: Χαρακτηριστικές καμπύλες με δείκτες C_{10}, C_{20}, C_{30}, C_{50}, C_{70}, C_{90} και σημείο λειτουργίας "set point" ($Q_{Clément}$ =330L/s, $Z_{κεφ}$= 102,55m) / Αύξηση ειδικής συνεχούς παροχής κατά 10%.

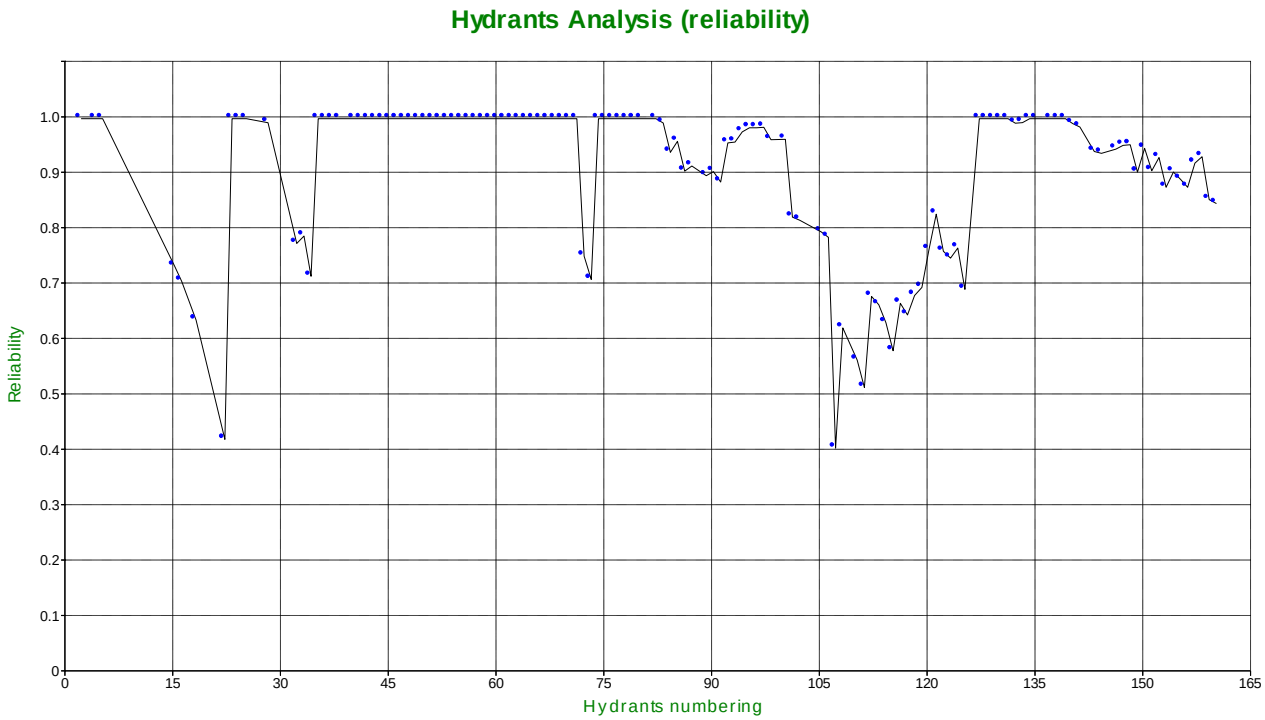
Σύμφωνα με το διάγραμμα περίσσειας-ελλείμματος φορτίου (Σχήμα 4.8), οι ζώνες με αρίθμηση 15-22, 31-34, 72-73 και 105-125 εμφανίζονται ως προβληματικές με την υποζώνη 105-117 να αποτελεί την πιο δυσμενή. Το σχετικό έλλειμμα φορτίου για τις ζώνες αυτές κυμαίνεται από $ΔH/H_{min}$=0 έως $ΔH/H_{min}$=-0.6 (κυρίως στη ζώνη 105-117), τιμές δηλαδή αντίστοιχες με εκείνες του αρχικού σεναρίου λειτουργίας. Η διαφοροποίηση έγκειται μονάχα στο γεγονός ότι παρουσιάζεται μια αύξηση του σμήνους των σημείων (περιπτώσεων) ανά υδροστόμιο με φορτίο-πίεση μικρότερο από το απαιτούμενο.

Σε αντίθεση με το παραπάνω διάγραμμα, το διάγραμμα του δείκτη αξιοπιστίας που ακολουθεί (Σχήμα 4.9) κάνει περισσότερο ευδιάκριτη την αρνητική επίδραση μιας ενδεχόμενης αύξησης κατά 10% της ειδικής παροχής στην λειτουργία των υδροστομίων των παραπάνω ζωνών. Η αξιοπιστία τους μειώνεται αισθητά καθώς όπως παρατηρούμε το εύρος τιμών της κυμαίνεται πλέον από 0.9 έως 0.5 (ή και <0.5 για κάποια υδροστόμια) ενώ κατά το αρχικό σενάριο λειτουργίας η τιμή της δεν ήταν <0.7 (κρίσιμη ζώνη) (βλ. Σχήμα 3.8).

Παράλληλα, σύμφωνα με τον Χάρτη 4 (σελ. 95) , ο αριθμός των υδροστομίων με δείκτη αξιοπιστίας από 0.5 έως 0.8 έχει αυξάνεται από 4 που ήταν στο αρχικό σενάριο σε 26.



Σχήμα 4.8: Περίσσεια-έλλειμμα φορτίου των υδροστομίων (για συνθήκες λειτουργίας $Q_{Clément}$ = 330L/s, $Z_{κεφ}$= 102,55m) / Αύξηση ειδικής συνεχούς παροχής κατά 10%.



Σχήμα 4.9: Δείκτης αξιοπιστίας του κάθε υδροστομίου (για συνθήκες λειτουργίας $Q_{Clément}$ = 330L/s, $Z_{κεφ}$= 102,55m) / Αύξηση της ειδικής συνεχούς παροχής κατά 10%.

ΤΜΗΜΑ ΤΟΕΒ ΠΑΡΑΒΟΛΑΣ - ΖΩΝΗ Α
ΓΕΝΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΔΙΚΤΥΟΥ
ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΥΔΡΟΣΤΟΜΙΩΝ

Σενάριο 3: q+10%

ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ: ΕΓΣΑ '87

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

Αντλιοστάσιο Α1
Δίκτυο_αγωγών
Ζώνη_Α_ΤΟΕΒ

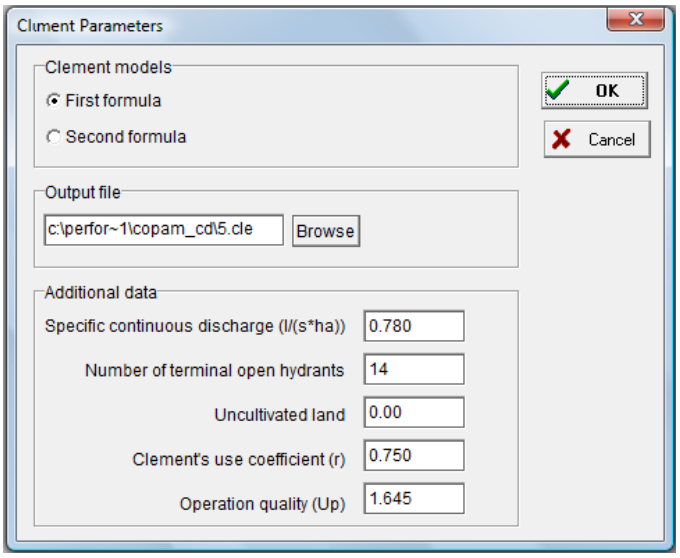
Υδροστόμια_COPAM
Reliability_Indicator
< 0.5
0.5 - 0.8
0.8 - 1.0

Χάρτης 4: Έλεγχος αξιοπιστίας υδροστομίων – Σενάριο 3°: q_0+10%

4.3.2 Αύξηση 20%

Η δεύτερη περίπτωση που εξετάστηκε αντιπροσωπεύει το υποθετικό σενάριο αύξησης των αναγκών των καλλιεργειών σε ποσοστό που να απαιτείται αύξηση της ειδικής συνεχούς παροχής κατά 20% προκειμένου να ικανοποιηθούν.

Η διερεύνηση της επίδρασης αυτής της μεταβολής στην λειτουργία του δικτύου έγινε κατά τον γνωστό τρόπο, πραγματοποιώντας ανάλυση της λειτουργίας του αντικαθιστώντας την αρχική τιμή ειδικής παροχής με την προσαυξημένη.



Εικόνα 4.4: Πίνακας εισαγωγής τιμών των παραμέτρων του μοντέλου Clément (Clément Model). Μεταβολή της ειδικής συνεχούς παροχής q = +20%.

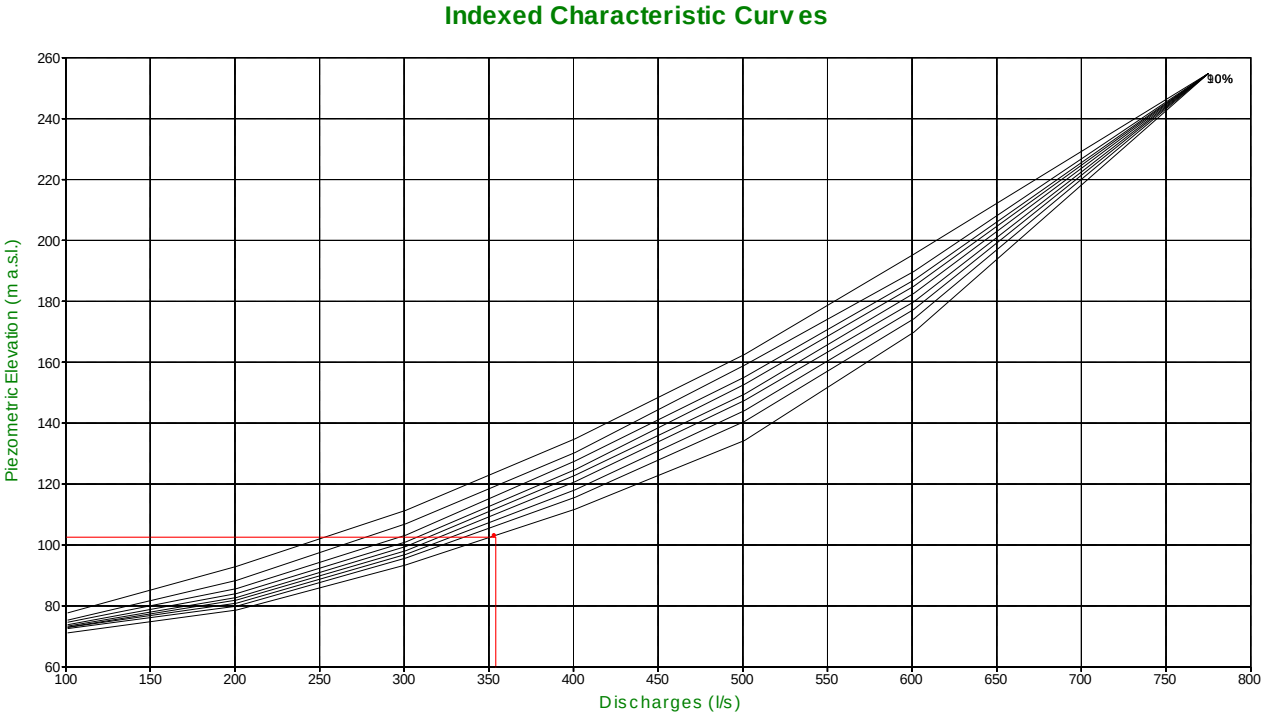
Αρχικά να σημειωθεί πως οι υπολογισμένες με βάση το μοντέλο του Clément παροχές στους αγωγούς διαφοροποιούνται από εκείνες του μηδενικού σεναρίου λειτουργίας λόγω της μεταβολής στην τιμή της παραμέτρου της ειδικής παροχής. Η παροχή στην κεφαλή του δικτύου ισούται στην περίπτωση αυτή με 354L/s.

Στον Πίνακα 9 του Παραρτήματος παρουσιάζονται αναλυτικά οι τιμές των παροχών σε όλα τα τμήματα του δικτύου για το νέο σενάριο λειτουργίας.

Εξετάζοντας την λειτουργία του δικτύου μέσω των χαρακτηριστικών καμπυλών (Σχήμα 4.10), διαπιστώνουμε εκ πρώτης όψεως ότι το δίκτυο δεν δύναται να ανταποκριθεί ικανοποιητικά στη συγκεκριμένη περίπτωση καθώς όταν καλείται η παροχή αιχμής $Q_{Clément}$=354L/s το σημείο λειτουργίας εμπίπτει σε μια χαρακτηριστική καμπύλη που βρίσκεται χαμηλότερα της C_{10}, δηλαδή ο βαθμός ικανοποίησης των ανοιχτών συνδυασμών

είναι σε επίπεδο μικρότερο του 10%. Συγκρίνοντας δε το ποσοστό αυτό με το αντίστοιχο του αρχικού σεναρίου λειτουργίας του δικτύου (50%-60%) όπου η τιμή της ειδικής παροχής ισούται με αυτήν της μελέτης σχεδιασμού, είμαστε σε θέση να εκτιμήσουμε το μέγεθος της μείωσης που θα επιφέρει στον βαθμό ικανοποίησης των συνδυασμών ανοικτών υδροστομίων μια αύξηση των αναγκών άρδευσης στην περιοχή εκφρασμένη μέσω μιας ποσοστιαίας αύξησης της ειδικής παροχής, της τάξεως του 20%.

Ο ακριβής προσδιορισμός του αριθμού και της θέσης των υδροστομίων που θα παρουσιάζουν την μεγαλύτερη δυσλειτουργία εξαιτίας μια τέτοιας αλλαγής έγινε μέσα από την ανάλυση λειτουργίας του δικτύου σε επίπεδο υδροστομίων που ακολουθεί.



