

ΑΝΟΙΚΤΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ  
Σχολή Θετικών και Εφαρμοσμένων Επιστημών

**Μεταπτυχιακή Διατριβή  
στα Πληροφοριακά Συστήματα**



**Σύστημα παρακολούθησης και ελέγχου δικτύου ύδρευσης.**

**Όνομα  
Θωμάς Φωτιάδης**

**Επιβλέπων Καθηγητής  
Κυριάκος Βλάχος**

**Δεκέμβριος 2012**

# **Ανοικτό Πανεπιστήμιο Κύπρου**

## **Σχολή Θετικών και Εφαρμοσμένων Επιστημών**

**Σύστημα παρακολούθησης και ελέγχου δικτύου ύδρευσης.**

**Όνομα**  
**Θωμάς Φωτιάδης**

**Επιβλέπων Καθηγητής**  
**Κυριάκος Βλάχος**

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή υποβλήθηκε  
προς μερική εκπλήρωση των απαιτήσεων για απόκτηση

μεταπτυχιακού τίτλου σπουδών  
στα Πληροφοριακά Συστήματα

από τη Σχολή Θετικών και Εφαρμοσμένων Επιστημών  
του Ανοικτού Πανεπιστημίου Κύπρου

**Δεκέμβριος 2012**

## Περίληψη

Ο υδάτινος γήινος πόρος υφίσταται σημαντική μείωση τα τελευταία χρόνια και ο αυστηρότερος έλεγχος των εγκαταστάσεων διανομής του θεωρείται πλέον επιβεβλημένος. Γι' αυτό το λόγο τα δίκτυα ύδρευσης παρακολουθούνται στενότερα και καταβάλλονται σημαντικές προσπάθειες περιορισμού των φαινομένων διαρροών, που παρουσιάζουν. Πέραν του καλού σχεδιασμού και συντήρησης ενός δικτύου ύδρευσης, η προσπάθεια κατευθύνεται στο τμήμα του έγκαιρου εντοπισμού και της γρήγορης αντιμετώπισης των διαρροών. Ο εντοπισμός των διαρροών πλέον ανάγεται σε θέμα τηλεμετρίας και τηλε-διοίκησης, όπου τα δίκτυα ύδρευσης φέρουν μόνιμους αισθητήρες ανίχνευσης διαρροών και επικοινωνούν με κονσόλες διαχείρισης, για την αποτελεσματική παρακολούθησή τους. Ειδικότερα για το θέμα της έγκαιρης αντιμετώπισης παρατηρείται η χρήση λογικών προγραμματιζόμενων ελεγκτών (PLC) οι οποίοι λαμβάνουν άμεσα αποφάσεις για την κατάσταση του δικτύου και φροντίζουν για την ελάχιστη απώλεια του φυσικού πόρου. Με γνώμονα τα προαναφερόμενα κατασκευάστηκαν προγράμματα σε TBasic για PLC που ελέγχουν φαινόμενα διαρροών σε αγωγούς, προβληματικές ειδικές συσκευές δικτύου και δεξαμενές αποθήκευσης ύδατος, με στόχο τον περιορισμό κάθε μορφής απώλειας νερού. Τέλος, υλοποιήθηκε πρόγραμμα απομακρυσμένης παρακολούθησης των ανιχνευτών διαρροής ενός δικτύου ύδρευσης και υπολογισμού με ακρίβεια του σημείου διαρροής στην δομή των αγωγών του. Για την υλοποίηση και εξομοίωση των προγραμμάτων χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό internet trilogy (educational version, 6.45).

## Summary

The water resources have been significantly reduced, over the past years. Therefore controlling the water distribution systems, has become a very important task. The managers of the water distribution systems have to control the water leak problem efficiently, so the water loss would be at a minimum level. Nowadays water leak sensors have been placed all over water distribution systems and detecting and locating pipe water leaks has become a problem for telemetry systems. Additionally logic programmable controllers (PLC) have been placed also in the water distribution systems so the reaction to a water leak could be automated and direct, without human having to interfere at first. In this paper programs for PLC have been made with TBasic language. The programs can control possible leak events in the water pipes or because of a damaged special device of the network or even due to overflow of a water tank. Additionally a program has been made for remote controlling leak sensors in a water distribution system and calculating the exact point of the leak. For the programming, debugging and simulation we use internet trilogy software (educational version, 6.45).

## Ευχαριστίες

Εδώ μπαίνουν τυχόν ευχαριστίες που ο συγγραφέας θέλει να εκφράσει προς αυτούς που βοήθησαν στην εκπόνηση της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής.

# Περιεχόμενα

<b>1.</b>	<b>Δίκτυα Ύδρευσης.....</b>	<b>1</b>
1.1	Δομή Δικτύων.....	2
1.2	Είδη Δικτύων .....	3
1.2.1	Ακτινωτά δίκτυα ύδρευσης.....	3
1.2.2	Βροχωτά ή κλειστά δίκτυα ύδρευσης .....	3
1.3	Λειτουργικές Απαιτήσεις.....	4
1.4	Είδη αγωγών και Ειδικές Συσκευές.....	5
1.4.1	Είδη αγωγών.....	5
1.4.2	Ειδικές συσκευές.....	7
<b>2.</b>	<b>Αξιοπιστία δικτύων ύδρευσης.....</b>	<b>9</b>
2.1	Στάδια Εκπόνησης Ολοκληρωμένης Μελέτης Ύδρευσης .....	10
2.2	Ορθολογικός σχεδιασμός.....	11
2.3	Ικανοποιητική Λειτουργία.....	13
2.3.1	Τυπικοί Έλεγχοι Σε Ένα Δίκτυο Ύδρευσης .....	14
2.4	Επαρκής Συντήρηση .....	16
<b>3.</b>	<b>Διαρροές στα δίκτυα Ύδρευσης.....</b>	<b>18</b>
3.1	Απώλεια Ύδατος.....	20
3.2	Ποσότητα Της Απώλειας Ύδατος.....	22
3.2.1	Ισορροπία Ύδατος.....	22
3.2.2	Η Χρυσή Τομή Των Απωλειών Ύδατος.....	23
3.3.	Στρατηγική Για Την Μείωση Της Απώλειας Ύδατος.....	24
3.3.1	Μεθοδολογία Ελέγχου Διαρροών.....	24
3.4	Δυσκολίες Στον Προσδιορισμό Του Σημείου Διαρροής.....	29

3.4.1	Ανάλυση Του Ήχου Των Διαρροών .....	31
3.5	Συσχετιστές: Χαρακτηριστικά Και Τεχνολογία Λειτουργίας.....	34
3.5.1.	Τεχνολογικά Χαρακτηριστικά.....	38
3.6.	Ο Σημαντικός Ρόλος Της Πίεσης Του Δικτύου.....	40
4.	<b>Μόνιμο Σύστημα Παρακολούθησης Δικτύου Ύδρευσης.....</b>	<b>42</b>
4.1	Τεχνολογικά Χαρακτηριστικά.....	43
4.2	Συσχέτιση Με Τα Δίκτυα Επικοινωνίας.....	45
5.	<b>Προγραμματιζόμενοι Λογικοί Ελεγκτές.....</b>	<b>48</b>
5.1	Λειτουργικά Χαρακτηριστικά Του PLC .....	49
5.1.1	Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας.....	49
5.2	Αρχή Λειτουργίας Plc.....	50
5.3	Γλώσσες Προγραμματισμού PLC .....	51
5.3.1	Γλώσσα LADDER ή Γλώσσα Ηλεκτρολογικών Γραφικών.....	51
5.3.2.	Γλώσσα Λίστας Εντολών (Statement List, STL) ή Γλώσσα Λογικών Εντολών.....	52
5.3.3	Γλώσσα λογικών γραφικών ή λογικού διαγράμματος .....	53
5.4.	Επικοινωνία PLC και Κεντρικού Συστήματος Παρακολούθησης.....	54
6.	<b>PLC εφαρμογές σε περιπτώσεις απώλειας ύδατος.....</b>	<b>57</b>
6.1	Ενσωμάτωση PLC Αυτοματισμών Στα Δίκτυα Ύδρευσης.....	57
6.2	Έλεγχος Διαρροής Σε Αγωγό Με Την Χρήση PLC .....	59
6.2.1	Υπορουτίνα Χειροκίνητου Κλεισίματος της Βαλβίδας Απομόνωσης.....	59
6.2.2.	Υπορουτίνα ελέγχου διαρροής .....	63
6.3.	Έλεγχος Ειδικής Συσκευής Με PLC.....	73
6.3.1	Υπορουτίνα ελέγχου ειδικής συσκευής.....	74
6.4.	Έλεγχος Δεξαμενής Νερού με PLC.....	75

7.	<b>Πρόγραμμα κεντρικής παρακολούθησης διαρροών</b> .....	85
7.1	Αναλυτική Προσέγγιση Του Προγράμματος Παρακολούθησης.....	86
7.2	Το Πρόγραμμα Παρακολούθησης Ενός Δικτύου Αγωγών.....	94
	<b>Βιβλιογραφία</b> .....	10101
<b>A.</b>	<b>Internet TRILOGI</b> .....	A-1
A.1	Προγραμματισμός LADDER.....	A-1
A.2.	Προγραμματισμός σε TBasic.....	A-3
A.3.	Εκτέλεση Προγράμματος.....	A-8
<b>B.</b>	<b>Συσχετισμός σημάτων</b> .....	B-1
B.1	Χρήση Του Συσχετισμού Για Τον Υπολογισμό Διαρροών Σε Αγωγούς.....	B-2

## Πίνακας εικόνων

Εικόνα 1.1:	Τυπική διάταξη έργων ύδρευσης.....	2
Εικόνα 1.2	Ακριβής μέτρηση αγωγού.....	3
Εικόνα 1.3:	Βροχωτά δίκτυα ύδρευσης.....	4
Εικόνα 1.4	: Σωλήνες PVC .....	5
Εικόνα 1.5:	Σωλήνες HDPE.....	6
Εικόνα 1.6:	Χαλυβδοσωλήνες.....	6
Εικόνα 1.7:	.....Αμιαντοσιμεντοσωλήνες.....	7
Εικόνα 1.8:	.....Βάνα συρταρωτή και "πεταλούδα.....	7
Εικόνα 1.9:	.....Βαλβίδα αντεπιστροφής.....	8
Εικόνα 1.2:	.....Αερεξαγωγοί.....	8
Εικόνα 3.1:	.....λίμνη σε ξηρασία.....	19
Εικόνα 3.2:	.....διαρροή ορατή στο οδόστρωμα.....	21
Εικόνα 3.3:	.....Γραφική απεικόνιση συνδεσμολογίας συσχετιστή με δύο μεταδότες σε τμήμα αγωγού υπό πίεση.....	26
Εικόνα 3.4:	.....Διάταξη συσχετιστή με ένα μεταδότη .....	26
Εικόνα 3.5:	Επίπεδο θορύβου σε οθόνη γαιοφώνου ανάλογα με την απόσταση από το σημείο της διαρροής.....	27
Εικόνα 3.6:	σύστημα ελέγχου διαρροών.....	29

Εικόνα 3.7:	λειτουργία συσχετιστή.....	31
Εικόνα 3.8:	δονήσεις σε αγωγό με θραύση .....	32
Εικόνα 3.9:	διαρροή αγωγού σε σκληρό υπέδαφος .....	32
Εικόνα 3.10:	Διαρροή αγωγού σε μαλακό υπέδαφος .....	33
Εικόνα 3.11:	συσχετισμός ύψος θορύβου και διαρροών .....	34
Εικόνα 3.12:	υπολογισμός σημείου διαρροής με την χρήση συσχετιστή.....	35
Εικόνα 3.13:	Ακριβής μέτρηση αγωγού.....	36
Εικόνα 3.14:	αισθητήρες τοποθετημένοι σε γειτονικούς αγωγούς .....	36
Εικόνα 3.15:	διαρροή εκτός απόστασης συσχετισμού.....	36
Εικόνα 3.16:	αιχμή ηχητικού σήματος διαρροής .....	38
Εικόνα 3.17:	σύγκριση αρχικού σήματος και συσχετιζόμενου .....	38
Εικόνα 3.18:	παλαιότερος συσχετιστής.....	38
Εικόνα 3.19:	σύγχρονο σύστημα εντοπισμού διαρροών με συσχετιστή.....	39
Εικόνα 3.20:	συσχετισμός σημάτων αισθητήρων(οθόνη συσχετιστή) .....	39
Εικόνα 3.21:	ρύθμιση παραμέτρων μέτρησης στον συσχετιστή .....	40
Εικόνα 3.22.:	πίδακας διαρροής.....	41
Εικόνα 4.1:	αισθητήρας εντοπισμού διαρροών.....	43
Εικόνα 4.2:	επαναλήπτης σήματος και συλλέκτης δεδομένων και αναμεταδότης.....	43

Εικόνα 4.3	επικοινωνιακή αρχιτεκτονική του μόνιμου συστήματος παρακολούθησης ενός δικτύου ύδρευσης.....	44
Εικόνα 4.4:	τοποθέτηση καταγραφών-αισθητήρων .....	44
Εικόνα 4.5:	εγκατάσταση αναμεταδότη.....	45
Εικόνα 4.6:	γεωγραφική διάταξη του δικτύου ύδρευσης.....	45
Εικόνα 5.1:	κεντρική μονάδα επεξεργασίας και μονάδες εισόδων ενός PLC .....	50
Εικόνα 5.2:	πρόγραμμα PLC σε όλες τις γλώσσες προγραμματισμού .....	54Σ
Εικόνα 5.3:	τυπικό σύστημα παρακολούθησης πολλαπλών σημείων σε δίκτυα ύδρευσης..... .....	56
Εικόνα 6.1:	πειραματικό δίκτυο αισθητήρων σε δίκτυο ύδρευσης.....	58
Εικόνα6.2:	i-trilogi κύκλωμα χειροκίνητου ελέγχου της βαλβίδας απομόνωσης .....	60
Εικόνα 6.3:	i-trilogi υλοποίηση χειροκίνητου σφραγίσματος της βαλβίδας απομόνωσης	61
Εικόνα 6.4:	i-trilogi υλοποίηση χειροκίνητου ανοίγματος της βαλβίδας απομόνωσης.....	63
Εικόνα 6.5:	κύκλωμα επικοινωνίας αισθητήρων με το PLC (απεικόνιση με το σχεδιαστικό πρόγραμμα Tina ) .....	65
Εικόνα 6.6:	i-trilogi υλοποίηση συνάρτησης ενεργοποίησης αισθητήρα.....	67
Εικόνα 6.7:	i-trilogi υλοποίηση συνάρτησης sensor_ .....	71
Εικόνα 6.8:	i-trilogi υπορουτίνα ελέγχου ειδικής συσκευής 74 .....	
Εικόνα 6.9:	κύκλωμα αυτόματου έλεγχου στάθμης δεξαμενής .....	75
Εικόνα6.10:	i-trilogi υπορουτίνα υπερχείλισης δεξαμενής.....	78

Εικόνα 6.11:	I-TRILOGI υπορουτίνα κανονικής λειτουργίας δεξαμενής .....	80
Εικόνα 6.12:	i-trilogi υλοποίηση υπορουτίνας χαμηλής στάθμης δεξαμενής.....	82
Εικόνα 6.13:	i-trilogi υλοποίηση υπορουτίνας επικίνδυνης στάθμης ύδατος δεξαμενής.....	83
Εικόνα 7.1:	ολοκληρωμένο δίκτυο ύδρευσης με 16 αισθητήρες.....	86
Εικόνα 7.2:	εσωτερικές μεταβλητές του i-trilogi που αντιστοιχούν στους αισθητήρες .....	86
Εικόνα 7.3:	ορισμος του αισθητήρα S1 ως ενεργού .....	87
Εικόνα 7.4:	εκκίνηση του προγράμματος ελέγχου των αισθητήρων .....	87
Εικόνα 7.5:	απεικόνιση των ενεργοποιημένων αισθητήρων στην LCD οθόνη .....	88
Εικόνα 7.6:	αποθήκευση των τιμών της ταχύτητας του ήχου V και της διαφοράς φάσης Td .....	92
Εικόνα 7.7:	αποθήκευση των αποστάσεων μεταξύ των αισθητήρων .....	92
Εικόνα 7.8:	αποθήκευση τιμών έγκυρων ζευγών.....	93
Εικόνα 7.9:	νημέρωση του διαχειριστή για τα έγκυρα ζεύγη και της απόστασης του σημείου διαρροής .....	93
Εικόνα A-1:	αρχική οθόνη i-Trilogi .....	A-2
Εικόνα A-2:	Υπομενού Circuit .....	A-2
Εικόνα A-3:	εισαγωγή εισόδων εξόδων σε κύκλωμα Ladder .....	A-3
Εικόνα A-4:	εισαγωγή υπορουτίνας και παράθυρο προγραμματισμού σε TBasic .....	A-4
Εικόνα A-5:	αναλυτική περιγραφή του παράθυρου προγραμματισμού TBasic .....	A-5
Εικόνα A-6:	πρώτη οθόνη μεταβλητών i-trilogi .....	A-5

Εικόνα A-7:	δεύτερη οθόνη μεταβλητών i-trilogi .....	A-6
Εικόνα A-8:	τρίτη οθόνη μεταβλητών i-trilogi .....	A-6
Εικόνα A-9:	τρίτη οθόνη μεταβλητών i-trilogi .....	A-7
Εικόνα A-10:	Υπομενού Keyword Help .....	A-7
Εικόνα A-11:	εκτέλεση προγράμματος .....	A-8
Εικόνα A-12:	Παράθυρο Program Logic Simulator .....	A-8
Εικόνα A-13:	Παράθυρο Ladder κατά την εκτέλεση προγράμματος .....	A-9
Εικόνα A-14:	Παράθυρο επικοινωνίας με την θύρα επικοινωνίας #1 .....	A-9
Εικόνα B-1:	Συσχετισμός δύο σημάτων .....	B-2
Εικόνα B-2:	αγωγός υπό διαρροή .....	B-2
Εικόνα B-3:	μετασχηματισμού fourier των σημάτων διαρροής.....	B-3

## Πίνακας Πινάκων

Πίνακας 5.1:	Λογικές πράξεις σε Statement List .....	53
Πίνακας 6.1:	Κατάσταση εξόδου PLC για τον έλεγχο της βαλβίδας.....	77

# Κεφάλαιο 1

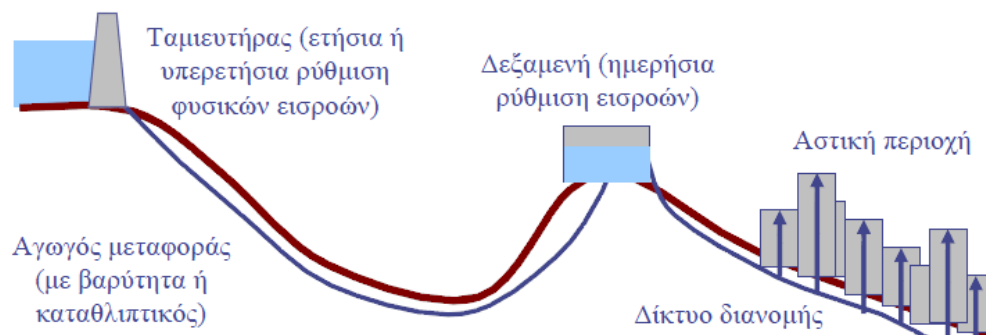
## Δίκτυα Ύδρευσης

Το καθαρό, πόσιμο νερό είναι απαραίτητο στον άνθρωπο για τη διατήρηση της ζωής. Πόσιμο νερό χαρακτηρίζεται το νερό που είναι καθαρό από φυσική, χημική, βιολογική και μικροβιολογική άποψη και μπορεί να καταναλώνεται χωρίς να κινδυνεύει η υγεία του ανθρώπου.(8) Η AWWA (1974) ορίζει το δίκτυο ύδρευσης ως ένα σύστημα, που περιλαμβάνει όλα τα απαραίτητα στοιχεία (αγωγοί, αντλίες, βαλβίδες, ρυθμιστές πίεσης, κλπ) για τη διανομή του πόσιμου νερού με βαρύτητα από δεξαμενή ή με κατάθλιψη απευθείας στο δίκτυο διανομής και στους καταναλωτές, συμπεριλαμβανομένων και των δεξαμενών εξισορρόπησης.

Οι βασικές λειτουργίες ενός δικτύου ύδρευσης είναι: (α) η επεξεργασία του νερού που παραλαμβάνεται από μια υδροληψία, έτσι ώστε η ποιότητά του να είναι αποδεκτή, (β) η μεταφορά του και (γ) η διανομή του στους καταναλωτές στη ζητούμενη ποσότητα, στην κατάλληλη πίεση και στην επιθυμητή χρονική στιγμή. Η μελέτη ενός δικτύου ύδρευσης αφορά την αναλυτική προσέγγιση του συστήματος της υδροληψίας, του συστήματος μεταφοράς, του συστήματος επεξεργασίας, του συστήματος αποθήκευσης και του συστήματος διανομής.[2]

## 1.1 Δομή Δικτύων

Η τυπική δομή ενός δικτύου ύδρευσης φαίνεται στην εικόνα 1.1 Γενικά, κάθε δίκτυο ύδρευσης χωρίζεται σε δύο βασικά μέρη: το εσωτερικό και το εξωτερικό υδραγωγείο. Το *εξωτερικό υδραγωγείο* περιλαμβάνει το σύνολο των υδροδοτικών έργων, για την μεταφορά του νερού από την υδροληψία (υδάτινοι πόροι) έως την δεξαμενή ρύθμισης, όπου γίνεται η αποθήκευση για τον οικισμό. Αποτελείται από ανοικτούς αγωγούς βαρύτητας, κλειστούς αγωγούς υπό πίεση (λόγω βαρύτητας ή κατάθλιψης) και κλειστούς αγωγούς ελευθέρως επιφανείας. [4,7]



Εικόνα 3.1: Τυπική διάταξη έργων ύδρευσης

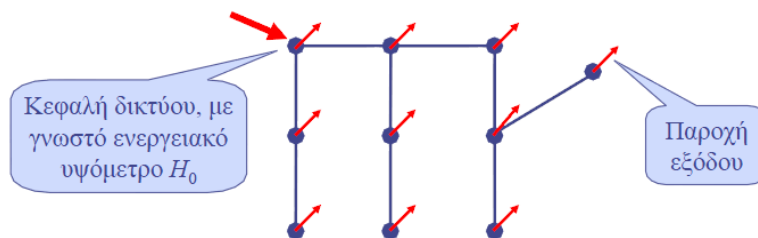
Το *εσωτερικό υδραγωγείο* περιλαμβάνει το σύνολο των έργων διανομής, που μεταφέρουν το νερό από τη δεξαμενή αποθήκευσης σε κάθε σημείο της υδροδοτούμενης περιοχής. Τέλος, η *δεξαμενή αποθήκευσης ή ρύθμισης* είναι αυτή που οριοθετεί τα δύο τμήματα του υδραγωγείου και είναι υπεύθυνη να φέρει επαρκής ποσότητες νερού ημερησίως (ανά 24ωρο), ώστε να καλύπτει τα ποσοστά κατανάλωσης και να εξασφαλίζει ότι θα υπάρχει αρκετό νερό αποθηκευμένο για περίπτωση πυρκαγιάς ή βλάβης. Έτσι, αν η δεξαμενή ρύθμισης έχει εικοσιτετράωρη βάση λειτουργίας, η παροχή σχεδιασμού από το εξωτερικό υδραγωγείο προς την δεξαμενή θα πρέπει να γίνει για την μέγιστη ημερήσια, ενώ η παροχή σχεδιασμού για το εσωτερικό υδραγωγείο να γίνει για την μέγιστη ωριαία. Ο όγκος της δεξαμενής πρέπει να είναι τέτοιος ώστε να μπορεί να αποδώσει τις παροχές αιχμής για τον οικισμό, με περιορισμό την σταθερή εισροή από το εξωτερικό υδραγωγείο.

## 1.2 Είδη Δικτύων

Τα δίκτυα ύδρευσης, ανάλογα με τη διάταξη των αγωγών τους, χωρίζονται σε ακτινωτά και κλειστά ή βροχωτά δίκτυα. [5,7,8]

### 1.2.1 Ακτινωτά δίκτυα ύδρευσης

**Ακτινωτά δίκτυα** (branched networks) είναι τα δίκτυα τα οποία τροφοδοτούνται από ένα μοναδικό σημείο (κεφαλή) και κατά τη διάταξή τους δε σχηματίζονται κλειστές διαδρομές αγωγών (βρόχοι). Κάθε σημείο εξόδου υδροδοτείται μέσω μιας μοναδικής διαδρομής μέσω ενός κεντρικού αγωγού και δευτερευόντων αγωγών, που όμως καταλήγουν στον πρώτο. Το βασικότερο πλεονέκτημα των ακτινωτών δικτύων είναι ο περιορισμός του συνολικού μήκους του δικτύου και άρα του κόστους εγκατάστασης, μιας και απαιτούνται λιγότεροι αγωγοί. Τα μειονεκτήματά τους είναι ότι παρουσιάζουν αυξημένες ενεργειακές απώλειες, ενώ σε περίπτωση βλάβης απαιτείται απομόνωση των κατάντη κλάδων του δικτύου. Επιπρόσθετα, απαιτούνται έργα προστασίας έναντι υδραυλικού πλήγματος.

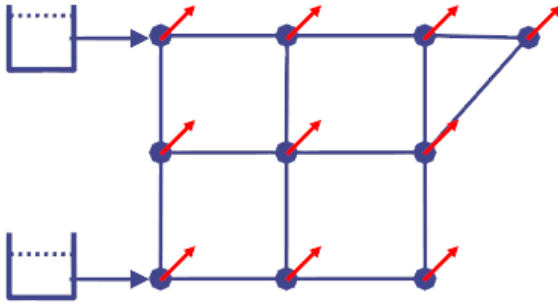


Εικόνα 1.2: Ακριβής μέτρηση αγωγού

### 1.2.2 Βροχωτά ή κλειστά δίκτυα ύδρευσης

Στα βροχωτά δίκτυα ύδρευσης υπάρχουν πολλές κεφαλές και κλειστές διαδρομές αγωγών, έτσι ώστε κάθε σημείο να τροφοδοτείται από περισσότερα του ενός περάσματα. Τα βροχωτά δίκτυα πλεονεκτούν στο ότι παρουσιάζουν μειωμένες ενεργειακές απώλειες και ισχυρή ασφάλεια έναντι βλαβών, μιας και εξασφαλίζεται τουλάχιστον μία εναλλακτική διαδρομή τροφοδοσίας για κάθε κόμβο. Επίσης, παρέχουν «παθητική» προστασία έναντι επικείμενου υδραυλικού

πλήγματος. Παρόλα αυτά, οι περίσσειες διαδρομές αυξάνουν το μήκος του δικτύου και άρα το κόστος των αγωγών, αν και υπάρχει σημαντική αντιστάθμιση από το γεγονός ότι οι αγωγοί που χρησιμοποιούνται είναι μικρότερης διαμέτρου. Τέλος, οι συνεχές διακλαδώσεις δημιουργούν



Εικόνα 1.3: Βροχωτά δίκτυα ύδρευσης

πρόβλημα στην εποπτεία και την διαχείριση του δικτύου και τον εντοπισμό των τυχόν βλαβών που θα παρουσιαστούν.

### 1.3 Λειτουργικές Απαιτήσεις

Η εύρωστη λειτουργία του δικτύου αποτελεί ένα μετρήσιμο μέγεθος και αναφέρεται σε ορισμένα σημαντικά σημεία της λειτουργίας τους, τα οποία το καθιστούν αξιόπιστο και αποδοτικό. Αναλυτικότερα, ως λειτουργικές απαιτήσεις ενός δικτύου ύδρευσης ορίζονται τα εξής [3,7,8]:

- **Εξασφάλιση ελάχιστης πίεσης:** το νερό πρέπει να παρέχεται υπό συγκεκριμένη πίεση στους καταναλωτές και υπάρχουν τόσο ελάχιστα όσο και μέγιστα επιτρεπτά όρια γι' αυτήν. Τα ελάχιστα όρια είναι αυτά που οριοθετούνται ανάλογα με το ύψος των κτιρίων που τροφοδοτούνται, την κατανάλωση νερού από τις οικιακές συσκευές και από τις ενεργειακές απώλειες στις υδραυλικές εγκαταστάσεις των κτιρίων. Ένας γενικός κανόνας είναι ότι η πιεζομετρική γραμμή της οικιακής παροχής νερού στο ψηλότερο σημείο ενός κτηρίου πρέπει να είναι τουλάχιστον 4m σε συνθήκες λειτουργίας.
- **Περιορισμός της μέγιστης πίεσης:** λογικά η πίεση του νερού πρέπει να είναι τέτοια ώστε να μην καταστρέφει τους αγωγούς στους οποίους κινείται, ούτε και τις συσκευές

τις οποίες τροφοδοτεί ή τις κτιριακές υδραυλικές εγκαταστάσεις εν γένει. Σε συνθήκες ακινησίας, η πίεση σε κάθε σημείο του δικτύου δεν πρέπει να ξεπερνά τα 60m έως 70m.

- **Προστασία από υδραυλικό πλήγμα:** οι αιχμές στην ροή του δικτύου, δηλαδή η εμφάνιση υπερπίεσεων ή υποπίεσεων είναι συνήθως αποτέλεσμα απότομων εκκινήσεων ή διακοπής της ροής. Τα ανωτέρω προκαλούν φθορές στο δίκτυο και αυξάνουν τον κίνδυνο πλήγματος. Γι' αυτό το λόγο οι αγωγοί πρέπει να αντέχουν περί τα 100m για να αποφευχθεί το υδραυλικό πλήγμα λόγω υπερπίεσης και οι διάμετροί τους συνήθως είναι μεγαλύτερες ή ίσες των 90mm.

## 1.4 Είδη αγωγών και Ειδικές Συσκευές

Οι αγωγοί αποτελούν το βασικότερο κομμάτι ενός δικτύου ύδρευσης και διατίθενται σε διαφορετική ονομαστική πίεση και υλικά κατασκευής [3,8]. Σε κάθε δίκτυο διακρίνουμε τον *κύριο τροφοδοτικό αγωγό*, ο οποίος ξεκινά από την δεξαμενή και καταλήγει στην περιοχή τροφοδοσίας, όπου και διακλαδίζεται προς όλους τους πρωτεύοντες αγωγούς διανομής. Ακολουθεί το *κυρίως τροφοδοτικό δίκτυο* το οποίο εκτείνεται κατά μήκος του οδικού δικτύου, εκατέρωθεν των πεζοδρομίων και από εκεί τροφοδοτείται ο κάθε καταναλωτής συνήθως με περισσότερες από μία διαδρομές.

### 1.4.1 Είδη αγωγών

Οι αγωγοί που διατίθενται στο εμπόριο με βάση το υλικό κατασκευής είναι:

- Πλαστικοί σωλήνες από πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC): είναι σωλήνες χαμηλού κόστους



**Εικόνα 1.4:** Σωλήνες PVC

όσον αφορά τις μικρές διαμέτρους (< 400mm) και η ονομαστική τους πίεση ανέρχεται στις 16 atm.

- Πλαστικοί σωλήνες από πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας (HDPE): ιδιαίτερα εύκαμπτοι και ελαφροί σωλήνες με ονομαστική πίεση στις 32 atm.



**Εικόνα 1.5:** Σωλήνες HDPE

- Χαλυβδοσωλήνες (Χ/Σ): υψηλού κόστους σωλήνες οι οποίοι χρησιμοποιούνται για μεγάλες διαμέτρους (> 1000 mm).



**Εικόνα 1.6:** Χαλυβδοσωλήνες

- Αμιαντοσιμεντοσωλήνες (Α/Σ): παλαιότερης τεχνολογίας σωλήνες που αποσύρονται σταδιακά από την αγορά μιας και θεωρήθηκαν επιβλαβής για την ανθρώπινη υγεία.

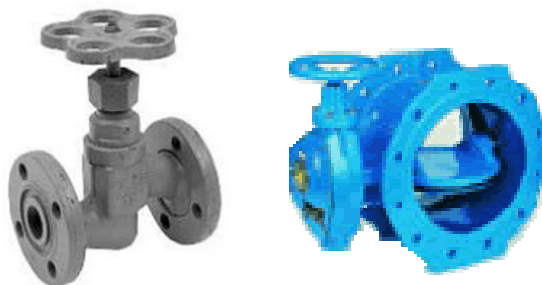


**Εικόνα 1.7:** Αμιαντοτσιμεντοσωλήνες

### 1.4.2 Ειδικές συσκευές

Οι λειτουργικές απαιτήσεις του δικτύου ύδρευσης δεν διασφαλίζονται αποκλειστικά από την ορθολογική επιλογή των αγωγών και την σωστή μελέτη, χάραξη και τοποθέτησή τους. Οι ανεπιθύμητες πιέσεις ελέγχονται επιπρόσθετα από κάποιες ειδικές συσκευές που τοποθετούνται εντός τους δικτύου, εξασφαλίζοντας έτσι την ομαλή λειτουργία του. Τέτοιες συσκευές είναι οι:

- Δικλείδες (βάνες) ρύθμισης της παροχής, οι οποίες τοποθετούνται στις διακλαδώσεις του δικτύου και χρησιμεύουν στην απομόνωση τους, σε περίπτωση βλάβης. Διακρίνουμε δύο βασικά είδη την συρταρωτή και σε σχήμα «πεταλούδας».



**Εικόνα 1.8:** Βάνα συρταρωτή και "πεταλούδα"

- Βαλβίδες αντεπιστροφής: χρησιμοποιούνται κυρίως σε αγωγούς που λειτουργούν υπό κατάθλιψη, ώστε να εξασφαλίζουν ότι η ροή του νερού γίνεται προς μία μόνο κατεύθυνση.



**Εικόνα 1.9:** Βαλβίδα αντεπιστροφής

- Εκκενωτές: είναι διακλαδώσεις τύπου «Γ» που τοποθετούνται στα χαμηλά σημεία του δικτύου και επιτρέπουν την έκλυση και απομάκρυνση ξένων υλικών προς έναν φυσικό αποδέκτη.
- Αερεξαγωγοί: τοποθετούνται στα υψηλά σημεία του δικτύου και σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας απομακρύνουν τον αέρα, ενώ σε περίπτωση πλήγματος εισάγουν αέρα στο δίκτυο για την ταχύτερη αποσυμπίεσή του.



**Εικόνα 1.4:** Αερεξαγωγοί

# Κεφάλαιο 2

## Αξιοπιστία δικτύων ύδρευσης

Ως αξιοπιστία ενός δικτύου ύδρευσης εννοείται η ικανότητα του δικτύου να ικανοποιεί τις απαιτήσεις σε νερό για τις οποίες μελετήθηκε, τόσο ως προς την ποσότητα νερού (παροχές και συνολικός όγκος), όσο και ως προς το εύρος των πιέσεων στις οποίες αυτό πρέπει να λειτουργεί. Ο προσδιορισμός της αξιοπιστίας ενός δικτύου ύδρευσης είναι ένα χρήσιμο εργαλείο, που εξασφαλίζει ότι το σύστημα είναι οικονομικά αποδοτικό και συγχρόνως αξιόπιστο [2].

Οι σημαντικότεροι τρόποι αστοχίας ενός δικτύου ύδρευσης κατηγοριοποιούνται σε τρεις μεγάλους τομείς. Έτσι έχουμε την:

1. **Μηχανική αστοχία** η οποία οφείλεται σε αστοχία των σωλήνων, των αντλιών, των βαλβίδων κλπ. και γενικότερα των εξαρτημάτων που απαρτίζουν το δίκτυο ή σε διακοπή του ηλεκτρικού ρεύματος.
2. **Υδραυλική αστοχία** η οποία οφείλεται σε ανικανότητα του δικτύου να παρέχει τη ζήτηση σχεδιασμού και άρα να αποδώσει τα αναμενόμενα.

3. **Αστοχία λόγω μεταβολής της ζήτησης** η οποία προκαλείται όταν η πραγματική ζήτηση, συμπεριλαμβανομένης και της παροχής πυρκαγιάς, υπερβαίνει την παροχή σχεδιασμού.

Ανεξαρτήτως του τρόπου με τον οποίο θα επέλθει η επικείμενη αστοχία, οι μέθοδοι βελτίωσης της αξιοπιστίας για κάθε δίκτυο είναι παρόμοιοι και υπάγονται στο τρίπτυχο του σωστού σχεδιασμού, της ορθής λειτουργίας και της αποτελεσματικής συντήρησής του. Ακολουθεί συνοπτική ανάλυση των μέτρων που πρέπει να ληφθούν ώστε να διασφαλιστεί η αξιόπιστη λειτουργία ενός δικτύου ύδρευσης.

## 2.1 Στάδια Εκπόνησης Ολοκληρωμένης Μελέτης Ύδρευσης

Κάθε δίκτυο ύδρευσης σχεδιάζεται ακολουθώντας συγκεκριμένα στάδια εντοπισμού των αναγκών και απαιτήσεων του, καθώς και του τρόπου υλοποίησης των στόχων του. Τα στάδια αυτά αν και τοποθετούνται σε μία λογική σειρά, δεν αποτελούν μεμονωμένα τμήματα και αλληλεπιδρούν με τα προηγούμενα και τα επόμενα ανάλογα τον στόχο που καλούνται να επιτεύξουν. Έτσι, η σειρά εκπόνησης μιας υδραυλικής μελέτης έχει ως εξής [4]:

1. **Παροχή σχεδιασμού δικτύου:** αρχικά ο μηχανικός πρέπει να προβλέψει την εξέλιξη του πληθυσμού και της χρήσης του νερού καθώς και τις υδατικές ανάγκες ανά χρήση, την χρονική διακύμανση των καταναλώσεων και να ορίσει τις απαιτήσεις για την αντίδραση σε σενάρια έκτακτης λειτουργίας (πυρκαγιές, βλάβες).
2. **Σχεδιασμός έργων εξωτερικού υδραγωγείου:** εν συνεχεία είναι αναγκαίος ο καθορισμός της πηγής λήψης του νερού και ο σχεδιασμός των έργων υδροληψίας, αποθήκευσης (π.χ. ταμειυτήρες), μεταφοράς και επεξεργασίας νερού.
3. **Δεξαμενές ρύθμισης:** σε αυτό το στάδιο και πάντα με γνώμονα τα αποτελέσματα που προέκυψαν από το στάδιο 1 ορίζονται τα χαρακτηριστικά των δεξαμενών ρύθμισης ως προς την χωροθέτηση, την διαστασιολόγηση και την στατική μελέτη.
4. **Σχεδιασμός έργων εσωτερικού υδραγωγείου:** σε αυτό το στάδιο γίνεται η χάραξη του δικτύου σε οριζοντιογραφία, η διαστασιολόγησή του και ορίζονται τα

χαρακτηριστικά των αγωγών (υλικό, κλάση, μήκος, διάμετρος) που θα χρησιμοποιηθούν, καθώς και οι θέσεις των αντλιοστασίων, των ειδικών συσκευών και των πυροσβεστικών κρουνών.