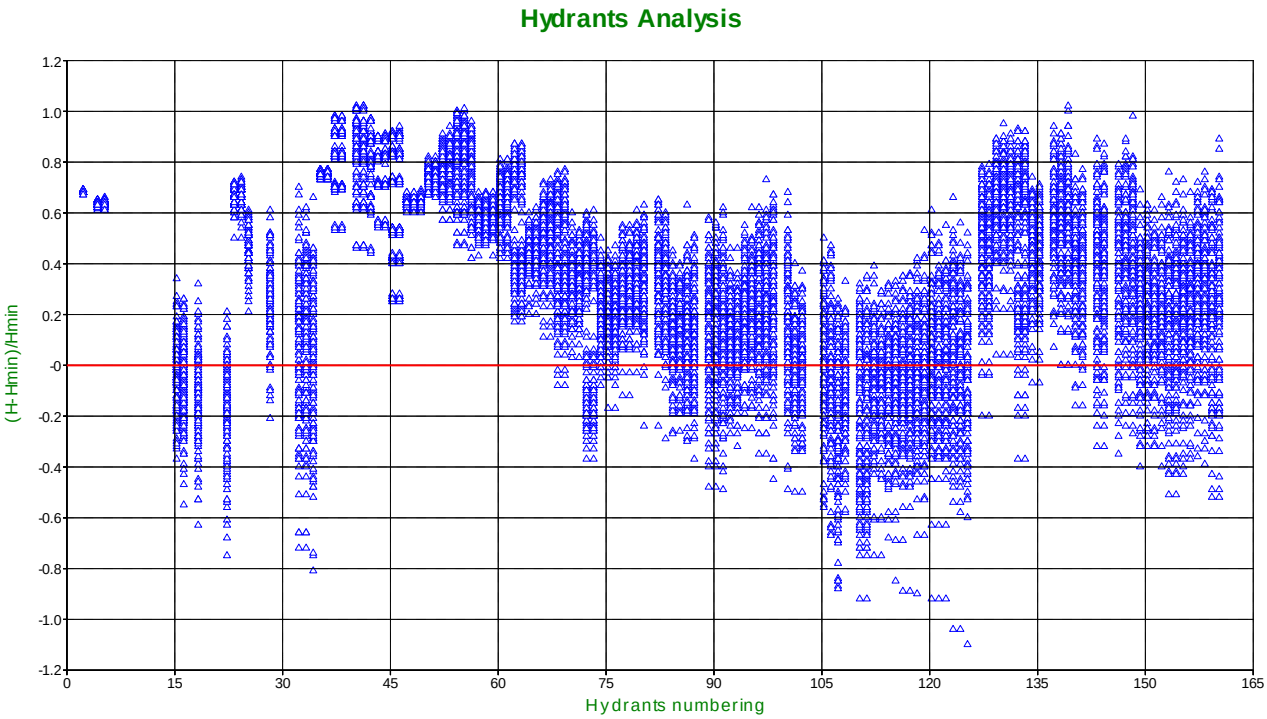
Σχήμα 4.10: Χαρακτηριστικές καμπύλες με δείκτες C_{10}, $C_{20\ \text{έως}}$ C_{90} και σημείο λειτουργίας "set point" ($Q_{\text{Clément}}$ =354L/s, $Z_{\text{κεφ}}$= 102,55m) / Αύξηση ειδικής συνεχούς παροχής κατά 20%.

Από την εξέταση της απόδοσης των υδροστομίων μέσω του διαγράμματος περίσσειας-ελλείμματος φορτίου (Σχήμα 4.11), διαπιστώνουμε ότι τα υδροστόμια που είναι πιθανό να παρουσιάσουν έλλειμμα απαρτίζουν τις ίδιες ζώνες με εκείνες που ήδη από το αρχικό σενάριο λειτουργίας είχαν χαρακτηριστεί ως πιθανές ζώνες εμφάνισης προβλημάτων. Πρόκειται για τις ζώνες με αρίθμηση υδροστομίων 15-22, 31-34, 72-73 και 105-125.

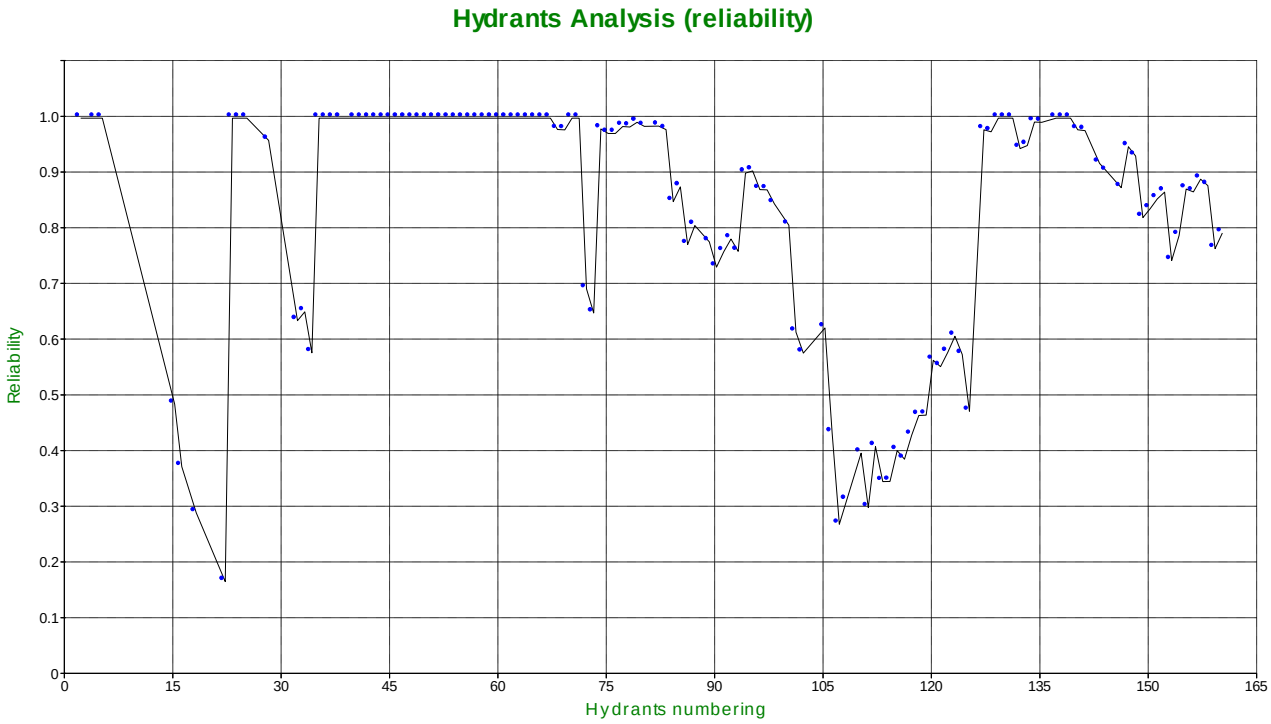
Διαφέρουν όμως ως προς το μέγεθος της κλίμακας των προβλημάτων αυτών ενώ σε κάποιες περιπτώσεις είναι πιο διευρυμένες. Το σχετικό έλλειμμα φτάνει έως την τιμή $\Delta H/H_{min}$=-0.8 για όλο και περισσότερα υδροστόμια ενώ στο σενάριο αναφοράς ο αριθμός

των υδροστομίων που εμφάνιζε το μέγιστο σχετικό έλλειμμα $\Delta H/H_{min}$=-0.6 ήταν περιορισμένος.

Οι τιμές του δείκτη αξιοπιστίας των παραπάνω υδροστομίων (Σχήμα 4.12) είναι περισσότερο ενδεικτικές της λειτουργικής κατάστασης που θα διαμορφωθεί στο δίκτυο στην περίπτωση μιας αύξησης 20% της ειδικής συνεχούς παροχής. Η τιμή 0.2 αποτελεί το κατώτατο όριο τιμών που λαμβάνει ο δείκτης, και είναι κατά πολύ μικρότερη του 0.65 που αποτελούσε την μικρότερη τιμή στο σενάριο αναφοράς, ενώ ταυτόχρονα έχει αυξηθεί αρκετά τόσο ο αριθμός των υδροστομίων των οποίων η αξιοπιστία πέφτει κάτω από το αποδεκτό όριο του 0.5 (18 υδροστόμια) όσο και εκείνων για τα οποία η τιμή του δείκτη κυμαίνεται από 0.5 έως 0.8 (23 υδροστόμια) (βλ. Χάρτης 5, σελ. 101).



Σχήμα 4.11: Περίσσεια-έλλειμμα φορτίου των υδροστομίων (για συνθήκες λειτουργίας $Q_{Clément}$ = 354L/s, $Z_{κεφ}$= 102,55m) / Αύξηση ειδικής συνεχούς παροχής κατά 20%.



Σχήμα 4.12: Δείκτης αξιοπιστίας του κάθε υδροστομίου (για συνθήκες λειτουργίας $Q_{Clément}$ = 354L/s, $Z_{κεφ}$= 102,55m) / Αύξηση ειδικής συνεχούς παροχής κατά 20%.

ΤΜΗΜΑ ΤΟΕΒ ΠΑΡΑΒΟΛΑΣ - ΖΩΝΗ Α
ΓΕΝΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΔΙΚΤΥΟΥ
ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΥΔΡΟΣΤΟΜΙΩΝ

Σενάριο 4: q+20%

ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ: ΕΓΣΑ '87

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

- Αντλιοστάσιο Α1
- Δίκτυο_αγωγών
- Ζώνη_Α_ΤΟΕΒ

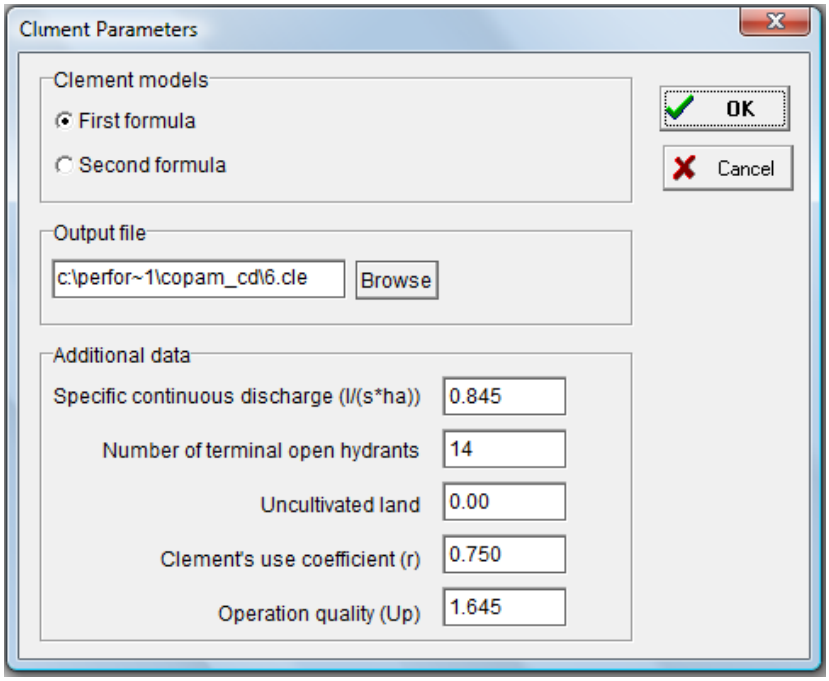
Υδροστόμια_COPAM
Reliability_Indicator

- < 0.5
- 0.5 - 0.8
- 0.8 - 1.0

Χάρτης 5: Έλεγχος αξιοπιστίας υδροστομίων – Σενάριο 4°: q_0+20%

4.3.3 Αύξηση 30%

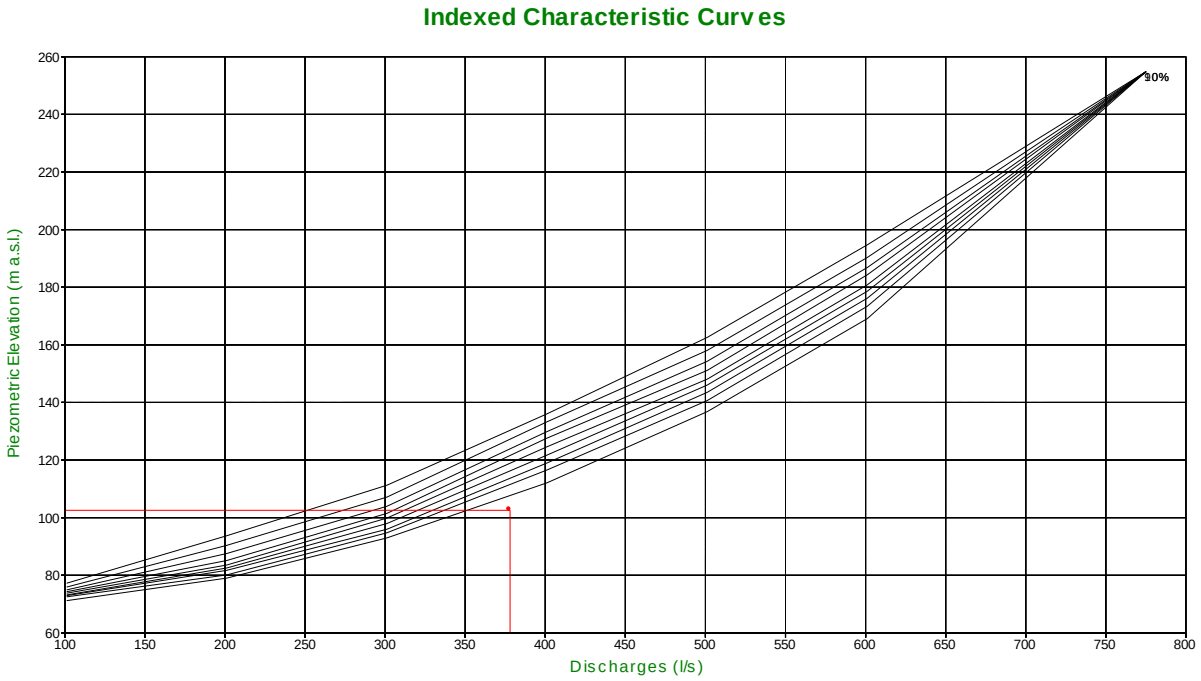
Τέλος εξετάστηκε η επίδραση στη λειτουργική απόδοση του δικτύου μιας περαιτέρω αύξησης των αναγκών των καλλιεργειών εκφρασμένης σε αντίστοιχη αύξηση της ειδικής συνεχούς παροχής ανά μονάδα εκτάσεως της τάξεως του 30%.



Εικόνα 4.5: Πίνακας εισαγωγής τιμών των παραμέτρων του μοντέλου Clément (Clément Model). Μεταβολή της ειδικής συνεχούς παροχής q = +30%.

Η ανάλυση λειτουργίας του δικτύου που πραγματοποιήθηκε με δεδομένη τη νέα τιμή της ειδικής συνεχούς παροχής και χρησιμοποιώντας την νέα τιμή παροχής στην κεφαλή η οποία υπολογίστηκε με το μοντέλο Clément (Πίνακας 10 Παραρτήματος), κατέδειξε όπως θα δούμε στη συνέχεια, ότι σε μια τόσο μεγάλη αύξηση της ζήτησης θα υπάρξει γενικό πρόβλημα στο δίκτυο.

Η διαπίστωση αυτή προκύπτει σε πρώτη φάση μέσα από την παρατήρηση των χαρακτηριστικών καμπυλών του δικτύου (Σχήμα 4.13). Όπως παρατηρούμε, όταν ζητείται η παροχή αιχμής $Q_{Clément}$=378L/s και με δεδομένο το φορτίο Z στην κεφαλή, το ποσοστό ικανοποίησης είναι πάρα πολύ χαμηλό (σε επίπεδα < 10%) καθώς το σημείο λειτουργίας "set point" εντοπίζεται εκτός και αρκετά χαμηλότερα της δέσμης των χαρακτηριστικών καμπυλών από C_{10} έως C_{90}. Αυτό σημαίνει ότι σε όλους ή σχεδόν όλους από τους "παραγόμενους" συνδυασμούς ανοιχτών υδροστομίων υπάρχουν υδροστόμια που αστοχούν.



Σχήμα 4.13: Χαρακτηριστικές καμπύλες με δείκτες C_{10},C_{20}, έως C_{90} και σημείο λειτουργίας "set point" ($Q_{Clément}$=378L/s, $Z_{κεφ}$= 102,55m) / Αύξηση ειδικής συνεχούς παροχής κατά 30%.

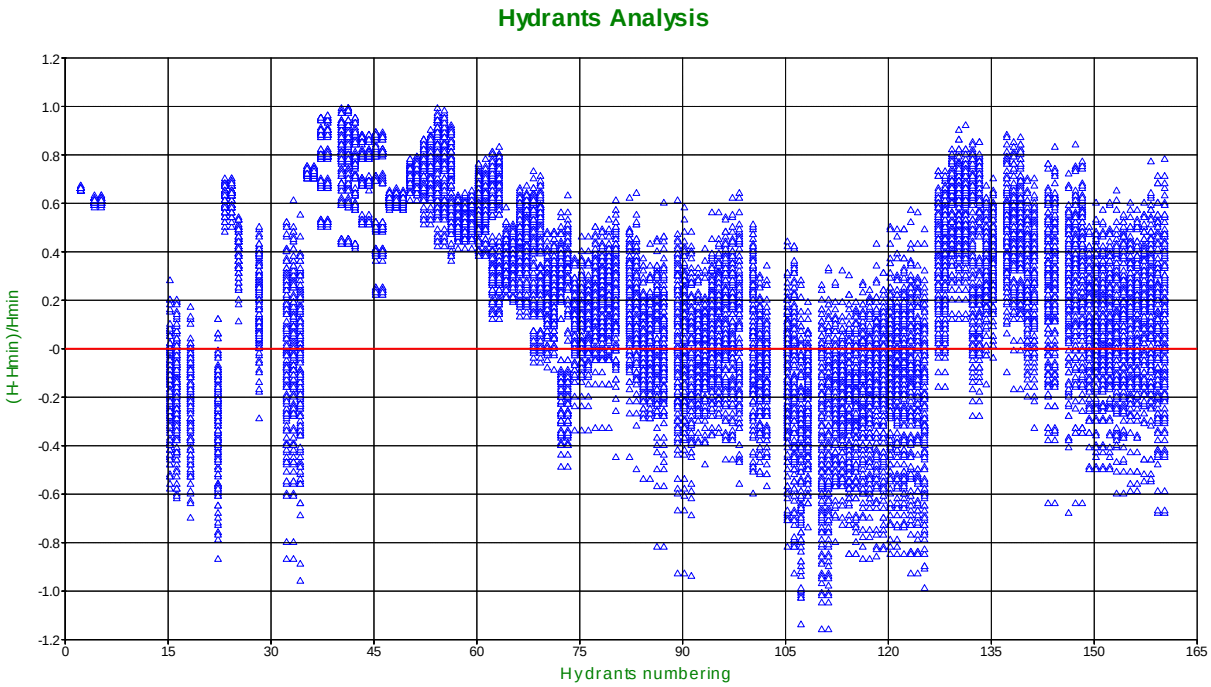
Ωστόσο, αν αναλογιστούμε ξανά τον αυστηρό περιορισμό που τίθεται για την χάραξη των χαρακτηριστικών καμπυλών, αντιλαμβανόμαστε ότι η αρχική αυτή διαπίστωση για την απόδοση του δικτύου είναι απόλυτη και πως χρειάζεται μια περισσότερο εκτενής ανάλυση προκειμένου να επιβεβαιωθεί.

Για το σκοπό αυτό δημιουργήθηκαν τα διαγράμματα σχετικού ελλείμματος-περίσσειας φορτίου και δείκτη αξιοπιστίας των υδροστομίων (Σχήματα 4.14 & 4.15).

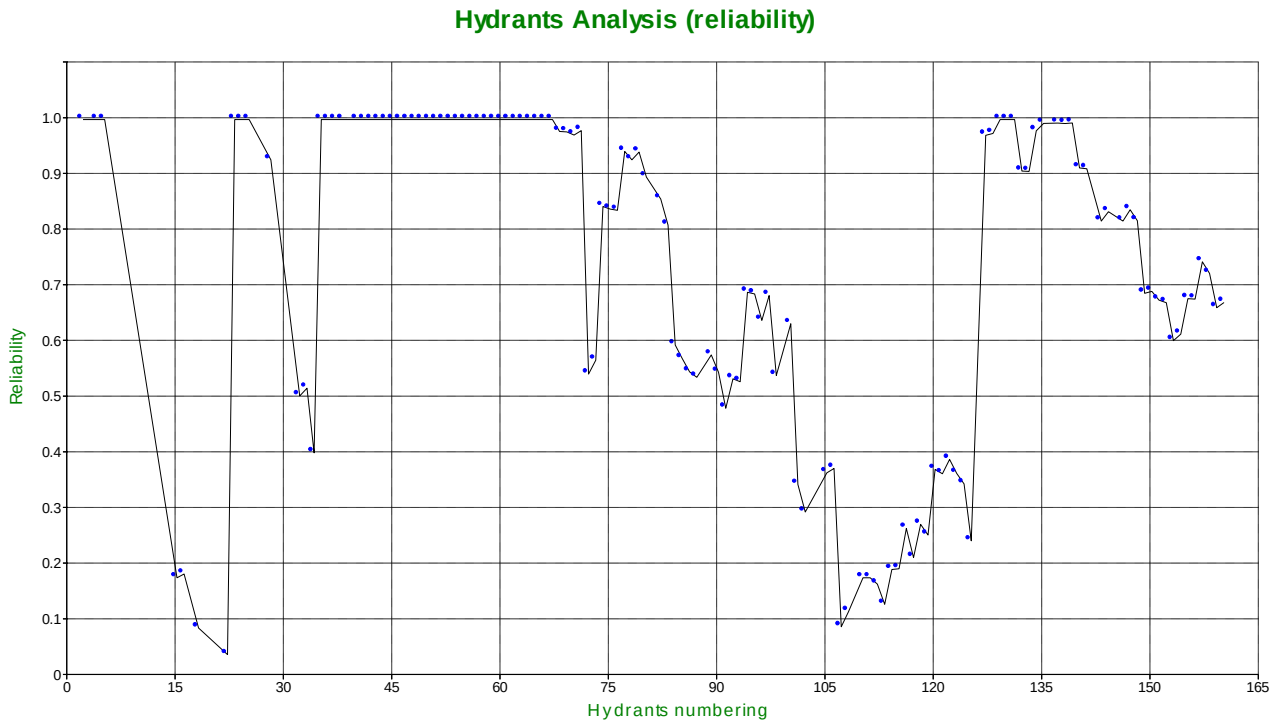
Με μια προσεκτική θεώρηση αυτών των διαγραμμάτων προκύπτει ότι το σχετικό έλλειμμα φορτίου έχει αυξηθεί για τα περισσότερα υδροστόμια των ζωνών που ήδη στα προηγούμενα σενάρια εμφάνιζαν προβλήματα λειτουργίας (μειωμένη παροχή-πίεση) φτάνοντας την τιμή $ΔH/H_{min}$=-1.0. Ταυτόχρονα κάποιες από τις ζώνες αυτές έχουν διευρυνθεί, όπως η ζώνη 105-125 η οποία περιλαμβάνει πλέον και τα υδροστόμια με αρίθμηση 84-105 ενώ κάποιες άλλες, όπως η ζώνη 149-160 εμφάνισαν για πρώτη φορά μια αισθητή ανεπάρκεια στη λειτουργία των υδροστομίων τους.

Σύμφωνα με τον Χάρτη 6 (σελ. 107) από το σύνολο των 129 υδροστομίων μόνο τα 71 από αυτά έναντι 125 στο αρχικό σενάριο λειτουργίας δεν παρουσιάζουν προβλήματα λειτουργίας με την τιμή του δείκτη αξιοπιστίας να κυμαίνεται μεταξύ 0.8 και 1. Αντιθέτως έχει αυξηθεί σε 30 ο αριθμός των υδροστομίων που παρουσιάζουν αξιοπιστία από 0.5 έως

0.8 και σε 28 ο αριθμός εκείνων για τα οποία η τιμή του δείκτη αξιοπιστίας είναι μικρότερη από 0.5, δημιουργώντας μια ευρεία προβληματική ζώνη στο δυτικό του τμήμα δικτύου που καταλαμβάνεται από τα υδροστόμια με αρίθμηση 15-22, 84-125 και μια μικρότερη στο ανατολικό τμήμα του με αρίθμηση υδροστομίων 32-34, 149-160.



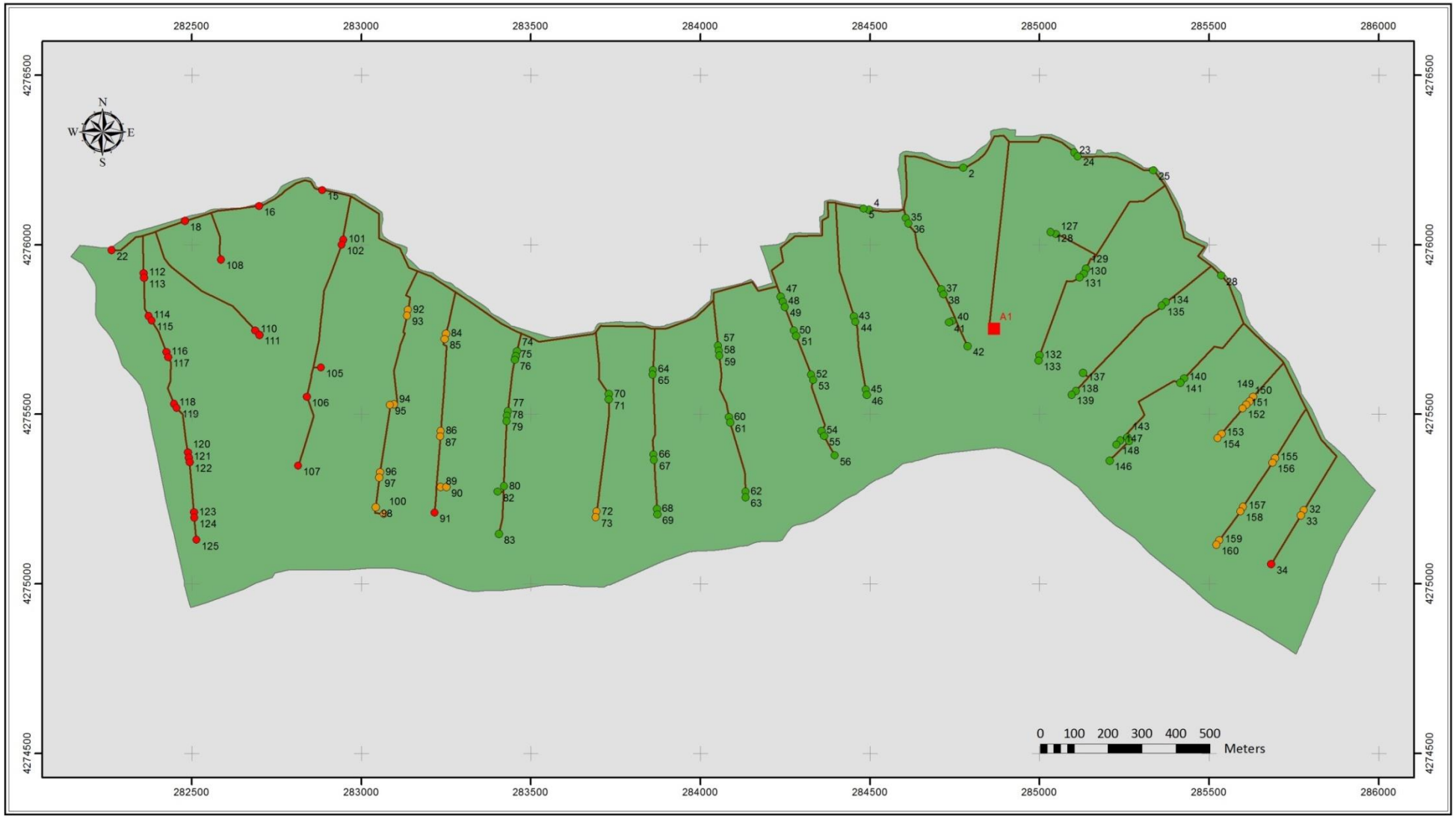
Σχήμα 4.14: Περίσσεια-έλλειμμα φορτίου των υδροστομίων (για συνθήκες λειτουργίας $Q_{Clément}$= 378L/s, $Z_{κεφ}$= 102,55m) / Αύξηση ειδικής συνεχούς παροχής κατά 30%.



Σχήμα 4.15: Δείκτης αξιοπιστίας του κάθε υδροστομίου (για συνθήκες λειτουργίας $Q_{Clément}$ = 378L/s, $Z_{κεφ}$= 102,55m) / Αύξηση ειδικής συνεχούς παροχής κατά 30%.

Οι τιμές του δείκτη αξιοπιστίας στις ζώνες 15-22 και 101-125 κυμαίνονται σε πολύ χαμηλά επίπεδα της τάξεως από 0.4 έως 0.05 ενώ για τις υπόλοιπες ζώνες οι οποίες είναι επίσης επιρρεπείς στην ύπαρξη προβλημάτων πίεσης, οι αντίστοιχες τιμές κινούνται στο εύρος μεταξύ 0.4 και 0.8.

Συγκρίνοντας τα όρια αυτών των τιμών με τα αντίστοιχα του σεναρίου αναφοράς για τα οποία κατώτατο όριο αποτελεί η τιμή 0.65 που αντιστοιχεί σε υδροστόμιο της κρίσιμης ζώνης 105-115 (Σχήμα 3.8), μπορούμε εύκολα να προσδιορίσουμε πόσο χειροτερεύει η λειτουργική απόδοση των υδροστομίων σε περίπτωση που ζητηθεί από το δίκτυο ειδική παροχή άρδευσης αυξημένη κατά 30% σε σχέση με το συμβατικό σενάριο λειτουργίας του εν λόγω δικτύου.



ΤΜΗΜΑ ΤΟΕΒ ΠΑΡΑΒΟΛΑΣ - ΖΩΝΗ Α
ΓΕΝΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΔΙΚΤΥΟΥ
ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΥΔΡΟΣΤΟΜΙΩΝ

Σενάριο 5: q+30%

ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ: ΕΓΣΑ '87

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

- Αντλιοστάσιο Α1
- Δίκτυο_αγωγών
- Ζώνη_Α_ΤΟΕΒ

Υδροστόμια_COPAM
Reliability_Indicator

- < 0.5
- 0.5 - 0.8
- 0.8 - 1.0

Χάρτης 6: Έλεγχος αξιοπιστίας υδροστομίων – Σενάριο 5°: q_0+30%

4.3.4 Αποτελέσματα

Η ανάλυση ευαισθησίας ως προς την παράμετρο της ειδικής συνεχούς παροχής που πραγματοποιήθηκε αποσκοπούσε κυρίως στο να ελεγχθεί το αν και κατά πόσο το εξεταζόμενο δίκτυο μπορεί να ανταποκριθεί ικανοποιητικά σε τρεις ενδεχόμενες μεταβολές των αναγκών σε νερό της αρδευτικής περιμέτρου που εξυπηρετεί.