5. **Μαθηματική προσομοίωση δικτύου:** απαραίτητο εργαλείο σε όλη την διάρκεια της μελέτης και του σχεδιασμού του δικτύου ύδρευσης αποτελεί η χρήση προγράμματος προσομοίωσης με το οποίο επιτυγχάνεται η σχηματοποίηση του μοντέλου του δικτύου, εφαρμόζονται και δοκιμάζονται εικονικά σενάρια δυσμενούς φόρτισης, γίνεται υπολογισμός των μεγεθών ροής στους αγωγούς (παροχές, ταχύτητες) και υπολογισμός ελάχιστων και μέγιστων πιέσεων στους κόμβους. Το πρόγραμμα χρησιμοποιείται από το στάδιο 1 και είναι αυτό που με γνώμονα τα αποτελέσματα του σταδίου 4, το κόστος υλοποίησης και την εξασφάλιση των λειτουργικών απαιτήσεων βοηθά στον τελικό καθορισμό της πραγματικής δομής του δικτύου ύδρευσης.

## 2.2 Ορθολογικός σχεδιασμός

Όπως προαναφέρθηκε σε κάθε δίκτυο προτού σχεδιαστεί αναλύονται οι στόχοι του και οι παράμετροι μέσα στις οποίες θα παράγεται το εκάστοτε έργο. Στην προκειμένη περίπτωση απαιτείται ο μηχανικός να θέσει τα όρια εξυπηρέτησης καθώς και τις πιέσεις που θα εξασφαλίζει για να θεωρείται αποδοτική η παροχή προς τους καταναλωτές. Αφού αποσαφηνιστεί ο σκοπός του δικτύου ακολουθεί μια πιο εξειδικευμένη ανάλυση για τα επιμέρους χαρακτηριστικά του ώστε να εξασφαλιστεί η επιθυμητή απόδοση και αξιοπιστία με το λιγότερο δυνατό κόστος [2].

Εν πρώτοις πρέπει να καθοριστεί το υλικό των αγωγών που θα απαρτίζει το δίκτυο ύδρευσης και το οποίο θα πρέπει να είναι κατάλληλο για τις συνθήκες του χώρου τοποθέτησης και ανθεκτικό στα εσωτερικά και εξωτερικά φορτία τα οποία θα δέχεται. Η τελική επιλογή γίνεται με γνώμονα το κόστος, την ευκολία συντήρησης και την καταγεγραμμένη απόδοση του συγκεκριμένου υλικού σε παρόμοιες συνθήκες και δίκτυα. Σχετικά με το πάχος των αγωγών, η απόφαση λαμβάνεται αναλόγως με την πίεση που χειρίζονται και προφανώς με την επιθυμητή αντοχή του στις θραύσεις. Τέλος, η διατομή των αγωγών είναι ένα σημαντικό χαρακτηριστικό που πρέπει να ληφθεί υπόψη, μιας και οι αγωγοί με μεγαλύτερη διάμετρο από την ελαχίστη απαιτούμενη παρέχουν επιπλέον αξιοπιστία, επειδή έχουν τη δυνατότητα να παρέχουν περισσότερο νερό για να ικανοποιηθεί η ζήτηση σε περίπτωση που κάποιος άλλος γειτονικός αγωγός έχει υποστεί βλάβη. Επιπλέον, επειδή οι βλάβες στους περισσότερους αγωγούς οφείλονται σε θραύση, είναι

προτιμότεροι οι αγωγοί μεγάλης διαμέτρου, γιατί παρουσιάζουν μεγαλύτερη αντοχή από ότι οι αγωγοί μικρότερης διαμέτρου.

Εν συνεχεία η τοποθέτηση του συστήματος των αγωγών πρέπει να τελεστεί με τέτοιο τρόπο ώστε σε περίπτωση αστοχίας συγκεκριμένου τμήματος του δικτύου, να έχει την λιγότερη δυνατή επίδραση στην συνολική εξυπηρέτηση των καταναλωτών. Αυτό επιτυγχάνεται με τον σωστό σχεδιασμό και την χρήση αγωγών ικανοποιητικής διαμέτρου και βανών, ώστε η απώλεια ενός μεμονωμένου τμήματος να μην επηρεάζει την παροχή νερού στην απαιτούμενη ζήτηση και υπό την αποδεκτή πίεση από το υπόλοιπο δίκτυο. Για να διαπιστωθεί η λειτουργικότητα υπό αστοχία του δικτύου, είθισται να χρησιμοποιούνται *μοντέλα υδραυλικής προσομοίωσης*, που εξετάζουν την επιρροή της τοποθέτησης των επιμέρους εξαρτημάτων του δικτύου σε συγκεκριμένες θέσεις. Με την βοήθεια του καθορίζονται επίσης οι θέσεις των προαναφερομένων *βανών ελέγχου* που επιτρέπουν στο προσωπικό της εταιρείας ύδρευσης να απομονώνει επιμέρους τμήματα του δικτύου, τα οποία παρουσιάζουν πρόβλημα. Πρέπει, να τοποθετούνται κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να μη χρειάζονται παραπάνω βάνες για την απομόνωση ενός τμήματος του δικτύου και άρα να αυξάνεται αναίτια το κόστος της δομής και έτσι ώστε να απομονώνονται όσο το δυνατόν μικρότερες περιοχές του δικτύου σε περίπτωση βλάβης.

Η αξιοπιστία του δικτύου βελτιώνεται αν στο σχεδιασμό του συμπεριληφθεί και η ύπαρξη *δεξαμενής αποθήκευσης*, η οποία θα παρέχει μια εναλλακτική πηγή νερού σε περίπτωση που ένα τμήμα του δικτύου διανομής αποκοπεί από την υδροληψία και θα εξασφαλίζει επιπλέον ποσότητα νερού κατά τη διάρκεια έκτακτων αναγκών, όπως είναι οι πυρκαγιές. Η δεξαμενή αποθήκευσης βοηθά εξαιρετικά στις περιπτώσεις που ο αγωγός υδροληψίας αποκοπεί από το δίκτυο, αλλά σε καμία περίπτωση δεν πρέπει να διατηρείται ποσότητες νερού για μεγάλο χρονικό διάστημα, μιας κι έτσι εκφυλίζεται η ποιότητα του παρεχόμενου νερού, προς τον καταναλωτή.

Σημαντικό ρόλο στην λειτουργία του δικτύου διαδραματίζουν οι αντλίες με την βοήθεια των οποίων μεταφέρεται το νερό από την υδροληψία στο δίκτυο και συνήθως υπόκεινται σε καθημερινή συντήρηση. Απαιτείται λοιπόν η ύπαρξη *εφεδρικών αντλιών* ώστε ακόμα και η μεγαλύτερη αντλία να βρεθεί εκτός λειτουργίας, το δίκτυο να μπορεί να λειτουργεί το ίδιο αποδοτικά. Επειδή όμως οι αντλίες λειτουργούν ως επί το πλείστον με ηλεκτρικό ρεύμα, γίνεται αντιληπτό ότι δεν απαιτείται μόνο η ύπαρξη εφεδρικών αντλιών αλλά και *εφεδρικής γεννήτριας* παροχής ρεύματος, ώστε να μην διακοπεί η λειτουργία του δικτύου, αν τύχει να διακοπεί η τροφοδοσία.

Κατά τον σχεδιασμό πρέπει να προβλεφθεί ο τρόπος αντίδρασης σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης και τα αναγκαία γι' αυτήν εξαρτήματα και συνδέσεις εντός του δικτύου. Σχεδιαστικά λοιπόν θεωρείται εξαιρετικά χρήσιμη η ύπαρξη αυτοματοποιημένων εξαρτημάτων ελέγχου που θα λαμβάνουν δράση κατά τον εντοπισμό μιας δυσλειτουργίας (π.χ. αυτόματη εκκίνηση των αντιπληγματικών βαλβίδων ) και ταυτόχρονα θα ειδοποιούν το προσωπικό για την πιθανή βλάβη. Επιπρόσθετα, μέτρο βελτίωσης της αξιοπιστίας ενός δικτύου ύδρευσης θεωρείται και η σύνδεση του με άλλα δίκτυα, ώστε ομοίως σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης, να μπορεί να ανταπεξέλθει σε επίπεδο ζήτησης. Σε αυτή την περίπτωση οι συνδέσεις μεταξύ των δικτύων πρέπει να έχουν προβλεφθεί και υλοποιηθεί εκ προοιμίου, με μέριμνα για τις τυχόν αλλαγές που παρουσιάζει το ένα δίκτυο σε σχέση με το άλλο ως προς το πιεζομετρικό φορτίο που φέρει (μεγάλες αλλαγές τυχόν να δημιουργήσουν προβλήματα και θραύσεις αγωγών) και τέλος να έχουν τοποθετηθεί οι κατάλληλες για την περίπτωση βάνες και αντλίες. Η εναλλαγή μεταξύ δικτύων θα πρέπει να τελείται αυτόματα και να ελέγχεται σε τακτά χρονικά διαστήματα η αρτιότητα και λειτουργικότητα των συνδέσεων.

Ολοκληρώνοντας την σχεδιαστική μελέτη ενός δικτύου ύδρευσης ο μηχανικός πρέπει να εξετάσει τις περιπτώσεις που ενδεχόμενα εμφανίζονται μεγάλες επιταχύνσεις ή επιβραδύνσεις στην ροή του νερού, ειδικά στους αγωγούς μεγάλης διαμέτρου, μιας και το φαινόμενο μπορεί να οδηγήσει σε υδραυλικές ασυνέχειες (πλήγμα κριού). Η ανάλυση και ο έλεγχος των υδραυλικών ασυνεχειών κρίνεται απαραίτητος και συνδυάζεται με την χρήση αντιπληγματικών βαλβίδων για προστασία του δικτύου.

## 2.3 Ικανοποιητική Λειτουργία

Αφού το δίκτυο ύδρευσης σχεδιαστεί προσεκτικά και υλοποιηθεί η δομή του κατά το καλύτερο δυνατόν, ακολουθεί η φάση της πραγματικής χρήσης του. Σαφώς, η ικανοποιητική λειτουργία του δικτύου είναι ζωτικής σημασίας και τον έλεγχο αυτής αναλαμβάνει συνήθως το προσωπικό που εργάζεται για το δίκτυο.

Ο μηχανικός της αρχιτεκτονικής του δικτύου έχει τοποθετήσει ένα πλήθος μετρητών και συναγερμών κατά μήκος του δικτύου, οι οποίοι ανά πάσα στιγμή επιστρέφουν δεδομένα στο προσωπικό ασφαλείας και προειδοποιούν αν εντοπιστεί σφάλμα λειτουργίας. Το προσωπικό πρέπει να είναι κατάλληλα εκπαιδευμένο, ώστε να μπορεί να διαβάζει και να ερμηνεύει ορθά τις επιστρεφόμενες μετρήσεις. Επίσης, πρέπει να γνωρίζει εκ των προτέρων σε περίπτωση

έκτακτης ανάγκης, ποια βήματα θα τελέσει για την γρήγορη και ικανοποιητική αντιμετώπιση της κατάστασης και με ποιους ανθρώπους θα επικοινωνήσει άμεσα.

Ως προς το κομμάτι των *υδραυλικών ασυνεχειών* που προαναφέρθηκε, πιθανολογείται το ίδιο το προσωπικό από κακό χειρισμό των βανών ή των αντλιών (απότομο άνοιγμα ή κλείσιμο) να προξενήσει ζημιά στο δίκτυο και τους αγωγούς. Γι αυτό το λόγο χρειάζεται εκπαίδευση για τον σωστό χειρισμό του εξοπλισμού, καθώς και η ύπαρξη αεροφυλακίων, δεξαμενών εξισορρόπησης και αντιπληγματικών βαλβίδων για τον έλεγχο της ροής και την ομαλοποίηση της σε κάθε περίπτωση.

Τέλος, το προσωπικό πρέπει να φροντίζει ώστε οι τυχόν δεξαμενές που υπάρχουν στο δίκτυο, για να καλύπτουν μια τυχαία αυξημένη ζήτηση στην διάρκεια της ημέρας, να έχουν την στάθμη νερού σε υψηλά επίπεδα αν όχι στο μέγιστο δυνατό, ώστε σε περίπτωση διακοπής από το δίκτυο υδροληψίας, να μην παραμείνει το δίκτυο ανενεργό για μεγάλο χρονικό διάστημα.

### 2.3.1 Τυπικοί Έλεγχοι Σε Ένα Δίκτυο Ύδρευσης

Στα πλαίσια της ικανοποιητικής λειτουργίας του δικτύου ύδρευσης διακρίνονται κάποιοι τυπικοί έλεγχοι που τελούνται σε όλα τα δίκτυα και κρίνονται ως ζωτικής σημασίας για την άρτια και ορθή λειτουργία του. Οι έλεγχοι αυτοί περιλαμβάνουν τα εξής [2]:

- **Έλεγχος μέγιστων πιέσεων:** πρόκειται για έναν στοιχειώδη έλεγχο, που αφορά στην γενική διάταξη του δικτύου και όπως προαναφέρθηκε στο κεφ. 1 αφορά την προστασία των υδραυλικών εγκαταστάσεων των σπιτιών και των οικιακών συσκευών και οριοθετείται μεταξύ 60 έως 70 m, σε κάθε σημείο του δικτύου.

Ο έλεγχος γίνεται για την ιδεατή κατάσταση **μηδενικής φόρτισης** (μηδενική κατανάλωση στο δίκτυο κατά την μέτρηση) και για την **ανώτατη στάθμη ύδατος** (Α.Σ.Υ.) στη δεξαμενή,  $h_{max}$ . Εντοπίζεται το **χαμηλότερο υψόμετρο**  $z_{min}$ , του δικτύου και ελέγχεται αν:  $p_{max} = h_{max} - z_{min} < 60-70$  m Εφόσον το δίκτυο τροφοδοτείται από περισσότερες δεξαμενές (με ελεύθερη επικοινωνία), λαμβάνεται ως **στάθμη αναφοράς** η υψηλότερη Α.Σ.Υ.

Ο έλεγχος είναι κρίσιμος στην περίπτωση αμφιθεατρικών οικισμών, με μεγάλες υψομετρικές διαφορές, που κατά κανόνα απαιτεί χωρισμό του δικτύου σε υδραυλικά

ανεξάρτητες **πιεζομετρικές ζώνες** (οπότε ως στάθμη αναφοράς λαμβάνεται το υψόμετρο της ανάντη δεξαμενής ή φρεατίου κάθε ζώνης).

- **Έλεγχος ελάχιστων πιέσεων:** πρόκειται για τυπικό έλεγχο, που αφορά στην **διάταξη** και **διαστασιολόγηση** των έργων, και απαιτεί επίλυση του δικτύου με μαθηματικά μοντέλα προσομοίωσης. Η πιεζομετρική γραμμή της οικιακής παροχής στο υψηλότερο σημείο των κτηρίων (υφιστάμενων ή προβλεπόμενων, με βάση τον πολεοδομικό σχεδιασμό) θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 4 m, που αντιστοιχεί σε ύψος πίεσης στο έδαφος ίσο με  $4(n + 1)$ , όπου  $n$  ο αριθμός των ορόφων.

Σε κάθε σημείο του δικτύου με γνωστό απόλυτο υψόμετρο  $z$ , το ύψος πίεσης είναι

$$p = h - z$$

όπου το ενεργειακό υψόμετρο  $h$  εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του συστήματος (τοπολογία, διάμετροι, κλπ.), τις στάθμες των δεξαμενών και την κατανάλωση. Για τον υπολογισμό των ενεργειακών υψομέτρων απαιτείται **επίλυση** του δικτύου. Η επίλυση του δικτύου επιβάλλει την **σχηματοποίηση** του φυσικού συστήματος σε μοντέλο γράφου και τον επιμερισμό της συνολικής κατανάλωσης σε παροχές εξόδου κόμβων (διαμόρφωση **σεναρίου φόρτισης**). Στον έλεγχο ελάχιστων πιέσεων, ως στάθμη αναφοράς των δεξαμενών (= γνωστό ενεργειακό υψόμετρο) λαμβάνεται πάντοτε η **κατώτατη στάθμη ύδατος**.

Επειδή, γενικά, δεν μπορεί **εκ των προτέρων** να καθοριστεί ο πλέον δυσμενής κόμβος για κάθε σενάριο, ούτε, αντίστροφα, το πλέον δυσμενές σενάριο για κάθε κόμβο, ο έλεγχος πιέσεων επιβάλλει την διερεύνηση **πολλαπλών σεναρίων**. Το πρακτικό ζητούμενο είναι η κατασκευή της **περιβάλλουσας της πιεζομετρικής γραμμής**, για διάφορα δυσμενή αλλά ρεαλιστικά σενάρια φόρτισης του δικτύου, που αναφέρονται στον χρονικό ορίζοντα της οικονομικής ζωής του (40 έτη). Για κάθε κόμβο  $i$ , όπου αναπτύσσονται κτήρια έως  $n_i$  ορόφων, θα πρέπει να ισχύει:  $p_i > 4(n_i + 1)$ , για κάθε σενάριο φόρτισης

- **Έλεγχοι ποιότητας νερού:** το πόσιμο νερό διαθέτει συγκεκριμένα ποιοτικά χαρακτηριστικά, τα οποία ενδέχεται να επηρεαστούν από το ίδιο το δίκτυο ύδρευσης. Γι' αυτό το λόγο εξετάζονται οι κρίσιμοι ποιοτικοί παράμετροι του νερού (π.χ.

υπολειμματικό χλώριο), σε συνδυασμό με τα υδραυλικά χαρακτηριστικά της ροής. Ο έλεγχος αυτός αφορά στην λειτουργία του δικτύου και απαιτεί εξειδικευμένα μοντέλα προσομοίωσης.

- **Έλεγχος αντιπληγματικής προστασίας:** Το δίκτυο πρέπει να ελέγχεται έναντι της εμφάνισης μεγάλων υποπιέσεων και υπερπιέσεων, που οφείλονται σε υδραυλικό πλήγμα (πρακτικά, κίνδυνο πλήγματος αντιμετωπίζουν τα ακτινωτά τμήματα ενός δικτύου). Το φαινόμενο παρατηρείται σε συνθήκες μη μόνιμης ροής.

## 2.4 Επαρκής Συντήρηση

Η αξιοπιστία του δικτύου σε όλη την διάρκεια ζωής του, εξαρτάται σχεδόν αποκλειστικά από την επαρκή ή μη συντήρησή του. Οι πιθανές αστοχίες στα εξαρτήματα που το αποτελούν ελαττώνονται αν η συντήρησή τους είναι τακτική και η άμεση αντικατάσταση αυτών που κρίνονται πλέον ακατάλληλα αυξάνουν τα επίπεδα αξιοπιστίας της λειτουργίας του δικτύου.

Έτσι, μιας και από τα σημαντικότερα εξαρτήματα του δικτύου είναι οι *βάνες*, με τις οποίες απομονώνονται τμήματα του δικτύου, τόσο σε περίπτωση επισκευής μιας βλάβης όσο και στις τακτικές διεργασίες συντήρησης, το προσωπικό πρέπει να γνωρίζει επακριβώς την θέση και τον αριθμό των βανών (τήρηση αρχείου), ώστε να ενεργεί γρήγορα και αποτελεσματικά. Φυσικά, δεν είναι σώφρον να αναμένεται περίπτωση βλάβης για να χρησιμοποιηθεί μια βάνα η οποία μπορεί λόγω αχρησίας να αστοχήσει την πιο ακατάλληλη στιγμή. Το προσωπικό οφείλει ανά περιόδους να ελέγχει την σωστή λειτουργία των βανών και να αντικαθιστά όσες κρίνει ελαττωματικές.

Η αλλαγή εξαρτημάτων, η συντήρησή τους και η απενεργοποίησή τους ανά τακτά χρονικά διαστήματα, δεν μπορεί να τελείται σε τυχαίους χρόνους και κατά βούληση του προσωπικού συντήρησης. Μέσω υπολογιστή υπολογίζονται οι χρονικές περίοδοι χαμηλής ζήτησης και τότε προγραμματίζονται οι εργασίες συντήρησης. Φυσικά, πιθανολογείται σε μια τυχαία βλάβη να απαιτηθεί επί τόπου διαδικασία επισκευής και γι αυτό το λόγο το προσωπικό συντήρησης οφείλει πάντοτε να διατηρεί *αποθήκη* με υλικά και ενημερωμένο αρχείο που θα βοηθά στην άμεση αντιμετώπιση του προβλήματος.

Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα που διακυβεύει την αξιοπιστία ενός δικτύου ύδρευσης είναι η ύπαρξη διαρροών. Οι διαρροές είναι συχνό φαινόμενο και να παρουσιάζονται σε πλήθος αγωγών, αλλά με την πάροδο του χρόνου γίνονται εντονότερες και άρα δημιουργούν πρόβλημα απωλειών. Κατά συνέπεια απαιτείται η εφαρμογή ενός προγράμματος ανίχνευσης διαρροών και εν συνεχεία επισκευής των προβληματικών αγωγών. Υπάρχουν ποικίλοι τρόποι εντοπισμού των διαρροών, αν και ο εξοπλισμός που απαιτείται αυξάνει σημαντικά το κόστος συντήρησης και υλοποίησης του δικτύου.

Τέλος, στα σύγχρονα συστήματα ύδρευσης ο έλεγχος, οι προγραμματιζόμενες διακοπές και όλα τα στοιχεία συντήρησης και λειτουργίας του διατηρούνται ως αρχείο σε βάσεις δεδομένων, οι οποίες επικοινωνούν άμεσα με το ψηφιακό μοντέλο του δικτύου και είναι σε θέση να ενημερώνουν καθημερινά το προσωπικό συντήρησης για τις εργασίες που οφείλουν να τελέσουν, αυξάνοντας έτσι τα επίπεδα αξιοπιστίας του δικτύου.

# Κεφάλαιο 3

## Διαρροές στα δίκτυα Ύδρευσης

Στην παρούσα εργασία ο έλεγχος στα δίκτυα ύδρευσης επικεντρώνεται στον εντοπισμό των διαρροών μέσω συστημάτων παρακολούθησης και PLC αισθητήρων. Ακολουθεί λοιπόν ιδιαίτερη μνεία στο φαινόμενο των διαρροών και της σημασίας αυτού.

Η αυξανόμενη ζήτηση, οι κλιματικές αλλαγές και η γενικότερη ελάττωση των φυσικών πόρων έχουν οδηγήσει στη συνειδητοποίηση ότι οι διαρροές είναι σημαντικό πρόβλημα και οι μηχανικοί πρέπει να επιληφθούν άμεσα. Μελέτες έχουν δείξει ότι στην Ευρώπη το ένα τρίτο (1/3) των χωρών έχει σχετικά χαμηλή διαθεσιμότητα σε νερό, δηλ. λιγότερο από 5000 μ<sup>3</sup>/άτομο/έτος, ενώ οι νότιες χώρες επηρεάζονται ιδιαίτερα, όπως η Μάλτα που έχει μόνο 100 μ<sup>3</sup>/άτομο/έτος. Στις πυκνοκατοικημένες χώρες της Βόρειας Ευρώπης, όπως το Βέλγιο, την Δανία και την Αγγλία που εντοπίζεται επίσης χαμηλή διαθεσιμότητα νερού. Το καλοκαίρι του 2007, παρατηρηθήκαν στην Τουρκία και την Νοτιοανατολική Ευρώπη φαινόμενα σοβαρής ξηρασίας. Το νερό ευρωπαϊκά διαμοιράζεται μεταξύ γεωργικής κατανάλωσης, περί το 26% του συνόλου, με αυξημένη την ζήτηση στις νότιες χώρες, 53% για την βιομηχανία και το 19% δαπανάται στην οικιακή χρήση.

Οι απαιτήσεις σε νερό ολοένα και αυξάνονται και ενώ μέχρι τώρα η διαχείριση της ζήτησης συνεπαγόταν απλώς την αύξηση της παροχής, μέσω της ανάπτυξης νέων πόρων και σχεδίων

μεταφοράς, στις μέρες μας αναζητούνται πιο αποδοτικοί τρόποι χρήσης του νερού, με τους οποίους θα περιορίζονται οι απώλειες, θα επιτυγχάνεται λιγότερη σπάταλη κατά την χρήση του νερού, με πιο αποδοτικές συσκευές και θα τελείται ανακύκλωση.

Αξίζει να σημειωθεί ότι, οι απώλειες νερού στα συστήματα διανομής υπολογίζονται κατά μέσο όρο περίπου στο 30 έως 40% του νερού που περνά από τα δίκτυα. Σε μερικές από τις πρώην ανατολικο-ευρωπαϊκές χώρες η απώλεια νερού μπορεί να φτάσει έως και το 50%. Κι αυτό γιατί οι εταιρείες ύδρευσης θεωρούν τις απώλειες φθηνότερες από το κόστος που θα απαιτούνταν για την επισκευή του δικτύου τους. Συνήθως, υιοθετούν τον λεγόμενο «παθητικό έλεγχο διαρροών» με τον οποίο αναλαμβάνουν την επιδιόρθωση μόνο των ορατών διαρροών.

Καταλήγοντας σχετικά με την σπουδαιότητα του ελέγχου των διαρροών αναφέρουμε ότι πλέον θεωρείται εξαιρετικά σημαντική μιας και εξασφαλίζει την εξοικονόμηση σημαντικών ποσοτήτων νερού, πολύτιμων ειδικά στις μέρες μας που τα αποθέματα ολοένα. Επίσης, αυτού του τύπου οι διεργασίες προστατεύουν το πόσιμο νερό από τις μολύνσεις, ενώ εξασφαλίζεται οικονομία στην κατανάλωση του ηλεκτρικού ρεύματος κατά τη λειτουργία των αντλιοστασίων. [1,15]



Εικόνα 3.1: λίμνη σε ξηρασία

### 3.1 Απώλεια Ύδατος

Η απώλεια ύδατος με οικονομικούς όρους αναφέρεται ως *μη τιμολογημένο νερό (Non-Revenue Water - NRW)* και αναφέρεται στο νερό που δεν παραδίδεται στον καταναλωτή ή δεν μετράται ενώ διαπερνά το δίκτυο ύδρευσης. Ουσιαστικά, πρόκειται για *"Το νερό που μια εταιρεία ύδρευσης παράγει ή αγοράζει μαζικά και διανέμει στους πελάτες της και από το οποίο δεν έχει έσοδα"*.

Ο υπολογισμός των απωλειών ύδατος σε ένα δίκτυο είναι η διαφορά του όγκου του νερού που εισέρχεται σε αυτό μείον την εξουσιοδοτημένη (και καταγεγραμμένη) κατανάλωση. Το NRW είναι μεγάλης σπουδαιότητας για το δίκτυο ύδρευσης και ορίζει τα βασικά βήματα που απαιτούνται για την ανάπτυξη μιας στρατηγικής μείωσης σε ένα αποδεκτό επίπεδο. Έχει γίνει σταδιακά αποδοχή της στρατηγικής σημασίας της απώλειας ύδατος από τις εταιρείες ύδρευσης. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα στην Ευρώπη, όπου πολλές χώρες αναπτύσσουν ή έχουν αναπτύξει πολιτικές και προγράμματα για τον περιορισμό και τον έλεγχο της απώλειας ύδατος.

Οι απώλειες ύδατος κατηγοριοποιούνται ως εξής:

1. **Πραγματικές Απώλειες:** Είναι οι φυσικές απώλειες από διαρροές και υπερχειλίσεις στο υπό πίεση σύστημα, μέχρι τα σημεία που συνδέεται το δίκτυο με τον κάθε καταναλωτή. Οι πραγματικές απώλειες σχετίζονται κατά κύριο λόγο με τις διαρροές στα δίκτυα ύδρευσης και αναφέρονται σε αναφερθείσες και μη αναφερθείσες διαρροές από πίδακες νερού (bursts) σε σωλήνες, διαρροές σε σωλήνες και συναρμολογήσεις και διαρροές και υπερχειλίσεις σε δεξαμενές.
2. **Φαινομενικές Απώλειες:** Αποτελούνται από όλους τους τύπους ανακριβών μετρητών (εισόδου, εξόδου και μετρητές πελατών) και από μη εξουσιοδοτημένη κατανάλωση (κλοπή και παράνομη χρήση). Ονομάζονται επίσης εμπορικές απώλειες. Οι φαινομενικές απώλειες σχετίζονται περισσότερο με τον εξοπλισμό του δικτύου και αναφέρονται σε λάθη στους μετρητές που τοποθετούνται στα κεντρικά σημεία του δικτύου, σε λάθη στους μετρητές των πελατών, στην μη εξουσιοδοτημένη χρήση του δικτύου δηλ. σε παράνομες συνδέσεις και κλοπή ύδατος, καθώς και σε στην πολιτική εντοπισμού και επισκευής των διαρροών της συγκεκριμένης εταιρείας.

Η ποσότητα του νερού που χάνεται μέσω του δικτύου ύδρευσης δεν είναι πάντοτε η ίδια και εξαρτάται από συγκεκριμένους παράγοντες. Πιο αναλυτικά, το ποσοστό των απωλειών

επιηρεάζεται από την πίεση που επικρατεί στο σύστημα, μιας και καθορίζει πόσο νερό θα χάνεται στην μονάδα του χρόνου από μία διαρροή. Επίσης, πρέπει να προσμετρηθούν η συχνότητα εμφάνισης διαρροών με πίδακες νερού και του ρυθμού ροής τους, αφού συνεπάγονται μεγάλες απώλειες. Επιπρόσθετα, στους υπολογισμούς εισέρχεται και το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί μεταξύ της ύπαρξης μιας διαρροής και του εντοπισμού και της επισκευής της. Τέλος, σε κάθε δίκτυο ύδρευσης υφίστανται μικροδιαρροές οι οποίες καθίστανται μη ανιχνεύσιμες και συνεισφέρουν όμως σημαντικά στον όγκο των συνολικών απωλειών.

Στις μέρες μας, που η έλλειψη του νερού γίνεται ολοένα και εντονότερη κατανοούμε ότι οι πραγματικές απώλειες ύδατος αντιστοιχούν στην σπατάλη του φυσικού πόρου (πηγής) κάτι που πλέον είναι απαγορευτικό. Οι εταιρείες ύδρευσης αν διαχειριστούν τις διαρροές τους θα διαθέτουν περισσότερο νερό για να παρέχουν στους πελάτες τους. Επιπρόσθετα, δεν θα απαιτούνται περαιτέρω έργα υποδομής για σύνδεση με νέους φυσικούς πόρους. Σε οικονομική βάση τίθεται λοιπόν το ερώτημα αν η εταιρεία επωφελείται σε κόστος αν διαθέσει χρήματα για επισκευή και ουσιαστικό έλεγχο του υπάρχοντος δικτύου ή αν δημιουργήσει νέα δικτυώματα. Θεωρητικά, το ερώτημα δεν θα απασχολεί στο μέλλον μιας και απάντηση θα είναι προφανής και θα διενεργούνται όλες εκείνες οι αναγκαίες πρακτικές (μέρος των οποίων προαναφέρθηκε στο κεφ.2) για τον περιορισμό των διαρροών.



Εικόνα 3.2: διαρροή ορατή στο οδόστρωμα

## 3.2 Ποσότητα Της Απώλειας Ύδατος

Ένα εύρωστο δίκτυο ύδρευσης ακολουθεί έναν αριθμό από πρακτικές κατά τον σχεδιασμό και την λειτουργία του ώστε να περιορίζει όσο το δυνατόν τις απώλειες του. Σε αυτή την κατεύθυνση εξετάζονται η τοπολογία του δικτύου και οι τοπικοί παράγοντες που το επηρεάζουν, ο τρόπος διαχείρισης του δικτύου και η τεχνολογία που χρησιμοποιείται για τον έλεγχο και τον εντοπισμό των διαρροών, καθώς και ο τρόπος συλλογής δεδομένων και η επεξεργασία τους για την εκτίμηση του ποσοστού απωλειών ύδατος.

Ειδικότερα για την εκτίμηση της απώλειας ύδατος, μέχρι σήμερα έχουν εφαρμοστεί τρεις διαφορετικές μέθοδοι που βοηθούν τους μηχανικούς να αποκτήσουν μια συνολική εικόνα για την λειτουργικότητα του δικτύου. Έτσι, εφαρμόζονται η καθιέρωση μιας ισορροπίας ύδατος, η ανάλυση της νυχτερινής ροής (εκτίμηση των διαρροών με την προσέγγιση από "κάτω προς τα επάνω") ή ανάλυση των συστατικών. Ο υπολογισμός της ισορροπίας ύδατος είναι η πιο συνηθισμένη μέθοδος εκτίμησης των απωλειών. Θα πρέπει να υπογραμμιστεί ότι, πριν ξεκινήσει η ανάπτυξη και εφαρμογή μιας στρατηγικής απώλειας ύδατος, είναι πολύ σημαντικό να είναι γνωστή η αρχική κατάσταση.

### 3.2.1 Ισορροπία Ύδατος

Η ισορροπία ύδατος καθορίζει το επίπεδο των απωλειών σε ένα δίκτυο ύδρευσης αφαιρώντας από την ποσότητα νερού που εισέρχεται στο σύστημα από την μετρούμενη κατανάλωση αυτού. Σύμφωνα με το πρότυπο της IWA, *όγκος εισόδου* στο δίκτυο ύδρευσης ορίζεται ο ετήσιος όγκος του εισερχόμενου ύδατος στο μέρος του δικτύου ύδρευσης το οποίο σχετίζεται με τον υπολογισμό της ισορροπίας του ύδατος. Ως *εξουσιοδοτημένη κατανάλωση* ορίζεται ο ετήσιος όγκος καταγεγραμμένου ή/και μη καταγεγραμμένου νερού, που λαμβάνεται από καταχωρημένους πελάτες, τον προμηθευτή νερού και άλλους, που είναι έμμεσα ή άμεσα εξουσιοδοτημένοι από τον προμηθευτή νερού για οικιστικούς, εμπορικούς και βιομηχανικούς λόγους. Τέλος ως *απώλειες ύδατος* ορίζεται η διαφορά μεταξύ του όγκου εισόδου στο σύστημα και της εξουσιοδοτημένης κατανάλωσης και μπορούν να υπολογιστούν σε ολόκληρο το σύστημα ή σε υπο-δίκτυα, όπως σε δίκτυα μεταφοράς ή διανομής ή σε μεμονωμένες ζώνες.

Για τον υπολογισμό της ισορροπίας ύδατος, ακολουθούνται διεργασίες μετρήσεων και υπολογισμών των δεδομένων που συλλέγονται από το δίκτυο. Σε γενικές γραμμές το πρώτο

βήμα του υπολογισμού είναι ο καθορισμός του όγκου εισόδου στο σύστημα, αφού προτού εντοπιστούν και μετρηθούν όλες οι πηγές και οι ποσότητες νερού που εισέρχονται σε αυτό. Ακολούθως, καθορίζεται η εξουσιοδοτημένη χρήση, είτε χρεώνεται είτε όχι μέσω του συστήματος μετρήσεων του δικτύου. Τέλος, εκτιμώνται οι φαινομενικές και φυσικές απώλειες. Σε αυτή την εκτίμηση θεωρείται ότι οι μετρητές των καταναλωτών δεν αντικατοπτρίζουν την πραγματική κατανάλωση και συνυπολογίζεται ένα ποσοστό νερού που δεν μετράται, ότι το σύστημα υπόκειται σε κλοπές και παράνομες συνδέσεις (ακόμα ένα ποσοστό απωλειών) και πρέπει να υπολογιστούν τα επίπεδα των διαρροών, είτε εντοπίστηκαν είτε παραμένουν αφανή.

### **3.2.2 Η Χρυσή Τομή Των Απωλειών Ύδατος**

Οι απώλειες ύδατος για να αντιμετωπιστούν απαιτούν εργατικό δυναμικό, είναι χρονοβόρες και κοστίζουν σημαντικά. Από ένα σημείο και έπειτα η μείωση των απωλειών καθίσταται ανώφελη μιας και το οικονομικό όφελος που θα προέκυπτε δεν αντισταθμίζει το κόστος των εργασιών και του εξοπλισμού που απαιτείται. Έτσι, ως χρυσή τομή των απωλειών ύδατος ορίζεται το επίπεδο των διαρροών που επιδιορθώνονται, κάτω από το οποίο δεν υπάρχουν οικονομικά οφέλη αλλά ζημιές για την εταιρεία ύδρευσης.

Ο υπολογισμός της χρυσής τομής είναι δυναμικός, διαφοροποιείται δηλαδή με την πάροδο του χρόνου και απαιτεί να ληφθούν υπόψη μια πλειάδα από θέματα. Τα έργα αντικατάστασης μέρος του δικτύου (αγωγοί) που απαιτούν επιπρόσθετο κόστος, αλλά και η συχνότητα των διαρροών, που σχετίζεται και με αντίξοες καιρικές συνθήκες, διαφοροποιούν το ποσοστό που επιτρέπεται ή επιβάλλεται να επισκευαστεί. Επίσης, αν απαιτηθεί η δημιουργία έργων διαχείρισης των διαρροών, όπως διαχείριση της πίεσης, καταμέτρηση της περιοχής του δικτύου και έλεγχος του επιπέδου των ενεργών διαρροών, θα επηρεαστεί επίσης το βέλτιστο επίπεδο διαρροών. Παράγοντες όπως οι αλλαγές στην αξία του ύδατος, το κόστος παραγωγής και διανομής, τυχόν αυξήσεις της τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας, ή και ελλείψεις που προκαλούνται από ξηρασία καθορίζουν τι μπορεί να αντιμετωπιστεί σε επίπεδο διαρροών. Επίσης, οι κανονισμοί ελέγχου ποιότητας του νερού και τα πρότυπα που υποστηρίζουν τα δίκτυα ύδρευσης σε ευρωπαϊκό επίπεδο, μπορεί να αλλάξουν, αναγκάζοντας την Εταιρεία Ύδρευσης στην αναβάθμιση των εγκαταστάσεων επεξεργασίας του νερού και άρα στην αύξηση του κόστους των συστημάτων. Εν κατακλείδι, μιας και οι τεχνικές προσδιορισμού των απωλειών αλλάζουν, τα συστήματα βελτιώνονται και γίνονται αποδοτικότερα και οι φυσικοί πόροι εξαντλούνται, συνιστάται η

εταιρεία ύδρευσης να αναθεωρεί, με βάση τα δεδομένα της, την χρυσή τομή απωλειών κάθε δύο χρόνια.

### 3.3. Στρατηγική Για Την Μείωση Της Απώλειας Ύδατος

Η εταιρεία ύδρευσης αφού εκτιμήσει το επίπεδο των απωλειών ύδατος στο δίκτυό της και κατανοήσει ποιες περιπτώσεις είναι άμεσα αντιμετωπίσιμες και ποιες παρουσιάζουν δυσκολίες λόγω τοπικών παραγόντων, που είναι ιδιαίτεροι για κάθε δίκτυο, τότε μπορεί να οργανώσει μια στρατηγική για τον περιορισμό των διαρροών. Η στρατηγική θα αναπτυχθεί με γνώμονα την χρυσή τομή απωλειών, ώστε να είναι οικονομικά αποδεκτή και συμφέρουσα και θα λαμβάνει υπόψη τις ιδιαιτερότητες του συγκεκριμένου δικτύου.