Η διερεύνηση της απόδοσης του δικτύου για τα τρία σενάρια λειτουργίας υπό το καθεστώς αυξημένων απαιτήσεων σε νερό έδειξε ότι το δίκτυο πρακτικά δεν μπορεί να ανταποκριθεί ικανοποιητικά αν αυξηθούν οι αρδευτικές ανάγκες.

Εξαίρεση αποτελεί σε κάποιο βαθμό το πρώτο σενάριο αύξησης της ειδικής παροχής κατά 10% όπου τα προβλήματα που είναι πιθανό να εμφανιστούν δεν θα είναι ιδιαίτερα έντονα εκτός από μεμονωμένες υδροληψίες στις οποίες μια καλύτερη χρονική κατανομή των αρδεύσεων από τους χρήστες αρκεί για να ξεπεραστούν. Το σημείο λειτουργίας για αυτό το σενάριο εντοπίζεται μεταξύ των χαρακτηριστικών C_{20} και C_{30} αρκετά μετατοπισμένο δηλαδή από την αρχική του θέση στο σενάριο αναφοράς όπου βρισκόταν μεταξύ των χαρακτηριστικών C_{50} και C_{60}. Το μέγιστο σχετικό έλλειμμα που ενδέχεται να εμφανιστεί παίρνει την τιμή $\Delta H/H_{min}$=-0.6 ενώ ο δείκτης αξιοπιστίας των υδροστομίων δεν πέφτει κάτω από το αποδεκτό όριο του 0.5 αν εξαιρέσουμε δυο εξ αυτών (22, 107).

Για τα άλλα δυο όμως σενάρια αύξησης της ειδικής συνεχούς παροχής, κατά 20% και 30% αντίστοιχα, η κατάσταση που διαμορφώνεται στο δίκτυο διαφέρει σε μεγάλο βαθμό από την αρχική του σεναρίου αναφοράς. Και στις δυο περιπτώσεις το ποσοστό των συνδυασμών ανοιχτών υδροστομίων χωρίς προβλήματα αστοχιών όταν το δίκτυο λειτουργεί στο $Q_{Clément}$ Z_{opt} είναι μικρότερο του 10%, σημειώνοντας μείωση περίπου 50% σε σχέση με το μηδενικό σενάριο λειτουργίας. Παράλληλα το μέσο σχετικό έλλειμμα φορτίου για τα εν δυνάμει προβληματικά υδροστόμια με αρίθμηση 15-22, 31-34, 72-73 και 105-125, αυξάνεται από -0.3 που ήταν στο σενάριο αναφοράς σε -0.4 και -0.5 αντίστοιχα στα σενάρια αύξησης 20% και 30% της q_0. Την ίδια αυξητική τάση ακολουθεί και το μέγιστο εμφανιζόμενο σχετικό έλλειμμα το οποίο από -0.6 για το αρχικό σενάριο αυξάνεται σε -0.8 και -1.0 για τα άλλα δυο.

Στην πραγματικότητα όμως, το μέγεθος που δίνει σαφείς και ξεκάθαρες ενδείξεις για τις επιπτώσεις ενδεχόμενων αυξήσεων $\geq$20% της ειδικής παροχής στην απόδοση του δικτύου

είναι ο δείκτης αξιοπιστίας των υδροστομίων του. Η ελάχιστη τιμή του μειώνεται από 0.65 που ήταν στο σενάριο αναφοράς σε 0.3 (όταν $q_0'=q_0+20\%q_0$) και σε 0.1 ή < (όταν $q_0'=q_0+30\%$ q_0) ενώ ταυτόχρονα αυξάνεται ο αριθμός των υδροστομίων που παρουσιάζουν αξιοπιστία μικρότερη από 0.5, το ελάχιστο δηλαδή αποδεκτό όριο. Είναι χαρακτηριστικό δε το πώς μεταβάλλεται προοδευτικά η απόδοση πολλών υδροστομίων του δικτύου καθώς η ειδική συνεχής παροχή λαμβάνει τιμές μεγαλύτερες της αρχικής δημιουργώντας προβλήματα στους χρήστες.

Ο παρακάτω πίνακας είναι ενδεικτικός αυτής της προοδευτικής μείωσης της απόδοσης των υδροστομίων που προκαλείται από την αύξηση της ειδικής συνεχούς παροχής καθώς δίνεται συγκεντρωτικά ο αριθμός των υδροστομίων ανά κλάση τιμών του δείκτη αξιοπιστίας για τα τρία σενάρια που εξετάστηκαν και το σενάριο αναφοράς.

Πίνακας 4.3: Αριθμός υδροστομίων ανά κλάση τιμών του δείκτη αξιοπιστίας για τα σενάρια αύξησης κατά 10%, 20% και 30% της ειδικής συνεχούς παροχής και το σενάριο αναφοράς.

	Reliability Indicator		
Σενάριο	< 5	0.5-0.8	0.8-1.0
Μηδενικό	-	4	125
3°: q+10%	2	26	101
4°: q+20%	18	23	88
5°: q+30%	28	30	71

Προκειμένου να αντιμετωπιστεί μια τέτοια ενδεχόμενη κατάσταση, μια σειρά μέτρων θα πρέπει να ληφθεί από τους διαχειριστές του δικτύου.

Με βάση τα προαναφερθέντα στοιχεία ελλείμματος φορτίου των υδροστομίων όπως επίσης και της θέσης τους στην έκταση του δικτύου, μια προτεινόμενη λύση θα ήταν η αλλαγή του συστήματος διανομής και η εφαρμογή διανομής εκ περιτροπής (με πρόγραμμα) είτε σε επίπεδο αρδευτικού κλάδου, είτε σε επίπεδο υδροστομίου.

Στην πρώτη περίπτωση ο διαχειριστής θα καθορίσει ένα πρόγραμμα βάσει του οποίου για μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο θα δίνεται η απαιτούμενη παροχή σε κάποιους μόνο από τους κλάδους του δικτύου ενώ για κάποια άλλη (π.χ. την επόμενη μέρα) η παροχή αυτή θα δίνεται σε άλλη ομάδα κλάδων.

Στην δεύτερη περίπτωση, μπορεί εφαρμοστεί εναλλάξ λειτουργία των υδροστομίων (τα μισά υδροστόμια της κάθε υδροληψίας να λειτουργούν την μια μέρα και τα άλλα μισά την

επόμενη). Η μέθοδος αυτή πλεονεκτεί έναντι της λειτουργίας σε επίπεδο κλάδων καθώς επιτυγχάνεται καλύτερη κατανομή των απωλειών φορτίου στο δίκτυο.

Μια άλλη εναλλακτική λύση, η οποία όμως δεν μπορεί να βελτιώσει την απόδοση του δικτύου, θα ήταν η αποδοχή από την πλευρά των χρηστών της μειωμένης πίεσης σε ορισμένα προβληματικά υδροστόμια (που ίσως όμως τους οδηγούσε σε αλλαγή τεχνικής άρδευσης) και η διατήρηση της "ελευθερίας" που τους δίνεται ως προς το πότε θα χρησιμοποιήσουν τα υδροστόμια τους.

Η επιλογή της ενίσχυσης του δικτύου αποτελεί γενικά την ασφαλέστερη και ενδεδειγμένη λύση για την αντιμετώπιση μιας προβληματικής κατάστασης στο δίκτυο. Στις περιπτώσεις όμως που τα προβλήματα είναι μικρής κλίμακας, μπορούν να αντιμετωπιστούν έστω και προσωρινά με την εφαρμογή κάποια άλλης τεχνικής (αλλαγή της μεθόδου διανομής, άρδευσης, κ.λπ.).

Μέσα από την ανάλυση που προηγήθηκε έγινε σαφές αφενός ότι η λειτουργία του δικτύου παρουσιάζει μεγάλη ευαισθησία ως προς την παράμετρο της ειδικής συνεχούς παροχής, κάτι που θα πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπ' όψιν των μελετητών, και αφετέρου, ότι η ανάλυση οδηγεί στον ακριβή προσδιορισμό των υφιστάμενων ή ενδεχόμενων προβλημάτων του δικτύου.

Θα πρέπει ωστόσο στο σημείο αυτό να επισημάνουμε για ακόμη μια φορά την πολυπλοκότητα της λειτουργίας ενός συλλογικού αρδευτικού δικτύου υπό πίεση έτσι ώστε να γίνει σαφές ότι οι παράμετροι που υπεισέρχονται σε αυτήν είναι πολλές και μάλιστα με διαφορετική επίδραση η καθεμιά. Μπορεί για παράδειγμα η ανάλυση ευαισθησίας τόσο ως προς την παράμετρο της τραχύτητας όσο και ως προς εκείνη της ειδικής παροχής να έδειξε ότι η λειτουργία του δικτύου επηρεάζεται σημαντικά από τη μεταβολή των τιμών τους. Ωστόσο, τα σενάρια που εξετάστηκαν προέβλεπαν κάθε φορά αύξηση της τιμής μιας εκ των δύο αυτών παραμέτρων και όχι ταυτόχρονη μεταβολή των τιμών τους.

Καταλήγουμε λοιπόν στο συμπέρασμα ότι για να οδηγηθούμε σε ασφαλή αποτελέσματα σε ό,τι αφορά την λειτουργική απόδοση ενός δικτύου δεν αρκεί η μεμονωμένη θεώρηση των τιμών των παραμέτρων του αλλά θα πρέπει κάθε χρονική η ανάλυση να βασίζεται στις ισχύουσες τιμές όλων των παραμέτρων που εισέρχονται σε αυτήν.

5. Συμπεράσματα

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα βασικά συμπεράσματα που προέκυψαν μέσα από την εκπόνηση της παρούσας εργασίας και διατυπώνονται προτάσεις για περαιτέρω έρευνα. Τα συμπεράσματα αυτά κατανέμονται σε δυο επιμέρους ενότητες, όπως παρουσιάζεται στη συνέχεια.

Γενικά συμπεράσματα

1. Η ανάλυση λειτουργίας ενός αρδευτικού δικτύου με τη χρήση μοντέλων προσομοίωσης είναι ιδιαίτερα χρήσιμη καθώς επιτρέπει όχι μόνο τον εντοπισμό των προβλημάτων λειτουργίας σε τμήματα του δικτύου αλλά και την ποσοτικοποίηση τους, αποτελώντας έναν χρήσιμο οδηγό για την ορθή λήψη αποφάσεων ανάταξης.
2. Η χρησιμότητα της ανάλυσης δεν περιορίζεται μόνο στο στάδιο λειτουργίας ή μόνο στο στάδιο σχεδιασμού του δικτύου. Η εφαρμογή της αποτελεί εξίσου χρήσιμο εργαλείο τόσο στα χέρια των μελετητών όσο στα χέρια των διαχειριστών του δικτύου.
3. Οι χαρακτηριστικές καμπύλες με δείκτες οριοθετούν την καλή λειτουργία του δικτύου μέσα σε ένα μεγάλο εύρος πιθανών συνθηκών λειτουργίας δίνοντας παράλληλα μια αντιπροσωπευτική εικόνα της λειτουργικής του κατάστασης.
4. Η ανάλυση σε επίπεδο υδροστομίου έρχεται να δώσει περισσότερο ακριβείς πληροφορίες που αφορούν την θέση των υδροστομίων με λειτουργικά προβλήματα όπως και το μέγεθος των προβλημάτων αυτών, υποδεικνύοντας κατάλληλες ενέργειες αντιμετώπισής τους.
5. Για την επίτευξη μιας αξιόπιστης ανάλυσης ενός δικτύου σε λειτουργία, κρίνεται απαραίτητη η ύπαρξη ενός συστήματος παρακολούθησης που θα παρέχει μετρήσεις πίεσης και παροχής τόσο στην κεφαλή του δικτύου και ανάντη σημαντικών κλάδων όσο και στα υδροστόμια. Θα πρέπει ακόμη να καταγράφονται συστηματικά οι καλλιέργειες και να λαμβάνονται ενδεικτικές μετρήσεις της τραχύτητας των αγωγών σε όλη την έκταση του δικτύου.

Ειδικότερα, μέσα από την εφαρμογή του μοντέλου COPAM στο εξεταζόμενο δίκτυο, προέκυψε ότι:

Συμπεράσματα μελέτης εφαρμογής

1. Το συγκεκριμένο μοντέλο μπορεί να προσομοιώσει πολύ ικανοποιητικά την προβλεπόμενη λειτουργία του δικτύου, καθώς οι τιμές παροχής στην κεφαλή και στα τμήματα του δικτύου που υπολογίζονται από αυτό, είναι σχεδόν ίδιες με εκείνες της μελέτης σχεδιασμού.
2. Από την ανάλυση ευαισθησίας ως προς τις παραμέτρους γ και q_0 του μοντέλου, αποδείχθηκε ότι τα αποτελέσματα αυτού επηρεάζονται ιδιαίτερα από τις τιμές των συγκεκριμένων παραμέτρων. Αύξηση του συντελεστή τραχύτητας γ, συνεπάγεται αύξηση των γραμμικών απωλειών στους αγωγούς και αυτή με τη σειρά της μείωση της πίεσης/ φορτίου στα υδροστόμια που έχει ως συνέπεια την πτώση της απόδοσης του δικτύου για δεδομένη διαστασιολόγηση. Αντίστοιχα, σταδιακή αύξηση των αναγκών εκφρασμένων μέσω της ειδικής συνεχούς παροχής, οδηγεί σε προοδευτική μείωση της απόδοσης των υδροστομίων δημιουργώντας προβλήματα στους χρήστες.
3. Επίσης η ανάλυση ευαισθησίας που πραγματοποιήθηκε κατέδειξε πόσο σημαντική είναι η διαρκής παρακολούθηση του δικτύου και η συλλογή δεδομένων κατά τη φάση λειτουργίας του αλλά και κατά τις φάσεις ανάταξής του. Τα δεδομένα αυτά θα επιτρέψουν την βαθμονόμηση και την επαλήθευση των υπαρχόντων μοντέλων που θα βασίζεται στις ισχύουσες τιμές όλων των παραμέτρων που εισέρχονται σε αυτά, ενώ ταυτόχρονα θα συμβάλλουν στην ανάπτυξη νέων.
4. Τέλος η ανάλυση λειτουργίας ενός υφιστάμενου δικτύου φανέρωσε τις πραγματικές διαστάσεις αυτής της διαδικασίας στα πλαίσια μιας ορθής διαχείρισης των υδατικών πόρων στην ευρύτερη περιοχή. Μπορεί στην συγκεκριμένη περίπτωση να μην τίθεται θέμα διαθεσιμότητας νερού, μιας και το εξεταζόμενο δίκτυο έχει ως πηγή τροφοδοσίας την λίμνη Τριχωνίδα και ο μόνος περιοριστικός παράγοντας είναι αυτός του κόστους άντλησης. Ωστόσο, για ένα μεγάλο ποσοστό αρδευτικών δικτύων του ελληνικού χώρου σε λειτουργία, δεν υπάρχει διαθέσιμο νερό για την κάλυψη αυξημένης ζήτησης με αποτέλεσμα οι χρήστες-διαχειριστές να στρέφονται σε μη ορθολογικές μεθόδους που είτε επιβαρύνουν τους διαθέσιμους πόρους είτε απαιτούν υψηλό κόστος για την υλοποίησή τους.