Γι' αυτό το λόγο οι μηχανικοί που υποστηρίζουν αυτή την διεργασία οφείλουν να κατανοούν πλήρως το δίκτυο ύδρευσης και την συμπεριφορά του, υπό τις συνθήκες λειτουργίας του. Αφού λοιπόν ορίσουν το επίπεδο απωλειών που υφίσταται το δίκτυο, μέσω ελέγχων των δεδομένων του δικτύου, τότε θα πρέπει να ορίσουν στόχους τόσο βραχυπρόθεσμους όσο και μακροπρόθεσμους, ανάλογα με την σπουδαιότητα των φαινομένων και της λύσης που απαιτούν. Οι λύσεις που θα προταθούν πρέπει να προγραμματιστούν και να σχεδιαστούν προσεκτικά και αφού υλοποιηθούν να παρακολουθούνται και να συντηρούνται επαρκώς, ώστε να επικυρώνεται ή όχι η επιτυχία της ακολουθούμενης στρατηγικής και να υλοποιούνται οι απαραίτητες αλλαγές.

#### 3.3.1 Μεθοδολογία Ελέγχου Διαρροών

Στα δίκτυα ύδρευσης γίνεται έλεγχος των διαρροών, στις περιοχές που εκτείνονται οι αγωγοί. Εν γένει ο έλεγχος των διαρροών χωρίζεται σε δύο μεγάλες κατηγορίες [16]:

- Τον **παθητικό** έλεγχο διαρροών: πρόκειται για την άμεση αντίδραση που προκύπτει όταν εντοπίζονται ορατές διαρροές είτε από το προσωπικό του δικτύου είτε από τους καταναλωτές. Η υιοθέτηση αυτής της πολιτικής ελέγχου ελαχιστοποιεί το καθημερινό κόστος της ανίχνευσης διαρροών αλλά αυξάνει κατά πολύ τα ποσοστά νερού που σπαταλούνται λόγω αφανών διαρροών. Μια τέτοια είδους πολιτική εφαρμόζεται αν το κόστος ανίχνευσης των διαρροών είναι απαγορευτικό για το είδος του δικτύου που εφαρμόζεται, όταν η κατανάλωση είναι μικρή και δεν τίθεται θέμα εξυπηρέτησης των

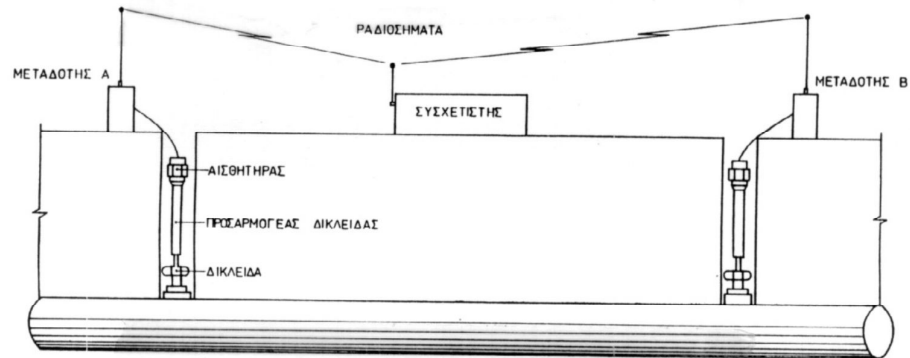
καταναλωτών σε περίπτωση διαρροής ή είναι τέτοια η δομή του δικτύου που είναι αδύνατος να μην εντοπιστούν οι διαρροές.

- Τον **ενεργό έλεγχο διαρροών**: πρόκειται για την υιοθέτηση μεθόδων και εξειδικευμένου προσωπικού, με τα οποία εντοπίζονται διαρροές που δεν είναι άμεσα ορατές.

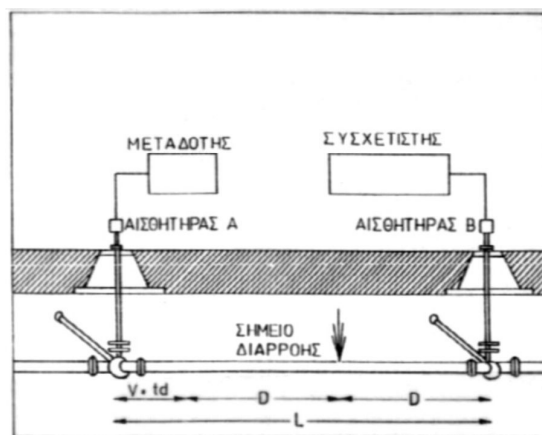
Κατά την υλοποίηση ενός προγράμματος ενεργού ελέγχου διαρροών απαιτούνται τρία βασικά στάδια και η χρήση συγκριμένου τεχνολογικού εξοπλισμού. Τα στάδια είναι τα εξής [1]:

1. **Προεκτίμηση απωλειών νερού**: σε αυτό το στάδιο η περιοχή που εξυπηρετεί το δίκτυο διαιρείται σε τμήματα (**DMA- District Metered Area**). Σε κάθε τμήμα μετράται σε συνεχή χρόνο η διερχόμενη παροχή με εγκατάσταση ροομέτρων, ώστε να προκύπτει ποσοτική εκτίμηση των πιθανών απωλειών. Ο στόχος αυτού του σταδίου είναι να εντοπιστούν οι ύποπτες ζώνες και εάν είναι εφικτό, τα ύποπτα για διαρροή τμήματα αγωγών. Οι μετρητές μπορούν να υποδείξουν πιθανή διαρροή αν σημειωθεί μία ανεξήγητη αύξηση της κατανάλωσης ή της ελάχιστης διερχόμενης παροχής (νυχτερινή ροή) σε κάποιο τμήμα του δικτύου. Επίσης, ύπαρξη διαρροής καταδεικνύεται όταν σημειωθεί πτώση πίεσης, εμφάνιση νερού στην επιφάνεια του εδάφους ή θόρυβος που προκαλείται στο σημείο της διαρροής στην περίπτωση που αυτός γίνεται αντιληπτός από το ανθρώπινο αυτί (μεταλλικός αγωγός, περιορισμένη θραύση και υψηλή πίεση λειτουργίας).
2. **Ακριβής προσδιορισμός σημείου διαρροής**: σε αυτό το στάδιο, μετά την απομόνωση των ύποπτων τμημάτων αγωγών του δικτύου, γίνεται χρήση ειδικών οργάνων (συσχετιστών – correlators) για τον ακριβή εντοπισμό της θέσης της διαρροής.
  - 2.1. Μέχρι σήμερα ο πιο συνήθης τρόπος εντοπισμού των διαρροών ήταν μέσω ανάλυσης του θορύβου που παράγεται στο σημείο της διαρροής από το νερό που εξέρχεται από το σωλήνα. Ο θόρυβος (ηχητικό σήμα) που δημιουργείται στο σημείο της διαρροής μεταδίδεται τόσο από το ίδιο το νερό όσο και από τα τοιχώματα του αγωγού και είναι συνάρτηση πολλών παραγόντων, όπως του ύψους πίεσεως, του τύπου της θραύσης του σωλήνα (ρωγμή, σπή κλπ), του υλικού κατασκευής του αγωγού, καθώς και των συνθηκών και τύπου εδάφους μέσα στο οποίο βρίσκεται ο αγωγός.

Έτσι, δύο μεγάλης ευαισθησίας αισθητήρες τοποθετούνται στα άκρα του υπό εξέταση τμήματος αγωγού, (συνήθως φρεάτια ειδικών συσκευών όπως δικλείδων, αερεξαγωγών κλπ). Από αυτούς, ο ένας συνδέεται μέσω καλωδίου με ένα μεταδότη (transmitter) και ο άλλος με την κεντρική μονάδα επεξεργασίας σήματος (συσχετιστή) ή με δεύτερο μεταδότη. Τα λαμβανόμενα ηχητικά σήματα από τους μεταδότες μεταφέρονται τηλεμετρικά στο συσχετιστή όπου αναλύονται και προσδιορίζεται η διαφορά φάσης λήψης τους. Αυτό επιτρέπει τον ακριβή εντοπισμό της θέσης της διαρροής.



Εικόνα 3.3: Γραφική απεικόνιση συνδεσμολογίας συσχετιστή με δύο μεταδότες σε τμήμα αγωγού υπό πίεση.

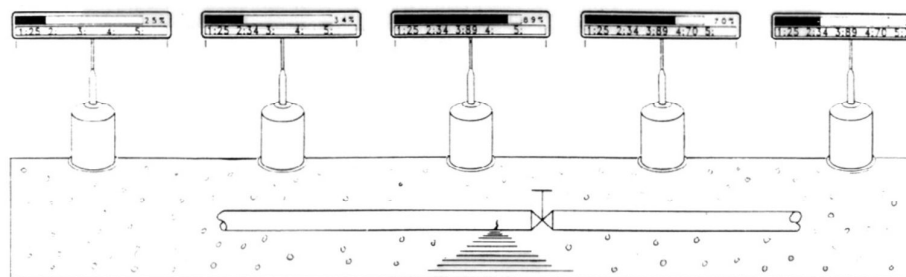


Εικόνα 3.4: Διάταξη συσχετιστή με ένα μεταδότη

Το πρόβλημα με την μέθοδο είναι ότι απαιτείται η χρήση φίλτρων μιας και οι μετρήσεις λαμβάνονται στο εξωτερικό περιβάλλον, όπου επικρατεί θόρυβος από το φυσικό ή αστικό περιβάλλον. Οι σύγχρονοι συσχετιστές έχουν την δυνατότητα αυτόματης επιλογής των κατάλληλων φίλτρων και φέρουν οθόνη κρυστάλλων στην οποία ο χρήστης παρατηρεί το σήμα. Η αιχμή (peak) του «καθαρού» σήματος αντιστοιχεί στο σημείο της διαρροής.

Είναι προφανές ότι ο παραγόμενος θόρυβος στο σημείο της διαρροής είναι εντονότερος για μεταλλικό σωλήνα παρά για πλαστικό (PVC ή πολυαιθυλένιο). Επομένως, η μέγιστη επιτρεπόμενη απόσταση μεταξύ των αισθητήρων επηρεάζεται ανάλογα. Συγκεκριμένα, για χαλυβδοσωλήνα επιτρέπεται απόσταση έως δύο χιλιόμετρα, ενώ για πλαστικό σωλήνα, περιορίζεται στα 300 m περίπου. Αυτό συμβαίνει, επειδή στην τελευταία περίπτωση το σήμα στο σημείο διαρροής εξασθενεί ταχύτερα στο πλαστικό υλικό απ' ότι στο χάλυβα.

2.2. Άλλος τρόπος προσδιορισμού των διαρροών σε ένα σύστημα ύδρευσης είναι με την χρήση γαιόφωνων, τα οποία επίσης στηρίζονται σε ηχητικά σήματα. Ουσιαστικά, επιτρέπουν την επιτόπου ακρόαση της επιφάνειας του εδάφους κατά μήκος της διέλευσης του αγωγού. Το ηχητικό σήμα που λαμβάνεται από τον αισθητήρα του οργάνου ενισχύεται και φιλτράρεται ώστε να απομονωθούν παρασιτικοί θόρυβοι που δεν οφείλονται στην ύπαρξη της διαρροής.

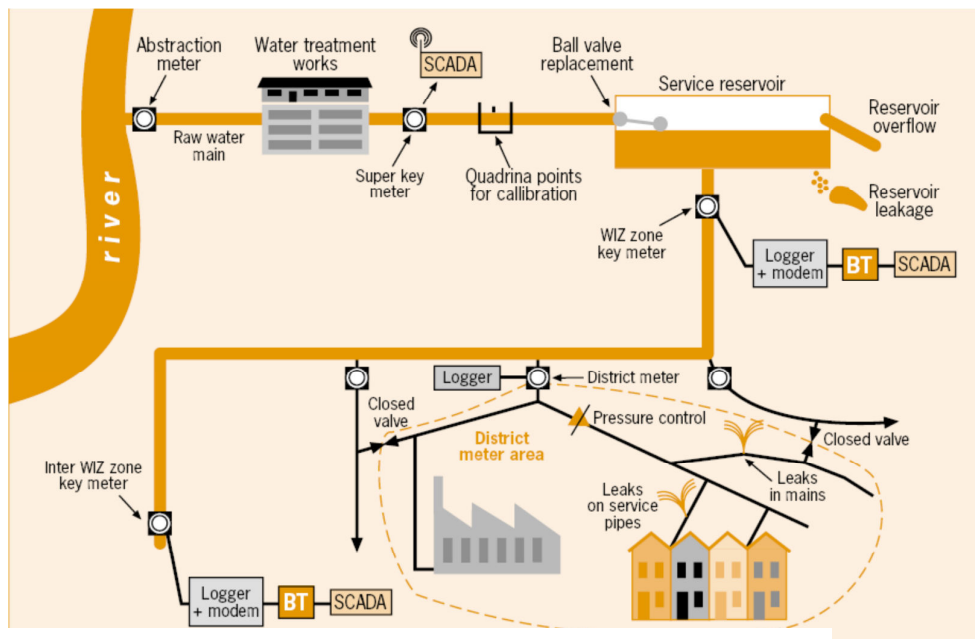


Εικόνα 3.5: Επίπεδο θορύβου σε οθόνη γαιόφωνου ανάλογα με την απόσταση από το σημείο της διαρροής.

2.3. Με την τεχνολογική εξέλιξη έγινε εφικτή και προσιτή η λύση της εγκατάστασης **μόνιμων συστημάτων ανίχνευσης διαρροών**. Πιλοτικά, εγκαταστάθηκε για πρώτη φορά στην Αγγλία το 1999 σημειώνοντας επιτυχία μιας και ως συστήματα

είναι εύχρηστα, ταχύτερα και άρα βοηθούν στην μείωση του κόστους ανταπόκρισης. Σε ένα τέτοιο σύστημα δημιουργείται ένα δίκτυο αισθητήρων κατά μήκος του δικτύου ύδρευσης, οι οποίοι επικοινωνούν με ένα όργανο επιτήρησης των σημάτων που παράγουν. Οι αποστάσεις τοποθέτησης των αισθητήρων εξαρτάται τόσο από την τεχνολογία κατασκευής τους, όσο και από το υλικό των αγωγών. Οφείλεται να επιλέγονται αισθητήρες αδιάβροχοι, μικροί σε μέγεθος και αυτοτροφοδοτούμενοι μέσω μπαταριών. Οι αισθητήρες τοποθετούνται αραιά σε περιπτώσεις που οι αγωγοί ύδρευσης είναι κατασκευασμένοι από σκληρό υλικό, η πίεση του δικτύου είναι υψηλή, το υπόστρωμα που βρίσκονται οι αγωγοί είναι σκληρό και οι συνηθισμένες θραύσεις είναι μικρές. Σε αντίθετη περίπτωση, το δίκτυο των αισθητήρων είναι πυκνοδομημένο.

Το όργανο που ονομάζεται «επιτηρητής» λαμβάνει τα σήματα των αισθητήρων και τα αναλύει, ενώ έχει και δυνατότητα αποθήκευσης των πληροφοριών. Επίσης, υπάρχει δυνατότητα να φέρει και δεδομένα GPS/GIS για τον καλύτερο χωροταξικό προσδιορισμό της θέσης των διαρροών. Πιο αναλυτικά, κάθε αισθητήρας εκπέμπει ένα σήμα το οποίο έχει δύο μορφές: μία που υποδηλώνει ορθή κατάσταση λειτουργίας του δικτύου και μία που ενεργοποιεί συναγερμό στον επιτηρητή μιας και υποδηλώνει φαινόμενο διαρροής. Ανάλογα με τον τύπο των αισθητήρων και της μονάδας ελέγχου τους, απαιτείται είτε προσωπικό το οποίο θα επιτηρεί μια κονσόλα παρακολούθησης των σημάτων των αισθητήρων, είτε προσωπικό που θα φέρει τον «επιτηρητή» ανά χείρας και θα κινείται κατά μήκος του δικτύου περιοδικά στον χρόνο. Πολλές εταιρείες ύδρευσης έχουν αναγνωρίσει ότι μια επιτυχημένη μορφή διαχείρισης των διαρροών είναι μέσω εφαρμογής μετρητών περιοχών και SCADA (supervisory control and data acquisition) που διευκολύνουν τον συνεχή και απομακρυσμένο έλεγχο των ροών και της πίεσης του δικτύου.



Εικόνα 3.6: σύστημα ελέγχου διαρροών

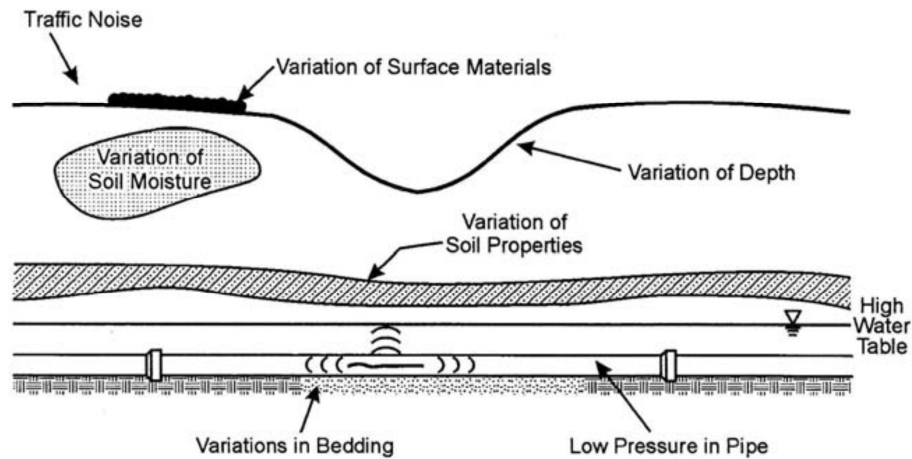
3. **Επιβεβαίωση διαρροής:** Σε οποιαδήποτε περίπτωση, όταν προκύψει προειδοποιητικό σήμα, ο ελεγκτής αναγιγνώσκει τον αριθμό του αισθητήρα που εκπέμπει το σήμα, την στάθμη του σήματος διαρροής και την θέση της διαρροής. Με βάση τα δεδομένα που έχουν αποθηκευθεί στη μνήμη του “επιτηρητή”, στα ύποπτα για ύπαρξη διαρροών σημεία του δικτύου γίνεται επέμβαση από ειδική ομάδα επιβεβαίωσης και εντοπισμού με ακρίβεια της θέσης της διαρροής, είτε με συσχετιστή, είτε με γαϊόφωνο.

Αξίζει να σημειωθεί, ότι το ποσοστό του απολεσθέντος ύδατος συναρτάται άμεσα από τον ρυθμό ροής και τον χρόνο που εξελίσσεται το φαινόμενο. Η χρονική περίοδος που μετράται χωρίζεται σε τρία μέρη: τον χρόνο συνειδητοποίησης της διαρροής, τον χρόνο εντοπισμού του ακριβούς σημείου και τέλος του χρόνου επιδιόρθωσης της βλάβης.

### 3.4 Δυσκολίες Στον Προσδιορισμό Του Σημείου Διαρροής

Σύμφωνα με τα προαναφερόμενα, καταδεικνύεται ότι ο εντοπισμός του σημείου διαρροής, αν αυτή δεν είναι ορατή, δεν αποτελεί εύκολη υπόθεση. Τα σημαντικότερα σημεία που δυσχεραίνουν τις διαδικασίες εντοπισμού είναι τα εξής:

- Παρεμβολές: οι περιβαλλοντικές συνθήκες μπορούν να δημιουργήσουν δυσκολία στον ακουστικό εντοπισμό των διαρροών (έντονος θόρυβος). Επίσης, οι ποικίλες ιδιότητες του εδάφους που φιλοξενεί τους αγωγούς, η υγρασία και η πίεση του νερού αλλάζουν τα δεδομένα των μετρήσεων ανά περιοχή. Γι' αυτό ο εντοπισμός των διαρροών απαιτεί εκπαιδευμένο και έμπειρο προσωπικό.
- Πρόσβαση στα σημεία ελέγχου: σε πολλές περιπτώσεις η απόσταση μεταξύ του αισθητήρα ανίχνευσης και της διαρροής δεν είναι η ιδανική και δεν διευκολύνεται ο ακριβής εντοπισμός του σημείου.
- Τοποθέτηση αγωγών: σε παλαιότερα δίκτυα ύδρευσης με ελλιπή χαρτογράφηση, ο εντοπισμός των αγωγών είναι εξαιρετικά δύσκολος και το έργο εντοπισμού των διαρροών καθίσταται αδύνατο.
- Πλαστικοί αγωγοί: οι διαρροές στους πλαστικούς αγωγούς εντοπίζονται δύσκολα, μιας και οι δονήσεις που προκαλούν αποσβένονται γρήγορα λόγω του υλικού του αγωγού και ο ήχος που προκαλείται δεν μεταδίδεται με την ίδια ευκολία, που μεταδίδεται στους μεταλλικούς αγωγούς.
- Αγωγοί σε σειρά: τα χαρακτηριστικά του ήχου αλλοιώνονται σε αγωγούς που βρίσκονται σε σειρά και συνδέονται μεταξύ τους, συνήθως με μεταλλικά εξαρτήματα, και τελικά ο ήχος μπορεί να αποδίδεται σε ένα σημείο το οποίο βρίσκεται αρκετά μακρύτερα από το πραγματικό σημείο διαρροής.
- Πολλαπλές διαρροές: οι συσχετιστές είναι προγραμματισμένοι να αναλύουν και να εντοπίζουν μία μόνο διαρροή στο σύστημα ύδρευσης και γι' αυτό πολλαπλές διαρροές στον ίδιο τμήμα του δικτύου πρέπει να έχουν διαφορετικό τρόπο αντιμετώπισης.



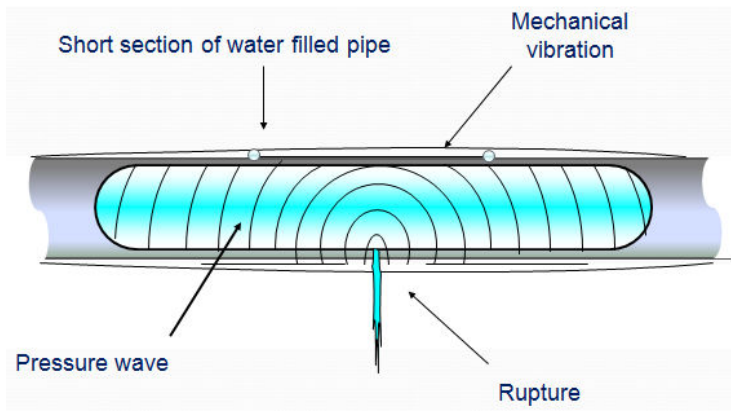
Εικόνα 3.7: λειτουργία συσχετιστή

### 3.4.1 Ανάλυση Του Ήχου Των Διαρροών

Ο ήχος που ανιχνεύεται από τους αισθητήρες σε έναν αγωγό εκτός από μια πιθανή διαρροή μπορεί να προέρχεται από μια σειρά άλλων φαινομένων. Φαινόμενα όπως η μερική σύγκρουση των αγωγών με ξένο αντικείμενο, η μείωση της πίεσης του ύδατος μέσω βαλβίδας, η μερική ή ολική απομόνωση του ύδατος από τον αγωγό, η γειτνίαση με υπόνομο ή με αγωγό υπό στρέψη. Επίσης, η μεταβολή της διαμέτρου του αγωγού από σημείο σε σημείο προκαλεί φαινόμενα μη κανονικού θορύβου, καθώς και η άντληση ύδατος και οι ηλεκτρικές παρεμβολές από το περιβάλλον [12].

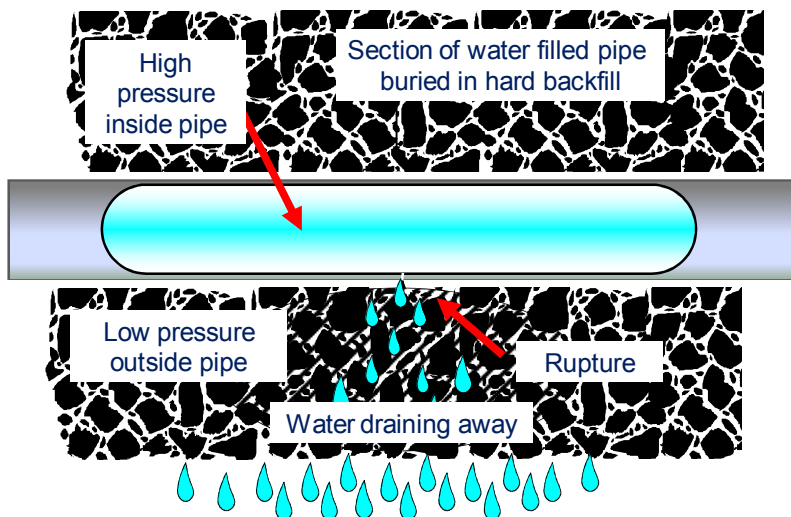
Οι παράγοντες που καθορίζουν την ποιότητα του θορύβου μιας διαρροής είναι η έντασή του και η καθαρότητά του, ως σήμα. Έτσι, ένα καλό σήμα ήχου διαρροής είναι «καθαρό» και σαφές στον διαχωρισμό από τους περιβαλλοντικούς θορύβους, με ικανοποιητική ένταση και εύκολο να εντοπιστεί με το αυτί. Από την άλλη μεριά ένα εκφυλισμένο σήμα θορύβου διαρροής απεικονίζεται μπερδεμένο, αδύναμο και παρουσιάζει δυσκολία στον διαχωρισμό του και στην ακουστική του.

Στην εικόνα 3.8 διακρίνονται οι δονήσεις που προκαλούνται σε έναν αγωγό με μερική θραύση τόσο εντός του αγωγού, δημιουργώντας κύματα πίεσης, όσο και στο εξωτερικό του περίβλημα με την μορφή μηχανικών δονήσεων. Ουσιαστικά, η διαρροή παράγει ενέργεια η οποία μεταφέρεται εντός του νερού κατά μήκος του αγωγού και στα τοιχώματα του αγωγού και αυτή η ενέργεια είναι που αναγνωρίζει ο αισθητήρας.

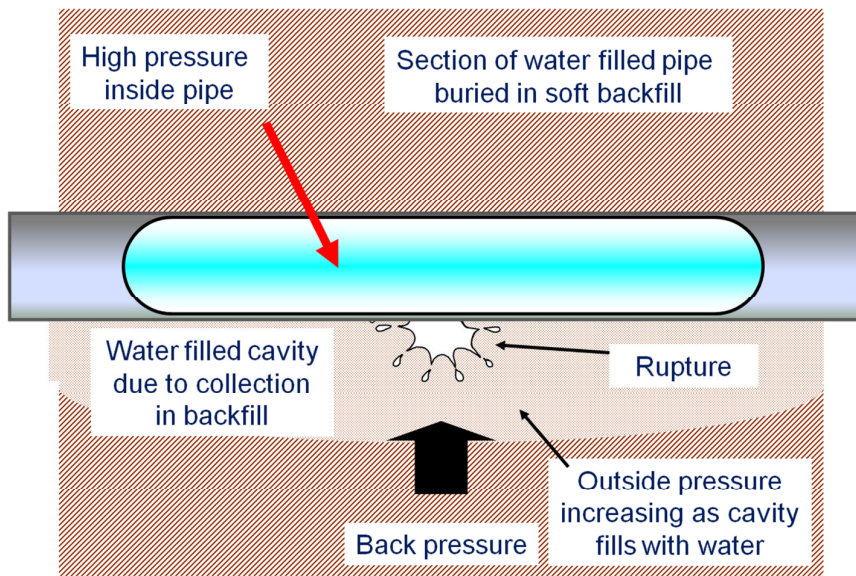


Εικόνα 3.8: δονήσεις σε αγωγό με θραύση

Κατά την τέλεση ενός φαινομένου διαρροής σημαντικό ρόλο διαδραματίζει το έδαφος μέσα στο οποίο φιλοξενείται ο αγωγός. Στην εικόνα 3.9 διακρίνεται ένας αγωγός σε σκληρό υπέδαφος και παρατηρείται ότι παρόλη την διαρροή, η πίεση εντός του αγωγού παραμένει υψηλή, εκτός του αγωγού χαμηλή και το νερό που διαφεύγει απομακρύνεται εύκολα μέσω του εδάφους. Στην εικόνα 3.10 ο σπασμένος αγωγός βρίσκεται σε μαλακό έδαφος και παρατηρείται ότι η πίεση εντός του αγωγού διατηρείται υψηλή, αλλά το νερό λιμνάζει εκτός του αγωγού και δεν αποστραγγίζεται με αποτέλεσμα σταδιακά να αυξάνεται η εξωτερική πίεση, κάτι που ίσως προκαλέσει περαιτέρω διαπλάτυνση του ρήγματος και ανάγκη ολικής αντικατάστασης του αγωγού.



Εικόνα 3.9: διαρροή αγωγού σε σκληρό υπέδαφος

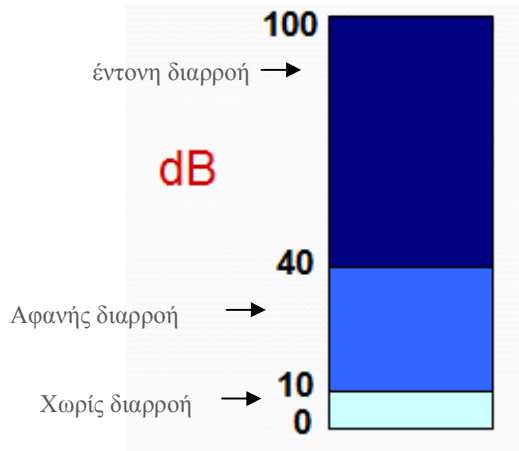


Εικόνα 3.10: Διαρροή αγωγού σε μαλακό υπέδαφος

Σύμφωνα, με τα προαναφερόμενα η παραγωγή ήχου διαρροής που να είναι άμεσα αντιληπτός και να μην εγείρει απορίες για την ύπαρξη ή όχι του φαινομένου, είναι συνάρτηση των έξης παραγόντων:

- Υψηλή πίεση εντός του αγωγού
- Σκληρό υπέδαφος
- Μικρή θραύση
- Μεταλλικοί αγωγοί
- Αγωγοί μικρής διαμέτρου

Σε ηχητικό επίπεδο θεωρείται ότι αν ένας αισθητήρας εξάγει σήμα από 0 dB -10 dB, τότε δεν υπάρχει διαρροή. Μεταξύ 10 dB -40 dB θεωρείται ότι υπάρχει διαρροή συνήθως αφανής και απαιτείται η χρήση συσχετιστών για τον εντοπισμό της και μεταξύ 40 dB - 100 dB η διαρροή είναι έντονη και εντοπίζεται τόσο με συσχετιστές όσο και με τις παραδοσιακές μεθόδους.



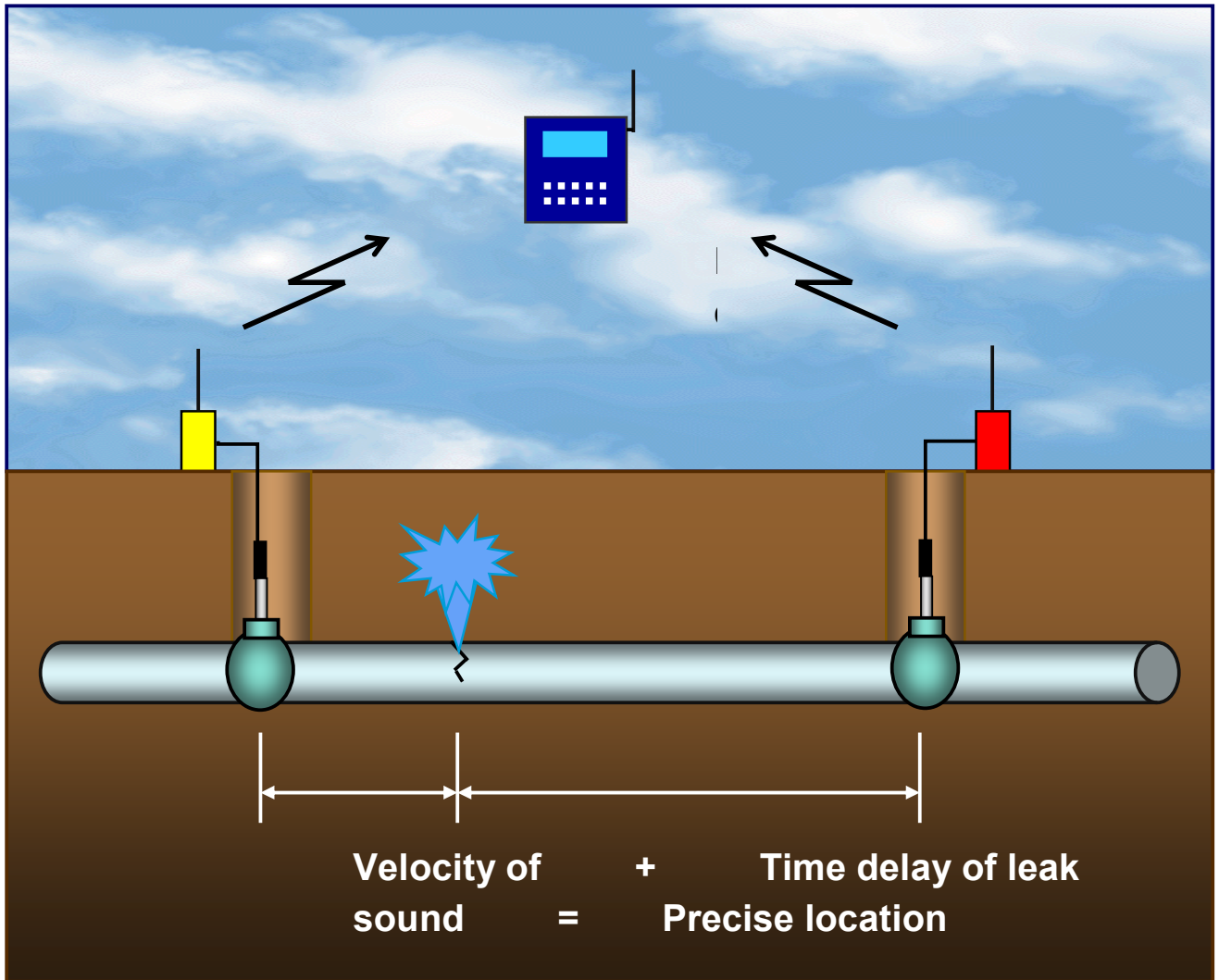
Εικόνα 3.11: συσχετισμός ύψους θορύβου και διαρροών

### 3.5 Συσχετιστές: Χαρακτηριστικά Και Τεχνολογία Λειτουργιάς

Η συσχέτιση δύο σημάτων είναι μια μαθηματική λειτουργία κατά την οποία τα σήματα συνδυάζονται με συγκεκριμένο τρόπο και παράγουν ένα τρίτο σήμα (cross-correlation). Αν το σήμα του ίδιου του συσχετιστή συνδυάζεται με ένα άλλο σήμα τότε το σήμα που προκύπτει ονομάζεται αυτό-συσχετιζόμενο.

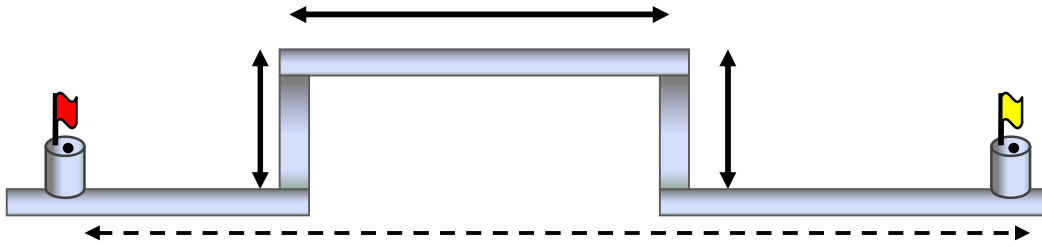
Στην περίπτωση της ανίχνευσης διαρροών μέσω δύο αισθητήρων εντοπισμού θορύβου διαρροής και ενός συσχετιστή, σημαντική προϋπόθεση είναι και οι δύο αισθητήρες να εντοπίζουν ποιοτικά τον ήχο της διαρροής (εικ.3.11).

Το ακριβές σημείο διαρροής υπολογίζεται από τον τύπο  $L = D - [(V \times T_d)/2]$ , όπου  $L$  είναι το σημείο της διαρροής μετρούμενο σε μέτρα (m),  $V$  είναι η ταχύτητα του ήχου κατά μήκος του αγωγού (απόσταση/χρόνος - m/ms),  $D$  είναι το συνολικό μήκος του αγωγού μετρούμενο σε μέτρα (m) και  $T_d$  η χρονική καθυστέρηση μεταξύ των δύο σημάτων των αισθητήρων(ms). Η τυπική ταχύτητα του νερού είναι 2 m/s και η τυπική ταχύτητα του ήχου μέσω μεταλλικού σωλήνα είναι 1300 m/s.

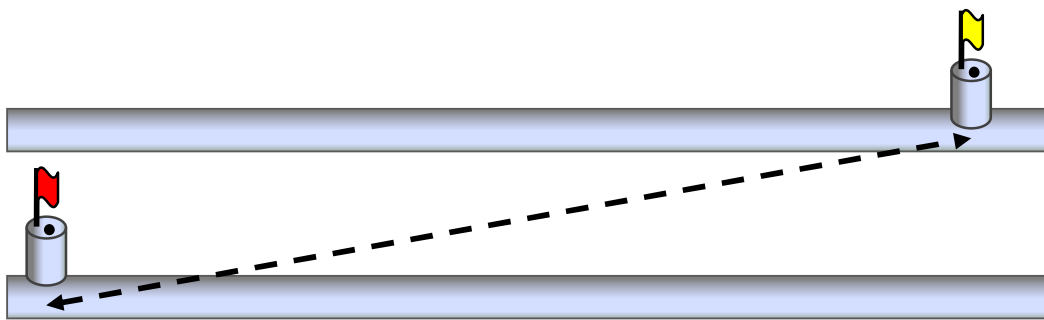


Εικόνα 3.12: υπολογισμός σημείου διαρροής με την χρήση συσχετιστή

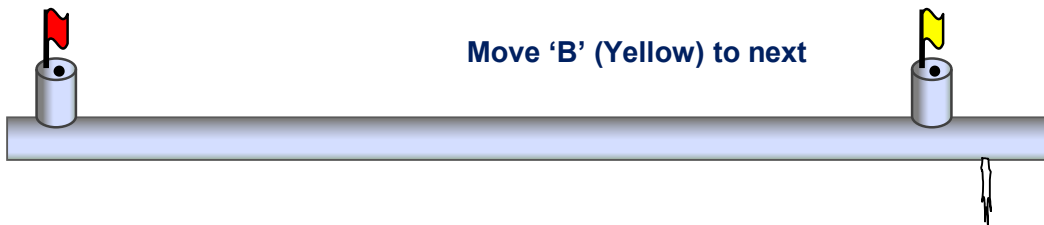
Η μέτρηση του συνολικού μήκους των αγωγών πρέπει να είναι προσεκτική και δεν πρέπει να θεωρηθεί ότι μεταξύ των δύο αισθητηρίων ο αγωγός που παρεμβάλλεται είναι απαραίτητως ευθύς (εικ.3.13). Επίσης, πρέπει να διασφαλιστεί ότι ο συσχετισμός προέρχεται από αισθητήρες που βρίσκονται συνδεδεμένοι στον ίδιο αγωγό και όχι σε γειτονικούς, διαφορετικά προκύπτει εσφαλμένη μέτρηση (εικ.3.14). Τέλος, αν η διαρροή βρίσκεται πολύ κοντά στο ένα αισθητήριο μπορεί να ανιχνεύεται από δύο διαφορετικά ζεύγη οπότε και πρέπει να ξεκαθαριστεί ποιο ζεύγος θα χρησιμοποιηθεί από τον συσχετιστή(εικ.3.15).



Εικόνα 3.13: Ακριβής μέτρηση αγωγού



Εικόνα 3.14: αισθητήρες τοποθετημένοι σε γειτονικούς αγωγούς



Εικόνα 3.15: διαρροή εκτός απόστασης συσχετισμού

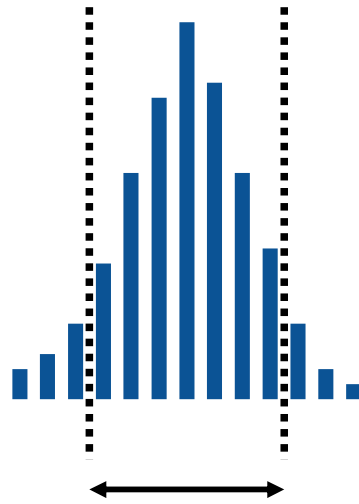
Η ταχύτητα του ήχου εντός του αγωγού επηρεάζεται από τους εξής παράγοντες:

- Το υλικό των αγωγών: στους μεταλλικούς σωλήνες ο ήχος ταξιδεύει γρηγορότερα ενώ στους πλαστικούς σωλήνες υποβιβάζεται σε μικρή απόσταση.
- Το μέγεθος των αγωγών: όσο μεγαλύτερη διάμετρο έχει ο αγωγός τόσο υποβιβάζεται η ταχύτητα του ήχου.

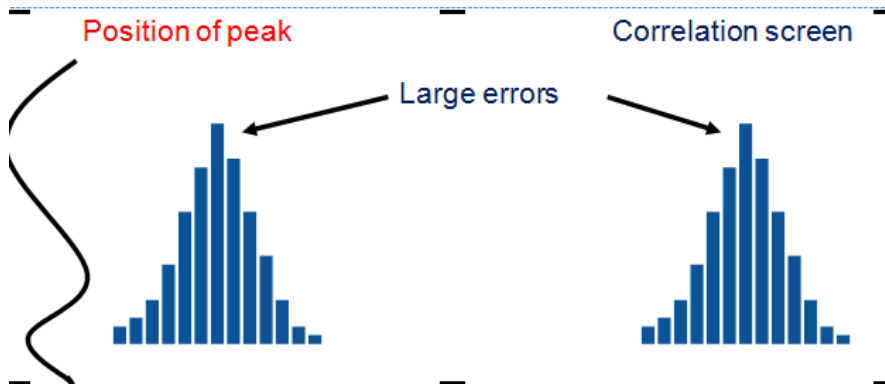
- Χρονικός υποβιβασμός: επηρεάζεται από την εσωτερική και εξωτερική κατάσταση του αγωγού η οποία μεταβάλλεται με την πάροδο του χρόνου.
- Επισκευές: οι αγωγοί στα πλαίσια της συντήρησής τους μπορεί να υποστούν αλλαγές σε τμήματα του υλικού τους, γεγονός που επηρεάζει τον τρόπο και την ταχύτητα μετάδοσης του ήχου διαμέσου τους.

Η παράμετρος της χρονικής καθυστέρησης υπολογίζεται όταν τα δύο σήματα που εκπέμπουν οι αισθητήρες είναι διαφορετικά και άρα υπάρχει διαφορά φάσης στην χρονική τους εξέλιξη. Αν η διαρροή βρισκόταν ακριβώς στην μέση της απόστασης των δύο αισθητήρων και οι αισθητήρες ως όργανα ήταν ακριβώς τα ίδια, τότε τα σήματα που θα εξέπεμπαν θα ήταν πανομοιότυπα. Αν η διαρροή βρίσκεται εγγύτερα στον έναν αισθητήρα από ότι στον άλλο, τότε υπάρχει μια μικρή διαφορά φάσης, συνήθως για ένα μικρό μέρος ενός δευτερολέπτου, ώστε ο ήχος να φτάσει τον μακρύτερο αισθητήρα.

Έτσι, όταν από τον συσχετιστή ανιχνεύονται σήματα της μορφής της εικόνας 3.16 όπου διακρίνονται έντονες αιχμές θεωρούμε ότι ουσιαστικά φαίνεται φαινόμενο διαρροής. Αν το σήμα συσχετισμού είναι παρόμοιο με το σήμα που προκύπτει από τους αισθητήρες τότε σημαίνει ότι ο υπολογισμός έχει υποστεί σφάλμα (εικ.3.17). Γενικά ισχύει ο κανόνας ότι οι μικρές αποκλίσεις στην ταχύτητα του ήχου συνεπάγονται μεγάλα σφάλματα στον εντοπισμό του σημείου διαρροής. Επίσης, αποφεύγεται η λήψη αποφάσεων όταν το σημείο αιχμής βρίσκεται κοντά στα όρια της γραφικής απεικόνισης. Σ' αυτή την περίπτωση η μέτρηση επαναλαμβάνεται για επιβεβαίωση και ενδεχομένως χρησιμοποιείται και βοηθητικός εξοπλισμός. Ιδανικά, το σημείο αιχμής βρίσκεται στο κέντρο της συσχετιστικής αναπαράστασης, αν και κάτι τέτοιο ισχύει μόνο για αγωγούς που αποτελούνται από ένα και μόνο υλικό. Πρακτικά η αιχμές τοποθετούνται στο +/- 10% από το κέντρο του γραφήματος.



Εικόνα 3.16: αιχμή ηχητικού σήματος διαρροής



Εικόνα 3.17: σύγκριση αρχικού σήματος και συσχετιζόμενου

### 3.5.1.Τεχνολογικά Χαρακτηριστικά

Η εξέλιξη των συσχετιστών σε βάθος χρόνου είναι σημαντική. Πρωτοεμφανίστηκαν πριν 35 χρόνια ως μεγάλες, δυσκίνητες και περίπλοκες μονάδες (Εικ.3.12). Εξελίχθησαν στην μορφή των



Εικόνα 3.18: παλαιότερος συσχετιστής

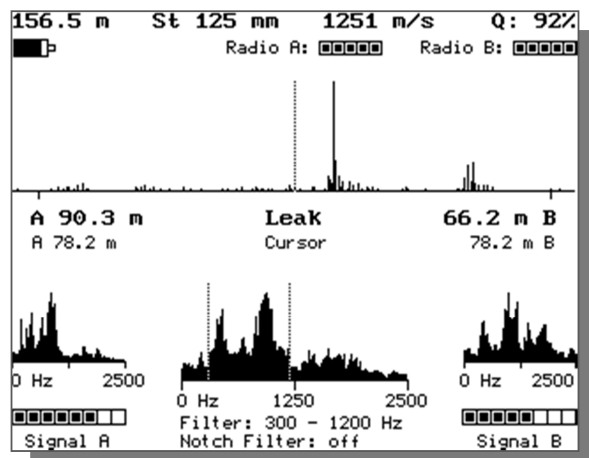
PDA όντας ελαφρύτεροι και ταχύτεροι.

Στις μέρες μας ένα σύστημα εντοπισμού διαρροών με συσχετιστές περιλαμβάνει τους αισθητήρες εντοπισμού του θορύβου των διαρροών και τους αναμεταδότες που στέλνουν ασύρματα το σήμα αυτό στον συσχετιστή, μια φορητή μονάδα συσχέτισης που εντοπίζει το σημείο της διαρροής, ένα σύστημα ακουστικών και ενσωματωμένο φορτιστή της μπαταρίας.



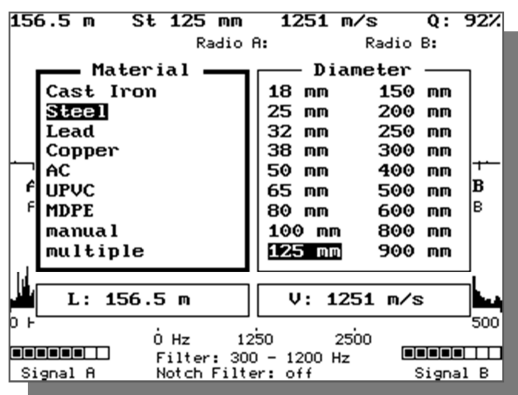
Εικόνα 3.19: σύγχρονο σύστημα εντοπισμού διαρροών με συσχετιστή

Στην εικόνα 3.20 φαίνεται η οθόνη ενός συσχετιστή κατά την λήψη των σημάτων από τους αισθητήρες. Στο σημείο που το συσχετιζόμενο σήμα εμφανίζει αιχμές θεωρείται ότι βρίσκεται το σημείο της διαρροής.



Εικόνα 3.20: συσχετισμός σημάτων αισθητήρων(οθόνη συσχετιστή)

Στον συσχετιστή μπορούν να εισαχθούν πλήθος παραμέτρων που είναι σημαντική για τον ακριβή εντοπισμό της διαρροής όπως είναι το υλικό κατασκευής των αγωγών (ακόμα και όταν είναι κατασκευασμένοι από διαφορετικά υλικά), η διάμετρός τους και το συνολικό τους μήκος (εικ.3.21)



Εικόνα 3.21: ρύθμιση παραμέτρων μέτρησης στον συσχετιστή

### 3.6. Ο Σημαντικός Ρόλος Της Πίεσης Του Δικτύου

Σε επίπεδο πρόληψης των επικείμενων διαρροών πρέπει να γίνει αντιληπτό ότι ο έλεγχος της πίεσης του δικτύου διανομής είναι εξαιρετικά σημαντικός. Οι λόγοι ποικίλουν και αναφέρονται σε διαφορετικές πτυχές του φαινομένου της διαρροής. Έτσι, είναι σαφές ότι ο ρυθμός ροής των διαρροών είναι περίπου ανάλογος με την πίεση του δικτύου δηλ. μια πίεση μειωμένη στο μισό θα καταλήξει σε μισή ποσότητα απώλειας νερού. Επίσης, μελέτες έχουν δείξει ότι η αύξηση της πίεσης σε ένα δίκτυο ύδρευσης οδηγεί σε μεγαλύτερο αριθμό έντονων διαρροών με την μορφή πιδάκων. Γενικός κανόνας είναι ότι ο διπλασιασμός της πίεσης οκταπλασιάζει τα φαινόμενα έντονων διαρροών. Στην περίπτωση των αφανών διαρροών στο υπόβαθρο του δικτύου ύδρευσης η μείωση του ποσοστού της απώλειας επέρχεται μόνο αν περιορισθεί η πίεση του δικτύου.

Για όλους τους προαναφερόμενους λόγους πρέπει μέσα στο δίκτυο να αποφεύγονται τα φαινόμενα ξαφνικής μεταβολής της πίεσης και υπέρμετρης αύξησης της τελευταίας, γιατί αποτελεί έναν από τους κυριότερους παράγοντες θραύσης των αγωγών και ενίσχυσης του φαινομένου των διαρροών. Η διαχείριση της πίεσης είναι σημαντική ακόμη και σε περιοχές που έχουν λογικές χαμηλές πιέσεις καθώς, κατά τη διάρκεια των νυχτερινών ωρών μειωμένης

χρήσης, η πίεση μπορεί να αυξηθεί σημαντικά αυξάνοντας έτσι τον αριθμό των διαρροών. Στα πλαίσια της διαχείρισης, οι διαχειριστές του δικτύου οφείλουν να μετρούν την ροή και την πίεση στα διάφορα σημεία του δικτύου σε τακτά χρονικά διαστήματα και μέσω ανάλυσης να προλαμβάνουν τυχόν συμβάντα διαρροής.



Εικόνα 3.22.: πίδακας διαρροής

# Κεφάλαιο 4

## Μόνιμο Σύστημα Παρακολούθησης Δικτύου Ύδρευσης

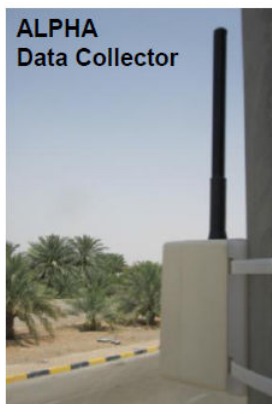
Την τελευταία διετία ξεκίνησε η ουσιαστική ανάπτυξη μονίμων συστημάτων παρακολούθησης των δικτύων ύδρευσης, με νέα προϊόντα να εισάγονται στην αγορά και να καταλαμβάνουν ανταγωνιστική θέση σε σχέση με τις υπάρχουσες δομές. Τα νέα συστήματα προωθούν την άμεση αλλά απομακρυσμένη ανίχνευση προβλημάτων στο δίκτυο, ώστε να εξασφαλίζεται πιο άμεση αντίδραση και με λιγότερες απώλειες ύδατος. Στις παραδοσιακές μεθόδους ακόμα και με μόνιμους αισθητήρες τοποθετημένους στο δίκτυο των αγωγών, απαιτούνταν η περιοδική σάρωση από ειδικευμένο προσωπικό και με την χρήση φορητών συσχετιστών. Στα νέα συστήματα, τα προβλήματα ανιχνεύονται μέσω απομακρυσμένου ελέγχου και προλαμβάνονται μεγάλες απώλειες ύδατος. Επιπρόσθετα, γίνεται και η χρήση προγραμματιζόμενων ελεγκτών (Programmable logic controllers-PLC) με στόχο την αυτόματη απομόνωση δικτυακών τμημάτων και ουσιαστικά την άμεση αποφυγή απώλεια ύδατος, πριν καν να γίνει αντιληπτό από τους επιτηρητές.

## 4.1 Τεχνολογικά Χαρακτηριστικά

Ένα μόνιμο σύστημα παρακολούθησης αποτελείται από τους μόνιμους αισθητήρες που τοποθετούνται κατά μήκος των αγωγών και των ειδικών συσκευών του δικτύου (Εικ. 4.1), αναμεταδότες που λαμβάνουν το σήμα από τα αισθητήρια και το μεταδίδουν στην κονσόλα ελέγχου(εικ.4.2), στον κεντρικό σταθμό διαχείρισης του δικτύου και ένα ειδικό λογισμικό, το οποίο αποθηκεύει και επεξεργάζεται τα σήματα σε πραγματικό χρόνο και προβάλλει ειδοποιήσεις στην οθόνη και σημεία πιθανών διαρροών (εικ. 4.6).[9]

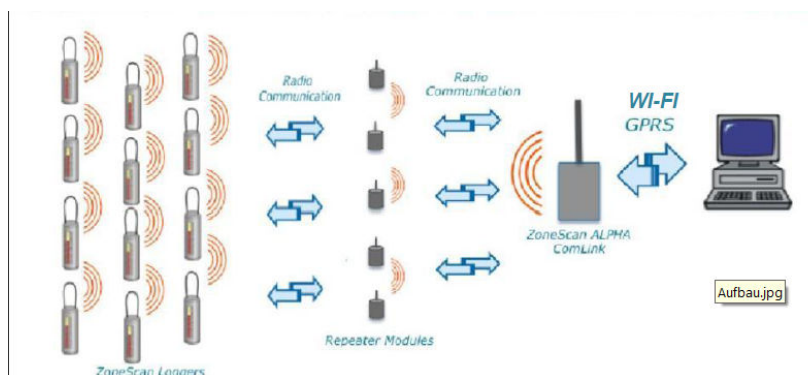


Εικόνα 4.1: αισθητήρας εντοπισμού διαρροών



Εικόνα 4.2: επαναλήπτης σήματος και συλλέκτης δεδομένων και αναμεταδότης.

Το σύστημα ακολουθεί την επικοινωνιακή αρχιτεκτονική που εμφανίζεται και στα απλά δίκτυα επικοινωνίας. Οι αισθητήρες αποστέλλουν τα δεδομένα που συλλέγουν σε έναν περιορισμένο αριθμό επαναληπτών οι οποίοι αφού ενισχύσουν το σήμα το αποστέλλουν σε ένα συλλέκτη δεδομένων. Με την σειρά του ο τελευταίος αποστέλλει ασύρματα τα δεδομένα που έχει αποθηκεύσει στον κεντρικό υπολογιστή του σταθμού παρακολούθησης.



Εικόνα 4.3 επικοινωνιακή αρχιτεκτονική του μόνιμου συστήματος παρακολούθησης ενός δικτύου ύδρευσης

Οι αισθητήρες τοποθετούνται με ισχυρούς μαγνήτες στον θαλάμους των αντλιών που προϋπάρχουν σε οποιοδήποτε δίκτυο ύδρευσης και είναι αδιάβροχοι (εικ.4.4.)



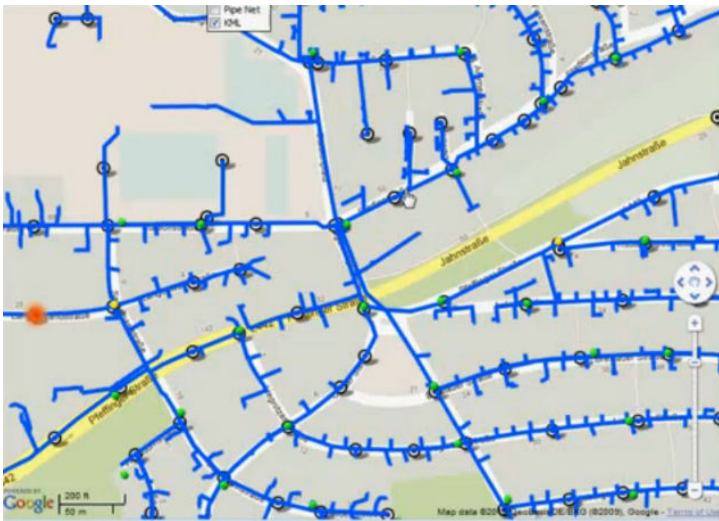
Εικόνα 4.4: τοποθέτηση καταγραφών-αισθητήρων

Οι μονάδες επικοινωνίας με την κεντρική κονσόλα τοποθετούνται συνήθως σε υψόμετρο ώστε να μην παρεμβάλλεται το σήμα. Είθισται να χρησιμοποιούνται υπάρχουσες κατασκευές όπως είναι οι λάμπες φωτισμού των δρόμων κα.



Εικόνα 4.5: εγκατάσταση αναμεταδότη

Στο σταθμό επιτήρησης του δικτύου υπάρχει συγκεκριμένο λογισμικό το οποίο διατηρεί πληροφορίες για την χωρική διάταξη του δικτύου ύδρευσης, καθώς και τις θέσεις των αισθητήρων ανίχνευσης.



Εικόνα 4.6: γεωγραφική διάταξη του δικτύου ύδρευσης

Όταν κάποιοι αισθητήρες εκπέμπουν προειδοποίηση ο χειριστής του προγράμματος μπορεί άμεσα να διαπιστώσει το σημείο στο οποίο εμφανίζεται το πρόβλημα και με την χρήση εξισώσεων συσχετισμού να πληροφορήσει το προσωπικό συντήρησης και διόρθωσης βλαβών για το ακριβές σημείο αναζήτησης της διαρροής.

## 4.2 Συσχέτιση Με Τα Δίκτυα Επικοινωνίας

Σύμφωνα με τα προαναφερόμενα το πρόβλημα της ανίχνευσης διαρροών σε ένα δίκτυο ύδρευσης ανάγεται σε πρόβλημα αποστολής και λήψης σημάτων δεδομένων μεταξύ «φορητών»

- απομακρυσμένων συσκευών και ενός κεντρικού συστήματος παρακολούθησης. Εν ολίγοις υλοποιούνται επικοινωνιακές δομές τηλεμετρίας που φέρουν τα βασικά χαρακτηριστικά μιας οποιαδήποτε δομής τηλε-διοίκησης, με τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της.

Ο εντοπισμός των διαρροών αποτελεί μια χρονοβόρα και δύσκολη διεργασία, κατά την οποία εξειδικευμένο προσωπικό πρέπει να διανύει χιλιόμετρα, κατά μήκος του δικτύου των αγωγών, να συλλέγει δεδομένα από τους κατά τόπους αισθητήρες, αν είναι μόνιμα τοποθετημένοι και να αξιολογεί επί τόπου την κατάστασή τους. Σε παλαιότερα συστήματα, οι αισθητήρες δεν ήταν καν μόνιμα τοποθετημένοι και η σάρωση των αγωγών τελούνταν αργά, με σταδιακή μετακίνηση των φορητών αισθητήρων. Και στην μία περίπτωση και στην άλλη, σπαταλάται πολύτιμος χρόνος και η διαδικασία δεν μπορεί να επαναλαμβάνεται συχνά.

Με την χρήση των συστημάτων τηλεμετρίας εξοικονομείται σημαντικό ποσοστό χρόνου, που μεταφράζεται σε εργατοώρες αλλά και χρόνο αντίδρασης και σπατάλης του φυσικού πόρου. Φυσικά, υπάρχει το κόστος της αρχικής δομής, όπου πλήθος αισθητήρων και αναμεταδοτών πρέπει να τοποθετηθούν κατά μήκος του δικτύου, καθώς και του συστήματος παρακολούθησης τους. Επειδή όμως ένα δίκτυο ύδρευσης δεν αναμένεται να αντικατασταθεί συνολικά ή να καταργηθεί σε βάθος χρόνο και μιας και το νερό λιγοστεύει, το αρχικό κόστος πλέον θεωρείται αποδεκτό σε σχέση με τα οφέλη της εγκατάστασης.

Επιπλέον πλεονεκτήματα της εγκατάστασης, είναι η λήψη των μετρήσεων σε πραγματικό χρόνο, η αποθήκευση των δεδομένων κεντρικά και η άμεση επεξεργασία των σημάτων από πλήθος προγραμμάτων, που βοηθά στην εξαγωγή πολύτιμων πληροφοριών για την λειτουργία του συστήματος. Στην περίπτωση των δικτύων ύδρευσης η διαρκής παρακολούθηση της συμπεριφοράς του δικτύου, ώστε να σχηματιστεί μια συνολική και αντικειμενική εικόνα για την λειτουργία του και τις αντιδράσεις που εμφανίζει σε εξωγενής παράγοντες επηρεασμού είναι η σημαντικότερη δυνατότητα που παρέχεται στην ομάδα διοίκησης και χειρισμού. Ουσιαστικά, η συμπεριφορά του δικτύου παρέμενε ένας άγνωστος τύπος μιας και πρόκειται για ένα κλειστό υπόγειο δίκτυο στο οποίο ο άμεσος εντοπισμός των αφανών διαρροών αποτελούσε μείζον θέμα.

Φυσικά, όπως και σε κάθε δίκτυο τηλε-διοίκησης απαιτείται η χρήση των κατάλληλων εξαρτημάτων και η εξασφάλιση μιας αξιόπιστης ασύρματης σύνδεσης. Το σύστημα ακυρώνεται αν τα συλλεγόμενα δεδομένα δεν φτάσουν ποτέ στο σύστημα αποθήκευσης και επεξεργασίας τους. Ειδικότερα για τα δίκτυα ύδρευσης, τα πράγματα είναι ελαφρώς ελαστικότερα. Αν υποθέσουμε ότι τα δεδομένα αποστέλλονται στον αναμεταδότη και σε πρώτη φάση

αποθηκεύονται τοπικά, για να αποσταλούν ακολούθως στο κεντρικό σύστημα παρακολούθησης, δεν αναμένεται ιδιαίτερο πρόβλημα σε αυτή την επικοινωνία. Οι αισθητήρες λειτουργούν με μπαταρία και το σήμα που αποστέλλουν έχει μόνο δύο καταστάσεις, κανονικής λειτουργίας και εντοπισμού διαρροής. Οι αναμεταδότες μπορεί επίσης να φέρουν μπαταρίες σε περίπτωση προσωρινής διακοπής του ρεύματος, αλλά ακόμα και αν η μεταξύ τους επικοινωνία διακοπεί για μεγάλο χρονικό διάστημα, η τυχόν υπάρχουσα διαρροή δεν παύει να υφίσταται και άρα το σήμα του αισθητήρα δεν πρόκειται να αλλάξει. Άρα, τελικά θα υπάρξει προειδοποίηση στους διαχειριστές. Ομοίως, ισχύει και για την επικοινωνία του συστήματος παρακολούθησης με τους αναμεταδότες, που ο χρόνος λήψης των δεδομένων δεν είναι εξαιρετικά κρίσιμος (σε αντίθεση με άλλα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα) και επιτρέπονται διακοπές και επανεκκινήσεις του συστήματος. Προφανώς δεν επιτρέπεται η αλλοίωση των εκπεμπόμενων δεδομένων από τους αισθητήρες αλλά εφόσον αυτό δεν συμβαίνει, τα υπόλοιπα επικοινωνιακά προβλήματα δεν δημιουργούν αστοχίες και θέματα αξιοπιστίας στο σύστημα. Χαρακτηριστικά αναφέρουμε ότι στα σημερινά συστήματα μόνιμης παρακολούθησης των δικτύων ύδρευσης, σύντομος χρόνος εντοπισμού και επισκευής διαρροών θεωρείται η μία εβδομάδα (7 ημέρες), οπότε μικρές επικοινωνιακές διακοπές ουσιαστικά δεν επιφέρουν καμία αλλαγή.

Στην περίπτωση που η ύπαρξη διαρροών θεωρείται κρίσιμη ή το σύστημα έχει κατασκευαστεί για την αντιμετώπιση φυσικών καταστροφών ή ολικής διακοπής της επικοινωνίας μεταξύ αισθητήρων και κεντρικού συστήματος παρακολούθησης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν αυτόματοι ελεγκτές (PLC) που θα επικοινωνούν με τα ίδια αισθητήρια και θα αποφασίζουν βάσει προγράμματος αν θα διακόπτεται η παροχή νερού προς μία ή περισσότερες διαδρομές του δικτύου ύδρευσης. Έτσι, θα υπάρχει πρόληψη των φαινομένων είτε αν το σύστημα αδυνατεί να ασκήσει έλεγχο, είτε αν η άμεση αντίδραση είναι μείζονος σημασίας και μέχρι να αναλάβει η ομάδα επισκευών και συντήρησης.

# Κεφάλαιο 5

## Προγραμματιζόμενοι Λογικοί Ελεγκτές

Στα πλαίσια της τάχιστα απομόνωσης προβληματικών σημείων του δικτύου ώστε να σημειωθεί η λιγότερο δυνατή απώλεια ύδατος, ειδικά στις περιπτώσεις σοβαρών διαρροών χρησιμοποιούνται προγραμματιζόμενοι ελεγκτές PLC. Οι ελεγκτές μπορούν να ελέγχουν τις βαλβίδες απομόνωσης του δικτύου ύδρευσης και σε συνδυασμό με τα σήματα που λαμβάνονται από τους αισθητήρες εντοπισμού διαρροών, να απομονώνουν αυτόματα το τμήμα του δικτύου που παρουσιάζει απώλειες θέτοντας σε λειτουργία την βαλβίδα. Εκτός από τους αγωγούς πρόβλημα μπορεί να παρουσιαστεί και στις ίδιες τις συσκευές του δικτύου (βαλβίδες αποσυμπίεσης ή απομόνωσης, αντλίες κ.α.), φαινόμενα που αν ελεγχθούν από PLC μπορούν να διευθετηθούν άμεσα και να μην υπάρξει σημαντική απώλεια ύδατος. Τελευταία περίπτωση απωλειών σε ένα δίκτυο ύδρευσης προκύπτει από την υπερχειλίση των δεξαμενών γεγονός που επίσης μπορεί να ελεγχθεί με την χρήση αισθητήρων και PLC. Έτσι, αν σε ένα σύστημα παρακολούθησης ενός δικτύου ύδρευσης εκτός από την χρήση αισθητήρων και SCADA εισαχθεί και αυτόματος έλεγχος των πιο επισφαλών περιοχών λειτουργίας, θεωρούμε ότι επιτυγχάνονται τα μέγιστα αποτελέσματα διαχείρισης, ελέγχου και διασφαλίζονται οι μικρότερες απώλειες και άρα η λιγότερη σπατάλη των φυσικών πόρων.

## 5.1 Λειτουργικά Χαρακτηριστικά Του PLC

Τα PLC είναι βιομηχανικά συστήματα μικροελεγκτών, με τα οποία συνδυάζεται υλικό και λογισμικό για ειδικές εφαρμογές [6,11]. Σε ένα PLC διακρίνουμε τα κάτωθι βασικά μέρη:

- Την κεντρική μονάδα επεξεργασίας (CPU) που αποτελεί το κύριο τμήμα του ελεγκτή
- Τη μονάδα τροφοδοσίας
- Τις μονάδες εισόδων και εξόδων, που επιτρέπουν την επικοινωνία του PLC με το εξωτερικό περιβάλλον, δηλαδή με τους αισθητήρες, τους διακόπτες κ.α. τα οποία δίνουν πληροφορίες για την εκτέλεση των αυτοματισμών.

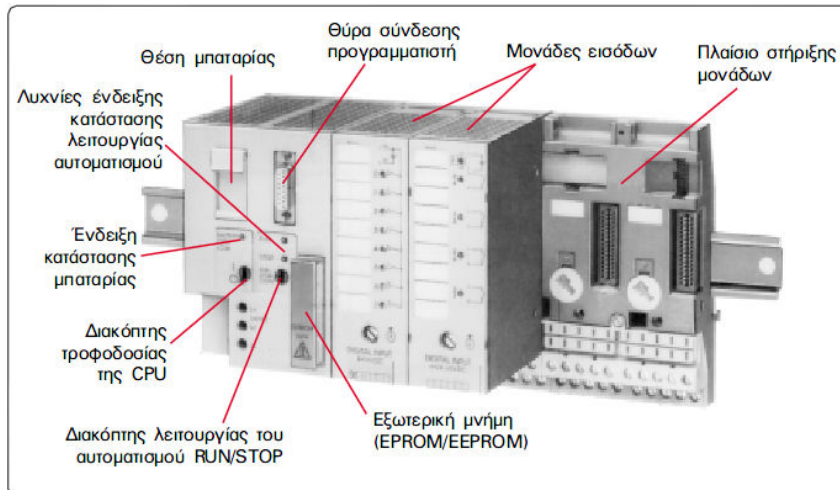
### 5.1.1 Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας

Η κεντρική μονάδα επεξεργασίας αποτελεί την καρδιά του PLC και είναι υπεύθυνη για την διασφάλιση της επικοινωνίας, τόσο με το εξωτερικό περιβάλλον όσο και με τα εσωτερικά τμήματα του PLC, την εκτέλεση του προγράμματος, την λειτουργία της εσωτερικής μνήμης, την επίβλεψη των εισόδων και τον καθορισμό των εξόδων. Διακρίνουμε σε αυτή έναν μικροεπεξεργαστή και μία μνήμη, όπως ακριβώς και σε έναν μικροϋπολογιστικό σύστημα.

Η μνήμη του PLC διακρίνεται σε τρεις τύπους:

1. Μνήμη RAM, η οποία χωρίζεται σε υποπεριοχές (blocks) και σε κάθε περιοχή αποθηκεύονται συγκεκριμένες πληροφορίες. Αυτές οι περιοχές είναι οι:
  - 1.1 Περιοχή όπου αποθηκεύονται οι καταστάσεις των εισόδων και εξόδων του PLC.
  - 1.2 Περιοχή όπου αποθηκεύονται οι ενδιάμεσες πληροφορίες, που αφορούν την λειτουργία του αυτοματισμού.
  - 1.3 Περιοχή μνήμης χρονικών.
  - 1.4 Περιοχή μνήμης απαριθμητών.

- 1.5 Περιοχή μνήμης αποθήκευσης των προγραμμάτων του χρήστη, για έναν συγκεκριμένο αυτοματισμό,
2. Μνήμη EEPROM, για μόνιμη αποθήκευση προγραμμάτων που δεν επιθυμούμε να διαγραφούν, όταν η τροφοδοσία διακοπεί.
3. Μνήμη ROM, στην οποία αποθηκεύεται το λειτουργικό πρόγραμμα του PLC.



Εικόνα 5.1: κεντρική μονάδα επεξεργασίας και μονάδες εισόδων ενός PLC

## 5.2 Αρχή Λειτουργίας Plc

Όταν ένα PLC βρίσκεται σε κατάσταση εκτέλεσης αυτοματισμών ακολουθεί τα εξής βήματα λειτουργίας:

1. Στην αρχή αναγνωρίζει την κατάσταση των εισόδων του, δηλαδή αν βρίσκονται υπό «υψηλή» τάση και άρα αντιστοιχούν σε λογικό '1' ή σε «χαμηλή» τάση, άρα αντιστοιχούν σε λογικό '0'.
2. Εν συνεχεία ο μικροεπεξεργαστής χρησιμοποιεί αυτές τις τιμές για να εκτελέσει τις εντολές που υποδεικνύονται από το πρόγραμμα. Κατά την ολοκλήρωση της εκτέλεσης θα προκύψουν αποτελέσματα τα οποία θα οδηγηθούν προς τις εξόδους του PLC, οι οποίες ομοίως με τις εισόδους μπορούν να βρεθούν σε κατάσταση λογικού '1' ή '0'.



- Τα δύο πρώτα βήμα επαναλαμβάνονται συνεχώς, όσο το PLC βρίσκεται σε κατάσταση RUN.

## 5.3 Γλώσσες Προγραμματισμού PLC

Τρεις είναι οι κυριότερες γλώσσες προγραμματισμού για PLC, τις οποίες συναντάμε με μικρές διαφορές σε όλα τα PLC των διαφόρων εταιρειών.

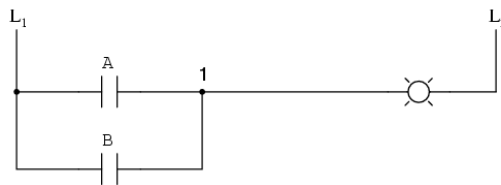
### 5.3.1 Γλώσσα LADDER ή Γλώσσα Ηλεκτρολογικών Γραφικών

Η γλώσσα LADDER επιτρέπει την μεταφορά του ηλεκτρολογικού σχεδίου, μέσω της συσκευής προγραμματισμού στο PLC. Σχεδιάζετε τοποθετώντας στα αριστερά ένα δίαυλο (BUS BAR) στον οποίο φορτώνονται (load) οι τιμές των εισόδων [6]. Οι συνθήκες φόρτωσης των εισόδων είναι:

-  Normally open (NO)
-  Normally closed (NC)

Συνήθως, ακολουθούν περίπλοκα δικτυώματα συνθηκών τα οποία καταλήγουν στις εξόδους του κυκλώματος. Οι βασικές λογικές πύλες σε προγραμματισμό τύπου LADDER υλοποιούνται ως εξής:

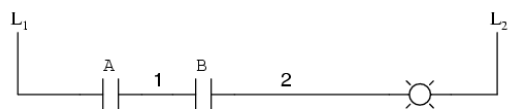
#### 1. Πύλη OR



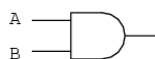
A	B	Output
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1



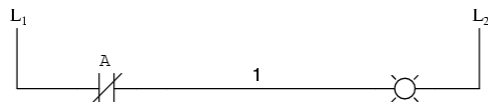
## 2. Πύλη AND



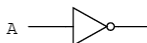
A	B	Output
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1



## 3. Πύλη NOT



A	Output
0	1
1	0



### 5.3.2. Γλώσσα Λίστας Εντολών (Statement List, STL) ή Γλώσσα Λογικών Εντολών

Αυτή η γλώσσα δημιουργεί λίστα προγράμματος με εντολές, οι οποίες αντιστοιχούν στις λογικές πύλες. Στις μέρες μας η STL έχει εξελιχθεί και έχει πάρει την μορφή των γλωσσών Assembly. Οι βασικές λογικές εντολές της STL είναι (σημειώνονται αλλαγές στην σύνταξη για διαφορετικά PLC):

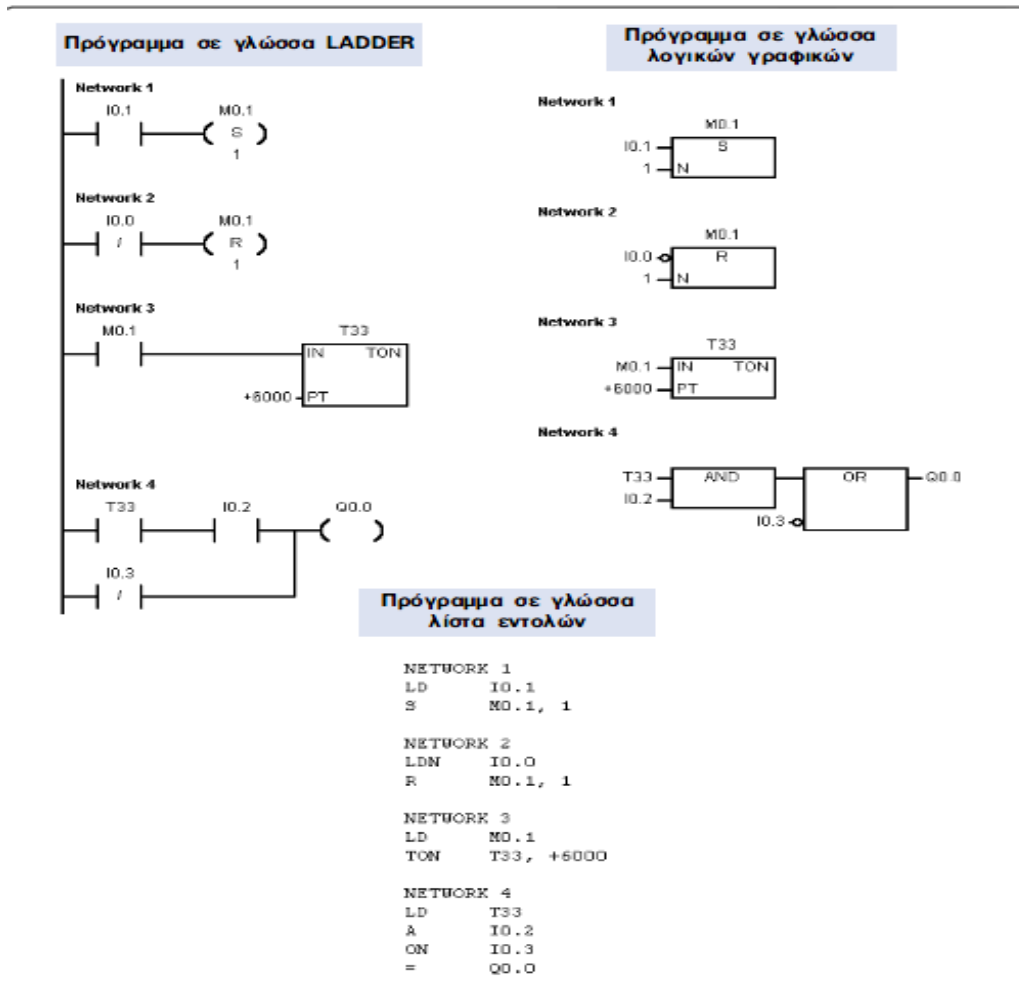
Εντολή	Λογική συνάρτηση	Εντολή	Λογική συνάρτηση	Εντολή	Λογική συνάρτηση
L	Load	XO	XOR	ON	NOR
=	Equal	N	NOT	XON	X-NOR
A	AND	LN	Load NOT		
O	OR	AN	NAND		

Πίνακας 5.1: Λογικές πράξεις σε Statement List

### 5.3.3 Γλώσσα λογικών γραφικών ή λογικού διαγράμματος

Η γλώσσα αυτή είναι επίσης γραφική, αλλά αντί του ηλεκτρολογικού σχεδίου του αυτοματισμού, χρησιμοποιεί το αντίστοιχο λογικό κύκλωμα.