Αντικείμενα μελλοντικής έρευνας

- Βελτίωση των υπαρχόντων μοντέλων προσομοίωσης της λειτουργίας των αρδευτικών δικτύων και δημιουργία νέων, προηγμένων, φιλικών προς το χρήστη μοντέλων.
- Ανάπτυξη ενός σύγχρονου εργαλείου παρακολούθησης της εξέλιξης των καλλιεργειών σε περιβάλλον GIS, βασισμένο στα στοιχεία των απογραφών των εμπλεκόμενων οργανισμών σε ετήσιο βήμα (ΤΟΕΒ, Ο.Π.Ε.Κ.Ε.Π.Ε, ΕΛ.ΣΤΑΤ.), που θα υπολογίζει τις αρδευτικές ανάγκες ενώ παράλληλα θα επιτρέπει τον προσδιορισμό των εμφανιζόμενων τάσεων και θα κατευθύνει τους διαχειριστές στην ορθή λήψη αποφάσεων επέμβασης σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα της ανάλυσης.
- Διερεύνηση της βελτίωσης που μπορεί να επιφέρουν ενέργειες ανάταξης σε υπάρχοντα αρδευτικά δίκτυα βασισμένες σε αξιόπιστη ανάλυση της λειτουργίας τους σε επίπεδο υδατικών διαμερισμάτων , που παρουσιάζουν ανεπάρκεια υδατικών πόρων (ή άνιση κατανομή ζήτησης – διαθεσιμότητας) μέσω μιας ανάλυσης κόστους – οφέλους (cost-benefit analysis).

Βιβλιογραφία - Αναφορές

Ελληνική Βιβλιογραφία

Γκαγκάκη, Α., Δέρκας, Ν., Καραντούνιας, Γ., (2005). *Ανάλυση της υδραυλικής επάρκειας συλλογικών δικτύων υπό πίεση – Πιλοτική εφαρμογή σε δίκτυο του Πηνειού Ηλείας*. 4^{ο} Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωργικής Μηχανικής Πρακτικά Αναλυτικών Περιλήψεων, Αθήνα.

Δέρκας, Ν., (1999). *Υπολογισμός παροχών σχεδιασμού σε δίκτυα ελεύθερης ζήτησης*, Σημειώσεις, ΓΠΑ, Αθήνα.

Δέρκας, Ν., (2000). *Προβλήματα λειτουργίας και διαχείρισης αρδευτικών δικτύων στην Ελλάδα. Μελέτη δύο αντιπροσωπευτικών περιπτώσεων*. Σημειώσεις Μαθημάτων ΓΠΑ. Σελ.36.

Δέρκας Ν., (2001). *Μαθηματικά Ομοιώματα για την ανάταξη και τον εκσυγχρονισμό των συλλογικών αρδευτικών δικτύων πίεσης*. Σημειώσεις, ΓΠΑ, Αθήνα.

Δέρκας, Ν., (2011). *Ανάταξη και Εκσυγχρονισμός Συλλογικών Αρδευτικών Δικτύων Υπό Πίεση*. Πρακτικά Ημερίδας. Το νερό στις προκλήσεις του 21ου αιώνα, ΓΠΑ, Αθήνα.

Δέρκας, Ν., (2013). *Σχεδιασμός και Ανάλυση Συλλογικών Αρδευτικών Δικτύων υπό Πίεση Ελεύθερης Ζήτησης*, Διπλωματική Εργασία, ΕΜΠ, Αθήνα.

Ελληνική Στατιστική Αρχή (ΕΛ.ΣΤΑΤ), (2010). *Ετήσια Γεωργική Απογραφή Έτους 2010*.

ΕΣΥΕ., 2001. *Γεωργική Στατιστική της Ελλάδας Έτους 2001*.

Ζαχαρίας, Ι. και Κουσουρής, Θ. (2001). *Μελέτη για το υδατικό ισοζύγιο της υδρολογικής λεκάνης της λίμνης Τριχωνίδας*. Εθνικό Κέντρο Θαλασσίων Ερευνών (Ε.Κ.Θ.Ε.), Ινστιτούτο Εσωτερικών Υδάτων (Ι.Ε.Υ.), Αθήνα.

Ι.Γ.Μ.Ε., 1983. *Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας 1:500.000*. Αθήνα.

Κατσίμπα, Ζ. (2009). *Βελτιστοποίηση του κόστους των αγωγών αρδευτικών δικτύων υπό πίεση με εφαρμογή της ασυνεχούς μεθόδου Labye και χρήση του προγράμματος COPAM. Εφαρμογή το αρδευτικό δίκτυο Καβασίλων Ημαθίας*. Μεταπτυχιακή Διατριβή. Τμήμα Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη.

Κουτσογιάννης κ.α., 2008. *Εθνικό Πρόγραμμα Διαχείρισης και Προστασίας των Υδατικών Πόρων, Υποστήριξη της κατάρτισης Εθνικού Προγράμματος Διαχείρισης και Προστασίας των Υδατικών Πόρων,* Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Μαριολάκος Η., Φουντούλης Ι., Θεοχάρης Δ. (2001*). Διαχείριση υδρευτικών και αρδευτικών αναγκών του νομού Αιτωλοακαρνανίας με τη χρήση συστήματος γεωγραφικών πληροφοριών*, Πρακτικά 9ουΣυνέδριου Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας, Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας, τ. XXXIV/5 σελ. 1835-1842.

Οργανισμός Πληρωμών και Ελέγχου Κοινοτικών Ενισχύσεων Προσανατολισμού και Εγγυήσεων (Ο.Π.Ε.Κ.Ε.Π.Ε.), (2014). *Χορήγηση γεωχωρικών δεδομένων για την Π.Ε. Αιτωλοακαρνανίας*, Αθήνα.

Ρίζος, Ν. (2011). *Εκτίμηση των περιβαλλοντικών συνθηκών στην λίμνη Τριχωνίδα. Πιθανές επιπτώσεις από τις κλιματικές αλλαγές*. Μεταπτυχιακή Εργασία, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα.

Στεφά, Ι. (2011). *Μορφομετρική μελέτη των αλλουβιακών ριπιδίων και των αντίστοιχων λεκανών απορροής στις βόρειες όχθες της λίμνης Τριχωνίδας του Νομού Αιτωλοακαρνανί*ας. Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Τμήμα Γεωγραφίας, Αθήνα.

Στεφοπούλου, Α. (2013). *Ανάπτυξη ομοιώματος προσομοίωσης για την ανάλυση της λειτουργίας αρδευτικών δικτύων υπό πίεση ελεύθερης ζήτησης*. Διδακτορική Διατριβή, ΓΠΑ, Αθήνα.

Τσακίρης Γ. και Δέρκας Ν. (2006). *Συλλογικά αρδευτικά δίκτυα. Στο Υδραυλικά Έργα, Σχεδιασμός&Διαχείριση. Τόμος ΙΙ: Εγγειοβελτιωτικά Έργα*. Γ. Τσακίρης (Υπεύθυνος Έκδοσης). Εκδόσεις Συμμετρία.

Υπουργείο Γεωργίας, Γενική Διεύθυνση Εγγειοβελτιωτικών Έργων και Γεωργικών Διαρθρώσεων, Διεύρυνση Τεχνικών Μελετών και Κατασκευών, (1998). *Οριστική αναμόρφωση αρδευτικών δικτύων Παραβόλας Ν. Αιτωλοακαρνανίας, Τμήμα Τ.Ο.Ε.Β. Παραβόλας, Τεχνική Έκθεση, Υδραυλικοί Υπολογισμοί, Κατά Μήκος Τομές Ζώνης Α, Γραμμικά Διαγράμματα Δικτύων Σωληνώσεων*, Αθήνα.

Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

Alperovitz, E. and Shamir, U. (1977). *Design of optimal water distribution systems. Water Resources Research*, 13, 885-900.

Bethery, J., Meunier, M., and Puech, C. (1981). *Analyse des défaillances et étude du renforcement des réseaux d'irrigation par aspersion*. Proc. XIe Cong CIID, 36, 297-324.

Bethery, J. (1990). *Réseaux collectifs ramifiés sous pression, Calcul et fonctionnement*, Études hydraulique agricole, no 6. Antony, France.

CEMAGREF, (1983). *Calcul des réseaux ramifiés sous pression*. No. 506. Antony, France.

CEMAGREF, (1990). *Logiciel XERXES-RENFORS. Notice d'utilisation*, Antony, France, 180p.

CEMAGREF, (1991). *Logiciel ICARE*. Notice d'utilisation, Antony, France, 51p.

Clément, R., (1955). *Note sur le calcul des débits dans les canalisations d' irrigation*, Journées d'etude d'irrigation, Arles, A.F.E.I.D., 21pp.

Clément, R., (1966) *Calcul des debits dans les réseaux d' irrigation fonctionnant à la demande*. Huille Blanche, No5, 553-575.

Clément, R. et Galand, A. (1979). *Irrigation par aspersion er réseaux collectives de distribution sous pression*. Editions Eyrolles, pp.182.

CTGREF., (1979). *Renforcement des réseaux ramifiés d' eau sous pression*. Cahier 33.

Dercas N., 1989. *Contribution au calcul des réseaux sous pression à la demande libre et restreinte, Proposition d' un modèle de simulation*, PhD Thesis, Université de Montpellier II, 201 pp.

Estrada, C., González, C., Aliod, R., and Paño, J. (2009). *Improved Pressurized Pipe Network Hydraulic Solver for Applications in Irrigation System*s. J. Irrig. Drain. Eng, 135(4), 421-430.

Galand A. et Jean M.. (1979). Les paramèters de conception d' un réseaux d' irrigation par aspersion, ICID Bulletin, Vol. 29 (2), pp. 34-39.

Hashimoto, T., (1980). *Robustness, Reliability, Resiliency and Vulnerability Criteria for Planning Water Resources Systems*. Ph.D. Dissertation, Cornell University.

Hashimoto, T., Sredomger J.R., and Loucks D.P. (1982). *Reliability, resilience and vulnerability criteria for water resources system performance evaluation*. Water Resour Res 18(1):14–20.

Kale, R.V., Singh, R.P. and Mahar, P.S., 2008. *Optimal design of pressurized irrigation subunit*. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 134, 137-146.

Karamanos, A., Aggelides, S., and Londra, P., (2004). *Irrigation systems performance in Greece*. 2rd Workshop on Water Saving in Mediterranean Agriculture. Hammamet, Tunisia.

Karantounias, G. et Dercas, N., (1998). *Problèmes de fonctionnement et de gestion des réseaux d'irrigation en Grèce – Expériences d; un projet pilot* , ICID Journal, vol 48, No 2, pp. 11-32.

Karmeli, D., Gadish, Y. and Meyers S., 1968. *Design of optimal water distribution networks*. Journal of Pipeline Division ASCE, 94(PL1), 1-10.

Khadra, R. and Lamaddalena, N. (2010). *Development of a Decision Support System for Irrigation Systems Analysis*. Water Resources Management 24, 3279-3297.

Koppel, T., Vassiljev, A., (2009). Calibration of a model of an operational water distribution system containing pipes of different age. Department of Mechanics, Tallinn University of Technology, Tallinn Published by Elsevier Ltd.

Labye, Y., (1961). *Méthodes Permettant de déterminer les caractéristiques optimales d'un réseau de distribution d' eau Méthode discontinue*, Bulletin Technique du génie rural.

Labye, Y. (1966). *Etude des procédés de calcul ayant pour but de rendre minimal le coût d' un réseau de distribution d' eau sous pression*. La Houille Blanche, No5.

Lamaddalena N. (1997). *Integrated simulation modeling for design and performance analysis of on-demand pressurized irrigation systems*. PhD Dissertation. Technical University of Lisbon, Lisbon.

Lamaddalena N. and Sagardoy J.A., 2000. *Performance analysis of on-demandpressurized irrigation systems*, FAO and CIHEAM-IAMB, Irrigation and Drainage Paper Paper 59, Rome, pp149.

Lamaddalena, N. and Perreira, L.S., (2007). *Pressure-driven modelling for the performance analysis of irrigation systems operating on demand*. Agric. Water Manag, 90, 36-44.

Liang T., 1971. *Design conduit system by dynamic programming*. Journal of the Hydraulics Division ASCE, 97, 383-393.

Rosseman, L.A. (2000). *EPANET User Manual*. US Environmental Protection Agency, Drinking Water Research Division, Risk Reduction Engineering Laboratory. Cincinnati.

Spiliotis, M., Tsakiris, G. (2007). *Minimum cost irrigation network design using interactive fuzzy integer programming*. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 133 (3): 242-248.

Stefopoulou, A. and Dercas, N. (2011a*). Investigation of Hydraulic Performance of Irrigation Network Kalyvion-Socha. (Prerfecture of Lakonia, Greece)*. Proc. 7th Greek Conf of the Hellenic Soc. of Agric. Eng., Greece.

Stefopoulou, A., and Dercas, N. (2011b*). Performance Analysis of Large Pressurized Irrigation Networks: Effect of Head Losses Evaluation*. Proc. VI EWRA Int Symp "Water Engineering and Management in a Changing Environment", Italy.

Tiercelin, J.R. (2006). *Traité d' irrigation*. Tec & Doc Lavoisier, Paris.

Yang K.P., Liang, T. and Wu, I.P., 1975. *Design of conduit systems with diverging branches*. Journal of the Hydraulics Division ASCE, 101, 167-188.

Παράρτημα

Πίνακας 1: Οι μέγιστες επιτρεπόμενες ταχύτητες ροής στην Ελλάδα

Απόσπασμα από το Παράρτημα της **Εγκυκλίου Δ. 22.200/ 30-7-1977/ Υ.Δ.Ε**

Οδηγίες για τον έλεγχο μελετών σωληνωτών αρδευτικών δικτύων

4. ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΕΣ ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ

Οι μέγιστες κατά εσωτερική διάμετρο επιτρεπόμενες ταχύτητες λαμβάνονται οι ίδιες για όλα τα υλικά των σωλήνων.

Οι συνήθεις τιμές τους είναι οι εξής

- μέχρι και 125 mm. ..... ταχύτητα 1,55 m/sec
- από 125 μέχρι και 175 mm. .....ταχύτητα 1,85 m/sec
- από 175 μέχρι και 350 mm. .....ταχύτητα 2,00 m/sec
- από 350 μέχρι και 450 mm. .....ταχύτητα 2,10 m/sec
- από 450 μέχρι και 600 mm. .....ταχύτητα 2,20 m/sec
- από 600 μέχρι και 800 mm. ....,.....ταχύτητα 2,30 m/sec
- από 800 μέχρι και 1000 mm. .....ταχύτητα 2,40 m/sec
- άνω των 1000 mm. .....ταχύτητα 2,50 m/sec

Οι επιτρεπόμενες ελάχιστες ταχύτητες λαμβάνονται κατά κανόνα για όλες τις διαμέτρους ίσες με 0,50 m/sec. Για διαμέτρους μεγαλύτερες των 600 mm μπορεί να γίνουν δεκτές ελάχιστες ταχύτητες ίσες με 0,70 m/sec

Πίνακας 2: Μέσες μηνιαίες και μέση ετήσια διάρκεια πραγματικής ηλιοφάνειας (hr) – Μετεωρολογικός σταθμός Αγρινίου.

Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μάιο	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ	Ετήσια
144.72	142.26	189.42	203.69	269.26	339.37	359.78	333.14	250.7	208.34	138.82	106.33	2685.8

Πίνακας 3: Μέσες μηνιαίες και μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου (knots) – Μετεωρολογικός σταθμός Αγρινίου.

Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μάιο	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ	Ετήσια
1.65	2.37	2.81	2.83	2.91	2.52	1.95	1.74	1.74	1.68	1.83	1.99	2.17

Πίνακας 3: Μέσες μηνιαίες και μέση ετήσια σχετική υγρασία (%) – Μετεωρολογικός σταθμός Αγρινίου.

Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μάιο	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ	Ετήσια
77.08	73.69	70.76	69.59	61.49	56.05	57.41	60.47	67.85	72.46	79.44	80.69	68.92

Πίνακας 4: Μέσες μηνιαίες και μέση ετήσια θερμοκρασία (^{o}C) – Μετεωρολογικός σταθμός Αγρινίου.

Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μάιο	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ	Ετήσια
8	8.9	11.2	15	20.9	25.8	27.4	27	22.5	18.3	13.2	9.2	17.3

Πίνακας 5: Μέσες μηνιαίες και μέση ετήσια βροχόπτωση (mm) – Μετεωρολογικός σταθμός Αγρινίου.

Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μάιο	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ	Ετήσια
80.6	72.4	64.6	66.6	34.4	14.6	21	32.8	54.4	83.9	140.6	156.6	822.5

	Κιν. ιξώδες ν	0.00000115	**Πίνακας 6: Υπολογισμός τιμών συντελεστή τραχύτητας γ Bazin**														
	g (m/s^2)	9.81															
	Διάμετροι (m)	**Nominal Diameter (m)**	**Nominal Diameter (mm)**	**Q (m^3/s)**	**V (m/s)**	**V=Vmax**	**V=Vmin**	**Re=V*D/v**	**K (mm)**	**f Swamee & Jain**	**Δh=f*(L/D)*(V^2/2*g)**	***γ***	**D^(-0.5)**	**[1+2*γ*D^(-0.5)]^2**	**J=0.000857*{[1+2*γ*D^(-0.5)]^2}*(Q^2)*[D^(-5)]**	**1000*J**	**Δh-(1000*J)**
Χάλυβας	0.512	0.5	500	0.306	1.56	*2.2*	*0.5*	677584.871	1	0.0238	5.889317632	***0.18***	1.414213562	2.277433765	0.005848162	5.848162186	0.041
	0.512	0.5	500	0.222	1.13	*2.2*	*0.5*	491581.181	1	0.0239	3.115415227		1.414213562	2.277433765	0.003078098	3.078098436	0.037
	0.512	0.5	500	0.210	1.07	*2.2*	*0.5*	465009.225	1	0.0239	2.790561050		1.414213562	2.277433765	0.002754325	2.754324751	0.036
	0.512	0.5	500	0.198	1.01	*2.2*	*0.5*	438437.269	1	0.0240	2.483564342		1.414213562	2.277433765	0.002448538	2.448538493	0.035
PVC																	
	0.400	0.3536	353.6	0.168	1.71	*2.1*	*0.5*	526028.535	0.1	0.0162	6.824545374	***0.07***	1.681681985	1.52630082	0.006678489	6.678489403	0.146
	0.355	0.3118	311.8	0.168	2.20	*2.1*	*0.5*	596548.076	0.1	0.0164	12.94106853	***0.07***	1.790861271	1.564301964	0.012839243	12.83924309	0.102
	0.355	0.3118	311.8	0.138	1.81	*2.1*	*0.5*	490021.634	0.1	0.0166	8.840927971		1.790861271	1.564301964	0.008663214	8.663213771	0.178
	0.355	0.3118	311.8	0.114	1.49	*2.1*	*0.5*	404800.48	0.1	0.0168	6.115975627		1.790861271	1.564301964	0.005911947	5.911947394	0.204
	0.315	0.278	278	0.072	1.19	*2.0*	*0.5*	286747.724	0.1	0.0175	4.523486308	***0.07***	1.896608105	1.601553866	0.004285124	4.285123918	0.238
	0.315	0.278	278	0.066	1.09	*2.0*	*0.5*	262852.08	0.1	0.0177	3.830554503		1.896608105	1.601553866	0.003600694	3.600694403	0.230
	0.315	0.278	278	0.06	0.99	*2.0*	*0.5*	238956.436	0.1	0.0178	3.194128398		1.896608105	1.601553866	0.00297578	2.975780498	0.218
	0.315	0.278	278	0.054	0.89	*2.0*	*0.5*	215060.793	0.1	0.0180	2.61431429		1.896608105	1.601553866	0.002410382	2.410382204	0.204
	0.315	0.278	278	0.108	1.78	*2.0*	*0.5*	430121.585	0.1	0.0170	9.863710238		1.896608105	1.601553866	0.009641529	9.641528815	0.222
	0.28	0.2472	247.2	0.084	1.75	*2.0*	*0.5*	376221.056	0.1	0.0175	11.02711298	***0.07***	2.011294967	1.642450617	0.010759433	10.75943293	0.268
	0.28	0.2472	247.2	0.054	1.13	*2.0*	*0.5*	241856.393	0.1	0.0181	4.71984776		2.011294967	1.642450617	0.0044465	4.446500342	0.273
	0.225	0.1986	198.6	0.06	1.94	*2.0*	*0.5*	334490.883	0.1	0.0182	17.53598563	***0.07***	2.243935544	1.726992788	0.017245573	17.24557289	0.290
	0.225	0.1986	198.6	0.054	1.74	*2.0*	*0.5*	301041.794	0.1	0.0183	14.30592371		2.243935544	1.726992788	0.013968914	13.96891404	0.337
	0.225	0.1986	198.6	0.048	1.55	*2.0*	*0.5*	267592.706	0.1	0.0185	11.40072281		2.243935544	1.726992788	0.011037167	11.03716665	0.364
	0.2	0.1764	176.4	0.042	1.72	*1.85*	*0.5*	263610.672	0.1	0.0189	16.10130711	***0.07***	2.380952381	1.777777778	0.015734899	15.73489945	0.366
	0.2	0.1764	176.4	0.036	1.47	*1.85*	*0.5*	225952.004	0.1	0.0191	11.96651334		2.380952381	1.777777778	0.011560334	11.56033429	0.406
	0.16	0.1412	141.2	0.03	1.92	*1.85*	*0.5*	235233.319	0.1	0.0197	26.13642944	***0.07***	2.661231477	1.883955012	0.025889304	25.88930403	0.247
	0.16	0.1412	141.2	0.024	1.53	*1.85*	*0.5*	188186.655	0.1	0.0200	16.99856386		2.661231477	1.883955012	0.016569155	16.56915458	0.429
	0.14	0.1236	123.6	0.018	1.50	*1.85*	*0.5*	161237.595	0.1	0.0207	19.23893964	***0.07***	2.84440062	1.955008225	0.018818373	18.81837278	0.421
	0.14	0.1236	123.6	0.012	1.00	*1.85*	*0.5*	107491.73	0.1	0.0215	8.866243959		2.84440062	1.955008225	0.008363721	8.363721234	0.503
	0.11	0.097	97	0.012	1.62	*1.55*	*0.5*	136968.844	0.1	0.0219	30.29243482	***0.07***	3.210806495	2.101087674	0.030194568	30.19456781	0.098
	0.11	0.097	97	0.006	0.81	*1.55*	*0.5*	68484.4219	0.1	0.0233	8.085737701		3.210806495	2.101087674	0.007548642	7.548641953	0.537
	0.09	0.0794	79.4	0.006	1.21	*1.55*	*0.5*	83664.848	0.1	0.0236	22.21566053	***0.07***	3.548867205	2.240534203	0.021904452	21.9044518	0.311

Πίνακας 7: Αντιστοίχιση αρίθμησης δικτύου (βάσει υδροληψιών) με την αρίθμηση κατά COPAM (βάσει υδροστομίων)

Α/Α Αγωγού	Αγωγός (*αρχική αρίθμηση*)	Αγωγός (*αρίθμηση Copam*)	Ανάντη κόμβος	Κατάντη κόμβος	Έκταση (ha)	Κωδικός παροχής υδροστομίου	Μήκος (m)	Υψόμετρο εδάφους κατάντη κόμβου (m)	Διάμετρος DN (mm)	Απαίτηση φορτίου κατάντη κόμβου (m)
1	K0-K100	0-1	0	1	0	0	585	36	500	35
2	K100-100	1-2	1	2	2.21	1	200	38	500	35
3	100-K101	2-3	2	3	0	0	320	40	500	35
4	K101-105	3-4	3	4	2.21	1	119	38	500	35
5		4-5	4	5	2.21	1	1	38	500	35
6	105-K103	5-6	5	6	0	0	75	38	500	35
7	K103-K104	6-7	6	7	0	0	410	37	500	35
8	K104-K105	7-8	7	8	0	0	215	37	400	35
9	K105-K106	8-9	8	9	0	0	210	37	355	35
10	K106-K107	9-10	9	10	0	0	195	36	355	35
11	K107-K108	10-11	10	11	0	0	210	35	355	35
12	K108-K110	11-12	11	12	0	0	240	35	355	35
13	K110-K112	12-13	12	13	0	0	125	35	355	35
14	K112-K114	13-14	13	14	0	0	320	35	355	35
15	K114-137	14-15	14	15	2.21	1	90	36	355	35
16	137-138	15-16	15	16	2.21	1	210	35.8	315	35
17	138-K116	16-17	16	17	0	0	125	36	315	35
18	K116-140	17-18	17	18	2.21	1	105	36	315	35
19	140-K117	18-19	18	19	0	0	54.9	36	315	35
20		19-20	19	20	0	0	15.1	36	280	35
21	K117-K118	20-21	20	21	0	0	70	36	280	35
22	K118-142	21-22	21	22	2.21	1	100	36	110	35
23	K100-150	1-23	1	23	2.21	1	224	35	315	35
24		23-24	23	24	2.21	1	1	35	315	35
25	150-151	24-25	24	25	2.21	1	230	38	315	35
26	151-K119	25-26	25	26	0	0	55	38	315	35
27	K119-K121	26-27	26	27	0	0	310	36	280	35
28	K121-158	27-28	27	28	2.21	1	35	36	280	35
29	158-K123	28-29	28	29	0	0	165	36	280	35
30	K123-K125	29-30	29	30	0	0	165	37	225	35
31	K125-K126	30-31	30	31	0	0	165	36	225	35
32	K126-168	31-32	31	32	2.21	1	379	36	140	35
33		32-33	32	33	2.21	1	1	36	140	35
34	168-169	33-34	33	34	2.21	1	170	23.5	90	35
35	K101-101	3-35	3	35	2.21	1	29	34	200	35
36		35-36	35	36	2.21	1	1	34	200	35
37	101-102	36-37	36	37	2.21	1	269	26	160	35
38		37-38	37	38	2.21	1	1	26	160	35
39	102-K102	38-39	38	39	0	0	85	24	140	35
40	K102-103	39-40	39	40	2.21	1	19	24	110	35
41		40-41	40	41	2.21	1	1	24	110	35
42	K102-104	39-42	39	42	2.21	1	85	21.8	90	35
43	K103-106	6-43	6	43	2.21	1	354	28	160	35
44		43-44	43	44	2.21	1	1	28	160	35
45	106-107	44-45	44	45	2.21	1	219	24	110	35
46		45-46	45	46	2.21	1	1	24	110	35
47	K104-108	7-47	7	47	2.21	1	18	36	225	35
48		47-48	47	48	2.21	1	1	36	225	35
49		48-49	48	49	2.21	1	1	36	225	35
50	108-109	49-50	49	50	2.21	1	139	31	200	35
51		50-51	50	51	2.21	1	1	31	200	35
52	109-110	51-52	51	52	2.21	1	139	27	160	35
53		52-53	52	53	2.21	1	1	27	160	35
54	110-111	53-54	53	54	2.21	1	179	23	140	35

Πίνακας 7 (Συνέχεια): Αντιστοίχιση αρίθμησης δικτύου (βάσει υδροληψιών) με την αρίθμηση κατά COPAM (βάσει υδροστομίων).

Α/Α Αγωγού	Αγωγός (*αρχική αρίθμηση*)	Αγωγός (*αρίθμηση Copam*)	Ανάντη κόμβος	Κατάντη κόμβος	Έκταση (ha)	Κωδικός παροχής υδροστομίου	Μήκος (m)	Υψόμετρο εδάφους κατάντη κόμβου (m)	Διάμετρος DN (mm)	Απαίτηση φορτίου κατάντη κόμβου (m)
55		54-55	54	55	2.21	1	1	23	140	35
56	111-112	55-56	55	56	2.21	1	65	22	90	35
57	K105-113	8-57	8	57	2.21	1	168	33	200	35
58		57-58	57	58	2.21	1	1	33	200	35
59		58-59	58	59	2.21	1	1	33	200	35
60	113-114	59-60	59	60	2.21	1	199	28	160	35
61		60-61	60	61	2.21	1	1	28	160	35
62	114-115	61-62	61	62	2.21	1	229	22	110	35
63		62-63	62	63	2.21	1	1	22	110	35
64	K106-116	9-64	63	64	2.21	1	134	33	200	35
65		64-65	64	65	2.21	1	1	33	200	35
66	116-117	65-66	65	66	2.21	1	259	27	160	35
67		66-67	66	67	2.21	1	1	27	160	35
68	117-118	67-68	67	68	2.21	1	164	23	110	35
69		68-69	68	69	2.21	1	1	23	110	35
70	K107-119	10-70	10	70	2.21	1	194	31.5	160	35
71		70-71	70	71	2.21	1	1	31.5	160	35
72	119-120	71-72	71	72	2.21	1	349	23	110	35
73		72-73	72	73	2.21	1	1	23	110	35
74	K108-121	11-74	11	74	2.21	1	63	33	225	35
75		74-75	74	75	2.21	1	1	33	225	35
76		75-76	75	76	2.21	1	1	33	225	35
77	121-122	76-77	76	77	2.21	1	183	28	200	35
78		77-78	77	78	2.21	1	1	28	200	35
79		78-79	78	79	2.21	1	1	28	200	35
80	122-K109	79-80	79	80	2.21	1	214	23.5	140	35
81	K109-A	80-81	80	81	0	0	1	23.5	140	35
82	A-123	81-82	81	82	2.21	1	15	23	90	35
83	A-124	81-83	81	83	2.21	1	125	19.5	90	35
84	K110-125	12-84	12	84	2.21	1	134	32	200	35
85		84-85	84	85	2.21	1	1	32	200	35
86	125-126	85-86	85	86	2.21	1	294	25.5	160	35
87		86-87	86	87	2.21	1	1	25.5	160	35
88	126-K111	87-88	87	88	0	0	150	22	140	35
89	K111-127	88-89	88	89	2.21	1	19	22	110	35
90	127-B	89-90	89	90	2.21	1	1	22	110	35
91	K111-128	88-91	88	91	2.21	1	80	20	90	35
92	K112-129	13-92	13	92	2.21	1	144	32	225	35
93		92-93	92	93	2.21	1	1	32	225	35
94	129-130	93-94	93	94	2.21	1	289	26	200	35
95		94-95	94	95	2.21	1	1	26	200	35
96	130-131	95-96	95	96	2.21	1	219	22	160	35
97		96-97	96	97	2.21	1	1	22	160	35
98	131-K113	97-98	97	98	2.21	1	114	18	110	35
99	K113-Γ	98-99	98	99	0	0	1	18	110	35
100	Γ-132	99-100	99	100	2.21	1	25	18	90	35
101	K114-133	14-101	14	101	2.21	1	134	31.5	160	35
102		101-102	101	102	2.21	1	1	31.5	160	35
103	133-K115	102-103	102	103	0	0	380	24	140	35
104	K115-134	103-104	103	104	0	0	10.8	24	110	35
105		104-105	104	105	2.21	1	14.2	24	90	35
106	K115-135	103-106	103	106	2.21	1	90	22.8	110	35
107	135-136	106-107	106	107	2.21	1	215	20	90	35

Πίνακας 7 (Συνέχεια): Αντιστοίχιση αρίθμησης δικτύου (βάσει υδροληψιών) με την αρίθμηση κατά COPAM (βάσει υδροστομίων).