Τα PLC προγραμματίζονται είτε με ειδικούς προγραμματιστές χειρός, είτε μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή και ειδικού λογισμικού.



Εικόνα 5.2: πρόγραμμα PLC σε όλες τις γλώσσες προγραμματισμού,

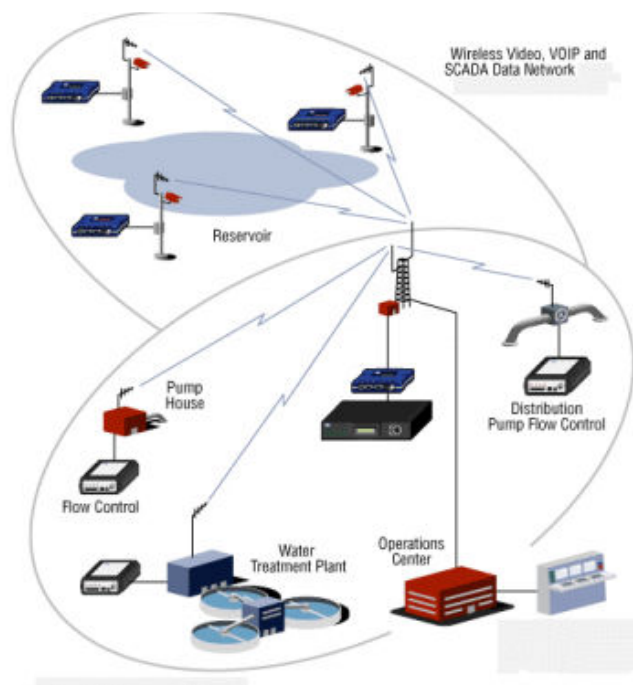
## 5.4. Επικοινωνία PLC και Κεντρικού Συστήματος Παρακολούθησης

Εφόσον, η παρακολούθηση και η αντίδραση σε φαινόμενα αποτελεί θέμα διαχείρισης από του λογικούς ελεγκτές πρέπει να διασφαλιστεί η επικοινωνία τους τόσο με τους κατά τόπους αισθητήρες που θα καταγράφουν τις μετρήσεις αλλά και με το κεντρικό σύστημα παρακολούθησης του συνόλου του δίκτυο, ώστε να ενημερώνουν για τις ενέργειες που εκτελούν.

Είθισται να χρησιμοποιούνται PLC με Ethernet θύρες, μέσω των οποίων επιτυγχάνεται τόσο ασύρματη όσο και ενσύρματη επικοινωνία. Η τελική επιλογή για την επικοινωνία των αισθητήρων με το PLC έχει να κάνει με τον κατασκευαστή του δικτύου, το κόστος και την πολυπλοκότητα της δομής. Αλλά σχεδόν αποκλειστικά επιλέγεται η ασύρματη επικοινωνία μεταξύ PLC και σταθμού παρακολούθησης, ειδικά σε δίκτυα όπως είναι τα δίκτυα ύδρευσης που γεωγραφικά τουλάχιστον εκτείνονται σε μεγάλη επιφάνεια.

Παρόλα αυτά το ασύρματο Ethernet έχει κάποιους περιορισμούς. Παρουσιάζει μια λειτουργική καθυστέρηση και σε θορυβώδη περιβάλλοντα παρουσιάζεται το φαινόμενο της διαρκούς επανάληψης των αποστελλόμενων μηνυμάτων. Αυτά τα μειονεκτήματα αποτελούν τροχοπέδη σε συστήματα ντετερμινιστικά, όπου η λήψη αποφάσεων και η ενημέρωση πρέπει να είναι άμεση και είναι καθοριστική για την ομαλή λειτουργία της δομής. Στα δίκτυα ύδρευσης όπως προαναφέρθηκε η αστοχία αποστολής ενός σήματος ή η ανάγκη επανάληψής του δεν αλλάζει την απόδοση του συστήματος μιας και τα σήματα θα παραμείνουν ίδια σε βάθος χρόνου και μοιραία κάποια στιγμή θα γίνουν αντιληπτά [17,18].

Τα πλεονεκτήματα της χρήσης του ασύρματου Ethernet είναι η διενέργεια μεταξύ του υλικού της δομής και του λογισμικού, διασφαλίζοντας έτσι την αξιόπιστη λειτουργία σε δύσκολες συνθήκες, με μικρότερο χρόνο αντίδρασης. Το δίκτυο είναι πλήρως επεκτάσιμο και άρα συμβατό με παλαιότερες αλλά και νεότερες δομές, επιτρέπει την χρήση του από πολλαπλούς χρήστες για διαφορετικό φάσμα ελέγχου ο καθένας και δεν παρουσιάζει ιδιαίτερη δυσχέρεια στην ανάπτυξή του.



Εικόνα 5.3: τυπικό σύστημα παρακολούθησης πολλαπλών σημείων σε δίκτυα ύδρευσης.

# Κεφάλαιο 6

## PLC εφαρμογές σε περιπτώσεις απώλειας ύδατος

### 6.1 Ενσωμάτωση PLC Αυτοματισμών Στα Δίκτυα Ύδρευσης

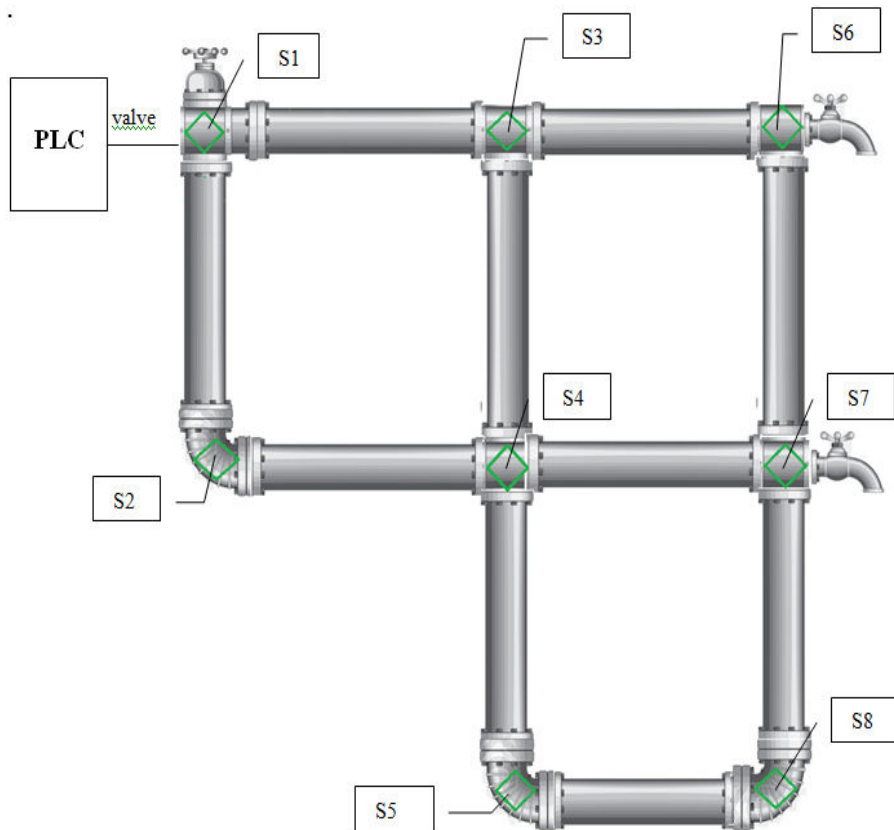
Με γνώμονα ότι το κύριο μέλημα σε ένα δίκτυο ύδρευσης αποτελεί η εύρωστη και ορθή λειτουργία του, με τον λιγότερο δυνατό αριθμό απωλειών των φυσικών πόρων που το τροφοδοτούν, γίνεται κατανοητό ότι η ύπαρξη συστημάτων αυτοματισμού τα οποία θα διαχειρίζονται άμεσα και αποτελεσματικά τις περιπτώσεις απωλειών ύδατος είναι εξαιρετικά σημαντικός. Διακρίνουμε λοιπόν τρεις περιπτώσεις στις οποίες ένας ελεγκτής PLC θα μπορούσε να φανεί χρήσιμος και αποτελεσματικός για την αποφυγή απώλειας ύδατος σε ένα δίκτυο ύδρευσης:

1. Περίπτωση διαρροής σε αγωγό
2. Περίπτωση απώλειας ύδατος σε ειδική συσκευή (προβλήματα συνδέσεων)

### 3. Περίπτωση υπερχειλίσσης δεξαμενής

Καθεμία από τις προαναφερόμενες μπορεί να αντιμετωπιστεί άμεσα από ένα PLC και να αποτραπεί η απώλεια ύδατος έως ότου αναλάβει η ομάδα επιδιόρθωσης βλαβών να ομαλοποιήσει την κατάσταση. Στόχος είναι ο έλεγχος να ασκείται ανεξάρτητα από το τυχόν υπάρχον κεντρικό σύστημα ελέγχου, ώστε να εξασφαλίζεται αμεσότητα στην αντίδραση και να μην επηρεάζεται από τυχόν επικοινωνιακά προβλήματα που μπορούν να δημιουργηθούν μεταξύ των αναμεταδοτών και της κεντρικής κονσόλας διαχείρισης του δικτύου ύδρευσης.

Το πειραματικό δίκτυο ύδρευσης και η δομή των αισθητήρων του, φαίνονται στην εικόνα 6.1.



Εικόνα 6.1: πειραματικό δίκτυο αισθητήρων σε δίκτυο ύδρευσης

## 6.2 Έλεγχος Διαρροής Σε Αγωγό Με Την Χρήση PLC

Στόχος του συγκεκριμένου αυτοματισμού είναι η απομόνωση τμημάτων του δικτύου ύδρευσης που είναι ύποπτα για διαρροή. Η απομόνωση επιτυγχάνεται με τον έλεγχο μιας βαλβίδας απομόνωσης, η οποία ρυθμίζει την ροή προς συγκεκριμένο τμήμα αγωγών και η οποία θα ελέγχεται τόσο αυτόματα από το PLC όσο και «χειροκίνητα» μέσω του συστήματος παρακολούθησης του δικτύου στον κεντρικό σταθμό.

Η βαλβίδα απομόνωσης καθορίζει το τμήμα του δικτύου από το οποίο θα λαμβάνει σήματα προειδοποίησης διαρροών το PLC. Σε κάθε αγωγό ήδη βρίσκονται δύο αισθητήρες οι οποίοι όταν ανιχνεύσουν διαρροή στέλνουν προειδοποιητικό σήμα τόσο στον κεντρικό σταθμό παρακολούθησης, όσο και στο PLC. Το PLC αποφασίζει αν το σήμα που λαμβάνει είναι τυχαίο ή όντως αποτελεί προειδοποίηση διαρροής. Για να τελειίσει διαρροή πρέπει δύο αισθητήρια τουλάχιστον να στείλουν προειδοποιητικό σήμα και να ανήκουν στον ίδιο αγωγό (να αποτελούν έγκυρο ζεύγος). Αν ο ελεγκτής εντοπίσει έστω και ένα έγκυρο ζεύγος αισθητήρων (ακόμα κι αν υπάρχουν πολλαπλά σημεία διαρροών), απομονώνει την ροή ύδατος στο δίκτυο και στέλνει σήμα διενέργειας στον κεντρικό σταθμό παρακολούθησης.

### 6.2.1 Υπορουτίνα Χειροκίνητου Κλεισίματος της Βαλβίδας Απομόνωσης

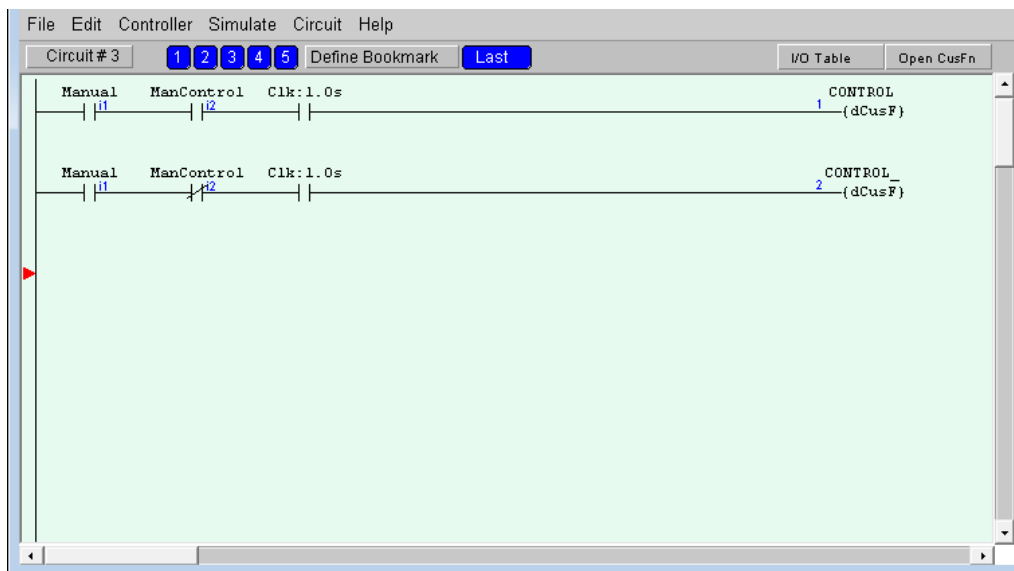
Ο αυτοματισμός που θα υλοποιηθεί καλύπτει τα εξής θέματα:

1. Υπάρχει δυνατότητα η βαλβίδα απομόνωσης να ελεγχθεί άμεσα από τον σταθμό παρακολούθησης, παρακάμπτοντας την λειτουργία του αυτοματισμού.  
Χρησιμοποιούνται τα σήματα
  - a. Valve : έξοδος → σήμα ελέγχου βαλβίδας
    - i. Valve = FALSE → Βαλβίδα ανοιχτή - επιτρέπεται η ροή του νερού
    - ii. Valve = TRUE → Βαλβίδα κλειστή - δεν επιτρέπεται η ροή του νερού
  - b. Manual : είσοδος → επιτρέπει την παράκαμψη του αυτοματισμού από το κέντρο ελέγχου
    - i. Manual = FALSE → χειρισμός βαλβίδας από το PLC

- ii. Manual = TRUE → χειρισμός βαλβίδας από το κέντρο ελέγχου
- c. ManControl: είσοδος → καθορίζει το είδος του ελέγχου που ασκεί το κέντρο ελέγχου στην βαλβίδα απομόνωσης.
  - i. ManControl = FALSE → Βαλβίδα ανοιχτή
  - ii. ManControl = TRUE → Βαλβίδα κλειστή

### Πειραματική απεικόνιση

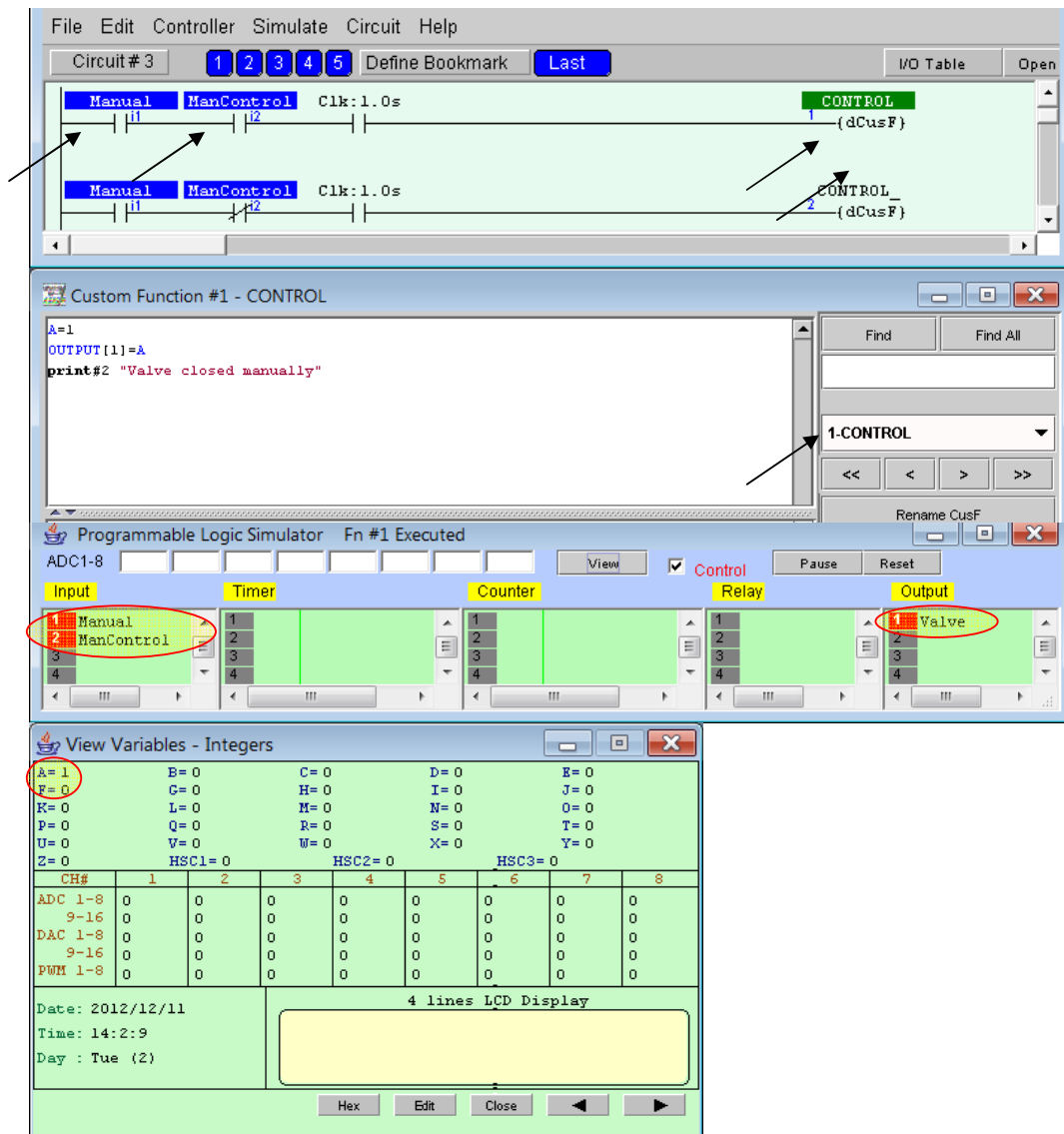
Στο PLC χρησιμοποιούνται οι δύο είσοδοι ελέγχου Manual και ManControl οι οποίες ελέγχουν δύο διαφορετικές συναρτήσεις, τις CONTROL και CONTROL\_. Ουσιαστικά, δημιουργούνται δύο διαφορετικά κυκλώματα τα οποία ελέγχουν την κατάσταση των εισόδων κάθε 1 δευτερόλεπτο (χρήση ρολογιού Clk:1.0s) και τα αποτελέσματα οδηγούνται στην έξοδο Valve.

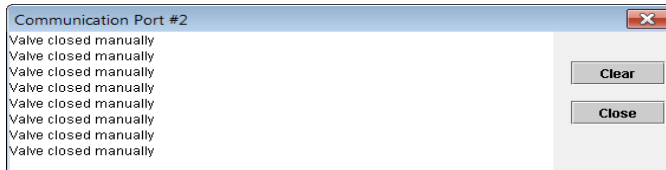


Εικόνα6.2: i-trilogi κύκλωμα χειροκίνητου ελέγχου της βαλβίδας απομόνωσης

Η συνάρτηση CONTROL γίνεται TRUE και άρα υλοποιείται όταν Manual= ManControl= TRUE (λογικό AND). Η συνάρτηση τότε θέτει μία εσωτερική μεταβλητή (A) ίση με '1' και η μεταβλητή με την σειρά της θέτει την κατάσταση της βαλβίδας ως TRUE . Ταυτόχρονα μέσω της θύρας επικοινωνίας #2 αποστέλλει σήμα στον κεντρικό σταθμό ότι η βαλβίδα απομόνωσης έκλεισε χειροκίνητα.

Σημείωση: Το πρόγραμμα i-Trilogi V 6.45 χρησιμοποιήθηκε για τον προγραμματισμό του PLC. Οι είσοδοι που έχουν μπλε φόντο στο παράθυρο του κυκλώματος θεωρούνται ότι βρίσκονται σε κατάσταση TRUE. Οι συναρτήσεις που έχουν πράσινο φόντο στο παράθυρο του κυκλώματος θεωρούνται ότι βρίσκονται σε κατάσταση TRUE και άρα υλοποιούνται. Το παράθυρο CUSTOM FUNCTION δείχνει τον κώδικα των συναρτήσεων. Το παράθυρο Programmable Logic Simulator δείχνει την κατάσταση των εισόδων και εξόδων του PLC. Οι κόκκινες εισόδους και εξόδους βρίσκονται σε λογικό '1'. Το παράθυρο View Variable δείχνει την κατάσταση των εσωτερικών μεταβλητών και το παράθυρο Communication Port#2 τα σήματα εξόδου προς την θύρα επικοινωνίας 2. Αναλυτικότερα το πρόγραμμα προσεγγίζεται στο Παράρτημα Α.



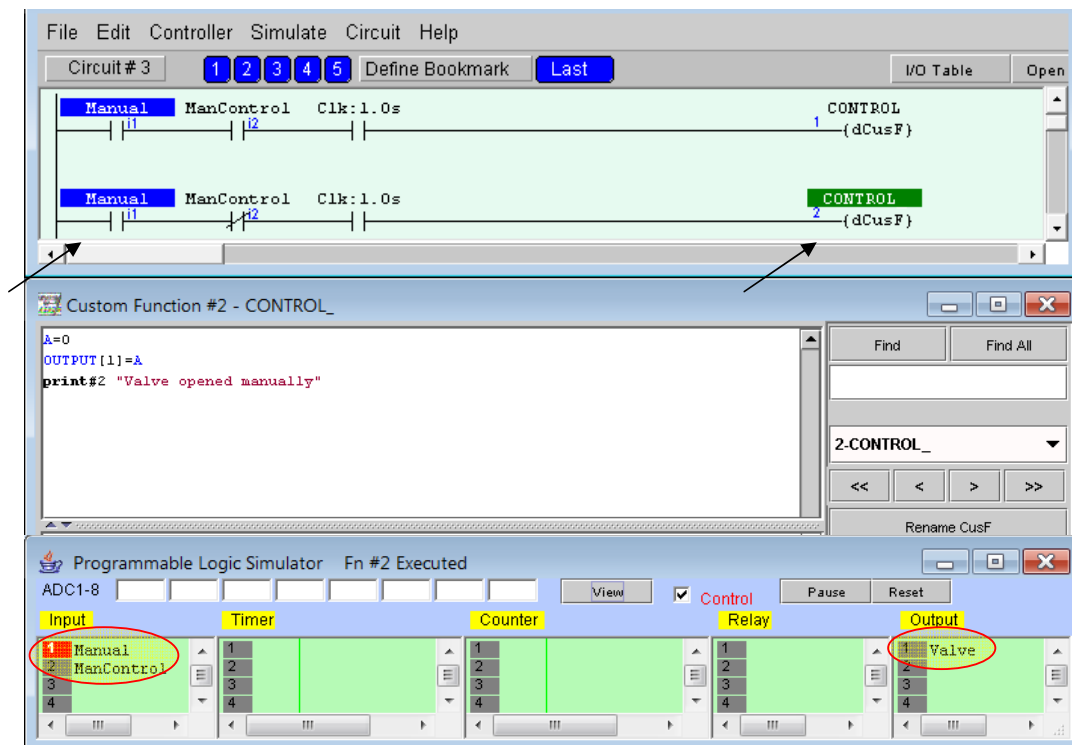


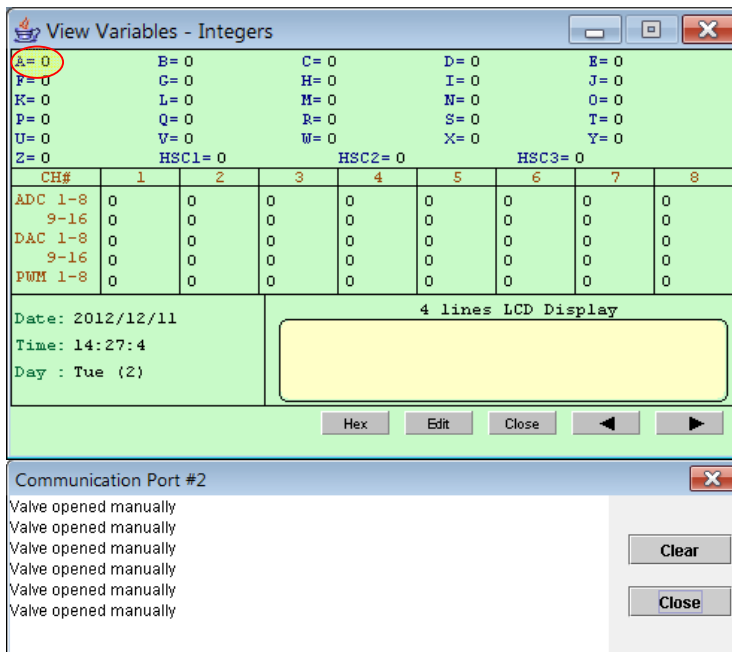
Εικόνα 6.3: i-trilogi υλοποίηση χειροκίνητου σφραγίσματος της βαλβίδας απομόνωσης.

Η υποροϋτίνα Control:

```
'ΥΠΟΡΟΥΤΙΝΑ ΧΕΙΡΟΚΙΝΗΤΟΥ ΚΛΕΙΣΙΜΑΤΟΣ ΒΑΛΒΙΔΑΣ ΑΠΟΜΟΝΩΣΗΣ
A=1
OUTPUT[1] =A
PRINT#2 "Valve was closed manually"
```

Η συνάρτηση CONTROL\_ γίνεται TRUE και άρα υλοποιείται όταν Manual= TRUE και ManControl= FALSE (λογικό AND). Η συνάρτηση τότε θέτει μία εσωτερική μεταβλητή (A) ίση με '0' και η μεταβλητή με την σειρά της θέτει την κατάσταση της βαλβίδας ως FALSE. Ταυτόχρονα μέσω της θύρας επικοινωνίας #2 αποστέλλει σήμα στον κεντρικό σταθμό ότι η βαλβίδα απομόνωσης άνοιξε χειροκίνητα.





Εικόνα 6.4: i-trilogi υλοποίηση χειροκίνητου ανοίγματος της βαλβίδας απομόνωσης

Η υπορουτίνα Control\_:

```
'ΥΠΟΡΟΥΤΙΝΑ ΧΕΙΡΟΚΙΝΗΤΟΥ ΑΝΟΙΓΜΑΤΟΣ ΒΑΛΒΙΔΑΣ ΑΠΟΜΟΝΩΣΗΣ
A=0
OUTPUT[1] =A
PRINT#2 "Valve was opened manually
```

## 6.2.2. Υπορουτίνα ελέγχου διαρροής

Τα σήματα προειδοποίησης των αισθητήρων που αποστέλλονται, σε πρώτη φάση περνούν από ένα ADC (αναλογικό-σε-ψηφιακό) μετατροπέα στον οποίο έχει οριστεί τάση κατωφλίου (Vref). Αν το σήμα του αισθητήρα βρίσκεται κάτω από την Vref τότε η έξοδος του ADC = 0, δηλ. δεν υπάρχει προειδοποιητικό σήμα. Αν το σήμα του αισθητήρα βρίσκεται πάνω από την Vref τότε η έξοδος του ADC = 1, δηλ. υπάρχει προειδοποιητικό σήμα.

Έστω, ότι τα σήματα των αισθητήρων είναι πολυάριθμα και δεν υπάρχει δυνατότητα χρήσης πολλαπλών module εισόδων στο PLC λόγω του εκτενούς όγκου που καταλαμβάνουν. Γι' αυτό το λόγο γίνεται χρήση πολυπλέκτη ο οποίος σύμφωνα με τις εισόδους επιλογής του, τοποθετεί κάθε

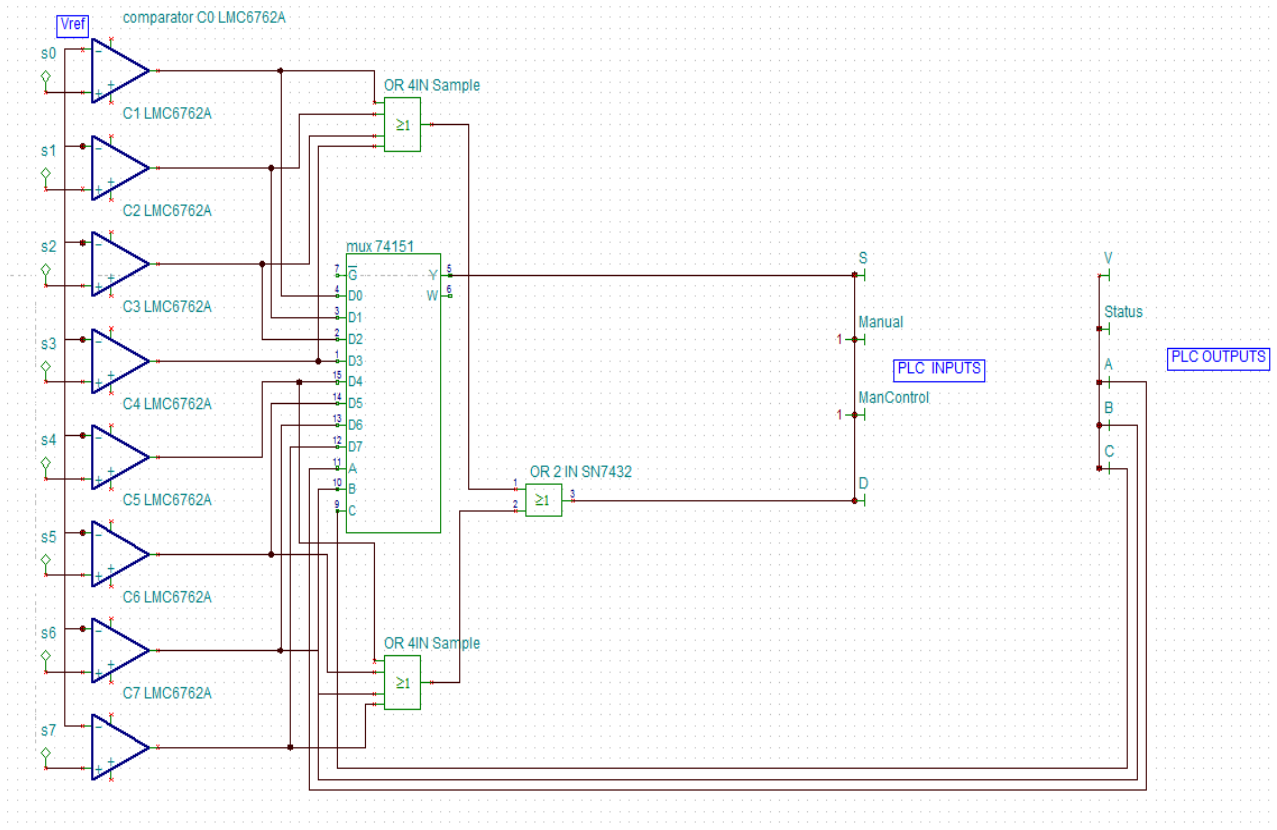
φορά μόνο μία έξοδο αισθητήρα στην είσοδο του PLC. Τα σήματα που θα χρησιμοποιηθούν είναι τα εξής:

- a. Sensors:είσοδος → σήμα από τον αισθητήρα (έξοδος πολυπλέκτη)
  - i. Sensors = FALSE → δεν υπάρχει προειδοποίηση διαρροής
  - ii. Sensors = TRUE → υπάρχει προειδοποίηση διαρροής

Στο παράδειγμα που θα υλοποιήσουμε χρησιμοποιούμε 8 διαφορετικούς αισθητήρες (S<sub>0</sub>-S<sub>7</sub>) και μεταξύ αυτών 10 πιθανούς συνδυασμούς έγκυρων ζευγών. Οι τιμές των αισθητήρων αφού διαβαστούν από την είσοδο sensors του PLC αποθηκεύονται στις ενδιάμεσες μνήμες DM[1] έως DM[8], οι οποίες γίνονται =1 αν ο αισθητήρας είναι ενεργοποιημένος και =0 αν δεν είναι. Τα έγκυρα ζευγάρια σύμφωνα με την εικόνα 6.1 είναι τα εξής: 1. S1 - S2, 2. S1 - S3, 3. S2 - S4, 4. S3 - S4, 5. S4 - S5, 6. S5 - S8, 7. S4 - S7, 8. S6 - S7, 9. S3 - S6, 10. S7 - S8

- b. LeakDetect : είσοδος → σήμα εξόδου από πύλη OR στην οποία καταλήγουν όλοι οι αισθητήρες (εκτός PLC) για να ενημερώσουν το PLC ότι ανιχνεύτηκε σήμα προειδοποίησης από αισθητήρα.
  - i. LeakDetect = FALSE → δεν υπάρχει προειδοποίηση διαρροής
  - ii. LeakDetect = TRUE → υπάρχει προειδοποίηση διαρροής
- c. A-B-C: έξοδοι → όταν το PLC επιβεβαιώσει σήμα προειδοποίησης από τους αισθητήρες μέσω του σήματος LeakDetect, τότε στέλνει στον πολυπλέκτη διαδοχικούς συνδυασμούς των εισόδων επιλογής του A-B-C για να ανακαλύψει ποιους αισθητήρες ενεργοποιήθηκαν. Στο πρόγραμμα οι τιμές των ABC εξόδων αποθηκεύονται στις ενδιάμεσες μνήμες DM[11] DM[21] DM[31] και κατόπιν οδηγούνται στις εξόδους Aout (output[3]), Bout (output[4]) και Cout (output [5]).

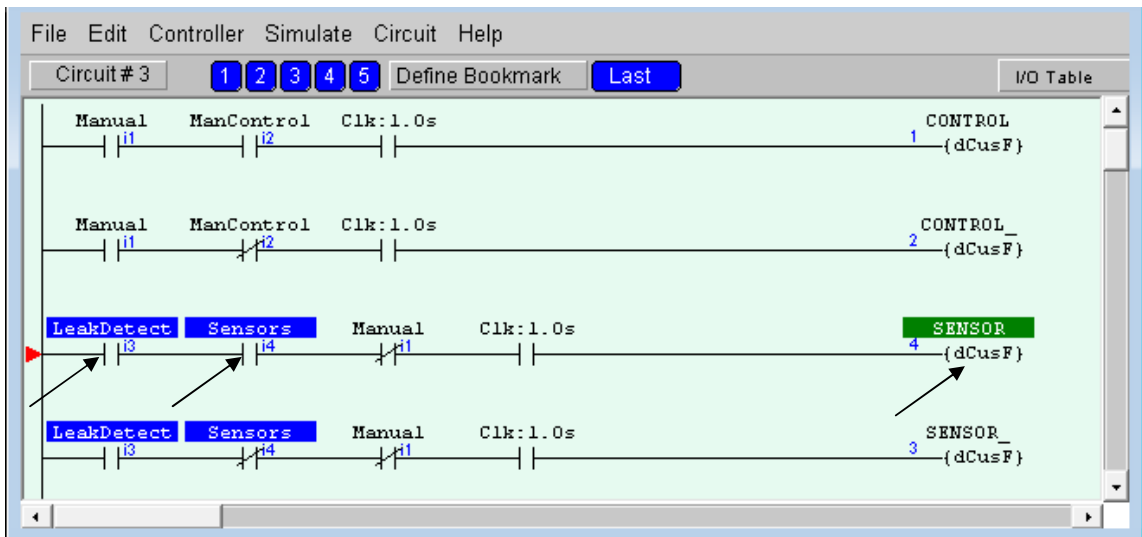
Το κυκλωματικό διάγραμμα έχει ως εξής:



Εικόνα 6.5: κύκλωμα επικοινωνίας αισθητήρων με το PLC (απεικόνιση με το σχεδιαστικό πρόγραμμα Tina )

### Πειραματική απεικόνιση

Στο ladder σχεδιασμό προστίθενται δύο ακόμα γραμμές κυκλώματος, που όταν η είσοδος manual = FALSE δίνουν τον έλεγχο στα σήματα εισόδου του PLC, LeakDetect και Sensors. Η συνάρτηση SENSOR υλοποιείται όταν το σήμα Manual = FALSE (γι' αυτό τοποθετείται στο κύκλωμα ως επαφή κλειστή - NC) και τα σήματα LeakDetect=Sensors= TRUE (ενεργοποιήθηκε κάποιος αισθητήρας και ο αισθητήρας που διαβάζει τώρα το PLC είναι ενεργοποιημένος). Τότε υπολογίζονται οι 8 διαφορετικές καταστάσεις του πολυπλέκτη αυξάνοντας κατά 1 την εσωτερική μνήμη DM[9] σε κάθε ενεργοποίηση της συνάρτησης και αποθηκεύοντας την κατάσταση του αισθητήρα (=1) που ενεργοποίησε την συνάρτηση στην εσωτερική μνήμη που του έχει αντιστοιχηθεί.



Custom Function #4 - SENSOR

```

' ΠΥΡΟΦΩΤΙΝΑ ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΜΕΝΟΥ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ
' υπολογισμός των 8 διαφορετικών καταστάσεων του πολλαπλέκτα
' αποθήκευση των αισθητήρων που είναι ενεργοποιημένοι

IF DM[9]<8 THEN
DM[9]=DM[9]+1
DM[DM[9]]=1
ELSE
DM[9]=0
ENDIF

DM[11]=DM[9] & 4H0001
DM[21]=DM[9] & 4H0002
DM[31]=DM[9] & 4H0004

IF DM[11]=4H0001 THEN
OUTPUT[3]=1
ELSE
OUTPUT[3]=0
ENDIF

IF DM[21]=4H0002 THEN
OUTPUT[4]=1
ELSE
OUTPUT[4]=0
ENDIF

```

4-SENSOR

Find Find All

Rename CusF

View Other CusFn

- Keyword Helps -

Undo Abort

#Define

Toggle Breakpoint

Send Brk.Pts to PLC

View Var. Continue



## Υπορουτίνα SENSOR:

```
' ΥΠΟΡΟΥΤΙΝΑ ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΜΕΝΟΥ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ  
' υπολογισμός των 8 διαφορετικών καταστάσεων του πολυπλέκτη  
' αποθήκευση των αισθητήρων που είναι ενεργο-ποιημένοι
```

```
IF DM[9]<8 THEN  
DM[9]=DM[9]+1  
DM[DM[9]]=1  
ELSE  
DM[9]=0  
ENDIF
```

```
DM[11]=DM[9] & &H0001  
DM[21]=DM[9] & &H0002  
DM[31]=DM[9] & &H0004
```

```
IF DM[11]=&H0001 THEN  
OUTPUT[3]=1  
ELSE  
OUTPUT[3]=0  
ENDIF
```

```
IF DM[21]=&H0002 THEN  
OUTPUT[4]=1  
ELSE  
OUTPUT[4]=0  
ENDIF
```

```
IF DM[31]=&H0004 THEN  
OUTPUT[5]=1  
ELSE  
OUTPUT[5]=0  
ENDIF
```

'αναζήτηση έγκυρων ζευγών αισθητήρων

```
IF &H0001 =S1 & S2 THEN  
OUTPUT[1]=1  
PRINT#2 "Found leak between S1 & S2.Valve closed"  
ELSE  
IF &H0001 =S1 & S3 THEN  
OUTPUT[1]=1  
PRINT#2 "Found leak between S1 & S3.Valve closed"  
ELSE  
IF &H0001 =S2 & S4 THEN  
OUTPUT[1]=1  
PRINT#2 "Found leak between S2 & S4.Valve closed"  
ELSE  
IF &H0001 =S3 & S4 THEN  
OUTPUT[1]=1  
PRINT#2 "Found leak between S3 & S4.Valve closed"
```



File Edit Controller Simulate Circuit Help

Circuit #2 1 2 3 4 5 Define Bookmark Last I/O Table

Custom Function #3 - SENSOR

```

%ΠΡΟΓΡΑΦΗ ΑΝΙΣΤΗΤΗΣ ΛΙΑΦΟΡΕ ΟΥΑΝ Ο ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΕΙΝΑΙ ΑΝΕΠΙΡΡΟΗ
IF DI(9)=0 THEN
  DI(9)=DI(9)+1
  DI(10)=DI(9)+0
ELSE
  DI(9)=0
ENDIF
DI(11)=DI(9) & 480001
DI(11)=DI(9) & 480002
DI(11)=DI(9) & 480004
IF DI(11)=480001 THEN
  OUPUT(3)=1
ELSE
  OUPUT(3)=0
ENDIF
IF DI(11)=480002 THEN
  OUPUT(4)=1
ELSE
  OUPUT(4)=0
ENDIF
IF DI(11)=480004 THEN
  OUPUT(5)=1
ELSE
  OUPUT(5)=0
ENDIF
SETPLC 1,1,"EXAMINE NEXT SENSOR"
%αναζήτηση έλασμων. Γενική αναζήτηση
IF 480001 = 01 & 02 THEN
  OUPUT(11)=1
  PRINT#2 "Found leak between 01 & 02,Valve closed"
ELSE
  IF 480001 = 03 & 03 THEN
    OUPUT(11)=1
    PRINT#2 "Found leak between 01 & 03,Valve closed"
  ELSE
    IF 480001 = 04 & 04 THEN
      OUPUT(11)=1
      PRINT#2 "Found leak between 02 & 04,Valve closed"
    ELSE
      OUPUT(11)=0
    ENDIF
  ENDIF
ENDIF

```

Find Find All

3-SENSOR\_

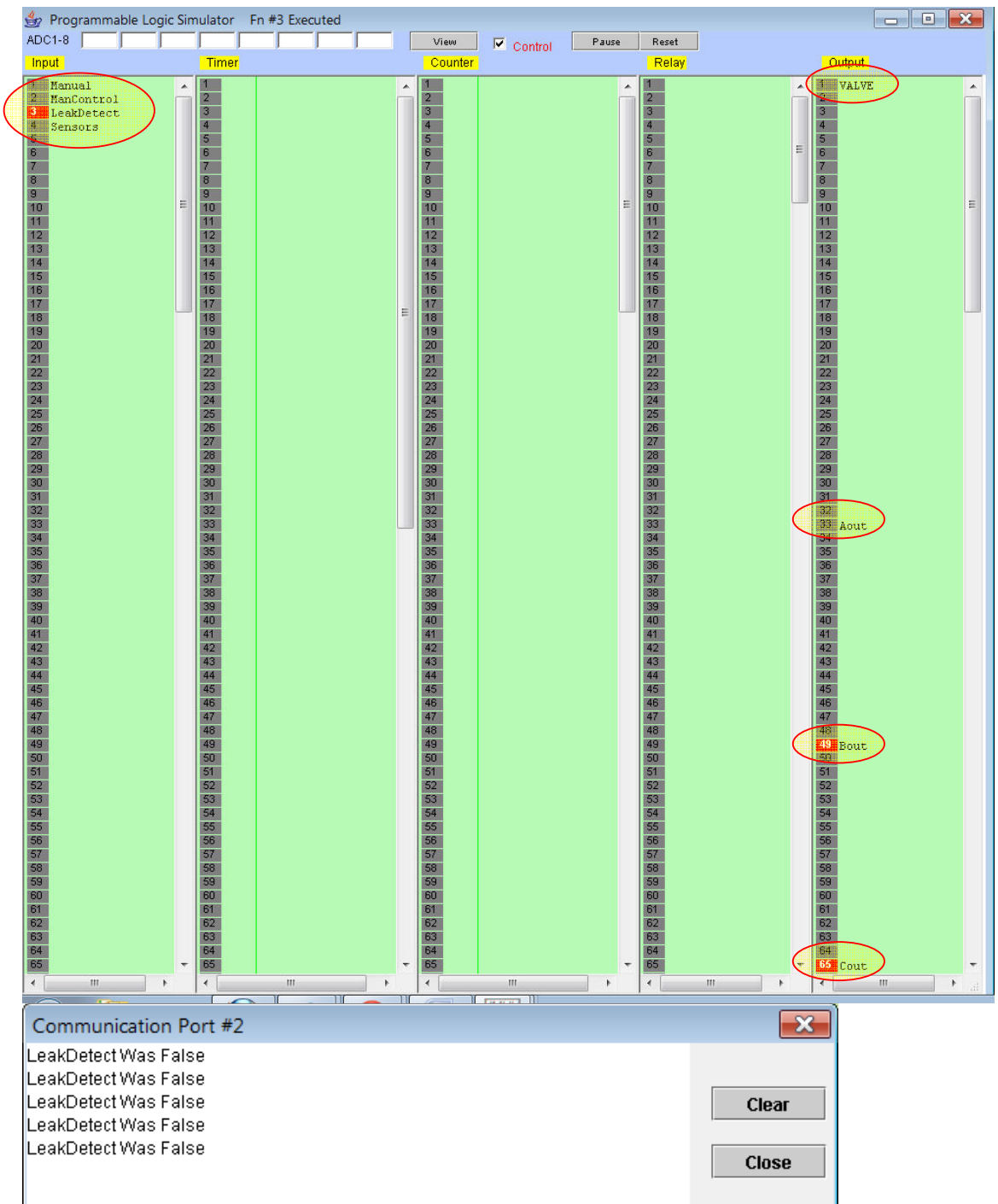
Undo Abort

Define

Toggle Breakpoint

Send Dk-Pk to PLC

View Var. Continue



Εικόνα 6.7: i-trilogi υλοποίηση συνάρτησης sensor\_

## Η συνάρτηση SENSOR\_:

'ΥΠΟΡΟΥΤΙΝΑ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ ΔΙΑΡΡΟΗΣ ΟΤΑΝ Ο ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΕΙΝΑΙ ΑΝΕΝΕΡΓΟΣ

```
IF DM[9]<8 THEN
DM[9]=DM[9]+1
DM[DM[9]]=0
ELSE
DM[9]=0
ENDIF
```

```
DM[11]=DM[9] & &H0001
DM[21]=DM[9] & &H0002
DM[31]=DM[9] & &H0004
```

```
IF DM[11]=&H0001 THEN
OUTPUT[3]=1
ELSE
OUTPUT[3]=0
ENDIF
```

```
IF DM[21]=&H0002 THEN
OUTPUT[4]=1
ELSE
OUTPUT[4]=0
ENDIF
```

```
IF DM[31]=&H0004 THEN
OUTPUT[5]=1
ELSE
OUTPUT[5]=0
ENDIF
```

```
SETLCD 1,1,"EXAMINE NEXT SENSOR"
```

'αναζήτηση έγκυρων ζευγών αισθητήρων

```
IF &H0001 =S1 & S2 THEN
OUTPUT[1]=1
PRINT#2 "Found leak between S1 & S2.Valve closed"
ELSE
IF &H0001 =S1 & S3 THEN
OUTPUT[1]=1
PRINT#2 "Found leak between S1 & S3.Valve closed"
ELSE
IF &H0001 =S2 & S4 THEN
OUTPUT[1]=1
PRINT#2 "Found leak between S2 & S4.Valve closed"
ELSE
IF &H0001 =S3 & S4 THEN
OUTPUT[1]=1
```



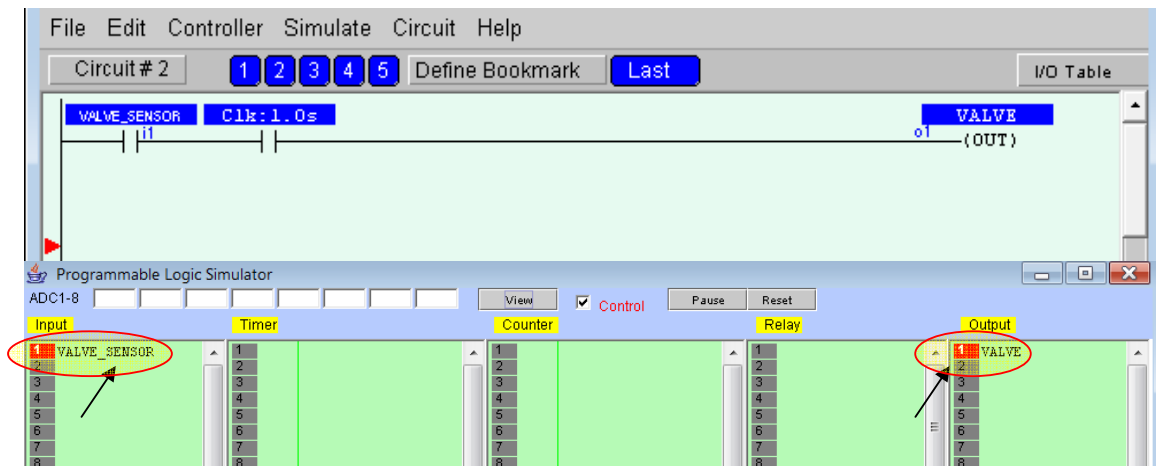
ελέγχει την βαλβίδα και ο οποίος αποστέλλει το σήμα προς το PLC και το οποίο με την σειρά του κλείνει την βαλβίδα που ελέγχει.

### 6.3.1 Υπορουτίνα ελέγχου ειδικής συσκευής

Στο κύκλωμα διακρίνουμε δύο σήματα.

1. VALVE\_SENSOR: Είσοδος
  - i. VALVE\_SENSOR = FALSE , η ειδική συσκευή λειτουργεί κανονικά
  - ii. VALVE\_SENSOR = TRUE , η ειδική συσκευή παρουσιάζει διαρροή
2. VALVE : έξοδος
  - a. VALVE = FALSE η βαλβίδα απομόνωσης επιτρέπει την ροή ύδατος
  - b. VALVE = TRUE η βαλβίδα απομόνωσης δεν επιτρέπει την ροή ύδατος

*Πειραματική προσέγγιση*

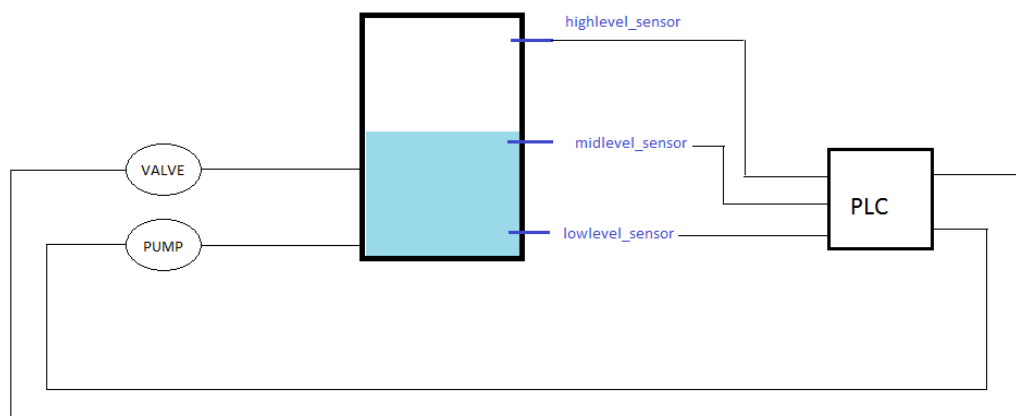


Εικόνα 6.8:i-trilogi υπορουτίνα ελέγχου ειδικής συσκευής

## 6.4. Έλεγχος Δεξαμενής Νερού με PLC

Η τρίτη περίπτωση απώλειας ύδατος είναι λόγω υπερχειλίσσης της δεξαμενής αποθήκευσης ύδατος. Σε αυτή την περίπτωση το PLC φροντίζει αφενός να μην υπάρξει υπερχειλίση της δεξαμενής και αφετέρου να μην αδειάσει λόγω υψηλής κατανάλωσης και το δίκτυο αντιμετωπίσει φαινόμενα υπο-εξυπηρέτησης. Στο σύστημα χρησιμοποιούνται τρεις αισθητήρες ελέγχου της στάθμης του ύδατος που καθορίζουν αν το νερό βρίσκεται σε κανονική στάθμη (midlevel sensor) , αν βρίσκεται στα όρια υπερχειλίσσης της δεξαμενής (highlevel sensor) και αν βρίσκεται χαμηλότερα από τα αποδεκτά όρια (lowlevel sensor).

Στο PLC συνδέονται στην είσοδο τα σήματα από αυτούς τους αισθητήρες και στην έξοδο συνδέονται η βαλβίδα που καθορίζει πόσο νερό θα εισάγεται στην δεξαμενή με μέγιστη απόδοση τα 800m<sup>3</sup>/hr και μια αντλία η οποία χρησιμοποιείται για να εισάγει άμεσα επιπλέον νερό στην δεξαμενή αν τα επίπεδα της πέσουν με μέγιστη απόδοση τα 600m<sup>3</sup>/hr.



Εικόνα 6.9: κύκλωμα αυτόματου έλεγχου στάθμης δεξαμενής

Η βαλβίδα έχει τρεις στάθμες λειτουργίας. Αρχικά βρίσκεται σε κατάσταση κανονικής λειτουργίας (50% - 40m<sup>3</sup>/hr) και επιτρέπει την ροή εντός της δεξαμενής τόσο ύδατος όσο έχει υπολογιστεί για την κατανάλωση που προορίζεται το δίκτυο. Όταν διαπιστωθεί υπερχειλίση η βαλβίδα κλείνει (0%- 0m<sup>3</sup>/hr) μέχρις ότου να επανέλθει το νερό στα κανονικά του επίπεδα και όταν διαπιστωθεί χαμηλή στάθμη ύδατος τότε η βαλβίδα ανοίγει πλήρως (100%-800m<sup>3</sup>/hr) για να εισάγει μεγαλύτερες ποσότητες νερού στην δεξαμενή. Για τάχιση επαναφορά του επιπέδου της δεξαμενής αν αυτό πέσει κάτω από τα επιτρεπτά όρια χρησιμοποιείται και μία αντλία που

εισάγει άμεσα επιπλέον ποσότητες νερού (απαιτείται σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης , όπως είναι μία πυρκαγιά), η οποία ενεργοποιείται όταν επίσης διαπιστωθεί χαμηλή στάθμη ύδατος.

Στο κύκλωμα διακρίνουμε τα εξής σήματα :

1. highlevel\_sensor: είσοδος
  - a. highlevel\_sensor = FALSE το νερό της δεξαμενής δεν έχει ξεπεράσει τα μέγιστα επιτρεπτά όρια
  - b. highlevel\_sensor=TRUE υπερχείλιση της δεξαμενής
2. midlevel\_sensor: είσοδος
  - a. midlevel\_sensor = FALSE η στάθμη του ύδατος είναι κάτω από τα κανονικά επίπεδα
  - b. midlevel\_sensor = TRUE η στάθμη του ύδατος είναι σε κανονικά επίπεδα
3. lowlevel\_sensor: είσοδος
  - a. lowlevel\_sensor=FALSE η στάθμη του ύδατος δεν είναι επικίνδυνα χαμηλή
  - b. lowlevel\_sensor = TRUE η στάθμη του ύδατος είναι επικίνδυνα χαμηλή
4. Η βαλβίδα έχει τρεις στάθμες λειτουργίας οι οποίες εκφράζονται με δύο bit κα τους εξής συνδυασμούς:

VALVE_HIGH_BIT  OUTPUT[1]	VALVE_LOW_BIT  OUTPUT[2]	Κατάσταση Λειτουργίας (ποσοστό ανοίγματος της βαλβίδας)
0	0	Δεν χρησιμοποιείται
0	1	0%
1	0	50%
1	1	100%

Πίνακας 6.1: κατάσταση εξόδου PLC για τον έλεγχο της βαλβίδας

#### 5. PUMP: έξοδος (OUTPUT[3])

- a. PUMP = FALSE η αντλία δεν λειτουργεί
- b. PUMP = TRUE η αντλία λειτουργεί

#### *Πειραματική προσέγγιση*

Το κύκλωμα σε ladder σχεδιασμό έχει τέσσερις γραμμές κυκλώματος και υλοποιεί τέσσερις υπορουτίνες για τις τέσσερις καταστάσεις λειτουργίας της δεξαμενής. Η υπορουτίνα TANK\_OVERFLOW υλοποιείται όταν ο highlevel\_sensor δώσει σήμα ότι το νερό ξεπέρασε τα ανώτερα επιτρεπτά όρια (true). Τότε στην βαλβίδα πάει το σήμα 01 ενώ η αντλία παραμένει ανενεργή.

The image displays three windows from the i-TRiLOGI software interface:

- Top Window (Circuit #2):** Shows a ladder logic diagram with four rungs. Each rung has a clock input labeled "Clk: 1.0s".
  - Rung 1: `SENSOR_HIGHLEVEL` (normally open contact) connected to output `TANK_OVERFLOW` (coil).
  - Rung 2: `SENSOR_HIGHLEVEL` (normally open contact) and `SENSOR_MIDLEVEL` (normally closed contact) connected to output `TANK_NORMAL_OP` (coil).
  - Rung 3: `SENSOR_MIDLEVEL` (normally open contact) and `SENSOR_LOWLEVEL` (normally closed contact) connected to output `HIGH_CONSUMPTION` (coil).
  - Rung 4: `SENSOR_LOWLEVEL` (normally open contact) connected to output `EMPTY_TANK` (coil).
- Middle Window (Programmable Logic Simulator):** Shows a truth table with columns for Input, Timer, Counter, Relay, and Output.
  - Input:** 1: `SENSOR_HIGHLEVEL`, 2: `SENSOR_MIDLEVEL`, 3: `SENSOR_LOWLEVEL`.
  - Output:** 1: `VALVE_HIGHBIT`, 17: `VALVE_LOWBIT`, 35: `PUMP`.
- Bottom Window (Custom Function #1 - TANK\_OVERFLOW):** Contains the following code:
 

```

      'ΠΙΟΠΟΤΙΝΑ ΠΙΕΡΧΕΙΑΙΣΗΗ
      'η βαλβίδα και η αντλία κλείνουν
      OUTPUT[1]= 0 ' σήμα προς την βαλβίδα = '00'
      OUTPUT[2]= 1
      OUTPUT[3]= 0 ' σήμα προς την αντλία FALSE
      
```

Εικόνα 6.10: i-trilogi υπορουτίνα υπερχείλισης δεξαμενής

## Υπορουτίνα TANK\_OVERFLOW:

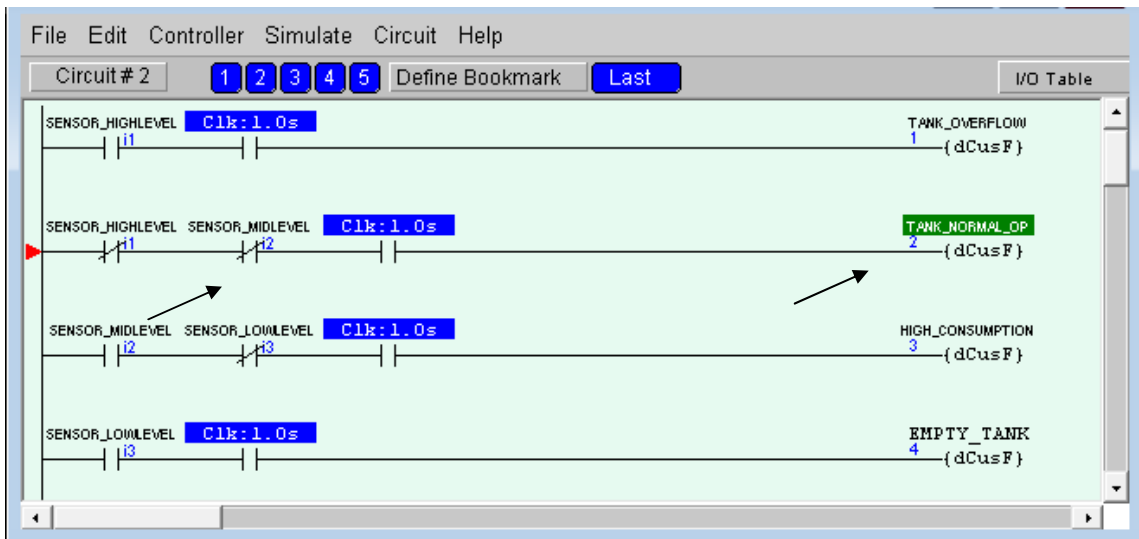
```
'ΥΠΟΡΟΥΤΙΝΑ ΥΠΕΡΧΕΙΛΙΣΗΣ
```

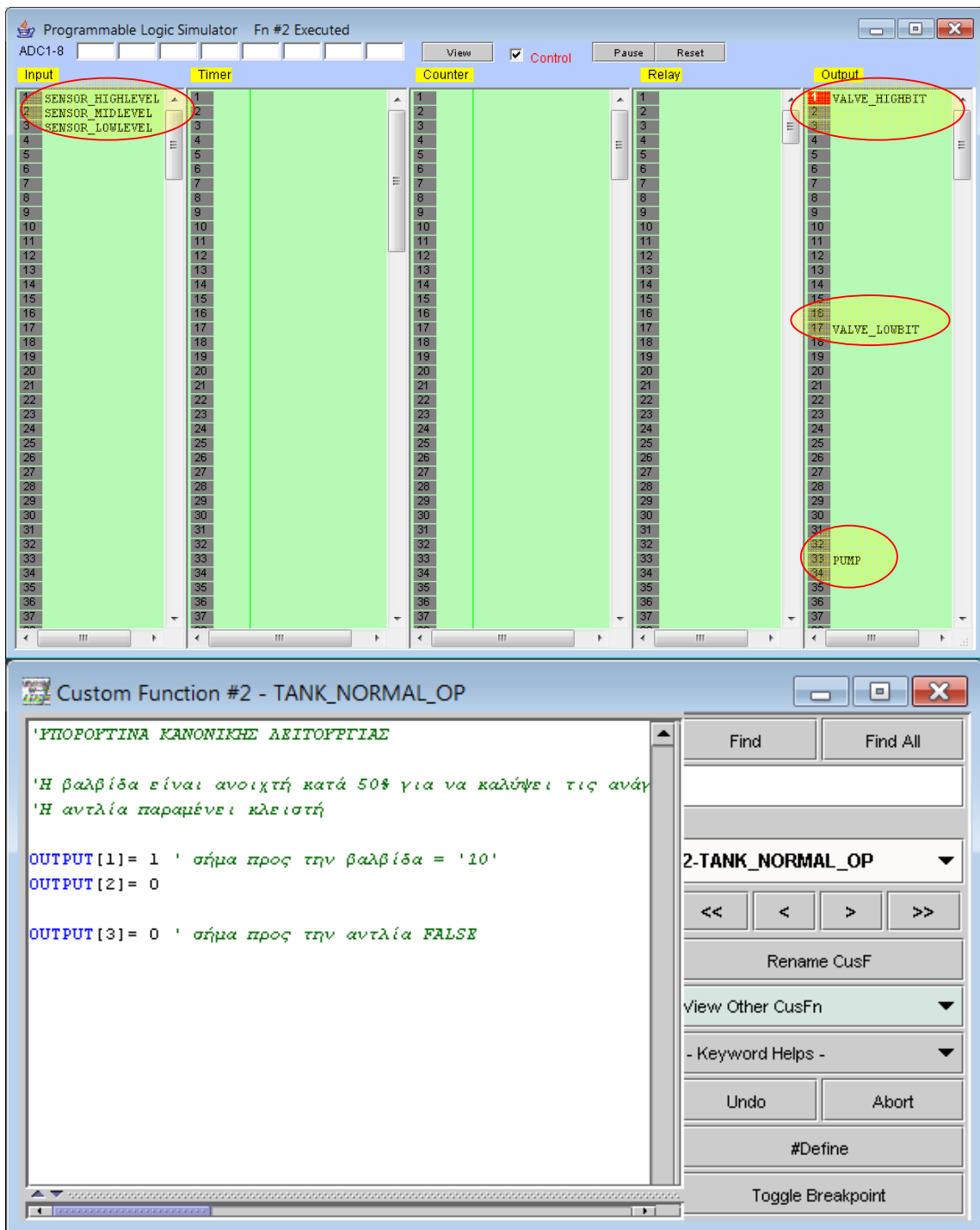
```
'η βαλβίδα και η αντλία κλείνουν
```

```
ΟΥΤΡΥΤ[1]= 0 ' σήμα προς την βαλβίδα = '00'  
ΟΥΤΡΥΤ[2]= 1
```

```
ΟΥΤΡΥΤ[3]= 0 ' σήμα προς την αντλία FALSE
```

Ακολούθως υλοποιείται η υπορουτίνα TANK\_NORMAL\_OP με την οποία η ο midlevel\_sensor (FALSE) δείχνει ότι το νερό βρίσκεται στα αποδεκτά όρια λειτουργίας. Τότε στην βαλβίδα πάει το σήμα 10 ενώ η αντλία παραμένει ανενεργή.





Εικόνα6.11: I-TRIOLOGI υπορουτίνα κανονικής λειτουργίας δεξαμενής

Υπορουτίνα TANK\_NORMAL\_OP:

'ΥΠΟΡΟΥΤΙΝΑ ΚΑΝΟΝΙΚΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

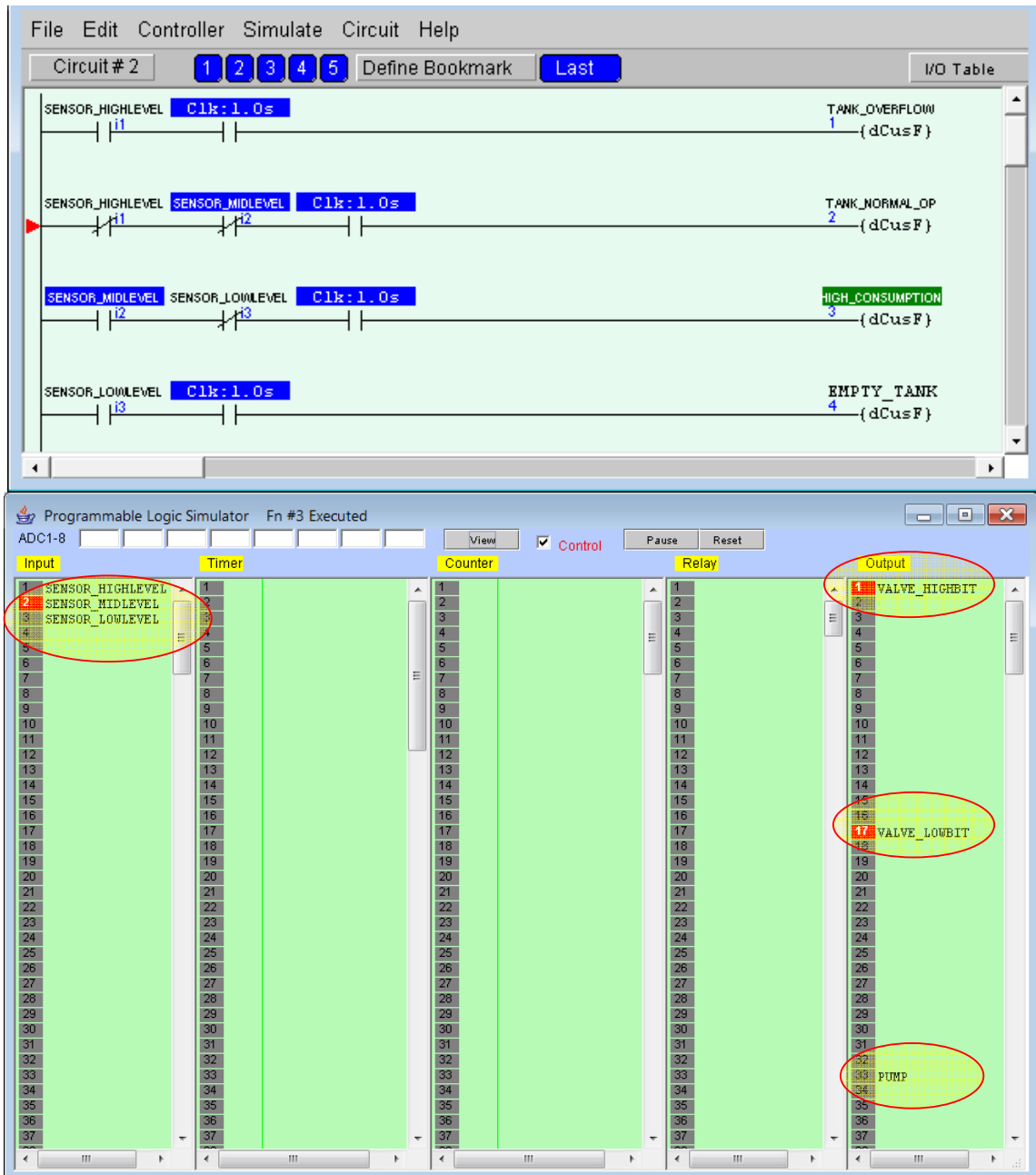
'Η βαλβίδα είναι ανοιχτή κατά 50% για να καλύψει τις ανάγκες κατανάλωσης

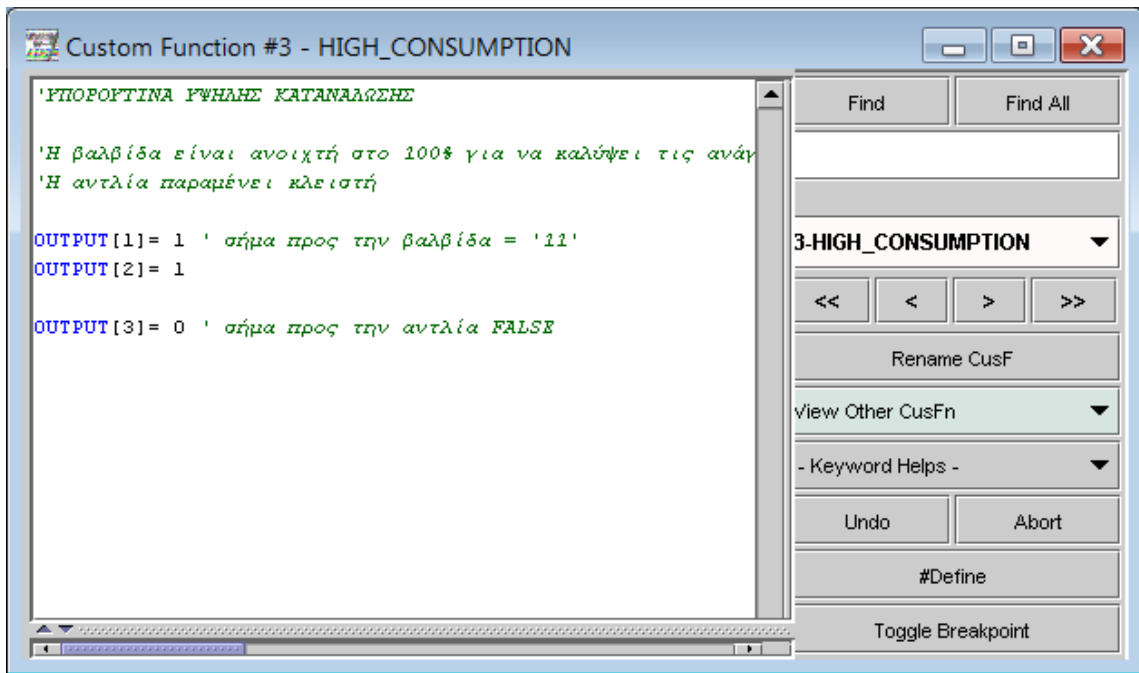
'Η αντλία παραμένει κλειστή

OUTPUT[1]= 1 ' σήμα προς την βαλβίδα = '10'  
OUTPUT[2]= 0

OUTPUT[3]= 0 ' σήμα προς την αντλία FALSE

Στην τρίτη υπορουτίνα HIGH\_CONSUMPTION ο midlevel\_sensor (TRUE) δείχνει ότι το νερό βρίσκεται κάτω από τα αποδεκτά όρια λειτουργίας, χωρίς όμως να υπάρχει κίνδυνος να αδειάσει. Τότε στην βαλβίδα πάει το σήμα 11 ενώ η αντλία παραμένει ανενεργή.





Εικόνα 6.12: i-trilogi υλοποίηση υπορουτίνας χαμηλής στάθμης δεξαμενής

Η υπορουτίνα HIGH\_CONSUMPTION:

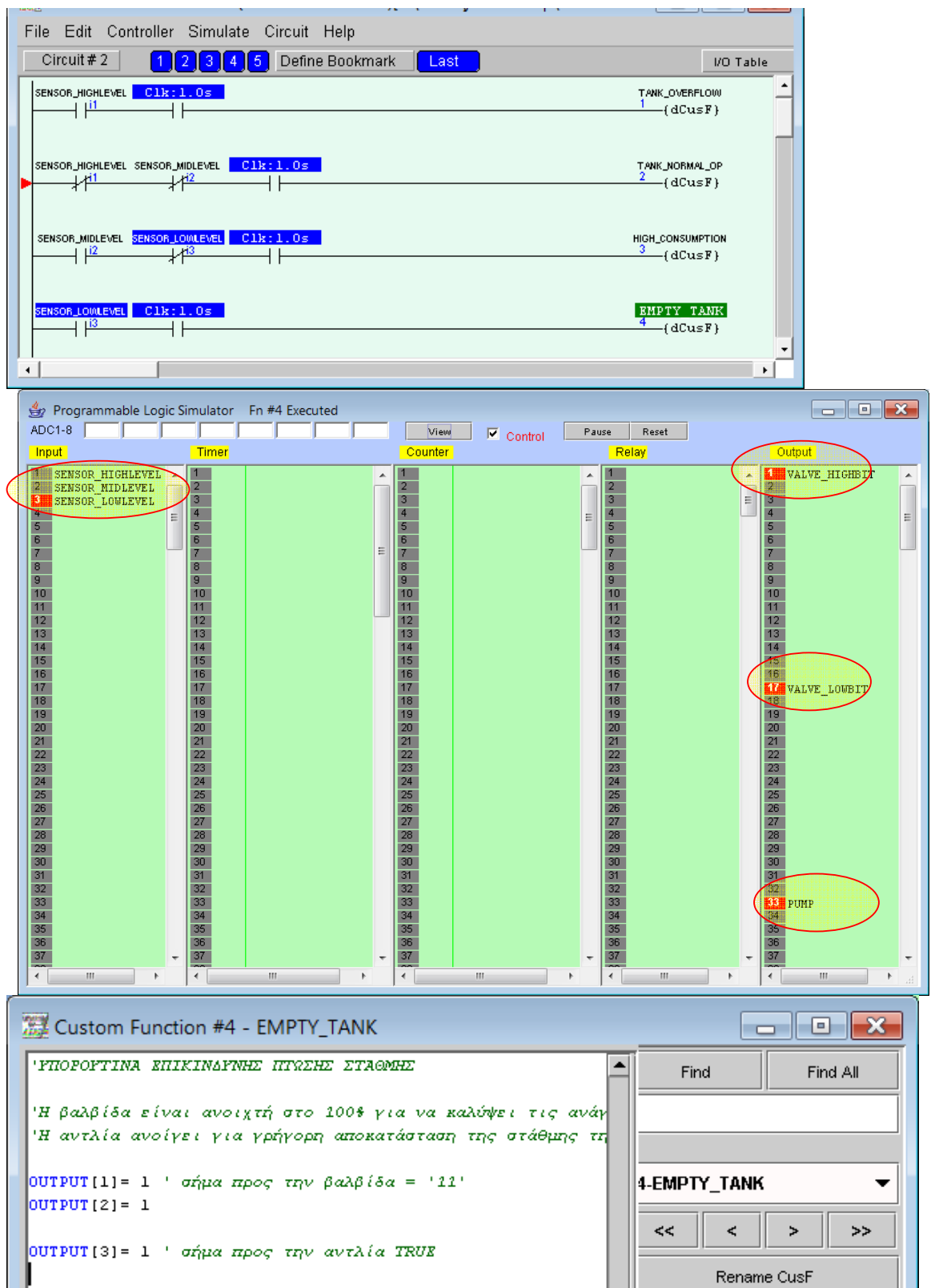
ΥΠΟΡΟΥΤΙΝΑ ΥΨΗΛΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ

'Η βαλβίδα είναι ανοιχτή στο 100% για να καλύψει τις ανάγκες κατανάλωσης  
'Η αντλία παραμένει κλειστή

OUTPUT[1]= 1 ' σήμα προς την βαλβίδα = '11'  
OUTPUT[2]= 1

OUTPUT[3]= 0 ' σήμα προς την αντλία FALSE

Τέλος, η υπορουτίνα EMPTY\_TANK ενεργοποιείται όταν ο lowlevel\_sensor (TRUE) δείχνει ότι το νερό βρίσκεται σε επικίνδυνη χαμηλή στάθμη για την λειτουργία του δικτύου. Τότε στην βαλβίδα πάει το σήμα 11 ενώ η αντλία ενεργοποιείται.