Α/Α Αγωγού	Αγωγός (*αρχική αρίθμηση*)	Αγωγός (*αρίθμηση Copam*)	Ανάντη κόμβος	Κατάντη κόμβος	Έκταση (ha)	Κωδικός παροχής υδροστομίου	Μήκος (m)	Υψόμετρο εδάφους κατάντη κόμβου (m)	Διάμετρος DN (mm)	Απαίτηση φορτίου κατάντη κόμβου (m)
108	Κ116-139	17-108	17	108	2.21	1	120	30	90	35
109	Κ117-141	20-109	20	109	0	0	90	25	140	35
110		109-110	109	110	2.21	1	339	25	110	35
111		110-111	110	111	2.21	1	1	25	110	35
112	Κ118-143	21-112	21	112	2.21	1	99	32.5	225	35
113		112-113	112	113	2.21	1	1	32.5	225	35
114	143-144	113-114	113	114	2.21	1	134	31	225	35
115		114-115	114	115	2.21	1	1	31	225	35
116	144-145	115-116	115	116	2.21	1	114	29	225	35
117		116-117	116	117	2.21	1	1	29	225	35
118	145-146	117-118	117	118	2.21	1	154	26.5	225	35
119		118-119	118	119	2.21	1	1	26.5	225	35
120	146-147	119-120	119	120	2.21	1	178	23.3	200	35
121		120-121	120	121	2.21	1	1	23.3	200	35
122		121-122	121	122	2.21	1	1	23.3	200	35
123	147-148	122-123	122	123	2.21	1	169	20.5	140	35
124		123-124	123	124	2.21	1	1	20.5	140	35
125	148-149	124-125	124	125	2.21	1	65	19.5	90	35
126	Κ119-Κ120	26-126	26	126	0	0	310	27.5	200	35
127	Κ120-152	126-127	126	127	2.21	1	169	27.5	110	35
128		127-128	127	128	2.21	1	1	27.5	100	35
129	Κ120-153	126-129	126	129	2.21	1	178	25.5	160	35
130		129-130	129	130	2.21	1	1	25.5	160	35
131		130-131	130	131	2.21	1	1	25.5	160	35
132	153-154	131-132	131	132	2.21	1	309	20	110	35
133		132-133	132	133	2.21	1	1	20	110	35
134	Κ121-155	27-134	27	134	2.21	1	184	30	200	35
135		134-135	134	135	2.21	1	1	30	200	35
136	155-Κ122	135-136	135	136	0	0	305	22	160	35
137	Κ122-156	136-137	136	137	2.21	1	20	22	110	35
138	Κ122-157	136-138	136	138	2.21	1	74	20	110	35
139		138-139	138	139	2.21	1	1	20	110	35
140	Κ123-159	29-140	29	140	2.21	1	269	27.2	200	35
141		140-141	140	141	2.21	1	1	27.2	200	35
142	159-Κ124	141-142	141	142	0	0	270	22.5	160	35
143	Κ124-160	142-143	142	143	2.21	1	18	22.5	140	35
144		143-144	143	144	2.21	1	1	22.5	140	35
145	160-Δ	144-145	144	145	0	0	1	22.5	140	35
146	Δ-161	145-146	145	146	2.21	1	80	20	90	35
147	Κ124-162	142-147	142	147	2.21	1	34	21	110	35
148		147-148	147	148	2.21	1	1	21	110	35
149	Κ125-163	30-149	30	149	2.21	1	177	31.5	200	35
150		149-150	149	150	2.21	1	1	31.5	200	35
151		150-151	150	151	2.21	1	1	31.5	200	35
152		151-152	151	152	2.21	1	1	31.5	200	35
153	163-164	152-153	152	153	2.21	1	114	28	110	35
154		153-154	153	154	2.21	1	1	28	110	35
155	Κ126-165	31-155	31	155	2.21	1	184	30.5	200	35
156		155-156	155	156	2.21	1	1	30.5	200	35
157	165-166	156-157	156	157	2.21	1	174	25.5	160	35
158		157-158	157	158	2.21	1	1	25.5	160	35
159	166-167	158-159	158	159	2.21	1	124	22	110	35
160		159-160	159	160	2.21	1	1	22	110	35

Πίνακας 8: Παροχές σε κάθε τμήμα του υπό μελέτη δικτύου (output file of the Copam package) Υπολογισμός με τον τύπο του Clément / Αύξηση ειδικής συνεχούς παροχής κατά 10%.

Section Number	Initial Node	Final Node	Hydrants Number	Area (ha)	1st Clement discharge (l/s)
1	0	1	**129**	285.09	**330**
2	1	2	91	201.11	240
3	2	3	90	198.9	240
4	3	4	83	183.43	222
5	4	5	82	181.22	216
6	5	6	81	179.01	216
7	6	7	77	170.17	204
8	7	8	67	148.07	180
9	8	9	60	132.6	168
10	9	10	54	119.34	150
11	10	11	50	110.5	144
12	11	12	41	90.61	120
13	12	13	34	75.14	102
14	13	14	26	57.46	84
15	14	15	21	46.41	84
16	15	16	20	44.2	84
17	16	17	19	41.99	84
18	17	18	18	39.78	84
19	18	19	17	37.57	84
20	19	20	17	37.57	84
21	20	21	15	33.15	84
22	21	22	1	2.21	6
23	1	23	38	83.98	114
24	23	24	37	81.77	108
25	24	25	36	79.56	108
26	25	26	35	77.35	102
27	26	27	28	61.88	84
28	27	28	23	50.83	84
29	28	29	22	48.62	84
30	29	30	15	33.15	84
31	30	31	9	19.89	54
32	31	32	3	6.63	18
33	32	33	2	4.42	12
34	33	34	1	2.21	6
35	3	35	7	15.47	42
36	35	36	6	13.26	36
37	36	37	5	11.05	30
38	37	38	4	8.84	24
39	38	39	3	6.63	18
40	39	40	2	4.42	12
41	40	41	1	2.21	6
42	39	42	1	2.21	6
43	6	43	4	8.84	24
44	43	44	3	6.63	18
45	44	45	2	4.42	12
46	45	46	1	2.21	6
47	7	47	10	22.1	60
48	47	48	9	19.89	54
49	48	49	8	17.68	48
50	49	50	7	15.47	42
51	50	51	6	13.26	36
52	51	52	5	11.05	30
53	52	53	4	8.84	24
54	53	54	3	6.63	18
55	54	55	2	4.42	12
56	55	56	1	2.21	6
57	8	57	7	15.47	42

Πίνακας 8 (Συνέχεια): Παροχές σε κάθε τμήμα του υπό μελέτη δικτύου (output file of the Copam package) Υπολογισμός με τον τύπο του Clément / Αύξηση ειδικής συνεχούς παροχής κατά 10%.

Section Number	Initial Node	Final Node	Hydrants Number	Area (ha)	1st Clement discharge (L/s)
58	57	58	6	13.26	36
59	58	59	5	11.05	30
60	59	60	4	8.84	24
61	60	61	3	6.63	18
62	61	62	2	4.42	12
63	62	63	1	2.21	6
64	9	64	6	13.26	36
65	64	65	5	11.05	30
66	65	66	4	8.84	24
67	66	67	3	6.63	18
68	67	68	2	4.42	12
69	68	69	1	2.21	6
70	10	70	4	8.84	24
71	70	71	3	6.63	18
72	71	72	2	4.42	12
73	72	73	1	2.21	6
74	11	74	9	19.89	54
75	74	75	8	17.68	48
76	75	76	7	15.47	42
77	76	77	6	13.26	36
78	77	78	5	11.05	30
79	78	79	4	8.84	24
80	79	80	3	6.63	18
81	80	81	2	4.42	12
82	81	82	1	2.21	6
83	81	83	1	2.21	6
84	12	84	7	15.47	42
85	84	85	6	13.26	36
86	85	86	5	11.05	30
87	86	87	4	8.84	24
88	87	88	3	6.63	18
89	88	89	2	4.42	12
90	89	90	1	2.21	6
91	88	91	1	2.21	6
92	13	92	8	17.68	48
93	92	93	7	15.47	42
94	93	94	6	13.26	36
95	94	95	5	11.05	30
96	95	96	4	8.84	24
97	96	97	3	6.63	18
98	97	98	2	4.42	12
99	98	99	1	2.21	6
100	99	100	1	2.21	6
101	14	101	5	11.05	30
102	101	102	4	8.84	24
103	102	103	3	6.63	18
104	103	104	1	2.21	6
105	104	105	1	2.21	6
106	103	106	2	4.42	12
107	106	107	1	2.21	6
108	17	108	1	2.21	6
109	20	109	2	4.42	12
110	109	110	2	4.42	12
111	110	111	1	2.21	6
112	21	112	14	30.94	84
113	112	113	13	28.73	78
114	113	114	12	26.52	72
115	114	115	11	24.31	66
116	115	116	10	22.1	60

Πίνακας 8 (Συνέχεια): Παροχές σε κάθε τμήμα του υπό μελέτη δικτύου (output file of the Copam package) Υπολογισμός με τον τύπο του Clément / Αύξηση ειδικής συνεχούς παροχής κατά 10%.

Section Number	Initial Node	Final Node	Hydrants Number	Area (ha)	1st Clement discharge (L/s)
117	116	117	9	19.89	54
118	117	118	8	17.68	48
119	118	119	7	15.47	42
120	119	120	6	13.26	36
121	120	121	5	11.05	30
122	121	122	4	8.84	24
123	122	123	3	6.63	18
124	123	124	2	4.42	12
125	124	125	1	2.21	6
126	26	126	7	15.47	42
127	126	127	2	4.42	12
128	127	128	1	2.21	6
129	126	129	5	11.05	30
130	129	130	4	8.84	24
131	130	131	3	6.63	18
132	131	132	2	4.42	12
133	132	133	1	2.21	6
134	27	134	5	11.05	30
135	134	135	4	8.84	24
136	135	136	3	6.63	18
137	136	137	1	2.21	6
138	136	138	2	4.42	12
139	138	139	1	2.21	6
140	29	140	7	15.47	42
141	140	141	6	13.26	36
142	141	142	5	11.05	30
143	142	143	3	6.63	18
144	143	144	2	4.42	12
145	144	145	1	2.21	6
146	145	146	1	2.21	6
147	142	147	2	4.42	12
148	147	148	1	2.21	6
149	30	149	6	13.26	36
150	149	150	5	11.05	30
151	150	151	4	8.84	24
152	151	152	3	6.63	18
153	152	153	2	4.42	12
154	153	154	1	2.21	6
155	31	155	6	13.26	36
156	155	156	5	11.05	30
157	156	157	4	8.84	24
158	157	158	3	6.63	18
159	158	159	2	4.42	12
160	159	160	1	2.21	6

Πίνακας 9: Παροχές σε κάθε τμήμα του υπό μελέτη δικτύου (output file of the Copam package)
Υπολογισμός με τον τύπο του Clément / Αύξηση ειδικής συνεχούς παροχής κατά 20%.

Section Number	Initial Node	Final Node	Hydrants Number	Area (ha)	1st Clement discharge (L/s)
1	0	1	**129**	285.09	**354**
2	1	2	91	201.11	258
3	2	3	90	198.9	252
4	3	4	83	183.43	234
5	4	5	82	181.22	234
6	5	6	81	179.01	234
7	6	7	77	170.17	222
8	7	8	67	148.07	192
9	8	9	60	132.6	180
10	9	10	54	119.34	162
11	10	11	50	110.5	150
12	11	12	41	90.61	126
13	12	13	34	75.14	108
14	13	14	26	57.46	84
15	14	15	21	46.41	84
16	15	16	20	44.2	84
17	16	17	19	41.99	84
18	17	18	18	39.78	84
19	18	19	17	37.57	84
20	19	20	17	37.57	84
21	20	21	15	33.15	84
22	21	22	1	2.21	6
23	1	23	38	83.98	120
24	23	24	37	81.77	114
25	24	25	36	79.56	114
26	25	26	35	77.35	114
27	26	27	28	61.88	90
28	27	28	23	50.83	84
29	28	29	22	48.62	84
30	29	30	15	33.15	84
31	30	31	9	19.89	54
32	31	32	3	6.63	18
33	32	33	2	4.42	12
34	33	34	1	2.21	6
35	3	35	7	15.47	42
36	35	36	6	13.26	36
37	36	37	5	11.05	30
38	37	38	4	8.84	24
39	38	39	3	6.63	18
40	39	40	2	4.42	12
41	40	41	1	2.21	6
42	39	42	1	2.21	6
43	6	43	4	8.84	24
44	43	44	3	6.63	18
45	44	45	2	4.42	12
46	45	46	1	2.21	6
47	7	47	10	22.1	60
48	47	48	9	19.89	54
49	48	49	8	17.68	48
50	49	50	7	15.47	42
51	50	51	6	13.26	36
52	51	52	5	11.05	30
53	52	53	4	8.84	24
54	53	54	3	6.63	18
55	54	55	2	4.42	12
56	55	56	1	2.21	6
57	8	57	7	15.47	42
58	57	58	6	13.26	36
59	58	59	5	11.05	30
60	59	60	4	8.84	24
61	60	61	3	6.63	18
62	61	62	2	4.42	12
63	62	63	1	2.21	6
64	9	64	6	13.26	36
65	64	65	5	11.05	30
66	65	66	4	8.84	24

Πίνακας 9 (Συνέχεια): Παροχές σε κάθε τμήμα του υπό μελέτη δικτύου (output file of the Copam package) Υπολογισμός με τον τύπο του Clément / Αύξηση ειδικής συνεχούς παροχής κατά 20%.

Section Number	Initial Node	Final Node	Hydrants Number	Area (ha)	1st Clement discharge (L/s)
67	66	67	3	6.63	18
68	67	68	2	4.42	12
69	68	69	1	2.21	6
70	10	70	4	8.84	24
71	70	71	3	6.63	18
72	71	72	2	4.42	12
73	72	73	1	2.21	6
74	11	74	9	19.89	54
75	74	75	8	17.68	48
76	75	76	7	15.47	42
77	76	77	6	13.26	36
78	77	78	5	11.05	30
79	78	79	4	8.84	24
80	79	80	3	6.63	18
81	80	81	2	4.42	12
82	81	82	1	2.21	6
83	81	83	1	2.21	6
84	12	84	7	15.47	42
85	84	85	6	13.26	36
86	85	86	5	11.05	30
87	86	87	4	8.84	24
88	87	88	3	6.63	18
89	88	89	2	4.42	12
90	89	90	1	2.21	6
91	88	91	1	2.21	6
92	13	92	8	17.68	48
93	92	93	7	15.47	42
94	93	94	6	13.26	36
95	94	95	5	11.05	30
96	95	96	4	8.84	24
97	96	97	3	6.63	18
98	97	98	2	4.42	12
99	98	99	1	2.21	6
100	99	100	1	2.21	6
101	14	101	5	11.05	30
102	101	102	4	8.84	24
103	102	103	3	6.63	18
104	103	104	1	2.21	6
105	104	105	1	2.21	6
106	103	106	2	4.42	12
107	106	107	1	2.21	6
108	17	108	1	2.21	6
109	20	109	2	4.42	12
110	109	110	2	4.42	12
111	110	111	1	2.21	6
112	21	112	14	30.94	84
113	112	113	13	28.73	78
114	113	114	12	26.52	72
115	114	115	11	24.31	66
116	115	116	10	22.1	60
117	116	117	9	19.89	54
118	117	118	8	17.68	48
119	118	119	7	15.47	42
120	119	120	6	13.26	36
121	120	121	5	11.05	30
122	121	122	4	8.84	24
123	122	123	3	6.63	18
124	123	124	2	4.42	12
125	124	125	1	2.21	6
126	26	126	7	15.47	42
127	126	127	2	4.42	12
128	127	128	1	2.21	6
129	126	129	5	11.05	30
130	129	130	4	8.84	24
131	130	131	3	6.63	18
132	131	132	2	4.42	12

Πίνακας 9 (Συνέχεια): Παροχές σε κάθε τμήμα του υπό μελέτη δικτύου (output file of the Copam package) Υπολογισμός με τον τύπο του Clément / Αύξηση ειδικής συνεχούς παροχής κατά 20%.

Section Number	Initial Node	Final Node	Hydrants Number	Area (ha)	1st Clement discharge (L/s)
133	132	133	1	2.21	6
134	27	134	5	11.05	30
135	134	135	4	8.84	24
136	135	136	3	6.63	18
137	136	137	1	2.21	6
138	136	138	2	4.42	12
139	138	139	1	2.21	6
140	29	140	7	15.47	42
141	140	141	6	13.26	36
142	141	142	5	11.05	30
143	142	143	3	6.63	18
144	143	144	2	4.42	12
145	144	145	1	2.21	6
146	145	146	1	2.21	6
147	142	147	2	4.42	12
148	147	148	1	2.21	6
149	30	149	6	13.26	36
150	149	150	5	11.05	30
151	150	151	4	8.84	24
152	151	152	3	6.63	18
153	152	153	2	4.42	12
154	153	154	1	2.21	6
155	31	155	6	13.26	36
156	155	156	5	11.05	30
157	156	157	4	8.84	24
158	157	158	3	6.63	18
159	158	159	2	4.42	12
160	159	160	1	2.21	6

Πίνακας 10: Παροχές σε κάθε τμήμα του υπό μελέτη δικτύου (output file of the Copam package) Υπολογισμός με τον τύπο του Clément / Αύξηση ειδικής συνεχούς παροχής κατά 30%.

Section Number	Initial Node	Final Node	Hydrants Number	Area (ha)	1st Clement discharge (L/s)
1	0	1	**129**	285.09	**378**
2	1	2	91	201.11	276
3	2	3	90	198.9	276
4	3	4	83	183.43	252
5	4	5	82	181.22	252
6	5	6	81	179.01	246
7	6	7	77	170.17	234
8	7	8	67	148.07	210
9	8	9	60	132.6	186
10	9	10	54	119.34	174
11	10	11	50	110.5	162
12	11	12	41	90.61	132
13	12	13	34	75.14	114
14	13	14	26	57.46	90
15	14	15	21	46.41	84
16	15	16	20	44.2	84
17	16	17	19	41.99	84
18	17	18	18	39.78	84
19	18	19	17	37.57	84
20	19	20	17	37.57	84
21	20	21	15	33.15	84
22	21	22	1	2.21	6
23	1	23	38	83.98	126
24	23	24	37	81.77	126
25	24	25	36	79.56	120
26	25	26	35	77.35	120
27	26	27	28	61.88	96
28	27	28	23	50.83	84
29	28	29	22	48.62	84
30	29	30	15	33.15	84
31	30	31	9	19.89	54
32	31	32	3	6.63	18
33	32	33	2	4.42	12
34	33	34	1	2.21	6
35	3	35	7	15.47	42
36	35	36	6	13.26	36
37	36	37	5	11.05	30
38	37	38	4	8.84	24
39	38	39	3	6.63	18
40	39	40	2	4.42	12
41	40	41	1	2.21	6
42	39	42	1	2.21	6
43	6	43	4	8.84	24
44	43	44	3	6.63	18
45	44	45	2	4.42	12
46	45	46	1	2.21	6
47	7	47	10	22.1	60
48	47	48	9	19.89	54
49	48	49	8	17.68	48
50	49	50	7	15.47	42
51	50	51	6	13.26	36
52	51	52	5	11.05	30
53	52	53	4	8.84	24
54	53	54	3	6.63	18
55	54	55	2	4.42	12
56	55	56	1	2.21	6
57	8	57	7	15.47	42
58	57	58	6	13.26	36
59	58	59	5	11.05	30
60	59	60	4	8.84	24
61	60	61	3	6.63	18
62	61	62	2	4.42	12
63	62	63	1	2.21	6
64	9	64	6	13.26	36
65	64	65	5	11.05	30
66	65	66	4	8.84	24

Πίνακας 10 (Συνέχεια): Παροχές σε κάθε τμήμα του υπό μελέτη δικτύου (output file of the Copam package) Υπολογισμός με τον τύπο του Clément / Αύξηση ειδικής συνεχούς παροχής κατά 30%.

Section Number	Initial Node	Final Node	Hydrants Number	Area (ha)	1st Clement discharge (L/s)
67	66	67	3	6.63	18
68	67	68	2	4.42	12
69	68	69	1	2.21	6
70	10	70	4	8.84	24
71	70	71	3	6.63	18
72	71	72	2	4.42	12
73	72	73	1	2.21	6
74	11	74	9	19.89	54
75	74	75	8	17.68	48
76	75	76	7	15.47	42
77	76	77	6	13.26	36
78	77	78	5	11.05	30
79	78	79	4	8.84	24
80	79	80	3	6.63	18
81	80	81	2	4.42	12
82	81	82	1	2.21	6
83	81	83	1	2.21	6
84	12	84	7	15.47	42
85	84	85	6	13.26	36
86	85	86	5	11.05	30
87	86	87	4	8.84	24
88	87	88	3	6.63	18
89	88	89	2	4.42	12
90	89	90	1	2.21	6
91	88	91	1	2.21	6
92	13	92	8	17.68	48
93	92	93	7	15.47	42
94	93	94	6	13.26	36
95	94	95	5	11.05	30
96	95	96	4	8.84	24
97	96	97	3	6.63	18
98	97	98	2	4.42	12
99	98	99	1	2.21	6
100	99	100	1	2.21	6
101	14	101	5	11.05	30
102	101	102	4	8.84	24
103	102	103	3	6.63	18
104	103	104	1	2.21	6
105	104	105	1	2.21	6
106	103	106	2	4.42	12
107	106	107	1	2.21	6
108	17	108	1	2.21	6
109	20	109	2	4.42	12
110	109	110	2	4.42	12
111	110	111	1	2.21	6
112	21	112	14	30.94	84
113	112	113	13	28.73	78
114	113	114	12	26.52	72
115	114	115	11	24.31	66
116	115	116	10	22.1	60
117	116	117	9	19.89	54
118	117	118	8	17.68	48
119	118	119	7	15.47	42
120	119	120	6	13.26	36
121	120	121	5	11.05	30
122	121	122	4	8.84	24
123	122	123	3	6.63	18
124	123	124	2	4.42	12
125	124	125	1	2.21	6
126	26	126	7	15.47	42
127	126	127	2	4.42	12
128	127	128	1	2.21	6
129	126	129	5	11.05	30
130	129	130	4	8.84	24
131	130	131	3	6.63	18
132	131	132	2	4.42	12

Πίνακας 10 (Συνέχεια): Παροχές σε κάθε τμήμα του υπό μελέτη δικτύου (output file of the Copam package) Υπολογισμός με τον τύπο του Clément / Αύξηση ειδικής συνεχούς παροχής κατά 30%.

Section Number	Initial Node	Final Node	Hydrants Number	Area (ha)	1st Clement discharge (L/s)
133	132	133	1	2.21	6
134	27	134	5	11.05	30
135	134	135	4	8.84	24
136	135	136	3	6.63	18
137	136	137	1	2.21	6
138	136	138	2	4.42	12
139	138	139	1	2.21	6
140	29	140	7	15.47	42
141	140	141	6	13.26	36
142	141	142	5	11.05	30
143	142	143	3	6.63	18
144	143	144	2	4.42	12
145	144	145	1	2.21	6
146	145	146	1	2.21	6
147	142	147	2	4.42	12
148	147	148	1	2.21	6
149	30	149	6	13.26	36
150	149	150	5	11.05	30
151	150	151	4	8.84	24
152	151	152	3	6.63	18
153	152	153	2	4.42	12
154	153	154	1	2.21	6
155	31	155	6	13.26	36
156	155	156	5	11.05	30
157	156	157	4	8.84	24
158	157	158	3	6.63	18
159	158	159	2	4.42	12
160	159	160	1	2.21	6

Πίνακας 11: Τυχαίες κατανομές ανοιχτών υδροστομίων για εξεταζόμενη παροχή στην κεφαλή, Q=200L/s.

61 108 78 133 86 153 124 45 55 50 4 106 159 2 116 94 15 54 120 60 157 90 160 75 28 42 38 154 114 22 130 53 156
90 32 115 60 23 69 137 56 45 40 118 114 25 43 72 51 154 24 129 15 148 101 84 123 92 127 157 77 86 95 98 61 116
52 147 57 59 77 157 130 160 139 156 158 144 69 108 131 65 46 151 159 94 116 73 66 62 95 74 79 85 105 122 154 71 115
133 138 74 122 75 18 46 51 62 95 137 32 91 61 127 114 5 149 66 52 70 98 92 112 63 64 159 25 141 55 94 106 68
148 51 25 59 57 139 119 69 48 93 35 143 118 159 152 141 55 98 53 32 122 87 123 107 79 50 22 52 111 54 101 94 129
158 72 51 153 15 113 117 127 86 144 47 28 59 155 108 133 114 151 128 36 91 83 5 135 112 160 156 137 106 157 33 116 102
65 107 56 80 149 32 15 119 130 24 68 59 4 52 87 75 158 47 70 76 77 42 147 118 133 37 114 45 91 49 100 144 138
128 110 18 107 32 54 90 147 70 37 93 111 139 22 72 108 115 106 135 138 149 144 156 102 82 2 84 50 35 59 28 73 124
128 110 42 23 133 32 102 36 61 60 46 117 158 144 79 160 156 151 123 35 157 115 45 101 124 43 24 95 22 82 67 121 47
5 67 118 133 71 130 135 73 92 68 78 140 56 111 80 125 2 102 55 129 124 131 143 49 4 79 15 86 87 98 90 54 42
106 75 101 133 129 16 80 69 25 146 40 100 54 150 120 89 144 131 32 24 151 71 35 82 134 125 23 98 56 97 87 147 73
120 132 78 95 143 108 38 98 97 148 56 140 110 122 116 59 70 53 117 80 101 64 60 159 49 76 36 84 105 75 160 89 92
155 76 23 148 89 55 147 32 122 87 16 43 117 112 94 115 146 160 90 4 71 130 24 2 67 91 125 139 150 45 140 102 75
18 46 141 85 65 70 97 32 42 28 118 56 143 57 90 72 55 151 94 43 37 79 159 68 52 62 73 157 5 140 125 36 101
49 51 144 24 63 140 41 90 129 55 115 119 89 132 28 77 155 158 143 148 50 94 112 139 149 5 68 86 153 60 154 48 35
2 25 95 153 28 79 118 152 105 148 144 50 56 137 24 69 98 76 41 74 135 83 122 120 64 36 58 147 18 154 91 5 134
125 128 140 34 55 82 93 156 83 100 160 44 4 149 63 79 51 37 69 33 25 92 91 105 56 85 28 23 77 144 22 133 35
36 113 28 66 151 37 50 97 156 34 47 105 129 16 64 89 125 128 63 65 106 90 152 45 135 150 102 67 60 139 140 124 111
24 55 56 23 41 106 52 74 75 150 97 87 101 67 83 127 144 54 116 78 133 124 100 154 157 76 47 151 59 62 149 123 114
105 154 54 90 62 112 101 61 70 150 134 57 102 151 35 68 49 100 129 153 44 38 75 155 24 86 152 106 115 127 149 51 117
71 83 89 141 87 72 63 78 41 111 22 128 150 131 160 75 50 82 84 115 137 123 157 107 4 25 100 68 45 56 159 42 35
130 43 98 34 86 121 120 129 101 57 71 131 93 105 119 95 151 146 70 123 148 110 132 147 112 37 51 77 4 18 94 52 82
57 125 80 132 94 54 77 61 33 4 97 158 141 67 157 56 49 120 34 58 59 37 90 28 91 18 154 47 25 66 107 114 73
22 47 55 24 140 57 34 73 49 156 35 148 100 50 124 125 71 43 87 113 115 159 116 107 72 60 110 117 82 51 150 54 16
133 125 102 155 95 85 77 47 123 57 144 34 56 44 59 157 40 98 147 66 135 146 129 159 69 75 76 101 18 154 16 71 124
58 72 121 38 42 65 140 135 106 63 133 139 62 66 37 79 5 56 69 34 102 148 55 97 76 107 153 4 16 96 151 128 157
154 87 153 123 93 130 125 117 152 86 23 64 71 80 38 59 105 5 16 62 122 158 63 49 155 73 89 68 69 83 47 98 37
111 120 83 58 149 125 95 131 112 97 107 123 40 129 25 78 87 138 76 69 137 156 80 38 45 36 85 33 44 148 153 115 82
148 15 149 47 158 106 4 53 111 61 51 101 94 119 33 52 92 25 131 115 63 64 56 57 144 116 151 154 152 60 112 93 137