Εικόνα 6.13: i-trilogi υλοποίηση υπορουτίνας επικίνδυνης στάθμης ύδατος δεξαμενής

Η υπορουτίνα EMPTY\_TANK:

```
'ΥΠΟΡΟΥΤΙΝΑ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΗΣ ΠΤΩΣΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ
```

'Η βαλβίδα είναι ανοιχτή στο 100% για να καλύψει τις ανάγκες κατανάλωσης

'Η αντλία ανοίγει για γρήγορη αποκατάσταση της στάθμης της δεξαμενής

```
ΟΥΤΡΥΤ[1]= 1 ' σήμα προς την βαλβίδα = '11'
```

```
ΟΥΤΡΥΤ[2]= 1
```

```
ΟΥΤΡΥΤ[3]= 1 ' σήμα προς την αντλία TRUE
```

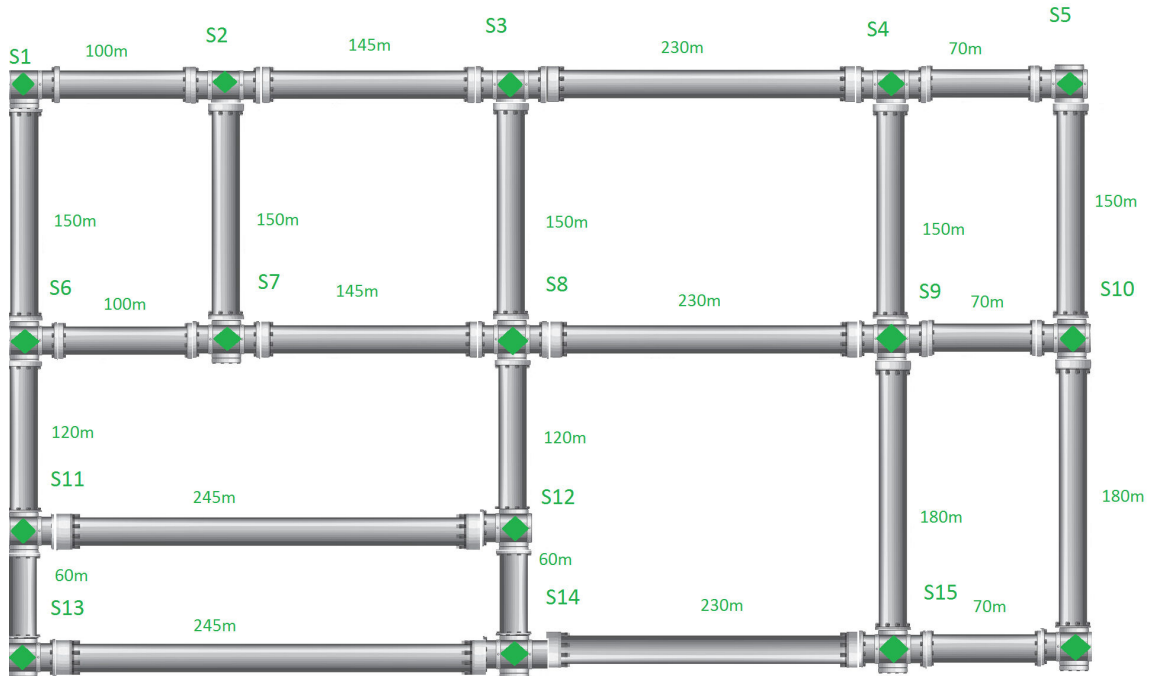
# Κεφάλαιο 7

## Πρόγραμμα κεντρικής παρακολούθησης διαρροών

Σε ένα κεντρικό σύστημα παρακολούθησης ενός δικτύου ύδρευσης οι κυριότερες λειτουργίες που τελούνται είναι η λήψη των σημάτων των αισθητήρων και η περαιτέρω επεξεργασία τους για να παρέχουν πληροφορίες στους διαχειριστές για την κατάσταση του δικτύου. Στην παρούσα εργασία θεωρούμε ολοκληρωμένο δίκτυο με 16 αισθητήρες (χρησιμοποιούνται παραπάνω αισθητήρες από το προηγούμενο παράδειγμα, μιας και δεν εξετάζεται τμήμα του δικτύου αλλά ολόκληρο), των οποίων η κατάσταση καταγράφεται σε καταχωρητές μνήμης και τα δεδομένα που προκύπτουν εξετάζονται από το σύστημα παρακολούθησης για να διαπιστωθεί αν υπάρχει φαινόμενο διαρροής ή όχι. Παράλληλα παράγονται σήματα οπτικής απεικόνισης του δικτύου και ενημέρωσης του διαχειριστή για την κατάσταση λειτουργίας του.

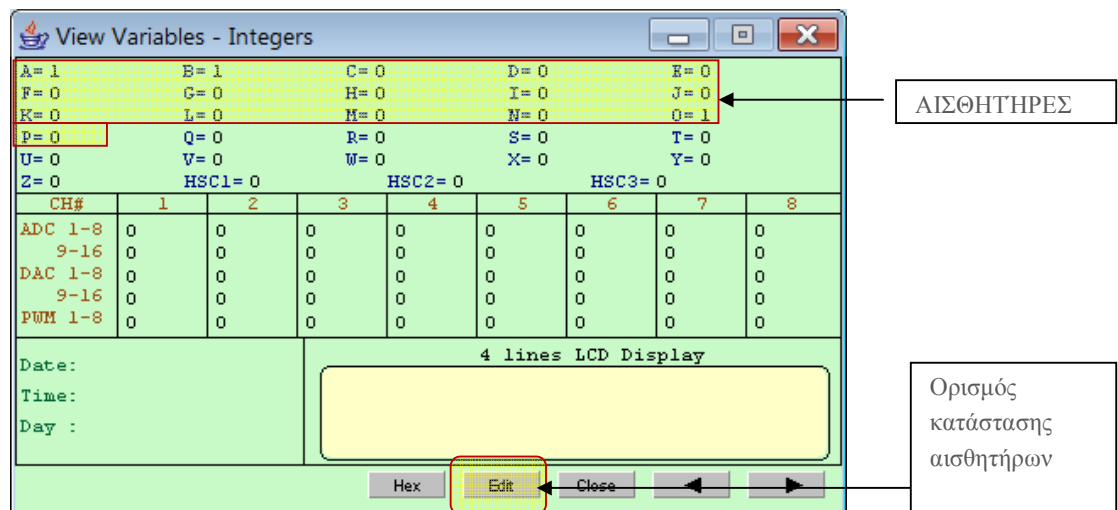
*Σημείωση: Χάρην ομοιότητας του προγραμματισμού, για την υλοποίηση του κώδικα χρησιμοποιήθηκε η Tbasic και ως εργαλείο προσομοίωσης το I-trilogi. Δεν χρησιμοποιήθηκαν οι διακριτές εισόδους και εξόδους που αντιστοιχούν σε εισόδους και εξόδους PLC ελεγκτή, αλλά οι εσωτερικές μεταβλητές και μνήμες για την απεικόνιση των καταστάσεων. Το πρόγραμμα ως έχει μπορεί να μεταφερθεί σε οποιαδήποτε γλώσσα προγραμματισμού.*

## 7.1 Αναλυτική Προσέγγιση Του Προγράμματος Παρακολούθησης

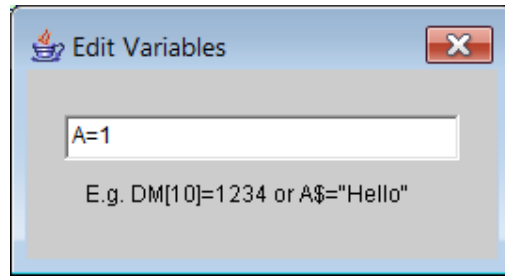


Εικόνα 7.1: ολοκληρωμένο δίκτυο ύδρευσης με 16 αισθητήρες

1. Ο χειριστής του συγκεκριμένου προγράμματος μπορεί να θέτει την κατάσταση των αισθητήρων προτού ξεκινήσει να υλοποιείται η υπορουτίνα ανίχνευσης διαρροών. Χρησιμοποιούνται οι εσωτερικές μεταβλητές του προγράμματος A έως P, οι οποίες αντιστοιχούν στους αισθητήρες S1 έως S16 αντίστοιχα.

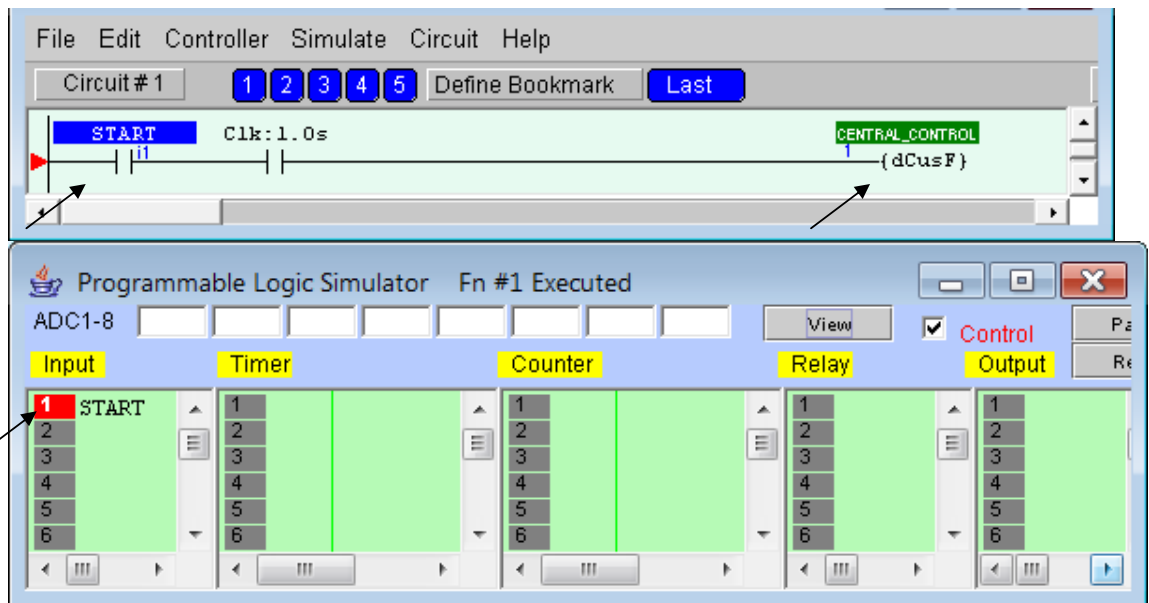


Εικόνα7.2: εσωτερικές μεταβλητές του i-trilogi που αντιστοιχούν στους αισθητήρες



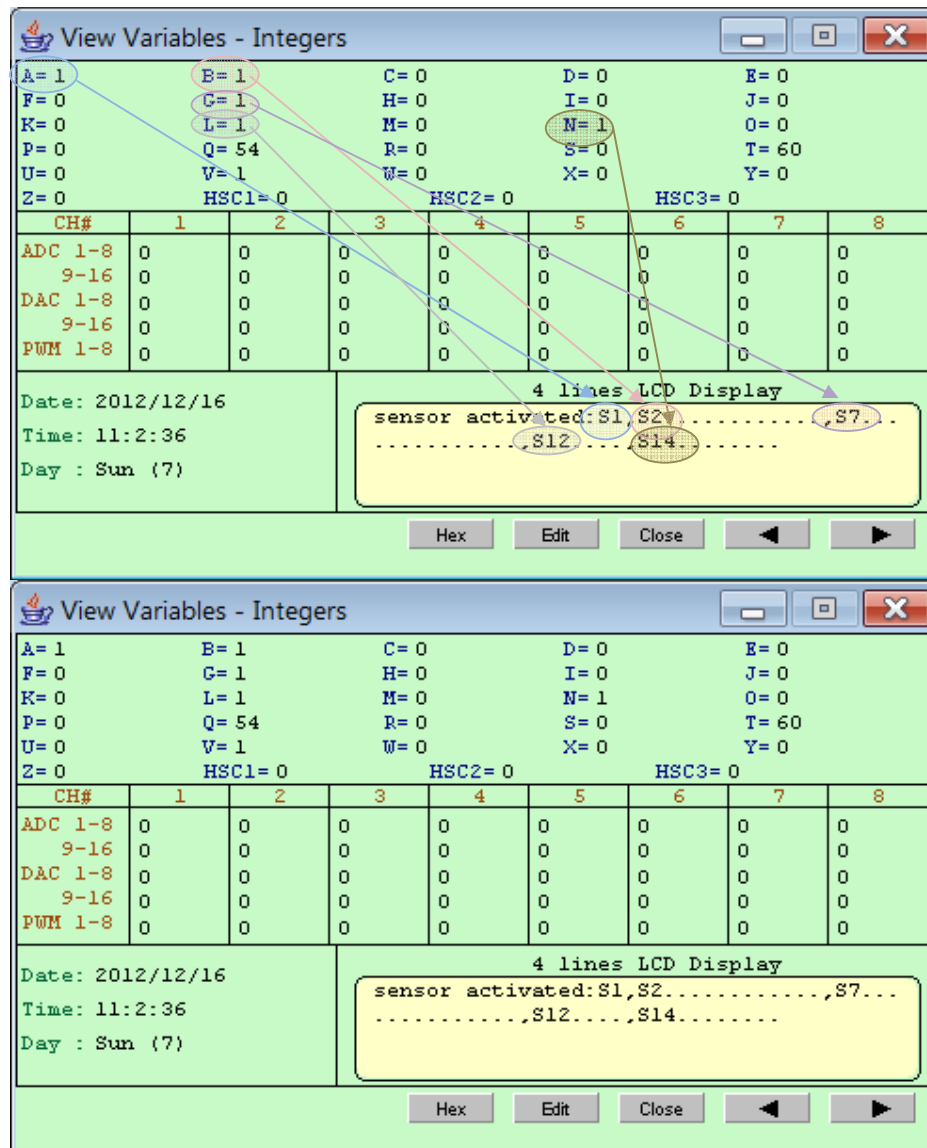
Εικόνα 7.3:ορισμος του αισθητήρα S1 ως ενεργού

- Όταν οι αισθητήρες οριστούν ο χειριστής θέτει την είσοδο START του κυκλώματος ώστε να ξεκινήσει η ανάγνωσή τους.



Εικόνα 7.4: εκκίνηση του προγράμματος ελέγχου των αισθητήρων

- Οι αισθητήρες που αποστέλλουν προειδοποίηση (= '1') απεικονίζονται στην LCD οθόνη της εφαρμογής. Έτσι, ο διαχειριστής της κονσόλας ενημερώνεται για τα σήματα που χρειάζονται την προσοχή του.



Εικόνα 7.5: απεικόνιση των ενεργοποιημένων αισθητήρων στην LCD οθόνη

4. Οι τιμές των αισθητήρων αφού διαβαστούν αποθηκεύονται σε μία εσωτερική μνήμη του προγράμματος (DM[151]= 16 bits) στην οποία κάθε bit αντιστοιχίζεται και η τιμή ενός από τους 16 αισθητήρες. Αν το πρόγραμμα αναφερόταν σε πλειάδα αισθητήρων, αυτοί θα χωρίζονταν σε 16αδες και κάθε μία από αυτές θα αποθηκευόταν σε διαφορετική εσωτερική μνήμη. Το bit 0 περιέχει την τιμή του αισθητήρα S1, το bit 1 περιέχει την τιμή του αισθητήρα S2, το bit 3 περιέχει την τιμή του αισθητήρα S3 κ.ο.κ.
5. Οι τιμές του DM[151] που αντιστοιχούν σε έγκυρα ζεύγη αισθητήρων αποθηκεύονται στις εσωτερικές θέσεις μνήμης DM[31] έως DM[53]. Στο παρόν δίκτυο υπάρχουν 23 έγκυρα ζεύγη και οι τιμές τους προκύπτουν ως εξής: έστω ενεργοποιημένοι οι

αισθητήρες S1(A), S2 (B), S7 (G), S12(L) και S14(N) οι οποίοι έχουν θέσει τα bit 0= bit 1 = bit 7= bit 12= bit 14=1 . Απομονώνονται τελώντας μάσκα AND μεταξύ της αποθηκευμένης τιμής των έγκυρων ζευγών και της τιμής της μνήμης DM[151] τα bit 0 και bit 1 (IF &H0003 =( DM[151] & DM[31])) και αν η ισότητα είναι έγκυρη τότε στην έξοδο τυπώνονται τα έγκυρα ζεύγη και υπολογίζεται το σημείο διαρροής μεταξύ τους. Οι έγκυρες τιμές ζευγών είναι:

- i. P\_1\_2 =&H0003
- ii. P\_2\_3 =&H0006
- iii. P\_3\_4 =&H000C
- iv. P\_4\_5 =&H0018
- v. P\_1\_6 =&H0021
- vi. P\_2\_7 =&H0042
- vii. P\_3\_8 =&H0084
- viii. P\_4\_9 =&H0108
- ix. P\_5\_10 =&H0210
- x. P\_6\_7 =&H0060
- xi. P\_7\_8 =&H00C0
- xii. P\_8\_9 =&H0180
- xiii. P\_9\_10 =&H0300
- xiv. P\_6\_11 =&H0420
- xv. P\_8\_12 =&H0880

xvi. P\_9\_15 =&H4100

xvii. P\_10\_16 =&H8200

xviii. P\_11\_12 =&H0C00

xix. P\_11\_13 =&H1400

xx. P\_12\_14 =&H2800

xxi. P\_13\_14 =&H3000

xxii. P\_14\_15 =&H6000

xxiii. P\_15\_16 =&HC000

6. Το σημείο διαρροής υπολογίζεται από τον τύπο  $D = (L_i - V \cdot T_d) / 2$ , όπου D είναι το σημείο διαρροής σε μέτρα,  $L_i$  η απόσταση μεταξύ των δύο αισθητήρων, V η ταχύτητα του ήχου μέσα στο υλικό του αγωγού και  $T_d$  η διαφορά φάσης των δύο σημάτων των αισθητήρων. Οι αποστάσεις μεταξύ των έγκυρων ζευγών αποθηκεύονται στις εσωτερικές μνήμες DM[1] έως DM[23] και σύμφωνα με το σχήμα είναι η εξής:

i.  $L_1 = 100 \mu$ .

ii.  $L_2 = 145 \mu$ .

iii.  $L_3 = 230 \mu$ .

iv.  $L_4 = 70 \mu$ .

v.  $L_5 = 150 \mu$ .

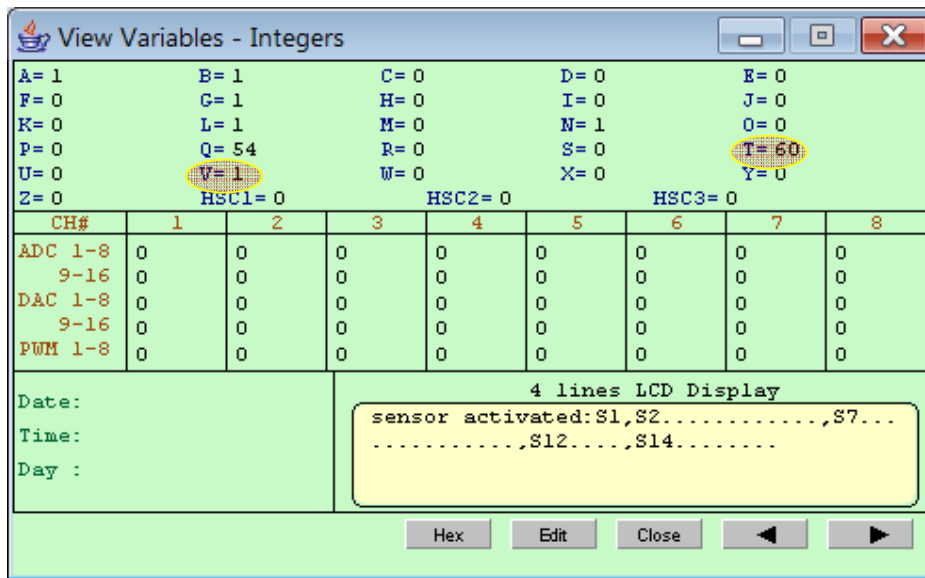
vi.  $L_6 = 150 \mu$ .

vii.  $L_7 = 150 \mu$ .

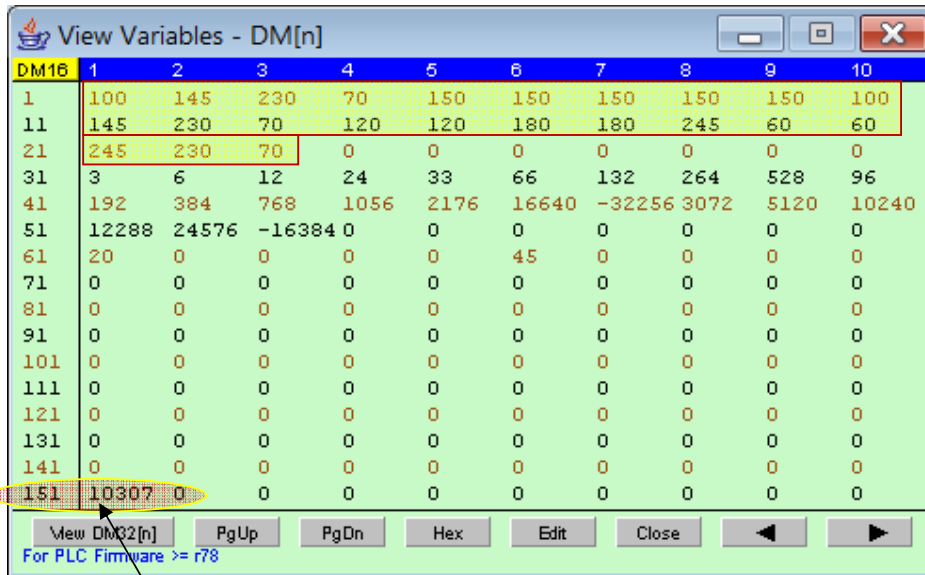
viii.  $L_8 = 150 \mu$ .

- ix.  $L9 = 150 \mu$ .
- x.  $L10 = 100 \mu$ .
- xi.  $L11 = 145 \mu$ .
- xii.  $L12 = 230 \mu$ .
- xiii.  $L13 = 70 \mu$ .
- xiv.  $L14 = 120 \mu$ .
- xv.  $L15 = 120 \mu$ .
- xvi.  $L16 = 180 \mu$ .
- xvii.  $L17 = 180 \mu$ .
- xviii.  $L18 = 245 \mu$ .
- xix.  $L19 = 60 \mu$ .
- xx.  $L20 = 60 \mu$ .
- xxi.  $L21 = 245 \mu$ .
- xxii.  $L22 = 230 \mu$ .
- xxiii.  $L23 = 70 \mu$ .

Χάρης ευκολίας θεωρούμε ότι το υλικό των αγωγών είναι το ίδιο για όλο το δίκτυο και ορίζουμε σταθερή ταχύτητα ήχου  $V = 1\text{m/ms}$  (αποθηκεύεται στην εσωτερική μεταβλητή  $V$ ). Επίσης, ο υπολογισμός της διαφοράς φάσης των δύο σημάτων των αισθητήρων μέσω πράξεων συσχετισμού αποτελεί μια πολύπλοκη διαδικασία η οποία δεν άπτεται της παρούσας εργασίας. Λεπτομέρειες δίνονται στο Παράρτημα Β. Στο πρόγραμμα θεωρείται σταθερή η τιμή  $Td = 60\text{ms}$  ((αποθηκεύεται στην εσωτερική μεταβλητή  $T$ )).



Εικόνα 7.6: αποθήκευση των τιμών της ταχύτητας του ήχου V και της διαφοράς φάσης Td



Εικόνα 7.7: αποθήκευση των αποστάσεων μεταξύ των αισθητήρων

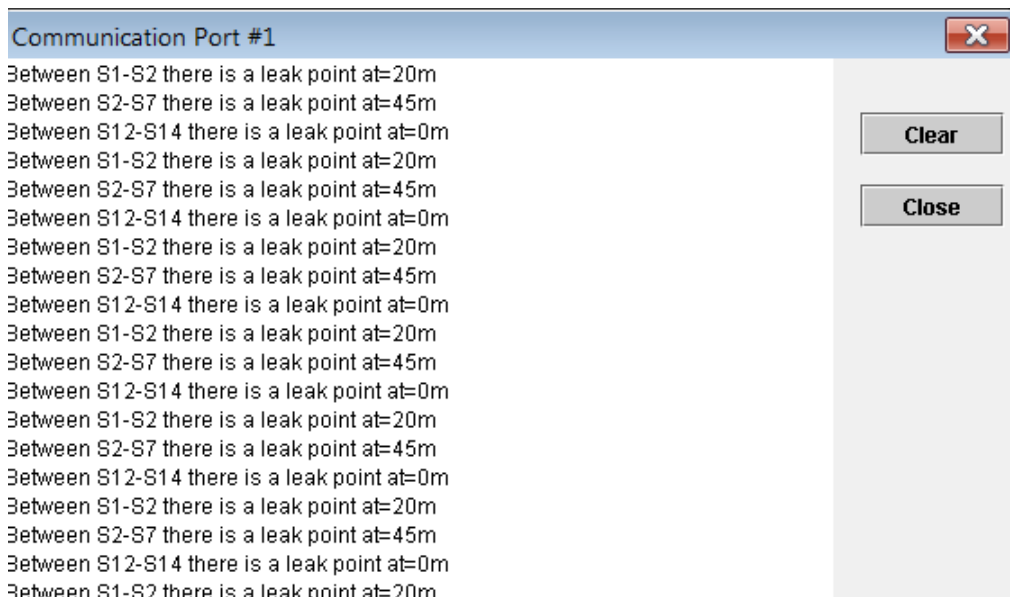
Αποθήκευση κατάστασης αισθητήρων για περαιτέρω επεξεργασία.

DM16	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	100	145	230	70	150	150	150	150	150	100
11	145	230	70	120	120	180	180	245	60	60
21	245	230	70	0	0	0	0	0	0	0
31	3	6	12	24	33	66	132	264	528	96
41	192	384	768	1056	2176	16640	-32256	3072	5120	10240
51	12288	24576	-16384	0	0	0	0	0	0	0
61	20	0	0	0	0	45	0	0	0	0
71	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
81	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
91	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
101	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
111	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
121	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
131	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
141	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
151	10307	0	0	0	0	0	0	0	0	0

New DM32[n] PgUp PgDn Hex Edit Close

For PLC Firmware >= r78

Εικόνα 7.8: αποθήκευση τιμών έγκυρων ζευγών



Εικόνα 7.9: ενημέρωση του διαχειριστή για τα έγκυρα ζεύγη και της απόστασης του σημείου διαρροής

## 7.2 Το Πρόγραμμα Παρακολούθησης Ενός Δικτύου Αγωγών

```
' αρχικοποίηση οθόνης και εσωτερικής μνήμης
SETLCD 1,1, "sensor activated:"
DM[151]=&H0000
```

```
'ορισμός των έγκυρων ζευγών αισθητήρων
```

```
P_1_2 =&H0003
P_2_3 =&H0006
P_3_4 =&H000C
P_4_5 =&H0018
P_1_6 =&H0021
P_2_7 =&H0042
P_3_8 =&H0084
P_4_9 =&H0108
P_5_10 =&H0210
P_6_7 =&H0060
P_7_8 =&H00C0
P_8_9 =&H0180
P_9_10 =&H0300
P_6_11 =&H0420
P_8_12 =&H0880
P_9_15 =&H4100
P_10_16 =&H8200
P_11_12 =&H0C00
P_11_13 =&H1400
P_12_14 =&H2800
P_13_14 =&H3000
P_14_15 =&H6000
P_15_16 =&HC000
```

```
' ορισμός της απόστασης μεταξύ έγκυρων ζευγών αισθητήρων
' Η απόσταση Li υπολογίζεται σε μέτρα
```

```
L1 = 100
L2 = 145
L3 = 230
L4 = 70
L5 = 150
L6 = 150
L7 = 150
L8 = 150
L9 = 150
L10 = 100
L11 = 145
L12 = 230
L13 = 70
L14 = 120
L15 = 120
```



```

ENDIF

IF S4=1 THEN
    SETLCD 1,26,"S4"
    DM[151]= DM[151] | &H0008
ELSE
    SETLCD 1,26,"..."
    DM[151]= DM[151] | &H0000
ENDIF

IF S5=1 THEN
    SETLCD 1,29,"S5"
    DM[151]= DM[151] | &H0010
ELSE
    SETLCD 1,29,"..."
    DM[151]= DM[151] | &H0000
ENDIF

IF S6=1 THEN
    SETLCD 1,32,"S6"
    DM[151]= DM[151] | &H0020
ELSE
    SETLCD 1,32,"..."
    DM[151]= DM[151] | &H0000
ENDIF

IF S7=1 THEN
    SETLCD 1,35,"S7"
    DM[151]= DM[151] | &H0040
ELSE
    SETLCD 1,35,"..."
    DM[151]= DM[151] | &H0000
ENDIF

IF S8=1 THEN
    SETLCD 1,38,"S8"
    DM[151]= DM[151] | &H0080
ELSE
    SETLCD 1,38,"..."
    DM[151]= DM[151] | &H0000
ENDIF

IF S9=1 THEN
    SETLCD 2,1,"S9"
    DM[151]= DM[151] | &H0100
ELSE
    SETLCD 2,1,"..."
    DM[151]= DM[151] | &H0000
ENDIF

IF S10=1 THEN
    SETLCD 2,4,"S10"
    DM[151]= DM[151] | &H0200

```

```

ELSE
    SETLCD 2,4,"...."
    DM[151]= DM[151] | &H0000
ENDIF

IF S11=1 THEN
    SETLCD 2,8," ,S11"
    DM[151]= DM[151] | &H0400
ELSE
    SETLCD 2,8,"...."
    DM[151]= DM[151] | &H0000
ENDIF

IF S12=1 THEN
    SETLCD 2,12," ,S12"
    DM[151]= DM[151] | &H0800
ELSE
    SETLCD 2,12,"...."
    DM[151]= DM[151] | &H0000
ENDIF

IF S13=1 THEN
    SETLCD 2,16," ,S13"
    DM[151]= DM[151] | &H1000
ELSE
    SETLCD 2,16,"...."
    DM[151]= DM[151] | &H0000
ENDIF

IF S14=1 THEN
    SETLCD 2,20," ,S14"
    DM[151]= DM[151] | &H2000
ELSE
    SETLCD 2,20,"...."
    DM[151]= DM[151] | &H0000
ENDIF

IF S15=1 THEN
    SETLCD 2,24," ,S15"
    DM[151]= DM[151] | &H4000
ELSE
    SETLCD 2,24,"...."
    DM[151]= DM[151] | &H0000
ENDIF

IF S16=1 THEN
    SETLCD 2,28," ,S16"
    DM[151]= DM[151] | &H8000
ELSE
    SETLCD 2,28,"...."
    DM[151]= DM[151] | &H0000
ENDIF

```

' αναζήτηση έγκυρων ζευγών αισθητήρων (παραπάνω από ένα αν υπάρχει)

```
FOR q= 31 to 53      ' Στις θέσεις μνήμης DM[31]-DM[53] έχουν
                    αποθηκευτεί οι έγκυρες τιμές των ζευγών
IF &H0003 =( DM[151] & DM[q]) THEN      ' Εξετάζεται αν η τιμή
του καταχωρητή αισθητήρων συμπίπτει με κάποια τιμή από τα ζεύγη
DM[q+30] = ((DM[q-30] - (Velocity*Td))/2) ' Υπολογίζεται το σημείο
                                         της διαρροής
PRINT#1 "Between S1-S2 there is a leak point at=";DM[q+30];"m " '
Τυπώνεται μήνυμα στον χρήστη
ELSE
IF &H0006 = (DM[151] & DM[q]) THEN
DM[q+30] = ((DM[q-30] - (Velocity*Td))/2)
PRINT#1 "Between S2-S3 there is a leak point
at=";DM[q+30];"m "
ELSE
IF &H000C = (DM[151] & DM[q]) THEN
DM[q+30] = ((DM[q-30] - (Velocity*Td))/2)
PRINT#1 "Between S3-S4 there is a leak point
at=";DM[q+30];"m "
ELSE
IF &H0018 = (DM[151] & DM[q]) THEN
DM[q+30] = ((DM[q-30] - (Velocity*Td))/2)
PRINT#1 "Between S4-S5 there is a leak point
at=";DM[q+30];"m "
ELSE
IF &H0021 = (DM[151] & DM[q]) THEN
DM[q+30] = ((DM[q-30] - (Velocity*Td))/2)
PRINT#1 "Between S1-S6 there is a leak point
at=";DM[q+30];"m "
ELSE
IF &H0042 = (DM[151] & DM[q]) THEN
DM[q+30] = ((DM[q-30] - (Velocity*Td))/2)
PRINT#1 "Between S2-S7 there is a leak point
at=";DM[q+30];"m "
ELSE
IF &H0084 = (DM[151] & DM[q]) THEN
DM[q+30] = ((DM[q-30] - (Velocity*Td))/2)
PRINT#1 "Between S3-S8 there is a leak point
at=";DM[q+30];"m "
ELSE
IF &H0108 = (DM[151] & DM[q]) THEN
DM[q+30] = ((DM[q-30] - (Velocity*Td))/2)
PRINT#1 "Between S4-S9 there is a leak point
at=";DM[q+30];"m "
ELSE
IF &H0210 = (DM[151] & DM[q]) THEN
DM[q+30] = ((DM[q-30] - (Velocity*Td))/2)
PRINT#1 "Between S5-S10 there is a leak point
at=";DM[q+30];"m "
ELSE
IF &H0060 = (DM[151] & DM[q]) THEN
```

```

                DM[q+30] = ((DM[q-30] - (Velocity*Td))/2)
                PRINT#1 "Between S6-S7 there is a leak point
at=";DM[q+30];"m "
            ELSE
                IF &H00C0 = (DM[151] & DM[q]) THEN
                    DM[q+30] = ((DM[q-30] - (Velocity*Td))/2)
                    PRINT#1 "Between S7-S8 there is a leak point
at=";DM[q+30];"m "
                ELSE
                    IF &H0300 = (DM[151] & DM[q]) THEN
                        DM[q+30] = ((DM[q-30] - (Velocity*Td))/2)
                        PRINT#1 "Between S9-S10 there is a leak point
at=";DM[q+30];"m "
                    ELSE
                        IF &H0420 = (DM[151] & DM[q]) THEN
                            DM[q+30] = ((DM[q-30] - (Velocity*Td))/2)
                            PRINT#1 "Between S6-S11 there is a leak point
at=";DM[q+30];"m "
                        ELSE
                            IF &H0880 = (DM[151] & DM[q]) THEN
                                DM[q+30] = ((DM[q-30] - (Velocity*Td))/2)
                                PRINT#1 "Between S8-S12 there is a leak point
at=";DM[q+30];"m "
                            ELSE
                                IF &H4100 = (DM[151] & DM[q]) THEN
                                    DM[q+30] = ((DM[q-30] - (Velocity*Td))/2)
                                    PRINT#1 "Between S9-S15 there is a leak point
at=";DM[q+30];"m "
                                ELSE
                                    IF &H8200 = (DM[151] & DM[q]) THEN
                                        DM[q+30] = ((DM[q-30] - (Velocity*Td))/2)
                                        PRINT#1 "Between S10-S16 there is a leak point
at=";DM[q+30];"m "
                                    ELSE
                                        IF &H0C00 = (DM[151] & DM[q]) THEN
                                            DM[q+30] = ((DM[q-30] - (Velocity*Td))/2)
                                            PRINT#1 "Between S11-S12 there is a leak point
at=";DM[q+30];"m "
                                        ELSE
                                            IF &H1400 = (DM[151] & DM[q]) THEN
                                                DM[q+30] = ((DM[q-30] - (Velocity*Td))/2)
                                                PRINT#1 "Between S11-S13 there is a leak point
at=";DM[q+30];"m "
                                            ELSE
                                                IF &H2800 = (DM[151] & DM[q]) THEN
                                                    DM[q+30] = ((DM[q-30] - (Velocity*Td))/2)
                                                    PRINT#1 "Between S12-S14 there is a leak point
at=";DM[q+30];"m "
                                                ELSE
                                                    IF &H3000 = (DM[151] & DM[q]) THEN
                                                        DM[q+30] = ((DM[q-30] - (Velocity*Td))/2)
                                                        PRINT#1 "Between S13-S14 there is a leak point
at=";DM[q+30];"m "

```



## Βιβλιογραφία

- [01] Σπ. Γιακουμάκης, «Μέθοδοι Έλεγχου Των Διαρροών Στα Δίκτυα Ύδρευσης», Εργαστήριο Εγγειοβελτιωτικών Έργων & Διαχείρισης Υδατικών Πόρων
- [02] Στ. Γιαννόπουλος, Δημ. Βοχαΐτης, «Βελτίωση της Αξιοπιστίας των Δικτύων Ύδρευσης», Τομέας Συγκοινωνιακών και Υδραυλικών έργων,, Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Πολυτεχνική Σχολή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 2003
- [03] Αν. Ευστρατιάδης , Δημ.Κουτσογιάννης, «Γενική Διάταξη Δικτύων Διανομής», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τομέας Υδατικών Πόρων, Τυπικά Υδραυλικά έργα, 2005-2006
- [04] Αν. Ευστρατιάδης , Δημ.Κουτσογιάννης, «Εισαγωγή Στα Δίκτυα Διανομής», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τομέας Υδατικών Πόρων, Τυπικά Υδραυλικά έργα , 2005-2006
- [05] Αν. Ευστρατιάδης , Δημ.Κουτσογιάννης, «Υπενθύμιση Εννοιών Από Την Υδραυλική Δικτύων Υπό Πίεση», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τομέας Υδατικών Πόρων, Τυπικά Υδραυλικά έργα , 2005-2006
- [06] Νικ.Ζούλης, Παν. Καφφετζάκης, Γ. Σούλης, «Συστήματα Αυτοματισμών, Β' Τόμος», Οργανισμός εκδόσεων διδακτικών βιβλίων, τεχνικά επαγγελματικά εκπαιδευτήρια, 2000
- [07] Ελ. Καρκατσούλη, «Χρήση Μοντέλων Επίλυσης Κυκλοφοριακών Δικτύων Ύδρευσης Οικισμών», Ε.Μ.Π., Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, 2008
- [08] Βασ. Μπέσιου, «Διερεύνηση Και Αξιολόγηση Εναλλακτικών Λύσεων Για Τον Ανασχεδιασμό Της Ύδρευσης Της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Διεπιστημονικό- Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών Επιστήμη & Τεχνολογία Υδατικών Πόρων, 2010
- [09] Blue Gold Technology, Zonescan Alpha
- [10] <http://en.gutermann-water.com/products/network-monitoring/zonescan-alpha-fixed-network-monitoring/> , Gutermann

- [11] [en.wikipedia.org/wiki/Programmable\\_logic\\_controller](http://en.wikipedia.org/wiki/Programmable_logic_controller), “Programmable\_logic\_controller”
- [12] Gutermann, “Introduction to Correlation”, Gutermann 2006
- [13] Internet Trilogi, “LADDER + BASIC Editor Simulator Web-Server”, Reference Manual 2001-2009
- [14] Maninder Pal, Neil Dixon, James Flint, “Detecting & Locating Leaks in Water Distribution Polyethylene Pipes”, Proceedings of the World Congress on Engineering 2010 Vol II WCE 2010, June 30 - July 2, London, U.K., 2010
- [15] Prowat, «Εγχειρίδιο Αντιμετώπισης Απωλειών Ύδατος », Έργο Leonardo da Vinci της ευρωπαϊκής ένωσης, Άγκυρα, Τουρκία, 2008
- [16] Saroj Sharma, “Leakage Management & Control”,Unesco IHE-Institute for water education, Delft, The Netherlands, April 2008
- [17] Victor KL Wong, P.Enh, Thomas Dunn, “Benefits of Using Wireless Ethernet Communications in Existing or New Municipal SCADA Systems”, American Water Works Association Annual Conference, 2003
- [18] [www.data-linc.com/articles/industrial-e.htm](http://www.data-linc.com/articles/industrial-e.htm) , “Applying Wireless to Ethernet/IP Industrial Networks”, Data-Linc Group, 1996-2008
- [19] [www.wavemetrics.com/products/igorpro/dataanalysis/signalprocessing/convolution.htm](http://www.wavemetrics.com/products/igorpro/dataanalysis/signalprocessing/convolution.htm), “convolution & correlation”, Wavemetrics

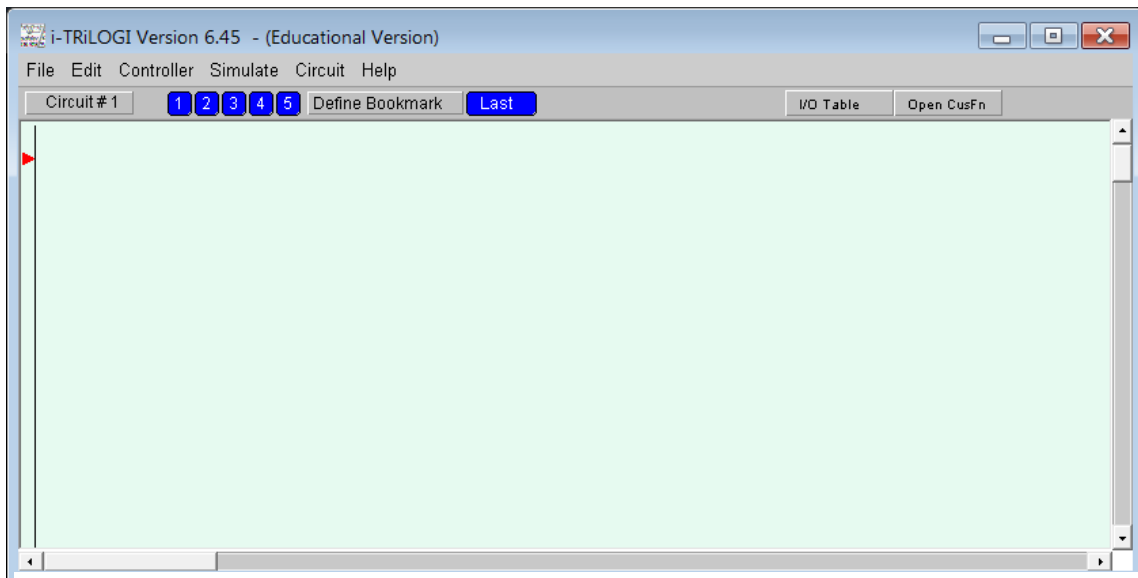
# Παράρτημα Α

## Internet TRILOGI

Το πρόγραμμα i-Trilogi v6.45 (Educational Version) της εταιρείας Triangle Research International χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία για την πειραματική προσέγγιση και διατίθεται δωρεάν στο internet, στην εκπαιδευτική του έκδοση . Η εφαρμογή υποστηρίζει προγραμματισμό σε ladder και TBasic γλώσσα και αποτελεί εργαλείο για την σύνταξη των προγραμμάτων, την εξομίωση και την φόρτωσή τους σε PLC ελεγκτές. Το πρόγραμμα ανακτάται από την ιστοσελίδα <http://www.tri-plc.com/trilogi.htm> και χρησιμοποιεί την java έκδοση JRE 1.4.2\_19.

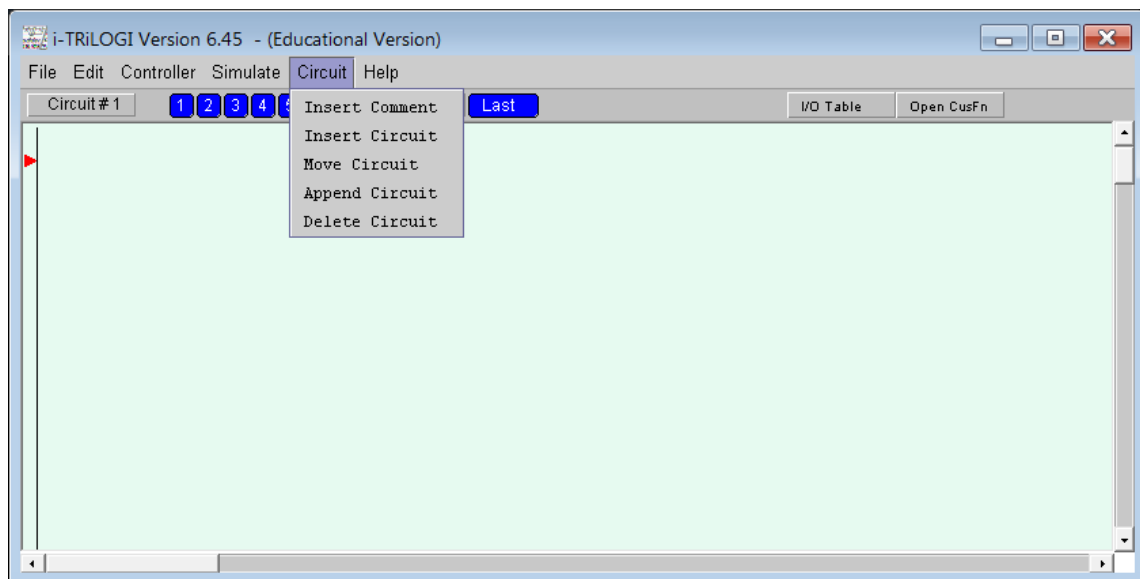
### **A.1 Προγραμματισμός LADDER**

Κατά την έναρξη του i-Trilogi ο χρήστης βρίσκεται στην οθόνη σχεδιασμού σε γλώσσα Ladder[13].



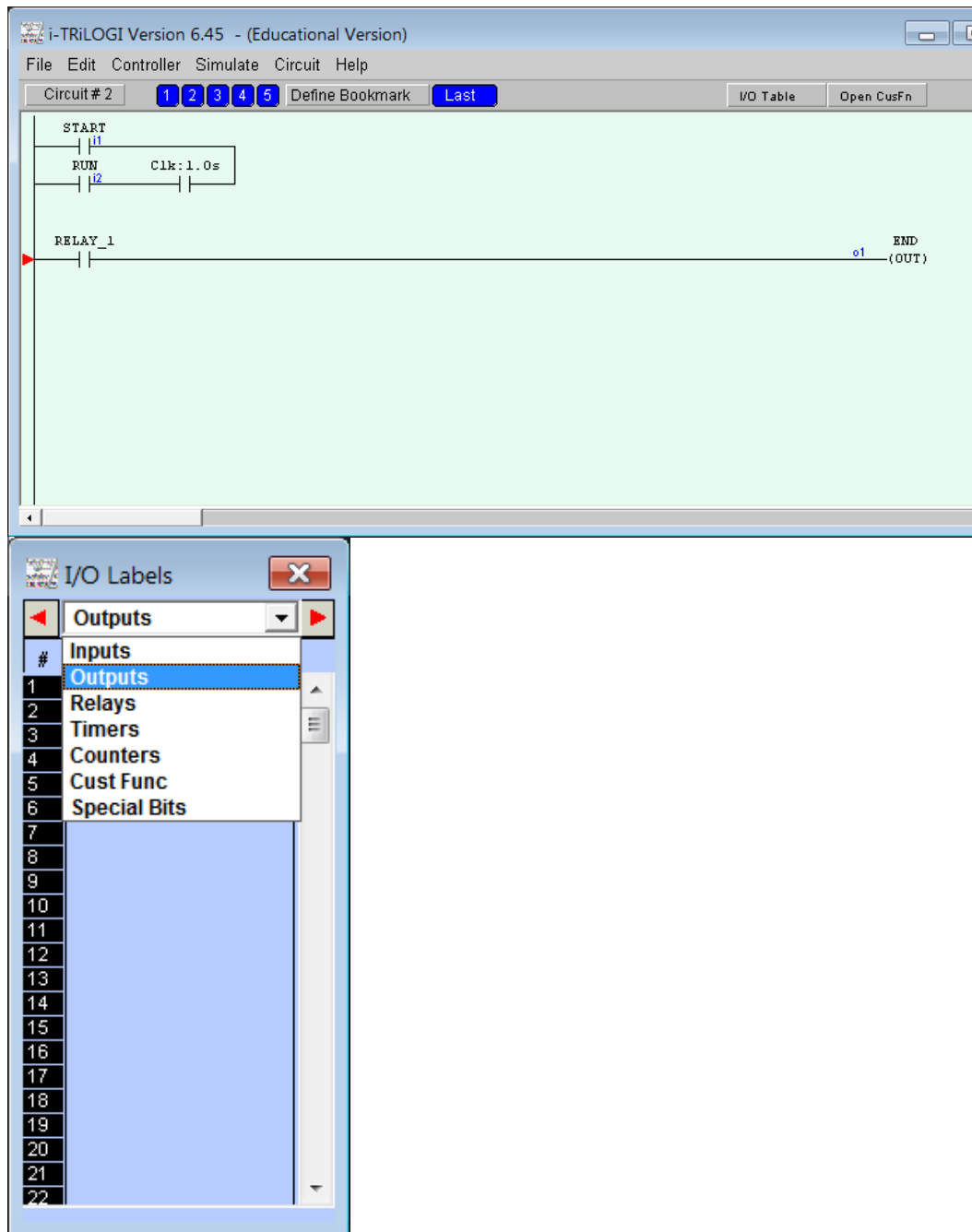
Εικόνα A-1: αρχική οθόνη i-Trilogi

Με την επιλογή μενού Circuit υπάρχει η δυνατότητα να προστεθεί μία γραμμή κυκλώματος, να εισαχθεί σχόλιο στο κύκλωμα, να διαγραφούν ή να επεξεργαστούν μέρη του κυκλώματος.



Εικόνα A-2: Υπομενού Circuit

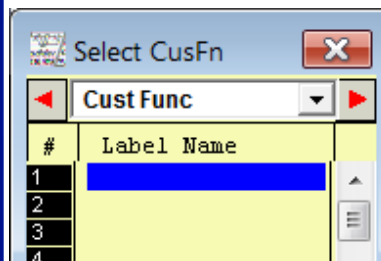
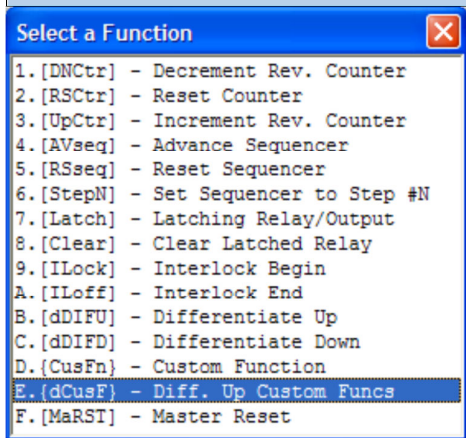
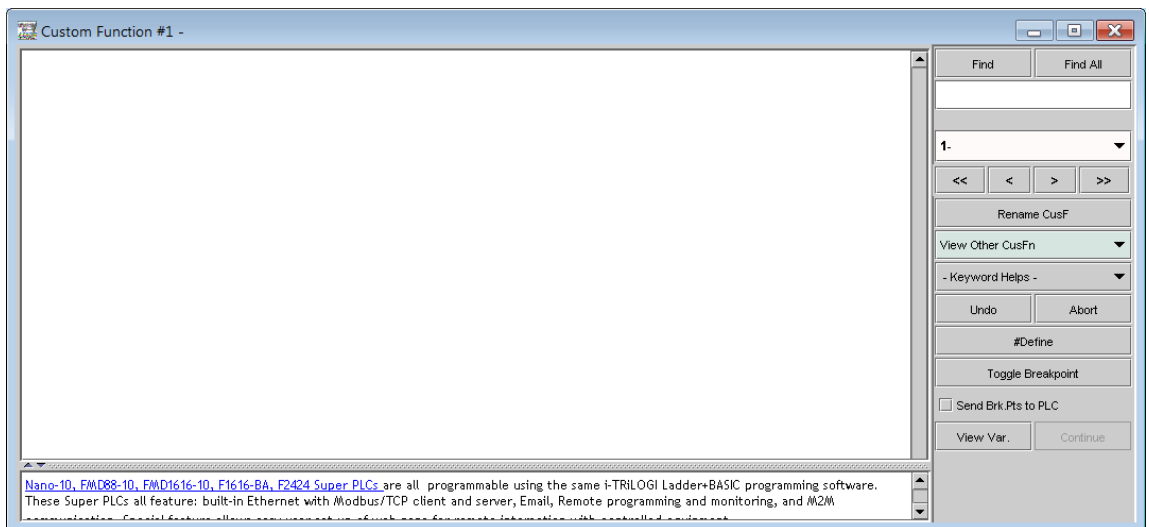
Με την επιλογή insert circuit ο χρήστης μπορεί να τοποθετήσει εισόδους (NC-NO) και εξόδους στο κύκλωμα, χρονιστές, ρολόγια, μετρητές κ.α



Εικόνα A-3: εισαγωγή εισόδων εξόδων σε κύκλωμα Ladder

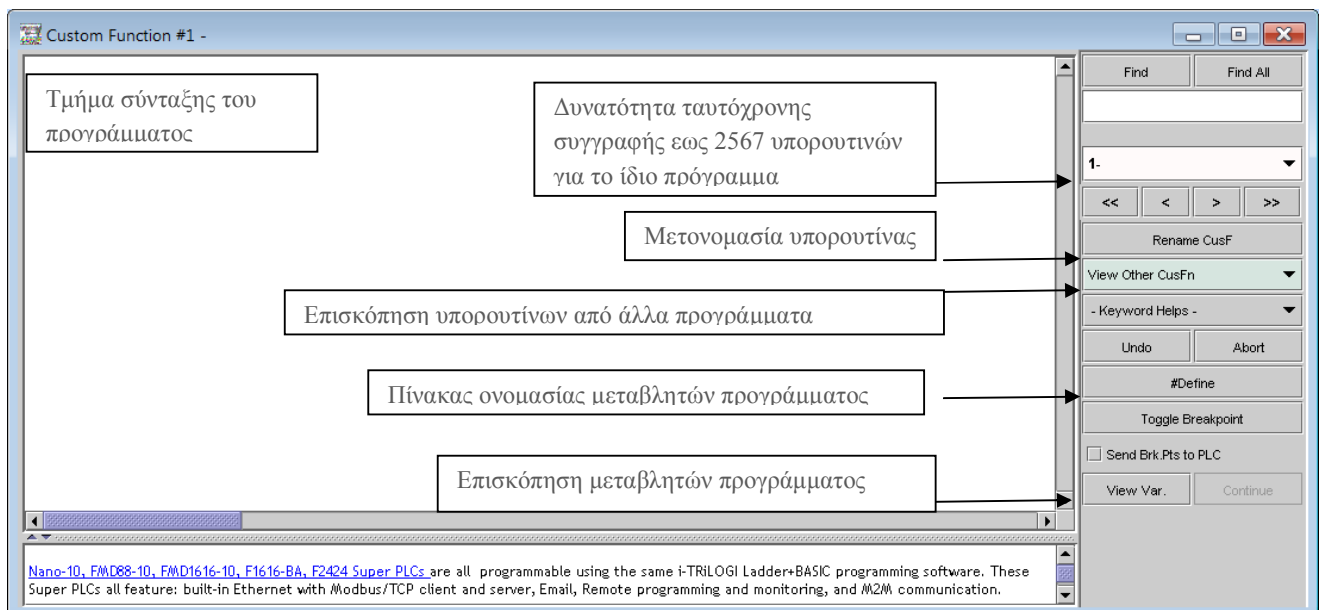
## A.2. Προγραμματισμός σε TBasic

Στην θέση της εξόδου υπάρχει η δυνατότητα να τοποθετηθεί μία ολόκληρη υπορουτίνα, η οποία έχει γραφτεί σε TBasic και η οποία θα εκτελείται κάθε φορά που οι εισοδοί πριν την συνάρτηση μεταβαίνουν σε κατάσταση TRUE.



Εικόνα Α-4: εισαγωγή υπορουτίνας και παράθυρο προγραμματισμού σε TBasic

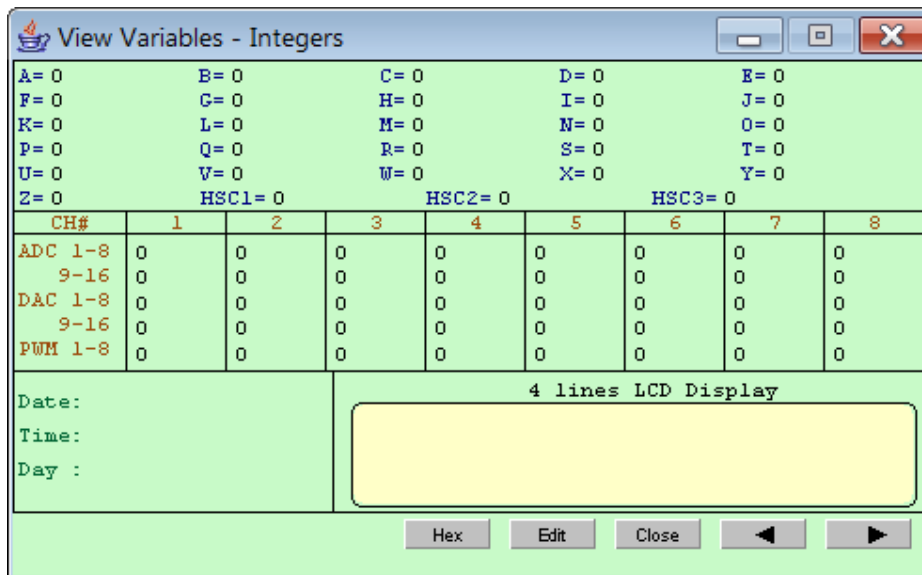
Αναλυτικά το παράθυρο προγραμματισμού σε TBasic φαίνεται στην εικόνα Α-5



Εικόνα Α-5: αναλυτική περιγραφή του παράθυρου προγραμματισμού TBasic

Στο παράθυρο των μεταβλητών διακρίνονται πολλαπλές οθόνες η καθεμία εκ των οποίων φιλοξενεί τις τιμές των ενδιάμεσων μεταβλητών, των εσωτερικών μνημών κα του προγράμματος. Αναλυτικότερα:

1. Οθόνη ακεραίων: περιέχει τις τιμές των 26 32-bit ακεραίων μεταβλητών (A-Z) σε δεκαδική αναπαράσταση, την ημερομηνία και ώρα που διαβάζει το πρόγραμμα από το σύστημα που το φιλοξενεί και την οθόνη LCD. Με το κουμπί edit αλλάζει ο χρήστης τις τιμές των μεταβλητών και με το κουμπί hex μετατρέπει την αναπαράσταση σε 16δική.



Εικόνα Α-6: πρώτη οθόνη μεταβλητών i-trilogi

2. Οθόνη 2: Η δεύτερη οθόνη χωρίζεται σε 25 επιμέρους οθόνες στις οποίες παριστάνονται αναλυτικά οι εσωτερικές μνήμες δεδομένων DM[1]-DM[4000] των 16 bits. Σε κάθε σελίδα υπάρχουν 16 γραμμές X 10 στήλες = 160 μνήμες. Τα κουμπιά [PgUp] και [PgDn] βοηθούν στην εναλλαγή μεταξύ οθονών. Με το κουμπί DM32[n] η προβολή μετατρέπεται στις εσωτερικές μνήμες των 32 bits.

DM16	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
51	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
61	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
71	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
81	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
91	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
101	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
111	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
121	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
131	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
141	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
151	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Εικόνα A-7: δεύτερη οθόνη μεταβλητών i-trilogi

3. Οθόνη 3: στην τρίτη οθόνη φαίνονται οι τιμές των 26 αλφαριθμητικών μεταβλητών (A\$ - Z\$) σε 4 σελίδες.

A\$
B\$
C\$
D\$
E\$
F\$
G\$

Εικόνα A-8: τρίτη οθόνη μεταβλητών i-trilogi

4. Οθόνη 4: στην τέταρτη οθόνη φαίνονται οι τιμές των μεταβλητών του συστήματος (εισόδων-εξόδων)

	1	2	3	4	5	6	7	8
Input [1-8]	0	0	0	0	0	0	0	0
Input [9-16]	0	0	0	0	0	0	0	0
Output [1-8]	0	0	0	0	0	0	0	0
Output [9-16]	0	0	0	0	0	0	0	0
Relay [1-8]	0	0	0	0	0	0	0	0
Relay [9-16]	0	0	0	0	0	0	0	0
Relay [17-24]	0	0	0	0	0	0	0	0
Relay [25-32]	0	0	0	0	0	0	0	0
TimerBit [1-8]	0	0	0	0	0	0	0	0
TimerBit [9-16]	0	0	0	0	0	0	0	0

Εικόνα A-9: τρίτη οθόνη μεταβλητών i-trilogi

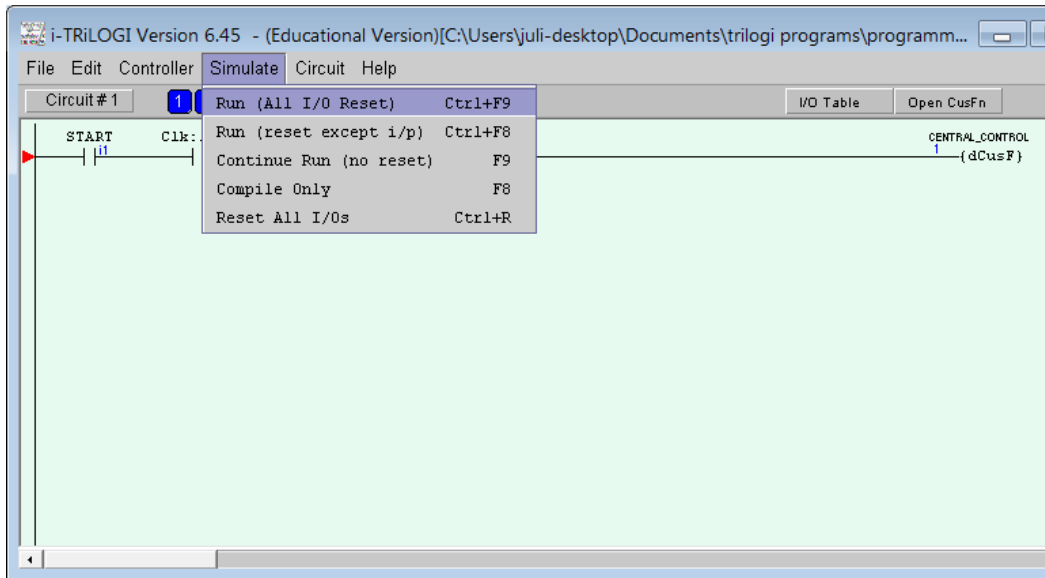
Στο τμήμα της συγγραφής του προγράμματος ο χρήστης γράφει τις εντολές και μπορεί να χρησιμοποιήσει ως βοήθεια το παράθυρο keyword helps, στο οποίο φαίνονται οι επιμέρους συναρτήσεις που υποστηρίζει η TBasic



Εικόνα A-10: Υπομενού Keyword Help

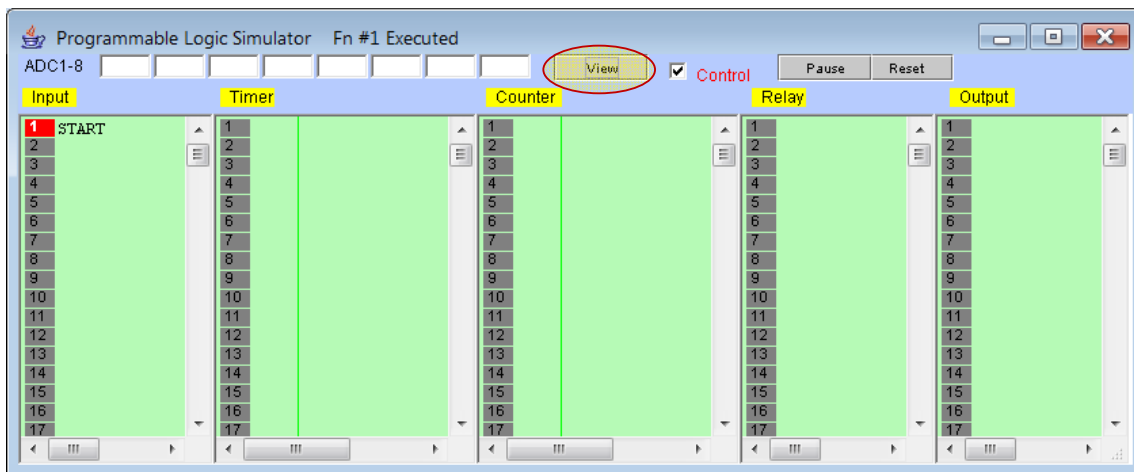
## A.3.Εκτέλεση Προγράμματος

Το πρόγραμμα αφού σχεδιαστεί ή συγγραφεί μπορεί να εκτελεστεί και να ελεγχθούν τα αποτελέσματα που παράγει. Η εκτέλεση ξεκινά με την εντολή Run από το υπομενού Simulate.



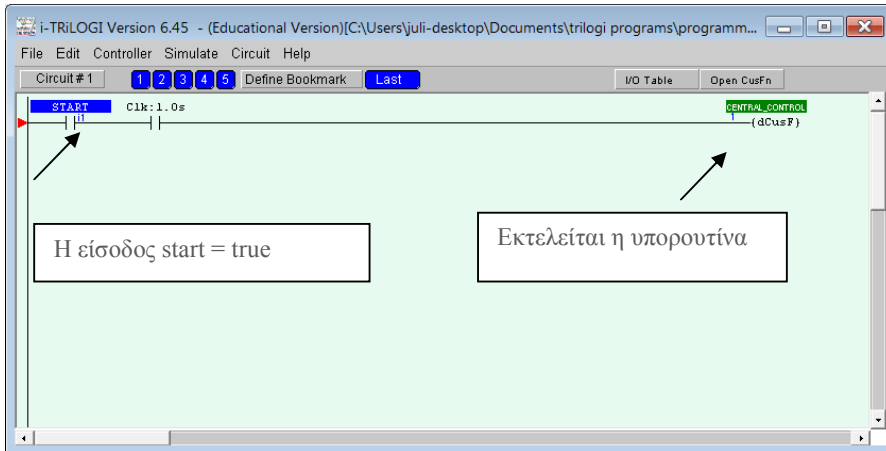
Εικόνα A-11: εκτέλεση προγράμματος

Μόλις ο χρήστης επιλέξει την εντολή Run ανοίγει το παράθυρο Program Logic Simulator στο οποίο διακρίνονται όλες οι είσοδοι και έξοδοι του κυκλώματος όλες σε κατάσταση FALSE αρχικά. Ο χρήστης μπορεί να της αλλάξει με δεξί κλικ σε κατάσταση TRUE (κόκκινη ένδειξη στο τρέχον



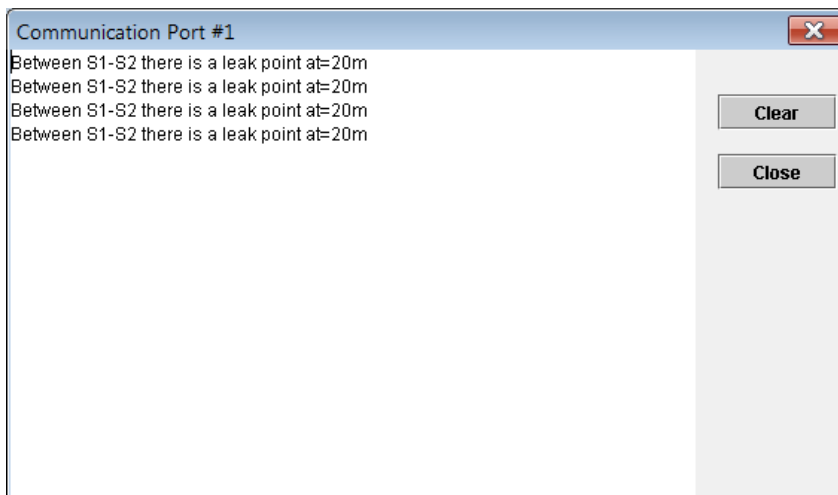
Εικόνα A-12: Παράθυρο Program Logic Simulator

παράθυρο, μπλε ένδειξη στο παράθυρο Ladder). Αν οι είσοδοι επηρεάζουν μια υπορουτίνα και όχι μία άμεση έξοδο, όταν η υπορουτίνα μεταβεί σε κατάσταση TRUE γίνεται πράσινη στο Ladder παράθυρο και ξεκινά η εκτέλεσή της. Με το κουμπί VIEW στο παράθυρο του Program Logic Simulator ο χρήστης μπορεί να δει τα παράθυρα των μεταβλητών και να ελέγξει τον τρόπο που επηρεάζονται από το κύκλωμα που σχεδίασε.



Εικόνα A-13: Παράθυρο Ladder κατά την εκτέλεση προγράμματος

Τέλος, με την εντολή PRINT# n x\$; y; z... Statement (η οποία χρησιμοποιήθηκε εκτενώς στην πειραματική προσέγγιση) το πρόγραμμα αποστέλλει ASCII χαρακτήρες στην έξοδο του PLC προς άλλες συσκευές μέσω της θύρας επικοινωνίας # n. (1-8). Έτσι προέκυψαν τα ακόλουθα παράθυρα επικοινωνίας με τον χρήστη.



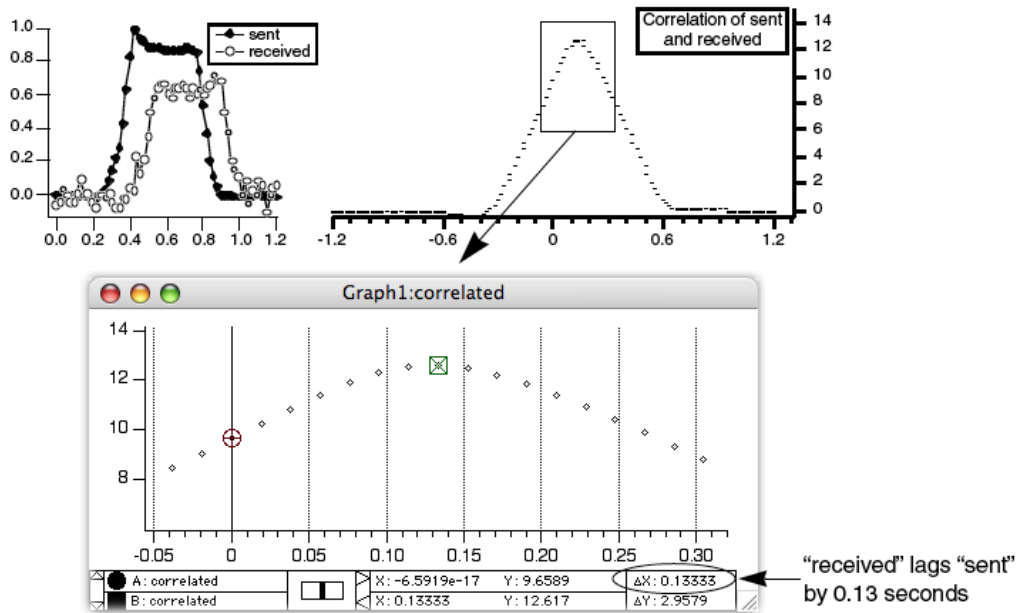
Εικόνα A-14: Παράθυρο επικοινωνίας με την θύρα επικοινωνίας #1

# Παράρτημα Β

## Συσχετισμός σημάτων

Ο συσχετισμος μεταξύ δύο συνόλων δεδομένων χρησιμοποιείται για να εξακριβωθεί η μεταξύ τους ομοιότητα. Με τον συσχετισμό η ομοιότητα (ή η διαφορετικότητα) των δύο σημάτων γίνεται μετρήσιμο μέγεθος, το οποίο παίρνει την μέγιστη τιμή του στο χρονικό σημείο που τα δύο σήματα «μοιάζουν» περισσότερο.

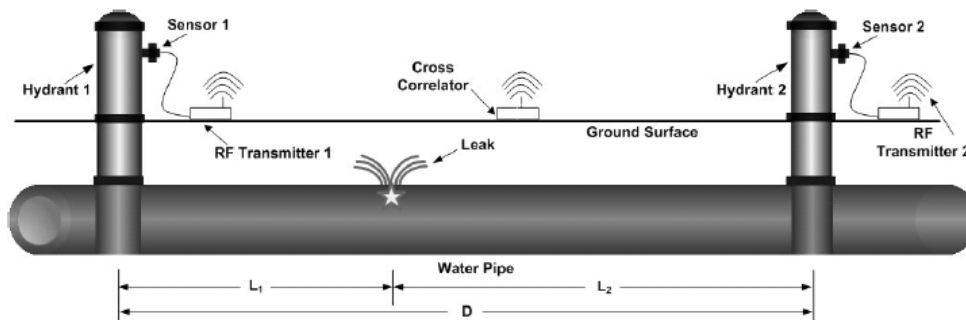
Αν τα δύο σήματα είναι πανομοιότυπα το μέγιστο σημείο απεικονίζεται την χρονική στιγμή  $t = 0$ , δηλαδή δεν υπάρχει χρονική καθυστέρηση μεταξύ τους. Αν τα δύο σήματα έχουν παρόμοιο σχηματισμό αλλά το ένα λαμβάνεται αργότερα από το άλλο και πιθανώς φέρει θόρυβο, ο συσχετισμός είναι μια καλή μέθοδος για να μετρηθεί αυτή η καθυστέρηση.[19]



Εικόνα Β-1:Συσχετισμός δύο σημάτων

## B.1 Χρήση Του Συσχετισμού Για Τον Υπολογισμό Διαρροών Σε Αγωγούς

Έστω ότι έχουμε τον αγωγό της εικόνας β2 στον οποίο εντοπίζεται διαρροή.[14]



Εικόνα Β-2: αγωγός υπό διαρροή

Στα άκρα του αγωγού έχουν τοποθετηθεί αισθητήρες οι οποίοι εκπέμπουν τα σήματα της εντοπισμένης διαρροής.Για να υπολογιστεί η θέση της διαρροής με την χρήση της εξίσωσης του συσχετισμού, θεωρείται ότι τα σήματα που μετρήθηκαν στα σημεία των αισθητήρων 1 και 2 είναι τα  $x_1(t)$  και  $x_2(t)$  αντίστοιχα. Αν ο χρόνος που χρειάστηκαν αυτά τα σήματα για να διανύσουν

τον αγωγό από το σημείο της διαρροής έως το αισθητήρα είναι  $t_1$  and  $t_2$  αντίστοιχα για κάθε αισθητήρα, τότε η χρονική καθυστέρηση ( $\tau_{\text{delay}}$ ) μεταξύ των δύο μετρούμενων σημάτων ( $x_1(t)$  and  $x_2(t)$ ) σχετίζεται με την απόσταση ( $L_1$ ) της διαρροής από τον αισθητήρα 1, σύμφωνα με τον τύπο:

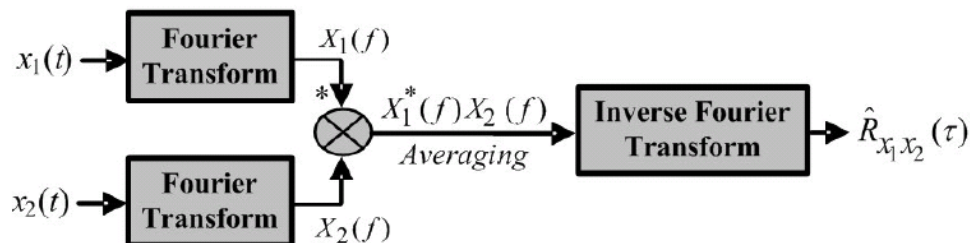
$$L_1 = (D - c\tau_{\text{delay}}) / 2 ,$$

όπου  $c$  είναι η ταχύτητα διάδοσης του ήχου εντός του αγωγού(εξαρτάται από το υλικό του αγωγού) και με την απόσταση  $L_2$  της διαρροής από τον αισθητήρα 2. Η συνολική απόσταση  $D$  μεταξύ των δύο αισθητήρων είναι  $L_1 + L_2$ .

Η χρονική καθυστέρηση υπολογίζεται μέσω συσχετισμού των δύο σημάτων που λαμβάνονται από τους αισθητήρες. Η ποιότητα του υπολογισμού εξαρτάται από το είδος των αισθητήρων που χρησιμοποιείται, την θέση των αισθητήρων και την εξίσωση επεξεργασίας των σημάτων που ελήφθησαν. Η συσχέτιση των δύο μετρούμενων σημάτων  $x_1(t)$  και  $x_2(t)$  γίνεται στο επίπεδο της συχνότητας, για διευκόλυνση των υπολογισμών, λαμβάνοντας τον αντίστροφο μετασχηματισμό Fourier που προκύπτει την σύζευξη των μετασχηματισμών Fourier, των σημάτων διαρροής  $x_1(t)$  και  $x_2(t)$ , ως εξής:

$$\hat{R}_{x_1 x_2}(\tau) = \frac{1}{T} \int_{-\infty}^{\infty} X_1^*(f) X_2(f) e^{j2\pi f \tau} df$$

Όπου το \* υποδηλώνει την σύζευξη



Εικόνα B-3.: μετασχηματισμού fourier των σημάτων διαρροής

Στην πράξη λόγω του θορύβου και της απόσβεσης των δύο σημάτων, τα μετρούμενα σήματα και η εξίσωση συσχετισμού τους παρουσιάζουν διακυμάνσεις. Αυτές οι διακυμάνσεις ορισμένες φορές είναι έντονες δυσχεραίνοντας τον εντοπισμό του σημείου αιχμής, που υποδηλώνει και το

σημείο διαρροής. Γι' αυτό το λόγο η εξίσωση συσχετισμού ( $\rho_{x_1x_2}(\tau)$ ) εκφράζεται σε

$$\rho_{x_1x_2}(\tau) = \frac{\hat{R}_{x_1x_2}(\tau)}{\sqrt{\hat{R}_{x_1x_1}(0)\hat{R}_{x_2x_2}(0)}}$$

κανονικοποιημένη μορφή (άνευ διαστάσεων) με κλίμακα από το -1 έως το 1, ως εξής:

Όπου  $\hat{R}_{x_1x_1}(0)$  και  $\hat{R}_{x_2x_2}(0)$  είναι οι τιμές των εξισώσεων αυτο-συσχετισμού των  $\hat{R}_{x_1x_1}(\tau)$  και  $\hat{R}_{x_2x_2}(\tau)$  για  $\tau=0$ .

